



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

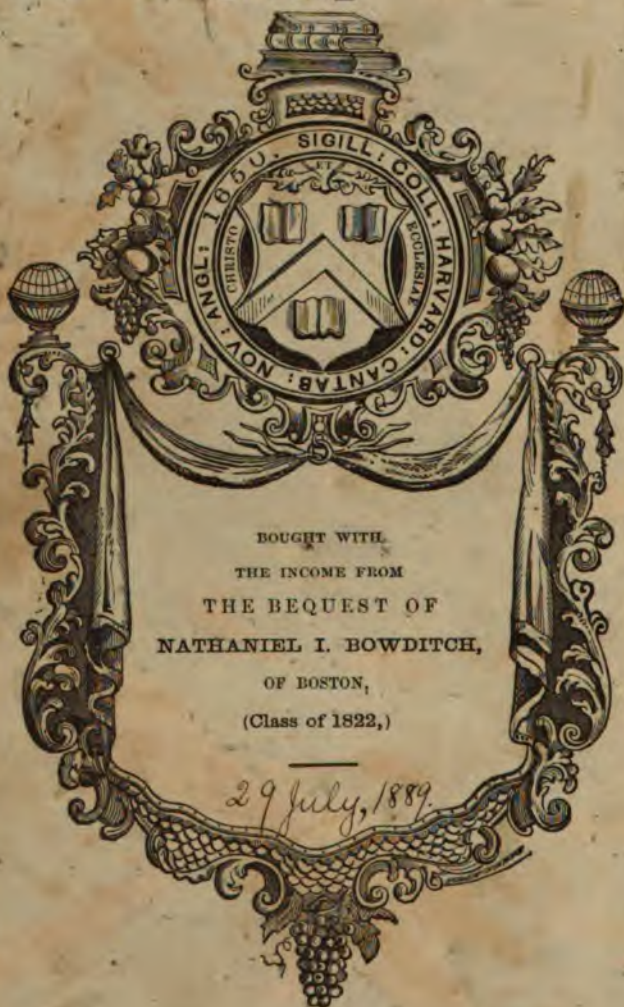
We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

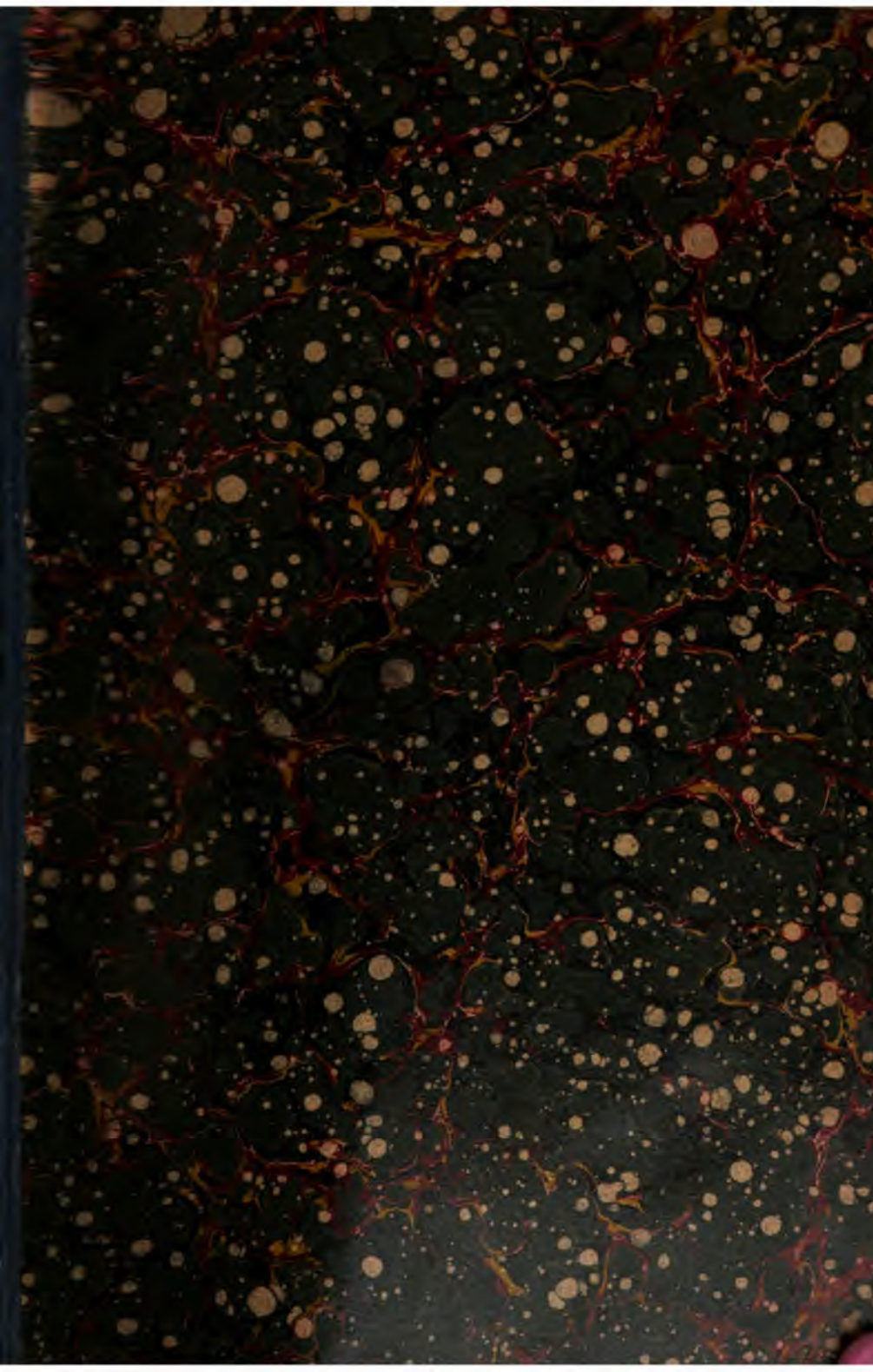
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

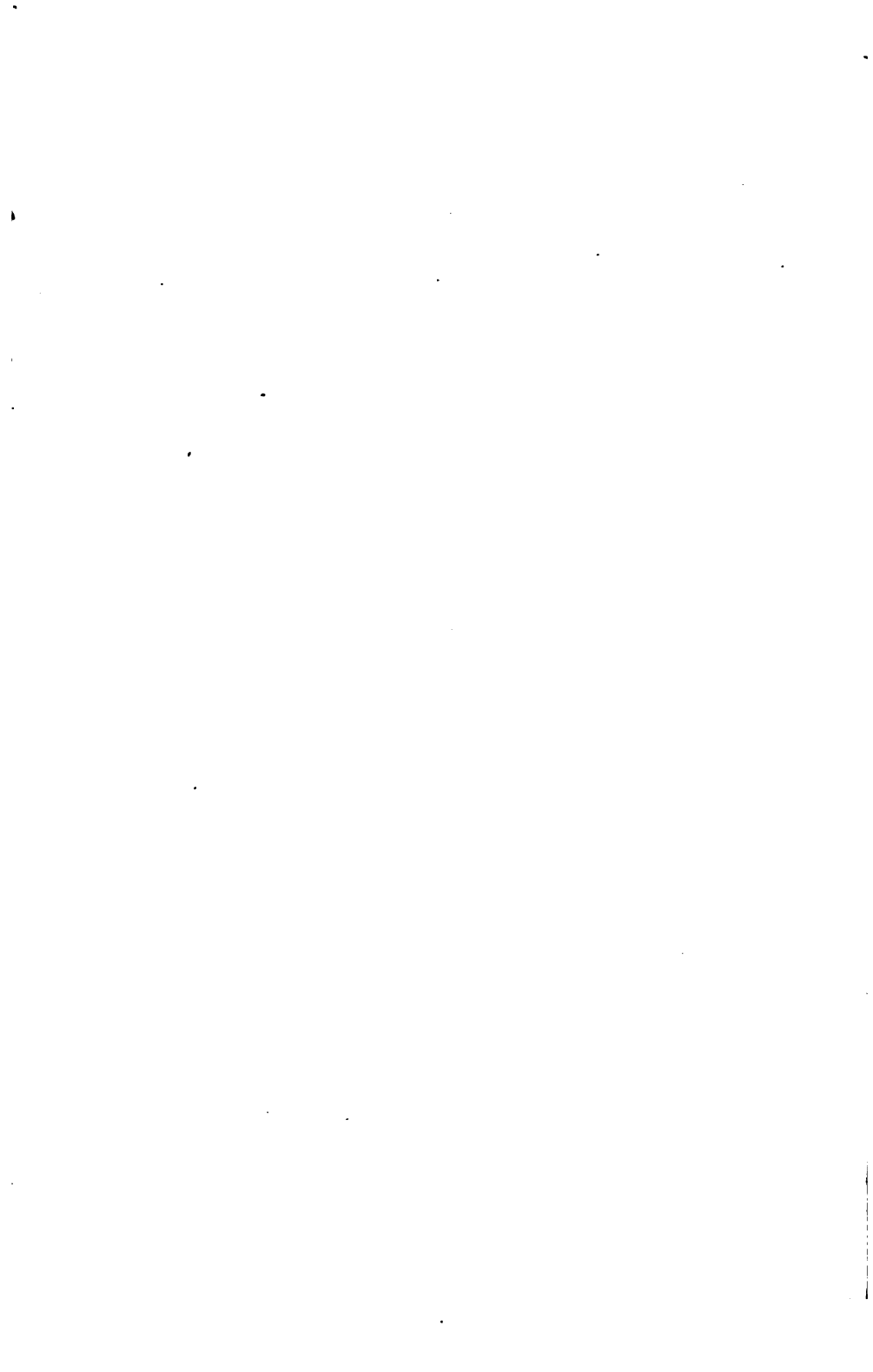
S 7590.18.5

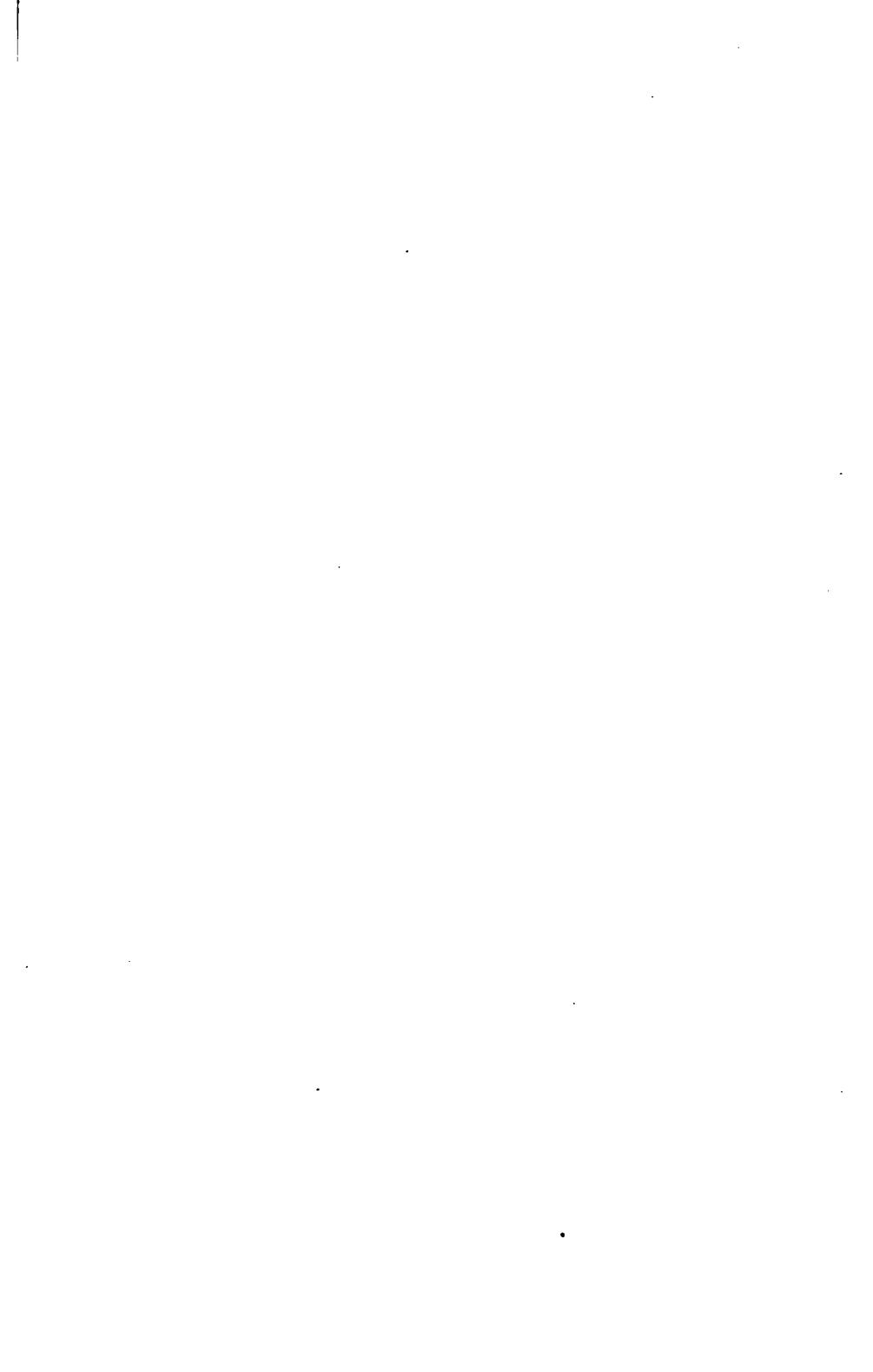


BOUGHT WITH
THE INCOME FROM
THE BEQUEST OF
NATHANIEL I. BOWDITCH,
OF BOSTON,
(Class of 1822,)

29 July, 1889







Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Q

DAS

MIKROSKOP

UND

SEINE ANWENDUNG

VON

DR. LEOPOLD DIPPEL,
ordentlichem Professor der Botanik in Darmstadt.

ZWEITE UMGEARBEITETE AUFLAGE.

ERSTER THEIL.

HANDBUCH DER ALLGEMEINEN MIKROSKOPIE.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND EINER
TAFEL IN FARBENDRUCK.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1882.

H A N D B U C H

DER

ALLGEMEINEN MIKROSKOPIE

VON

DR. LEOPOLD DIPPEL,
ordentlichem Professor der Botanik in Darmstadt.

ZWEITE UMGEARBEITETE AUFLAGE.

MIT IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND
EINER TAFEL IN FARBENDRUCK.

C'

BRAUNSCHWEIG,

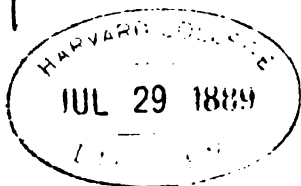
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1882.

S 7590.18.5

~~V. 3647~~

AH 658.82



Bowditch fund.

Alle Rechte vorbehalten.

V O R R E D E.

Als von Seiten meines Herrn Verlegers die Aufforderung an mich erging, die Bearbeitung einer zweiten Auflage des Mikroskopes in Angriff zu nehmen, musste es natürlich mein nächstes Bestreben sein — soweit dies auf elementar-mathematischer, allgemein verständlicher Grundlage ausführbar erschien — Abbe's bahnbrechende Theorie des Mikroskopes und der mikroskopischen Bilderzeugung, sowie dessen umfassende neue Methoden zur Ermittlung und Prüfung der Hauptfactoren des optischen Vermögens, d. h. der Brennweiten, der numerischen Apertur, des Correctionszustandes etc. der Systeme, sowohl dem Mikroskopiker von Beruf, als den weiteren Kreisen der Freunde des Mikroskopes und der Mikroskopie zugänglich zu machen. Dieses Bestreben konnte aber nur dadurch zum Ziele führen, dass mir von Seiten Herrn Prof. Abbe's, von dessen Untersuchungen und theoretischen Entwicklungen ganze Reihen noch nicht bekannt gegeben sind, eine so weit gehende und rückhaltlose Unterstützung zu Theil geworden, wie es in der That der Fall gewesen ist. Derselbe hat mir bei der Ausarbeitung der theoretischen Abschnitte von Anfang bis zu Ende unermüdlich zur Seite gestanden und weder Mühe noch Opfer gescheut, um mir die hierzu erforderlichen umfangreichen und eingehenden Mittheilungen über die bisher noch nicht veröffentlichten Ergebnisse seiner Untersuchungen zur Verfügung zu stellen, so dass Gehalt und Inhalt dieser Abschnitte vor Allem seiner Mitarbeit zu danken sind.

Der vorliegende erste Band, welcher als „Handbuch der allgemeinen Mikroskopie“ erscheint, verfolgt nun ein durch den neuesten Standpunkt der Wissenschaft bedingtes, in dem genannten Sondertitel genau und umfassend gekennzeichnetes, weiter gestecktes Ziel, als das in der vorigen Auflage angestrebte und hat demzufolge umfangreiche Erweiterungen und wesentliche Veränderungen erfahren.

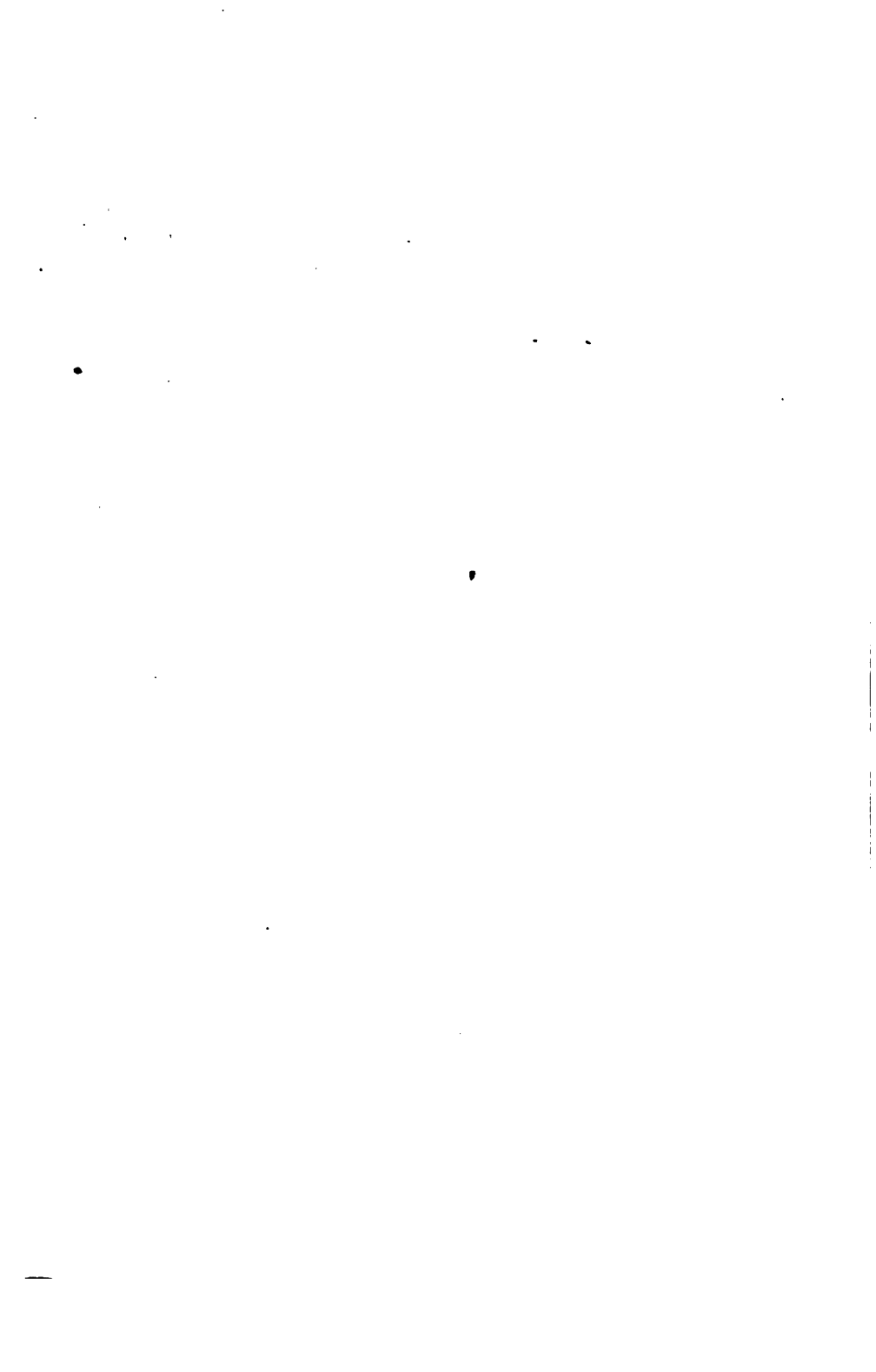
Zunächst ist das erste, eine für die Theorie des Mikroskopes grundlegende, der eigenartigen Betrachtungsweise Prof. Abbe's entsprechende Darstellung der allgemeinen geometrischen Gesetze der Abbildung, des Strahlenganges in zusammengesetzten optischen Systemen und der Beleuchtung, sowie die physikalischen Bedingungen der Abbildung nicht leuchtender Körper — die Abbe'sche Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung — enthaltende Buch neu hinzugekommen. Dann sind die drei ersten, Theorie, Einrichtung, optisches Vermögen und Prüfung des Mikroskopes einbegreifenden Abschnitte der ersten Auflage als erste Abschnitte des jetzigen zweiten Buches an der Hand der Abbe'schen Untersuchungsergebnisse einer fast gänzlichen Neugestaltung unterworfen worden. Endlich wurden auch in dem Inhalte der übrigen Abschnitte eine dem raschen Fortschreiten der mikroskopischen Wissenschaft und — soweit diese ihren Einfluss auf den Gebrauch des Mikroskopes — Verwendung des optischen Apparates, Deutung des Gesehenen etc. — geltend machen mussten — den theoretischen Entwicklungen entsprechende Durch- und Umarbeitung vorgenommen, über deren Einzelheiten ich mich wohl kaum weiter auszulassen brauche. Dass ich in den mehr praktischen Abschnitten auch jetzt wieder, wie schon in der ersten Auflage, den Schmuck mathematischer Entwicklungen in Bezug auf die Gestaltung der Bilder einzelner Objekte etc. umgangen habe, daraus wird mir der vorurtheilslose Leser umsoweniger einen Vorwurf machen wollen, als dieselben hier weniger wirklich fördernde Gesichtspunkte eröffnen, als einfache Bestätigung der weit leichter zu erlangenden Beobachtungsergebnisse hätten gewähren können und somit von nur untergeordneter Bedeutung gewesen wären.

Möge sich denn das Buch — für das ich in Bezug auf die neuesten Leistungen in der Construction des Mikroskopes und seiner Nebenapparate unseren bedeutenderen optischen Werkstätten die

ausgiebigste Unterstützung zu verdanken habe — unter dem neuen Titel und in seiner neuen Gestalt ebensoviele Freunde erwerben wie bei seinem ersten Inslebentreten! Möge es vor allem einem Jeden, welcher darnach greift, ein zuverlässiger Rathgeber und sicherer Führer werden auf dem Wege zur Erlangung eines gründlichen Wissens von dem Mikroskope und seiner Wirkungsweise, wie zum Erwerbe eines ausreichenden Könnens in den bei seinem Gebrauch in Betracht kommenden Verfahrensweisen und Verrichtungen.

Darmstadt, im Juli 1882.

Dr. Leopold Dippel.



INHALTSVERZEICHNISS.

Erstes Buch.

Theorie der Bilderzeugung und Beleuchtung.

Erster Abschnitt.

Geometrische (dioptrische) Gesetze der Abbildung.

	Seite
Erstes Capitel. Allgemeine Abbildungsgesetze	1
Zweites Capitel. Bestimmung der Abbildungsgesetze für Linsen und Linsensysteme	28
I. Bestimmung der Constanten	—
II. Theorie der Achromasie	36
Drittes Capitel. Abbildung durch Linsen und Linsensysteme bei end- lichem Divergenzwinkel der abbildenden Strahlenkegel	46
I. Die Bedingungen des Aplanatismus	—
II. Begrenzung der Strahlenkegel	56
1. Art und Weise der Begrenzung durch die abbildenden Systeme. Oeffnung, Oeffnungswinkel, numerische Apertur	—
2. Durch den Beleuchtungsapparat bedingte Begrenzung. Theorie der Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes	73

Zweiter Abschnitt.

Die physischen Gesetze der Abbildung nicht leuchtender Körper.

Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung.

Erstes Capitel. Directe und secundäre Abbildung	89
Zweites Capitel. Die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen	99
Drittes Capitel. Die secundäre Abbildung als Wirkung einer Interferenz- erscheinung	113
Viertes Capitel. Die Theorie der secundären Abbildung an der Hand des Versuches	144

Zweites Buch.

Das Mikroskop. Theorie und Einrichtung.

Erster Abschnitt.

Das einfache Mikroskop.

	Seite
Erstes Capitel. Theorie des einfachen Mikroskopes	165
Zweites Capitel. Einrichtung des einfachen Mikroskopes	176
1. Die Lupe	—
2. Das Präparirmikroskop	181

Zweiter Abschnitt.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

Erstes Capitel. Theorie des zusammengesetzten Mikroskopes	187
I. Allgemeiner Typus und Constanten	—
II. Strahlengang	192
1. Allgemeine Betrachtung des Strahlenganges	—
2. Sehtiefe — Penetration	202
3. Lichtstärke	211
III. Schematische Zerlegung des Mikroskopes, Objectivwirkung und Okularfunction	214
IV. Die Abbildung durch das zusammengesetzte Mikroskop	232
Zweites Capitel. Der optische Apparat	236
I. Das Objectivsystem	—
1. Constructionstypen	—
2. Constanten und Cardinalpunkte	247
3. Mechanische Einrichtung	249
II. Der Okularapparat	255
1. Der Tubus	—
2. Das Okular	258
III. Der Beleuchtungsapparat	267
1. Beleuchtungsvorrichtung für durchfallendes Licht	—
2. Beleuchtungsvorrichtungen für auffallendes Licht	277
Drittes Capitel. Das Stativ	280

Dritter Abschnitt.

Das optische Vermögen des Mikroskopes und dessen Prüfung.

Erstes Capitel. Die Einzelvermögen des optischen Gesamtvermögens und die Ermittlung ihrer Grundfaktoren	297
I. Die Einzelvermögen	—
1. Vergrößerungsvermögen	—
2. Begrenzungsvermögen	301

	Seite
3. Abbildungsvermögen	309
4. Verhältniss zwischen Vergrößerungs- und Abbildungs- vermögen	325
II. Ermittlung der Grundfactoren des optischen Vermögens . .	328
1. Bestimmung der Brennweite	329
2. Erprobung des Aplanatismus etc.	339
3. Bestimmung der numerischen Apertur	348
Zweites Capitel. Bestimmung der Vergrößerung	355
Drittes Capitel. Directe Prüfung des Mikroskopes	367
I. Prüfung des Begrenzungs- und Auflösungsvermögens	367
1. Allgemeine Grundsätze	367
2. Probeobjecte	374
a. Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen	375
b. Probeobjecte für das Auflösungsvermögen	384
II. Ermittlung der Ausdehnung, Ebnung etc. des Sehfeldes . .	413

Vierter Abschnitt.

Zur Kenntniss der neueren Mikroskope.

I. Mikroskope der deutschen Werkstätten	420
II. Mikroskope ausländischer Werkstätten	506

Fünfter Abschnitt.

Mikroskope zu besonderen Zwecken.

Multoculares und stereoskopisches Mikroskop	553
Bildmikroskop und Sciöpticon	561
Demonstrationsmikroskop	565
Bildumkehrendes und umgekehrtes Mikroskop	567
Das photographische Mikroskop	570
Das mineralogische Mikroskop	577
Das Polarisationsmikroskop	583

Drittes Buch.

Hilfsmittel zur mikroskopischen Beobachtung.

Erster Abschnitt.

Nebenapparate des Mikroskopes.

Erstes Capitel. Optische Nebenapparate	589
I. Vorrichtungen zur Bildaufrichtung und Erzeugung körperlicher Bilder	589
II. Beleuchtungsapparate	599
III. Polarisationsapparate	604
IV. Spektralapparate	611

	Seite
1. Das Spektralocular	611
2. Der Spektropolarisator	617
V. Vorrichtungen zum Nachzeichnen	624
Zweites Capitel. Mechanische Nebenapparate	634
I. Apparate zur mikroskopischen Grössenbestimmung	634
1. Schraubenmikrometer	634
2. Glasmikrometer	641
3. Spitzenocular	643
4. Das teleskopische Objectivsystem	644
5. Goniometer	644
6. Der bewegliche Objecttisch	646
II. Vorrichtungen zur Anwendung von Druck, Wärme etc.	651
1. Der Quetscher (Compressorium)	651
2. Der heizbare Objecttisch	653
3. Der elektrische Objectträger	656
4. Feuchte Kammer und Gaskammer	660
5. Federklammern	665

Zweiter Abschnitt.

Apparate und Hilfsmittel zur Herstellung der Präparate.

Erstes Capitel. Instrumente und Apparate	666
I. Instrumente zum Schneiden und Schleifen	666
II. Evacuierungs- und Injectionsapparate	685
III. Trockenapparat	689
IV. Objectträger und Deckgläser (Deckglastastor)	690
Zweites Capitel. Zusatzflüssigkeiten und Reagentien	695
I. Zusatzflüssigkeiten	695
II. Reagentien	698
1. Salzbildner	699
2. Mineralsäuren	700
3. Organische Säuren	703
4. Säuremischungen	705
5. Alkalien	705
6. Alkalische Erden	707
7. Salze	707
8. Aethyl- und Methylverbindungen	711
9. Glycerin	712
10. Aromatische Verbindungen	713
11. Indol	713
12. Flüchtige Oele	714
13. Kohlenhydrate	714
Drittes Capitel. Färbungs- und Imprägnationsmittel	715
I. Färbeflüssigkeiten	715
A. Einfache Färbeflüssigkeiten	716
1. Carminlösungen	716
2. Hämatoxylinlösungen	719
3. Indigocarmin	720
4. Alizarin und Purpurin	720
5. Chinoleinblau, Cyanin	721

	Seite
6. Alcannatinctur	721
7. Lösungen von Anilin- und Azofarbstoffen	721
8. Pikrinsäure	724
9. Molybdänsaures Ammoniak	724
B. Zusammengesetzte Färbeflüssigkeiten	724
1. Pikro-Carmin	724
2. Pikro-Anilin	725
3. Indigcarmin und Carmin oder Pikrinsäure	725
4. Eosin und Hämatoxylin	726
5. Anilin-Violett	726
II. Imprägnationsmittel	726
Viertes Capitel. Injectionsmassen	728
I. Warme Injectionsmassen	729
1. Rothe Injectionsmasse	730
2. Gelbe „	731
3. Blaue „	732
4. Grüne „	733
5. Weisse „	734
6. Braune „	734
II. Kalte Injectionsmassen	734

Viertes Buch.

Gebrauch des Mikroskopes.

- - - -

Erster Abschnitt.

Allgemeine Grundsätze.

Erstes Capitel. Aufstellung und Behandlung des Mikroskopes	739
Beobachtungszimmer	739
Arbeitstisch	741
Aufbewahrung und Reinhaltung des Mikroskopes	742
Behandlung während des Gebrauches	746
Zweites Capitel. Vorsichtsmaassregeln für das Auge	748
Drittes Capitel. Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Wahrnehmung und Deutung des Gesehenen	753

Zweiter Abschnitt.

Herrihtung der mikroskopischen Beobachtungsgegenstände.

Erstes Capitel. Anfertigung von Schnitten und Schliffen	762
I. Schnittpräparate	762
1. Schnitte von widerstandsfähigen Geweben	763
2. Behandlung weicher Gewebe, Trocknungs-, Gefrier- und Erhärtungsmethoden	765

	Seite
3. Durchschnitte ungleich harter, flacher und sehr kleiner Gegenstände	771
4. Einbettungsverfahren	772
II. Schliffe	778
1. Schliffe von Gegenständen mit gleichartiger Structur	778
2. Schliffe von Gegenständen von ungleichartiger Beschaffenheit	780
Zweites Capitel. Isolirung der Elementarorgane	781
Isolirung im frischen Zustande	781
Maceration	782
Corrosions- und Verdauungsverfahren	785
Drittes Capitel. Entfernung störender Substanzen und Körper	786
Entfernung der Luft	787
Beseitigung fester und flüssiger Substanzen	787
Zerstörung der organischen Substanzen	787
Viertes Capitel. Sichtbarmachung der Gewebeelemente und feineren Structurverhältnisse	791
I. Aufhellung der Gewebe	791
II. Fixirung der Zell- und Kernsubstanz	794
III. Färbung und Imprägnation	795
1. Einfache Färbung	796
2. Imprägnation	798
3. Doppelfärbung	801
IV. Injection	804
Injection mittelst der Spritze	806
Injection mittelst constanten Druckes	808
Selbstinjection	808
Fünftes Capitel. Umhüllung und Eindeckung der Objecte	811

Dritter Abschnitt.

Methode der mikroskopischen Beobachtung.

Erstes Capitel. Ausscheidung des dem mikroskopischen Bilde Fremden.	
Vermeidung von Täuschungen	817
I. Optische Erscheinungen	817
II. Fremde Körper und Processe	821
Zweites Capitel. Verwendung des optischen Apparates	826
I. Beleuchtung der Objecte	826
1. Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes	827
2. Dunkelfeldbeleuchtung	828
3. Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes	830
Centrale Beleuchtung	831
Schiefe Beleuchtung	835
Beleuchtung mittelst Doppelkegel	838
II. Verwendung des bilderzeugenden Apparates	839
1. Wahl der Objectivsysteme und Oculare	839
2. Wechsel der Einstellung	851
3. Gebrauch der Verbesserungseinrichtung	856

	Seite
Drittes Capitel. Anwendung der physikalischen Hilfsmittel der Beobachtung	860
I. Anwendung des Druckes	860
II. Anwendung der Quellung	862
III. Anwendung erhöhter und verminderter Temperatur	863
IV. Anwendung verschiedener Durchleuchtung	865
V. Anwendung elektrischer Ströme	865
Viertes Capitel. Anwendung der chemischen Reagentien	866
I. Zuführung der Reagentien	867
II. Entfernung der Reagentien	868

Vierter Abschnitt.

Die mikroskopische Messung.

Erstes Capitel. Längen- und Dickenmessung	870
I. Prüfung der Mikrometer	873
II. Messungsmethoden	877
1. Messung mittelst Glasmikrometer	882
Objectmikrometer	884
Ocularmikrometer	890
Oberhäuser's Ocularmikrometer	895
2. Messung mittelst Schraubenmikrometer	896
Objectschraubenmikrometer	897
Ocularschraubenmikrometer	899
3. Messung mittelst des Bildmikroskopes und Doppelsehens	901
4. Dickenmessung	903
Zweites Capitel. Winkelmessung	905
I. Directe Messung	905
Messung mittelst Goniometer	905
Messung mittelst der Camera lucida	906
II. Messung mittelst Construction und Rechnung	907
Trigonometrische Bestimmung	907
Analytische Bestimmung	908

Fünfter Abschnitt.

Die Anwendung des polarisirten Lichtes.

Erstes Capitel. Physikalische Grundbegriffe	912
I. Arten des polarisirten Lichtes	912
II. Erzeugung polarisirten Lichtes	915
1. Polarisation durch Spiegelung	915
2. Polarisation durch einfache Brechung	916
3. Polarisation durch doppelte Brechung	916
Allgemeine Gesetze der Doppelbrechung	916
Einachsige Körper	917
Zweiachsige Körper	920
Polarisation durch Doppelbrechung	924

	Seite
Polarisation durch doppelt brechende Prismen	924
Polarisation durch doppelt brechende amorphe Körper	926
III. Einfluss doppelt brechender Körper auf bereits polarisirtes Licht	927
1. Verhalten eines einzelnen doppelt brechenden, parallel zur Achsenebene geschliffenen Krystallplättchens	928
Färbung des Plättchens bei gekreuzten und parallelen Polarisationsebenen	929
Bestimmung der Färbung verzögernder Plättchen	930
Änderung der Färbung eines verzögernden Plättchens während der Drehung um seine horizontale Achse	931
2. Verhalten zweier oder mehrerer doppelt brechender parallel zur Achsenebene geschliffener Krystallplättchen	932
Verbindung verschieden dicker Gypsplättchen mit einem solchen von bekannter Farbe	933
Farbenänderung bei der Drehung eines verzögernden Plättchens über einem Gypsplättchen von bekannter Farbe	935
Farben zweier übereinander liegender Krystallplättchen von gleicher Dicke	935
Farben zweier gleicher Krystallplättchen über einem feststehenden Gypsplättchen	937
3. Verhalten senkrecht zur optischen Achse geschnittener einachsiger oder senkrecht zur Mittellinie geschnittener zweiachsiger Krystallplatten	938
Polarisationskreuz der einachsigen Platten	938
Hyperbeln der zweiachsigen Platten	939
Farben dünner Plättchen zweiachsiger Krystalle	939
4. Circularpolarisation des Bergkrystalles	940
Zweites Capitel. Bestimmung der optischen Eigenschaften organischer Körper	942
1. Ermittlung der einfach- oder doppelt brechenden Eigenschaft	943
Beobachtung im Quer- und Längsschnitt	943
Anwendung verzögernder Plättchen	944
2. Bestimmung der einachsigen oder zweiachsigen Beschaffenheit	945
3. Bestimmung der Achseneinrichtung und des positiven oder negativen Charakters	946
A. Einachsige Objecte	946
Bezeichnung der Achseneinrichtung	946
Das Prisma	947
Verhalten des Querschnittes	947
Verhalten des Längsschnittes	947
Verhalten mehrseitiger Prismen	948
Prisma mit geneigter optischer Achse	950
Der Cylinder	951
Senkrecht stehender Cylinder	951
Liegender Cylinder	953

	Seite
Cylinder mit geneigter optischer Achse	956
Die Kugel	957
Zweiachsige Objecte	958
Das Prisma	958
Prisma mit den räumlichen Dimensionen entsprechenden Elasticitätsachsen	960
Prisma mit geneigten Elasticitätsachsen	960
Der Cylinder	961
Cylinder mit den drei Richtungslinien entsprechenden Elasticitätsachsen	961
Cylinder mit geneigten Elasticitätsachsen	964
Die Kugel	966

Sechster Abschnitt.

Die Anwendung des prismatisch zerlegten Lichtes.

Erstes Capitel. Anwendung des prismatisch zerlegten gewöhnlichen Lichtes. Mikro-Spectralanalyse	967
I. Das Absorptionsspectrum	967
II. Gebrauch der Spectralapparate	973
1. Das Spectralocular	973
2. Das objective Spectrum	975
3. Lagen- und Intensitätsbestimmung der Absorptionen	978
Zweites Capitel. Anwendung des prismatisch zerlegten polarisirten Lichtes. Spectro-Polarisation	980
I. Verhalten doppelt brechender Körper	980
II. Gebrauch des Spectro-Polarisators	984

Siebenter Abschnitt.

Zeichnung und Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

Erstes Capitel. Die mikroskopische Zeichnung	987
I. Hilfsmittel und Materialien	988
Optische Hilfsmittel zum Zeichnen	988
Zeichenmaterialien	989
II. Ausführung der Zeichnung	991
Erfordernisse einer mikroskopischen Zeichnung	991
Schematische Zeichnungen	993
Art der Ausführung mikroskopischer Zeichnungen	994
Umrisszeichnungen	995
Wiedergabe des Zelleninhaltes u. s. w.	996
Morphologische Zeichnungen	996
Anwendung der Farben	997
Polarisationsfiguren	997
Spectralbilder	998
Anwendung der Photographie	998

	Seite
Zweites Capitel. Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate	1001
I. Aufbewahrungsmethoden	1002
1. Trockene und vom Wasser befreite Objecte	1002
Trockene Aufbewahrung	1002
Aufbewahrung in Balsamen und Harzen	1003
Serienpräparate	1006
Einschluss in stark brechende Flüssigkeiten	1007
2. Feuchte Objecte	1008
Verschlussmittel	1008
Aufbewahrung in Glycerin und Glyceringemischen	1010
Aufbewahrung in Gummi arabicum und Gelatine	1014
Aufbewahrung in Chlorcalcium	1014
Aufbewahrung in essigsaurem Kalium	1018
Aufbewahrung in einfachen verdunstenden Flüssigkeiten	1019
Aufbewahrung in zusammengesetzten verdunstenden Mischungen	1021
Verschluss bei runden Deckgläsern	1023
Aufbewahrung voluminöser Präparate	1023
II. Bezeichnung und Einordnung der Präparate	1026
Bezeichnung der Präparate	1026
Schutzleiten	1026
Einordnung der Präparate	1027

ERSTES BUCH.

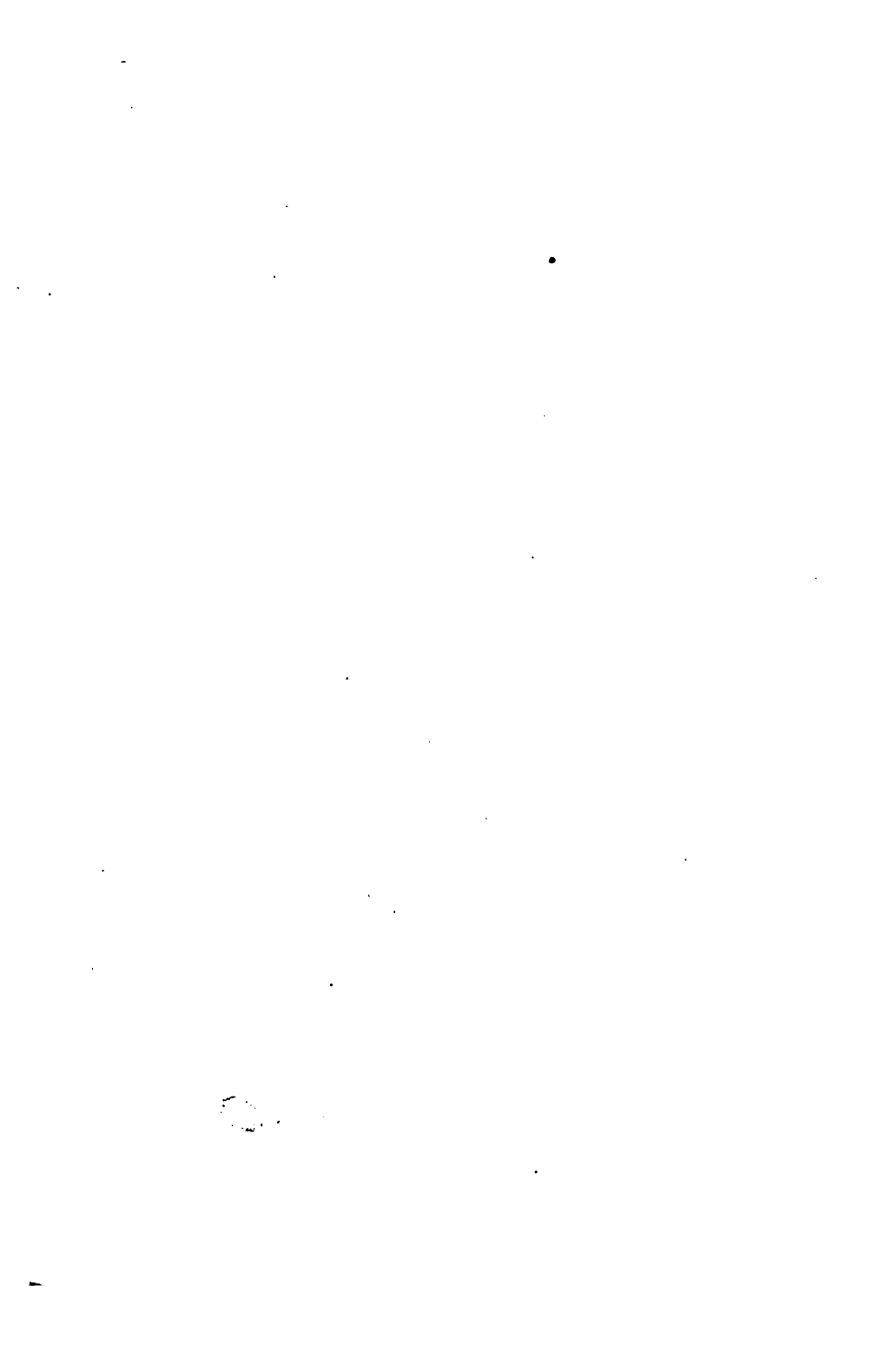
THEORIE

DER

BILDERZEUGUNG

UND DER

BELEUCHTUNG.



Erster Abschnitt.

Geometrische (dioptrische) Gesetze der Abbildung.

Erstes Capitel.

Allgemeine Abbildungsgesetze.

Die dioptrischen Abbildungsvorgänge in dem einfachen wie in dem 1 zusammengesetzten Mikroskope, von denen einstweilen das erstere als einfache Linse, das andere als Verbindung von zwei, um mehr als die Summe ihrer Brennweiten von einander abstehenden Linsen von kleiner Brennweite vorgestellt werden mag, sind eine nothwendige Folge des geradlinigen Verlaufes der Lichtstrahlen im Anschlusse an einige wenige grundlegende, leicht zu entwickelnde Gesetze über die Art ihrer Ablenkung beim Durchgange durch brechende Kugelflächen.

Die Entwicklung dieser für die weiteren Ableitungen als Grundlage dienenden Gesetze ist durch folgende Voraussetzungen bedingt:

1. Die Kugelflächen sind centrirt, d. h. es existirt eine Centrale (optische Achse), auf welcher ihre Scheitel- und Krümmungsmittelpunkte hinter einander liegen.

2. Die Einfallswinkel sind so klein, dass die Lichtstrahlen nahezu senkrecht auf die Kugelflächen treffen.

3. Die Abstände der leuchtenden Punkte von der Achse, wie die Winkel, unter welchen die Lichtstrahlen die letztere schneiden, sind sehr klein, so dass man für deren *Sinus* sowohl sie selbst, resp. ihre Bögen, als ihre *Tangenten* setzen und den Fusspunkt der von dem Einfallspunkt auf die Achse gezogenen Senkrechten (Einfallshöhe) als mit dem Scheitelpunkte der brechenden Fläche zusammenfallend betrachten kann.

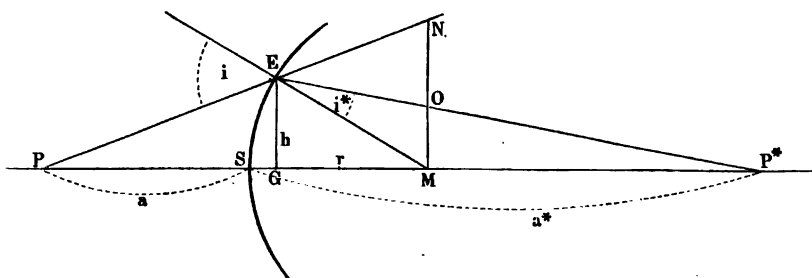
- 2 Verfolgen wir nun zunächst den Weg, welchen ein von einem Punkte der Achse ausfahrender Lichtstrahl nach der Brechung an einer einzigen Kugelfläche (welche als Trennungsfläche zweier hinter einander liegender, verschieden dichter Medien, des „vorderen“ und „hinteren“ Mediums zu betrachten ist) einschlägt, so ergibt sich unter Berücksichtigung dessen, dass Lichtstrahl und Einfallslot stets in derselben, d. h. in der Einfallsebene liegen und das Verhältniss zwischen dem Einfallswinkel und Brechungswinkel durch die Gleichung

$$\frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$$

gegeben ist, Folgendes:

Ist P , Fig. 1, der leuchtende Punkt, von welchem aus der Lichtstrahl PE auf die brechende Fläche trifft, so bildet der Krümmungshalbmesser

Fig. 1.



ME in seiner Verlängerung über E hinaus das Einfallslot, $EG = h$ die Einfallshöhe. Um nun die Richtung des gebrochenen Strahles zu bestimmen, errichtet man in dem Krümmungsmittelpunkte M eine Senkrechte, welche den verlängerten Strahl PE in N schneidet, theilt MN so, dass

$$\frac{MO}{MN} = \frac{n}{n^*} \quad 1)$$

und zieht durch den Theilungspunkt O die Gerade EO , welche die Achse in P^* schneidet. Bezeichnet man die Entfernungen der Punkte P und P^* von dem Scheitel S der brechenden Fläche mit a und a^* , den Krümmungshalbmesser mit r , also PM und P^*M mit $a + r$ und $a^* - r$, so ist, da unter der oben gemachten Voraussetzung ES als mit EG zusammenfallend angesehen werden kann, in den Dreiecken PSE , PMN und P^*SE , P^*MO :

1) Die Abschnitte MO und MN können unter den gemachten Voraussetzungen als mit dem Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels zusammenfallend angesehen werden.

$$1. \frac{a + r}{a} = \frac{MN}{h},$$

$$2. \frac{a^* - r}{a^*} = \frac{MO}{h}$$

und wenn wir 2. durch 1. dividiren:

$$\frac{(a^* - r) a}{(a + r) a^*} = \frac{MO}{MN} = \frac{n}{n^*}$$

also:

$$(a^* - r) a n^* = (a + r) a^* n$$

und daraus nach leichter Umformung:

$$a^* [a \cdot (n^* - n) - nr] = n^* \cdot ar$$

$$a^* = \frac{n^* \cdot ar}{a (n^* - n) - nr}$$

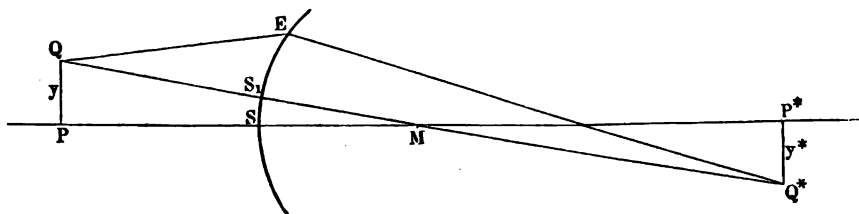
Diese Gleichung lehrt, dass für den dem Eintrittsstrahl PEN zugeordneten gebrochenen Strahl EOP^* die Entfernung seines Achsenchnittes, d. h. des Punktes P^* von dem Scheitel der brechenden Fläche einzig und allein von den Grössen n, n^*, a und r abhängig ist. Da diese Grössen aber für alle von dem Punkte P ausgehenden Eintrittsstrahlen dieselben bleiben, unter welchen Winkeln letztere auch die Achse schneiden, oder in welchem Abstände von der Achse $= h$ sie auch die brechende Kugelfläche treffen mögen, so werden die sämtlichen zugehörigen Austrittsstrahlen die Achse in der gleichen Entfernung von dem Scheitel, d. h. in demselben Punkte P^* schneiden. Mit einem Worte:

Ein von einem Punkte der Achse im vorderen Medium ausfahrendes Strahlenbüschel wird nach der Brechung an der Grenze des hinteren Mediums wieder in der Achse homocentrisch werden. P^* heisst nun der Bildpunkt des leuchtenden oder Objectpunktes P , und beide werden als einander zugeordnete oder conjugirte Punkte bezeichnet. Das vordere Medium kann man sonach den Objectraum, das hintere den Bildraum nennen.

Befindet sich der leuchtende Punkt ausserhalb derjenigen Centralen, welche zuvor als optische Achse angenommen war, z. B. in Q , Fig. 2, so kann man unter den Eingangs gemachten Voraussetzungen den von ihm aus nach dem Krümmungsmittelpunkt zielenden, also senkrecht auf die Kugelfläche treffenden, ungebrochen weiter gehenden Strahl $QS'M$ als Achse betrachten und erhält dann eine der eben entwickelten gleiche Beziehung zwischen Q und Q^* . Die Strahlen eines von Q ausfahrenden Lichtbüschels werden also in dem auf der Centralen QM liegenden Punkte Q^* nach der Brechung wieder vereinigt, dieser letztere Punkt ist der Bildpunkt des ersteren. Damit aber lässt sich der oben abgeleitete Satz dahin erweitern:

Sämmtliche von irgend einem, in kleinem Abstände von der Achse in dem Raume des vorderen Mediums gelegenen, leuchtenden Punkte ausgehenden auf die brechende Kugelfläche treffenden Lichtstrahlen schneiden sich nach der Brechung in dem hinteren Medium in einem einzigen,

Fig. 2.



auf dem Centralstrahl gelegenen Punkte, d. h. homocentrische Lichtbündel des Objectraumes finden nach der Brechung ihre homocentrische Vereinigung in dem Bildraume.

- 3 Legt man durch den Punkt Q (Fig. 2) und ebenso durch den ihm zugeordneten Punkt Q^* zur optischen Achse senkrechte Querschnitte des Object- und Bildraumes QP und Q^*P^* , so sind diese zunächst unter sich parallel. Aus einer der eben gepflogenen ähnlichen Betrachtung ergibt sich dann weiter, dass sämmtliche auf dem ersten Querschnitte liegende Objectpunkte ihre Bildpunkte in dem zweiten Querschnitt haben. Ferner ist in den ähnlichen Dreiecken PQM und P^*Q^*M :

$$\frac{y^*}{y} = \frac{a^* - r}{a + r}$$

und aus dem Vorausgehenden (S. 5):

$$\frac{a^* - r}{a + r} = \frac{n \cdot a^*}{n^* \cdot a}$$

folglich:

$$\frac{y^*}{y} = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{a^*}{a}$$

und wenn wir die Constante $\frac{n}{n^*} \cdot \frac{a^*}{a} = N$ setzen:

$$\frac{y^*}{y} = N.$$

Damit ist aber gegeben:

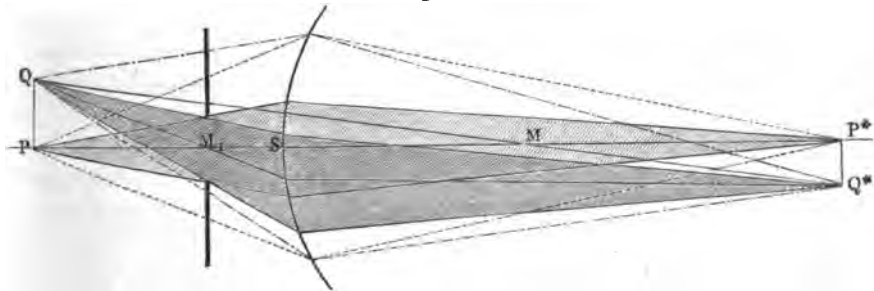
Gesetz 1: Zur Achse senkrechte Querschnitte des Objectraumes werden stets als zu diesen parallele, d. h. zur optischen Achse senkrechte Querschnitte des Bildraumes abgebildet. Beide sind einander zugeordnete (conjugirte) Querschnitte, von denen der erstere als **Objectebene**, der andere als **Bildebene** bezeichnet werden kann; und

Gesetz 2: Innerhalb eines Paares zugeordneter Querschnitte sind die Achsenabstände zweier zugeordneter Punkte proportional, d. h. es besteht für jedes Paar derselben ein bestimmtes Verhältniss der linearen Vergrößerung.

Dass dieses Gesetz auch für solche seitlich der Achse gelegene Strahlenbündel Gültigkeit hat, deren Hauptstrahlen nicht mehr durch den Mittelpunkt der Kugelfläche gehen, sondern sich in irgend einem anderen Punkte, etwa M_1 , kreuzen, was z. B. der Fall ist, wenn die abbildenden Strahlenkegel durch eine beliebig gelegene Oeffnung begrenzt werden, lehrt folgende Betrachtung.

Das durch die Oeffnung bei M_1 begrenzte Strahlenbündel lässt sich auffassen als Theil eines grösseren Bündels, welches einen durch den Krümmungsmittelpunkt M gehenden Centralstrahl besitzt. Wenn

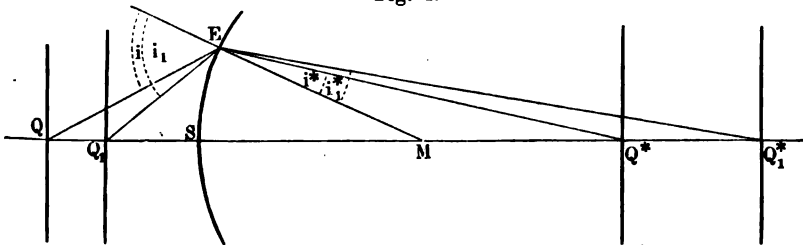
Fig. 3.



nun dieses letztere, wie oben gezeigt wurde, in Q^* seinen Vereinigungspunkt hat, so muss auch das Theilbündel seinen Vereinigungspunkt an derselben Stelle des Mittelstrahles behalten. Hier ist dann aber mit Rücksicht auf die sphärische Abweichung die Bedingung zu stellen, dass der Achsenabstand von Q^* , wie der Durchmesser der Oeffnung bei M_1 , sehr klein seien und auch die Objectpunkte in beträchtlicher Entfernung von M_1 abgebildet werden.

Bewegt sich ein Querschnitt im Objectraume in bestimmter ununterbrochener Aufeinanderfolge auf der Achse, so muss gleichzeitig auch eine Bewegung des zugeordneten Querschnittes im Bildraume und zwar in entsprechender Aufeinanderfolge stattfinden. Rückt z. B. in Fig. 4

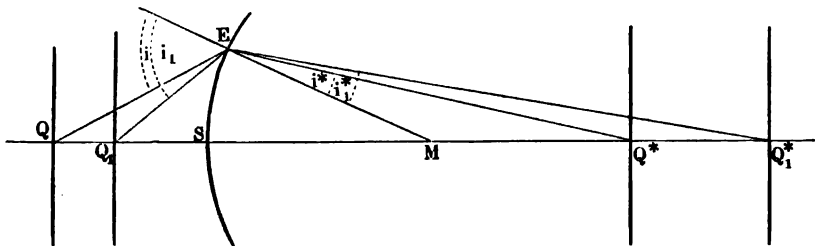
Fig. 4.



8 Erster Abschnitt. Geometrische (dioptrische) Gesetze etc.

die Objectebene auf der Achse von Q nach Q_1 , so wächst der Einfallswinkel der von diesen Punkten aus in E auf die brechende Fläche treffenden Strahlen von i zu i_1 , es muss daher auch der Brechungswinkel von i^* zu i_1^* wachsen und aus geometrischen Gründen $MQ_1^* > MQ^*$ werden, d. h. es muss Q^* auf der Achse in der gleichen Folge wie Q

Fig. 4.



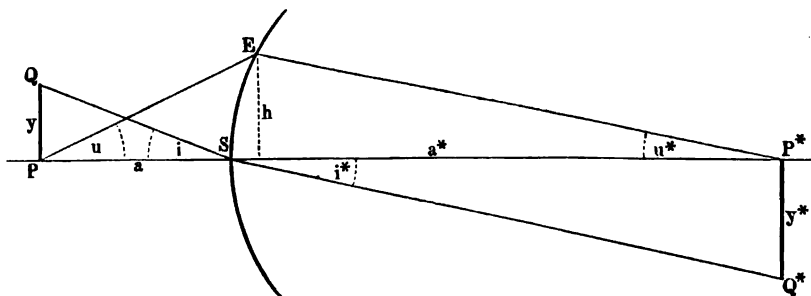
zu Q_1 nach Q_1^* fortrücken. Dasselbe lässt sich auch für die Lage der Bilder auf der anderen Seite, wie für den Fall nachweisen, dass die brechende Fläche ihre concave Seite der Objectebene zukehrt.

Wir leiten daraus ab:

Gesetz 3. Aufeinander folgende Querschnitte im Objectraume (im vorderen Medium) werden in derselben Ordnung der Aufeinanderfolge — niemals in umgekehrter Folge — abgebildet, so lange die Aufeinanderfolge eine stetige ist.

- 5 In der auf Seite 6 entwickelten Gleichung für das Verhältniss der linearen Vergrößerung erschien dieses als abhängig von dem Krümmungshalbmesser und den Abständen der Object- und Bildebene von dem Scheitel der brechenden Fläche. Es steht dasselbe indessen auch noch in Beziehung zu anderen für unsere Betrachtungen wichtigen Grössen.

Fig. 5.



Sind nämlich QP und Q^*P^* , Fig. 5, zwei zugeordnete Querschnitte PE , und EP^* ein Paar zugeordnete Strahlen mit den Convergenzwinkeln u und u^* , QS ein nach dem Scheitelpunkte zielender, SQ^* der zugeord-

nete gebrochene Strahl, a und a^* die Abstände der Object- und Bildebene, h die Einfallshöhe des Strahles PE , so ist:

$$1. y = a \cdot \operatorname{tg} i, \quad 2. y^* = a^* \cdot \operatorname{tg} i^*$$

$$3. \operatorname{tg} u = \frac{h}{a}, \quad 4. \operatorname{tg} u^* = \frac{h}{a^*}$$

und wenn wir 2. durch 1. und 4. durch 3. dividiren:

$$5. \frac{y^*}{y} = \frac{a^* \cdot \operatorname{tg} i^*}{a \cdot \operatorname{tg} i}$$

$$6. \frac{\operatorname{tg} u^*}{\operatorname{tg} u} = \frac{a}{a^*}$$

woraus durch Multiplication von 5. und 6.

$$7. \frac{y^* \cdot \operatorname{tg} u^*}{y \cdot \operatorname{tg} u} = \frac{\operatorname{tg} i^*}{\operatorname{tg} i}$$

und da, so lange die Voraussetzungen zutreffen, unter denen überhaupt Bilder entstehen,

$$\frac{\operatorname{tg} i^*}{\operatorname{tg} i} = \frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$$

gesetzt werden kann:

$$8. \frac{y^*}{y} \cdot \frac{\operatorname{tg} u^*}{\operatorname{tg} u} = \frac{n}{n^*}$$

Diese Gleichung sagt:

Gesetz 4. Das Product aus dem Verhältnisse der linearen Vergrößerung für jedes Paar von zugeordneten Querschnitten und dem Verhältnisse der Convergenzwinkel zugeordneter Strahlenbüschel ist gleich dem Verhältnisse der Brechungsexponenten der hinter einander liegenden Medien.

Die in dem Voranstehenden für nur eine brechende Kugelfläche entwickelten vier Abbildungsgesetze lassen sich nun leicht und ohne Weiteres auf ein System centrirter Kugelflächen übertragen und als auch für ein solches gültig erweisen.

Die vor und nach der Brechung an der ersten Kugelfläche homocentrischen Strahlenbüschel können nämlich (gemäss der Betrachtung auf Seite 7) bei ihrem Auftreffen auf die zweite Kugelfläche als Theile solcher Büschel aufgefasst werden, welche in ihren Mittelstrahlen durch den Krümmungsmittelpunkt dieser letzteren geführt werden, und so fort für jede weiter hinzutretende Fläche. Demgemäss bleibt für ein System brechender Flächen der Parallelismus der zur Achse senkrechten Bildebenen, sowie die Proportionalität der Achsenabstände, d. h. das Verhältniss der linearen Vergrößerung in jeder derselben von Brechung zu Brechung bestehen. In gleicher Weise muss sich die Gleichsinnig-

10 Erster Abschnitt. Geometrische (dioptrische) Gesetze etc.

keit der Aufeinanderfolge von Object- und Bildebene von Brechung zu Brechung erhalten.

Das vierte Gesetz über die Beziehung zwischen dem Verhältnisse der linearen Vergrößerung und dem Verhältnisse der Convergenzwinkel zugeordneter Strahlenbüschel kann gleichfalls auf beliebig viele Brechungen ausgedehnt werden. Bezeichnen wir nämlich mit $n, n_1, n_2, \dots, n_{m-1}, n_m, n^*$ die Brechungsexponenten der aufeinander folgenden Medien, wobei n und n^* diejenigen für den Object- und Bildraum vorstellen, so ist für eine beliebige Anzahl von Brechungen:

$$\frac{n}{n_1} \times \frac{n_1}{n_2} \times \dots \times \frac{n_{m-1}}{n_m} \times \frac{n_m}{n^*} = \frac{n}{n^*}$$

Andererseits ergibt die Multiplication der den aufeinanderfolgenden Quotienten $\frac{n}{n_1}, \frac{n_1}{n_2} \dots$ gleichwerthigen Ausdrücke $\frac{y^*}{y} \cdot \frac{tg u^*}{tg u}$ für die sämtlichen einzelnen brechenden Flächen als Resultat die Gleichung

$$\frac{y^*}{y} \cdot \frac{tg u^*}{tg u}$$

worin sich nun y und u auf das erste Medium vor der ersten y^* und u^* auf das letzte Medium hinter der letzten brechenden Fläche beziehen.

Denn da y und u für jede nachfolgende Fläche identisch sind mit y^* und u^* für die vorangehende Fläche, so müssen sich bei der Bildung des obigen Productes die sämtlichen zwischenliegenden y und u, y^* und u^* bis auf die dem ersten und dem letzten Medium zugehörigen, gegenseitig aufheben. Daraus folgt, dass die oben abgeleitete Beziehung

$$\frac{y^*}{y} \cdot \frac{tg u^*}{tg u} = \frac{n}{n^*}$$

bestehen bleibt, welche nach dem Vorausgehenden auch ausgedrückt werden kann durch:

$$N \cdot \frac{tg u^*}{tg u} = \frac{n}{n^*}$$

oder

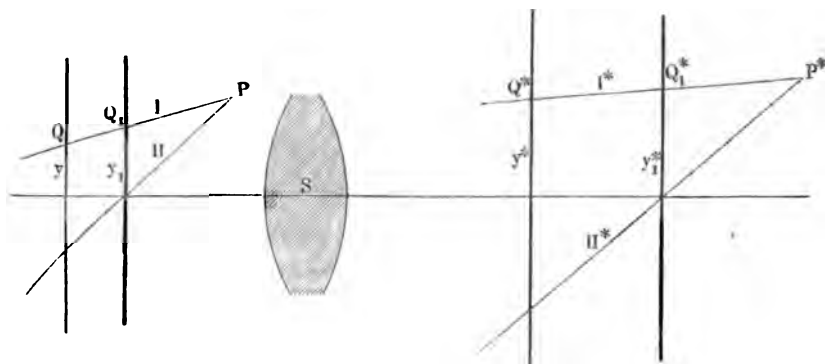
$$\frac{tg u^*}{tg u} = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}.$$

Unter Zugrundelegung der vier oben entwickelten Gesetze lassen sich nach der von Porfessor Abbe erdachten, ebenso leicht verständlichen als übersichtlichen, von den üblichen Methoden der Behandlung optischer Systeme abweichenden Methode alle Abbildungsvorgänge durch Linsen und Linsensysteme in allgemeingültiger Weise als mathematisch

nothwendige Folge der Geradlinigkeit der Lichtstrahlen ableiten, ohne dass dabei auf noch **anderweitige** Gesetze der Lichtbrechung oder auf die **Wirkungsweise** kugelförmiger Flächen weitere Rücksicht genommen **zu werden braucht** ¹⁾.

Ist S , Fig. 6, irgend ein Linsensystem und es wird der Querschnitt Q mit einem bestimmten Vergrößerungsverhältniss $\frac{y^*}{y} = N$ in Q^* und

Fig. 6.



gleichzeitig der Querschnitt Q_1 mit einem anderen bestimmten Vergrößerungsverhältniss $\frac{y_1^*}{y_1} = N_1$ in Q_1^* abgebildet, so ist jeder eintretende

Strahl I durch einen Punkt in Q und einen zweiten Punkt in Q_1 , also der zugeordnete Strahl I^* durch die zugeordneten Punkte in Q^* und Q_1^* bestimmt. Nun kann jeder beliebig gelegene Punkt P im Objectraum angesehen werden als der Durchschnittspunkt von zwei solchen Strahlen I und II und es muss sich dessen zugeordneter Punkt im Bildraum ergeben in dem Durchschnittspunkte P^* der zugeordneten Strahlen I^* und II^* . Somit ist die ganze Abbildung bestimmt, sobald die Abbildung von nur je zwei Querschnitten im Object- und Bildraum bestimmt ist und es lässt sich dieselbe ebensowohl durch Construction als durch Rechnung ableiten.

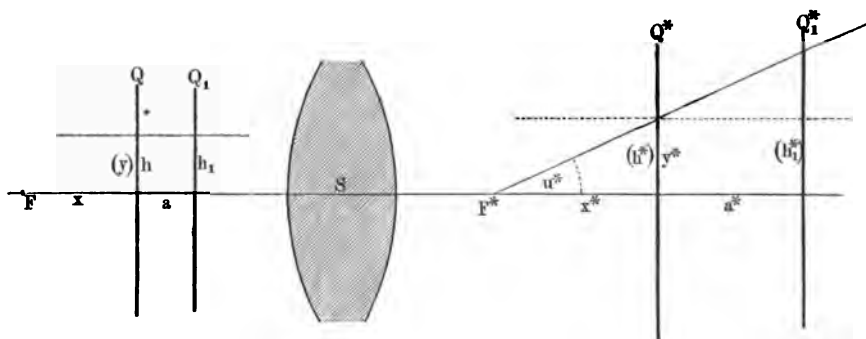
Seien für irgend ein brechendes System S , Fig. 7 (a. f. S.), die Lage S von $Q, Q_1; Q^*, Q_1^*$ sowie die entsprechenden Vergrößerungsverhältnisse N und N_1 gegeben und es schneide ein parallel zur Achse eintretender Strahl die Querschnitte Q und Q_1 in der gleichen Höhe y , so muss derselbe die Querschnitte Q^* und Q_1^* schneiden in den Höhen $y^* = N \cdot y$ und $y_1^* = N_1 \cdot y$.

¹⁾ Die Idee einer rein geometrischen Bestimmbarkeit aller allgemeinen Gesetze der Linsensysteme rührt von Möbius her.

12 Erster Abschnitt. Geometrische (dioptrische) Gesetze etc.

Der Durchschnittspunkt des hierdurch bestimmten Austrittsstrahles mit der Achse ist demgemäss bestimmt durch den Abstand von F^* zu

Fig. 7.



$Q^* = x^*$. Wird ferner der Abstand zwischen den Querschnitten Q^* und Q_1^* mit a^* bezeichnet, so ist wegen Aehnlichkeit der Dreiecke:

$$\frac{x^*}{a^*} = \frac{y^*}{y_1^* - y^*}$$

und da

$$y^* = N \cdot y, \quad y_1^* = N_1 \cdot y$$

$$x^* = \frac{N}{N_1 - N} \cdot a^*$$

Betrachten wir jetzt ebenso einen Strahl, welcher in der Höhe y^* in dem Bildraum parallel zur Achse verläuft und verfolgen denselben auf seinem Wege in dem Objectraum, indem wir den Abstand von F zu Q mit x , von Q zu Q_1 mit a bezeichnen und

$$y = \frac{y^*}{N}, \quad y_1 = \frac{y_1^*}{N_1}$$

setzen, so ergibt sich:

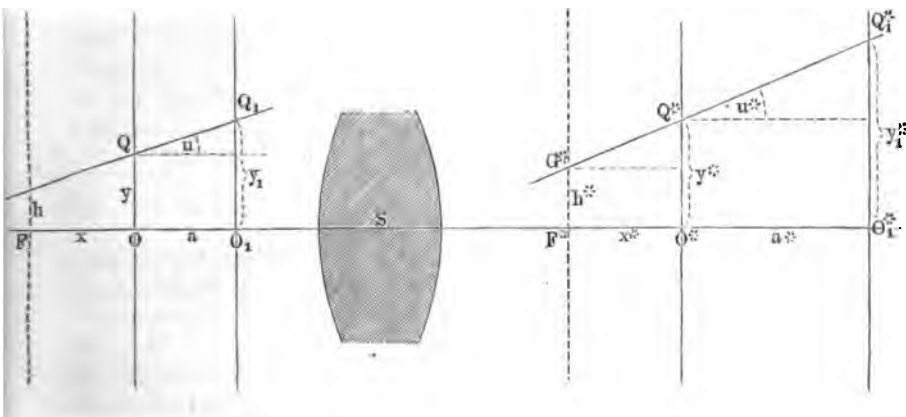
$$x = \frac{1}{\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N}} \cdot a$$

Da nun x^* von y und x von y^* unabhängig bleibt, also F und F^* immer dieselben Achsenpunkte bilden würden, in welcher Höhe auch die Parallelstrahlen die betreffenden Querschnitte schneiden, so beweisen die obigen Gleichungen die Existenz von Vereinigungspunkten der aus dem Bild- oder dem Objectraum parallel zur Achse in das System eintretenden Strahlencylinder, d. h. die Existenz von Brennpunkten F

und F^* auf der Achse und bestimmen deren Oerter auf der letzteren¹⁾.

Stellt nun weiter $Q Q_1$, Fig. 8, irgend einen nicht parallelen Strahl 9 vor, welcher im Objectraum die Achse unter dem Winkel u schneidet, wäh-

Fig. 8.



rend der zugeordnete Strahl $Q^* Q_1^*$ in dem Bildraum einen Winkel u^* mit der Achse bildet, so lassen sich jetzt die Schnitthöhen h und h^* bestimmen, welche diese beiden Strahlen in der durch die beiden voranstehend bestimmten Punkte F und F^* gelegten, zur Achse senkrechten Ebene ergeben. Es ist nämlich:

$$\frac{y^* - h^*}{y_1^* - y^*} = \frac{x^*}{a^*}$$

und da nach dem Vorausgehenden

$$\frac{x^*}{a^*} = \frac{N}{N_1 - N}$$

$$\frac{y^* - h^*}{y_1^* - y^*} = \frac{N}{N_1 - N}$$

oder

$$\frac{N \cdot y - h^*}{N y_1 - N y} = \frac{N}{N_1 - N}$$

¹⁾ Dieser Schluss, sowie die sämtlichen folgenden Entwicklungen setzen allerdings stillschweigend voraus, dass in dem betrachteten Systeme die linearen Vergrößerungen N und N_1 für zwei Querschnitte immer ungleich sind, denn wenn diese gleich würden, würden x^* und x unbestimmt und es existirten keine Brennpunkte mehr. Obwohl nun dieser Fall eintreten kann und dann eine besondere Klasse von optischen Systemen — die sogenannten teleskopischen Systeme — kennzeichnet, so soll doch hier von einer Betrachtung abgesehen werden, weil diese Systeme für das Mikroskop von zu untergeordneter Bedeutung sind.

woraus

$$\begin{aligned} N(N_1 - N)y - (N_1 - N)h^* &= N \cdot N_1 y_1 - N^2 y \\ N \cdot N_1 y - N^2 y - (N_1 - N)h^* &= N \cdot N_1 y_1 - N^2 y \\ (N - N_1)h^* &= N N_1 (y_1 - y) \\ h^* &= \frac{N \cdot N_1}{N - N_1} \cdot (y_1 - y) \end{aligned}$$

Nun ist aber:

$$(y_1 - y) = a \cdot \operatorname{tg} u.$$

folglich:

$$h^* = \frac{N \cdot N_1}{N - N_1} \cdot a \cdot \operatorname{tg} u$$

oder

$$\frac{h^*}{\operatorname{tg} u} = \frac{N \cdot N_1}{N - N_1} \cdot a$$

In gleicher Weise findet man, indem man von den Bestimmungsstücken des Strahles $Q^* Q_1^*$ ausgehend h durch u^* ausdrückt, die Beziehung:

$$h = \frac{a^*}{N_1 - N} \cdot \operatorname{tg} u^*$$

oder

$$\frac{h}{\operatorname{tg} u^*} = \frac{a^*}{N_1 - N}$$

Da nun die für die beiden Quotienten $\frac{h^*}{\operatorname{tg} u}$ und $\frac{h}{\operatorname{tg} u^*}$ erhaltenen Ausdrücke nur unveränderliche Grössen enthalten, so sind diese Quotienten selbst für alle Strahlen dieselben und ihre Werthe können demnach benutzt werden, um — wie das Folgende zeigen wird — die Wirkungsweise des vorausgesetzten Systems selbstständig zu bestimmen. Zunächst ergeben die erhaltenen beiden Gleichungen als allgemeine Eigenschaft eines jeden optischen Systemes den Satz:

Für alle durch ein solches System hindurchtretende Strahlen besteht ein constantes Verhältniss: 1. zwischen der Schnitthöhe des im Objectraum verlaufenden Strahles in der durch den Brennpunkt F gelegten Ebene und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles im Bildraume, und 2. zwischen der Schnitthöhe des Strahles im Bildraume in der durch den Brennpunkt F^* gelegten Ebene und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles im Objectraume.

Aus diesem Satze lassen sich dann sofort zwei wichtige Folgesätze ableiten:

1. Da den obigen Gleichungen zufolge h^* nur von u , nicht auch von h abhängt, so wird die durch F^* gelegte Ebene von allen Strahlen, welche im Objectraum den Winkel u mit der Achse bilden, nach deren

Uebertritt in den Bildraum in ein- und demselben Abstände von der Achse, d. h. in ein und demselben Punkte (G^* Fig. 8) geschnitten und alle Strahlen, welche in dem Objectraum durch ein- und denselben Punkt der Ebene F hindurchgehen, verlaufen im Bildraume unter demselben Winkel u^* zur Achse, stellen also daselbst ein parallelstrahliges Bündel dar. Demnach gewinnen die oben betrachteten durch die Punkte F und F^* gelegten Ebenen — die Brennebenen des optischen Systemes — die allgemeine Bedeutung, dass in ihnen alle Strahlen zur Vereinigung kommen, welche in dem anderen Medium als parallelstrahlige Bündel (Strahlencylinder) verlaufen, d. h. von unendlich entfernten Punkten dieses anderen Mediums ausgehen, oder nach solchen hinziehen.

2. Die für jedes optische System sich ergebenden Zahlenwerthe für die voranstehenden Quotienten $\frac{h^*}{tg u}$ und $\frac{h}{tg u^*}$ bestimmen für dieses System das Verhältniss zwischen dem Neigungswinkel eines parallelstrahligen Bündels in dem einen Medium und dem Achsenabstand seines Vereinigungspunktes in der Brennebene des anderen Mediums. Insofern man nun den Neigungswinkel eines Strahlencylinders ansehen kann als die (halbe) scheinbare Grösse eines unendlich entfernten Objectes, von dessen Endpunkten die fraglichen Strahlen ausgehen, und den Achsenabstand des Vereinigungspunktes in der Brennebene als die (halbe) lineare Grösse des Bildes von diesem Objecte, lassen sich jene Quotienten auch auslegen als das Verhältniss zwischen der Tangente des halben Schwinkels eines unendlich entfernten Objectes und der halben Bildgrösse desselben in der Brennebene des anderen Mediums.

3. Bei der grundlegenden Bedeutung der im Voranstehenden nachgewiesenen Constanten für die weitere Bestimmung der Abbildungsverhältnisse erscheint es gerechtfertigt, für ihre Werthe besondere Zeichen und Benennungen auszuführen. Wir setzen demgemäss

$$\frac{h^*}{tg u} = f \text{ und } \frac{h}{tg u^*} = f^*$$

und nennen diese Werthe die Brennweiten des optischen Systemes für den Objectraum und für den Bildraum, oder die vordere und hintere Brennweite. Diese Begriffe sind nun dem Vorausgehenden zufolge allgemein zu erklären:

Als die Verhältnisse zwischen der Schnitthöhe eines beliebigen, durch das optische System tretenden Strahles in einer der Brennebenen und dem Neigungswinkel des zugeordneten Strahles in dem anderen Medium und insbesondere, als das Verhältniss zwischen der halben Bildgrösse eines unendlich entfernten Objectes zur Tangente des halben Schwinkels, unter welchem dieses Object im anderen Medium erscheint.

- 10 Gemäss der vorausgehend entwickelten Formeln und Begriffserklärungen sind die allgemeinen Gesetze jeder dioptrischen Abbildung enthalten in den beiden Grundgleichungen

$$\text{I. } x x^* = f f^*$$

oder

$$x^* = \frac{f \cdot f^*}{x} \text{ und}$$

$$\text{II. } \frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = \frac{x^*}{f^*}$$

wobei die Abstände auf der Achse in jedem Medium von dem Orte der Brennebene, d. h. von dem Brennpunkte dieses Mediums an gerechnet werden, und zwar positiv in der Richtung des auf der Achse laufenden Strahles, negativ in der entgegengesetzten Richtung.

Die Gleichung I. stellt die Beziehung dar zwischen den Abscissen zugeordneter (conjugirter) Punkte auf der Achse, oder zwischen den Oertern zugeordneter zur Achse senkrechter Ebenen, die Gleichung II. das Verhältniss der linearen Vergrösserung (Lateralvergrösserung) für jedes Paar zugeordneter Ebenen. Beide zusammen schliessen die vollständige Bestimmung der Abbildung ein, da die Coordinaten x^* und y^* des Bildpunktes aus den Coordinaten x und y des Objectpunktes allgemeingültig abgeleitet werden können.

Die Ableitung beider Grundgleichungen ergibt sich leicht, da nach den vorausgehenden Formeln für jedes System brechender Kugelflächen die Oerter der Brennpunkte F und F^* nebst den Werthen der Brennweiten f und f^* aus den vorausgesetzten Daten N , N_1 und a , a^* jedenfalls bestimmbar sind. Denkt man sich dieselben als bereits bestimmt, so kann man von den Querschnitten Q , Q_1 ; Q^* , Q_1^* , wie von den N und den a ganz absehen, indem man die weitere Bestimmung des Abbildungsverhältnisses unmittelbar auf die Punkte F und F^* und die Werthe von f und f^* gründet.

Seien z. B. für irgend ein Linsensystem S , Fig. 9, die Oerter der Brennpunkte F und F^* und ebenso die Werthe von f und f^* gegeben, so kann man irgend einen Punkt $P(x, y)$ im Objectraume bestimmt denken als Durchschnittspunkt der beiden Strahlen I. und II., von denen der erstere parallel zur Achse verläuft, der andere von dem Brennpunkte F ausgeht, und den zugeordneten Bildpunkt aufsuchen, indem man den Durchschnittspunkt $P^*(x^*, y^*)$ der zugeordneten Strahlen I^* und II^* ermittelt. Aus der obigen Definitionsgleichung für f und f^* ergibt sich, wenn y für h und y^* für h^* gesetzt wird:

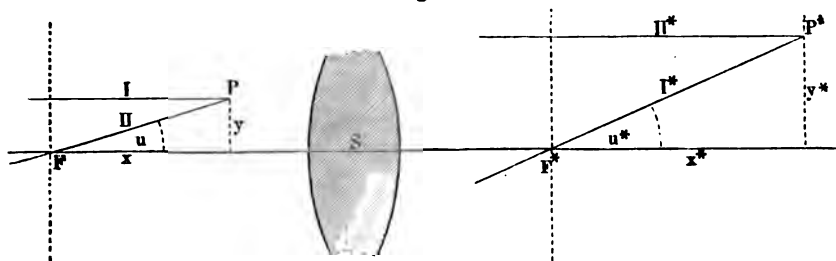
$$y^* = f \cdot \operatorname{tg} u$$

und da

$$\operatorname{tg} u = \frac{y}{x}$$

$$1. \quad y^* = \frac{f}{x} \cdot y;$$

Fig. 9.



oder

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x}$$

ferner ist:

$$\operatorname{tg} u^* = \frac{y^*}{x^*}$$

und

$$\operatorname{tg} u^* = \frac{y}{f^*} \quad (\text{da } y = f^* \cdot \operatorname{tg} u^*)$$

folglich

$$\frac{y^*}{x^*} = \frac{y}{f^*}$$

und durch Vertauschung der Glieder

$$2. \quad \frac{y^*}{y} = \frac{x^*}{f^*}$$

Die Gleichungen 1. und 2. ergeben nun

$$\text{I.} \quad \frac{x^*}{f^*} = \frac{f}{x} \quad \text{oder} \quad x x^* = f f^*$$

und

$$\text{II.} \quad \frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = \frac{x^*}{f^*} \quad \text{oder} \quad N = \frac{f}{x} = \frac{x^*}{f^*}$$

Aus den beiden Grundgleichungen folgen noch als in ihnen enthalten zwei wichtige Hülfsätze:

1. Das Convergenzverhältniss der zugeordneten Strahlen:

$$\frac{\operatorname{tg} u^*}{\operatorname{tg} u} = - \frac{x}{f^*} = - \frac{f}{x^*}$$

und

2. Das Verhältniss der Axialvergrößerung (Tiefenvergrößerung) an zugeordneten Stellen der Achse ¹⁾:

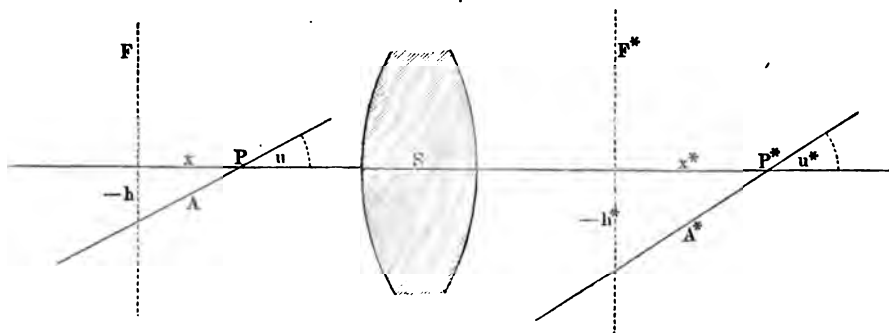
$$\frac{d^*}{d} = - \frac{x^*}{x}$$

Dieselben ergeben sich aus folgenden Betrachtungen: Sind PP^* , Fig. 10, irgend zwei zugeordnete Punkte der Achse in dem Abstände x und x^* von den bezüglichen Brennebenen, ferner u und u^* die Neigungswinkel der zugeordneten Strahlen A und A^* , welche von diesen Punkten ausgehen, so ist:

$$h = -x \cdot \operatorname{tg} u$$

und der Ausdruck $\operatorname{tg} u^* = \frac{h}{f^*}$ (S. 12) geht über in

Fig. 10.



$$\operatorname{tg} u^* = - \frac{x}{f^*} \cdot \operatorname{tg} u$$

ferner ist

$$\operatorname{tg} u^* = - \frac{h^*}{x^*} = - \frac{f}{x^*} \cdot \operatorname{tg} u \quad (\text{da } h^* = f \cdot \operatorname{tg} u \text{ S. 12})$$

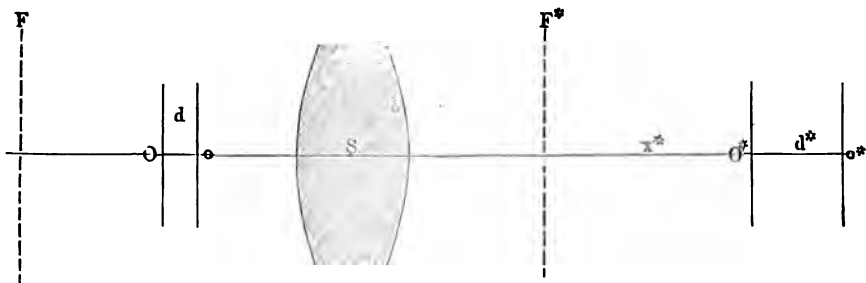
folglich

$$\text{III.} \quad \frac{\operatorname{tg} u^*}{\operatorname{tg} u} = - \frac{x}{f^*} = - \frac{f}{x^*}$$

¹⁾ Bei allen diesen und den folgenden Entwicklungen ist auf das Vorzeichen der Grössen y und y^* , h und h^* , u und u^* in derselben Weise Rücksicht zu nehmen, wie es in den Entwicklungen der analytischen Geometrie geschieht. Nachdem also eine Richtung — z. B. die Richtung nach oben — als die positive Richtung der y festgesetzt ist, muss jeder Abstand y und jede Schnitthöhe h als negative Grösse eingeführt werden, wenn die betreffende Abmessung von der Achse aus nach unten liegt. Im Anschlusse hieran muss ein Winkel u mit positivem Vorzeichen eingeführt werden, wenn die Drehung aus der positiven Richtung der x -Achse in die Richtung der betreffenden Graden im Sinne des Ueberganges (von der $+x$ -Achse) zur positiven y Richtung geschieht und mit negativem Vorzeichen im anderen Falle.

Ist ferner $O^*o^* = d^*$ (Fig. 11) die Strecke, um welche sich der Bildpunkt längs der Achse verschiebt, wenn man im Objectraum um die Strecke $Oo = d$ fortschreitet, so ist nach Gleichung I. gleichzeitig

Fig. 11.



$$1. \quad x \cdot x^* = f \cdot f^*$$

und

$$(x + d)(x^* + d^*) = f \cdot f^*$$

oder

$$2. \quad x x^* + d^* x + d x^* + d d^* = f \cdot f^*$$

und 1. von 2. abgezogen

$$d^* x + d x^* + d d^* = 0$$

$$d^* (x + d) = -d x^*$$

$$\frac{d^*}{d} = -\frac{x^*}{x + d}$$

Hieraus ist ersichtlich, dass für beliebig genommene d kein bestimmtes, d. h. von d unabhängiges Verhältniss herauskömmt. Bringt man aber die Gleichung auf die Form

$$\frac{d^*}{d} = -\frac{x^*}{x \left(1 + \frac{d}{x}\right)}$$

oder

$$\frac{d^*}{d} = -\frac{x^*}{x} \cdot \frac{x}{x + d}$$

und bemerkt, dass für abnehmende d der Quotient $\frac{d}{x}$ mehr und mehr

$= 0$, also der Quotient $\frac{x}{x + d}$ mehr und mehr $= 1$ wird, so findet

man

$$IV. \quad \frac{d^*}{d} = -\frac{x^*}{x} = -\frac{f f^*}{x^2}$$

als das Verhältniss unendlich kleiner Verschiebungen oder der Axialvergrößerung, wobei das negative Vorzeichen ausdrückt, dass x

und x^* stets entgegengesetzt sein müssen, wenn die Verschiebungen gleichsinnig sind.

- 12 Durch Verbindung der Gleichungen III. und II. und IV. und II. erhält man noch

ferner
$$\frac{tgu^*}{tgu} \times \frac{y^*}{y} = -\frac{f}{f^*} = \frac{n}{n^*} \text{ 1) (III. und II.)}$$

$$\frac{d^*}{d} \times \frac{y^*}{y} = -\frac{ff^*}{x^2} \cdot \frac{f}{x} \text{ (IV. und II.)}$$

und in dem man links $\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x}$ und rechts jedes $\frac{f}{x} = \frac{y^*}{y}$ setzt:

$$\frac{d^*}{d} \cdot \frac{f}{x} = -\left(\frac{y^*}{y}\right)^2 \cdot \frac{f^*}{x}$$

woraus

$$\frac{d^*}{d} = -\frac{n^*}{n} \cdot \left(\frac{y^*}{y}\right)^2 \frac{f^*}{f} = \frac{n^*}{n} \left(\frac{y^*}{y}\right)^2$$

oder

$$\frac{d^*}{d} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$$

als unabhängige Beziehungen zwischen Convergenzverhältniss und Lateralvergrösserung und zwischen Axial- und Lateralvergrösserung.

Dieses Resultat stellt als eine allen optischen Systemen gemeinsame Eigenschaft fest, dass die Axialvergrösserung an jeder Stelle der Achse dem Quadrat der an derselben Stelle bestehenden Lateralvergrösserung (und ausserdem auch dem Verhältniss der Brechungsindices des vorderen und hinteren Mediums) proportional ist.

- 13 Die Oerter der Brennebenen bilden die einzigen, durch unmittelbare Beobachtung sicher zu ermittelnden Stellen der Achse, und das Verhältniss zwischen der trigonometrischen Tangente des Schwinkels und der Bildgrösse eines unendlich entfernten Gegenstandes ist gleichfalls unmittelbar experimenteller Bestimmung zugänglich. Es schliessen sich somit die voranstehenden Entwicklungen ohne Weiteres und ohne Herbeiziehung ideeller Punkte und Ebenen an die beobachtbaren Elemente eines optischen Systemes an, und die Benutzung dieser Elemente zur Bestimmung der Abbildung führt zugleich auf die einfachsten Formen, in welchen sich die Gesetze der Abbildung überhaupt darstellen lassen. Auf der anderen Seite lassen sich aber auch aus ihnen die seit Gauss üblichen Begriffsbestimmungen der Brennweiten

1) Die Gleichung (III. und II.) enthält zugleich die später noch näher in Betracht kommende Beziehung

$$\frac{f}{f^*} = -\frac{n}{n^*}$$

und Cardinalpunkte sowie die gewöhnlich gebrauchten Formeln über die Beziehungen zwischen den Coordinaten der Object- und Bildpunkte ableiten.

Setzt man z. B. in Gleichung II. $x = f$ und $x^* = f^*$, so wird

$$\frac{y^*}{y} = 1$$

d. h. wir erhalten in den Abständen f und f^* von den bezüglichen Brennebenen in zwei zur Achse senkrechten Querschnitten gleiche, gleichgerichtete Bilder; erstere stellen also die sogenannten „Hauptebenen“, und ihre Schnittpunkte mit der Achse die „Hauptpunkte“ dar, wonach nun f und f^* als die Entfernungen der Hauptpunkte von den bezüglichen Brennpunkten zu definiren sind.

Wird ferner in Gleichung III. $x = -f^*$, $x^* = -f$, so folgt:

$$\frac{tg u^*}{tg u} = 1$$

d. h. die Winkel, unter welchen die zugeordneten Strahlen die Achse schneiden, sind einander gleich und die Schnittpunkte bestimmen die Punkte gleichen Strahlendurchganges oder die „Knotenpunkte“.

Aus der Gleichung I. ergibt sich zunächst in einfacher Weise die von Helmholtz zuerst aufgestellte Gleichung zwischen den Abständen von einem zugeordneten Punkte zu einem anderen und daraufhin dann die gebräuchliche Gleichung der Beziehung zwischen zwei zugeordneten Punkten der Achse, wenn diese durch ihre Abstände von den Hauptpunkten bestimmt sind.

Sind nämlich in Fig. 12 (a. f. S.) x und x^* die Abscissen von P und P^* , z und z^* die Abstände der Punkte P , P_1 und der ihnen zugeordneten Punkte P^* , P_1^* , so ist nach I

$$(x + z) \cdot (x^* + z^*) = ff^*$$

$$xx^* + x^*z + xz^* + zz^* = ff^*$$

und

$$xx^* = ff^*$$

also

$$x^*z + z^*x + zz^* = 0$$

und nach Division mit zz^*

$$\frac{x^*}{z^*} + \frac{x}{z} = -1$$

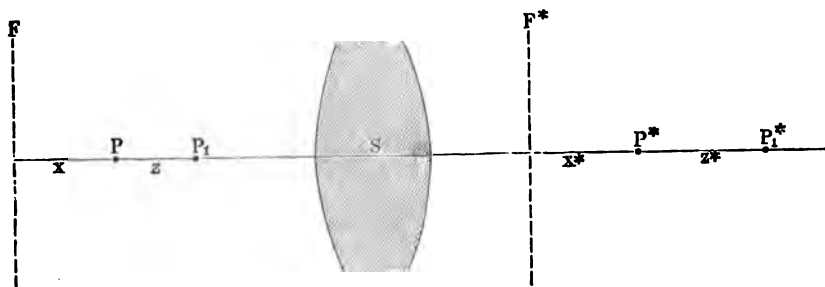
und wenn $x = f$ und $x^* = f^*$ gesetzt, also für P und P^* die Hauptpunkte eingeführt werden

$$\frac{f^*}{z^*} + \frac{f}{z} = -1$$

wobei auf der rechten Seite nur deshalb das negative Vorzeichen auftritt, weil bei der hier gebrauchten Bestimmung von f und f^* diese

Größen nicht die Abstände der Brennpunkte von den Hauptpunkten, sondern diejenigen der Hauptpunkte von den Brennpunkten bedeuten.

Fig. 12.



- 14 Die bisher durchgeführten Entwicklungen ergeben sich als nothwendige Folgerungen der Eingangs unter 1. und 2. abgeleiteten Gesetze über die allgemeine Beschaffenheit der Abbildung mittelst irgend eines optischen Systems, ohne Rücksicht auf die nähere Bestimmung dieser Beschaffenheit. Die letztere wird erst durch die unter 3. und 4. gewonnenen Gesetze aufgestellt. Berücksichtigen wir dieselben nun nachträglich, so ergeben sich folgende Sätze:

1. Bei allen rein dioptrischen Abbildungen müssen, so lange die obige Form der Gleichung I. festgehalten wird, x und x^* stets entgegengesetzte Vorzeichen haben, d. h. die einander zugeordneten Punkte P und P^* müssen stets auf entgegengesetzten Seiten der betreffenden Brennebenen liegen, damit die Bewegung des Objectpunktes auf der Achse stets einer Bewegung des Bildpunktes in gleichem Sinne entspreche. Das Product ff^* muss also auch stets einen negativen Werth, d. h. f und f^* müssen entgegengesetzte Vorzeichen haben.

Eine eigenthümliche Unstetigkeit der Abbildung tritt in der Nähe jeder Brennebene ein: Wenn nämlich x von negativen Werthen durch Null zu positiven übergeht, d. h. wenn der Objectpunkt von der linken Seite der Brennebene auf die rechte übertritt, dann springt x^* von positiven Werthen durch Unendlich zu negativen Werthen über, d. h. der Bildpunkt rückt ins Unendliche auf der positiven Seite und kommt dann wieder aus dem Unendlichen auf der negativen Seite heran.

Nach dem unter 4. ausgesprochenen für jede durch ein Linsensystem entstandene Abbildung giltigen Gesetze ist

$$\frac{tg u^* \cdot y^*}{tg u \cdot y} = \frac{n}{n^*}$$

ferner nach den auf S. 16 und 17 entwickelten allgemeinen Gesetzen:

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} \quad \text{und} \quad \frac{tgu^*}{tgu} = -\frac{x}{f^*}$$

daher die linke Seite der voranstehenden Gleichung $= -\frac{f}{f^*}$, also auch:

$$\frac{f}{f^*} = -\frac{n}{n^*} \quad \text{oder} \quad f^* = -\frac{n}{n^*} \cdot f$$

und daraus folgt

2. Bei allen dioptrischen Abbildungen ist das Verhältniss der beiden Brennweiten gleich dem negativ genommenen Verhältniss aus den Brechungsexponenten der bezüglichen Medien.

Unter Berücksichtigung dieser besonderen, aus den Gesetzen der Lichtbrechung sich ergebenden Beziehung gehen die auf S. 16 und 17 entwickelten allgemeinen Abbildungsgesetze für die durch Linsensysteme erzeugten Abbildungen in die speciellere Form über:

$$\begin{aligned} xx^* &= -\frac{n^*}{n} \cdot f^2 \\ \frac{y^*}{y} &= \frac{f}{x} = -\frac{n}{n^*} \cdot \frac{x^*}{f} \\ \frac{tgu^*}{tgu} &= \frac{n}{n^*} \cdot \frac{x}{f} = -\frac{f}{x^*} \end{aligned}$$

durch welche Gleichungen nun Alles von nur einer Brennweite (nämlich derjenigen für das vordere Medium geltenden) und von dem Verhältnisse der beiden Brechungsindices vor und hinter dem System abhängig gemacht ist.

Gemäss dieser näheren Bestimmung des allgemein möglichen 15
Abbildungsverhältnisses lässt sich die ganze Mannigfaltigkeit dioptrischer Systeme auf zwei Classen zurückführen, deren Unterscheidung durch die Gleichung $\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x}$ gegeben ist.

Die erste Classe bilden die collectiven Systeme mit positivem f . Bei ihnen entspricht positiven Werthen von x positive Vergrösserung und negativen Werthen von x negative Vergrösserung, d. h. der Objectraum vor der Brennebene F wird umgekehrt, der Objectraum hinter derselben aufrecht abgebildet.

Die zweite Classe umfasst die dispansiven Systeme, bei denen f negativ ist, wonach negativen Werthen von x positive Vergrösserung, positiven Werthen von x dagegen negative Vergrösserung entspricht.

Die geometrische Construction der von einem beliebigen Systeme 16
brechender Kugelflächen erzeugten Bilder ergibt sich leicht unter Berücksichtigung des soeben dargelegten Vergrösserungsgesetzes für collec-

tive und dispansive Systeme, wenn gegeben sind: der Ort des Objectes, die Lage der beiden Brennebenen und die Werthe sammt den Vorzeichen der beiden Brennweiten, d. h. die Quotienten

$$f = \frac{h^*}{\operatorname{tg} u} \quad \text{und} \quad f^* = \frac{h}{\operatorname{tg} u^*}$$

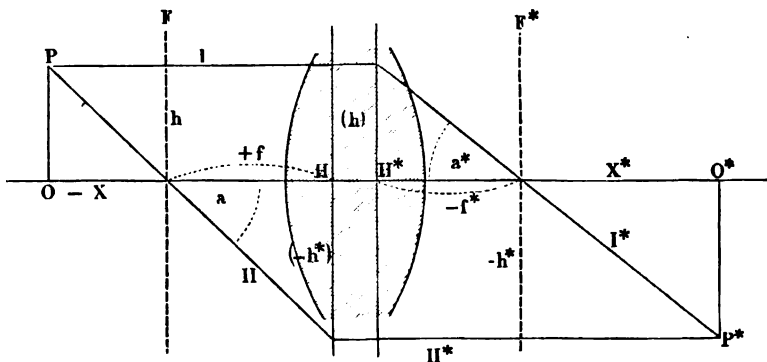
Werden diese Quotienten geometrisch aufgefasst, so erscheinen h^* und f als die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks mit dem Winkel u , h und f^* als die Katheten eines anderen rechtwinkligen Dreiecks mit dem Winkel u^* und man kann die Construction dieser Dreiecke gleich in die Figur verlegen, woraus sich dann der maassgebende Strahlengang ergibt.

Seien für ein collectives System, Fig. 13, gegeben:

$$F \text{ und } F^*, f = \frac{h^*}{\operatorname{tg} u}, \quad -f^* = \frac{h}{\operatorname{tg} u^*}$$

und der Abstand des Objectes von $F' = -x$, so tragen wir f und $-f^*$ von F und F^* aus auf der Achse ab und erhalten die beiden Punkte H und H^* , durch welche Senkrechte zur Achse zu legen sind¹⁾.

Fig. 13.



Ziehen wir nun von P aus den Parallelstrahl I und den Focalstrahl II , so muss der conjugirte Strahl des ersteren I^* gemäss der Definitionsformel nothwendig durch den Brennpunkt F^* gehen, der II conjugirte Strahl II^* parallel zur Achse gerichtet sein. Der endliche Verlauf der beiden Strahlen wird hierauf gefunden, indem man unter gleichzeitiger Verlängerung des Strahles I bis zum Schnitte mit H^* die Construction der betreffenden rechtwinkligen Dreiecke, von denen durch die Lage des Objectpunktes P ausser f und f^* noch je h und u gegeben, h^* und u^*

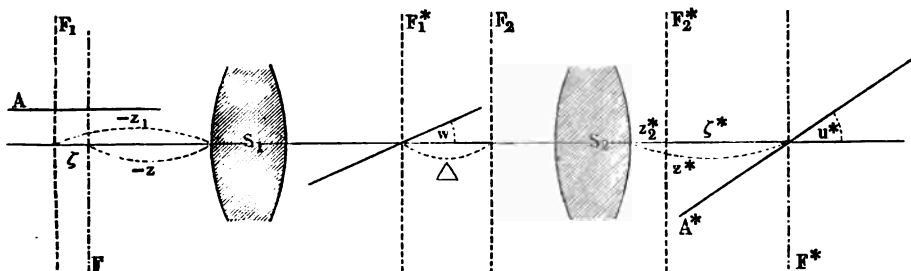
¹⁾ Man erkennt leicht, dass wir durch dieses Verfahren in den Punkten H und H^* auf die Hauptpunkte der Gauss'schen Betrachtungsweise gekommen sind, deren Entfernung von den entsprechenden Brennpunkten F und F^* durch die Brennweiten f und f^* ausgedrückt erscheinen.

gesuchte Grössen sind, an den Brennpunkten F und F^* vornimmt. Die Verlängerung des Strahles I^* über F^* hinaus und der Parallelstrahl II^* bestimmen dabei in ihrem Durchschnitt den zu P zugeordneten Punkt P^* und es stellt PQ^* das Bild von PQ dar.

Aus den Gleichungen I. und II. sowie aus den Definitionen für f 17 und f^* lassen sich nun — und hierin sowie in dem wichtigen Leitfaden, welcher sich dabei für die richtige Auffassung und Beurtheilung der entscheidenden Umstände ergibt, beruht gerade der unschätzbare Vortheil der Abbe'schen Methode — die Elemente für ein zusammengesetztes System aus den Elementen der Bestandtheile, d. h. aus den Oertern der Brennebenen und den Brennweiten in höchst einfacher Weise durch folgende Betrachtung ableiten.

Sind F_1 und F_1^* , F_2 und F_2^* , F und F^* , Fig. 14, die vordere und hintere Brennebene, f_1 und f_1^* , f_2 und f_2^* , f und f^* vordere und hintere Brennweiten des ersten Gliedes, des zweiten Gliedes und des ganzen Systemes; ist ferner Δ der Abstand der vorderen Brennebene des zweiten Gliedes, von der hinteren Brennebene des ersten, ζ der Abstand der vorderen Brennebene des ersten Gliedes zur vorderen des ganzen Systemes, ζ^* der Abstand von der hinteren Brennebene des zweiten Gliedes zur hinteren des ganzen Systemes und A ein

Fig. 14.



Strahl, welcher in der Höhe h parallel zur Achse in das System eintritt, so ergibt sich aus den früheren Entwicklungen Folgendes:

Der Strahl A muss bei seinem Austritt aus dem ersten Gliede durch den Brennpunkt F_1^* gehen, und dabei entsprechend der Gleichung

$$\frac{h}{tg w} = f_1^*$$

oder

$$tg w = \frac{h}{f_1^*}$$

die Achse unter dem Winkel w schneiden. Für das zweite Glied geht dieser Strahl demnach aus von einem Punkte der Achse in dem Abstände $x = -\Delta$ vom Brennpunkte F_2 und mit einem Neigungswinkel $= w$, deshalb muss er nach dem Austritte aus dem zweiten Gliede die Achse schneiden in einem Abstände ξ^* von F_2^* entsprechend der Bedingung:

$$-\Delta \cdot \xi^* = f_2 f_2^* \quad (\text{I.})$$

$$\xi^* = -\frac{f_2 f_2^*}{\Delta}$$

und unter einem Neigungswinkel u^* entsprechend der weiteren Bedingung

$$\frac{\tan u^*}{\tan w} = -\frac{-\Delta}{f_2^*} = \frac{\Delta}{f_2^*} \quad (\text{III.})$$

oder

$$\tan u^* = \frac{\Delta}{f_2^*} \cdot \tan w = \frac{\Delta}{f_2^*} \cdot \frac{h}{f_1^*} = \frac{\Delta}{f_1^* f_2^*} \cdot h$$

Der durch den Abstand ξ^* bestimmte Punkt der Achse stellt nun den hinteren Brennpunkt F^* und das Verhältniss

$$\frac{h}{\tan u^*} = \frac{f_1^* f_2^*}{\Delta} = f^*$$

die hintere Brennweite des ganzen Systemes vor.

Indem man in gleicher Weise einen von der entgegengesetzten Seite in der Höhe h^* parallel zur Achse eintretenden Strahl verfolgt, erhält man die entsprechenden Ausdrücke für f und ξ .

Es ist sonach für das ganze System:

$$\text{V.} \quad f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$f^* = \frac{f_1^* f_2^*}{\Delta}$$

$$\text{VI.} \quad \xi = \frac{f_1 f_1^*}{\Delta}$$

$$\xi^* = -\frac{f_2 f_2^*}{\Delta}$$

wodurch die Elemente desselben wieder in gleicher Art bestimmt sind.

Sind die Brechungsexponenten der vor, zwischen und hinter den beiden Gliedern liegenden Medien der Reihe nach n, n_1, n^* , so ist:

$$f_1^* = -\frac{n_1}{n} f_1 \cdot f_2^* = -\frac{n^*}{n_1} \cdot f_2$$

also

$$\text{V a.} \quad f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$f^* = \frac{n_1}{n} \cdot \frac{n^*}{n_1} \cdot \frac{f_1 f_2}{\Delta} = \frac{n^*}{n} \cdot \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$\text{VI a.} \quad \xi = -\frac{n_1}{n} \cdot \frac{(f_1)^2}{\Delta}$$

$$\xi^* = \frac{n^*}{n} \cdot \frac{(f_2)^2}{\Delta}$$

Werden alle drei Medien und damit n , n_1 und n^* einander gleich, also die Verhältnisse der Brechungsexponenten je zweier auf einander folgender Medien:

$$\frac{n}{n_1} = \frac{n_1}{n^*} = 1$$

so wird

$$\text{V b.} \quad f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$f^* = \frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$\text{VI b.} \quad \xi = -\frac{(f_1)^2}{\Delta}$$

$$\xi^* = \frac{(f_2)^2}{\Delta}$$

Ist ferner die Lage von F_1 durch den Abstand z_1 der Brennebene von der Vorderfläche des vorderen Gliedes, die Lage von F_2^* durch den Abstand z_2^* , der betreffenden Brennebene von der hinteren Fläche des zweiten Gliedes gegeben, so lassen sich die Abstände der Brennpunkte, beziehentlich der Brennebenen F und F^* von denselben beiden äusseren Grenzflächen bestimmen durch die Gleichungen:

$$\text{VII.} \quad z = z_1 + \xi$$

$$z^* = z_2^* + \xi^*$$

wobei aber wieder alle Strecken: die ξ wie die z , negativ zu setzen sind, wenn sie von den angenommenen Nullpunkten aus zur Richtung der Lichtbewegung entgegengesetzt liegen.

Die Uebertragung dieser Betrachtungen auf Systeme von drei und mehr Gliedern durch successive Combination hat so wenig praktisches Interesse, dass wir von deren Durchführung füglich absehen können.

Zweites Capitel.

Bestimmung der Abbildungsgesetze für Linsen und Linsensysteme.

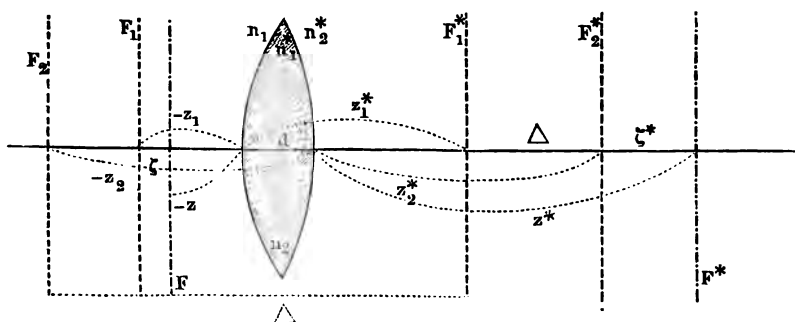
1. Bestimmung der Constanten.

- 18 Die Anwendung der in dem Vorausgehenden entwickelten allgemeingültigen Abbildungsgesetze auf wirkliche Linsen und Linsensysteme lässt sich nun in kurzen Zügen darlegen.

Unter einer Linse im Allgemeinen versteht man bekanntlich ein aus drei Medien gebildetes, einfaches, centrirtes dioptrisches System, in welchem das mittlere, in der Regel dichtere Medium durch zwei Kugelflächen von den beiden äusseren, dem vorderen und hinteren Medium getrennt wird. Als Linsensystem bezeichnet man dagegen die Verbindung zweier oder mehrerer Linsen, welche entweder je nur einem oder beiden der oben definirten Systeme angehören können.

Die Elemente einer beliebigen Linse (Fig. 15) ergeben sich, unter

Fig. 15.



Anwendung der Zusammensetzungsformel auf Seite 26 und unter der Berücksichtigung, dass nun Δ durch den Ausdruck

$$i^* = i \cdot \frac{n}{n^*} = \frac{h}{r} \cdot \frac{n}{n^*}$$

$$u^* = i^* - i = \frac{h}{r} \left(\frac{n}{n^*} - 1 \right)$$

und für u^* seine trigonometrische Tangens gesetzt

$$\operatorname{tg} u^* = \frac{h}{r} \cdot \left(\frac{n}{n^*} - 1 \right)$$

und

$$\frac{h}{\operatorname{tg} u^*} = f^* = \frac{r n^*}{n - n^*} = - \frac{r n^*}{n^* - n}$$

nun ist aber auch

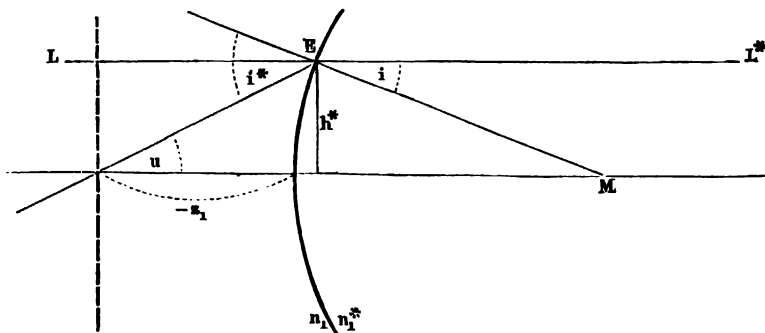
$$z^* = - \frac{h}{\operatorname{tg} u^*}$$

also

$$z^* = - f^*$$

In gleicher Weise erhält man, wenn $L^* E$ (Fig. 17) als Einfallsstrahl betrachtet und die erforderliche Entwicklung durchgeführt wird, für die andere (vordere) Seite:

Fig. 17.



$$\frac{h^*}{\operatorname{tg} u} = f = \frac{r n}{n^* - n}$$

und

$$z = - f$$

Aus diesen allgemein gültigen Gleichungen ergaben sich die Formeln für die zwei Grenzflächen einer Linse, indem man einsetzt für die erste Fläche:

$$r = r_1, n = n_1, n^* = n_1^* (= n_2)$$

für die zweite Fläche:

$$r = r_2, n = n_2, n^* = n_2^*$$

Dieselben nehmen dann die Form an:

$$f_1 = \frac{r_1 n_1}{n_2 - n_1}, \quad z_1 = -f_1$$

$$f_1^* = -\frac{r_1 n_2}{n_2 - n_1}, \quad z_1^* = -f_1^*$$

$$f_2 = \frac{r_2 n_2}{n_2^* - n_2}$$

$$f_2^* = -\frac{r_2 n_2^*}{n_2^* - n_2}, \quad z_2^* = -f_2^*$$

Diese für convexe Flächen durchgeführten Entwicklungen sind auch für concave Flächen gültig, wenn die entsprechende r entgegengesetzt genommen werden.

Führen wir jetzt in die Formeln VIII. und IX. an Stelle von $-z_1^*$ und z_2 die entsprechenden f_1^* und $-f_2$ ein, so gestalten sich dieselben um in:

VIII a.

$$f = -\frac{f_1 f_2}{f_1^* - f_2 + d}$$

$$f^* = \frac{f_1^* f_2^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

IX a.

$$\xi = \frac{f_1 f_1^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

$$\xi^* = -\frac{f_2 f_2^*}{f_1^* - f_2 + d}$$

Und wenn in diesen Formeln für f_1, f_2, f_1^*, f_2^* die eben gefundenen Werthe für je eine Kugelfläche eingesetzt werden, so kommen die üblichen Formeln für eine Linse von der Dicke d zum Vorschein, in denen die r als positiv oder negativ eingeführt werden, je nachdem der Mittelpunkt der brechenden Fläche rechts oder links vom Scheitel liegt. Wir erhalten:

X. $f = \frac{r_1 r_2 n_1 n_2}{n_2 [r_1 (n_2^* - n_2) + r_2 (n_2 - n_1)] - (n_2^* - n_2)(n_2 - n_1) \cdot d}$

$f^* = -\frac{r_1 r_2 n_2 n_2^*}{n_2 [r_1 (n_2^* - n_2) + r_2 (n_2 - n_1)] - (n_2^* - n_2)(n_2 - n_1) \cdot d}$

I. $\xi = \frac{(r_1)^2 \cdot n_1 n_2 (n_2^* - n_2)}{(n_2 - n_1) \cdot [n_2 (r_1 (n_2^* - n_2) + r_2 (n_2 - n_1)) - (n_2^* - n_2) d \cdot (n_2 - n_1)]}$

$\xi^* = -\frac{(r_2)^2 n_1 n_2^* (n_2 - n_1)}{(n_2^* - n_2) \cdot [n_2 (r_1 (n_2^* - n_2) + r_2 (n_2 - n_1)) - (n_2^* - n_2) d \cdot (n_2 - n_1)]}$

Für unsere weiteren Betrachtungen haben nur diejenigen Linsen ein näheres Interesse, bei denen die beiden äusseren Medien identisch

und zwar in der Regel Luft sind, während das zwischenliegende, dichtere Medium (die Linse) aus Glas besteht.

Aus dem Satze 2 auf Seite 23 ergibt sich hier sofort, dass für eine einzige Linse, wie für jedes beliebige Linsensystem die beiden Brennweiten ihrem absoluten Werthe nach einander gleich sind, dass man also nur von einer Brennweite zu sprechen braucht, welche dann durch die Bestimmungsstücke des einen und des anderen Mediums auf verschiedene Weise defnirt wird.

Da jetzt n_1 und n_2^* jedes = 1 und an die Stelle von n_1^* und n_2 n gesetzt werden kann, so gehen, wenn wir für die f_1 und f_2 ihre Werthe:

$$f_1 = \frac{r_1}{n-1}, \quad f_2 = -\frac{r_2 n}{n-1}$$

$$f_1^* = -\frac{r_1 n}{n-1}, \quad f_2^* = \frac{r_2}{n-1}$$

einführen, die obigen Formeln über in

$$\text{XII.} \quad f = -f^* = \frac{r_1 r_2 n}{(n-1) [n(r_2 - r_1) + (n-1)d]}$$

oder:

$$f = -f^* = \frac{-r_1 r_2 n}{(n-1) [n(r_1 - r_2) - (n-1)d]}$$

$$\text{XIII.} \quad \xi = \frac{(r_1)^2 n}{(n-1) [n(r_1 - r_2) - (n-1)d]}$$

$$\xi^* = -\frac{(r_2)^2 n}{(n-1) [n(r_1 - r_2) - (n-1)d]}$$

Der Fall einer verschwindend dünnen Linse ist in diesen Formeln inbegriffen, insofern $d=0$ gesetzt werden kann und es können aus denselben für jede aus einer beliebigen Glassorte geformte Linse der beiden definitiven Systeme die entsprechenden Sonderformeln leicht entwickelt werden.

So z. B. erhält man die Formeln für Linsen mit einer Planfläche, indem man eines der r gleich ∞ setzt. Es geht dann in der Formel XII., wenn $r_2 = \infty$ genommen und dieselbe in die zwei Factoren

$$\frac{r_1}{(n-1)} \times \frac{n \infty}{u(\infty + r_1) + (n-1)d}$$

zerlegt wird, der zweite Factor in 1 über und wir erhalten:

$$\text{XIV.} \quad f = -f^* = \frac{r_1}{n-1}$$

$$\text{XV.} \quad \xi = \frac{(r_1)^2}{\infty} = 0 \text{ und } \xi^* = 0$$

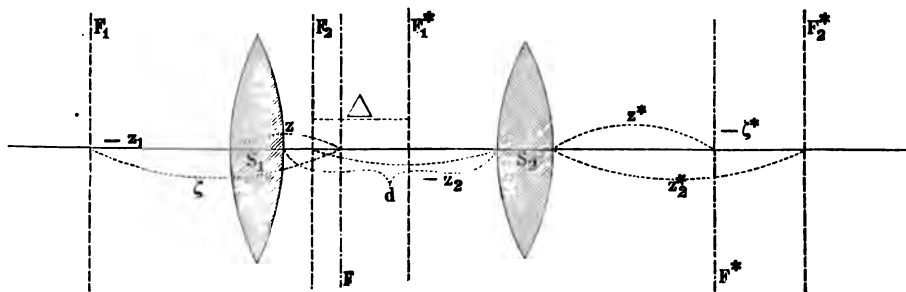
d. h. für die Planconvexlinse sind die beiden Brennweiten der Brennweite der gekrümmten Fläche gleich und der vordere und hintere Brennpunkt fallen mit denjenigen der letzteren zusammen.

Für Linsensysteme (Fig. 18) ist Δ gleichfalls zu setzen:

$$z_2 - z_1^* + d$$

wobei d den von den einander zugewendeten Linsenflächen aus gerechneten Abstand des ersten Gliedes von dem zweiten Gliede bedeutet und die z und z^* von den entsprechenden, den zugehörigen F und F^* zugewendeten Linsenscheiteln aus zu nehmen sind.

Fig. 18.



Die Formeln zur Bestimmung der Constanten bleiben dabei die gleichen wie bei der einfachen Linse und tritt nur insofern eine Verschiedenheit ein, als bei von einander abstehenden Linsen je nach der Lage von F_1^* und F_2 Δ entweder negativ (wie in dem der Figur zu Grunde gelegten Falle, wo F_2 links von F_1^* liegt) oder positiv sein kann (wenn F_2 rechts von F_1^* zu liegen kommt) und als $d = 0$ wird, wenn die beiden Glieder sich einander berühren. In dem letzten Falle, den wir als Specialfall hier betrachten wollen, erhalten wir für ein System von zwei als verschwindend dünn vorausgesetzten Linsen:

$$\text{XVI.} \quad f = -\frac{f_1 f_2}{z_2 - z_1^*} = \frac{f_1 f_2}{f_2 - f_1^*}$$

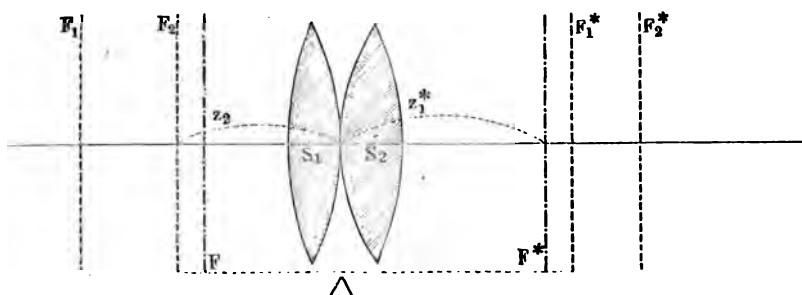
oder, da $f_1^* = -f_1$

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2} \text{ oder } \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Sind nun beide Linsen Sammellinsen, Fig. 19 (a. f. S.), so haben

f_1 und f_2 beide positive Werthe und man hat wie im allgemeinen Fall:

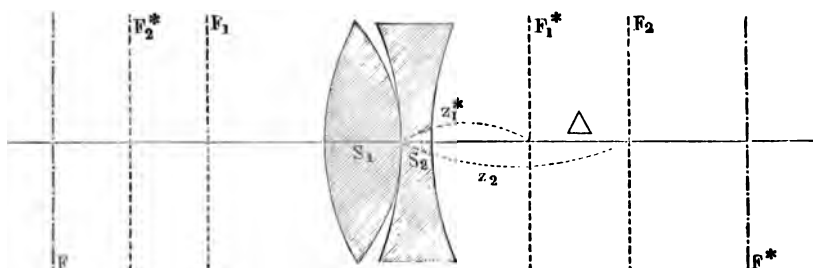
Fig. 19.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Ist aber die eine (zweite) Linse eine Zerstreuungslinse (Fig. 20), so ist f_2 negativ. Will man nun den blossen Zahlenwerth ihrer Brenn-

Fig. 20.



weite einführen und mit f_2 bezeichnen, dann geht die allgemeine Formel (XVI.) über in:

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 - f_2}$$

oder

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$$

- 19** Sind die Constanten einer Linse oder eines Linsensystems bekannt, so lassen sich daraus Lage und Grösse der Bilder eines gegebenen Objectes auf Grund der Grundgleichungen I und II sowohl durch Rechnung bestimmen, als auch nach der auf Seite 24 gegebenen Anleitung construiren. Wir wollen bei diesem Gegenstande nicht weiter verweilen, sondern nur ein paar naheliegende Beispiele betrachten.

Seien z. B. S_1 und S_2 , Fig. 21 und 22, zwei collective Linsensysteme, für welche die Lage der Brennebenen F und F^* , die bezüglichlichen Brennweiten f sowie die x und y bestimmt worden, so haben wir:

$$xx^* = -f^2, \quad x^* = -\frac{f^2}{x}$$

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x}, \quad y^* = \frac{f}{x} \cdot y$$

also für $f = 20$, $x = -8$ mm, $y = 20$ mm (Fig. 21, welche den Typus eines zweigliedrigen Objectivsystemes darstellt)

$$x^* = +\frac{400}{8} = +50 \text{ mm}$$

$$y^* = -\frac{20}{8} \cdot 20 = -50 \text{ mm}$$

Fig. 21.

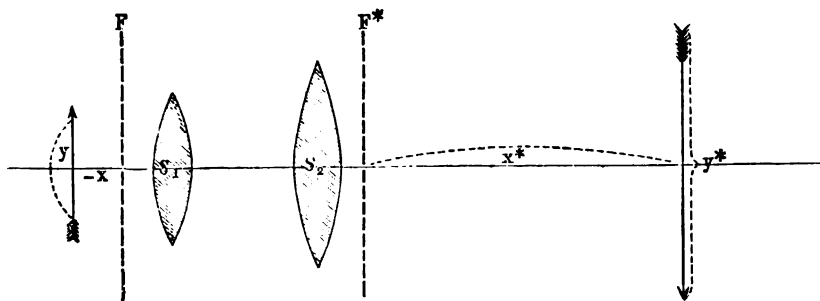
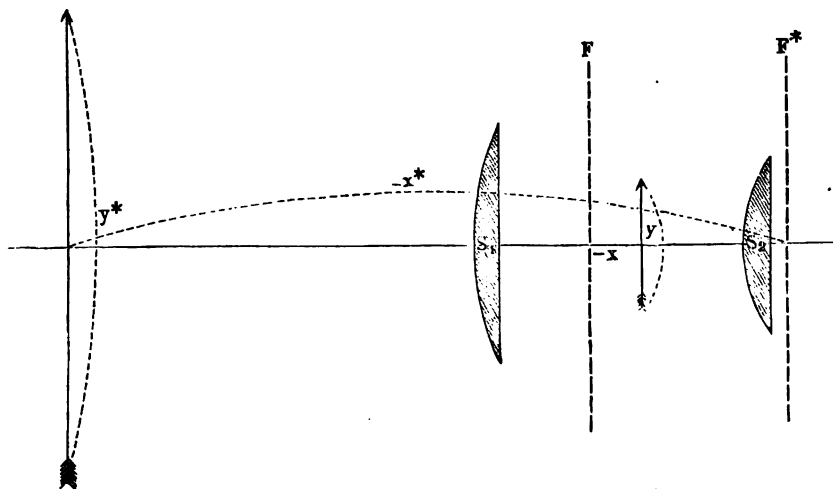


Fig. 22.



für $f = 30$, $x = + 8$, $y = 20$ mm (Fig. 22 [a. v. S.] — Typus eines Huyghens'schen Oculares —)

$$x^* = - \frac{900}{8} = - 112,5 \text{ mm}$$

$$y^* = \frac{30}{8} \cdot 20 = 75 \text{ mm}$$

2. Theorie der Achromasie.

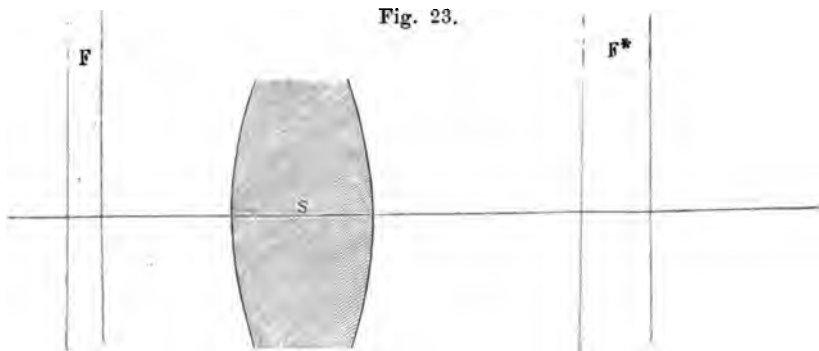
20 Bei den bisherigen Entwicklungen der Abbildungsgesetze wurde überall Licht von gleicher Wellenlänge vorausgesetzt und an diese Voraussetzung die Annahme der Beständigkeit der Constanten eines optischen Systemes geknüpft. Nun ist aber bekanntlich das weisse Licht aus einer Reihe farbiger Lichtarten zusammengesetzt, welche verschiedene Wellenlängen, also auch verschiedene Brechungsindices besitzen und demnach bei dem Uebergang aus einem Medium in ein anderes verschieden starke, unter dem Namen der Farbenzerstreuung bekannte Ablenkung erfahren. So wird z. B. das rothe Licht zwischen den Fraunhofer'schen Linien *A* und *B*, dessen Wellenlänge 0,0007 mm beträgt, weit schwächer gebrochen (sein Brechungsindex für gewöhnliches Crown Glas ist $= 1,52$), als das dunkle Blau der Fraunhofer'schen Linie *G* mit einer Wellenlänge von nur 0,000432 mm (Brechungsindex von gewöhnlichem Crown Glas etwa 1,53).

Da demzufolge für das bei unseren optischen Instrumenten vorzugsweise in Betracht kommende gemischte Licht die gemachte Voraussetzung nicht bestehen bleiben kann, so muss auch die daran geknüpfte Annahme fallen und es muss bei dem Uebergange von gemischtem Lichte in ein optisches System eine Veränderlichkeit der Constanten eintreten. Diese kennzeichnet sich dadurch, dass auch unter Voraussetzung unendlich dünner Strahlenbüschel für die verschiedenen Lichtarten eine Verschiebung der Brennpunkte auf der Achse und eine Veränderung der Brennweiten eintritt. Stellt *S* irgend ein optisches System vor, so wird die Verschiebung der Brennpunkte sowohl in den vor als hinter demselben befindlichen Medien, z. B. für Roth und Blau, sich in einer bestimmten Weise kenntlich machen (Fig. 23), während die Brennpunkte für alle zwischen den obigen liegenden Farben zwischen die beiden äussersten Lagen fallen müssen.

Die Brennweiten wechseln von Roth nach Blau in absteigenden Verhältnissen, indem diejenige der äussersten rothen Strahlen den grössten, diejenige der äussersten blauen resp. violetten Strahlen den kleinsten Werth erlangt.

In Bezug auf das von einem optischen System erzeugte Bild macht sich die Verschiebung der Brennpunkte durch die Entwicklung der

Fig. 23.

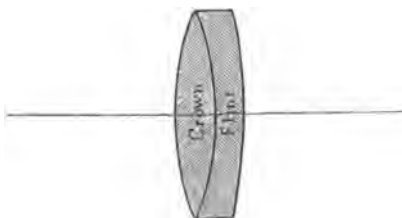


verschiedenfarbigen Bilder in verschiedenen, hinter einander liegenden Ebenen geltend, während die Veränderung der Brennweiten verschiedene Vergrößerung der Einzelbilder für verschiedene Farben — chromatische Differenz der Vergrößerung — hervorruft.

Die Veränderlichkeit der Constanten eines optischen Systems für verschiedene Lichtarten und die an sie geknüpften Erscheinungen bei der Abbildung bezeichnet man als chromatische Abweichung oder Farbenabweichung und es ergibt sich daraus als die Bedingung für deren Aufhebung, oder für vollkommene Achromasie die Identität der F und F^* , sowie der f und f^* eines optischen Systems für alle Farben.

Zur Herstellung dieser Identität werden in der Praxis eine bicon- 21
vexe Sammellinse aus Crownglas und eine entsprechende Concav-

Fig. 24.



oder Zerstreuungslinse aus Flintglas in der in Fig. 24 dargestellten Weise zu einer sogenannten achromatischen Doppellinse verbunden, deren Brennweite sich nach den obigen Entwicklungen durch die Gleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}$$

darstellen lässt, während als Bedingung der Achromasie ein bestimmtes Verhältniss zwischen den Brennweiten der Einzellinsen stattfinden muss. Dieses Verhältniss wird durch die Verhältnissgleichung

$$f_1 : -f_2 = \frac{dn_1}{n_1 - 1} : \frac{dn_2}{n_2 - 1}$$

ausgedrückt, in welcher f_1 die Brennweite der Sammellinse, $-f_2$ die Brennweite der Zerstreuungslinse, dn_1 und dn_2 die Differenzen der

Brechungsindices zwischen Roth und Blau von Crown- und Flintglas, die beiden Glieder des zweiten Verhältnisses also die totale Dispersion der beiden Glassorten darstellen. Wären z. B. zwei Fraunhofer'sche Glassorten und zwar Crownglas Nr. 13 mit dem mittleren Brechungsindex $n_1 = 1,531$ und Flintglas Nr. 13 mit dem mittleren Brechungsexponenten $n_2 = 1,642$ benutzt, so würden wir erhalten

$$dn_1 = 0,0204$$

$$dn_2 = 0,0433$$

und

$$\frac{dn_1}{n_1 - 1} = \frac{0,0204}{0,531} = 0,0384$$

$$\frac{dn_2}{n_2 - 1} = \frac{0,0433}{0,642} = 0,0676$$

als das Dispersionsvermögen der in Betracht gezogenen Glassorten, sowie

$$f_1 : -f_2 = 0,0384 : 0,0676$$

als das Verhältniss zwischen den Brennweiten von Sammel- und Zerstreuungslinse.

Betrachten wir andere Farben, als Roth und Blau, so ändert sich bei allen bis jetzt bekannten Glasarten das Verhältniss $dn_1 : dn_2$. Daraus geht aber hervor, dass die Veränderlichkeit der Constanten für die verschiedenen Lichtarten innerhalb der abbildenden Strahlenkegel einen verschiedenen Gang befolgen muss und dass eine Linsenverbindung, welche die Identität für die F und F^* und f und f^* der äussersten Farben herbeiführt, dies um so weniger für die mittleren Farben bewirken kann, als der Gang der Farbenzerstreuung in Crown- und Flintglas ein für beide Glassorten verschiedener ist. Eine vollkommene Achromasie kann daher mit den uns zur Zeit zu Gebote stehenden Mitteln, selbst für eine einzelne Linsenverbindung, nicht herbeigeführt werden, und es müssen immer noch Reste der Farbenabweichung übrig bleiben, die sich in den mittleren Farben bewegen und als secundäre Farbenabweichung bezeichnet werden.

Bei Systemen von zusammengesetztem Bau (aus mehreren Elementen) tritt, abgesehen von dieser in jedem Falle unvermeidlichen Unvollkommenheit der Achromasie (der secundären Abweichung), noch der Umstand hinzu, dass vollkommene Herstellung derselben auch für nur zwei Farben im Allgemeinen nur dann erreicht werden könnte, wenn alle Bestandtheile eines solchen Systemes einzeln achromatisch gemacht würden. Es müsste also das System aus lauter achromatischen Linsen zusammengesetzt werden, und bei Anwendung von verhältnissmässig dicken Linsen würden selbst die einzelnen nur dann vollkommen achromatisch gemacht werden können, wenn die Farbenabweichung an jeder brechenden Fläche einzeln ausgeglichen würde.

22 Da nun die Erfüllung solcher Anforderungen in der Praxis die Herstellung von Systemen ausserordentlich erschweren müsste, so be-

gnügt man sich in der Regel mit einer theilweisen Achromasie, indem man entweder nur die Uebereinstimmung eines Paares zugeordneter Vereinigungspunkte — im Besondern eines Hauptbrennpunktes — für zwei Farben herbeiführt und die Brennweiten verschieden lässt, oder aber die Brennweiten für zwei Farben gleich macht, während die Brennpunkte — also auch beliebige Vereinigungspunkte — für verschiedene Farben verschieden bleiben.

Die theoretische Begründung einerseits und die praktische Bedeutung der beiden bezeichneten Arten der theilweisen Achromasie ergeben sich aus folgenden Betrachtungen.

Stimmt ein Hauptbrennpunkt eines optischen Systemes und zwar der vordere für verschiedene Farben überein, so werden von einem Objectpunkt in diesem vorderen Brennpunkte rothe und blaue Strahlen nach dem Durchgange durch das System beide jedenfalls als parallelstrahlige Büschel austreten, und das rothe wie das blaue Bild in unendlicher Entfernung liegen. Für einen Objectpunkt, welcher dem vorderen Brennpunkte sehr nahe liegt und demgemäss — wie bei dem Mikroskop-objectiv — in sehr grosser Entfernung hinter dem System abgebildet wird, werden die verschiedenfarbigen Strahlen also, auch wenn die Brennweite von Roth und Blau verschieden ist, näherungsweise noch nach demselben (entfernten) Punkte hin convergiren und das rothe und blaue Bild werden näherungsweise an demselben Orte auf der Achse auftreten. Dagegen wird die Vergrösserung der Bilder, welche in jedem Falle durch die Gleichung

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} \text{ (Seite 17)}$$

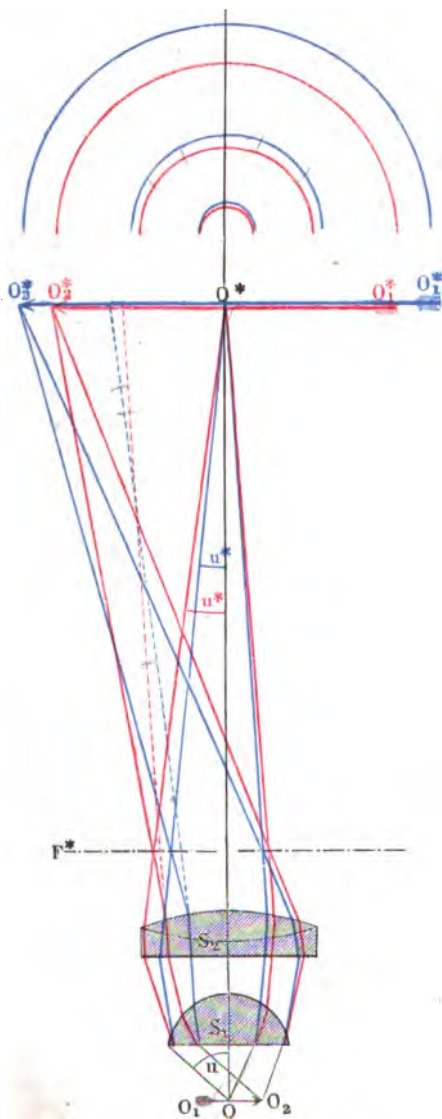
bestimmt ist, weil x vollständig gleich bleibt, jedenfalls für Roth und Blau genau in dem Verhältnisse verschieden ausfallen als f für beide Farben verschieden ist.

Die Art und Weise, in welcher diese Art der theilweisen Achromasie, bei welcher also die verschiedenfarbigen Bilder in eine Ebene zusammenfallen, während die chromatische Differenz der Vergrösserung bestehen bleibt, in die Erscheinung tritt, bekundet sich folgendermaassen (Fig. 25). In der Mitte des Bildfeldes fallen die verschiedenfarbigen Bilder ganz oder nahezu zusammen, während, je weiter sie sich von dieser entfernen, die blauen Bilder mehr und mehr über die rothen übergreifen. Die Differenz in der Vergrösserung beeinträchtigt sonach die Schärfe der Abbildung in der Mitte des Feldes nicht und wenn die Veränderlichkeit des f nicht gross ist, und das System — wie bei dem Mikroskop-objectiv — nur ein verhältnissmässig kleines Bildfeld¹⁾ zu liefern braucht, so bringt eine derartige Unvollkommenheit, wie sie bei der in

¹⁾ Das Objectivbild beim Mikroskop ist verhältnissmässig klein, wenn sein Durchmesser im Verhältniss zu seinem Abstände von dem Objectiv, oder der Durchmesser des Objects im Verhältniss zur Brennweite betrachtet wird.

Rede stehenden Art der theilweisen Achromasie zu Tage tritt, keinen praktischen Nachtheil. Dem gegenüber würde eine kleine Verschiedenheit

Fig. 25.



im Orte des vorderen Brennpunktes sehr grosse Verschiedenheit in der Lage der rothen und blauen Bilder zur Folge haben und die daraus entspringenden Zerstreuungskreise wegen der verhältnissmässig grossen Divergenzwinkel der abbildenden Strahlenkegel grosse Durchmesser gewinnen, also grosse Undeutlichkeit hervorrufen.

Für das Objectivsystem des Mikroskopes ist, wie aus obiger Darlegung hervorgeht, in Bezug auf die Bildschärfe vorzugsweise die gleiche Lage der Bildebenen von wesentlicher Bedeutung und findet daher bei ihrer Construction die Herbeiführung der besprochenen Art der theilweisen Achromasie ihre Anwendung.

Besitzt dagegen ein optisches System für Roth und Blau die gleiche Brennweite f^* , so folgt daraus, dass das Verhältniss

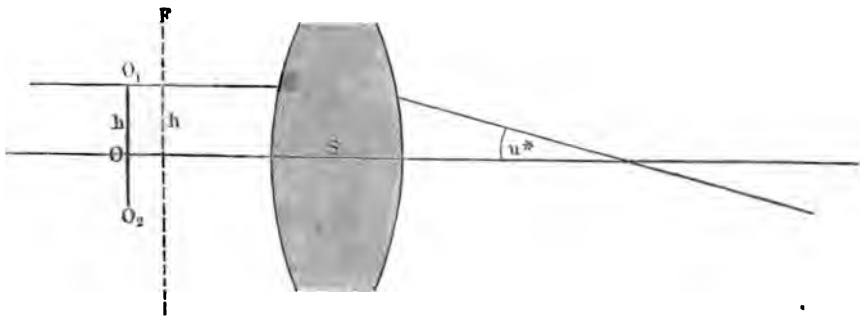
$$\frac{h}{\operatorname{tg} u^*} = f^*$$

für beide Farben auch dann denselben Werth behält, wenn die Brennpunkte verschiedene Lage haben sollten. Wird nun durch ein solches System ein Object abgebildet, welches nahe an dem vorderen Hauptbrennpunkt liegt, wie es bei dem Gebrauch desselben als Lupe oder als Ocular

der Fall ist, so lässt sich, wie wir bereits früher gesehen haben, h als (halbe) lineare Grösse des Objectes und u^* als (halber) Gesichtswinkel, oder als (halbe) anguläre Grösse des Bildes deuten. Da nun demselben

h auch für die verschiedenen Farben dasselbe u^* entspricht, so erscheinen die verschiedenfarbigen Bilder unter gleichem Sehwinkel, auch wenn sie in wesentlich verschiedenen Ebenen auftreten sollten.

Fig. 26.

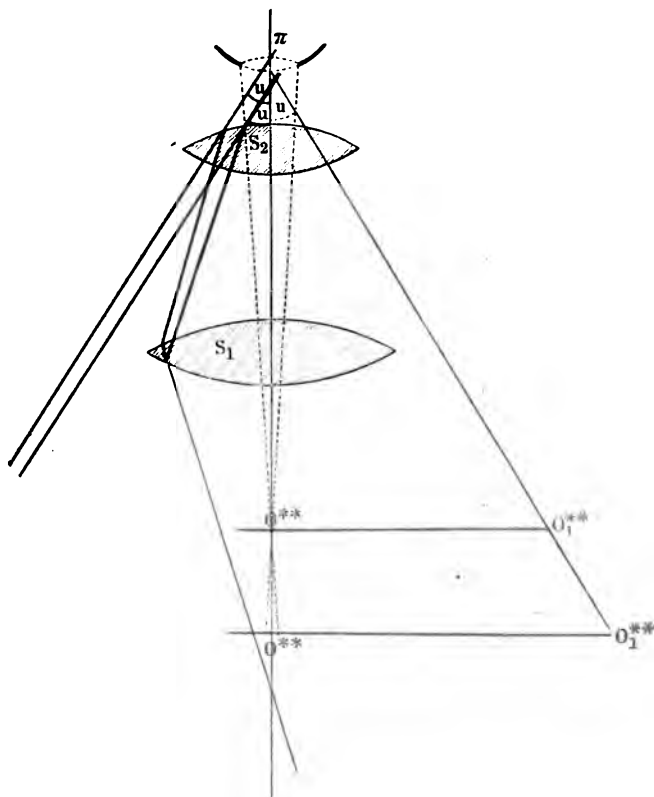


Würde eines der oben gedachten optischen Systeme, bei dem es auf eine Ausbreitung des Bildes auf grossen Schwinkel hinauskommt, eine nur verhältnissmässig geringe Veränderlichkeit der vorderen Brennweite zeigen, so würden ausserhalb der Achse breite Farbensäume auftreten und die Bildschärfe beeinträchtigen.

Aus diesen Gründen wird in diesem Falle zur Herbeiführung theilweiser Achromasie die Farbenzerstreuung in der Regel durch mehrere — zwei — Linsen so geleitet, dass die aus dem System austretenden verschiedenfarbigen Strahlenbüschel die Achse unter dem gleichen Winkel u schneiden (Fig. 27), dass also für verschiedene Farben gleiche Brennweite herbeigeführt wird und die in verschiedenen Ebenen auftretenden verschiedenfarbigen Bilder, indem sie unter gleichem Schwinkel, also in gleicher angularer Vergrösserung gesehen werden, zur vollständigen Deckung gelangen. Unter diesen Umständen erscheinen allerdings, wie aus Fig. 27 (a. f. S.) ersichtlich wird, die Bildpunkte des einen — z. B. rothen — Bildes in Form von Zerstreuungskreisen, wenn das andere — hier das blaue Bild — scharf gezeichnet ist, allein es lässt sich nachweisen, dass bei den hier in Betracht kommenden sehr kleinen Divergenzwinkeln der abbildenden Strahlenkegel auch merklich verschiedene Höhenlagen der verschiedenfarbigen Bilder noch keine beträchtlichen Zerstreuungskreise liefern, also auch keinen merklichen Einfluss auf die Schärfe der Abbildung äussern können, dass also für die Construction der Lupe wie des Oculares die in der Praxis thatsächlich in Anwendung gebrachte Achromasie der Brennweiten, nicht aber der Brennpunkte wesentliches Erforderniss ist.

Bezeichnen wir die Brennweite der rothen Strahlen der Fraunhofer'schen Linie B mit f_B , diejenige der dunkelblauen Strahlen der Linie G mit f_G und die entsprechenden Brechungsindices mit n_B und n_G , so ist:

Fig. 27.



$$f_B = \frac{r}{n_B - 1}$$

$$f_G = \frac{r}{n_G - 1}$$

also

$$\begin{aligned} f_B - f_G &= r \left(\frac{1}{n_B - 1} - \frac{1}{n_G - 1} \right) \\ &= r \left(\frac{n_G - n_B}{(n_B - 1)(n_G - 1)} \right) \end{aligned}$$

und wenn wir $n_G - n_B$ als dn , $f_B - f_G$ als Δf einführen und — was ohne Beeinträchtigung des Schlussresultates geschehen kann — statt der Differenzen $n_B - 1$ und $n_G - 1$ die aus dem mittleren Brechungs-exponenten gebildete Differenz $n - 1$ setzen

$$\Delta f = r \cdot \frac{dn}{(n - 1)^2} = \frac{r}{n - 1} \cdot \frac{dn}{n - 1}$$

oder

$$\Delta f = f \cdot \frac{dn}{n-1}$$

Setzen wir ferner die entsprechenden Zahlen für Crown Glas Nr. 13

$$(n_B = 1,524, n_G = 1,539, n_E = 1,531)$$

ein, so wird

$$\Delta f = f \cdot \frac{0,015}{0,531} = f \cdot 0,028 \text{ oder } \frac{1}{36} f$$

Nehmen wir nun eine einfache unachromatische Linse an (Fig. 28) und bezeichnen den Durchmesser des eintretenden Strahlenkegels mit p , denjenigen des mittleren Zerstreuungskreises mit k , so ist in ähnlichen Dreiecken:

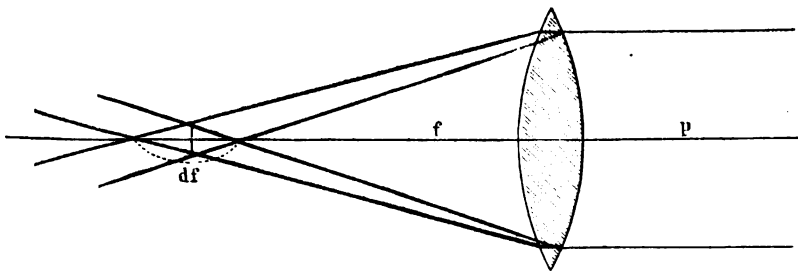
$$\frac{k}{p} = \frac{\frac{1}{2} \Delta f}{f}$$

also

$$k = \frac{1}{2} \Delta f \cdot \frac{p}{f}$$

und diese Grösse k giebt den Durchmesser des Zerstreuungskreises nach seiner absoluten Grösse im Object. Der Durchmesser des Zerstreuungs-

Fig. 28.



kreises wird demnach durch die Linse gesehen, wie ein Object von der linearen Grösse k durch dieselbe Linse erscheinen würde.

Bei dem Gebrauche der gedachten Linse als Lupe wäre nun p gleich dem Durchmesser der Pupille des beobachtenden Auges zu setzen. Diesen = 4 mm genommen, würde also der Zerstreuungskreis unter der obigen Voraussetzung

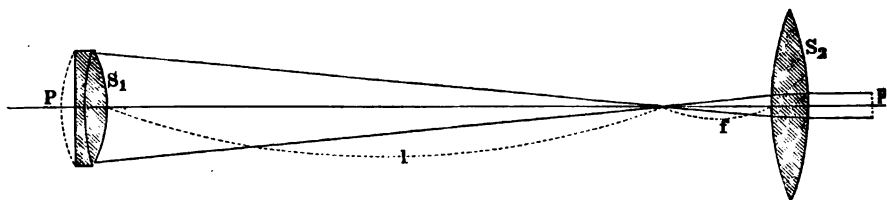
$$k = 2 \cdot \frac{1}{36} \text{ mm} = \frac{1}{18} \text{ mm}$$

unabhängig von der Brennweite der Linse. Diese Grösse kann durch eine schwache Lupe nur wenig, durch eine stark vergrössernde aber sehr merkbar werden, denn sie erscheint dem Auge nach Maass-

gabe der Vergrößerung der Linse vergrößert. Da man jedoch stark vergrößernden unachromatischen Lupen (Doubletts) schon aus anderen Gründen eine enge Blendung geben muss, welche den Durchmesser des austretenden Strahlenkegels auf eine weit geringere Grösse als 4 mm beschränkt, und da der hier berechnete Zerstreuungskreis ausserdem schon sehr lichtschwache Farben umfasst, während derjenige der hellen Farben auf viel geringere Beträge beschränkt bleibt, so wird die Undeutlichkeit hier unter allen Umständen eine praktisch nicht in Betracht kommende sein.

Wird eine unachromatische Linse als Ocular eines Mikroskopes benutzt, so ist der Durchmesser des austretenden Strahlenkegels im Ver-

Fig. 29.



hältniss zu f durch das Verhältniss der linearen Objectivöffnung ($2P$) zur Tubuslänge (l), also durch die Gleichung

$$\frac{p}{P} = \frac{f}{l}$$

$$p = \frac{P}{l} \cdot f$$

bestimmt und wird in der Praxis meist — namentlich aber bei starken Objectivsystemen — viel kleiner als bei der Lupe. Wäre z. B. $l = 150$ mm, $P = 10$ mm (für ein schwaches Objectiv), also

$$p = \frac{10}{150} \cdot f = \frac{1}{15} f$$

so erhielten wir:

$$k = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{36} \cdot \frac{1}{15} \cdot f = \frac{1}{1080} f$$

bei einem stärkeren Objectiv von 5 mm linearer Oeffnung

$$k = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{36} \cdot \frac{1}{30} f = \frac{1}{2160} f$$

Da nun die Brennweite f einer Linse, wenn N ihre lineare Vergrößerung für eine Sehweite von 250 mm bedeutet, $= \frac{250}{N}$ ist, so kann der lineare Durchmesser des von dem unachromatischen Ocular herrüh-

renden Zerstreuungskreises in dem für das Ocular als Object dienenden Bilde ausgedrückt werden durch

$$k = \frac{1}{1080} \cdot \frac{250}{N} \text{ oder } \frac{1}{2160} \cdot \frac{250}{N}$$

und also der Durchmesser desselben Zerstreuungskreises, wie er vermöge der Vergrößerung N dem Auge in 250 mm Abstand erscheint

$$N \cdot k = \frac{250}{1080} = \frac{1}{4} \text{ mm beziehentlich } \frac{250}{2160} = \frac{1}{8} \text{ mm}$$

$\frac{1}{8}$ mm in der Entfernung = 250 mm liegt aber schon ganz nahe an der Grenze der sichtbaren Ausmaasse, d. h. eine Scheibe von dieser Grösse erscheint nicht merklich von einem Punkte verschieden, während der lichtstarke Theil des fraglichen Zerstreuungskreises einen noch kleineren Durchmesser behält.

Auf Grund der hier gegebenen Nachweise erklärt es sich erstlich, dass man Mikroskop-Objective construiren kann, welche den praktischen Anforderungen in Bezug auf Achromasie genügen, ohne dass die einzelnen Glieder für sich achromatisch sind. Die für die Wirkung der Objectivsysteme ausreichende theilweise Achromasie — Zusammentreffen des vorderen Brennpunktes für verschiedene Farben — lässt sich, wie wir später sehen werden, auch mit Systemen erreichen, welche aus einem mehr oder minder stark unterverbesserten und einem entsprechend überverbesserten Theile zusammengesetzt sind und deren Brennweite nicht für alle Farben gleich ist. Andererseits geht daraus hervor, dass sich mit ganz unachromatischen Linsen Oculare zusammensetzen lassen, welche keine merkliche Farbenfehler zeigen, obwohl die Brennpunkte eines derartigen Systemes in keinem Falle für die verschiedenen Farben übereinstimmen können. Wie sich die geförderte Gleichheit der Brennweiten solcher sogenannten achromatischen Oculare durch die von Ramsden und Huyghens erfundenen Linsenverbindungen herbeiführen lässt, wird im zweiten Buche näher erörtert werden.

Drittes Capitel.

Abbildung durch Linsen und Linsensysteme bei endlichem Divergenzwinkel der abbilden- den Strahlenkegel.

24 Die in den vorausgehenden Capiteln entwickelten Gesetze haben für die durch brechende Kugelflächen vermittelten Abbildungen ihre strenge Geltung nur unter der Voraussetzung unendlich enger abbildender Strahlenkegel (welche in der geometrischen Construction allerdings unter der Gestalt weit geöffneter erscheinen können). Bei der Bilderzeugung durch optische Instrumente kommen aber thatsächlich abbildende Strahlenkegel von meist endlichen und zwar verhältnissmässig grossen Divergenzwinkeln in Betracht. Es erwächst uns sonach die Aufgabe, zu untersuchen, welche Bedingtheiten dieser Umstand für die immerhin an die früheren Gesetze geknüpfte Strahlenvereinigung herbeiführt.

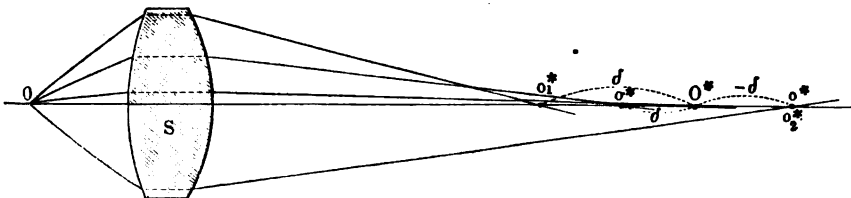
Diese Bedingtheiten machen sich nach zwei Richtungen hin geltend. Einmal in Bezug auf die durch die brechenden Flächen bedingten Abweichungen von der vollkommenen Strahlenvereinigung in zugeordneten Punkten und die damit verknüpften Fehler der Zeichnung und Schärfe des Bildes, dann in Bezug auf Art und Maassverhältnisse der Abbildung, soweit diese in der Art und dem Umfange der Strahlenbegrenzung begründet erscheinen. Wir haben demgemäss zunächst die Bedingungen der fehlerfreien Zeichnung und Bildschärfe, d. h. des Aplanatismus, und dann die Art und Weise der Strahlenbegrenzung zu untersuchen.

I. Die Bedingungen des Aplanatismus.

25 Betrachten wir den Weg von Lichtstrahlen mit grossem Divergenzwinkel bei ihrem Durchgange durch eine einfache Linse oder ein nicht corrigirtes Linsensystem, so zeigt sich Folgendes:

Ist S , Fig. 30, ein Linsensystem, in welches von dem Achsenpunkte O aus ein weitgeöffneter Strahlenkegel eintritt; so werden für den Fall, dass die Wirkung der Collectivlinsen überwiegt, das System also unterverbessert erscheint, die beiderseits der Achse nahe gelegenen schwächer

Fig. 30.



abgelenkten Strahlen, nachdem sie durch das System hindurchgegangen und in den Bildraum hinübergetreten sind, ihre Vereinigung in dem zugeordneten Bildpunkte O^* finden. Die beiderseits weiter entfernten, die mittlere und die Randzone des Systems durchlaufenden, eine stärkere Ablenkung erleidenden Strahlen werden dagegen — wie auf der oberen Seite der Figur gezeichnet — schon in der Hinterfläche des Systemes näher gelegenen Oertern der Achse in O^* und O_1^* zusammentreffen. Die entgegengesetzte Erscheinung tritt ein, wenn die Wirkung der Zerstreuungslinsen überwiegend erscheint, das System also überverbessert ist. Es schneiden dann die weiter von der Achse entfernt auftreffenden Strahlen die letztere in weiterer Entfernung von der Hinterfläche des Systemes als die Achsenstrahlen — untere Seite der Figur —. Diese Thatsache besagt: für die Strahlen eines weitgeöffneten Strahlenkegels unterliegen für die von der Achse nach dem Rande der Linse sich folgenden Strahlen die Entfernungen ihrer Durchschnittspunkte mit der Achse (oder unter sich) einer continuirlichen Veränderlichkeit. Diese letztere bezeichnet man als Abweichung in Folge der Kugelgestalt, oder als sphärische Abweichung und zwar als positive (Fig. 30 oben) oder negative (Fig. 30 unten) sphärische Abweichung, je nachdem die Durchschnitts- oder Vereinigungspunkte der Randstrahlen vor oder hinter denjenigen der Achsenstrahlen liegen ¹⁾, während der Unterschied in der Lage dieser Punkte, d. h. die Strecken $O^*O_1^*$, $O^*O_2^*$, $O^*O_3^*$, Länge der sphärischen Abweichung genannt wird.

Bezeichnet man mit u den Abweichungswinkel irgend eines von O 26 ausfahrenden Strahles im Spielraume des Querschnittes der Vorderfläche von S — wobei u grösser oder kleiner sein kann —, so lässt sich im

¹⁾ Hierbei ist der Fall eines reellen Bildpunktes zur Richtschnur genommen. Bei einem virtuellen Bildpunkte würden sich die Kennzeichen der positiven und negativen sphärischen Abweichung gerade umkehren.

Allgemeinen die Länge δ der sphärischen Abweichung eines solchen Strahles darstellen durch die Gleichung

$$\delta = a_1 \sin^2 u + a_2 \sin^4 u + a_3 \sin^6 u + \dots$$

in welcher $a_1 a_2 a_3 \dots$ positive oder negative Coefficienten bedeuten, welche für jeden gegebenen Fall, also für ein bestimmtes System und eine bestimmte Lage von O , bestimmte Zahlenwerthe haben. Der mathematische Ausdruck für die sphärische Längenabweichung setzt sich somit aus mehreren Gliedern zusammen, welche mit den graden Potenzen des in allen Gliedern wirksamen Neigungswinkels u in sehr ungleichem Grade anwachsen. Ist dieser Neigungswinkel klein (wie z. B. bei Objectivsystemen mit kleiner Oeffnung), so überwiegt das erste Glied des Ausdruckes so sehr gegen die folgenden — es kann grösser sein als die Summe der übrigen —, dass diese ihm gegenüber vollständig verschwinden. Wäre z. B. u höchstens $= 6^\circ$, also $\sin u = 0,1$, so würde für einen so wenig geneigten Strahl (z. B. für den Randstrahl eines Objectivsystemes von 12° Oeffnungswinkel) der Werth von δ gegeben sein durch

$$\delta = a_1 \cdot 0,01 + a_2 \cdot 0,0001 + a_3 \cdot 0,000001 \dots$$

Sollten nun auch — gemäss der oben genannten Umstände — die Coefficienten $a_2 a_3 \dots$ sehr grosse Werthe haben, so würden doch die das zweite, dritte etc. Glied ausmachenden Producte immer nur sehr kleine Werthe ergeben, und die Länge der sphärischen Abweichung kann unter der gemachten Voraussetzung, also für kleine Neigungswinkel durch das erste Glied

$$\delta = a_1 \sin^2 u$$

fast genau ausgedrückt werden. Würde aber unter sonst völlig gleichen Umständen — z. B. bei einem System von grösserem Oeffnungswinkel — etwa der Neigungswinkel u der äussersten Randstrahlen auf 45° , also dessen Sinus etwa auf 0,7 oder genau auf $\frac{1}{\sqrt{2}}$ wachsen, so würde für diesen Strahl

$$\delta = a_1 \cdot \frac{1}{2} + a_2 \cdot \frac{1}{4} + a_3 \cdot \frac{1}{8} + \dots$$

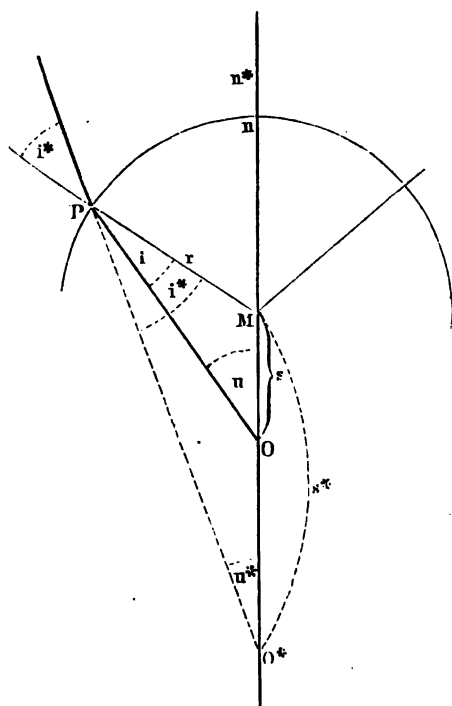
sein. Jetzt müssten, insofern nicht etwa zufällig $a_2 a_3 \dots$ gegen a_1 sehr klein blieben, die auf die ersten folgenden Glieder diesem gegenüber sehr bemerklich hervortreten und es könnte δ allenfalls, d. h. für negative $a_2 a_3 \dots$ einen negativen Werth erhalten, während a_1 positiv ist, also δ für Strahlen in der Nähe der Achse eine positive Abweichung ergeben muss.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass man nur insolange von einer bestimmten Art der sphärischen Abweichung, also, je nachdem der Coefficient des ersten Gliedes a_1 positiv oder negativ ist, von unterverbessert oder überverbessert sprechen kann, als man es

mit kleinen Neigungswinkeln der Strahlen zu thun hat. Sobald grössere Neigungswinkel (also für optische Systeme grosse Oeffnungswinkel) in Betracht kommen, ist dies nicht mehr thunlich. Die sphärische Abweichung geht dann in eine weit verwickeltere Erscheinung über, indem die stärker geneigten Strahlen eine ganz andere Art der Abweichung zeigen können, als diejenigen in der Nähe der Achse und als das Vorzeichen von δ sogar mehrmals umkehren kann, wenn man nach und nach von kleinen u zu grossen übergeht.

Bei der Brechung durch eine Kugelfläche giebt es indessen immer zwei Paare von zugeordneten Punkten, für welche keine sphärische

Fig. 31.



Abweichung eintritt, die ausfahrenden Strahlenkegel also bei beliebigem Divergenzwinkel streng homocentrisch bleiben.

Das erste Paar liegt selbstverständlich in dem Mittelpunkte der Kugel, indem von diesem aus die Strahlen ohne Brechung austreten und der Bildpunkt mit dem Objectpunkt zusammenfällt. Das zweite Paar, bei welchem trotz stattfindender Brechung keine sphärische Abweichung eintritt, kann durch die folgende Betrachtung festgestellt werden:

Wenn ein Objectpunkt O auf der Achse einen Abstand $= s$ von dem Mittelpunkte M der Kugel hat und von ihm aus irgend ein unter dem Winkel u zur Achse geneigter Strahl ausgeht, so ist dessen Einfallswinkel i am Treff-

punkte P nach dem Sinusgesetze bestimmt durch die Gleichung

$$\frac{\sin i}{\sin u} = \frac{s}{r}$$

d. h. für alle Strahlen, welche von demselben Punkte O ausgehen (und zwar unter verschiedenen Winkeln u) ist das Verhältniss von $\sin i : \sin u$ ein und dasselbe ($= s : r$). Es giebt nun einen bestimmten Punkt O , d. h. einen bestimmten Werth von s , für welchen dieses Verhältniss $= n^* : n$ (wobei n^* und n je $= 1$ werden, jenachdem im Bild- oder Objectraume

Luft vorausgesetzt ist) wird, und dieser Werth S von s erscheint bestimmt durch die Gleichung

$$\frac{S}{r} = \frac{n^*}{n} \text{ oder } S = \frac{n^*}{n} \cdot r$$

Für alle Strahlen, welche von dem so festgestellten Punkte ausgehen, ist also

$$\frac{\sin i}{\sin u} = \frac{n^*}{n}$$

Nun ist allgemein der Winkel i^* des gebrochenen Strahles bestimmt durch die Beziehung

$$\frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$$

oder

$$\sin i^* = \frac{n}{n^*} \cdot \sin i$$

und weil im obigen besonderen Fall

$$\sin i = \frac{n^*}{n} \cdot \sin u$$

so ist nun

$$\sin i^* = \sin u$$

oder

$$\angle i^* = \angle u$$

Ferner ist das Dreieck O^*MP ähnlich dem Dreiecke OMP , da beide in dem Winkel an M übereinstimmen und, wenn $i^* = u$, auch $u^* = i$ wird. Daher muss auch sein

$$\frac{s^*}{r} = \frac{r}{S}$$

$$s^* S = r^2 \text{ oder } s^* = \frac{r^2}{S}$$

d. h., wenn O jener bestimmte Punkt ist, S also den oben festgestellten Werth hat, so wird die einzig von S abhängige Entfernung des Schnittpunktes des ausfahrenden Strahles von dem Mittelpunkte der Kugelfläche immer ein und dieselbe, oder der Schnittpunkt des ausfahrenden Strahles mit der Achse immer ein und derselbe Punkt sein, welchen Werth auch u (i und i^*) haben möge. Da endlich

$S = \frac{n^*}{n} \cdot r$ sein muss, so folgt, wenn der Werth von $s^* = S^*$ gesetzt wird,

$$S^* = \frac{n}{n^*} \cdot r$$

Die beiden Punkte O im Abstände $\frac{n^*}{n} \cdot r$ und O^* im Abstände $\frac{n}{n^*} \cdot r$ vom Mittelpunkte der Kugelfläche sind also zugeordnete abweichungsfreie Punkte.

Der Einfluss der sphärischen Abweichung auf die Abbildung giebt 28 sich darin kund, dass an Stelle eines scharfen Bildpunktes O^* in der Bildebene eine Uebereinanderlagerung von Zerstreuungskreisen auftritt, welche ihrer Ausdehnung nach im geraden Verhältnisse zu der Länge der sphärischen Abweichung stehen und dass damit selbst für die Achsenpunkte der Objectebene die Bedingung einer regelrechten Abbildung aufgehoben erscheint. Das Gleiche gilt in noch höherem Maasse für die ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkte, also für die Abbildung eines beliebigen Flächenelementes.

Diese Abweichung lässt sich in Folge des ungleichen Ganges, welchen die einzelnen Glieder bei verschiedenen Neigungswinkeln, sowie in den verschiedenen Bestandtheilen eines zusammengesetzten optischen Systems befolgen, weder durch die Verbindung zweier entsprechender Linsen: einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse, noch durch die Verbindung von mehreren Doppellinsen oder von einfachen und Doppellinsen zu einem Linsensysteme vollständig, d. h. für alle Punkte der Achse gleichzeitig aufheben. Dagegen gestatten derartige Verbindungen eine gewisse Einschränkung und namentlich eine vollkommene Aufhebung für die einzelnen Paare einander zugeordneter Punkte auf der Achse. Es fragt sich nun, ob — wie man dies bisher als selbstverständlich angenommen hat — mit der vollkommenen Hebung der sphärischen Abweichung auf der Achse, welche jedenfalls eine Bedingung des Aplanatismus bildet, die volle Bedingung für Erzeugung einer deutlichen Abbildung auch eines Flächenelementes erfüllt sei. Dies könnte, wie Professor Abbe nachgewiesen hat¹⁾, nur dann der Fall sein, wenn mit dieser Aufhebung Abweichungen ausser der Achse von selbst und wenigstens insoweit ausgeschlossen würden, als sie Undeutlichkeitskreise von gleicher Grössenordnung mit den Ausmaassen des abzubildenden Flächenelements hervorzubringen im Stande sind.

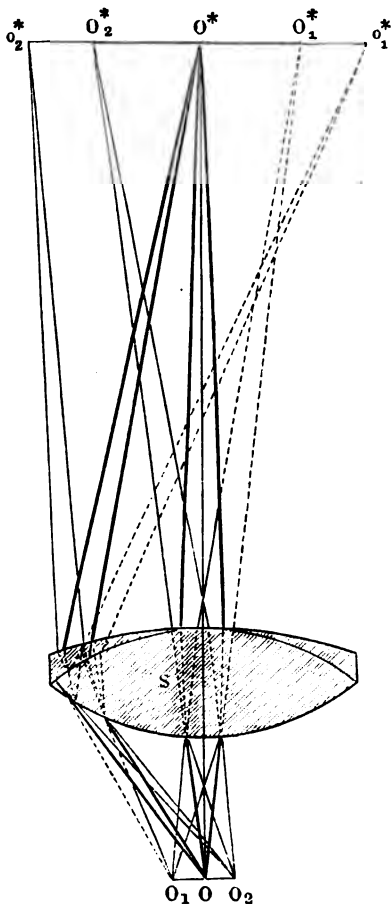
Dass dies aber nicht der Fall ist, ergibt sich, wenn man den Gang von aus dem Gesamt-Strahlenkegel isolirt gedachten Strahlenkegeln verfolgt, welche bei verschiedener Neigung gegen die Achse, und indem sie verschiedene Zonen der lichten Linsenfläche in Thätigkeit setzen, an der Abbildung eines Flächenelementes theilnehmen.

Stellt O_1, O, O_2 (Fig. 32 a. f. S.) ein solches Flächenelement vor und 29 lassen wir von den einzelnen Punkten O_1, O, O_2 je ein centrales und ein peripherisches Strahlenbüschel auf die Linse S treffen, so werden die drei ersteren das Bild $O_1^* O^* O_2^*$, die letzteren das Bild $o_1^* O^* o_2^*$ erzeugen. Beide Bilder fallen nun in ihrem mittleren Theil zusammen, während die seitlichen Theile, sowohl in den Ebenen, in welchen sie entworfen werden, als ihrer räumlichen Ausdehnung nach auseinander fallen können. Man ersieht daraus, dass dasjenige Bild eines axialen Flächenelementes, welches

¹⁾ Abbe. „Ueber die Bedingungen des Aplanatismus.“ Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft 1879.

durch den Randtheil einer Linse oder eines Linsensystems, also durch zur Achse geneigte Strahlenkegel erzeugt wird, auch bei vollkommener Strahlenvereinigung auf der Achse, d. h. bei vollständiger Aufhebung der sphärischen Abweichung für den Achsenpunkt im Allgemeinen eine andere Vergrößerung zeigen wird, als dasjenige Bild, welches gleichzeitig durch die Mitte des optischen Systemes, also durch nahe an der Achse durchgehende Strahlen entsteht, und dass bei Objectivsystemen von grossem Öffnungswinkel dieser Unterschied der linearen Vergrößerung für verschiedene Meridiane und für verschiedene Neigung der abbildenden Strahlenkegel grosse Verschiedenheit zeigen kann.

Fig. 32.



Da nun das Bild, welches durch Vermittelung von Strahlenkegeln mit grossem Divergenzwinkel entworfen wird, als das Resultat einer Ueber-einanderlagerung der unendlich vielen — mittelst enger Blendungsöffnungen sichtbar zu machenden — Einzelbilder erscheint, welche die verschiedenen Theile der lichten Linsenfläche einzeln erzeugen würden, so können diese, wenn

ihre lineare Vergrößerung verschieden ist, wohl in dem Achsenpunkte der Bildfläche zusammenfallen, müssen aber mit zunehmendem Abstände von der Achse — und zwar in geradem Verhältniss zu diesem Abstände — weiter und weiter auseinander treten. Das Bild eines dicht neben der Achse liegenden Objectpunktes wird daher in einen Zerstreuungskreis aufgelöst, dessen Durchmesser ein endliches — unter Umständen sehr beträchtliches — Verhältniss zu seiner Entfernung von der Achse, also zu den Ausmaassen des abgebildeten — auch noch so kleinen — Flächentheiles erhält. Damit ist aber die Voraussetzung

Zweites Capitel. Abbildung durch Linsen und Linsensysteme etc. 53
 einer Abbildung in dem Sinne, in welchem das Wort allein eine Bedeutung hat, aufgehoben.

Soll ein optisches System ein wirklich deutliches und scharfes **30**
 Bild von einem gegebenen Objecte erzeugen, so muss dasselbe neben der Aufhebung der sphärischen Abweichung für ein Paar zugeordnete Punkte auf der Achse noch der weiteren Forderung genügen, dass es für alle Theile der lichten Linsenfläche, d. h. für alle Strahlenrichtungen in den Grenzen des Divergenzwinkels der abbildenden Strahlenkegel, übereinstimmende Vergrösserung gewährt.

Erst durch Erfüllung auch dieser zweiten Forderung werden alle Abweichungen ausgeschlossen, welche nicht von höherer Grössenordnung als die Ausmaasse des abzubildenden Flächenstückes sind, und wird die Abbildung eines solchen Flächenstückes durch Strahlenkegel von endlichen Divergenzwinkeln möglich gemacht.

Die geforderte Uebereinstimmung der Vergrösserung erscheint aber nur dann verwirklicht, wenn innerhalb der beiden zugeordneten Strahlenbündel, welche in den Achsenpunkten O und O^* von Object und Bild ihre Vereinigungspunkte haben, ein ganz bestimmtes Verhältniss der Convergenz stattfindet.

In dem ersten Capitel haben wir bereits ein Verhältniss der Convergenz zugeordneter Strahlenkegel kennen gelernt, welches durch die Gleichung

$$\frac{n \cdot \operatorname{tg} u}{n \operatorname{tg} u^*} = \frac{y}{y^*} = \frac{1}{N}$$

ausgedrückt wurde. Diese Gleichung kann aber gemäss ihrer Begründung nicht mehr Anwendung auf die Abbildung mittelst Strahlenkegel von endlichem Divergenzwinkel finden, weil (insofern die Abbildung durch Linsensysteme bewirkt werden soll) die allgemeine Voraussetzung der früheren Ableitung — genaue Wiedervereinigung der Strahlenbündel von allen Punkten eines zusammenhängenden Raumes — nicht mehr zutrifft. Es bleibt daher zunächst eine offene Frage, wie sich denn das Convergenzverhältniss hier gestalten wird, und da sehr verschiedene Convergenzverhältnisse möglich sind, so ist das wirkliche, hier maassgebende Convergenzverhältniss erst besonders zu bestimmen.

Dies könnte mittelst einer geometrischen Analyse geschehen. Da wir aber hier nicht über elementare mathematische Entwicklung hinausgehen wollen, so möge die betreffende Ableitung an die von Helmholtz eingeschlagene photometrische Betrachtung geknüpft werden. Ist S (Fig. 33 a. f. S.) ein Linsensystem, $O_1 O O_2$ ein Object, von dessen einzelnen Punkten Licht unter Divergenzwinkeln $= 2u$ ausstrahlt, $O_2^* O^* O_1^*$ das Bild, zu dessen einzelnen Punkten das von $O_1 O O_2$ ausgestrahlte Licht unter Divergenzwinkeln $= 2u^*$ überstrahlt und stellen φ und φ^* die lichtstrahlenden Elemente der Object- und Bild-

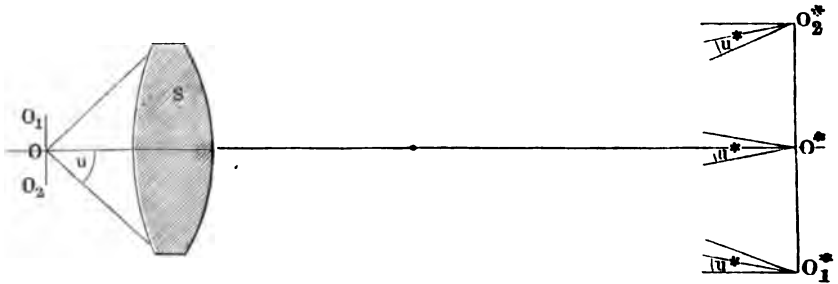
fläche, J und J^* die Lichtmengen dar, welche von der Fläche φ ausgestrahlt und auf die Fläche φ^* gesammelt werden, so ist nach photometrischen Lehrsätzen:

$$J = \varphi \cdot \sin^2 u$$

$$J^* = \varphi^* \sin^2 u^*$$

Soll kein Licht verloren gehen, so müssen, vorausgesetzt, dass Object

Fgi. 33.



und Bild sich in demselben Medium befinden, die Lichtmengen in Objectfläche und Bildfläche einander gleich sein und wir erhalten

$$\varphi \cdot \sin^2 u = \varphi^* \cdot \sin^2 u^*$$

Nun ist die Fläche des Bildes der N^2 mal vergrößerten Fläche des Objectes gleich, also

$$\varphi^* = \varphi \cdot N^2$$

und demgemäss

$$\varphi \sin^2 u = N^2 \cdot \varphi \sin^2 u^*$$

$$\sin^2 u = N^2 \cdot \sin^2 u^*$$

oder

$$\sin u = N \cdot \sin u^*$$

$$\frac{\sin u^*}{\sin u} = \frac{1}{N}$$

Für verschiedene Medien im Object- und Bildraum wird diese Gleichung übergehen in

$$\frac{n^* \sin u^*}{n \sin u} = \frac{1}{N}$$

und es spricht dieselbe die photometrische Bedingung dafür aus, dass das Flächenelement φ mit einer bestimmten, d. h. für alle wirklichen Strahlen gleichen Vergrößerung $= N$ auf dem Flächenelement φ^* abgebildet wird.

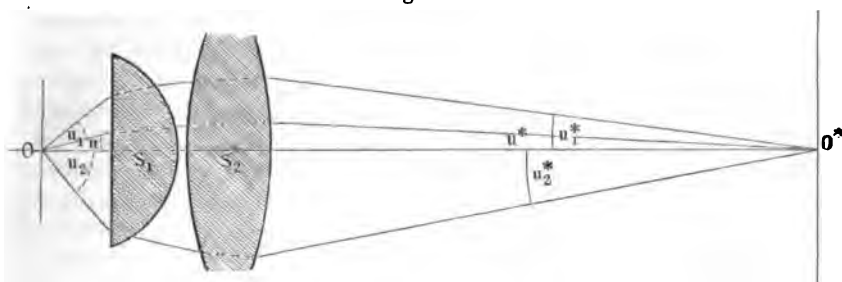
Das die Uebereinstimmung der Vergrößerung durch verschiedene Theile der lichten Linsenfläche bedingende Convergenzverhältniss zugeordneten Strahlenbüschel bestimmt sich also dahin: Es müssen die Sinus der Neigungswinkel beiderseits entsprechender Strahlen gegen die

Achse im ganzen Umfange beider Büschel ein constantes Verhältniss zeigen, also (Fig. 34)

$$\frac{\sin u^*}{\sin u} = \frac{\sin u_1^*}{\sin u_1} = \frac{\sin u_2^*}{\sin u_2} = \dots = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$$

sein.

Fig. 34.



Diese zweite Bedingung des Aplanatismus ist ohne Weiteres nur erfüllt für die beiden oben festgestellten zugeordneten abweichungsfreien Punkte, weil nur für diese $\frac{\sin u^*}{\sin u}$ für alle Strahlen constant,

nämlich für das zweite Paar (da $\frac{\sin i}{\sin u} = \frac{n^*}{n}$) $= \frac{n^*}{n}$ für das erste Paar (wo $u^* = u$) $= 1$ ist, und die lineare Vergrößerung in diesen Punkten bestimmt sich nach der im Voranstehenden entwickelten Gleichung

$$\frac{n^* \cdot \sin u^*}{n \cdot \sin u} = \frac{1}{N}$$

für das zweite Paar

zu:

$$N = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{\sin u}{\sin u^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2$$

für das erste Paar

zu:

$$N = \frac{n}{n^*}$$

Für alle anderen Punkte bleibt die Herstellung des richtigen Convergenzverhältnisses eine besondere Forderung an die Construction der optischen Systeme, welcher so weit als möglich Genüge zu leisten ist.

Gemäss obiger Betrachtungen lassen sich jetzt die Bedingungen des 31 Aplanatismus in folgender Weise zum Ausdruck bringen.

Bei Aufhebung der sphärischen Abweichung in zugeordneten Punkten der Achse für Strahlenkegel von endlichem Divergenzwinkel ist zugleich Proportionalität der Sinus der Neigungswinkel zugeordneter Strahlen herbeizuführen.

Zugeordnete Punkte der Achse, in denen diese Bedingungen erfüllt sind, heissen nach dem von Prof. Abbe eingeführten Sprachgebrauche aplanatische Punkte.

Wie indessen die Achromasie nicht vollständig hergestellt werden kann, so ist es auch mit dem Aplanatismus der Fall. Die Einschränkung auf einzelne Punkte der Achse und einen unendlich klein gedachten Flächentheil, welche im Vorausgehenden gemacht wurden, machen auch eine wesentliche Voraussetzung des Begriffes aus. Es kann also kein optisches System für eine continuirliche Folge von Punkten aplanatisch sein und es ist durch kein optisches Mittel eine dem Objecte ähnliche Abbildung möglich, bei welcher eine ebene Fläche von endlicher Ausdehnung durch Strahlenkegel genau wiedergegeben würde, welche in demselben Raume endliche Divergenzwinkel besitzen, ausser wenn die Vergrösserung der Einheit gleich bleibt.

II. Die Begrenzung der Strahlenkegel.

1. Art und Weise der Begrenzung durch das abbildende System.

Oeffnung, Oeffnungswinkel und numerische Apertur.

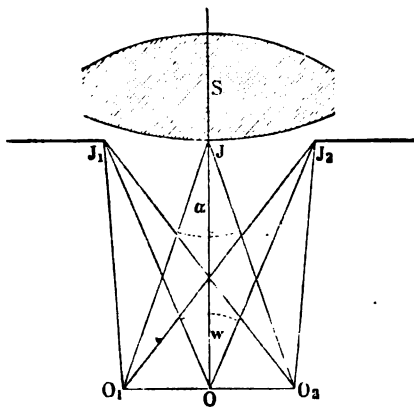
- 32 Von sämmtlichen von einem leuchtenden Punkte aus nach allen Richtungen des Raumes ausgesendeten Lichtstrahlen kann von Linsen und Linsensystemen, wie leicht begreiflich, nur ein kleinerer oder grösserer, begrenzter Theil, welcher als Strahlenkegel mit begrenztem Divergenzwinkel bezeichnet werden mag, aufgenommen werden. Bei einer freiliegenden Linse würde die Schnittfläche derselben die Grundfläche des ihr zugänglichen Strahlenkegels bilden. Da aber bei unseren optischen Instrumenten die Linsen und Linsensysteme in bestimmter Weise gefasst erscheinen, so muss bei denselben irgend eine körperliche Oeffnung vorhanden sein, welche den Lichtstrahlen den Zutritt gestattet und — welche Lage auch Object und Bild gegen einander haben mögen — die das letztere erzeugenden Strahlenkegel bei ihrem Eintritt in und bei ihrem Durchgang durch die Linse oder das Linsensystem begrenzt. Diese körperliche Oeffnung, mag sie nun von einer Blendung, oder von der Durchschnittsfläche der kleinsten der zu einem System verbundenen Linsen gebildet werden, kann in verschiedenen Punkten der optischen Achse gelegen sein. Bei einer in Messing gefassten einfachen oder achromatischen (Doppel-) Linse wird sie durch den inneren Rand des Messingringes gebildet, welcher die Linse aufnimmt. Bei zusammengesetzteren Linsen-

systemen, wie sie bei dem Mikroskope vorzugsweise vorkommen, kann sie entweder von der Fassung der kleinsten Linse oder von irgend einer Diaphragmenöffnung vor, zwischen oder hinter den Linsen verwirklicht werden. Unter allen Umständen erscheint sie als eine kreisförmige, zu der Achse des Systems concentrische Oeffnung von bestimmtem Durchmesser und bestimmter Lage. Sie bildet einen wesentlichen, für die Begrenzung der in dasselbe eintretenden Strahlenkegel und damit für die für unseren Zweck in Betracht kommenden Abbildungsvorgänge höchst wichtigen Bestandtheil jedes optischen Systemes, welcher eine eingehende Betrachtung erheischt und von Professor Abbe mit kurzem und sehr bezeichnendem Namen als „Iris“ des Systemes in die Theorie der optischen Instrumente eingeführt worden ist.

Wenn es sich um Fragen über die anguläre Oeffnung oder den Oeffnungswinkel eines optischen Systemes und damit um tief in die Theorie und die Praxis des Mikroskopes und der mikroskopischen Wahrnehmung eingreifende Fragen handelt, muss die Bestimmung der Wirkung dieser physischen Oeffnung, d. h. der Iris — welches auch ihre Lage oder ihr physischer Ursprung sei — den Ausgangspunkt zu deren Erledigung bilden.

Wird die Iris durch eine zwischen dem Object und der Vorderfläche 33 des Systems gelegene Blendung, also z. B. durch den lichten Raum der

Fig. 35.



vorderen Linse selbst hergestellt, wie in Fig. 35, so liegen alle Verhältnisse sehr einfach. Die Strahlenkegel, welche von den verschiedenen Punkten $O_1 O O_2$ des Objectfeldes ausgehen, erscheinen sämmtlich als Kegel mit einer gemeinschaftlichen Grundfläche, welche durch die kreisförmige Oeffnung $J_1 J J_2$ der Blendung gebildet wird. Nun sind zwar die Winkel an den Spitzen dieser Kegel für die seitlichen Punkte O_1 und O_2 , also $J_1 O_1 J_2$, $J_1 O_2 J_2$, streng genommen nicht gleich demjenigen

$J_1 O J_2$ des Achsenpunktes O , welcher den grössten Werth hat. Aber der Unterschied stellt, im Vergleich zu dem Winkel α , nur eine Grösse der zweiten Ordnung vor und es können alle an den einzelnen Objectpunkten gebildeten, auf der Basis $J_1 J J_2$, stehenden Winkel praktisch so lange als gleiche angesehen werden, als der Halbmesser $O O_1$ des Objectfeldes ein kleiner Theil des Objectabstandes $O J$ ist. Demnach stellt der Winkel $J_1 O J_2$ den Oeffnungswinkel aller von dem System aufnehmbaren Lichtstrahlen, d. h. den Oeffnungswinkel des Systemes in Beziehung zu dem Achsenpunkt O vor.

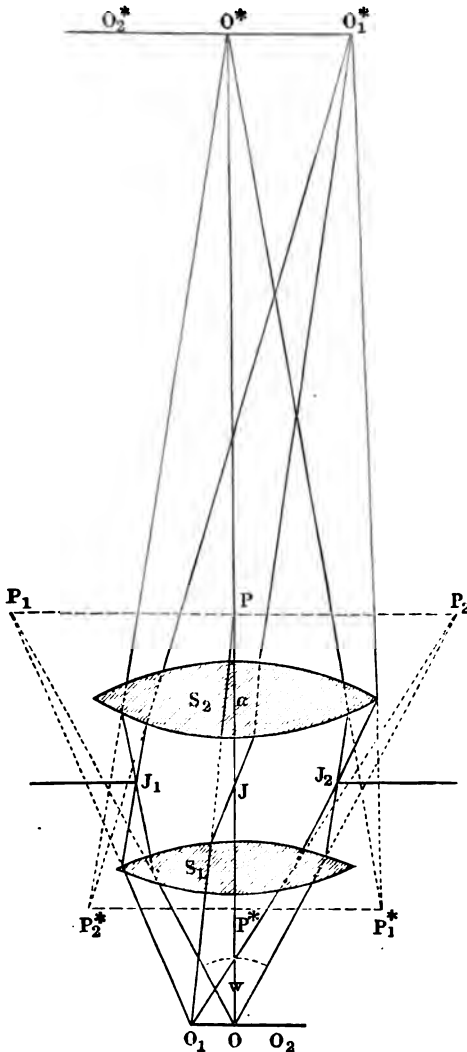
Dieser einfachste Fall kommt bei den Objectivsystemen des Mikroskopes selten und nur dann vor, wenn deren lichte Vorderfläche von kleinerem Durchmesser ist, als irgend eine der anderen lichten Flächen. In der Regel findet man hier die durch die Messingfassung der Linse gebildete Iris zwischen oder hinter den Linsen des Systemes vor. Diese Stellung bedingt indessen, wie wir sehen werden, keinen Unterschied gegen den ersten Fall, da die Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel immer auf eine genau bestimmte kreisförmige Oeffnung in dem Objectraume des Systemes zurückgeführt werden kann, welche in jeder Beziehung gerade so wirkt, wie die im ersten Falle betrachtete Blendung.

34 Ist die Iris $J_1 J J_2$ — wie in Fig. 36 — derart zwischen den Linsen gelegen, dass das System durch sie in einen vorderen S_1 und einen hinteren Theil S_2 zerlegt wird und befindet sich dieselbe unterhalb des hinteren Brennpunktes der vorderen Linse S_1 , so dass ein parallel mit der Achse in diese eintretender Lichtstrahl die letztere in einem Punkt hinter J schneiden würde, stellt ferner $O_1 O O_2$ das Object und $O_1^* O^* O_2^*$ dessen von dem ganzen System entworfenes Bild vor, so lässt sich der Strahlengang leicht construiren.

Um die begrenzende Wirkung der Iris auf die in das System eintretenden Strahlen festzustellen, suche man zunächst die von O und O_1 ausgehenden (die andere Seite O_2 des Objectes ist, um Verwirrung in der Figur zu vermeiden, unberücksichtigt geblieben) Strahlen zu ermitteln, welche bei ihrem Durchgange den Rand der Iris berühren, d. h. welche sich in J_1 und J_2 kreuzen. Dies geschieht, indem man das von der Vorderlinse S_1 von $J_1 J J_2$ in dem Objectraum entworfene Bild $P_1 P P_2$ construirt, welches, da die Iris innerhalb des hinteren Brennpunktes diese Linse angenommen ist, ein virtuelles Bild sein muss und je nach Umständen mehr oder weniger weit hinter $J_1 J J_2$ auftreten kann. Ist $P_1 P P_2$ richtig construirt, so müssen kraft des optischen Satzes über zugeordnete (conjugirte) Punkte (und die sphärische Abweichung unberücksichtigt gelassen) alle von den verschiedenen Objectpunkten zwischen O und O_1 ausgehenden Strahlen, welche nach dem Punkte P zielen, nach ihrem Durchgang durch die Vorderlinse S_1 den Mittelpunkt der Iris J kreuzen, und ebenso müssen alle von diesen Punkten aus nach den Punkten P_1 und P_2 gerichteten Strahlen auf die Ränder J_1 und J_2 der Iris treffen. Da nun die durch die Linie $P_1 P P_2$ im Durch-

schnitt dargestellte Fläche, obgleich sie ausserhalb des Objectraumes auftritt, nach geometrisch-optischer Betrachtungsweise als virtuelles Bild

Fig. 36.



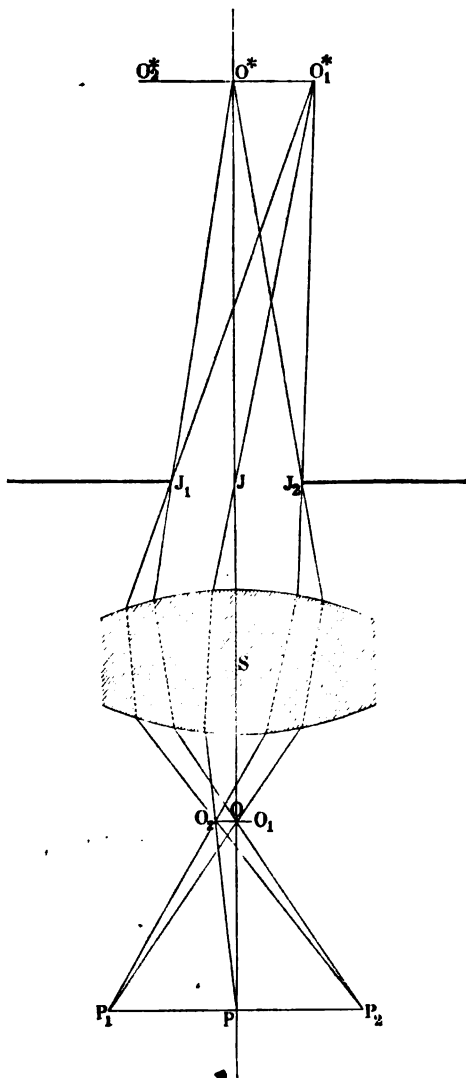
Punkte O_1 und O und die zwischenliegenden Punkte der Objectebene, so erhält man Strahlen, welche nach ihrem Durchgange durch das System den Mittelpunkt J der Iris kreuzen, während solche Linien, welche von den Punkten P_1 und P_2 aus nach den oben genannten Punkten gezogen

dennoch diesem Raume angehört, so äussert sie in jeder Beziehung die gleiche Wirkung wie die in dem ersten Fall betrachtete Blendung. Sie bildet die gemeinschaftliche Grundfläche aller eintretenden Strahlenkegel und bestimmt durch den axialen Winkel $P_1 O P_2 = w$ deren gemeinsamen Öffnungswinkel.

Tritt die Iris hinter 35 dem hinteren Hauptbrennpunkte des ganzen Systemes oder desjenigen Theiles auf, welcher sich vor ihr befindet, so erhalten wir den dritten Fall der Strahlenbegrenzung (Fig. 37 a. f. S.), bei welcher die Iris als durch eine Blendung hinter dem System verwirklicht gedacht ist). Hier erscheint das Bild der in Bezug auf das ganze System der Iris $J_1 J J_2$ zugeordneten Fläche $P_1 P P_2$ als ein reelles und verkehrtes Bild der ersteren in dem Objectraume und zwar vor der Objectebene. Zieht man Linien von dem

werden, die äussersten Strahlen derjenigen Strahlenbüschel ergeben, welche auf die Ränder der Iris treffen. Auf diese Weise ergibt sich

Fig. 37.



wiederum eine Kreisfläche innerhalb des Objectraumes, welche die gemeinschaftliche Grundfläche aller eintretenden Strahlenkegel bildet und insofern dieselben bei ihrem Durchgange durch das System in der gleichen Weise begrenzt, wie eine Blending vor dem System.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, dass, auf welche Weise auch die Iris physisch hergestellt sei, in jedem optischen Systeme, immer eine Kreisfläche von bestimmtem Durchmesser und von bestimmter Lage auf der Achse und innerhalb des Objectraumes vorhanden ist, welche die gemeinschaftliche Grundfläche aller der Strahlenkegel vorstellt, welche von den verschiedenen Punkten der Objectebene aus in das erstere eintreten. Befindet sich die Iris vor dem System, so bildet sie selbst diese Kreisfläche, in allen anderen Fällen wird sie durch ein reelles

oder virtuelles Bild der Iris ersetzt, welches durch die zwischen Iris und Object gelegene Linse des ersteren in dem Objectraum entworfen wird und welches, falls es nicht in zu weiter Entfernung entworfen oder zu stark vergrössert wurde, ebensogut beobachtet und gemessen werden

kann, wie jedes wirkliche Object. Das reelle Bild kann, wenn das System von hinten beleuchtet wird, auf einen Schirm projiziert und seine Lage auf der Achse, wie sein Durchmesser mittelst eines Maassstabes bestimmt werden. Das Gleiche kann mit dem virtuellen Bild geschehen, wenn man es mittelst eines Hilfsmikroskopes von grossem Focalabstand beobachtet.

Die allgemeingültige Begriffsbestimmung des Oeffnungswinkels eines optischen Systemes für jede beliebige Stellung des abzubildenden Objectes lautet demgemäss:

Der Oeffnungswinkel ist der Winkel eines gleichschenkligen Dreieckes, dessen Scheitel der Achsenpunkt der Objectebene, dessen Grundlinie der lineare Durchmesser des aus der Iris des Systemes abgeleiteten Bildes ist.

In Uebereinstimmung mit dem gewöhnlichen Sprachgebrauche, welcher das in der vorderen Augenkammer von der Iris des Auges entworfene Bild als Pupille bezeichnet und diese Benennung verallgemeinernd, hat Professor Abbe das reelle oder virtuelle Bild der Iris eines Systemes in dem Objectraume die „Eintrittspupille“ des Systemes genannt, und so auch für dieses Element des Abbildungsvorgangs in dem Mikroskope (und selbstverständlich auch in anderen dioptrischen Instrumenten) eine ebenso kurze als treffende Bezeichnung eingeführt.

Unter Verwendung dieser Bezeichnung erhalten wir nunmehr für die Begriffsbestimmung des Oeffnungswinkels folgenden Ausdruck:

Der Oeffnungswinkel ist der in dem axialen Objectpunkte gelegene Winkel eines gleichschenkligen Dreieckes, dessen Grundlinie von dem linearen Durchmesser der Eintrittspupille gebildet wird, oder mit anderen Worten: Der Oeffnungswinkel ist der auf die Objectebene bezogene anguläre Durchmesser der Eintrittspupille des Systemes.

Haben wir in den bisherigen Erörterungen nur die Begrenzung der Strahlenkegel bei ihrem Eintritt in das optische System betrachtet, so müssen wir uns nun auch der Betrachtung der nicht minder wichtigen mit manchen Fragen über die Wirkung der Oeffnung eng verknüpften Begrenzung der Strahlenkegel zuwenden, welche von diesem aus zu dem Bilde hinübertreten. In dieser Beziehung haben alle die im Vorausgehenden dargelegten Behauptungen hier dieselbe Geltung wie dort. Hier wie dort ist immer eine bestimmte Kreisfläche vorhanden, welche die gemeinschaftliche Grundfläche bildet für alle Strahlenkegel, welche im Bildraum nach den einzelnen Punkten des Bildes hinzielen.

Und diese Kreisfläche, welche Professor Abbe als „Austrittspupille“ bezeichnet, kann in ähnlicher Weise von der wirklichen Iris des Systemes abgeleitet werden wie die Eintrittspupille. Sie kann mit der Iris zusammenfallen, wenn diese ausserhalb des Systemes und hinter den Linsen gelegen ist, wie in Fig. 37 dargestellt. In der Regel indessen wird sie ein reelles oder virtuelles Bild der Iris sein,

welches von dem hinter ihr liegenden Theil des Systemes in dem Bildraume entworfen wird.

In der Fig. 36 stellt $P_1^* P^* P_2^*$ die Austrittspupille vor und es kann dieselbe mit der Eintrittspupille zugleich gezeichnet werden. Gemäss der hier angenommenen Lage der Iris $J_1 J J_2$ erscheint sie als ein virtuelles Bild dieser letzteren, welches von dem hinteren Theil S_2 des Systemes entworfen wird und demnach dioptrisch betrachtet in dem Bildraume liegt. Dieselbe kann bei dem Mikrosobjective beobachtet werden, wenn man dasselbe mittelst eines ausreichend breiten Lichtbüscheles beleuchtet, welcher die ganze Iris ausfüllt. Wenn man nämlich das Ocular entfernt und das Auge mitten über die Oeffnung haltend in den Tubus hinabsieht, so erblickt man sie als einen hellen Kreis.

Wir haben nun also in Bezug auf die Bestimmung der Wirkung eines optischen Systemes zwei Pupillen in Betracht zu ziehen, welche beide ihre Entstehung einer wirklichen, in der Construction gegebenen Eintrittsöffnung verdanken, von denen aber jede von einem anderen Theile des optischen Systemes entworfen wird und in einem anderen zu diesem in Beziehung stehenden Raumabschnitt erscheint. Zwischen beiden Kreisflächen besteht eine allgemeine und einfache Beziehung, welche leicht erkennbar wird, wenn man die Fig. 36 nochmals in Betracht zieht.

Alle Strahlen, welche in derselben von den einzelnen Punkten der Objectebene aus und in dem Objectraume nach einem Punkte der Eintrittspupille $P_1 P P_2$ hinzielen, divergiren nach ihrem Durchgange durch das System auch von einem Punkte der Austrittspupille $P_1^* P^* P_2^*$ aus nach der Bildebene. Diese Thatsache ist darin begründet, dass je ein Punkt der Eintrittspupille und je ein entsprechender Punkt der Austrittspupille sich beide von ein und demselben Punkte der Iris $J_1 J J_2$ ableiten lassen.

Ist eine der beiden Pupillen — Eintrittspupille oder Austrittspupille — gegeben, so kann die andere bestimmt werden, ohne dass man auf die Iris zurückzugreifen braucht. Man construirt dann einfach das Bild der einen so, als ob es von dem ganzen System unter der Voraussetzung entworfen werde, dass die andere ein wirkliches Object vorstelle.

- 38 Das Ergebniss der bisherigen Untersuchungen besteht darin, dass ein neues Element in die Theorie der optischen Instrumente eingeführt wird, durch welches die Wirkung derselben in Beziehung auf die Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel genau bestimmt werden kann. Da diese Begrenzung, welche stets einen wesentlichen Factor in der Wirkung irgend welcher Linsensysteme bildet, nicht hinreichend bestimmt erscheint, wenn man lediglich Object- und Bildebene in Betracht zieht, so muss noch ein anderes Paar von Ebenen, nämlich die Ein- und Austrittspupille, herangezogen werden. Sie können — wie wir gesehen haben — eingeführt werden, entweder dadurch, dass man die Iris des betreffenden Systemes feststellt und daraus die beiden Pupillen ableitet, oder indem man die eine dieser letzteren setzt und die andere als ihr Bild bestimmt.

Da nun die beiden Pupillen immer gleich unentbehrlich sind für die Bestimmung derjenigen Strahlenkegel, welche an der Entwicklung des Bildes theilhaft sind, so erscheinen dieselben, wenn sie richtig festgestellt wurden, vollständig ausreichend für eine zutreffende Bestimmung des optischen Vorganges der Bilderzeugung. Wären z. B. aus Fig. 36 alle Angaben über die einzelnen Bestandtheile und über die Iris des Systemes hinweggedacht und nur die Objectebene $O_1 O O_2$, die Bildebene $O_1^* O^* O_2^*$, die Eintrittspupille $P_1 P P_2$ und die Austrittspupille $P_1^* P^* P_2^*$ belassen, so könnte die Wirkung des Systemes, wie es die Abbildung darzuthun im Stande ist, doch vollständig ermittelt werden. Denn jeder Lichtstrahl, welcher in das System zugelassen wird und zur Erzeugung des Bildes beiträgt, muss von einem bestimmten Punkt des Objectes — O — ausfahren, durch einen bestimmten Punkt — P — der Eintrittspupille hindurchgehen, dann, nachdem er das System durchlaufen hat, den O zugeordneten Punkt — O^* — der Bildebene erreichen, und auf seinem Wege zugleich den P zugeordneten Punkt — P^* — der Austrittspupille treffen.

Die Folge der beiden Pupillen, resp. ihrer beiden Mittelpunkte P und P^* auf der optischen Achse im Object- und Bildraum und je den Object- oder Bildpunkt als Anfangspunkt genommen, kann eine vierfach verschiedene sein, da jede derselben in Bezug auf Object und Bild ihre Lage zweimal wechseln kann. Die Eintrittspupille kann entweder vor oder hinter der Objectebene liegen, und zugleich kann die Austrittspupille der Bildebene vorausgehen oder derselben folgen. Zwei dieser Fälle, welche in Beziehung auf die Objectebene einander entgegengesetzt sind, in Bezug auf die Bildebene übereinstimmen, finden sich in der Anordnung der Figuren 36 und 37 verzeichnet, und soweit, als die Objectivsysteme des Mikroskopes allein in Betracht kommen, kann immer eine Art dieser Folge von Bild und Austrittspupille verwirklicht sein. Ein dritter Fall, wobei die Austrittspupille der Bildebene vorausgeht, erscheint bei dem Mikroskope ebenfalls möglich und vorhanden. Derselbe tritt nämlich immer dann ein, wenn ein optisches System verwendet wird, um in der deutlichen Sehweite ein virtuelles Bild zu entwickeln, wie es in der That Objectivsystem und Ocular zusammen thun. Diesen Fall werden wir bei der Betrachtung des zusammengesetzten Mikroskopes ausführlich erörtern.

Alle die vorausgehenden Entwicklungen finden unbeschränkte Anwendung bei jedem Medium, welches im Object- oder im Bildraum vorausgesetzt werden mag. Befindet sich z. B. — wie bei Immersionssystemen — vor dem optischen Systeme ein anderes Medium als Luft, so beziehen sich die Bestimmungen der Eintritts- und Austrittspupille auf dieses und es gilt diese Behauptung auch für jede weitere Substanz, ja für mehrere Schichten verschiedener Substanzen, welche sich vor der Vorderfläche des betreffenden Systemes befinden mögen, wenn dieselben nur durch ebene, zur optischen Achse senkrechte Flächen von dem

ursprünglich in Wirksamkeit tretenden Medium getrennt werden. Die Zwischenlagerung solcher Substanzen ändert weder die Brennweite noch die Vergrösserung des Systemes und berührt, wenn die Schichten keine merkbare Dicke besitzen, selbst nicht einmal die Verbesserungen der Abbildungsfehler. Nun treten bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes überall solche parallele, auf die von dem Objecte aus zu dem Objectivsysteme hinübertretende Strahlen wirkende Schichten — Aufbewahrungsmittel, Deckglas, Medium zwischen diesem und der Vorderfläche des Objectivsystemes und selbst die Substanz der Vorderlinse, falls dieselbe eine ebene Vorderfläche besitzt — auf und es kann eine jede dieser Schichten als dasjenige Medium betrachtet werden, für welches die Art und Weise der Strahlenbegrenzung, d. h. der Oeffnungswinkel, bestimmt werden soll. Es entsteht somit die Frage, welches ist die Beziehung zwischen den Angaben über die Winkelöffnung eines und desselben Systemes für verschiedene Medien?

Bei dem Mikroskop wird die Lage des Bildpunktes O^* (Fig. 36 und 37) auf der Achse durch den Abstand des Oculares bestimmt und es müsste daher für jede Schicht der vor dem Objectivsystem befindlichen Substanzen der zugeordnete Objectpunkt O , d. h. der Scheitel des charakteristischen Dreieckes ermittelt werden, was durch eine entsprechende Construction der Eintrittspupille geschehen kann. Soweit aber nur der Oeffnungswinkel in Frage kommt, können die verschiedenen Lagen des Objectpunktes und der Eintrittspupille für die Schichten der verschiedenen Substanzen unberücksichtigt bleiben, da die Richtung jedes durch parallel geschichtete Medien gehenden Strahles ohne Rücksicht darauf, in welchem Punkte er die Achse schneidet, dem Brechungsgesetze gemäss wechseln muss. Wendet man diese Thatsache auf den Strahl mit grösster Divergenz an, welcher den halben Oeffnungswinkel bestimmt, so ändert sich der Sinus dieses Winkels beim Uebergang aus einem Medium in das andere im umgekehrten Verhältniss zu dem Brechungsindex. Auf diese Weise geben die Winkel, welche sich auf verschiedene Medien beziehen, die Oeffnung ein und desselben Systemes, wenn die Sinus derselben zu den betreffenden Brechungsindices im umgekehrten Verhältnisse stehen.

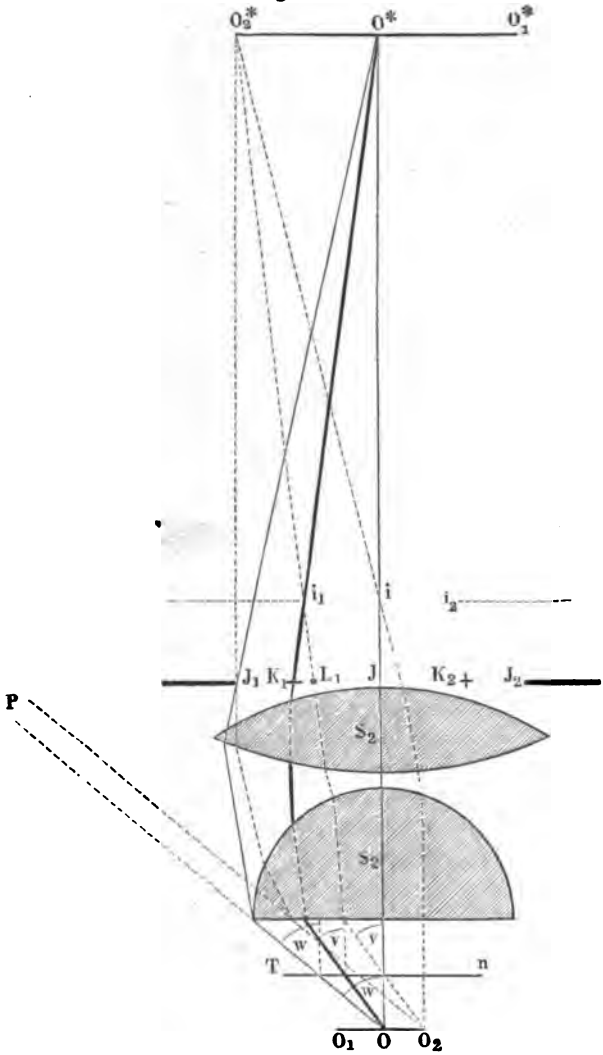
Dieser Satz hat indessen nur Geltung, wenn die Begrenzung der Strahlenkegel in den verschiedenen Medien stets durch die ursprüngliche Iris des Systemes bewirkt wird. Nun ist aber diese Bedingung immer dann nicht erfüllt, wenn die Iris eines Systemes so gross ist, dass dieselbe in einem Medium von bestimmtem Brechungsindex einem Oeffnungswinkel entspricht, dessen Hälfte den Winkel der Totalreflexion im Uebergange zu einem weniger stark brechenden Medium — etwa Luft — übertrifft. In solchem Falle kann nämlich kein Bild der Iris in dem letzten Medium entworfen werden und die Begrenzung der Strahlenkegel durch die ursprüngliche Iris geht verloren. Die Sinusregel ist sonach nicht anwendbar, um den Oeffnungswinkel für das be-

treffende Medium zu bestimmen, da sie einen die Einheit überschreitenden Sinus und damit einen imaginären Winkel ergeben würde. .

Da diese Thatsache in der Frage über die Oeffnung der Objectivsysteme viel Verwirrung und Streit verursacht hat und da sie ferner immer in Wirksamkeit tritt, wenn man trocken eingelegte Objecte mittelst Immersionssystemen von grossem Oeffnungswinkel beobachtet, darf eine ausführliche Erörterung derselben hier nicht umgangen werden.

Es sei $S_1 S_2$, Fig. 38, ein solches System mit der Iris $J_1 J J_2$, welches 40 innerhalb eines bestimmten Mediums mit dem Brechungsindex n vor der

Fig. 38.



Vorderfläche einen halben Oeffnungswinkel w ergibt, dessen Werth denjenigen des Winkels der Totalreflexion (v) von diesem Medium aus nach der Luft überschreitet, ferner bezeichne O den Objectpunkt innerhalb dieses Mediums, O^* den zugeordneten Bildpunkt und es werde vorausgesetzt, dass das Medium von der Schicht $= n$ aus Luft bestehe und von ihr durch eine zur Achse senkrechte ebene Fläche T getrennt sei, dann lässt sich der maassgebende Strahlenglanz leicht construiren.

Diejenigen Strahlen, welche aus Luft zu dem in Rede stehenden System Zugang finden können, lassen sich aus folgendem einfachen optischen Grundsatz ableiten: Es kann kein Lichtstrahl durch irgend ein System nach einer Richtung hindurchgehen, welcher nicht auch in der entgegengesetzten Richtung dasselbe zu durchlaufen vermöchte. Indem man demgemäss alle diejenigen Strahlen aufsucht, welche von dem Bildraume aus durch das System in Luft übertreten können, erhält man zugleich alle diejenigen Strahlen, welche von Luft aus in den Bildraum übertreten im Stande sind. Wenn wir nun den Strahlenkegel betrachten, welcher durch die ursprüngliche Iris $J_1 J J_2$ von dem Bildpunkt O^* aus in das System eintritt, so erreicht der Grenzstrahl $O^* J_1$ nach seinem Durchgange durch das System die Ebene T unter einem Neigungswinkel $= w$, welcher den Winkel der Totalreflexion für das Medium $= n$ überschreitet und wird demgemäss vollständig zurückgeworfen. Dasselbe wird der Fall sein mit allen denjenigen Strahlen, welche sich ausserhalb eines genau bestimmten Strahles $O^* K_1$ befinden, dessen Neigungswinkel zu den Ebenen T genau $= v$ ist.

Nach dem oben angegebenen Grundsatz werden demnach alle von dem Objectpunkte O in Luft ausgehende Strahlen von dem Bildpunkte O^* ausgeschlossen, welche nicht durch den mittleren freien Theil der Iris $K_1 K_2$ gegangen sind.

Betrachten wir weiter einen Strahlenkegel, welcher von dem ausserhalb der Achse gelegenen Bildpunkte O_3^* ausgeht, so wird derjenige Grenzstrahl $O_3^* L_1$ desselben, welcher in Luft übertreten vermag, durch die Bedingung bestimmt, dass seine Neigung gegen die Ebene T den Winkel v nicht überschreiten dürfe und das Gleiche wird für alle solche Strahlen Geltung haben, welche von allen zwischenliegenden Punkten der Bildebene ausgehen. Es müssen daher alle Strahlenkegel, welche von Luft aus durch das System nach irgend welchen Punkten des Bildfeldes übergehen können, nach ihrem Eintritt in das Zwischenmedium $= n$ den gemeinschaftlichen Oeffnungswinkel $2v$ für dieses Medium ergeben.

Das gleiche Resultat wird erhalten, wenn — wie es bei trocken eingelegten, sehr dünnen mikroskopischen Präparaten (Diatomeenschalen, Schmetterlingsschuppen u. dergl.) der Fall ist — das Medium $= n$ durch eine äusserst dünne durch parallele Ebenen begrenzte Luftschicht von der Vorderfläche des Objectivs getrennt erscheint. Der erhaltene Oeff-

nungswinkel $2v$ beträgt unter den vorausgesetzten Umständen natürlich 180° und die sämtliche Strahlenkegel begrenzenden Strahlen verlaufen innerhalb des Mediums $= n$ unter einander parallel, also so, als ob sie nach dem Umfange einer in unendlicher Entfernung gelegenen Eintrittspupille hinielen. Nach ihrem Durchgange durch das System müssen sie sich aus diesem Grunde in einem bestimmten Punkt i_1 oder i_2 kreuzen, der da liegt, wo sich der Vereinigungspunkt eines parallelstrahligen Lichtbüschels, oder das Bild eines unendlich weit entfernten leuchtenden Punktes befinden würde, d. h. in der hinteren Brennebene des Systemes.

Im Gefolge dieser Thatsache werden alle Strahlenbüschel, welche von Luft aus Zutritt zu der Bildebene finden, von einer Kreisfläche $i_1 i_2$ von bestimmtem linearem Durchmesser gerade so begrenzt, als ob an ihrer Stelle eine wirkliche Blending mit gleichem Durchmesser eingesetzt worden wäre. An Stelle der ursprünglichen Iris ist also in der hinteren Brennebene eine durch die Wirkung der Zurückwerfung an der Ebene T erzeugte neue Iris von bestimmtem Durchmesser zu setzen, welche füglich als stellvertretende Iris bezeichnet werden kann. Dieselbe ändert weder Ort noch Durchmesser, wenn die einander zugeordneten Object- und Bildpunkte O und O^* an verschiedene Orte der optischen Achse verlegt werden.

Die hier theoretisch abgeleitete Erscheinung kann leicht mittelst eines der hier in Frage kommenden Objectivsysteme beobachtet werden. Wirft man nämlich mittelst eines Immersionscondensors von gleicher oder grösserer Oeffnung, als diejenige des Objectives, z. B. mittelst des später zu besprechenden Abbe'schen Beleuchtungsapparates, den vollen Lichtkegel in das System, indem man die Hinterfläche der Beleuchtungslinse und die Vorderfläche des letzteren durch eine Wasserschicht (oder Oelschicht bei Objectivsystemen für homogene Immersion) verbindet, so erscheint, wenn man das Ocular entfernt und mit freiem Auge in den Tubus sieht, die volle Iris, oder die daraus abgeleitete Austrittspupille als ein heller Kreis. Schaltet man dann aber zwischen die genannten Flächen eine so dünne Luftschicht ein, dass sie die Strahlen von äusserster Schiefe nicht abschneidet, so erscheint die Austrittspupille — hier die stellvertretende Iris selbst — als ein verkleinerter von einem dunklen Ringe umgebener Kreis, welcher stets in der Bildebene weit entfernter Gegenstände, d. h. in der hinteren Brennebene des betreffenden Objectivsystemes auftritt.

Da, wie aus den voranstehenden Betrachtungen hervorgeht, der 41 Oeffnungswinkel stets als Winkel an der Spitze eines gleichschenkligen Dreieckes erscheint, dessen Scheitel der Achsenpunkt der Objectebene, dessen Grundlinie der Durchmesser der Eintrittspupille bildet, so muss sich dieser Winkel ändern, sobald die Eintrittspupille ihre Stellung und ihren Durchmesser ändert, oder der Objectpunkt einen anderen Ort auf der Achse einnimmt. Die Lagen- und Grössenänderung der Eintritts-

pupille tritt immer dann ein, wenn man für Versuchszwecke — und wir werden später davon Anwendung machen — an irgend einer Stelle der optischen Achse eine hinreichend kleine Blending einführt. Dieselben können aber auch ohne gewollt zu sein erscheinen, wenn die ursprüngliche Iris nicht, wohl aber die Stellung des vorderen Theiles eines Systemes gegen die Iris geändert wird. Auf diesen Fall, der bei Objectivsystemen mit Correctionsfassung eintreten kann, werden wir später zurückkommen.

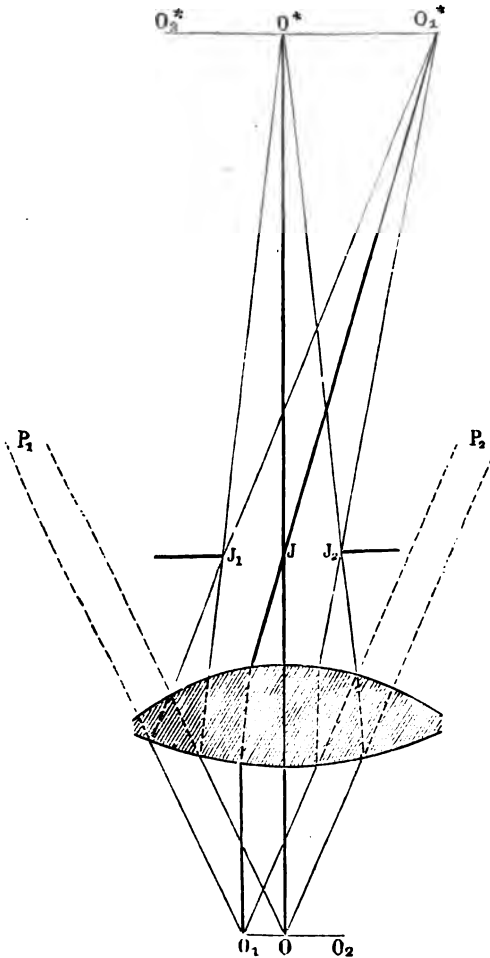
Die Lage des Objectpunktes, welcher in der Regel und namentlich bei dem Mikroskope durch die für das Zusammenwirken seiner optischen Theile geforderte Lage der Bildebene bedingt wird, muss in dem Maasse von Einfluss werden, als bei der hier ungeänderten Lage der Eintrittspupille die Entfernung zwischen dieser und dem ersteren eine grössere oder kleinere wird. Wenn die Eintrittspupille in beträchtlicher Entfernung von dem Objectpunkte auftritt, was der Fall, wenn die Iris der hinteren Brennebene des Systemes oder seines vorderen Theiles (S_1 Fig. 36) sehr nahe liegt, dann ist das System nicht sehr empfindlich. Eine Verschiebung des Objectpunktes wird also keine merkliche Veränderung des Oeffnungswinkels im Gefolge haben. Wenn aber die Iris von diesem Brennpunkte weit abliegt — sei es vor oder hinter demselben — und demnach die Eintrittspupille als ein reelles oder virtuelles Bild der Iris in der Nähe der Objectebene erscheint, dann ändert sich der Oeffnungswinkel merkbar, wenn der Objectpunkt dem Systeme genähert, oder von ihm entfernt wird. Auch dieser Fall wird, soweit er praktisch in Betracht kommt, später Erörterung finden, hier wollen wir dagegen seine versuchsweise Darstellung betrachten.

Bringt man z. B. bei ein- und demselben und zwar schwachen Objectivsysteme zunächst vor dessen Vorderfläche eine hinreichend kleine Blending an, um die ursprüngliche Iris unwirksam zu machen und die Eintrittspupille (welche hier durch die Iris selbst dargestellt wird) noch über die Objectebene zu verlegen, so wird der Oeffnungswinkel vergrößert, wenn man den Objectpunkt dem Systeme nähert und umgekehrt. Verlegt man dann die Blending in mässiger Entfernung über die Hinterlinse des Systemes, so dass die Eintrittspupille als reelles Bild der ersten nahe unter der Objectebene erscheint, dann verkleinert sich der Oeffnungswinkel bei Annäherung des Objectpunktes an das System und umgekehrt. Eine Annäherung des Objectpunktes an das Objectivsystem tritt aber stets ein, wenn man den Tubus verlängert, eine Entfernung des ersteren von dem letzteren dagegen, wenn man den Tubus verkürzt.

Derartige Versuche erweisen die Unrichtigkeit aller derjenigen Erklärungen für den Oeffnungswinkel, welche auf den Begriff des sogenannten nutzbaren Theiles der lichten Vorderfläche des betreffenden Systemes und andere ähnliche Merkmale gegründet sind. Denn keine einzige der auf solchen Grundlagen aufgebauten Anschauungen kann mit den obigen experimentellen Thatsachen in Einklang gebracht werden.

Die Stellung, welche die Iris den einzelnen Theilen eines Systemes 42 gegenüber einnimmt, ist, wie aus früheren Erörterungen hervorgeht, insofern für die Strahlenbegrenzung von Bedeutung, als verschiedene Stellungen, z. B. in Bezug auf die hintere Brennebene verschiedene Oerter des Mittelpunktes der Eintrittspupille auf der Achse herbeiführen. Wir werden auf diesen Punkt bei der Betrachtung der Objectivsysteme des Mikroskopes näher zurückkommen und wollen hier nur

Fig. 39.



den für eine bestimmte Lage der physischen Eintrittsöffnung charakteristischen Strahlengang näher betrachten, welcher sich an die durch die Einschaltung einer dünnen Luftschicht herbeigeführte Strahlenbegrenzung anschliesst und von Professor Abbe als „telecentrischer“ bezeichnet worden ist. Derselbe wird immer dann herbeigeführt, wenn die Iris durch eine Blendung in der hinteren Brennebene des Systemes verwirklicht erscheint. In diesem Falle, welcher durch die Fig. 39 veranschaulicht wird, bildet die Eintrittspupille ein in unendlicher Entfernung entworfenes Bild der Iris und die Austrittspupille fällt mit der letzteren zusammen. Alle Strahlen, welche von den verschiedenen Punkten der Objectebene aus nach dem Mittelpunkte dieser Eintrittspupille zielen, müssen daher, so lange sie in dem Objectraume verbleiben, der optischen Achse und

die Strahlen von äusserster Schiefe $O_1 P_1$, $O_2 P_2$ den entsprechenden, von dem Achsenpunkt O ausgehenden Strahlen parallel verlaufen.

Obgleich dieser Strahlengang keine besondere Beziehung zu den

für gewöhnlich benutzten Mikroskopsystemen hat, wird er doch in einem im vierten Buche zu erörternden speciellen Falle von Wichtigkeit.

- 43 Die hohe Bedeutung der Oeffnung für Theorie und Praxis des Mikroskopes ist bereits betont worden. Auf sie gründet sich eine Reihe von Functionen und Eigenschaften des Instrumentes, von denen die meisten einer genauen Messung zugänglich und aus dem erhaltenen Resultat ziffermässig bestimmbar sind. Es ist somit einleuchtend, dass der unmittelbare Zusammenhang dieser Functionen und Eigenschaften mit der Oeffnung auch einen genauen durch Zahlen bestimmbaren Ausdruck, d. h. ein Maass im wahren Sinne des Wortes für diesen Grundfactor erwünscht und nothwendig macht. Dass der Winkelwerth der Oeffnung, „der Oeffnungswinkel“ ein solches Maass nicht bilden kann, ist selbstverständlich, da dieser nichts weiteres als eine geometrische Bezeichnungsweise der Oeffnung ist. So z. B. wird niemand behaupten wollen, dass für ein Trockensystem ein Winkelwerth von 120° eine doppelt so grosse Oeffnung vorstelle, als ein Winkelwerth von 60° . Es giebt, ganz kleine Winkel ausgenommen, keinen einzigen Fall in der Wirkungsweise des Mikroskopes, in welchem die Leistung einer vergrösserten Oeffnung im Verhältniss stehe zu der Vergrösserung des Oeffnungswinkels und ebensowenig können gleiche Oeffnungswinkel gleiche Oeffnung anzeigen, so lange sie nicht auf das gleiche Medium bezogen werden. So bezeichnet z. B. 100° des Oeffnungswinkels eines Immersions-systemes irgend welcher Art unzweifelhaft eine weit grössere Oeffnung, als 100° des Luftwinkels eines Trockensystemes.

Daraus ist ersichtlich, dass, weil der Oeffnungswinkel kein wahres Maass für die Leistung eines Systemes sein kann, dieses Maass ein solches sein muss, welches den vollen Einfluss der Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel auf die Wirksamkeit des Mikroskopes voll umfasst und diesen, sowie den Werth des Oeffnungswinkels unter irgend welchen gegebenen Bedingungen genau bestimmt.

Man nehme irgend zwei Objectivsysteme mit verschiedenen grosser Oeffnung und vergleiche dieselben, so wird man finden, dass die Verschiedenheit in ihren Leistungen, welcher Art diese auch sonst sein mögen, insoweit dieselben von der Oeffnung abhängen, darauf beruht, dass das eine derselben noch von dem Objecte ausgehende Strahlen aufnimmt, welche dem anderen nicht mehr zugänglich sind. Es ist demnach die Fähigkeit, eine grössere oder geringere Strahlenmenge von dem Objecte aus aufzunehmen und zu dem Bilde hinüberzuführen, die allgemeine Function eines Objectivsystemes, die allgemeine Grundlage, auf welcher seine verschiedenen Leistungen beruhen. Vergleicht man nun, indem man von allen nebensächlichen und zufälligen Umständen absieht, oder dieselbe durch die Annahme einer in ihrem ganzen Umfange gleichmässig lichtstrahlenden Flächeneinheit von bestimmter Ausdehnung ausschliesst, die Menge der Strahlen, welche von verschiedenen Systemen aufgenommen wird, so wird die

Function der Oeffnung auf einen genauen, zahlenmässigen Ausdruck zurückgeführt.

Bei sehr kleinen Oeffnungswinkeln kann die Strahlenmenge, wegen der Gleichwerthigkeit der Strahlenbüschel in verschiedenen Richtungen, durch den Ausdruck des Winkelwerthes bemessen und dieser Winkelwerth als Maass der Oeffnungswirkung betrachtet werden. Hat man es dagegen mit grossem Oeffnungswinkel, also mit Strahlenkegel von grossem Divergenzwinkel zu thun, so sind die nach verschiedenen Richtungen ausfahrenden Strahlen nicht mehr als gleichwerthig anzusehen und der Strahlenkegel kann nicht mehr durch seinen Scheitelwinkel ausgewerthet werden. Es giebt indessen einen anderen, von dem Winkelwerthe abgeleiteten Zahlenausdruck, dessen Quadrat die hier in Frage kommende Strahlenmenge bestimmt und mittelst dessen die Fähigkeit der Strahlenaufnahme grosser Oeffnungen ebenso gut gemessen werden kann, wie diejenige sehr kleiner Oeffnungen durch die Winkel. Dieser Ausdruck ist nun zunächst aufzusuchen und soll hierzu der von Professor Abbe vorgezeichnete mittelbar zu dessen Ermittlung führende, elementare Weg eingeschlagen werden, welcher die Bedingung, dass das abbildende System ein aplanatisches sei, zu Hülfe nimmt.

Wird ein Objectivsystem als ein für die conjugirten Punkte von 44 Object und Bild aplanatisches angesehen, so bleiben alle von den einzelnen Objectpunkten ausgehenden homofocalen Strahlenbüschel nach ihrem Durchgange durch das System homofocal. Zieht man nun einen bestimmten Flächentheil der Bildebene in Rechnung, so müssen sämtliche Strahlenkegel, welche zu derselben übergeführt werden, oder von derselben weitergehen, genau dieselbe Menge von Strahlen enthalten, welche durch das System von dem entsprechenden Flächentheil des Objectes aufgenommen worden ist, und es werden dabei die von dem Objecte ausgesendeten Strahlenkegel in dem Maasse auf kleinere und immer kleinere Winkel gebracht, als die Vergrösserung des Bildes zunimmt. Ist daher die letztere ausreichend gross, d. h. der Abstand der Ebene, in welcher das Bild entworfen wird, hinlänglich weit angenommen, so kann die Strahlenmenge der einzelnen Strahlenkegel auf der Bildseite durch die Winkelgrösse selbst gemessen werden, da die Neigung der Strahlen, welche in einem so engen Kegel enthalten sind, also auch ihre Lichtstärke, als gleich angesehen werden darf. Daraus folgt, dass die Bemessung der Strahlenmenge, welche in den von Systemen mit verschiedenen grossen Oeffnungswinkeln aufgenommenen Lichtkegeln enthalten ist, zurückgeführt werden kann auf die Vergleichung der engen Strahlenkegel, welche zu dem Bilde übergeführt werden. Dabei ist dann allerdings der Einfluss der Vergrösserung auszuschliessen, indem man die Winkel der austretenden Strahlenkegel unter der Voraussetzung gleicher Vergrösserung in Rechnung bringt. Ist diese Bedingung erfüllt — was immer dadurch geschehen kann, dass man den Abstand der Bildebene grösser oder kleiner genommen denken kann — dann ist es unzweifelhaft, dass die

Fähigkeit verschiedener Oeffnungswinkel die Lichtstrahlen von dem Objecte aufzunehmen genau den Winkeln derjenigen austretenden Strahlenkegel proportional ist, welche das Bild entwerfen und von diesem aus in das Auge gelangen.

Diese Art der Berechnung der Oeffnung bedarf nun zunächst einer Feststellung des Verhältnisses der Convergenz von zugeordneten Strahlenbüscheln, welche unter Voraussetzung aplanatischer Punkte für Object- und Bildebene durch die Entwicklung auf Seite 53 gegeben ist. Unter dieser Voraussetzung war für Strahlenkegel mit endlichem Divergenzwinkel, also für Systeme mit grossem Oeffnungswinkel

$$\frac{n^* \cdot \sin u^*}{n \cdot \sin u} = \frac{1}{N}$$

$$\frac{\sin u^*}{\sin u} = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{1}{N}$$

und demnach, wenn wir den Neigungswinkel der äussersten Strahlen des von einem Objectiv aufgenommenen Strahlenkegels betrachten, die Convergenz des nach den einzelnen Bildpunkten hinzielenden — beziehentlich die Divergenz der von den einzelnen Bildpunkten ausgehenden — Strahlenkegel gemäss der Gleichung

$$\sin u^* = \frac{n}{n^*} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sin u$$

durch den halben Oeffnungswinkel bestimmt. Wenn wir ferner $n^* = 1$ setzen (also annehmen, dass das Bild, wie es bei dem Mikroskope stets der Fall ist, von Luft umgeben sei) und die Vergrösserung so gross nehmen, dass die austretenden Strahlenkegel sehr enge werden, also $\sin u^* = u^*$ gesetzt werden darf, so ergibt sich

$$u^* = \frac{1}{N} \cdot n \sin u$$

Der halbe Oeffnungswinkel der austretenden Strahlen hängt also nur von der Vergrösserung des Bildes und dem Producte $n \cdot \sin u$ und bei gleicher Vergrösserung einzig und allein von dem letzteren ab. Dieses Product $n \cdot \sin u = a$ gesetzt und nach Abbe als numerische Apertur (*num. Ap.*) bezeichnet, ist demnach das richtige Maass für die Bemessung der Functionen des Oeffnungswinkels.

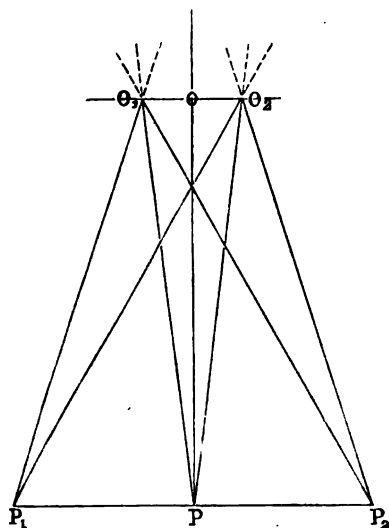
Der hier ermittelte Zahlenausdruck für die Oeffnung kann nun, obgleich seine Ableitung erstlich an das Vorhandensein von Aplanatismus in dem optischen Systeme und zweitens an die Annahme geknüpft ist, dass die innerhalb der austretenden Strahlenkegel enthaltenen Lichtstrahlen gleiche Lichtstärke besitzen, wenn diese in dem eintretenden Strahlenkegel mit weitem Divergenzwinkel für die Strahlen aller Richtungen vorhanden erscheint, obgleich er also der vollen Allgemeingültigkeit entbehrt, doch ohne Einbusse an Verlässlichkeit Anwendung auf die Theorie des Mikroskopes finden. Denn es müssen bei dem Objectiv-

systeme die Bedingungen des Aplanatismus stets vollständig oder nahezu vollständig erfüllt sein, und das Vorhandensein der weiteren Annahme lässt sich leicht durch den Versuch darthun, welchen wir im zweiten Buche als den Prüfstein für das Vorhandensein der ersteren näher beschreiben werden.

2. Durch den Beleuchtungsapparat bedingte Begrenzung. Theorie der Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes.

Unter Nummer 1 wurde der Strahlengang in einem optischen System unter der Voraussetzung betrachtet, dass dasselbe so weite Strahlenkegel aufnimmt, als seine freie Oeffnung sie zulässt. Diese Voraussetzung wird aber thatsächlich nur zutreffen, soweit die Objecte ähnlich wie selbstleuchtende Körper wirken, d. h. soweit sie diffus reflectirende oder durchlassende sind und von ihnen nach allen Richtungen hin Lichtstrahlen ausgehen. Bei dem Mikroskope wird dagegen der Fall von Wichtigkeit, bei welchem durchsichtige oder theilweise durchsichtige Körper mittelst einer vor oder unter ihnen befindlichen Lichtquelle

Fig. 40.



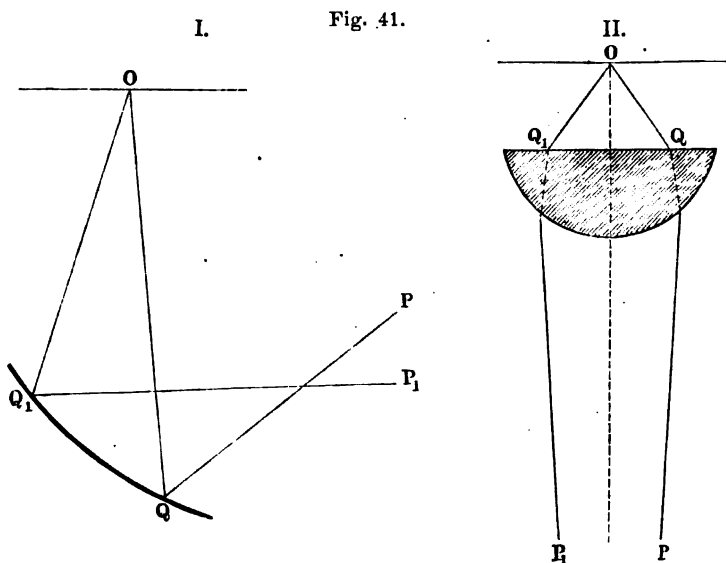
leuchtend gemacht werden. In diesem Falle treten in der Regel kleinere, von der Ausdehnung der Lichtquelle abhängende Strahlenkegel in das optische System ein, als der vollen Oeffnung entsprechen, und wir müssen demgemäss die hierdurch veranlasste Begrenzung der bilderzeugenden Strahlenkegel einer näheren Erörterung unterziehen.

Nehmen wir zunächst an, es werde die Lichtquelle durch eine unmittelbar lichtstrahlende Fläche $P_1 P P_2$ (Fig. 40), vor oder unter der Objectebene $O_1 O O_2$ gebildet, so lassen sich für die Beleuchtung der letzteren leicht folgende grundlegende Sätze ableiten.

Erstens: Alle von der lichtstrahlenden Fläche ausgehenden, je einen Punkt der Objectebene, z. B. $O_1 O_2$, treffende Strahlen bilden ein convergirendes Bündel und werden von diesem Punkte aus stets

in Gestalt eines divergirenden Büschels nach dem Objectivsysteme weitergesendet. Wird nun die leuchtende Fläche als unbegrenzt gedacht, so hängt die Winkelöffnung des wirksam werdenden Beleuchtungskegels nur von der Oeffnung des Objectivsystemes ab; erscheint dagegen jene in irgend einer Weise begrenzt, so füllt der Beleuchtungskegel die Objectivöffnung immer dann nicht mehr aus, wenn der angulare Durchmesser der lichtstrahlenden Fläche kleiner wird, als der Oeffnungswinkel des Objectivsystemes.

Zweitens: Alle Strahlen, welche von je einem Punkte der Lichtquelle aus die verschiedenen Punkte $O_1 O_2$ der Objectebene treffen, sind stets divergirende, können aber praktisch stets als annähernd parallele angesehen werden, weil bei mikroskopischen Objecten die Ausdehnung von $O_1 O_2$ dem Abstände der leuchtenden Fläche gegenüber immer sehr klein bleibt. Damit ist aber gesagt, dass die auf die einzelnen Objectpunkte treffenden Strahlenkegel überall die gleiche Strah-

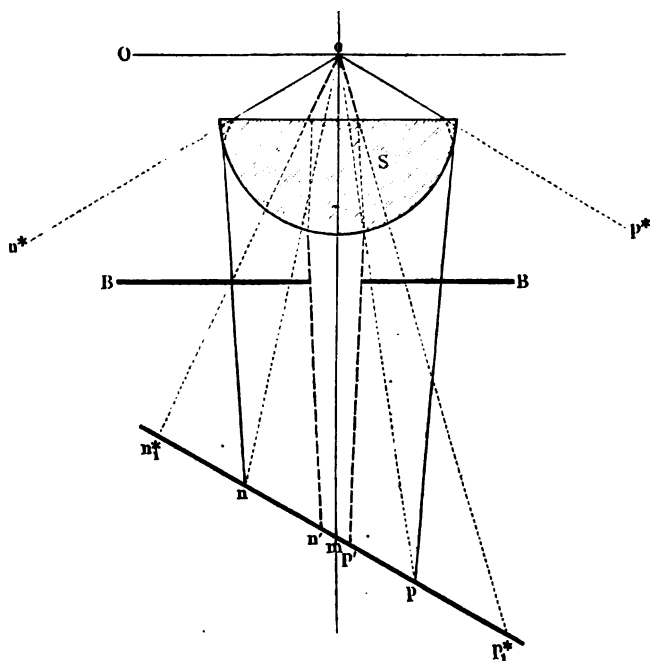


lenmenge umfassen müssen, das Objectfeld also in seiner ganzen Ausdehnung als vollkommen gleichmässig beleuchtet erscheinen muss.

Bei dem normalen Gebrauche des Mikroskopes wird nur in seltenen Ausnahmefällen die in Frage kommende Lichtquelle von einer unmittelbar lichtstrahlenden Fläche gebildet. Es kommt vielmehr in der Regel eine besondere, entweder aus Hohl- und Planspiegel allein, oder aus Spiegel und Beleuchtungssystem („Condensor“) bestehende Beleuchtungs- vorrichtung zur Verwendung, welche die von einer vorläufig als unbegrenzt gedachten Lichtquelle ausgehenden Lichtstrahlen dem zu durchleuchtenden Gegenstande zuführt.

dessen Annäherung an, kleiner bei seiner Entfernung von der Objectebene; sie kann ferner durch eine zwischen Spiegel und Objectebene eingeschobene — wie aus den rückwärts verlängerten, in dem Objectpunkte O convergirenden Strahlen hervorgeht, in ihrer Wirkung einer entsprechenden Vergrößerung der Spiegelfläche gleichkommende — Linse, Figur 43, erweitert und in beiden Fällen, d. h. bei der einfachen, wie

Fig. 43.

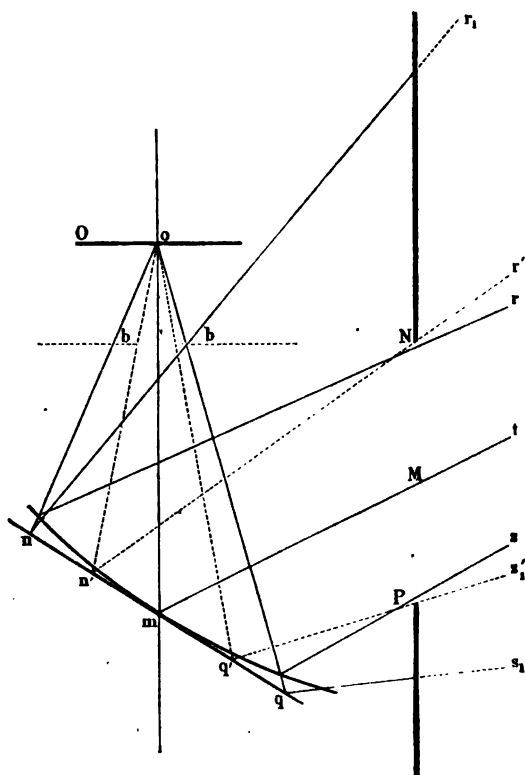


bei der zusammengesetzten Vorrichtung durch eine eingeschaltete Blende BB in beliebigem Maasse beschränkt werden. In letzterem Falle kommt zunächst die Entfernung des Spiegels ausser Betracht; es bleibt aber ebenso seine Grösse ohne Einfluss, sofern dessen Umfang nicht innerhalb der Grösse der durch die gegebene Blendungsöffnung bestimmten Grundfläche des Lichtkegels liegt, welcher für einen Punkt der Objectebene wirksam wird.

Wird die ursprüngliche Lichtquelle, wie es beim regelrechten Gebrauche des Mikroskopes, wo wir in der Grösse der Fensteröffnung, in der Ausdehnung einer gleichmässig lichtreflectirenden Stelle des Himmels, einer weissen Wand u. dergl. gewisse Schranken finden, der Fall ist, eine begrenzte, so gestalten sich die Verhältnisse etwas anders. Nehmen wir z. B. an, es werde die gedachte unmittelbare Lichtquelle durch eine Oeffnung PMN , Fig. 44, begrenzt, so treffen nur von dieser Oeffnung — oder

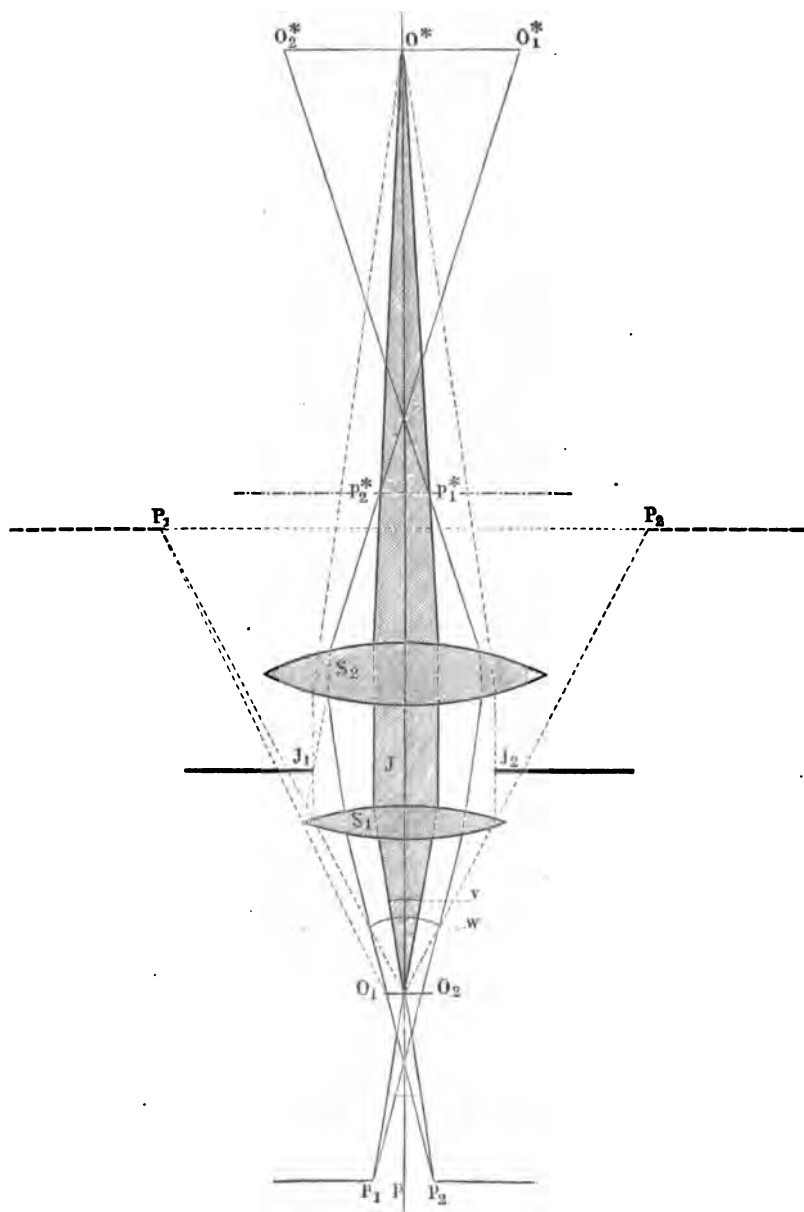
im anderen Falle von der beschränkten Lichtquelle selbst — umfasste Lichtstrahlen noch auf die Fläche des Spiegels. Unter diesen Umständen

Fig. 44.



ergiebt sich die Wirkung des Hohl- oder Planspiegels sofort, wenn wir die drei von dem Objectpunkte O aus nach Mitte und Rand des letzteren hinzielenden und von da aus zurückgeworfenen Strahlen on , om und oq nach rückwärts verfolgen. Wir finden dann, dass, während der Achsenstrahl von beiden Spiegeln in der gleichen Richtung mt zurückgeworfen wird, die Randstrahlen des Beleuchtungskegels von dem Hohlspiegel in den Richtungen nr und qs , von dem Planspiegel in den Richtungen nr_1 und qs_1 abgelenkt erscheinen. Die ersteren gehen dabei bis zur Lichtquelle ungehindert fort, während die letzteren von dem begrenzenden Schirm aufgefangen werden. Während also der Hohlspiegel mit seiner vollen Flächenausdehnung für die Beleuchtung wirksam bleibt, ist dies nur für einen verhältnissmässig kleinen Theil des Planspiegels, nämlich für die Fläche von dem Durchmesser $n'q'$ der Fall. Es wird sich also

Fig. 45.



die Beleuchtung durch den Planspiegel unter der gemachten Annahme in ihrer Intensität zu derjenigen des Hohlspiegels gerade so verhalten, als ob wir den angulären Durchmesser des von dem letzteren gelieferten Beleuchtungskegels durch die zwischengeschobene Blending bb beschränkt hätten. Der Vortheil des Hohlspiegels besteht sonach unter diesen Umständen darin, dass derselbe im Vergleiche zum Planspiegel so wirkt, als ob eine ausgedehntere Lichtquelle zur Verfügung gestellt wäre.

In gleicher Weise gestaltet sich, wie aus der Betrachtung der Fig. 43 hervorgeht, die Leistung einer Beleuchtungslinse oder eines Beleuchtungssystems. Sie gestatten bei verhältnissmässig beschränkter Lichtquelle oder beschränkter Spiegelfläche eine ihrer Oeffnung und Brennweite entsprechende, grosse Winkelausbreitung des Beleuchtungskegels (der Beleuchtungskegel nop z. B. wird in den Kegel n^*op^* übergeführt), welche ihre Grenze da findet, wo die von einem Punkte der Objectebene aus rückwärts verfolgten Randstrahlen nicht mehr die ursprüngliche Lichtquelle erreichen.

Nachdem wir die Begrenzung der beleuchtenden Strahlenkegel festgestellt haben, wie sie sich aus der Beschaffenheit des Beleuchtungsapparates, d. h. aus dem Umfange der mittelbar leuchtenden Fläche: der Spiegelfläche, Linsenfläche, oder Blendungsöffnung ergibt, können wir uns zu der Art und Weise der Begrenzung wenden, welche in Folge hiervon in dem optischen Systeme, d. h. in den abbildenden Strahlenkegeln hervorgerufen wird. 46

Ist ein optisches System $S_1 S_2$ (Fig. 45) auf ein durchsichtiges Object eingestellt und dieses wird von unten her mittelst eines Plan- oder Hohlspiegels beleuchtet, während, wie das in der Regel der Fall ist, zwischen Object und Spiegel sich eine Blending von der lichten Oeffnung $p_1 p_2$ befindet, so kann kein Lichtstrahl in das Objectivsystem eintreten, welcher nicht durch die Blending gegangen ist. Die Strahlenkegel, welche von den einzelnen Punkten des Objectes $O_1 O O_2$ aus nach dem Objectiv divergiren, erscheinen als Strahlenkegel, welche von der gemeinsamen Grundfläche $p_1 p_2$ ausgegangen sind und gemäss der im Vorausgehenden entwickelten Grundsätze müssen alle sich in den zugeordneten Bildpunkten $O_1^* O^* O_2^*$ kreuzenden Strahlen ihre gemeinschaftliche Grundfläche in der Fläche $p_1^* p_2^*$ haben, welche ein durch das System $S_1 S_2$ entworfenes Bild von $p_1 p_2$ ist.

Hierbei sind zwei Fälle möglich: Entweder es ist der Oeffnungswinkel v des Beleuchtungskegels im Vergleiche zu dem durch die Eintrittspupille $P_1 P_2$ bestimmten Oeffnungswinkel w des Objectivsystemes gleich oder grösser, oder er ist kleiner. Im ersten Falle wirkt die Eintrittspupille so, als ob das Object nach allen Richtungen hin Strahlen aussendete und es äussert die Blendungsöffnung in Beziehung auf das Objectivsystem keinen Einfluss. In dem anderen in der Fig. 45 angenommenen Falle hören die ursprüngliche Iris $J_1 J_2$, sowie

die daraus abgeleitete Eintrittspupille $P_1 P_2$ auf zu wirken. Das Objectivsystem $S_1 S_2$ erhält zunächst eine ausserhalb desselben gelegene stellvertretende Iris (die Blendungsöffnung) $p_1 p_2$, welche in der hier vorausgesetzten Anordnung zugleich als Eintrittspupille erscheint, ferner eine von ihr abgeleitete stellvertretende Austrittspupille $p_1^* p_2^*$ und wirkt demgemäss so, als ob es statt seines wirklichen Oeffnungswinkels w den kleineren Oeffnungswinkel v besässe.

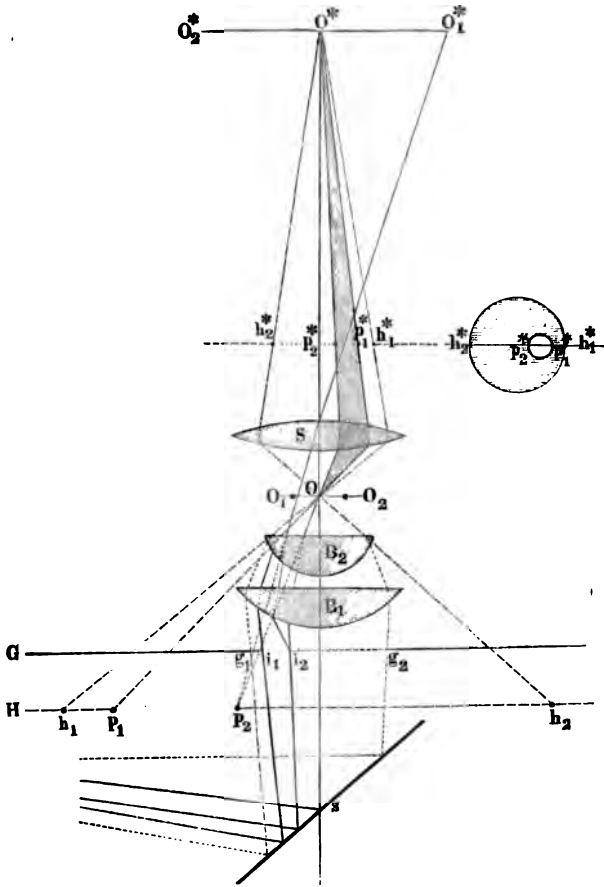
Dieselbe Schlussfolgerung, welche hier für die Lage der Blendungsöffnung in der Achse durchgeführt wurde, gilt auch dann, wenn $p_1 p_2$ in derselben Ebene ausserhalb der Achse angenommen wird. In diesem Fall könnte man einfach zuerst eine weitere Blendungsöffnung in der Achse in Betracht ziehen, welche die engere als eine excentrische Oeffnung in sich fasste. Die Austrittspupille $p_1^* p_2^*$ würde dann als der zugeordnete Theil des von dem Systeme $S_1 S_2$ entworfenen Bildes der weiteren Oeffnung zu betrachten sein, und in derselben Ebene wie vorher, aber in einer excentrischen Stellung (s. Fig. 46) auftreten. Die Strahlenkegel, welche von den einzelnen Objectpunkten ausgehen, würden jetzt schiefe Strahlenkegel vorstellen, welche von dem Systeme insoweit aufgenommen werden können, als sie von dessen Oeffnungswinkel w umfasst werden, oder nach dem wirksamen Theile der ursprünglichen Eintrittspupille $P_1 P_2$ hinzielen.

Die eben erörterten Wirkungen bleiben ganz die gleichen, wenn die Blende entfernt gedacht und der Plan- oder Hohlspiegel für sich in centrischer oder excentrischer Stellung verwendet wird. Die lichtstrahlende Fläche des Spiegels von beliebiger Gestalt wird als Eintrittsöffnung fungiren und das verkehrte Bild derselben die Austrittspupille des Systemes bilden. Alle Strahlen, welche in den einzelnen Bildpunkten vereinigt werden, erscheinen als Strahlenkegel, welche von dem reellen Bilde des Spiegels über dem Systeme ausgehen, welche aber, insofern dieses ausserhalb der Achse liegt, nur insoweit Zutritt erlangen, als sie von solchen Strahlenkegeln umfasst werden, welche von der ursprünglichen Iris oder Austrittspupille des Systemes begrenzt werden.

Die Wirkung eines beliebigen, zusammengesetzten Beleuchtungsapparates kann durch ähnliche Betrachtungen, d. h. durch Einführung einer stellvertretenden Eintrittspupille von bestimmter Gestalt und bestimmter Lage zu der Achse und der daraus abgeleiteten Austrittspupille erklärt werden. Stelle $B_1 B_2$ (Fig. 46) ein Linsensystem unterhalb des Objectisches vor, durch welches das mittelst eines Spiegels zurückgestrahlte Licht irgend einer Lichtquelle zu dem Objecte geleitet werde und seien diese Linsen gross genug, um innerhalb der unter ihnen befindlichen Ebene G der Blendungen eine, durch $g_1 g_2$ bezeichnete, grösste Oeffnung zu gestatten, so lässt sich der Strahlengang leicht construiren. Wird nämlich das reelle oder virtuelle Bild, welches durch das System S von der kreisförmigen Fläche hinter oder vor den Linsen $B_1 B_2$ entworfen wird, in

Zweites Capitel. Abbildung durch Linsen und Linsensysteme etc. 81
 der früher angegebenen Weise verzeichnet, so erhält man in der Ebene H
 die kreisförmige Fläche vom Durchmesser $h_1 h_2$, welche nun die gemein-

Fig. 46.



same Grundfläche aller Strahlenkegel bildet, die in den einzelnen Punkten
 des Objectes ihre Spitze haben. Wenn die Blendungsöffnung in der
 Ebene G in ihrer vollen Ausdehnung verwendet wird und das von dem
 Spiegel zurückgestrahlte Licht füllt diese ganz aus, so werden demnach
 Strahlenkegel von der Winkelöffnung $h_1 O h_2$ von den einzelnen Object-
 punkten $O_1 O_2$ aus nach dem Objectivsysteme S gelangen. Wenn da-
 gegen in die Ebene G eine Blende eingesetzt wird, welche die volle
 Oeffnung auf einen kleinen centralen oder — wie in der Figur angenom-
 men — excentrischen lichten Kreis vom Durchmesser $i_1 i_2$ verkleinert, so
 werden die von $O_1 O_2$ ausgehenden Lichtkegel auf die von der
 grösseren Kreisfläche $h_1 h_2$ umschlossene Grundfläche $p_1 p_2$ in der Ebene

H zurückgeführt werden, welche das dem Kreise $i_1 i_2$ in der Ebene G zugeordnete, von dem Systeme $B_1 B_2$ entworfene Bild vorstellt. Auf diese Weise werden die in das Objectivsystem S eintretenden Lichtbündel gerade so begrenzt, als ob $p_1 p_2$ die leuchtende Fläche wäre, von welcher sie ohne Dazwischentreten der Linsen $B_1 B_2$ in geradliniger Richtung ausgesendet würden. Das Bild $p_1 p_2$ wirkt nun als stellvertretende Eintrittspupille, das von dem Systeme S über seiner Hinterfläche innerhalb des Mikroskoprohres entworfene zweite von $h_1^* h_2^*$ umfasste Bildchen $p_1^* p_2^*$ aber als Austrittspupille dieses Systemes.

In der Fig. 46 (a. v. S.) ist die Ebene G als über dem unteren Brennpunkte des Systemes $B_1 B_2$ gelegen angenommen worden, daher bilden $h_1 h_2$ und $p_1 p_2$ virtuelle Bilder der Kreisflächen $g_1 g_2$ und $i_1 i_2$ in der etwas grösseren weiter unterhalb $B_1 B_2$ gelegenen Ebene H und es erscheint demnach der vorliegende Fall mit dem vorher betrachteten übereinstimmend. Es würden jedoch alle Umstände wesentlich die gleichen bleiben, wenn die Blendungen unter dem vorderen Brennpunkte des Linsensystemes $B_1 B_2$ angebracht worden wären. Dieses letztere würde dann verkehrte reelle Bilder von $g_1 g_2$ und $i_1 i_2$ in einer über ihm, aber unter der Objectebene gelegenen Ebene H erzeugen, von denen aus die Strahlen ebenso nach den Objectpunkten divergiren wie vorher.

- 47 Die im Vorausgehenden entwickelten Sätze haben nur insoweit allgemeine Gültigkeit, als durchsichtige Objecte vorausgesetzt werden, welche die einfallenden Lichtstrahlen ohne Ablenkung hindurchtreten lassen. Wenn in denselben dagegen Elemente vorhanden sind, welche den von Prismen, prismatischen oder sphärischen Linsen hervorgebrachten ähnliche Brechungen erzeugen, oder in Folge ihrer Kleinheit merkbliche Beugungserscheinungen hervorrufen, dann sind die von diesen Elementen nach dem Objectivsysteme ausstrahlenden Lichtbündel nicht mehr den einfallenden gleich. Die Strahlenkegel, welche der Beleuchtungsapparat aussendet, können, indem sie durch das Object hindurchgehen, eine so grosse Winkelausbreitung erfahren, dass sie den vollen Oeffnungswinkel des Objectivsystemes ausfüllen. Derartige Objecte und Structures können daher in ähnlicher Weise wirken, wie selbstleuchtende Körper.

Nun ist einleuchtend, dass bei mikroskopischen Beobachtungen beide Fälle der von den Objectelementen ausgehenden Wirkung zugleich eintreten können. Das durchsichtige Einhüllungsmittel der Objecte, die Grenzen dieser letzteren und solche ihrer Einzeltheile, welche nur in Folge von Lichtabsorption wirksam werden, werden durch Strahlenkegel abgebildet, welche mit den einfallenden gleich sind und es kommt nur die stellvertretende Iris zur Wirksamkeit. Structureinzelheiten irgend welcher Art, welche brechend oder beugend wirken, erzeugen dagegen Strahlenkegel, welche einen grösseren oder kleineren Theil der wirklichen Iris umfassen und demgemäss kann in Bezug auf solche Einzelheiten die ganze Oeffnung des Objectivsystemes wirksam werden.

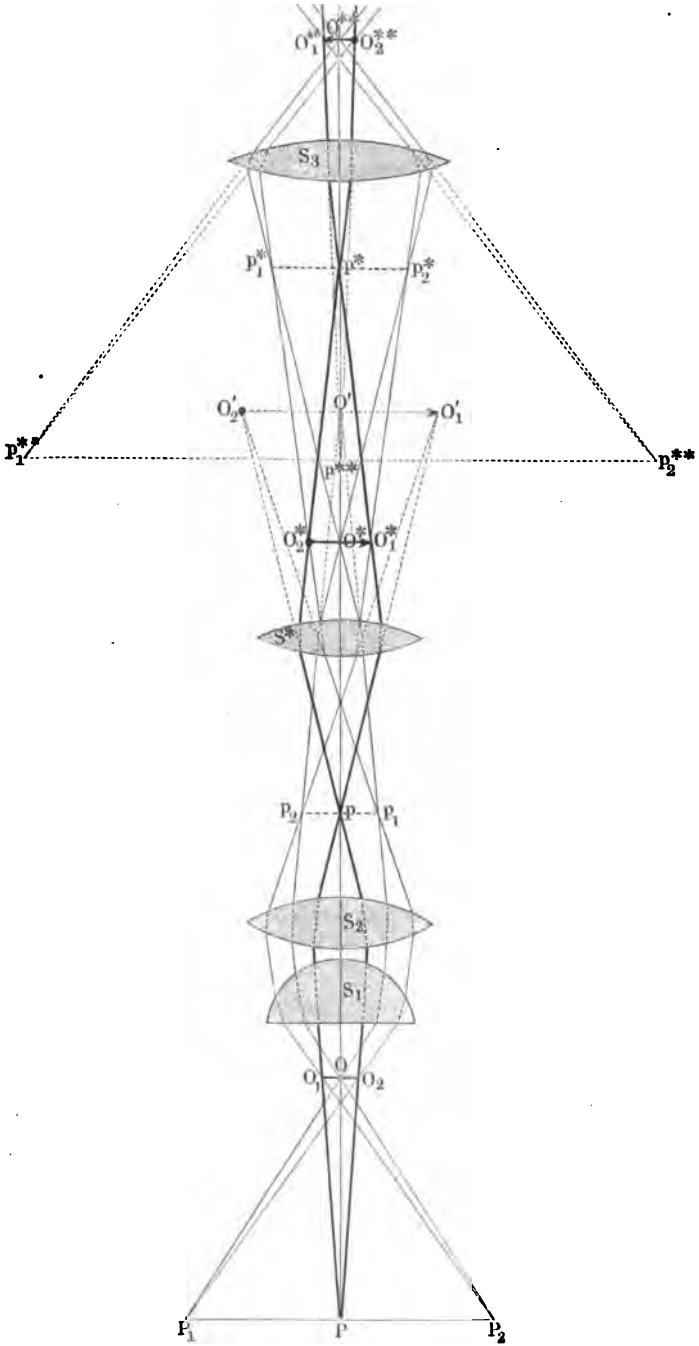
Da die wirkliche Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel und ihre 48 Vertheilung innerhalb der wirksamen Oeffnung des Objectivsystemes für alle wesentliche Leistungen des Mikroskopes von höchster Bedeutung erscheint, so ist es von Interesse, diese beiden Verhältnisse der praktischen Beobachtung zugänglich zu machen.

Dies wird erreicht, wenn man mittelst des freien Auges, einer Lupe oder eines Hilfsmikroskopes Begrenzung und Vertheilung der von den abbildenden Strahlenkegeln umfassten Strahlenbüschel innerhalb eines Querschnittes durch dieselben beobachtet, welcher in einer über dem Objectivsysteme oder über dem Ocular gelegenen Ebene enthalten ist. Beobachtet man den Querschnitt über dem Objectivsysteme mit freiem Auge — wie es bei schwächeren Objectivsystemen mit verhältnissmässig grosser Austrittspupille stets geschehen kann — so stellt man mittelst eines Objectivsystemes von ansehnlicher Oeffnung in gewöhnlicher Weise auf ein durchsichtiges Object ein, entfernt dann das Ocular und sieht auf das Objectivsystem hinab, indem man die Pupille des Auges unverrückt über der Stelle hält (eine auf die Tubusöffnung gelegte Messing- oder Cartonscheibe mit enger Oeffnung kann zur Fixirung des Auges dienen), wo innerhalb des Tubus das verkehrte reelle Bild des Objectes entworfen wird. Nimmt man den Querschnitt über dem Oculare in dem sogenannten Augenpunkte in Augenschein, so verwendet man eine Lupe und stellt mit dieser auf den kleinen hellen Kreis ein, der jedem praktischen Mikroskopeker genugsam bekannt ist, welchen wir aber im zweiten Buche noch näher betrachten werden.

Wird bei Objectivsystemen von kurzer Brennweite die Austrittspupille derselben sehr klein, so ist das freie Auge zur Beobachtung der Querschnitte der abbildenden Strahlenkegel nicht mehr ausreichend. Dieselbe kann aber mittelst eines Hilfsmikroskopes ausgeführt werden, welches man auf diese Querschnitte einstellt. Ein solches erhält man, wenn am unteren Ende des gewöhnlichen oder — erforderlichen Falles — eines längeren Auszugsrohres ein Objectivsystem von etwa 40 bis 50 mm Brennweite und mit einer über ihm befindlichen, nach den im weiteren Verfolge dargelegten Grundsätzen regulirten Blendung angebracht und das Ocular am oberen Ende eingesetzt wird. Da dieses Hilfsmikroskop auch bei vielen anderen Beobachtungen Verwendung finden kann und muss, so soll gleich hier die von Professor Abbe eingeführte und ausführlich beschriebene Art der Beobachtung und der Wirkungsweise des Hilfsmikroskopes näher erörtert werden.

Stellt S^* , Fig. 47 (a. f. S.), das Objectiv, S_3 das Ocular des Hilfsmikroskopes, $S_1 S_2$ das Objectivsystem eines Mikroskopes vor, welches in der gewöhnlichen Weise auf ein Object $O_1 O O_2$ eingestellt worden ist, so kann ein kleiner mittlerer Theil dieses Objectes Strahlen zu dem Objectivsysteme überführen, welche von den verschiedenen Punkten einer Fläche $P_1 P P_2$ unterhalb des Objecttisches ausgegangen sind und $S_1 S_2$ entwirft ein verkehrtes reelles Bild von $O_1 O O_2$ in der Ebene von O' (etwa in

Fig. 47.



dem oberen Ende des Tubus) und zugleich ein gleichfalls reelles Bild von $P_1 P P_2$ in $p_1 p p_2$ etwas über seinem hinteren Brennpunkte. Das erstere wird nun vor seinem Zustandekommen von dem Hilfsobjectiv S^* aufgenommen, welches ähnlich der Vorderlinse eines Huyghens'schen Oculars wirkend von $O_1 O O_2$ ein reelles verkehrtes Bild in $O_2^* O^* O_1^*$ erzeugt. Da nun alle Strahlen, welche von S^* aufgenommen werden, durch O gegangen sind, so wird das zugeordnete Flächenelement $O'_2 O' O'_1$ als Eintrittspupille und das zweite Bild $O_1^* O^* O_2^*$ als Austrittspupille des Hilfsobjectives thätig. Ferner erzeugen die in der Ebene O^* sich kreuzenden Lichtstrahlen ein Bild von $p_2 p p_1$ in $p_1^* p^* p_2^*$, welches schliesslich von dem Ocular S_3 in die deutliche Sehweite nach $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$ entworfen wird, während dieselben zugleich auch in dem Augenpunkte ein drittes Bild $O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$ des Objectes entwickeln, welches die Austrittspupille des Hilfsmikroskopes vorstellt, mittelst deren die dem vergrösserten virtuellen Bilde des Querschnittes $p_1^* p^* p_2^*$ zugehörigen Strahlenkegel in das Auge des Beobachters gelangen.

Statt den wirksamen Theil des Objectes in O zu begrenzen, hätte diese Begrenzung auch durch Einführung einer Blendung bei O^* über dem Hilfsobjectiv herbeigeführt werden können, deren Oeffnung dann dem mittleren Theile von O in Bezug von $S_1 S_2$ und S^* oder, was dasselbe, dem Punkte O' in Bezug auf S^* allein zugeordnet erschiene. Eine derartige Blendung, deren genaue Stellung auf der Achse leicht aus der Entfernung O' und der Brennweite von S^* berechnet werden kann, muss stets angewendet werden, wenn ein bestimmter Theil des Objectes für sich beobachtet werden soll. Denn je kürzer die Brennweite des Mikroskopobjectives $S_1 S_2$ und je kleiner die Oeffnung bei O^* , desto kleiner wird derjenige Theil des Objectes sein, welcher Strahlenkegel in das Objectivsystem sendet, deren Vertheilung und Lage beobachtet werden soll.

Für den Fall, dass das Objectivsystem des Mikroskopes eine kurze oder selbst eine mittlere Brennweite besitzt, wird die Entfernung PO immer ein beträchtliches Vielfaches der Brennweite sein, wenn die Fläche $P_1 P P_2$ einen Spiegel oder eine Blendungsöffnung unterhalb des Objectisches bezeichnet und das Bild $p_2 p p_1$ wird daher stets nahe an der hinteren Brennebene des Objectivsystemes $S_1 S_2$ liegen. Dasselbe gilt auch, wenn es sich um die Blendungsöffnung des Beleuchtungsapparates handelt. Ist dieser in zweckmässiger Art construirt, so wird die Blendungsöffnung in der Ebene G (Fig. 46) immer so gelegen sein, dass das System ein reelles oder virtuelles Bild von ihr in grosser Entfernung von dem Objecte entwirft.

Bei dieser Beobachtungsweise wirkt das betreffende Mikroskopobjectiv wie das Objectiv eines Miniaturfernrohres, welches von entfernten Gegenständen ein Bild in der Nähe seines hinteren Brennpunktes entwirft und das Hilfsmikroskop wie ein terrestriisches Ocular, welches ein Bild in deutlicher Sehweite erzeugt. Der Oeffnungswinkel des Mikro-

skopobjectives stellt dabei das anguläre Sehfeld und der mittlere Theil des Objectfeldes die wirksame Oeffnung oder die Iris des Fernrohres dar. Aus diesem Grunde hat Professor Abbe eine derartige Beobachtungsweise als teleskopischen Gebrauch des Objectivsystemes bezeichnet.

Wenn dieselbe auf eine feine Structur in der Einstellungsebene des Mikroskopes angewendet wird, so liegt der bezeichnende Grundzug für sie darin, dass das Bild der Structur nicht, wie bei dem gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes, auf der Netzhaut, sondern in der Ebene der Pupille des Auges entwickelt wird, und dass die erstere das Bild eines entfernten leuchtenden Gegenstandes (Fläche des Spiegels etc.) in der Gestalt zugeführt erhält, wie es erscheint, wenn es durch die vorliegende Structur hindurch betrachtet wird. Demgemäss kann mittelst der teleskopischen Beobachtungsweise die brechende oder beugende Wirkung kleiner Theile einer mikroskopischen Structur auf die Lichtstrahlen gerade so erkannt werden, wie die Wirkung der Brechung durch ein Prisma, oder diejenige der Beugung durch ein Gitter, wenn der Beobachter durch diese entweder mit freiem Auge oder mittelst eines Fernrohres hindurchsieht.

Die Bilder, welche man bei der beschriebenen Beobachtungsweise erhält, werden sich je nach Art der Objecte oder einzelner ihrer — der Beobachtung unterworfenen — Theile verschieden gestalten.

Wenn sich eine völlig durchsichtige Stelle irgend eines Präparates in dem Sehfelde befindet, so erblickt man, sobald der Spiegel einen vollen Lichtkegel in das Objectiv sendet, innerhalb der Iris oder der Austrittspupille desselben eine helle kreisförmige oder elliptische Fläche, welche nichts anderes ist, als das reelle verkehrte, über dem Objectivsysteme erzeugte Bild des Spiegels, oder der Blendungsöffnung des Beleuchtungsapparates, welches als stellvertretende Austrittspupille wirkt. Wird der Spiegel oder die Blendung mehr und mehr seitwärts aus der Achse bewegt, so bewegt sich die stellvertretende Austrittspupille mehr und mehr in der entgegengesetzten Richtung aus der Achse, bis sie hinter dem Rande der wirklichen Iris verschwindet. Gelangt dagegen ein Theil des Präparates, welcher Structureinzelheiten enthält, in das Sehfeld, so erleidet das Oeffnungsbild eine Umgestaltung. Giebt das Object nicht zu regelmässiger Brechung oder Beugung Anlass, so verschwindet der scharfe Umriss des hellen Kreises und man sieht das Licht in einer grösseren oder kleineren Ausdehnung und mit mehr oder minder Regelmässigkeit über den Kreis der wirklichen Iris des Objectivsystemes zerstreut. Im anderen Falle, auf welchen wir später zurückkommen werden, bleibt das Bild des Spiegels oder der Blendung gut begrenzt und die abgelenkten Strahlenbüschel erzeugen Nebenbilder der lichtgebenden Fläche, welche das Hauptbild in grösserer oder geringerer Entfernung umgeben.

49 Die vorausgehenden Betrachtungen und Beobachtungen gewähren allein die erforderlichen Ausgangspunkte für die Beurtheilung der Wir-

kungsweise der verschiedenen Arten der Beleuchtung und der Beleuchtungsapparate. Vor allem ist die Verfolgung des Strahlenganges in dem Beleuchtungsapparate irgend welcher Art durch die einfache Beobachtung des Oeffnungsbildes des optischen Systemes geeignet, alle die vorgefassten Meinungen gründlich zu beseitigen, welche in Bezug auf Concentration und Condensation des Lichtes, sowie auf Beleuchtung mittelst paralleler, convergirender oder divergirender Strahlen auch in neuester Zeit noch immer hier und da zum Vorschein kommen. Es lehrt diese Beobachtung, welche versuchsweise unter allen möglichen Abänderungen angestellt werden kann, vor allem, dass es keine einzige Wirkung der Beleuchtung giebt, welche wesentlich von der Gestalt des Spiegels oder von einer besonderen Construction des Beleuchtungssystemes mit seinen Zugaben (Condensor) abhängig wäre.

Wenn von der Absorption und Ablenkung der Lichtstrahlen abgesehen wird, welche bei ihrem Durchgange durch das Object herbeigeführt werden, so besitzt der entweder in der Austrittspupille des Objectivsystemes oder in dem Augenpunkte des Mikroskopes genommene Querschnitt der abbildenden Strahlenkegel augenscheinlich die gleiche Helligkeit, wie sie die Lichtquelle selbst (eine weisse Wolke, eine weisse Wand, eine Lichtflamme u. dergl.) gewährt, wenn sie mit freiem Auge beobachtet wird. Keine Art des Beleuchtungsapparats (Planspiegel, Hohlspiegel, Sammellinse, Prisma etc.) kann die Helligkeit dieser Querschnitte im Vergleiche zur Helligkeit der ursprünglichen Lichtquelle vermehren oder vermindern, soweit dies letztere nicht etwa durch Absorption, Zurückwerfung oder Brechung innerhalb des Objectes geschieht. Wenn eine Lichtquelle von bestimmter Leuchtkraft vorausgesetzt wird, so hängt die Wirkung der Beleuchtung einzig und allein von den oben beschriebenen Querschnitten ab, welche, sofern der Spiegel Licht nach allen Richtungen der Objectebene zurückstrahlt, oder die Blendungsöffnung des Beleuchtungssystemes in ihrem ganzen Umfange von dem einfallenden Lichtkegel ausgefüllt wird, nichts anderes sind, als die Bilder des erstern oder der letztern. Der Durchmesser dieser Bilder hängt aber bei dem Gebrauche eines bestimmten Objectivsystemes im einen Falle immer von dem Durchmesser des Spiegels und seiner Entfernung von der Objectebene, im anderen vom Durchmesser und Entfernung der Blendungsöffnung in Bezug auf die Brennweite des Beleuchtungssystemes ab. Besitzt die Lichtquelle eine hinreichende Ausdehnung, um in jedem Falle in allen von dem Umfange des Oeffnungswinkels umfassten Richtungen Strahlen von gleicher Leuchtkraft zu gewähren, so ist die Wirkung des Plan- und Hohlspiegels — wie auch die Verfolgung des Strahlenganges ergeben hat — vollständig die gleiche und es hängt diejenige des letzteren wie eines beliebigen Beleuchtungssystemes keineswegs davon ab, ob dieselben ein scharfes Bild der Lichtquelle in der Objectebene entwerfen, d. h. ob ihre Brennpunkte in die letztere fallen und das System achromatisch sei, oder nicht.

Etwas anders liegt, wie wir weiter oben gesehen haben, die Sache, wenn die Lichtquelle in irgend einer Weise beschränkt ist, also z. B. das Licht einer hellen Wolke, eines durch die Fensteröffnung begrenzten Stückes des Himmels, irgend einer Lichtflamme zur Beleuchtung verwendet wird. In diesem Falle wird immer diejenige Beleuchtungsvorrichtung am vortheilhaftesten wirken, welche die Beschränkung in möglichst hohem Grade unwirksam zu machen im Stande ist. Hier allein haben, wie es schon aus der Betrachtung des Strahlenganges innerhalb des Beleuchtungsapparates für sich ersichtlich, durch die Beobachtung der Oeffnungsbilder aber noch entschiedener dargethan wird, der Hohlspiegel, wie zwischen Spiegel und Objectebene eingeschobene Sammellinsen einen Vorzug vor der Anwendung des Planspiegels, indem sie die Grundfläche des Beleuchtungskegels erweitern. Dieselben wirken in Folge hiervon so, als ob die Lichtquelle ohne Verminderung ihrer Leuchtkraft auf grössere Ausdehnung gebracht, oder näher an das zu beleuchtende Object herangerückt würde.

Unter allen Umständen kann aber ein mikroskopischer Beleuchtungsapparat irgend welcher Art keinen anderen Zweck haben und kein anderes Ziel erreichen, als mittelst einer Lichtquelle von gegebener Lage und Ausdehnung eine gleichförmige und — bis auf die erwähnten Lichtverluste — in allen Richtungen eines weiten Oeffnungskegels in der Leuchtkraft unverminderte Lichtstrahlung am Object herzustellen, sowie eine sichere und umfassende Abstufung in Bezug auf Oeffnung und Neigung des jeweilig benutzten Lichtkegels zu ermöglichen.

Durch welche Mittel dieses Ziel am einfachsten und vollkommensten erreicht werden kann, werden wir bei der Betrachtung des mikroskopischen Beleuchtungsapparates näher erörtern.

Zweiter Abschnitt.

Die physischen Gesetze der Abbildung nicht-leuchtender Körper. Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung.

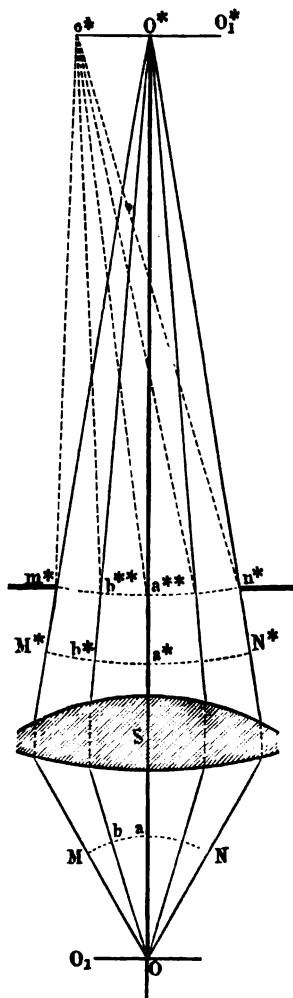
Erstes Capitel.

Directe und secundäre Abbildung.

Die in dem vorausgehenden Abschnitte betrachteten Abbildungs- 50
vorgänge waren an die Voraussetzung geknüpft, dass einestheils jedem
von einem Objectpunkte aus divergirenden Strahlenbüschel, ein aus dem
abbildenden optischen Systeme austretender, nach einem zugeordneten,
reellen oder virtuellen Bildpunkte convergirender Strahlenbüschel ent-
spreche, anderentheils die geometrische Strahlenvereinigung eine gleich-
zeitige Lichtconcentration im physikalischen Sinne mit sich bringe und
dass in Folge hiervon eine geometrische, punktweise Abbildung des
Objectes stattfinde. Eine solche punktweise, nach den Regeln der
geometrischen Optik bestimmte Abbildung erscheint indessen nur so-
lange in Uebereinstimmung mit der Wellentheorie, als erstens die von
den einzelnen Objectpunkten ausgehenden Strahlenbüschel Kugelwellen
sind, d. h. alle Strahlen je eines solchen Strahlenbüschels in gleichem
Abstande von dem Mittelpunkt gleiche Wellenphase darstellen und als
zweitens die von benachbarten Objectpunkten ausgehenden Strahlen
incohärente sind, oder von einander unabhängige Kugelwellen bilden.
Ist dagegen diesen beiden Bedingungen nicht zugleich Genüge geleistet,
dann widerspricht jene Annahme, dass die geometrische Strahlenvereinigung
mit der Lichtconcentration schlechthin zusammenfalle, der Wellen-
theorie oder hat wenigstens keine Begründung in ihr. Nun ist ersteres
nur dann der Fall, wenn es sich um die Abbildung selbstleuchtender
Körper handelt, aber nicht mehr dann, wenn Gegenstände irgend einer

Art mittelst zurückgeworfenen oder durchfallenden Lichtes abgebildet werden, wie es bei der mikroskopischen Bilderzeugung allgemein der

Fig. 48.



Fall ist. Auf diese können daher, wie Professor Abbe zuerst und eingehend bewiesen hat, die Begriffe und Bestimmungsweisen der geometrischen Optik keine berechnete Anwendung finden.

Um die Richtigkeit dieser Schlussfolgerung einzusehen, müssen wir die beiden verschiedenartigen, einerseits den selbstleuchtenden, andererseits den durchleuchteten (oder beleuchteten) Objecten eigenen Abbildungsvorgänge einer näheren Betrachtung und Vergleichung unterwerfen.

Wenn ein Linsensystem S (Fig. 48) alle von einem selbstleuchtenden Objectpunkte O auf der Achse ausgehenden Strahlen nach den im Vorausgehenden erörterten Gesetzen in dem Punkt O^* auf der Achse zur Wiedervereinigung bringt, also den von O aus einfallenden homofocalen Strahlenkegel in einen anderen homofocalen Strahlenkegel mit dem Vereinigungspunkte O^* verwandelt, so erfüllt dasselbe die von der Wellentheorie vorgezeichnete Bedingung, dass alle von dem Punkte O aus verfolgten kürzesten Lichtwege mit gleicher optischer Länge ¹⁾ in dem Punkte O^* zusammentreffen. Somit erhalten alle von dem Punkte O oder der im ersten Medium erzeugten Kugelwelle MN aus nach ihrer optischen Länge gemessenen kürzesten in das zweite Medium überführende

¹⁾ Unter „optischer Länge“ sind die von einem Lichtstrahle in den hintereinander liegenden Medien zurückgelegten, mit den betreffenden Brechungsexponenten multiplicirten wirklichen (geradlinigen beziehentlich gebrochenlinigen) Strecken zu verstehen. Betrachten wir z. B. die Lichtwege, welche zwei von O (Fig. 48) ausgehende, nach ihrem Durchgange durch das System S in O^* sich wieder vereinigende Lichtstrahlen, und zwar je ein Achsenstrahl und ein Randstrahl durchlaufen haben, so besitzt allerdings der Lichtweg des ersteren

Lichtwege auf irgend einer von dem Punkte O^* aus beschriebenen Kugelfläche M^*N^* oder m^*n^* gleiche Länge und diese Kugelflächen stellen die Wellenflächen der in das zweite Medium übergangenen Lichtbewegung dar. Die mit O concentrischen Kugelwellen des ersten Mediums sind also in Folge der ungleichen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten, welche auf den verschiedenen Wegen aa^* , bb^* innerhalb des optischen Systemes stattfinden, in Kugelwellen mit dem Mittelpunkte O^* umgewandelt worden. Ist nun m^*n^* die den austretenden Strahlenkegel begrenzende Oeffnung, so erzeugt die in O fortbestehende Wellenbewegung innerhalb derselben beständige Schwingungen, welche wegen Gleichheit aller Lichtwege Oa^{**} , Ob^{**} (oder aa^{**} , bb^{**}) in allen Punkten einer mit dem Halbmesser O^*a^{**} beschriebenen Kugelfläche gleichen Schwingungszustand besitzen.

Bestimmt man jetzt das Zusammenwirken aller Elementarwellen, welche nach dem Huyghens'schen Principe von den sämtlichen Punkten der Welle m^*n^* aus auf kürzesten Wegen nach den verschiedenen Stellen der in O^* auf der Achse senkrechten Ebenen ausgesandt werden, so ergiebt sich, dass im Punkte O^* alle diese Elementarwellen wegen der gleichen Weglängen $a^{**}O^*b^{**}O^* \dots$ im gleichen Schwingungszustande zusammentreffen und ihre Schwingungsweiten summiren, während in einem anderen Punkte o^* wegen der — wie aus der Figur leicht ersichtlich — ungleichen Wege $a^{**}o^*$, $b^{**}o^* \dots$ das Zusammentreffen mit ungleichen Schwingungszuständen erfolgt und überall eine wenigstens theilweise Aufhebung der Bewegung durch Interferenz bewirkt. In dem Punkte O^* erreicht also die resultirende Schwingungsweite ein absolutes Maximum, richtet sich aber in jedem seitlichen Punkte in ihrem Verhältnisse zu diesem Maximum nach der Ausdehnung und Begrenzung der wirksamen Kugelwelle m^*n^* . So erscheint denn z. B. bei einer kreisförmigen Oeffnung die Lichtvertheilung in dem Punkte O^* in Gestalt eines hellen Scheibchens mit umgebenden Ringen von rasch abnehmender Helligkeit, also in Gestalt des Fraunhofer'schen Beugungsspectrums für diese Oeffnung. Je grösser dabei die Oeffnung und damit die wirksame Fläche der Kugelwelle wird, desto schneller erfolgt bei jeder beliebigen Form der ersteren das Abnehmen der Helligkeit neben dem Punkte O^* und desto mehr verkleinert sich der ganze beleuchtete

(die gerade Linie $Oa \dots O^*$) eine geringere geometrische Länge, als der Lichtweg des anderen (die gebrochene Linie $OM \dots O^*$); dagegen ist die in dem dichteren Medium $= n$ zurückgelegte Strecke für jenen eine grössere, als für diesen. Da nun in dem Medium $= n$ (hier Glas) die Wellenlänge in dem Verhältnisse von $1 : n$ verkürzt wird, so kommen auf die in diesem Medium durchlaufene Strecke n mal mehr Schwingungen, als auf die gleiche in Luft zurückgelegte Strecke und es ist leicht einzusehen, dass demgemäss die auf den beiden Wegen gemachten Schwingungen die gleichen Zahlen erlangen, also die optischen Längen der beiden in Betracht gezogenen Strahlen die gleichen werden können.

Raum um diesen Punkt herum, in welchem sich nun alle vorher auf die verschiedenen Kugelflächen ausgebreitete lebendige Kraft des ausstrahlenden Elementes in O vereinigt. Auf diese Weise entsteht der zu O gehörige Bildpunkt O^* als die ideelle Grenze, welcher die schliesslich sich ergebende Lichtvertheilung in den Mittelpunktsebenen der austretenden Kugelwellen um so mehr näher kommt, je mehr die wirksame Wellenfläche m^*n^* an Ausdehnung zunimmt.

Die wesentliche Bedingung für die Abbildung eines Objectpunktes durch den (virtuellen oder reellen) Vereinigungspunkt des austretenden Strahlenkegels besteht also in dem Vorhandensein einer kugelförmigen Wellenfläche, welche in ihrer ganzen Ausdehnung übereinstimmenden Schwingungszustand besitzt und von ihren sämtlichen Punkten aus interferenzfähige Elementarwellen aussendet.

Soll ein selbstleuchtendes Flächenelement punktwise abgebildet werden, so müssen die vorher gestellten Bedingungen für jeden einzelnen Punkt desselben erfüllt sein und demnach alle von dem seitlich der Achse gelegenen Punkte O_1 ausgehenden kürzesten Lichtwege mit gleicher optischer Länge in einem Punkte O_1^* zusammentreffen. Dies tritt aber nur dann ein, wenn neben der Correction der sphärischen Abweichung auf der Achse noch die S. 53 betrachtete Convergenzbedingung gewahrt ist. Ist dies der Fall, dann gelten die oben gegebenen Nachweise für alle nebeneinanderliegende Punkte eines gewissen kleinen Flächenelementes um den axialen Objectpunkt O herum für die ihnen zugeordneten Punkte in der Ebene des axialen Bildpunktes O^* . Es entspricht somit jedem einzelnen Objectpunkte in der Ebene O eine gewisse Lichtausbreitung in der Ebene O^* — das immer wiederholte Beugungsspectrum der Oeffnung —, welche sich bei zunehmender Grösse der Oeffnung für alle Bildpunkte gleichzeitig auf leuchtende Punkte zurückführen lässt.

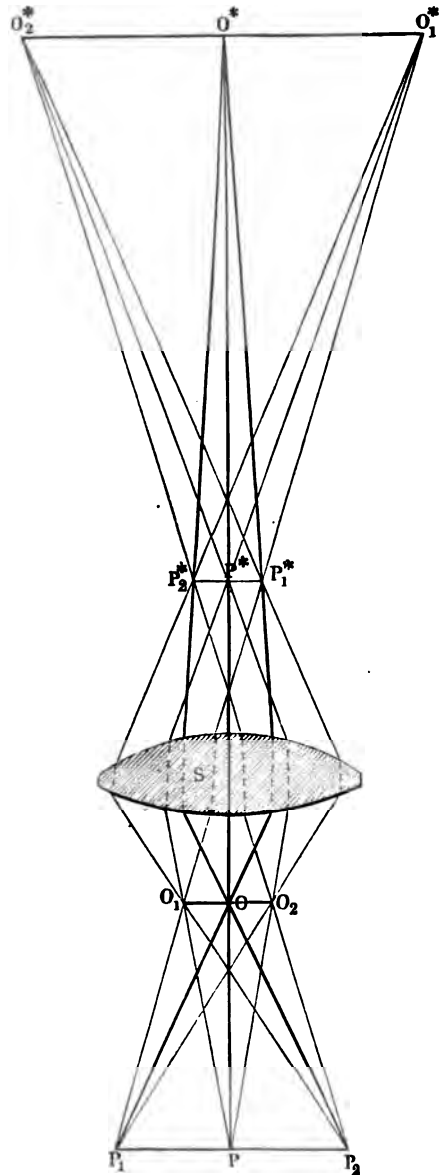
Bei dem geschilderten Abbildungsvorgange stellen, kraft der gemachten Voraussetzung, sämtliche Objectpunkte von einander unabhängige Erschütterungsmittelpunkte dar. Die von ihnen ausgehenden Kugelwellen, welche durch die Oeffnung m^*n^* gleichzeitig in das zweite Medium übergehen, besitzen daher incohärente Bewegungszustände und senden gegenseitig nichtinterferenzfähige Elementarwellen aus, so dass die schliessliche Lichtvertheilung in der Ebene $O_1^* O^* O_2^*$ lediglich aus einer Uebereinanderlagerung der Beugungsfiguren der einzelnen Objectpunkte besteht, welche mit zunehmender Erweiterung der Oeffnung in eine punktwise Wiedergabe der Lichtvertheilung in der Ebene $O_1 O O_2$ übergeht.

52 In ganz anderer Weise erfolgt die Abbildung eines mittelst durchfallenden (oder auch zurückgeworfenen) Lichtes leuchtend gemachten Objectes.

Ist wieder S (Fig. 49) ein aplanatisches Linsensystem, welches von einem theilweise durchsichtigen Gegenstande, z. B. einem mikroskopischen Präparate, Streifensystem, Gitter oder dergl. in der der Objectebene O

zugeordneten Bildebene O^* ein Bild erzeugen soll und bildet $P_1 P P_2$, eine hinter dem Objecte befindliche Lichtquelle, von deren einzelnen

Fig. 49.



Punkten aus Strahlen durch die durchsichtigen Theile von $O_1 O O_2$, hindurchtreten, so entstehen, rein geometrisch genommen, wie vorher Strahlenkegel, welche von den einzelnen Objectpunkten aus divergirend in das erstere eintreten und bei ihrem Austritt als homocentrische Strahlenkegel in den Punkten $O_1^* O^* O_2^*$ ihre Vereinigung finden. Nun gehen aber die von diesen Strahlenkegeln umfassten Strahlen von verschiedenen Punkten der Lichtquelle $P_1 P P_2$ aus und leiten ihre Bewegungen, welche sie auch nach ihrer Kreuzung in den Objectpunkten in dem Raume hinter $O_1 O O_2$ fortsetzen, von diesen Punkten ab. Diese bilden also unter sich incohärente Bewegungen und die einzelnen Strahlenbüschel stellen keine Kugelwellen mehr dar. Es besteht an den Endpunkten aller kürzesten Wege von je gleicher Länge, welche von irgend einem der Mittelpunkte $O_1 O O_2$ aus verfolgt werden, von Punkt zu Punkt ein anderer Schwingungszustand und keinerlei Verknüpfung zwischen gleichzeitigen Zuständen an verschiedenen Punkten, so dass von ihnen keine interferenzfähige Elementarwellen mehr ausgehen können.

Hieraus folgt aber, dass den durch solche durchfallende Strahlen erhaltenen Strahlenbüscheln nicht die Fähigkeit innewohnt, irgendwo einen Bildpunkt zu er-

zeugen und dass keine von ihrer Begrenzung abhängige Beugungswirkung bestehen kann.

Würde man dem gegenüber die Elementarwellen in Betracht ziehen, welche sich aus jedem von je einem Punkte der Lichtquelle aus divergirenden, das Object beleuchtenden Strahlenbüschel ableiten lassen, so würde jeder solcher Büschel, z. B. die Strahlengruppe $P_1 O_1, P_1 O, P_1 O_2$ einen wirklichen, in sich cohärenten Wellenzug darstellen. Bei seinem Uebergange in den Raum jenseits der Objectebene kann — und muss — derselbe demnach nach dem Huyghens'schen Principe durch Elementarwellen dargestellt werden, welche von allen durchsichtigen Stellen der Objectebene aus punktwise und allseitig sich verbreitend ausgehen. Dadurch werden aber die einzelnen Punkte der Objectebene zu cohärenten Erschütterungsmittelpunkten gemacht, deren Bewegungszustände einen von Punkt zu Punkt stetig fortschreitenden Unterschied bewahren. Es ist sohin die zweite Bedingung der punktwisen Abbildung aufgehoben und es kann also auch auf diese Weise die den Constructionen der geometrischen Optik entsprechende Abbildung eines Objectes nicht abgeleitet werden.

- 53 Obige Betrachtungen lehren, dass bei der mittelst durchfallenden (oder auch reflectirten) Lichtes bewirkten Abbildung eines Objectes eine Bilderzeugung im gewöhnlichen Sinne des Wortes nicht statthaben kann, weil die von einem Objectpunkte aus divergirenden, der Ausdehnung der Lichtquelle entsprechenden Strahlenbüschel aus incohärenten Strahlen, die von den verschiedenen Objectpunkten ausgehenden, denselben Punkt der Lichtquelle entsprechenden aber aus cohärenten Strahlen bestehen. Und wenn auch unter diesen Umständen in vielen Fällen eine scheinbar mit der Bestimmungsweise der geometrischen Optik übereinstimmende Abbildung erfolgt, so ist dieselbe doch — wie weit auch diese scheinbare Uebereinstimmung reichen mag — eine von der Abbildung selbstleuchtender Objecte im Grunde verschiedene und eigenartige Erscheinung, welche eine selbstständige Erklärung und Bestimmung nothwendig macht und der Theorie die Aufgabe stellt, nachzuweisen, wie und nach welchen Gesetzen die Bilder von nicht selbstleuchtenden Gegenständen erzeugt werden.

Welcher Art diese Abbildung sei, ergibt sich aus wiederholter Betrachtung der Fig. 49. Aus den soeben über die Abbildung selbstleuchtender Körper aufgestellten und den in dem vorhergehenden Abschnitte bezüglich der Strahlenbegrenzung mitgetheilten Sätzen geht hervor, dass durch das optische System S jedenfalls die in der Ebene $P_1 P P_2$ vorausgesetzten Lichtquelle — reell oder virtuell — unmittelbar abgebildet werden muss, indem alle von deren einzelnen Punkten aus divergirenden Strahlenbüschel alle oben gestellte Bedingungen erfüllen. Da wo diese Strahlenbüschel zur Wiedervereinigung kommen, d. h. in der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ muss eine punktwise Abbildung der leuchtenden Fläche $P_1 P P_2$ eintreten und jeder einem Punkte der letzteren zugeordnete

Punkt der ersteren bezeichnet den Ort für das Maximum der von einem Punkte der Ebene P hervorgerufenen Lichtwirkung, d. h. die Beugungsfigur, welche der Iris oder wirksamen Oeffnung des Systemes S entspricht. Diese Iris ist aber im vorliegenden Falle derjenige Theil der Objectebene, durch welchen Lichtstrahlen wirklichen Zutritt zu dem Systeme erlangen, und indem einzelne Stellen dieses Theiles die Schwingungen der von den einzelnen Punkten der leuchtenden Fläche ausgehenden Kugelwellen unbehindert durchtreten lassen, andere dieselben hemmen, bedingt derselbe die bestimmte Begrenzung der Kugelwellen, auf welcher die unmittelbare Abbildung als auf einem wesentlichen Punkte beruht. Dass hierbei die Iris eine stellvertretende, d. h. ein von dem Systeme unabhängiges Gebilde vorstellt, kommt nach dem Früheren nicht in Betracht. Ebenso äussert der Umstand keinen Einfluss, dass dieselbe vor dem Systeme liegt, da man die Elementarwellen der begrenzten Kugelwellen von dem Raume vor dem Systeme aus verfolgen und ihr Zusammenwirken in irgend einem Punkte der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ statt mittelst gerader Verbindungslinien, mittelst kürzester durch das System hindurchgehender Lichtwege bestimmt denken kann.

Dieses, durch das optische System unter Wirkung des Objectes als strahlenbegrenzende Oeffnung von der Lichtquelle in der ihr zugeordneten Ebene entworfenene Bild, dessen Einzelheiten erhalten werden, indem man jeden Punkt $P_1^* P^* P_2^*$ desselben in das Beugungsspectrum, welches das Object als beugende Oeffnung erzeugt, ausgebreitet denkt, und die Uebereinanderlagerung dieser sämtlichen Spectren bestimmt, ist der einzige unmittelbare Abbildungsvorgang, welcher dem optischen Systeme unter den vorausgesetzten Umständen zugeschrieben werden darf.

Nun suchen wir aber bei der mikroskopischen Beobachtung nicht dieses Bild auf, sondern wir wollen diejenige Lichtvertheilung kennen lernen, welche in der der Objectebene $O_1 O O_2$ zugeordneten (Bild-) Ebene $O_1^* O O_2^*$ auftritt, auf die wir Auge oder Ocular einstellen, und gerade hierdurch ist die Natur der in Frage kommenden Erscheinung gekennzeichnet. Es muss nämlich erstlich die Art der Lichtwirkung, welche in der Ebene $O_1^* O O_2^*$ zum Ausdruck gelangt, jedenfalls von denselben Grundlagen abhängen, von denen die gleichzeitige Lichtwirkung in der eigentlichen Bildebene $P_1^* P^* P_2^*$ abhängt, zweitens muss jene eine Erscheinung von gleichem physikalischen Charakter sein, wie diese, weil es sich dabei um denselben optischen Vorgang, wenn auch in einem anderen Abschnitte seines Verlaufes handelt. Die in der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ auftretende Wirkung beruht nun einerseits auf der Gesamtheit aller leuchtenden Punkte, welche an ihr theilnehmen, d. h. auf der Ausdehnung der Lichtquelle $P_1 P P_2$, andererseits auf der eigenartigen Begrenzung der wirksamen Strahlenbüschel, d. h. auf der Gestalt des Objectes $O_1 O O_2$, insofern dasselbe als Eintrittsöffnung thätig ist. Ihrer

Grundform nach ist sie das Beugungsspectrum der Lichtquelle in der Gestalt, wie es durch das betreffende Object als beugende Oeffnung erzeugt wird und dieses Beugungsspectrum selbst bildet thatsächlich eine Interferenzerscheinung, nämlich die Interferenzwirkung, welche von den Licht durchlassenden Punkten des Objectes mittelst der von ihnen ausgehenden Elementarwellen auf die Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ ausgeübt wird. Demgemäss ist denn auch die Lichtwirkung in der Ebene $O_1^* O^* O_2^*$ eine mit dem Beugungsspectrum in Verbindung stehende Interferenzerscheinung, nämlich die Wirkung der gleichen Elementarwellen auf eine andere, weiter entfernte, in demselben Medium liegende, der Ebene $O_1 O O_2$ zugeordnete Ebene.

Diese Lichtwirkung, welche unter den betrachteten Verhältnissen in der Ebene $O_1^* O^* O_2^*$ auftritt, bezeichnet man, weil dieselbe erfahrungsgemäss eine mit derjenigen des Objectes mehr oder minder ähnliche Lichtvertheilung darbietet, als Bild des letzteren. Dass sie aber kein eigentliches Bild vorstellen kann, geht aus der Betrachtung der physikalischen Bedingungen einer wirklichen Abbildung hervor. Sie ist vielmehr nichts anderes, als eine secundäre Abbildung in Gestalt einer Interferenzerscheinung, welche neben der in Form eines Beugungsspectrums auftretenden Abbildung der Lichtquelle hergeht, oder in anderen Worten: eine Interferenzerscheinung, welche die Beugungswirkung des Objectes begleitet.

Bei der Abbildung nicht selbstleuchtender Körper treten nach dem eben erörterten ganz von selbst dieselben Verhältnisse ein, welche bei den Versuchen über die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen durch die Versuchsanordnung herbeigeführt werden. Das Object vor dem Objectivsysteme entspricht vollständig dem Beugungsgitter vor dem Fernrohrobjectiv. Während man jedoch bei der Beobachtung der letzteren die Ebene ins Auge fasst, in welcher das von dem Fernrohrobjectiv entworfene scharfe Bild erscheint, stellt man bei der mikroskopischen Beobachtung auf eine andere von jener — der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ unserer Figur — verschiedene und zwar auf die dem beugenden Object zugeordnete Ebene ein und es muss dieses Object daher eine ganz bestimmte Stellung gegen die Hauptbrennpunkte des optischen Systemes erhalten, damit die letztere in einem bestimmten Abstände hinter dem Beugungsspectrum zu liegen komme.

Die mikroskopische Beobachtung giebt sich sonach kund: als Beobachtung der Lichtwirkung, welche eine bestimmte Lichtquelle durch ein beugendes Object hindurchstrahlend ausserhalb der Ebene ihres scharfen Bildes hervorruft.

54 Aus diesen Erörterungen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

Erstens: Das Beugungsspectrum, welches ein optisches System bei beliebiger Begrenzung der von den einzelnen leuchtenden Punkten ausgesendeten Strahlenkegel von einer leuchtenden Fläche entwirft, ist wie Theorie und Beobachtung lehren, nichts anderes, als die Neben- oder

Uebereinanderlagerung der Beugungsspectren, welche den einzelnen Punkten der Lichtquelle und den einzelnen Farben, in welchen sie strahlen, entsprechen. Die einzelnen leuchtenden Punkte der Ebene $P_1 P P_2$ stellen nämlich von einander unabhängige Erschütterungsmittelpunkte dar, die von ihnen, wie von den einzelnen Farben ausgehenden Wellen sind untereinander nicht interferenzfähig und die aus ihrem Zusammentreffen hervorgehende Lichtwirkung in der Ebene des wirklichen Bildes $P_1^* P^* P_2^*$ bildet eine unmittelbare Summation derjenigen Lichtwirkungen, welche die einzelnen Punkte P , sowie die verschiedenen Farben je für sich genommen, hervorrufen. Dasselbe muss natürlich auch für die Lichtwirkung in jeder beliebigen, also auch in der Bildebene $O_1^* O^* O_2^*$ gelten und wenn diese in irgend einer Form ein Bild des Objectes $O_1 O O_2$ darstellt, so muss dasselbe, welches auch seine Eigenschaften und sein physikalisches Verhältniss zu dem letzteren sein mögen, einzig und allein aus einer Uebereinanderlagerung derjenigen Bilder bestehen, welche die einzelnen in je einer bestimmten Farbe durch das betreffende Object hindurchstrahlenden Punkte der Lichtquelle erzeugen würden. Bei der Abbildung eines Objectes mittelst durchfallenden Lichtes ist also die Ausdehnung der Lichtquelle (oder der Divergenzwinkel der in den einzelnen Objectpunkten durchtretenden Strahlenkegel) ein unwesentliches Bestimmungsstück. Der Abbildungsvorgang wird einzig von der Wirkung der einzelnen leuchtenden Punkte der Lichtquelle bedingt, bleibt also auch bestehen, wenn diese auf einen einzigen leuchtenden Punkt beschränkt wird. Wenn — wie es thatsächlich bei dem Mikroskope der Fall ist — einfallende Lichtkegel von verschiedenen Divergenzwinkeln oder verschiedener Art der Begrenzung verschiedene Abbildungswirkung ergeben, so hat dieser Unterschied nur darin seinen Grund, dass die Wirkungen der einzelnen leuchtenden Punkte, aus denen die leuchtende Fläche zusammengesetzt wird, zufolge ihrer verschiedenen Lage gegen die Achse des optischen Systemes unter sich verschieden sind und demgemäss das schliessliche Bild eine Summe aus ungleichen Bestandtheilen ist, deren Zahl und Beschaffenheit mit der Zahl und räumlichen Anordnung der leuchtenden Punkte wechseln kann.

Zweitens: Da, wie oben dargelegt, unter den obwaltenden Verhältnissen das betreffende Object die Eintrittsöffnung oder die stellvertretende Iris der nach dem Objectivsysteme divergirenden Strahlenkegel bildet, so hat die physische Oeffnung, also die wirkliche Iris keinen Einfluss auf die Begrenzung der Strahlenkegel, welche von den einzelnen Punkten der Lichtquelle ausgehen. Ausdehnung und Gliederung des Objectes allein ergeben die Beugungswirkung, welche in dem Bilde der Lichtquelle zum Ausdruck gelangt. Die grössere oder geringere Ausdehnung der wirklichen Iris bedingt bloss den Umfang, in welchem die Lichtquelle abgebildet werden und die Ausdehnung, innerhalb der das

der Beugungswirkung des betreffenden Objectes entsprechende Spectrum jedes einzelnen Punktes der Lichtquelle hinter dem Systeme zur Entwicklung kommen kann. Die physische Oeffnung des Systemes bestimmt also nur das Bildfeld, welches das System der unmittelbaren Abbildung der Lichtquelle und ihres der Beugungswirkung des Objectes entsprechenden Beugungsspectrums zur Verfügung stellt. Eine grössere Oeffnung gestattet einmal die Abbildung einer ausgedehnteren Lichtquelle, dann die Entwicklung von — durch die beugenden Elemente des Objectes bedingten — ausgedehnteren Spectren in weiterem Umfange, als eine kleinere.

- 55 Wird die Lichtquelle als auf einen einzelnen leuchtenden Punkt beschränkt gedacht, so bleibt die Thätigkeit der wirklichen Iris auf die Begrenzung des Spectrums dieses Punktes in der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ beschränkt. Aber in Folge dieser Thätigkeit muss sie auch die in der $O_1 O O_2$ zugeordneten Ebene $O_1^* O^* O_2^*$ auftretenden Lichtvertheilung, d. h. das Bild des Objectes mitbestimmen, da die Lichtwirkung, welche ein, Lichtstrahlen durch das Object nach dem optischen Systeme hindurchsendender, leuchtender Punkt in einer beliebigen Ebene hinter $P_1^* P^* P_2^*$ hervorbringt, nothwendig eine andere werden muss, wenn die Lichtwirkung desselben leuchtenden Punktes innerhalb dieser Ebene $P_1^* P^* P_2^*$, also das in derselben erzeugte Beugungsspectrum in anderer Weise und in anderem Umfange durch Abblendung begrenzt wird. Soviel ist gewiss: die Beschaffenheit des in $O_1^* O^* O_2^*$ vorausgesetzten Bildes steht mit der thatsächlichen Ausdehnung des Beugungsspectrums in der Ebene $P_1^* P^* P_2^*$ in wesentlicher Verknüpfung und muss von der wirklichen Iris des optischen Systemes insofern abhängen, als von ihr eben dieses Spectrum seiner Ausdehnung nach abhängig ist.

Gemäss dieser Betrachtungen braucht die theoretische Bestimmung des hier in Frage kommenden Abbildungsvorganges, um ihre Aufgabe vollständig zu lösen, nur den Fall in Betracht zu ziehen, dass die durchfallenden Lichtstrahlen von einem unendlich kleinen Flächenelemente, also von einem leuchtenden Punkte von je einer bestimmten Farbe und beliebiger aber bestimmter Lage gegen die optische Achse des Linsensystemes ausgehen, indem die Abbildung, welche eine ausgedehntere Lichtquelle hervorbringt, sich nachher ergeben muss, wenn man die sämmtlichen den verschiedenen Punkten dieser Lichtquelle und den verschiedenen in ihr gemischten Farben zugehörigen Einzelbilder zusammenfügt.

Die Aufgabe: Die secundäre Abbildung nach Art und Gesetzmässigkeit zu bestimmen, lässt sich jetzt im Zusammenhalten mit dem über den Einfluss der Oeffnung des optischen Systemes Gesagten dahin zusammenfassen:

Es ist die Lichtwirkung zu bestimmen, welche ein beliebig gelegener, durch ein beugendes Object vor einem

optischen System hindurchstrahlender, leuchtender Punkt in der dem Objecte zugeordneten Ebene hervorbringt und zwar unter Berücksichtigung der Begrenzung, welche dabei das Beugungsspectrum innerhalb der Oeffnung des Systemes erfährt.

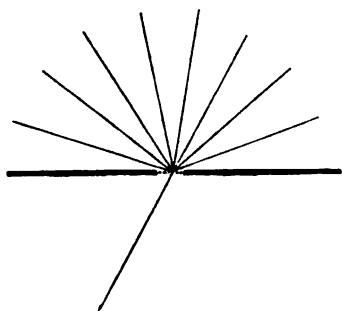
Bevor wir jedoch der hier gestellten Aufgabe näher treten, wollen wir zunächst einige Sätze über eine Reihe von Erscheinungen einschalten, welche sowohl zu den theoretischen Betrachtungen und den darauf bezüglichen Versuchen, als zu der im vierten Buche näher zu besprechenden Deutung mikroskopischer Wahrnehmungen in engster Beziehung stehen und für deren Verständniss unerlässlich sind.

Zweites Capitel.

Die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen.

Wenn von einem leuchtenden Körper ausgesendete Lichtstrahlen 56 durch ein Object hindurchgehen, welches vermöge seiner undurchsichtigen, halbdurchsichtigen oder brechenden Structurelemente die ununterbrochene Fortpflanzung der Lichtwellen verhindert, dann hören die Lichtstrahlen auf, als gerade Linien ihren Weg zu verfolgen. Jeder

Fig. 50.



Strahlenbüschel, welcher von einem Punkt der Lichtquelle aus- und durch ein Flächenelement der Structur hindurchgeht, wird in einen Strahlenkegel gespalten (Fig. 50), dessen einzelne, um die Richtungslinie des einfallenden Strahles verteilte Strahlen in Bezug auf ihre Abweichung von dieser Richtungslinie und ihre verhältnissmässige Lichtstärke mannichfach wechseln. Ist die Structur eine unregelmässige, so bilden die aus einem einfallenden Lichtstrahl abgelenkten oder „abgebeug-

ten“ Strahlen einen ununterbrochenen Lichtkegel, dessen einzelne Strahlen je nach dem Ablenkungswinkel eine verschiedene, mit Zu-

nahme der Ablenkung mehr oder minder rasch abnehmende Lichtstärke besitzen. Bei solchen Structuren dagegen, welche durch eine grosse Anzahl von ähnlichen oder gleichen Elementen in irgend welcher regelmässigen Anordnung gebildet sind, wird jeder einfallende Lichtstrahl in ein Bündel von vereinzelt Strahlenbüscheln aufgelöst, welche in Reihen oder regelmässigen Gruppen um die Einfallsrichtung angeordnet erscheinen.

Diese Erscheinungen werden von der Physik unter dem Namen „Beugung“ oder „Diffraction“ einbegriffen.

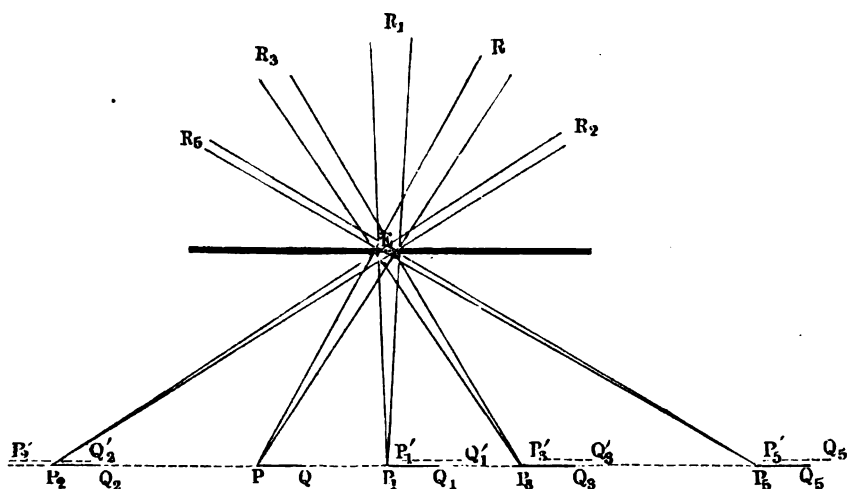
Unter den Lichtbüscheln eines in letzterer Art gespaltenen Strahlenkegels ist immer einer, welcher in der Einfallsrichtung verläuft, in der Regel die grösste Lichtstärke besitzt und als „Hauptbüschel“ directer oder ungebeugter Büschel — Fraunhofer's absolutes Maximum — bezeichnet werden kann, während die übrigen an Lichtstärke in dem Maasse abnehmen, als sie weiter von der Einfallsrichtung abgelenkt werden. Diese letzteren Strahlenbüschel, welche in Folge der raschen Abnahme der Lichtstärke nach beiden Seiten von der in Bezug auf die Intensität der Lichtstrahlung bevorzugten Richtung, als durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt erscheinen, stellen die Maxima zweiter Ordnung Fraunhofer's dar und unterscheiden sich in ihrem Wesen nicht von den einzelnen Theilen des ununterbrochenen Kegels, der von unregelmässigen Structuren erzeugt wird.

Die Winkelausbreitung des Beugungskegels hängt einestheils von der linearen Ausdehnung und der Entfernung der beugenden Elemente unter einander, anderentheils von der Wellenlänge des Lichtes ab. Werden ähnliche Structuren, welche nur in der Grösse ihrer Elemente verschieden sind, unter sonst gleichen Umständen unter einander verglichen, so ist die Anordnung der Beugungsbüschel um die Einfallsrichtung stets eine ähnliche; aber die Winkelausbreitung des Beugungskegels kann beträchtlich wechseln. Betragen z. B. die linearen Entfernungen der ablenkenden Elemente (je von ihrer Mitte aus gemessen) ein ansehnliches Vielfaches der Wellenlänge, so sind alle abgelenkten Strahlenbüschel von merkbarer Lichtstärke in einem engen Kegel umfasst; sinken aber diese Entfernungen auf geringe Vielfache, oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herab, dann können Beugungsbüschel von noch merklicher Lichtstärke bis an die Grenzen der Halbkugel hin auftreten. Zieht man die Ablenkungen in Betracht, welche Strahlen verschiedener Farben durch ein und dieselbe Structur erleiden, so ergeben die kürzeren Wellenlängen (Blau z. B.) stets engere Beugungskegel als die längeren (Roth). Daraus folgt weiter, dass die beugende Wirkung irgend einer Structur eine verschiedene ist, jenachdem dieselbe von verschiedenen Medien umgeben wird, indem die Wellenlänge irgend einer gegebenen Farbe für verschiedene Medien in dem umgekehrten Verhältnisse der Brechungsindices wechselt.

57 Alle diese Thatsachen gestatten eine einfache Darstellung, welche sich eng anschliesst an die Art, wie sie in die Erscheinung treten.

Ist E (Fig. 51) ein sehr kleines Flächenelement der beugenden Structur, PQ eine in beträchtlicher Entfernung befindliche, Licht von einer

Fig. 51.



bestimmten Wellenlänge, d. h. monochromatisches Licht ausstrahlende Lichtquelle, so wird der unendlich enge, durch das Flächenelement E begrenzte von dem Punkt P der leuchtenden Fläche ausgehende Einfallskegel durch die Wirkung der vorausgesetzten Structur in eine Menge von einzelnen Beugungsbüscheln aufgelöst, welche von E aus in verschiedenen Richtungen $R_1 R_2 R_3 \dots$ ausstrahlen. Jeder dieser Beugungsbüschel kann rückwärts verfolgt werden, und ergibt dann die virtuellen Punkte $P_1 P_2 P_3 \dots$, welche vor der Ebene E liegen und von denen er als aus- und ohne Beugungswirkung nach den Gesetzen geradliniger Fortpflanzung durch das Object hindurchgegangen angesehen werden kann. In der That wird ein sehr nahe an E herangebrachtes, den ganzen Beugungskegel umfassendes Auge die einzelnen Beugungsbüschel $R_1 R_2 R_3 \dots$ so sehen, als ob sie von den entfernten Punkten $P_1 P_2 P_3 \dots$ ausgegangen und in gerader Linie durch das Flächenelement E hindurchgetreten wären. Das Auge sieht dann durch die beugende Structur hindurch statt eines leuchtenden Punktes eine Menge von leuchtenden Punkten in einer durch P gehenden Fläche, d. h. das virtuelle Beugungsspectrum der betreffenden Structur. Hätte man statt des Auges eine Sammellinse dicht hinter die beugende Structur gebracht, so würden die abgebeugten Strahlenbüschel unter der gemachten Voraussetzung in der hinteren Brennebene dieser Linse zu reellen Bildpunkten vereinigt, also ein reelles Beugungsspectrum entwickelt worden sein, welches dort durch einen Schirm aufgefangen

oder mittelst einer passenden Vorrichtung (z. B. das besprochene Hilfsmikroskop) beobachtet werden könnte.

Ist die Structur bei E eine unregelmässige, so bilden die Büschel $R_1 R_2 R_3 \dots$ einen zusammenhängenden Lichtkegel und der Punkt P erscheint in Folge der Beugungswirkung in eine zusammenhängende helle Fläche von wechselnder Lichtstärke ausgedehnt. Wird dieselbe dagegen von einer grossen Anzahl symmetrisch angeordneter Elemente gebildet, wie in der Figur angenommen, so wird der directe Lichtbüschel R von getrennten Beugungsbüscheln umgeben und das beobachtende Auge erblickt eine Reihe oder eine Gruppe von getrennten leuchtenden Punkten, unter denen der ursprüngliche Punkt P mit enthalten ist. Würde an die Stelle des leuchtenden Punktes P eine ebensolche Fläche PQ von bestimmter Ausdehnung treten, so würden die von den einzelnen Punkten dieser Fläche ausgehenden Lichtstrahlen eine ähnliche Ablenkung erfahren. Die directen und die entsprechenden abgelenkten Strahlenbüschel der einzelnen leuchtenden Punkte würden von E gerade so ausgehen, wie Strahlenbüschel, welche sich von PQ , $P_1 Q_1$, $P_2 Q_2 \dots$ aus in geradliniger Richtung fortgepflanzt hätten. Wenn dann die von einem einfallenden Strahle abgeleiteten Beugungsbüschel durch grössere Winkelausbreitung von einander getrennt werden, als die einander entsprechenden Büschel der äussersten Punkte P und Q , so erblickt ein dicht hinter E befindliches Auge die leuchtende Fläche PQ von einer Anzahl von ähnlichen hellen Flächen $P_1 Q_1$, $P_2 Q_2 \dots$ — virtuellen Beugungsbildern von PQ — umgeben, welche durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt erscheinen.

Tritt an die Stelle monochromatischen Lichtes gemischtes, z. B. weisses Licht, so muss die Wirkung der zusammensetzenden Farben für sich betrachtet werden. Seien daher $P_1, P_2, P_3 \dots$ die virtuellen Mittelpunkte der Beugungsbüschel von kürzester Wellenlänge (Violett) und es gehe von P ein einfallender Strahl grösserer Wellenlänge (Roth) aus, so wird der directe Lichtbüschel wieder die Richtung ER einhalten, aber die Beugungsbüschel $R_1 R_2 \dots$ werden stärker abgelenkt werden, als diejenigen der entsprechenden violetten Strahlen, ihre virtuellen Mittelpunkte $P_1', P_2' \dots$ werden auf jeder Seite in einer grösseren Entfernung von P auftreten und es ist einleuchtend, dass, wenn man die zwischen Violett und Roth liegenden Farben in Betracht zieht, die Beugungsbüschel derselben ein zusammenhängendes Spectrum bilden, dessen violettes Ende dem directen Lichtbüschel zunächst, dessen rothes davon am weitesten ab liegt. Wird endlich wieder eine leuchtende Fläche PQ als Lichtquelle angenommen, so werden die directen Büschel der Beugungskegel aller Farben zusammentreffen und ein weisses Bild von PQ erzeugen; dagegen wird jede Gruppe von abgelenkten Strahlen entsprechend der Farbenzerstreuung Spectra hervorbringen, welche je dem virtuellen, durch ein Prisma erzeugten Spectrum einer ausgedehnten hellen Fläche gleichen, aber umgekehrte Farbenordnung besitzen.

Die eben betrachteten Beugungserscheinungen können an einer Menge von Objecten leicht und unmittelbar beobachtet werden, indem jede regelmässige oder selbst unregelmässige Structur von ausreichender Kleinheit ein ihr eigenthümliches — virtuelles — Beugungsspectrum (als solches die Gesamtheit der Einzelspectra zusammengefasst) erzeugt, wenn irgend ein leuchtender Punkt durch dieselbe betrachtet wird und das Auge alle von ihr abgebeugten und ausgehenden Strahlenbüschel aufnimmt. Unregelmässige Objecte, z. B. das unregelmässige Netzwerk organischer Gewebe, Staubbiederschläge auf Glas etc. lassen den leuchtenden Punkt als leuchtende Fläche mit unbestimmten, leicht gefärbten Rändern erblicken. Halbgelmässige Structuren, welche von einer grossen Anzahl ähnlicher, aber unregelmässig angeordneter Elemente gebildet werden, z. B. Samen *Lycopodii* auf einen Objectträger ausgebreitet etc., erzeugen ein gut begrenztes Bild der Lichtquelle, umgeben von einem kreisförmigen Hofe mit einem inneren, breiten blaugefärbten und einem äusseren rothgefärbten Rand. Regelmässige Streifungen: in Glas eingeschnittene Linien u. dgl. geben eine Reihe von getrennten Spectren, senkrecht zur Richtung der Streifen, welche in grösserer oder kleinerer Zahl und in abnehmender Lichtstärke zu beiden Seiten des farblosen Bildes der Lichtquelle auftreten. Regelmässig netzförmige Structuren: unter beliebigem Winkel sich kreuzende Liniensysteme auf Glas, Drahtnetze etc. geben eine Anzahl von Spectren, welche in verschiedenen Stellungen regelmässig um das directe Bild der Lichtquelle angeordnet erscheinen.

Nachdem wir die allgemeine Erscheinungsform der Beugungserscheinungen, soweit sie für die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung von Bedeutung werden, erörtert haben, wenden wir uns nun zu einigen quantitativen Bestimmungen, die bei unseren späteren Betrachtungen zur Anwendung kommen.

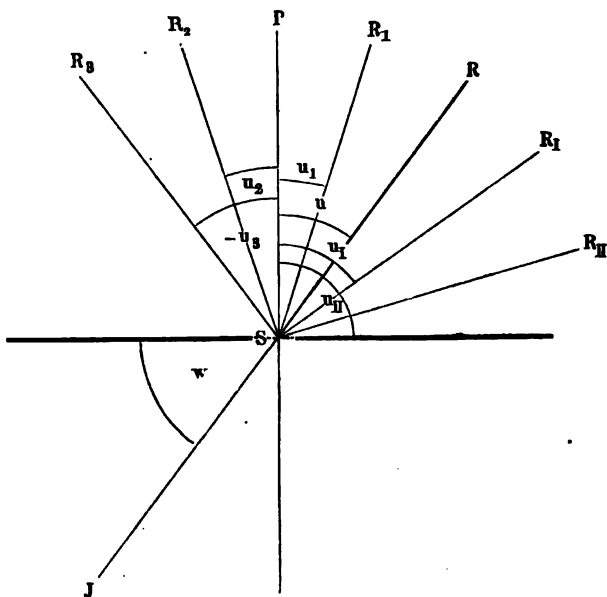
In dieser Beziehung hat Fraunhofer für die Bestimmung der Beugungswirkung von einfachen Streifensystemen ein höchst einfaches Gesetz aufgestellt, welches aus folgender Betrachtung abgeleitet ist.

Sei S , Fig. 52 a. f. S., ein Streifensystem — die Richtung der Streifen senkrecht zur Papierebene gedacht —, J ein senkrecht zur Richtung der Streifen einfallender Lichtstrahl, welcher unter dem Winkel w gegen die Ebene von S geneigt ist, so wird der Fächer der Beugungsbüschel, welche von J abgeleitet sind, durch die Strahlen $R_2, R_1, R, R_I, R_{II} \dots$ — Fraunhofer's Maxima der ersten und zweiten Ordnung — dargestellt¹⁾, welche gegen die Senkrechte P unter den Winkeln $u_2, u_1, u, u_I, u_{II} \dots$ geneigt sind und das Fraunhofer'sche Gesetz lautet:

¹⁾ Die Beugungsbüschel sind hier der Einfachheit halber als einfache Strahlen dargestellt. Das richtige Verhältniss würde das in Fig. 51 angewendete sein, da die Beugung sich nie auf einzelne Strahlen, sondern stets auf — auch sehr enge — Strahlenbüschel von endlichem Divergenzwinkel bezieht, welche von einem leuchtenden Punkte ausgehen und einen bestimmten Theil der beugenden Structur durchsetzen.

Die Sinus der Winkel, welche zwei auf einanderfolgende Strahlen mit der Senkrechten P bilden, haben einen constanten Unterschied, d. h.

Fig. 52.



$$\sin u_2 - \sin u_1 = \sin u_1 - \sin u = \sin u - \sin u_1 \dots = C$$

und der Zahlenwerth dieser Constanten ist immer bestimmt durch die Gleichung:

$$C = \frac{\lambda}{e}$$

worin λ die Wellenlänge einer bestimmten Farbe für ein bestimmtes Medium und e den Abstand zweier Streifen, von deren Mitte aus gemessen, darstellen. (Hieraus ist ersichtlich, dass die Einzelbreite der abwechselnd hellen und dunklen Streifen auf den Werth von C keinen Einfluss äussert, sondern dass sie nur die verhältnissmässige Helligkeit der verschiedenen Strahlenbüschel bedingt.)

Da nun die Wellenlänge einer bestimmten Farbe für bestimmte Medien im umgekehrten Verhältnisse steht zu dem Brechungsindex dieser Medien, so wird, wenn der Beugungsfächer in einem Medium von dem Brechungsindex $= n$ vorausgesetzt wird und λ allgemein die Wellenlänge in Luft $n = 1$ bedeutet, die zur Wirkung kommende Wellenlänge $[\lambda]$ ausgedrückt werden müssen durch die Gleichung:

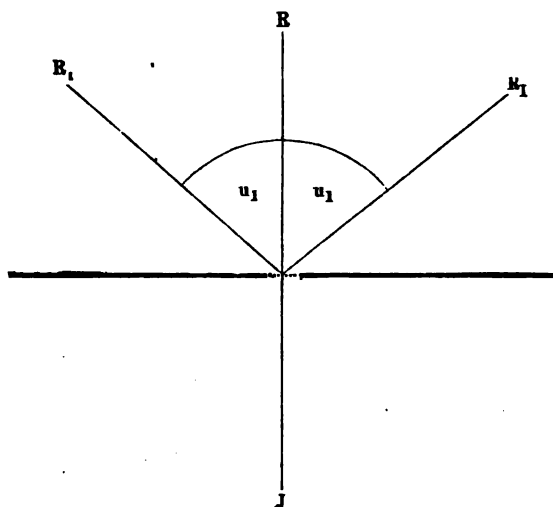
$$[\lambda] = \frac{\lambda}{n}$$

und die obige Gleichung wird übergehen in :

$$C = \frac{\lambda}{n \cdot e}$$

Die Fraunhofer'sche Regel kann nun benutzt werden, um bei solchen regelmässigen Streifungen die unter verschiedenen Bedingungen auftretende Winkelabweichung des ersten Beugungsbüschels von dem directen Lichtbüschel zu bestimmen. Steht der directe Lichtbüschel auf der Ebene des Streifensystemes senkrecht (Fig. 53), so ist der Winkel u

Fig. 53.



$= 0$, ferner u_1 der Beugungswinkel des ersten Beugungsbüschels auf der rechten, u_1 derjenige des ersten Beugungsbüschels auf der linken Seite des directen Lichtbüschels und beide sind einander gleich. Die obige Gleichung

$$\sin u_1 - \sin u = C$$

gibt jetzt :

$$\sin u_1 = C = \frac{\lambda}{n \cdot e}$$

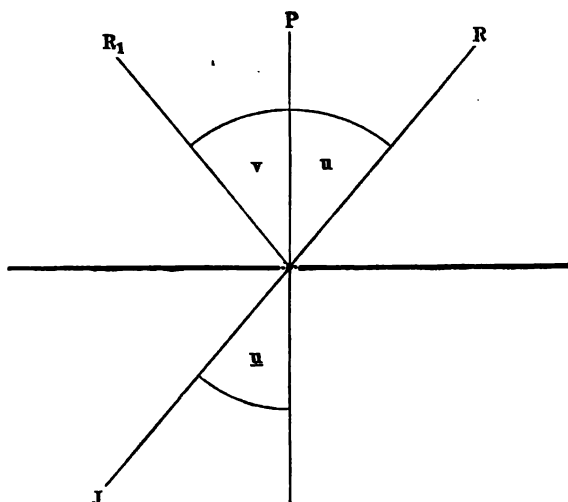
Fällt der directe Lichtbüschel $J R$ unter irgend einem Winkel schief gegen die Ebene des Streifensystemes ein, und wird der erste Beugungsbüschel R_1 nach der entgegengesetzten Seite hin von der Senkrechten unter dem Winkel v abgelenkt (Fig. 54), so giebt die Gleichung $\sin u - \sin u_1 = C$, weil, zufolge der Lage von R_1 , $u_1 = -v$ wird, die neue Gleichung

$$\sin u + \sin v = C = \frac{\lambda}{n \cdot e}$$

Die Ablenkung des ersten Beugungsbüschels R_1 von dem directen Lichtbüschel R wird jetzt ausgedrückt durch die Winkelsumme $u + v$ und

jeder der beiden Winkel wechselt mit der Neigung des directen Lichtbündels. Es kann nun durch eine leichte Rechnung bewiesen werden,

Fig. 54.



dass $u + v$ einen kleinsten Werth erlangt, wenn $\sin u + \sin v = 2 \sin u$, d. h. $\angle u = \angle v$, also die Einfallensneigung von R so geregelt wird, dass beide Lichtbündel R und R_1 eine gleiche Winkelabweichung von der Senkrechten erlangen. In diesem Falle ergibt die voranstehende Gleichung:

$$\sin v = \sin u = \frac{C}{2} = \frac{\lambda}{2 \cdot n \cdot e}$$

- 59 Eine allgemeinere Bestimmung in Bezug auf die räumlichen Verhältnisse der Beugungserscheinungen liefert der von Professor Abbe aufgestellte, den Schlüssel für die Lösung verschiedener Fragen in der Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung gewährende, durch einfache geometrische Entwicklung ableitbare Lehrsatz:

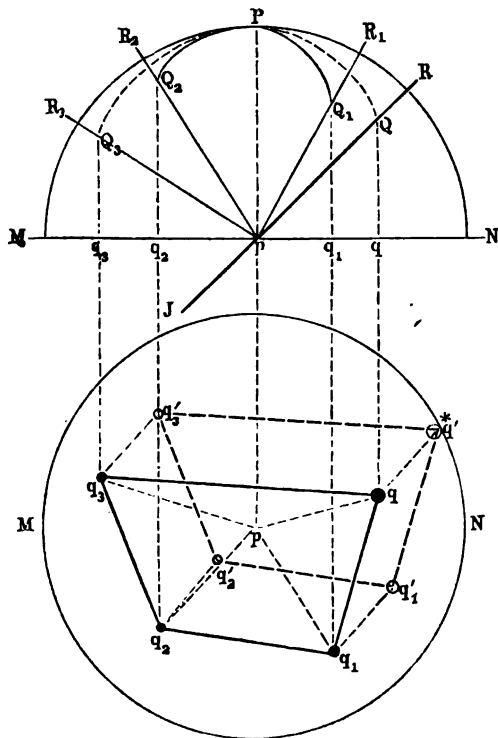
Wechselnde Einfallensrichtung des directen Lichtkegels, wechselnde Wellenlänge und wechselnde Maassverhältnisse der Structur verursachen keinen anderen Wechsel in der Gestaltung der auf die Ebene der Structur projizirten Beugungsfigur, als Vergrößerung oder Verkleinerung der Ausmessungen und parallele Verschiebung der ganzen Figur ohne Drehung.

Ist irgend eine Beugungserscheinungen bewirkende Structur gegeben und es trifft ein Lichtbündel in irgend einer Richtung auf dieselbe, so lässt sich der gleichförmige oder getrenntbündelige Beugungskegel,

welcher in der Fig. 55 durch die Strahlen $R R_1 R_2 R_3$ angedeutet ist, leicht in der folgenden Weise feststellen.

Man zeichne über dem Mittelpunkt des Beugungskegels eine Halbkugel von beliebigem Halbmesser und fälle von allen Schnittpunkten Q der einzelnen Beugungsstrahlen mit dieser Halbkugel Senkrechte auf die Ebene MN der Structur, oder auf irgend eine andere mit dieser parallele Ebene (z. B. auf die Berührungsebene im Scheitel P , Fig. 55),

Fig. 55.



so ergibt die Stellung der Projectionspunkte $q_1 q_2 q_3$ in dem Grundkreise MN die jedem beliebigen Falle entsprechende Anordnung der in dem Beugungskegel enthaltenen Beugungsbüschel. Wenn dabei — wie in der Figur geschehen — die Lichtstärke der einzelnen Beugungsbüschel in dem Verhältnisse zu derjenigen des directen Lichtbüschels, ähnlich wie die Fixsterngrösse in den Sternkarten angedeutet wird, so gewährt die schematische Figur ein Bild des Beugungsspectrums der betreffenden Structur und jeder von irgend einer Ursache herrührende Wechsel in der Anordnung der Beugungsbüschel wird durch einen entsprechenden Wechsel in der Anordnung der schematischen Spectren angezeigt.

Wenn z. B. die Einfallsrichtung des Beleuchtungskegels geändert wird, während alle anderen Verhältnisse dieselben bleiben, rückt der Punkt q , d. h. das Bild der lichtgebenden Fläche nach q^* und alle anderen Punkte q_1, q_2, q_3 werden zufolge des obigen Lehrsatzes um die Entfernung qq^* in derselben Richtung verschoben, so dass alle Seiten des Trapezes $q^*q_1^*q_2^*q_3^*$ denen von $qq_1q_2q_3$ gleich und parallel bleiben.

Ändert sich die Wellenlänge in Folge veränderter Farbe oder veränderten Brechungsverhältnisses des Mediums, oder werden gleiche Structuren von verschiedenem Maassverhältnisse beobachtet, so bleibt der Beugungskegel insofern der gleiche, als jeder Beugungsbüschel die verhältnissmässig gleiche Lichtstärke beibehält, aber die Winkelausbreitung desselben wird geändert. Dieser Wechsel in der geometrischen Gestaltung beruht nun wiederum auf folgender Bedingung: Die Verbindungslinien irgend zweier Punkte des projizirten Spectrums verbleiben parallel, aber ihre Länge wird in gleichem Maasse vergrößert oder verkleinert, wie der lineare Abstand irgend zweier Punkte, z. B. q und q^* , welcher zu der wirksam werdenden Wellenlänge in geradem, zu den Maassverhältnissen der Structur in umgekehrtem Verhältnisse steht.

Auf Grund des angeführten Lehrsatzes können nun die Beugungswirkungen ähnlicher oder gleicher Structuren von verschiedenen Maassverhältnissen, umgeben von verschiedenen Medien, sowie bei Beleuchtung mittelst verschiedener Farben genau mit einander verglichen werden. Es mögen hier einige daraus abgeleitete Folgerungen Platz finden.

Vor allem ist einleuchtend, dass Vergrößerung der Maassverhältnisse einer Structur in ihrer Wirkung gleich ist der verhältnissmässigen Verkleinerung der Wellenlänge und umgekehrt, d. h. man behält die gleiche Winkelausbreitung des Beugungskegels, wenn man die Maassverhältnisse einer Structur verkleinert und in demselben Verhältnisse Licht von kleinerer Wellenlänge der wirksamen Strahlen verwendet und umgekehrt. Ein Streifensystem in Crown Glas z. B. müsste, wenn dessen Streifenabstand in dem Verhältniss von 3 : 2 enger wäre als der eines gleichen in Luft, einen Beugungskegel von genau derselben Winkelausbreitung hervorrufen wie dieses, wenn in beiden Fällen mit Licht von gleicher Farbe beobachtet würde.

Hätte man andererseits eine Structur von bestimmtem Maassverhältnisse und es wäre deren Beugungswirkung für dieselbe Farbe aber für verschiedene Medien zu untersuchen, deren Brechungsindices $= n^*$ und n wären, so ergibt sich, wenn λ die Wellenlänge der vorausgesetzten Farbe in Luft bezeichnet, die wirksame Wellenlänge in den beiden Medien $= \frac{\lambda}{n^*}$

und $\frac{\lambda}{n}$. In Folge des vorhergehenden Satzes wird nun, einerlei, ob die Einfallsrichtung in beiden Fällen die gleiche, oder eine verschiedene sei, das schematische Beugungsspectrum in dem letztern Medium in Bezug

auf seine Gestaltung das gleiche, wie in dem ersteren, aber in dem Maasse von $n : n^*$ vergrössert sein.

Dieses vergrösserte Beugungsspectrum könnte aber noch in einer andern Weise erhalten werden, wenn man den durch das Medium n^* hervorgerufenen Beugungskegel mittelst einer ebenen, zu der beugenden Structur parallelen Fläche den Brechungsgesetzen gemäss zu dem Medium n hinüberleitete. Diese Möglichkeit gründet sich darauf, dass die Linien $p q, p q_1$ die *Sinus* der Neigungswinkel der Strahlen $R, R_1 \dots$ gegen die Senkrechte vorstellen. Da nun gemäss des Brechungsgesetzes die *Sinus* der durchfallenden Strahlen in dem Verhältnisse von $n : n^*$ vergrössert werden, so erhält man die Lage der Punkte, welche zu dem durchgeleiteten Beugungskegel gehören und damit ein dem früheren ähnliches, in dem Verhältnisse von $n : n^*$ vergrössertes schematisches Beugungsspectrum, wenn man alle Linien $p q, p q_1 \dots$ in diesem Verhältnisse verlängert.

Demgemäss kann das Beugungsspectrum, welches von einer bestimmten Structur durch Lichtstrahlen von bestimmten Farben in einem bestimmten Medium $= n$ erzeugt wird, abgeleitet werden aus dem von derselben Farbe in dem Medium $= n^*$ erzeugten Beugungsspectrum, indem man das letztere nach den Gesetzen der Brechung in das Medium n übertragen denkt.

Dieser Satz, welcher allgemeine Gültigkeit besitzt, bildet die Grundlage für die genaue Bestimmung aller Beugungswirkungen, welche von feinen Structuren abhängig sind.

Setzen wir z. B. eine Structur von solcher Feinheit voraus, dass sie selbst in einem Medium von der Brechkraft des Diamanten noch Beugungsbüschel von merklicher Intensität über die ganze Halbkugel ausbreite, so müsste, um die Beugungswirkung dieser Structur in Luft zu erhalten, ein 180° in dem Diamant umfassender Strahlenkegel mittelst einer zu der Structur parallelen Ebene in Luft übergeführt werden. Diese Ueberführung ist jedoch in Folge der Totalreflexion auf einen Winkel von etwa 50° beschränkt und es gehen demgemäss alle Beugungsbüschel von grösserer Neigung für die Luft verloren. Der in Luft von der gleichen Structur unmittelbar hervorgebrachte Beugungskegel umfasst daher nicht die volle Beugungswirkung, sondern nur einen kleinen Theil derselben. Hieraus geht hervor, dass die Winkelausbreitung der Beugungsbüschel nur dann von der Halbkugel umfasst werden kann, wenn die linearen Entfernungen der die Beugung bewirkenden Structureinzelheiten grosse Vielfache der Wellenlänge des Lichtes betragen, dass also das volle Beugungsspectrum irgend einer Structur, deren Maassverhältnisse auf kleine Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge in Luft herabgehen, weder in Luft noch in einem der bis jetzt als am stärksten brechend bekannten Medien bestimmt oder beobachtet werden kann. Die Beugungsspectren so feiner Structuren umfassen in Luft, wie in sehr stark brechenden Medien immer nur einen kleinen, mittleren Theil der vollen Beugungs-

wirkung. Eine Structur von der Art derjenigen des Pleurosigma angulatum z. B., deren Elemente etwa $0,6 - 0,55 \mu$ von einander entfernt stehen, würde, um ihre volle Beugungswirkung zur Anschauung zu bringen, mindestens ein Medium von dem Brechungsindex 5,0 bis 6,0 erfordern.

60 Im Anschluss an die Wirkung aplanatischer Systeme lässt sich aus dem Abbe'schen Lehrsatz noch eine weitere, wichtige Folgerung ableiten.

Sei O , Fig. 56, eine Structur, welche von dem leuchtenden Punkt R ausgehende Strahlen durchlässt und es stelle RO einen Strahl des durch einen sehr kleinen Flächentheil derselben hindurchgehenden directen Lichtbüschels, R_1, R_2 einzelne Strahlen der Beugungsbüschel vor, welche von dem Punkte O , hier also von dem aplanatischen Brennpunkte des Systems ausgehen, so werden alle $R, R_1 \dots$ sich genau in dem zugeordneten Punkte O^* vereinigen und die Winkel der Divergenz und Convergenz jedes einzelnen Strahles den Bedingungen der auf Seite 55 entwickelten, durch die Annahme $n^* = 1$ (also Luft als Medium im Bildraum gedacht) vereinfachten Gleichung

$$\sin u^* = \frac{n \cdot \sin u}{N}$$

entsprechen.

Bilden dann die nach O^* hin convergirenden Strahlen einen nur sehr engen Kegel — wie es bei Mikroskopobjectiven stets der Fall ist — und wird derselbe von der Ebene V in der Entfernung l von O^* geschnitten, so treffen die Strahlen R, R_1, R_2 diese Ebenen in den Punkten q, q_1, q_2 und die Entfernung dieser Schnittpunkte ist bestimmt durch die Gleichung

$$pq = l \tan u^*$$

welche, wenn wir $\tan u^* = \sin u^*$ setzen, in Verbindung mit der voranstehenden ergibt

$$pq = \frac{l}{N} \cdot n \cdot \sin u$$

als eine Gleichung, die für einen Schnitt in jeder Entfernung von O^* Gültigkeit hat. Nehmen wir nun als solchen diejenige Ebene an, in welcher q als das reelle Bild des leuchtenden Punktes R erscheint, das von den unmittelbar durch O hindurchtretenden Strahlen erzeugt wird, so bezeichnen die Punkte q, q_1, q_2 nicht bloss die Schnittpunkte der Einzelstrahlen, sondern die gemeinschaftlichen Schnittpunkte aller Strahlen, welche den einzelnen Beugungsbüscheln angehören, die von dem directen Lichtkegel abgespalten sind. Die Punktgruppe $q, q_1, q_2 \dots$ in der Ebene V stellt sonach das reelle und sofern die Convergenz der Strahlen gegen O^* hin auf sehr kleinem Winkel beschränkt bleibt, in einer Ebene liegende Bild des auf Seite 101 besprochenen virtuellen Beugungsspectrums dar, welches die durch die betreffende Structur bedingte sichtbare

Zerlegung der Lichtquelle in getrennte, abgebeugte Lichtbüschel bestimmt.

Durch die obige Gleichung ist jeder helle Punkt $q, q_1, q_2 \dots$ des reellen Beugungsspectrums bestimmt durch die Richtung des Beugungsbüschels ($< u$), den Brechungsindex (n), die Vergrößerung des Bildes (N) bei O^* und die Entfernung (l) des Spectrums von diesem letztern Punkt. Wenn nun der leuchtende Punkt oder die Ebene, in welcher das virtuelle Beugungsspectrum auftritt, in einer Entfernung von der Objectebene liegt, welche einem ansehnlichen Vielfachen der Brennweite des Systems gleich ist, so kommt die Ebene V in oder nahe an die hintere Brennebene zu liegen und es tritt an die Stelle der gedachten Gleichung eine andere, später abzuleitende, nämlich

$$pq = f \cdot n \cdot \sin u$$

und wenn wir Luft als Medium des Objectraumes voraussetzen, also $n = 1$ nehmen:

$$pq = f \cdot \sin u$$

worin f die erwähnte Brennweite darstellt.

Da die Länge der Linien

$$pq_1, pq_2 \dots$$

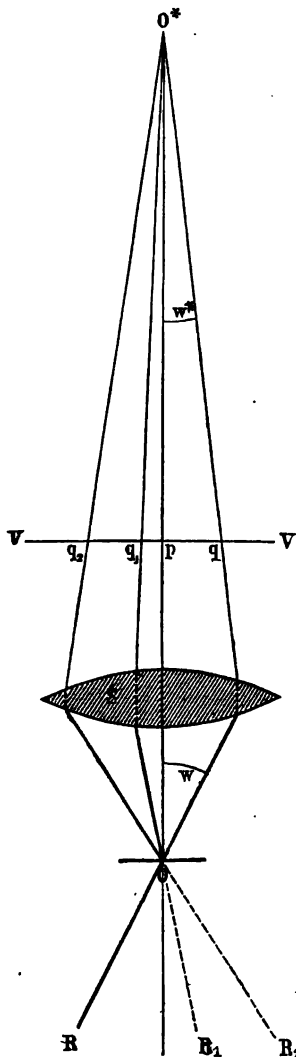
(Fig. 56), welche dem $\sin u$ der Neigungswinkel der Strahlen innerhalb des nach O^* zielenden Lichtkegels proportional sind, zu derjenigen der Linien $pq, pq_1, pq_2 \dots$ des schematischen, nach der Anleitung auf Seite 107 construirten Spectrums im Verhältniss steht, so gelten alle auf dieses letztere bezügliche Sätze ganz allgemein auch für das reelle von einem aplanatischen System irgend welcher Art entworfene Beugungsspectrum.

Hierauf gründen sich folgende Schlüsse:

1. Das reelle von einem aplanatischen optischen System in dessen Bildraum entworfene Spectrum einer feinen Structur bleibt, so lange ein enger einfallender

Lichtkegel verwendet wird, ungeändert in der Gestalt und wird parallel verschoben, wenn die Einfallsrichtung geändert wird.

Fig. 56.

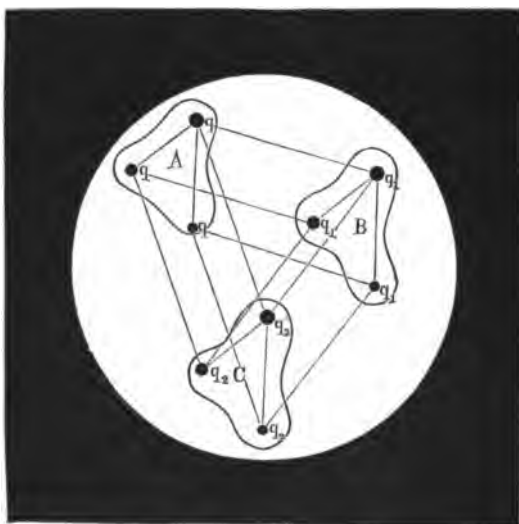


2. Wenn directe Lichtkegel von verschiedenen Farben entweder nach einander oder zugleich in Anwendung kommen, steht die lineare Entfernung irgend zweier Punkte des Spectrum in geradem Verhältnisse zu der Wellenlänge.

3. Wenn zwei Structuren von verschiedener Feinheit durch dasselbe optische System beobachtet werden, dann steht die lineare Entfernung zwischen irgend zwei Punkten des Spectrums in dem umgekehrten Verhältnisse zu den linearen Entfernungen zwischen den einzelnen Structur-elementen.

- 62 Bei den bisherigen Betrachtungen ist die Lichtquelle als ein leuchtender Punkt vorausgesetzt. Tritt nun an dessen Stelle eine endlich ausgedehnte leuchtende Fläche, so trifft auf jeden einzelnen Punkt einer Beugung bewirkenden Structur ein Lichtkegel von einer gewissen Winkelausbreitung. Die leuchtende Fläche kann dann in eine Anzahl von kleinen Flächenelementen zerlegt, jedes derselben als leuchtender Punkt angesehen werden und die von diesen Punkten ausgehenden einfallenden Lichtkegel, welche alle Strahlen umfassen, die durch den Theil der Structur hindurchgehen, dessen Beugungswirkung beobachtet wird, sind einzeln in Betracht zu ziehen (siehe auch Fig. 63 weiter unten). Ein einzelner Lichtbüschel erzeugt eine zusammenhängende oder getrennte Folge von hellen Punkten $q q_1 q_2 \dots$ in der von dem Umfange der Austrittspupille des Systems begrenzten Ebene des reellen Beugungsbildes (Gesammtspectrum). Demgemäss erzeugt jeder andere einfallende Licht-

Fig. 57.



büschel eine gleiche Beugungsfigur, deren Seiten in Folge der geänderten Einfallrichtung gegen die der ersteren um eine gewisse Strecke parallel

verschoben erscheinen. So werden durch ein und dieselbe Farbe eine Anzahl ähnlicher, parallel verschobener Figuren — die Elementarspectren — hervorgebracht. Alle Punkte q , Fig. 57, welche zu den directen Büscheln aller einfallenden Strahlenkegel $R, R_1 \dots$ gehören, vereinigen sich mit einander zu dem Bilde der Lichtquelle A , je alle Punkte q_1 und q_2 zusammen genommen erzeugen dagegen ebensoviele abgebeugte Bilder B und C derselben Lichtfläche und alle diese Bilder sind innerhalb des Kreises der Austrittspupille ganz oder zum Theil sichtbar, wenn die Structur eine regelmässige ist und der einfallende Lichtstrahl eine kleine Winkelausbreitung besitzt. Aber selbst, wenn sie sich mit einander vermengen sollten und in der Ebene der Austrittspupille nur eine einförmig helle Fläche sichtbar wäre, muss diese als aus einer Anzahl Einzelbildern der Lichtquelle zusammengesetzt betrachtet und in eine Anzahl ähnlicher, zusammenhängender Gruppen von einzelnen Punkten $q, q_1, q_2 \dots$ aufgelöst werden.

Wenn ein weit geöffneter Lichtkegel auf das Object geleitet wird; so erscheinen die wirksamen Spectren irgend einer bestimmten Farbe aus einer Menge von Einzelspectren (Elementarspectren) zusammengesetzt, die von gleicher Art mit denen sind, welche man mittelst paralleler Verschiebung eines einzigen von ihnen innerhalb der Ebene erhält, in welcher das letztere von dem optischen System entworfen wird.

Auf Grund der vorausgehenden Betrachtungen kann nun das reelle Beugungsspectrum, welches von einer regelmässigen Structur durch applanatische Systeme entworfen wird, genau festgestellt werden.

Drittes Capitel.

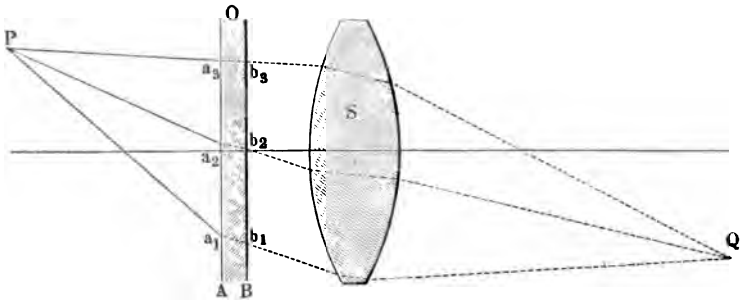
Die secundäre Abbildung als Wirkung einer Interferenzerscheinung.

Indem wir uns nunmehr der Lösung der auf Seite 98 gestellten 63 Aufgabe zuwenden, sind zunächst die Voraussetzungen darzulegen, welche über die Beschaffenheit der abzubildenden Structur gemacht werden sollen. Um alle praktisch wichtigen Fälle, namentlich auch die bei der mikroskopischen Beobachtung auftretenden, wo das Präparat eine dünne, zwischen zwei Glasplatten eingeschlossene, also in parallelen Ebenen durch homogene Medien begrenzte Schicht bildet, einzuschliessen, soll das beugende Object eine zur optischen Achse senkrechte, von parallelen Ebenen begrenzte Schicht von endlicher, aber immerhin sehr geringer Dicke bilden, innerhalb deren sowohl das Brechungsvermögen, als die Durch-

sichtigkeit in beliebiger Abstufung periodischen oder unregelmässigen Wechsel und stetige oder sprunghafte Uebergänge zeigt.

Stellt O , Fig. 58, ein solches Object, P den gegen die optische Achse beliebig gelegenen leuchtenden Punkt und S ein hinter dem Objecte auf-

Fig. 58.



gestelltes optisches System dar, so ergibt der von P ausgehende kugelförmige Wellenzug in den beiden Begrenzungsflächen A und B der als Object angenommenen, äusserst dünnen Schicht folgende Lichtbewegung. Die Wellen erreichen, wenn der Wellenmittelpunkt P in verhältnissmässig weiter Entfernung liegt, die Punkte $a_1 \dots a_2 \dots a_3 \dots$ der vorderen Grenzfläche A überall mit gleichen Schwingungsweiten, aber wegen Ungleichheit der Wege $Pa_1 \dots Pa_2 \dots Pa_3$ mit verschiedenem Schwingungszustande. Dieser Schwingungszustand eines jeden Punktes $a \dots$ wird nun, indem sich die Bewegung durch die Schicht O bis zu der hinteren Grenzfläche B fortpflanzt, auf dem der Fortpflanzungsgeschwindigkeit (d. h. dem Brechungsindex von O) entsprechenden Wege zu einem gegenüberliegenden Punkt $b \dots$ derart übertragen, dass an jeder nicht vollkommen durchsichtigen Stelle die Schwingungsweite — jeder Farbe für sich — der stattfindenden Absorption entsprechend vermindert und an vollkommen undurchsichtigen Stellen auf Null gebracht, die Phase aber, gemäss des zurückgelegten optischen Weges — also an Stellen von verschiedenem Brechungsvermögen in verschiedenem Betrage — verschoben wird. So wird denn die von dem Erschütterungsmittelpunkt P aus hervorgerufene Lichtbewegung mit von Punkt zu Punkt veränderlicher Schwingungsweite und veränderlicher Phase in den hinteren Raum übergeführt. Und in diesem Raum wird der in der Oberfläche B hervorgerufene Schwingungszustand derart zur Quelle aller Lichtwirkungen, dass von allen Punkten dieser Fläche aus sich allseitig neue Kugelwellen mit den betreffenden Schwingungsweiten und Phasen ausbreiten und durch ihr Zusammentreffen die an jeder Stelle zum Ausdruck kommende Lichtwirkung erzeugen.

Die Lichtbewegung, welche von dem Erschütterungsmittelpunkt P aus in irgend einem beliebigen Punkte Q in dem hinteren Raume hervorgerufen wird, ist also bestimmt durch die Interferenz der Elementarwellen,

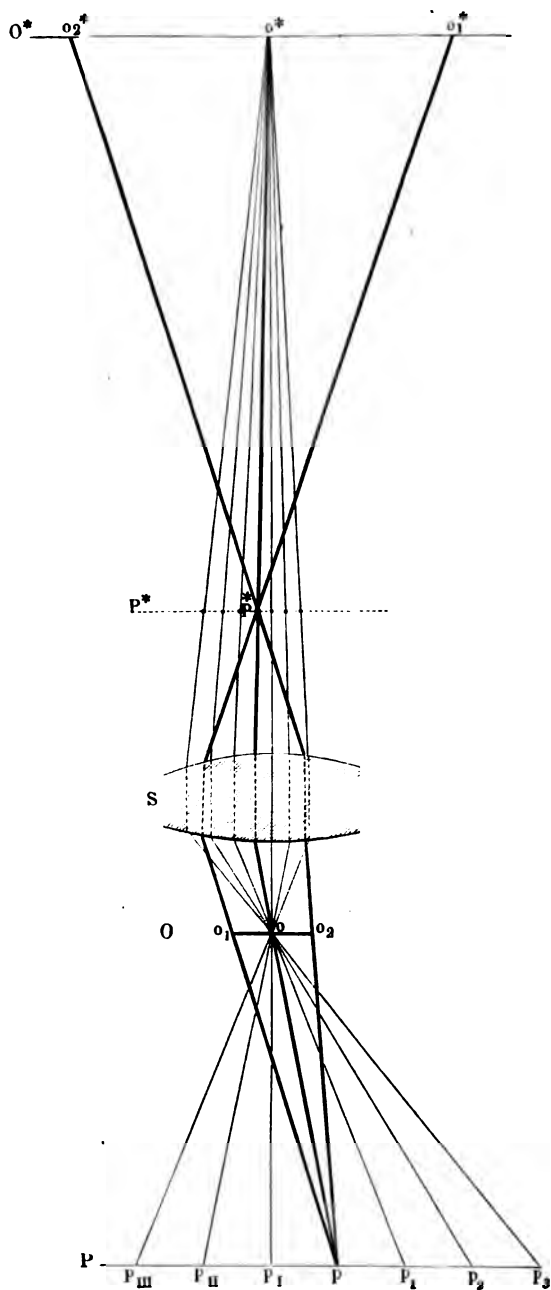
welche von allen Punkten der Grenzfläche B aus auf kürzesten Lichtwegen — und zwar hier durch das System S hindurch und soweit sie vermöge dessen freier Oeffnung vom Eintritt nicht abgeschnitten erscheinen — zu dem Punkte Q (derselbe könnte statt in den Bildraum des Linsensystemes und ohne dessen Vorhandensein auch einfach in dem zweiten Medium liegen) hingesandt werden. Die hier auftretende Erscheinung gehört zur Classe der bekannten Fresnel'schen Beugungserscheinungen¹⁾, und es treten uns in Bezug auf die etwa im Anschluss an sie zu vollziehende unmittelbare Bestimmung der Abbildungserscheinung in der uns zunächst interessirenden Bildebene des Mikroskopobjectives gerade mit Rücksicht auf die für diese allen übrigen Ebenen gegenüber zu stellenden besonderen Bedingungen — hier nicht näher zu charakterisirende — Schwierigkeiten entgegen, welche indessen leicht umgangen werden können.

Sofern es sich — wie bei der uns hier vorliegenden Aufgabe — 64 nur um die Lichtvertheilung in der einen bestimmten, der Ebene O der beugenden Structur zugeordneten Ebene O^* , Fig. 59 (a. f. S.), handelt, kann deren Bestimmung am einfachsten durchgeführt werden, wenn man zunächst die Gesamtwirkung der Elementarwellen in der der Lichtquelle P zugeordneten Ebene P^* ermittelt und sodann die Lichtwirkung darstellt, welche die sämmtlichen von dieser Ebene aus weiter gehenden Elementarstrahlen in der Ebene O^* hervorrufen.

Die zu ermittelnde Lichtwirkung in der erstgenannten Ebene, beziehungsweise die Resultante aller von O ausgehenden Elementarwellen innerhalb dieser Ebene, ergiebt eine Fraunhofer'sche Beugungsfigur, d. h. das mittelst des optischen Systemes S durch die Object-structur erzeugte reelle Beugungsspectrum des leuchtenden Punktes p , welches auch (S. 110) als das genaue, direct von dem gedachten Systeme ohne Beugungswirkung entworfene Bild des — nach dem Früheren für ein dicht hinter dem beugenden Objecte befindliches, auf die Lichtquelle P accommodirtes Auge (oder Fernrohr) in dem Objectraum des optischen Systemes entstehenden — virtuellen, seiner Ausdehnung nach durch die

¹⁾ Nach dem Sprachgebrauche der Physiker bezeichnet man als Fresnel'sche Beugungserscheinung die Lichtvertheilung, welche eine durch eine gegebene beugende Oeffnung (in unserem Falle eine beugende Structur) hindurchstrahlende Lichtquelle in einer beliebig gelegenen Fläche hervorbringt. Eine Fraunhofer'sche Beugungswirkung dagegen nennt man jene Lichtwirkung, wenn die betrachtete Fläche entweder die Lichtquelle in sich enthält (wie im Falle des virtuellen Beugungsspectrums, welches das Auge sieht, wenn eine Lichtquelle unmittelbar durch ein beugendes Object hindurch betrachtet wird), oder einer durch die Lichtquelle gehenden Fläche in Bezug auf irgend ein optisches System conjugirt ist (wie im Falle der Projection eines reellen Spectrums durch ein Linsensystem). Als einen besonderen Fall der Fraunhofer'schen Beugungserscheinung stellt sich die Lichtvertheilung dar, welche eine von dem beugenden Objecte unendlich entfernte Lichtquelle in einer gleichfalls unendlich entfernten Ebene ergiebt.

Fig. 59.



Oeffnung des abbildenden Systemes bestimmten Spectrums betrachtet werden kann. Hat man dieses Beugungsspectrum festgestellt, so lässt sich die schliessliche Lichtwirkung in der der Objectebene O zugeordneten Bildebene O^* ableiten aus der Interferenz der sämtlichen Elementarwellen, welche von den Punkten jenes Spectrums aus auf einen Punkt von O^* zusammentreffen, wenn dabei das betreffende Spectrum in der Ausdehnung in Betracht gezogen wird, in welcher die freie Oeffnung des Systemes es thatsächlich zu Stande kommen lässt und wenn ferner jedem seiner Punkte als neuem Erschütterungsmittelpunkt diejenige Schwingungsweite und Phase zugetheilt wird, welche der von O aus daselbst erregten Wellenbewegung eigen ist.

Die Lichtwirkung in der Bildebene erscheint demgemäss als das Ergebniss der Verknüpfung eines Fraunhofer'schen Beugungsvorganges mit einer nachfolgenden Interferenzwirkung. Der erstere geht dabei von dem Objecte selbst aus, bleibt also unabhängig von dem optischen Systeme, während die Interferenz zwischen den Strahlen eintritt, welche von der Ebene des Spectrums aus sich zur Bildebene fortpflanzen und von der Oeffnung des optischen Systemes nur insofern bestimmt wird, als von ihr der wirksam werdende Theil des Beugungsspectrums abhängig ist.

Im Anschluss an diese Betrachtungen erscheint nun das secundäre Bild als eine Interferenzerscheinung, welche das von dem Objecte erzeugte Beugungsspectrum innerhalb der Bildebene herbeiführt. An der Hand dieser Thatsache lassen sich sowohl die weitgehendsten, auf das Allgemeine des Abbildungsvorganges sich beziehenden Schlussfolgerungen gewinnen, als auch alle praktisch wichtigen Fragen beantworten, wie z. B. diejenigen über das bei der hier dargelegten, secundären Abbildung schliesslich sich ergebende Verhältniss zwischen Object und Bild, über die Bedingungen, unter welchen eine Aehnlichkeit beider möglich erscheint, und welche Bedeutung den so erzeugten Bildern zuzuschreiben sei, wenn eine Aehnlichkeit mit den Objecten nicht mehr vorhanden ist. Durch sie werden die Wirkungen verschiedenster Structuren auf die möglichen Umgestaltungen einer stets nach denselben einfachen Gesetzen zu bestimmende Erscheinung, nämlich auf eine der Structur entsprechende, auf Grund dargelegter optischer Sätze und der nachfolgenden Darstellung in verhältnissmässig umfassender Art zu kennzeichnende Fraunhofer'sche Beugungsfigur zurückgeführt. In ihr ist alles das zusammengefasst, was von der besonderen Beschaffenheit des Objectes, sowie von der Art und Anordnung seiner Einzelheiten abhängt, und zugleich ist alles, was von der Beschaffenheit des optischen Systemes, sowie von dem Orte der Lichtquelle beeinflusst erscheint, auf die rein geometrisch bestimmbare Begrenzung zurückgeführt, durch welche die Entwicklung der Beugungsfigur gemäss der Grösse der freien Oeffnung bedingt wird. Endlich ist die Beurtheilung des schliesslichen Abbildungsvorganges auf die Verfolgung eines

optischen Vorganges, nämlich auf die Interferenzwirkung des Beugungsspectrums angewiesen, welcher sich stets nach denselben Bedingungen und in derselben Weise vollzieht, bei dessen Bestimmung also keinerlei Rücksicht auf die Beschaffenheit der abzubildenden Structur mehr zu nehmen ist.

- 65 Nachdem in den vorausgehenden Betrachtungen die Grundlage für die theoretische Bestimmung der secundären Abbildung gewonnen ist, können wir auf dieser weiter bauend die Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung entwickeln.

Als Aufgaben, welche dabei zu erledigen sind, erscheinen:

1. Die Bestimmung des elementaren Beugungsspectrums einer gegebenen Objectstructur bei beliebiger Lage des lichtstrahlenden Punktes und in derjenigen besonderen Begrenzung, welche durch die Oeffnung des abbildenden Objectivsystemes bedingt wird.

2. Die gesetzmässige Ermittlung der aus dem gegebenen Beugungsspectrum hervorgehenden Interferenzwirkung in der dem Objecte zugeordneten Bildebene, d. h. des betreffenden elementaren Bildes der Objectstructur.

3. Die Feststellung der Regeln, nach welchen die Summation der vielen, den einzelnen Punkten und verschiedenfarbigen Strahlen einer beliebig ausgedehnten Lichtquelle entsprechenden elementaren Bilder zu beurtheilen ist.

- 66 Die Lösung dieser Aufgaben wollen wir nun, soweit dies für unsere Zwecke erforderlich ist und indem für eine weitergehende theoretische Entwicklung auf die Abhandlung von Professor Abbe: „Die Grenzen der geometrischen Optik“ verwiesen wird, in kurzen Zügen darzulegen suchen.

Um dabei von möglichst einfachen Verhältnissen auszugehen, nehmen wir an, die Lichtquelle werde von einem in unendlicher Entfernung auf der Achse gelegenen Punkte gebildet, und die beugende Objectstructur bestehe aus einem einfachen Streifensystem von abwechselnd hellen und dunklen, gleichweit von einander abstehenden Linien.

Stellt nun S (Fig. 60) das Objectivsystem eines Mikroskopes vor, so ist zunächst der Ort vollkommen bestimmt, in welchem das der Objectstructur entsprechende reelle Beugungsspectrum erscheint. Dieses letztere ist nämlich, wie wir gesehen haben, nichts anderes als die Beugungsfigur, unter welcher der leuchtende Punkt P — beziehentlich das aus ihm durch die vorausgesetzte Objectstructur entwickelte virtuelle Spectrum — unmittelbar durch das Objectivsystem und zwar entsprechend dessen den Strahleneintritt begrenzender Oeffnung abgebildet wird. Das unmittelbare Bild des Punktes P — beziehentlich des Mittelpunktes des virtuellen Spectrums — ist also derjenige Punkt p^* hinter dem System, welcher demselben dioptrisch zugeordnet ist, zu welchem also von ersterem aus unbestimmt viele kürzeste Lichtwege hinzielen, d. h. der Mittelpunkt des fraglichen Spectrums, wenn als

Fig. 60.

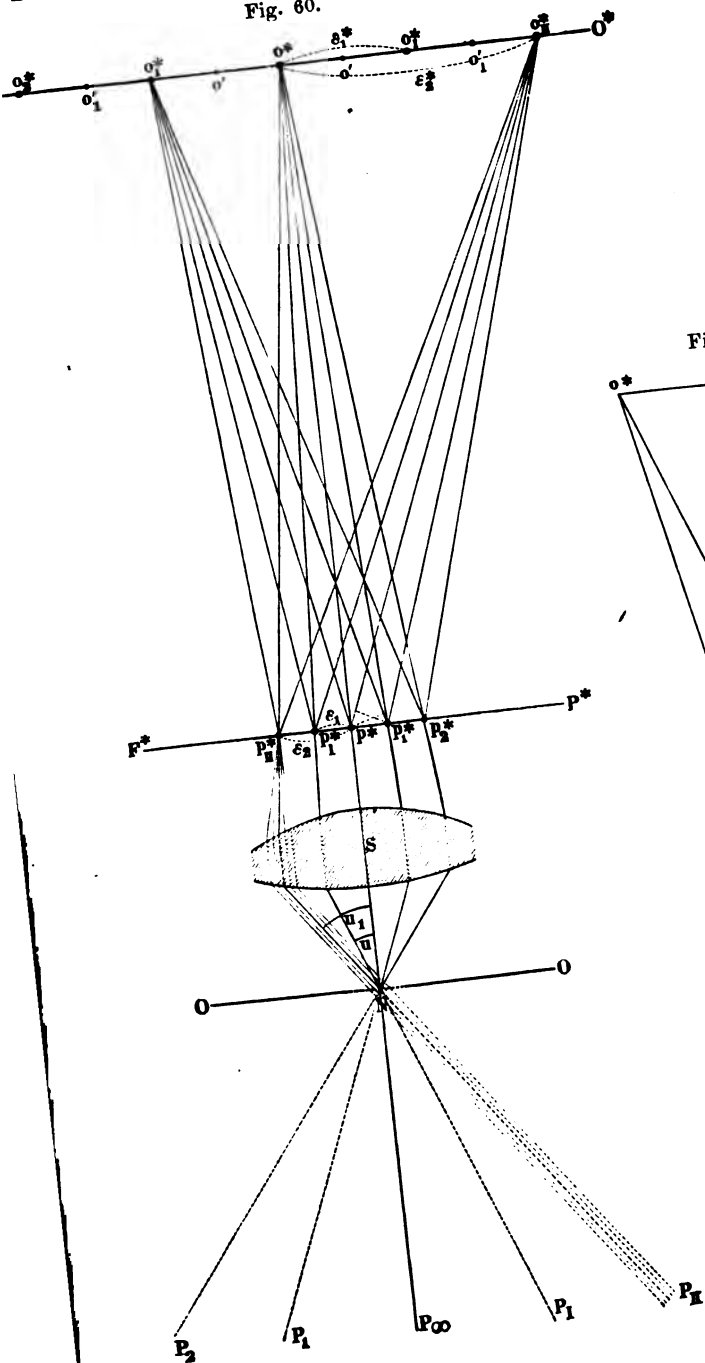
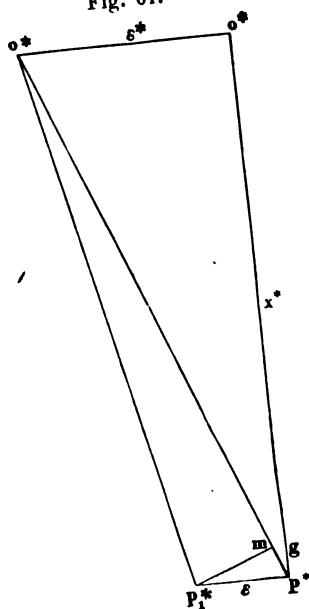


Fig. 61.



solcher allgemein diejenige Stelle bezeichnet wird, welche bei der unmittelbaren Abbildung das absolute Maximum der Lichtwirkung einnimmt. Durch den Punkt p^* muss diejenige Fläche P^* hindurchgehen, in welchen das reelle Fraunhofer'sche Beugungsspectrum des leuchtenden Punktes P ausgebreitet erscheint, und wir sehen dieselbe vorerst als eine Ebene an, obwohl sie dieses bei Objectivsystemen mit grosser Oeffnung im Allgemeinen nicht ist.

In der durch p^* gelegten Ebene P^* hat man jetzt für jeden Punkt p^* die von der hinteren Grenzfläche des beugenden Objectes zu ihm fortgepflanzte Wellenbewegung nach Schwingungsweite und Schwingungszustand festzustellen, d. h. alle von den verschiedenen Punkten o dieser Grenzfläche aus zu ihm hinführenden kürzesten Lichtwege aufzusuchen, und unter Berücksichtigung ihrer ungleichen optischen Längen sowie des Unterschiedes der Schwingungszustände, welche die Wellenbewegung in jenen Punkten zeigt, die Resultante aller auf diesen Wegen übertragenen Schwingungen zu bestimmen. Hierdurch ergibt sich für alle Punkte p^* der Ebene P^* , soweit diese durch die freie Oeffnung des Objectivsystemes S zugänglich ist, je eine bestimmte Schwingungsweite oder Lichtstärke und je ein bestimmter Schwingungszustand (Phase) der Lichtbewegung, wobei beide Elemente sich von Punkt zu Punkt stetig oder sprungweise ändern werden.

Unter der oben gemachten Voraussetzung fällt die Ebene P^* mit der hinteren Brennebene F^* des Objectivsystemes zusammen und es müssen, wenn N das beugende Streifensystem mit dem Intervall $= e$ in der Objectebene O vorstellt, sämtliche an den einzelnen Objectpunkten abgebeugte Lichtbüschel gemäss der früheren Darlegungen in der Ebene P^* resp. F^* durch ihre Lichtwirkung ein lineares Spectrum erzeugen. Da nun die Ebene des Fächers der Beugungsbüschel immer durch die Achse des Objectivsystemes geht, und da gleichen Unterschieden der *Sinus* der Neigungswinkel auf einander folgender Beugungsbüschel gemäss des Satzes über den Aplanatismus gleiche Unterschiede in den linearen Abständen zweier auf einander folgender Punkte $p^* p_1^* \dots$ von der Achse entsprechen müssen, so besteht dieses Gesamtspectrum aus einer in ihrer Richtungslinie senkrecht auf der Streifenrichtung stehenden Reihe, in Gestalt von farbigen Einzelspectren auftretender Fraunhofer'scher Maxima zweiter Ordnung, welche symmetrisch zu beiden Seiten des absoluten Maximums, d. h. des directen Bildes der Lichtquelle gelegen erscheinen. Veränderung in der Richtung des einfallenden Lichtbüschels oder in der Wellenlänge rufen erstere nur parallele Verschiebung, letztere entsprechende Veränderung in dem linearen Abstände der Einzelspectren hervor, welche hier zunächst keiner weiteren Berücksichtigung bedürfen.

Bezeichnen wir jetzt, um die räumlichen Verhältnisse des reellen Spectrums, d. h. die Oerter der Einzelspectren, welche für die von ihnen ausgehende Interferenzwirkung von Bedeutung werden, festzustellen, die

Ablenkungswinkel der Hauptstrahlen aller von je einem Punkte der Structur abgebeugten Lichtbüschel mit $u_1 u_2 \dots$, die Abstände der von der Mitte aus auf einander folgenden Maxima zweiter Ordnung (Spectra) mit $\varepsilon_1 \varepsilon_2 \dots$, so ist, wie aus den Entwicklungen auf S. 105 hervorgeht und wenn wir Luft als Medium in Object- und Bildraum annehmen

$$\sin u_1 = \frac{\lambda}{e}$$

$$\sin u_2 = 2 \cdot \frac{\lambda}{e}$$

$$\sin u_3 = 3 \cdot \frac{\lambda}{e}$$

⋮

ferner ist gemäss der auf S. 111 angeführten Gleichung ($p q = f \cdot \sin u$)

$$\varepsilon_1 = f \cdot \sin u_1$$

$$\varepsilon_2 = f \cdot \sin u_2$$

$$\varepsilon_3 = f \cdot \sin u_3$$

⋮

und folglich, wenn wir für $\sin u_1, \sin u_2 \dots$ die eben gefundenen Werthe einsetzen

$$\varepsilon_1 = f \cdot \frac{\lambda}{e}$$

$$\varepsilon_2 = f \cdot \frac{2 \lambda}{e}$$

$$\varepsilon_3 = f \cdot \frac{3 \lambda}{e}$$

⋮

und demnach allgemein der (gleiche) Abstand der einzelnen Maxima zweiter Ordnung von einander

$$\varepsilon = f \cdot \frac{\lambda}{e}$$

Welche Ausdehnung das so bestimmte Beugungsspectrum innerhalb der Ebenen P^* (F^*) erlange, hängt, wie aus Früherem hervorgeht, von der Oeffnung des optischen Systemes ab, und als einfacher Fall erscheint in dieser Beziehung derjenige, wobei — obwohl in der Wirklichkeit die Verhältnisse nur selten dieser Annahme entsprechen — die letztere mit der Ebene des ersteren zusammenfällt. Die Begrenzung des Spectrums ergibt sich nämlich auf diese Annahme hin unmittelbar dadurch, dass der Rand der Iris von einer bestimmten Stelle an plötz-

lich alle Elementarstrahlen abschneidet, welche zu der Ebene P^* hinführen könnten.

67 Von der innerhalb der Ebene P^* festgestellten Lichtvertheilung, d. h. von dem reellen Beugungsspectrum aus ergibt sich diejenige in der Ebene O^* , also das gesuchte Bild, wenn man die Elementarwellen von sämtlichen Punkten p^* der ersteren zu jedem Punkte o^* der letzteren verfolgt und die kürzesten optischen Lichtwege bei diesem Uebergange in Anschlag bringt. Hierdurch und unter Berücksichtigung der Schwingungsweite und des Schwingungszustandes (Phase), welche an jeder Stelle p^* bestehen, ergibt sich die Schwingungsweite und damit die Lichtstärke für jeden Punkt der Bildebene und es muss die von der Lichtvertheilung in der Ebene P^* , also von dem reellen Beugungsspectrum auf die Ebene O^* ausgeübte Interferenzwirkung als das Bild des in der ihr zugeordneten Ebene O befindlichen Objectes betrachtet werden.

Um nun für den vorliegenden Fall diese Interferenzwirkung zu bestimmen, nehmen wir — wie es bei dem Mikroskope ja thatsächlich der Fall ist — die Bildebene O^* in einer so grossen Entfernung x^* von der hinteren Brennebene F^* des Objectivsystemes an, dass dieselbe ein sehr grosses Vielfaches von dem Durchmesser des Beugungsspectrums beträgt und alle von den einzelnen Punkten dieses letzteren nach einem Punkte der Bildebene hinzielenden Elementarstrahlen als parallel angesehen werden können. Daraus ergibt sich aber, da alle von den einzelnen Punkten des Beugungsspectrums ausfahrenden Elementarstrahlen — als von einem leuchtenden Punkte abgeleitete — coherent, also interferenzfähige sind, dass in allen den Punkten $o^* o_1^* o_1'^* \dots$ der Bildebene, für welche der Gangunterschied der Wellenlänge λ selbst, oder einem Vielfachen derselben gleich ist, die Lichtwirkung ein Maximum hervorrufen muss, während für alle jene Punkte $o_1' o_2' o_1'' \dots$, in denen der Gangunterschied der halben, oder einem ungeraden Vielfachen der halben Wellenlänge gleich wird, eine vollständige Vernichtung der Lichtwirkung eintreten wird. Alle zwischen den Maxima und Minima liegenden Punkte werden dann eine von den ersteren nach den letzteren hin mehr oder minder rasch abfallende Lichtstärke zeigen. Es entsteht sonach in der Bildebene O^* als Folge der Interferenzwirkung des Beugungsspectrums eine Lichtvertheilung, welche durch abwechselnd helle und dunkle Streifen gekennzeichnet ist. Nun ist aber die Feststellung dieser Lichtvertheilung nach Form und Abstufung zur vollen Bestimmung der Bildentwicklung nicht völlig ausreichend, sondern es müssen auch noch die linearen Dimensionen des Abstandes der Maxima und Minima, d. h. der Streifen (von ihrer Mitte aus gemessen) ermittelt werden.

Gehen wir zu dem Ende von zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Einzelspectren, etwa dem directen Bilde des leuchtenden Punktes p^* und dem ihm folgenden Maximum zweiter Ordnung p_1^* und zwar von

ihren, um den linearen Abstand ε von einander entfernten Mitten aus, verfolgen die von ihnen nach einem um ε^* von dem Mittelpunkte entfernten Punkte o_1^* der Bildebene, Fig. 61, hinzielenden Elementarstrahlen und construiren deren Gangunterschied g , so erhalten wir, da der Kreisbogen $p_1^* m$ als gerade Linie angesehen werden kann, zwei ähnliche Dreiecke $p^* p_1^* m$ und $p^* o^* o_1^*$ und es ist, da $g = p^* m$ ist und wegen des grossen Abstandes der Ebene O^* von der Ebene $P^* p^* o_1^*$ $= x^*$ genommen werden kann,

$$\frac{g}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon^*}{x^*}$$

$$g = \varepsilon \cdot \frac{\varepsilon^*}{x^*}$$

Setzen wir nun der Reihe nach

$$g = \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

$$g = 1 \cdot \lambda$$

$$g = \frac{3}{2} \cdot \lambda$$

\vdots

$$g = k \cdot \lambda$$

so wird

$$\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon^*}{x^*} = \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

$$\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon^*}{x^*} = 1 \cdot \lambda$$

$$\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon^*}{x^*} = \frac{3}{2} \cdot \lambda$$

\vdots

$$\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon^*}{x^*} = k \cdot \lambda$$

und daraus allgemein

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot k \cdot \lambda$$

Bilden wir hieraus die entsprechenden Reihen für die Abstände ε^* und ε' der von dem Mittelpunkte o^* der Bildebene aus aufeinanderfolgenden Maxima und Minima der Lichtstärke, so erhalten wir

$$\varepsilon_1^* = \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot \lambda$$

$$\varepsilon'_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot \lambda$$

$$\varepsilon_2^* = 2 \cdot \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot \lambda$$

$$\varepsilon'_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot \lambda$$

\vdots

\vdots

124 Zweiter Abschnitt. Die physischen Gesetze der Abbildung etc.
und allgemein als den Abstand je zweier unmittelbar sich folgender
Maxima oder Minima

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{\varepsilon} \cdot \lambda = \varepsilon'$$

und wenn für ε der oben gefundene Werth eingesetzt wird

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f \cdot \frac{\lambda}{e}} \cdot \lambda$$

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f} \cdot e$$

und da $\frac{x^*}{f}$ die lineare Vergrößerung im Uebergange von der Ebene O
zur Ebene O^* , also vom Objecte zum Bilde darstellt

$$\varepsilon^* = N \cdot e$$

ε^* wird also, da λ ausfällt, von den Wellenlängen und damit von den
wirksam werdenden Einzelfarben vollständig unabhängig.

In dem vorliegenden Falle stellt sich sonach das reelle Bild des
Objectes, welches durch die Ocularwirkung nur noch auf den erforder-
lichen Schwinkel ausgebreitet wird, dar, als ein gegen das Object um
 N mal vergrößertes Streifensystem mit gleichen Abständen der einzelnen
Streifen.

- 68 Da nun das reelle Beugungsspectrum (wir werden später hierauf
zurückkommen) sowohl als das Bild in der Ebene O^* der Beobachtung
und Messung zugänglich sind, so gewähren obige Gleichungen die Be-
stimmungstheile, um aus dem Abstände ε der Einzelspectren, oder aus
der Streifendistanz ε^* in dem Luftbilde den Streifenabstand des Objectes
zu berechnen. Wäre z. B. der Abstand $x^* = 160$ mm die Brennweite
des Objectivsystemes $f = 4$ mm $\lambda = 0,00055$ mm, in einem Falle ε
 $= 2,4$ mm, in einem anderen Falle $\varepsilon^* = 0,024$ mm gemessen, so würden
wir als Streifenabstand des Objectes erhalten im ersten Falle

$$e = f \cdot \frac{\lambda}{\varepsilon} = 4 \cdot \frac{0,00055}{2,4} = 0,0009 \text{ mm oder } 0,9 \mu$$

im anderen Falle

$$e = \frac{\varepsilon^*}{N} = \frac{0,024}{40} = 0,0006 \text{ mm oder } 0,6 \mu$$

- 69 Würden bei der Bestimmung der Lichtvertheilung in der Bildebene
unter Beibehaltung der vorausgesetzten beugenden Structur rechts und
links von dem absoluten Maximum p^* , also von dem Mittelpunkte des
reellen Beugungsspectrums, nicht die unmittelbar auf dasselbe folgenden
Einzelspectren in Betracht gezogen, sondern je eines oder je zwei . . .
übersprungen worden sein, so wäre das gesuchte Bild zwar nach

Form und Abstufung der Lichtwirkung im Allgemeinen dasselbe geblieben, wie vorher, es müsste sich aber der beziehungsweise Abstand der Maxima und Minima geändert haben. In welchem Maasse dies geschehen, geht aber unmittelbar aus den obigen Entwicklungen hervor.

Die Gleichung $\varepsilon = f \cdot \frac{\lambda}{e}$ würde nämlich übergegangen sein in die Gleichungen

$$\varepsilon = 2 \cdot f \cdot \frac{\lambda}{e}$$

$$\varepsilon = 3 \cdot f \cdot \frac{\lambda}{e}$$

⋮

und demzufolge die Endgleichung

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f} \cdot e$$

in

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f} \cdot \frac{e}{2}$$

$$\varepsilon^* = \frac{x^*}{f} \cdot \frac{e}{3}$$

⋮

oder

$$\varepsilon^* = N \cdot \frac{e}{2}$$

$$\varepsilon^* = N \cdot \frac{e}{3}$$

Die ursprüngliche Streifung des Objectes würde sich also unter den jetzt angenommenen Verhältnissen und gemäss der aus den voranstehenden Gleichungen leicht abzuleitenden Ausdrücken

$$\frac{e}{2} = f \cdot \frac{\lambda}{\varepsilon}, \quad \frac{e}{3} = f \cdot \frac{\lambda}{\varepsilon} \dots$$

oder

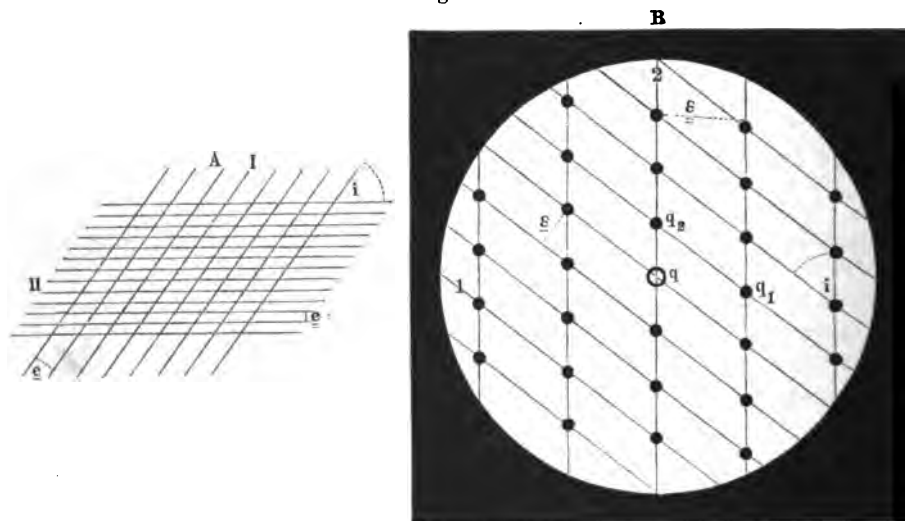
$$\frac{e}{2} = \frac{\varepsilon^*}{N}, \quad \frac{e}{3} = \frac{\varepsilon^*}{N} \dots$$

als eine solche von doppelter, dreifacher . . . Feinheit, jedoch von gleicher Markirtheit und Schärfe der Zeichnung wie im ersten Falle dargestellt haben.

Das elementare, d. h. das von einem leuchtenden Punkte erzeugte 70 Beugungsspectrum einer aus zwei sich kreuzenden regelmässigen (periodischen) Streifensystemen, oder in solche sich ordnenden Structur-

elementen (Punkten) bestehenden Structur kann in ähnlicher Weise ermittelt werden, wie das eines einfachen Streifensystemes. Seien z. B. I und II (Fig. 62 A) solche Streifensysteme, der Streifenabstand in I = \underline{e} , der in II = \underline{e} und wird angenommen, dass sich dieselben unter einem Winkel i schneiden, so bildet das Beugungsbild eine in Form von Parallelogrammen um den Punkt q geordnete Gruppe von Einzelspectren q_1, q_2, \dots (Fig. 62 B). Die Zahl der letzteren, soweit sie eine

Fig. 62.



merkliche Lichtstärke besitzen, sowie die verhältnissmässige Lichtstärke unter ihnen kann dabei grosse Verschiedenheiten erkennen lassen, da diese Umstände von Art und Form der Structurelemente abhängen. Es erscheinen jedoch immer die Einzelspectren nach zwei Richtungen 1 und 2 hin in gleichweit von einander abstehende Reihen geordnet, welche beziehentlich auf den Richtungen der Streifensysteme I und II senkrecht stehen und sich gleichfalls unter dem Winkel i schneiden.

Die Abstände \underline{e} und \underline{e} je zwei auf einander folgender Einzelspectren werden dabei durch die Gleichungen $\underline{e} = f \cdot \frac{\lambda}{\underline{e}}$ und $\underline{e} = f \cdot \frac{\lambda}{\underline{e}}$ bestimmt.

In ähnlicher Weise liesse sich das Beugungsbild von drei und mehr sich schneidenden regelmässigen Streifensystemen oder Punktreihen und dergleichen ermitteln.

Die Interferenzwirkungen, welche von diesen zusammengesetzten Beugungsfiguren in der Bildebene hervorgerufen werden, machen jedoch schon

verwickeltere Verhältnisse zu Tage treten, welche sich nicht in elementarer Weise darstellen lassen und auf Grund analytischer Entwicklungen in einer interessanten Abhandlung von Dr. A. Eichhorn in eingehender Weise behandelt worden sind ¹⁾. Wir werden einige derselben, sowie die Einflüsse, welche sich in Folge des Ausfallens bestimmter Einzelspectren in dem Gesamtspectrum auf die Gestaltung des schliesslichen Bildes geltend machen, an der Hand von entsprechenden Versuchen weiter oben besprechen.

Die Resultate der voranstehenden Betrachtungen ergeben nun in 71 Bezug auf die Gestaltung der von periodisch gegliederten Structuren erzeugten Beugungsfigur folgende Sätze:

Erstens. Der lineare Abstand der Fraunhofer'schen Maxima des Beugungsspectrums — der Einzelspectren — steht in umgekehrtem Verhältnisse zu dem linearen Abstände der beugenden Elemente einer Structur.

Zweitens. Die Anordnung der Einzelspectren — Fraunhofer'sche Maxima — ist eine der Anordnung der beugenden Structurelemente entsprechende. In gleichlaufenden Reihengeordnete Elemente ergeben in ihrer Verbindungslinie auf dieser senkrecht stehende Reihenspectren, während in unter irgend welchem Winkel sich kreuzende, unter sich parallele Reihen geordnete Structurelemente in entsprechender Weise angeordnete Gruppierung der Elementarspectren hervorrufen.

Bisher haben wir nur die in Bezug auf einen leuchtenden Punkt 72 erzeugte Beugungswirkung einer Objectstructur betrachtet und müssen daher noch diejenigen Erscheinungen ins Auge fassen, welche durch eine bei der mikroskopischen Beobachtung stets zur Anwendung kommende mehr oder minder ausgedehnte und gemischtes Licht gewährende Lichtquelle, d. h. eine in beliebigen Farben lichtstrahlende Fläche hervorgebracht werden.

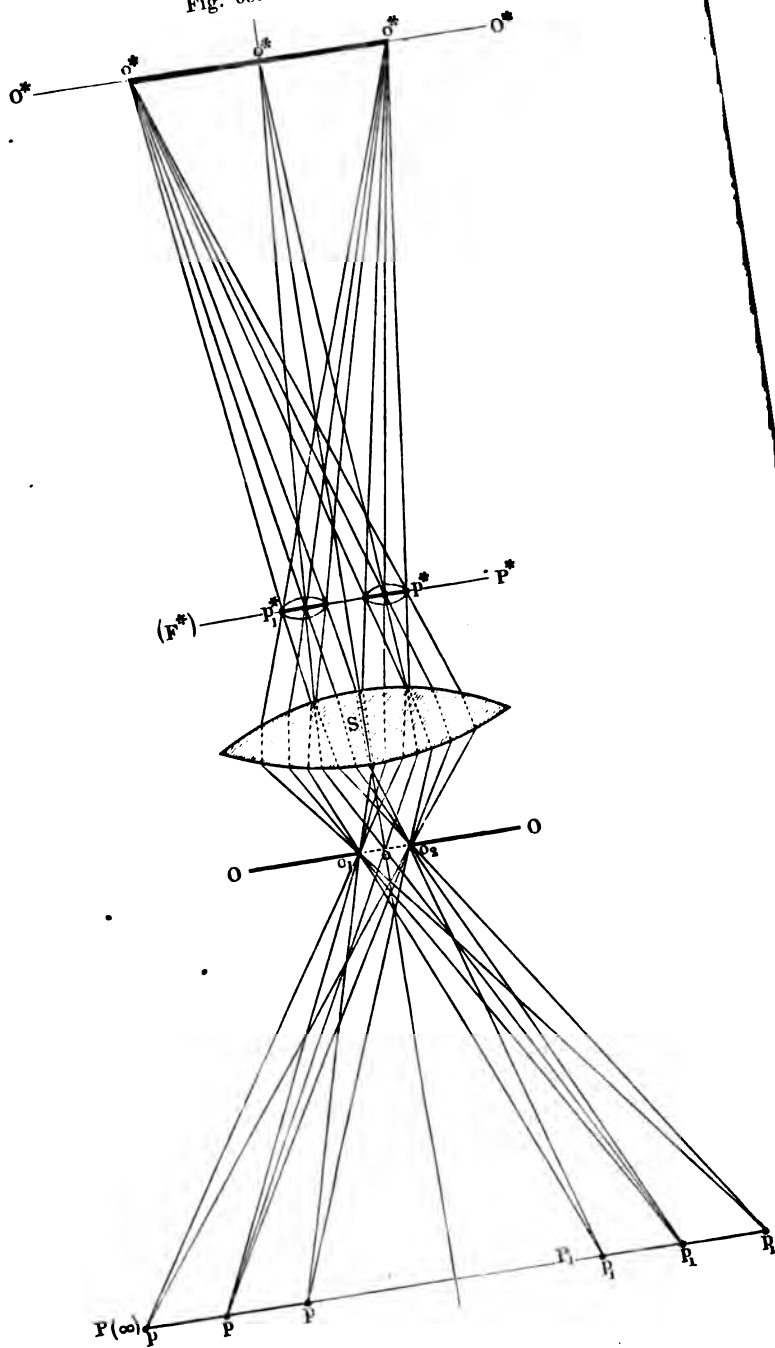
Tritt an die Stelle eines leuchtenden Punktes, welcher Licht von einer bestimmten Farbe ausstrahlt, eine beliebig ausgedehnte Fläche, welche z. B. in weissem Lichte leuchtet, so wiederholt sich die für ein elementares Bild durchgeführte Betrachtung für jeden einzelnen Punkt der leuchtenden Fläche, wie für jede in seinem Lichte vertretene einzelne Farbe. In der Ebene P^* , Fig. 63 (a. f. S.) treten dann in jedem Einzelspectrum \hat{p}^* , p_1^* unbestimmt viele elementare Beugungsspectren

$$p^* \dots, p_1^* \dots, p_1^* \dots, p_2^* \dots, p_{11}^* \dots \text{ u. s. f.}$$

auf und jedes einzelne von ihnen wird im Allgemeinen in Bezug auf die

¹⁾ Bestimmung der Interferenzen von mehreren isochronen und in gleicher Phase schwingender Lichtcentren. Gekrönte Preisschrift, Jena 1878.

Fig. 63.



ihm eigene Lichtvertheilung, die Lage seines Mittelpunktes innerhalb der freien Oeffnung, sowie auf seine durch die letztere bedingte Begrenzung von jedem anderen verschieden sein.

Es werden deshalb in der Ebene O^* unbestimmt viele in Lichtabstufung und Farbe verschiedene Einzelbilder desselben Objectes zugleich entworfen werden. Wie aus dem Früheren hervorgeht, sind aber die Schwingungen, welche von verschiedenen leuchtenden Punkten der Lichtquelle aus erregt werden, von einander völlig unabhängige, nicht interferenzfähige und das ganze Beugungsspectrum, welches von der Objectstructur in der Ebene P^* erzeugt wird, bildet daher eine blosse Uebereinanderlagerung der sämmtlichen Einzelspectren. Das schliessliche Bild in der Ebene O^* kann daher auch nur eine Summe (keine Resultante) aus den sämmtlichen Einzelbildern sein und die Lichtwirkung an jeder einzelnen Stelle ermittelt sich aus der Addition derjenigen Lichtstärken, welche die Einzelbilder an dieser Stelle erzeugen.

Wie die Thatsachen lehren, wird jedes Object stets in einer bestimmten Begrenzung abgebildet, sei es, dass diese durch eine entsprechende Oeffnung in der Objectebene, oder, wie es bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung ganz oder theilweise durchsichtiger Objecte in der Regel der Fall ist, durch eine (dem Ocular angehörige) Blendung in der Bildebene hervorgebracht wird. 73

Im ersten Falle, welcher der Fig. 60 zu Grunde liegt, muss gemäss der voranstehenden Betrachtungen der Rand der Oeffnung in der Objectebene ganz ebenso abgebildet werden, wie irgend ein Theil der Objectstructur, wie auch ihre Beugungswirkung als Bestandtheil in dem in der Ebene P^* auftretenden Spectrum enthalten sein muss. Nun beobachten wir in der That, dass die Lichtwirkung in der Bildebene auf diejenige Fläche beschränkt erscheint, welche der lichten Fläche der Objectebene zugeordnet ist, während doch die von den einzelnen Punkten der Ebene P^* ausgesendeten Elementarstrahlen in der ganzen Ausdehnung der Ebene O^* zusammentreffen können und somit die Interferenzwirkung des Beugungsspectrums nicht auf einen gewissen Flächentheil derselben beschränkt sein kann. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich dadurch, dass — wie die analytische Entwicklung dieser Erscheinungen lehrt — die resultirende Lichtvertheilung in der Bildebene bei jeder Gliederung einer begrenzten Objectstructur eine eigenartige Unstetigkeit zeigt, vermöge der sie bis zu einem bestimmten Abstand von der Achse (dem Halbmesser des Bildfeldes) eine gewisse Lichtabstufung, darüber hinaus aber in sprunghaftem Uebergang die Lichtstärke überall gleich Null ergiebt. Im anderen Falle treten, da zwei beugende Objecte: die Objectstructur in der Ebene O und die Blendung in der Ebene O^* , in die schliesslich sichtbare Lichtvertheilung eingreifen, allerdings verwickeltere Bedingungen ein, als im ersten; allein es lässt sich leicht darthun, dass auch hier die Lichtwirkung in dem ganzen Raume jenseits O^* genau ebenso bestimmt ist, wie

wenn eine der freien Oeffnung des Bildfeldes dioptrisch zugeordnete Blendung das Objectfeld unmittelbar begrenzte. Damit lässt sich aber der letzte Fall immer auf den ersten zurückführen, wenn man nach der gewöhnlichen Constructionsweise die Blendungsöffnung in der Bildebene durch das optische System gleichsam rückwärts entworfen und deren Bild in der Objectebene durch eine entsprechende physische Oeffnung ersetzt denkt.

74 Aus den vorausgehenden Entwicklungen lassen sich nun ohne weiteres folgende allgemeine Schlussfolgerungen über die mikroskopische Bilderzeugung ableiten:

Das mikroskopische Bild jeder Objectstructur ist durch das von dem Objectivsystem in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene entworfene Beugungsspectrum vollständig bestimmt und zwar das einem leuchtenden Punkte zugehörige Einzelbild durch das Einzelspectrum, das mittelst einer beliebig ausgedehnten und in gemischten Farben leuchtenden Lichtquelle erzeugte Gesamtbild durch das Gesamtspectrum. Ist demnach für sämtliche in der Ebene P^* gleichzeitig auftretenden Einzelspectren von Punkt zu Punkt die Lichtstärke und der bezüglichliche Schwingungszustand der Lichtbewegung bekannt, so folgt daraus das Bild bis in seine letzten Einzelheiten, ohne dass man von dem Objecte selbst oder von der Wirkungsweise des abbildenden Systemes irgend etwas weiteres zu wissen braucht.

Hieraus geht dann — wie auch in den später zu besprechenden Versuchen nachgewiesen werden wird — weiter hervor, dass gleichen Beugungsspectren innerhalb der freien Oeffnung des Systemes stets gleiche Bilder, ungleichen Beugungsspectren aber stets ungleiche Bilder entsprechen müssen und dass, wenn irgend einmal ganz verschiedene Structuren in die freie Oeffnung des Objectivsystemes fallende übereinstimmende Spectren ergeben, ihre Bilder gleich werden müssen, wenn dagegen bei vollkommen gleichen Structuren die in die freie Oeffnung des Objectivsystemes fallenden Beugungsspectren ungleich werden, die Bilder jener ebenfalls ungleich ausfallen.

Die hier erwähnte Uebereinstimmung und Verschiedenheit der Beugungsspectren bei beziehentlich ungleichen oder gleichen Objectstructuren, kann auf die mannichfachste Weise zu Stande kommen, weil es dabei nur auf die Begrenzung der ganzen Spectren durch die Objectivöffnung ankommt. Die volle Beugungswirkung verschiedener Structuren ist selbstverständlich immer verschieden; dagegen kann zwischen einzelnen Theilen der Spectra vollständige Uebereinstimmung bestehen. Kommen nun die übereinstimmenden Theile allein zur Wirkung, während die ungleichartigen Theile ausserhalb der freien Objectivöffnung verbleiben,

so ist die Uebereinstimmung der wirksam werdenden Spectren verschiedener Structuren hergestellt. Die Ungleichheit des wirksamen Spectrums von gleichen, oder von ein und demselben Objecte kann sowohl in Folge verschiedener Lage der Lichtquelle (centrale und schiefe Beleuchtung etc.), als verschiedener Grösse und Gestalt der freien Oeffnung, als auch in Folge beider dieser Umstände herbeigeführt werden.

Alle diese Bedingungen kommen bei dem Gebrauche des Mikroskopes in reichlichem Maasse zur Geltung und die hier gezogenen Folgerungen greifen unmittelbar in denselben ein. Sie stellen als allgemeine Richtschnur den Satz hin:

Es besteht kein unabänderlicher und unbedingter Zusammenhang zwischen dem sichtbaren Bilde des Objectes und seiner wirklichen Beschaffenheit. Ein solcher Zusammenhang besteht vielmehr nur zwischen dem Bilde und dem ihm zu Grunde liegenden Beugungsspectrum. Daher kann aus dem sichtbaren Bilde mit Sicherheit auf nichts anderes geschlossen werden, als auf das Vorhandensein solcher Structurverhältnisse, wie sie zur Entstehung dieses Beugungsspectrums nothwendig und zureichend sind.

In dem Vorausgehenden ist zugleich in allgemeinen Umrissen die Function der Oeffnung oder des Oeffnungswinkels bei der mikroskopischen Abbildung bestimmt, indem in diesem Elemente des Objectivsystemes derjenige Factor erkannt wird, welcher das Beugungsspectrum der Objectstructur in dem für die Bilderzeugung wirksamen Theile nach Ausdehnung und Begrenzung regelt.

Erscheint das Spectrum, welches eine Objectstructur erzeugt, so- 75
weit es in die freie Oeffnung fällt auf eine einzige helle Stelle ohne merkliche Ausdehnung beschränkt, so kann kein Bild entstehen, und die Lichtwirkung innerhalb der Bildebene ergiebt nur eine gleichförmige Beleuchtung der ganzen Fläche, indem jeder Punkt derselben nur von einem Elementarstrahl getroffen wird und demgemäss die Interferenz aufhört, welche eine von Punkt zu Punkt verschiedene Lichtstärke hervorrufen könnte (siehe Fig. 59 die stark ausgezogenen Strahlen unter Absehen von den übrigen). Ist eine ausgedehnte Lichtquelle wirksam und es entsprechen die Einzelspectren aller einzelnen Lichtpunkte der obigen Voraussetzung, dann kann bei jeder beliebigen Objectstructur ebenfalls nur eine gleichförmige Beleuchtung der Bildebene entstehen, indem jetzt zwar von den einzelnen Punkten der der Lichtquelle zugeordneten Ebene aus zahlreiche Elementarstrahlen zu je einem Punkte der Bildebene gelangen, diese aber, da ihre Schwingungen von incohärenten Erschütterungsmittelpunkten aus erregt werden, nicht interferenzfähig sind und ihr Zusammentreffen nur eine Addition der Helligkeitsgrade ergiebt, welche sie einzeln erzeugen würden.

Diese Erscheinung tritt, wie sich aus den betrachteten Beugungserscheinungen ableiten lässt, bei periodisch gegliederten Objecten wirk-

lich ein, wenn dieselben so bedeutende Ablenkungen herbeiführen, dass nur der ungebeugte Lichtbüschel, aber keines der Fraunhofer'schen Maxima der zweiten Ordnung in das Objectivsystem eintreten kann. Unter dieser Voraussetzung entsteht nämlich nur ein scharfes Bild der Lichtquelle, wie es von dem Objectivsysteme entworfen werden würde, wenn in der Objectschicht gar keine Beugung, also eine unmittelbare Abbildung ohne jede Begrenzung stattfände. Dieses unmittelbare und beugungsfreie Bild, welches in der Art seiner Entstehung zugleich darthut, dass bei dem Mikroskop eine von der Begrenzung der abbildenden Strahlenbüschel abhängige Oeffnungsbeugung nicht stattfindet, kann, wie wir bei der Theorie der Beleuchtung gesehen haben, je nach Ausdehnung der leuchtenden Fläche entweder nur einen Theil der freien Oeffnung einnehmen und von einem dunklen Raum umgeben sein, oder es kann die letztere ganz ausfüllen. In jedem Falle wird aber unter den gemachten Voraussetzungen kein Bild entstehen, sondern nur eine gleichmässig beleuchtete Bildfläche. Dasselbe findet statt, wenn nur ein abgebeugter Büschel, ohne gleichzeitigen Zutritt des directen (ungebeugten) Büschels von der freien Oeffnung des Objectivsystemes aufgenommen wird, wie es geschieht, wenn z. B. ein gestreiftes Object, dessen Streifenabstand für ein bestimmtes Objectiv an der Grenze der Sichtbarkeit liegt, durch dieses Objectiv beobachtet wird, während die Neigung des einfallenden Lichtkegels gegen die Achse des Mikroskopes grösser, als der halbe Oeffnungswinkel ist. Das freie Sehfeld bleibt alsdann vollkommen dunkel; die Structur enthaltenden Theile aber werden auf dunklem Grunde sichtbar vermöge der abgebeugten Strahlen, welche in die Oeffnung eintreten. Unter obiger Voraussetzung jedoch wird die Structur nicht selbst abgebildet; man sieht vielmehr wiederum nur eine gleichförmig beleuchtete Bildfläche in den Umrissen der betreffenden Objecte.

Damit in dieser Bildfläche irgend ein Anzeichen der vorhandenen Objectstructur erscheinen könne, müssen — sofern diese isolirte Beugungsbüschel liefert — **mindestens zwei** von diesen in die freie Oeffnung des Objectivsystemes eintreten können, sei es auch von nur **einem** Punkte der lichtgebenden Fläche.

Dieser Satz gewährt in Verbindung mit den auf Seite 122 u. f. entwickelten Formeln das Mittel, um die kleinste lineare Entfernung zwischen den sich regelmässig wiederholenden Elementen einer periodisch gegliederten Structur festzustellen, welche bei bestimmter Einfallrichtung der beleuchtenden Strahlen durch einen bestimmten Oeffnungswinkel noch abgebildet werden können und es ergibt sich darin die Grundlage für die später zu behandelnde Ermittlung der Grenze des Unterscheidungsvermögens der Objectivsysteme.

76 Zur endlichen Feststellung des Verhältnisses zwischen dem mikroskopischen Bilde einer Objectstructur, wie dasselbe durch die betrachte-

ten Vorgänge der Beugung und der Interferenz entsteht, einerseits, und der wirklichen Beschaffenheit jener Objectstructur andererseits, und im Besondern zur Ermittlung des Grades der Uebereinstimmung zwischen der Gestaltung von Bild und Object führen uns folgende Betrachtungen.

Wie aus den voranstehenden Entwicklungen hervorgeht, hängt die in Frage kommende Interferenzwirkung ihrer Lichtvertheilung nach einzig von Gestaltung und Begrenzung des wirksamen Theiles der Beugungsfigur ab, von denen die erstere an die Gliederung und Maassverhältnisse der beugenden Objectstructur geknüpft ist, die letztere durch den Oeffnungswinkel des optischen Systemes bemessen werden kann. Nach der auf S. 111 angeführten Gleichung $pq = f \cdot \sin u$ wird nämlich die Lage eines jeden Punktes p^* der Elementarspectren wie des Gesamtspectrums bestimmt durch den Ablenkungswinkel des diesen Punkt erzeugenden, abgebeugten Strahlenbüschels — d. h. durch den Beugungswinkel — und durch die Brennweite des abbildenden Systemes, und es ist für einen am Rande der Austrittspupille gelegenen Punkt der Beugungswinkel stets dem halben Oeffnungswinkel gleich. Damit ist aber die Begrenzung des wirksamen Theiles der Beugungsfigur, d. h. des Beugungsspectrums einer beliebigen Objectstructur, durch den Oeffnungswinkel vollständig in der Art bestimmt, dass dieselbe durch diejenigen Punkte des Beugungsspectrums gegeben ist, für welche der Beugungswinkel dem halben Oeffnungswinkel gleich wird.

Aus den Betrachtungen über die Fraunhofer'schen Beugungserscheinungen ist ferner ersichtlich, dass für ein dicht hinter der Objectstructur befindliches Auge (oder Fernrohr) diese ein in deutlicher Sehweite (beziehentlich in unendlicher Entfernung) gelegenes virtuelles, der Beobachtung thatsächlich zugängliches Beugungsspectrum erzeugt und es ist bereits mehrfach darauf hingewiesen worden, wie das reelle Beugungsspectrum als ein von dem Objectivsystem entworfenes dioptrisches Bild dieses virtuellen Spectrums betrachtet werden kann und umgekehrt. Da endlich die Austrittspupille des Objectivsystemes nach dioptrischen Regeln rückwärts in die mit der Fläche der Lichtquelle zusammenfallende Fläche des virtuellen Beugungsspectrums projicirt werden kann, so ergibt sich nach dieser Operation der wirksame Theil des letzteren als in gleicher Weise (durch den halben Oeffnungswinkel) bestimmt, wie derjenige der reellen Beugungsfigur.

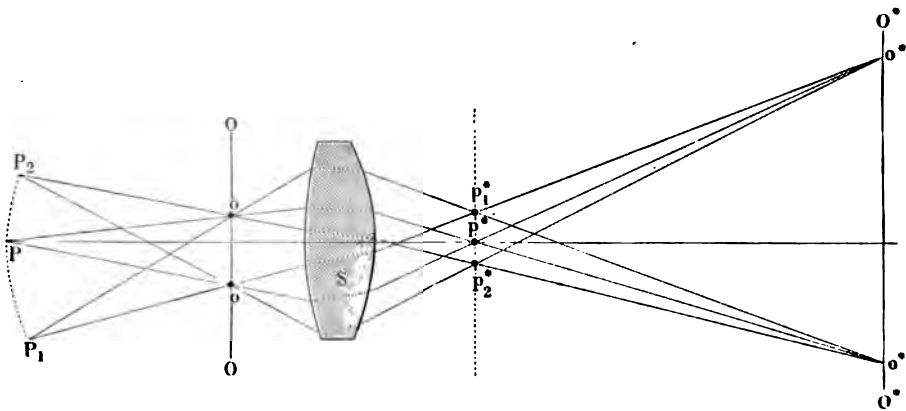
Es erscheint nun jeder Punkt des reellen Beugungsspectrums nach Lichtstärke und Schwingungszustand als bestimmt durch den dioptrisch zugeordneten (conjugirten) Punkt des virtuellen Spectrums, und die Begrenzung des ersteren als bestimmt durch die Begrenzung des letzteren. Daraus folgt aber, dass alle Lichtwirkungen, welche in dem Vorausgehenden — im Allgemeinen, sowie in besonderer Durchführung für einige einfachere Structuren — aus dem reellen Beugungsspectrum einer Structur abgeleitet wurden, ebensogut auch aus dem virtuellen Spec-

trum abgeleitet werden können. Man hat zu diesem Zwecke das letztere in der durch den Oeffnungskegel des Objectivsystemes begrenzten Ausdehnung als eine leuchtende Fläche zu betrachten, welcher Punkt für Punkt die der Lichtvertheilung im Spectrum entsprechende Schwingungsweite und Phase zukommt, die von allen Punkten dieser Fläche ausgehenden Elementarstrahlen auf kürzesten Lichtwegen durch das optische System hindurch bis zur Bildebene zu verfolgen und für jeden Punkt der letzteren die Resultante aus allen, von den verschiedenen Punkten des virtuellen Spectrums hier zusammentreffenden Strahlen aufzusuchen. Dabei kann von der vorausgesetzten Objectstructur, wie von der Oeffnung des Systemes völlig abgesehen werden, weil alles, was von der ersteren abhängt, in der Lichtvertheilung, und alles, was von der letzteren bedingt wird, in der Begrenzung des virtuellen Spectrums schon vollständig zum Ausdruck gebracht ist.

Diese letztere Betrachtung führt nun auf Grund der nachfolgenden Erwägung zu einer besonders einfachen Bestimmung der secundären Abbildung.

Sind o^* , Fig. 64, beliebige Punkte in der dem Objecte zugeordneten Ebene O^* und stellt man sämtliche kürzesten Lichtwege dar,

Fig. 64.



welche von dem wirksamen Theile des virtuellen Spectrums aus zu diesen Punkten hinführen — in unserem Falle also die von den Punkten einer durch P gehenden Fläche aus nach den gewöhnlichen dioptrischen Regeln durch das System hindurchgezogenen Strahlen —, so müssen nach den im ersten Abschnitt entwickelten dioptrischen Gesetzen alle in den Punkten o^* der Bildebene sich vereinigenden Strahlen auch in den zugeordneten Punkten o der Objectebene zusammentreffen. Es müssen also alle die Punkte o^* erreichenden Elementarstrahlen sich vor ihrem Eintritt in das System in den Punkten o der rein geometrisch und unter Absehen von ihrem wirklichen Inhalt betrachteten Objectebene durch-

kreuzt haben, d. h. sie müssen die unmittelbare Fortsetzung von denjenigen Elementarstrahlen sein, die von den sämtlichen Punkten PP_1P_2 des virtuellen Spectrums geradlinig nach einem dieser Punkte O der Objectebene hinzielen. Die kürzesten Lichtwege, welche von sämtlichen von dem rückwärts erweiterten Oeffnungskegel des Systemes umfassten Punkten des virtuellen Spectrums nach den Punkten o^* hinführen, bilden nun die gebrochenen Linien:

$$P \dots o \dots p^* \dots o^*, P_1 \dots o \dots p_1^* \dots o^*, P_2 \dots o \dots p_2^* \dots o^*$$

und jeder derselben besteht aus dem geradlinigen Stück PO, P_1O, P_2O und dem gebrochenen Stück

$$o \dots p \dots o^*, o \dots p_1^* \dots o^*, o \dots p_2^* \dots o^*.$$

Letztere aber haben sämtlich gleiche optische Länge, weil sie die kürzesten Lichtwege zwischen zwei einander zugeordneten Punkten homofocaler Strahlenbüschel sind und es besitzen somit irgend zwei Wege ($P \dots o, P_1 \dots o$) von verschiedenen Punkten des virtuellen Spectrums zu je einem Punkte o der Objectebene O dieselben Unterschiede der optischen Länge, wie die Wege ($Pop^*o^*, P_1op_1^*o^*$) von denselben Punkten zu je einem Punkte o^* der Bildebene O^* . Da nun die Resultante aus beliebig vielen Elementarstrahlen, welche von denselben Erschütterungsmittelpunkten aus verschieden gelegene Punkte des Raumes erreichen, in Folge der gleichen ursprünglichen Schwingungszustände nur von den Unterschieden der optischen Wege jener Elementarstrahlen abhängt, so muss dieselbe, d. h. die aus dem Zusammentreffen der Elementarstrahlen entspringende Schwingungsweite für alle Punkte o^* der Bildebene die gleiche sein, wie die Schwingungsweite für die ihnen entsprechenden Punkte o der Objectebene — in dem Sinne, dass das Verhältniss der Schwingungsweiten an zwei Punkten der Ebene O^* gleich ist dem Verhältniss der Schwingungsweite an den zugeordneten Punkten der Ebene O .

Die absolute Schwingungsweite, d. h. die schliessliche Lichtstärke an entsprechenden Stellen beider Ebenen kann indessen nicht die gleiche sein, sie muss vielmehr im umgekehrten Verhältnisse stehen zu den Flächenräumen; über welche sich die von dem virtuellen Spectrum aus erregte Bewegung ausbreitet, muss also umgekehrt proportional sein dem Quadrate der Vergrösserung des Objectivsystemes im Uebergange von der Objectebene zur Bildebene.

Aus Obigem folgt: Die Lichtvertheilung, welche die Interferenz des reellen Beugungsspectrums in der Bildebene (O^*) hervorbringt, d. h. das Bild des Objectes ist in jeder Beziehung ein einfaches dioptrisches Bild derjenigen Lichtvertheilung, welche die Interferenz aus dem wirksamen Theile des virtuellen Spectrums der Objectstructur in der Ebene des Objectes (O) erzeugen würde.

Durch diese Bestimmungsweise des Abbildungsvorganges aus dem (physisch verwirklicht gedachten) virtuellen Beugungsspectrum, bei der die an dieses letztere geknüpfte, durch Interferenzwirkung hervorgerufene Lichtvertheilung in der Objectebene an die Stelle des wirklichen Objectes tritt, wird der Zusammenhang zwischen Object und Bild auf einen einfachen und scharf umschriebenen Begriff gebracht, und es gewinnen jetzt alle auf denselben bezüglichen Fragen einen bestimmten Sinn. Inwieweit das von dem Mikroskop von einem gegebenen Object entworfene Bild diesem ähnlich ist, wird allein dadurch bedingt sein, dass der wirksame Theil des virtuellen Spectrums durch seine Interferenzwirkung eine Lichtvertheilung in der Objectfläche hervorbringt, welche der Lichtvertheilung im Objecte selbst völlig, oder mehr oder minder ähnlich erscheint. Wird diese letztere durch jene Interferenzwirkung genau wiedergegeben, so werden Bild und Object in Form und innerer Gliederung übereinstimmen, während alle Umgestaltungen der Interferenzwirkung, welche eine verschiedenartige innere Gliederung und Begrenzung des wirksamen Spectrums hervorruft, ebenso viele Umgestaltungen des Bildes im Gefolge haben müssen, deren Gesetzmässigkeit zu erforschen auf die Untersuchung des Verhältnisses zurückgeführt ist, welches zwischen einem in gewisser Art begrenzten Beugungsspectrum und seiner Interferenzwirkung auf die Ebene besteht, in welcher das beugende Object sich befindet. Dass in den voranstehenden Entwicklungen die Aehnlichkeit der Interferenzwirkung in der Bild- und Objectebene nur in Bezug auf die Abstufung der Lichtstärke und nicht auch zugleich in Bezug auf die Abstufung des Schwingungszustandes (Phase) in Betracht gezogen ist, beruht darauf, dass erstere, weil eben nur sie allein das sichtbare Merkmal eines optischen Bildes ausmacht, für unsere Zwecke vollständig ausreichend erscheint.

- 77 Die eben abgeleitete Regel der Bestimmung schliesst auch diejenigen Bilder mit ein, welche das optische System in einer der Bildebene nahe gelegenen Ebene entwirft, also diejenigen Erscheinungen, welche z. B. ungenaue Einstellung hervorruft. Wird neben der O zugeordneten Ebene O^* noch eine zu ihr parallele, um einen kleinen Abstand δ^* von ihr entfernte Ebene Q^* betrachtet, so ist dieselbe genau zugeordnet einer Ebene Q , welche von O um δ entfernt erscheint und es sind die beiden Abstände durch die Seite 20 entwickelte Gleichung

$$\frac{\delta^*}{\delta} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$$

mit einander verknüpft, wo N die lineare Vergrösserung im Uebergange von O zu O^* vorstellt. Ist nun das abbildende System für die Ebene O und O^* aplanatisch, so bewahrt es die Eigenschaft auch noch bis auf nicht in Betracht kommende Abweichungen für die Ebenen Q und Q^* . Es kann daher in Bezug auf diese die obige Betrachtung wiederholt werden und es ergibt dieselbe, falls die Objectschicht so dünn

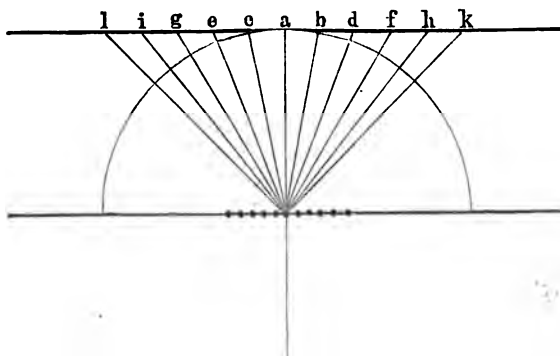
vorausgesetzt wird, dass ihre hinter einander liegenden Querschnitte nicht merklich verschiedenen Bildebenen entsprechen, das undeutliche Bild des Objectes als das scharfe Bild derjenigen Lichtvertheilung, welche in einer der wirklichen Objectebene nahe liegenden Ebene aus der Interferenzwirkung des nämlichen Beugungsspectrums hervorgeht.

Die wirkliche Bestimmung des mikroskopischen Bildes auf Grund der zuletzt entwickelten Sätze ist nun die Sache der mathematischen Analyse. Um das Bild zu finden, welches eine gegebene Objectstructur bei gegebener Begrenzung des wirksamen Beugungsspectrums hervorbringen wird, hat man zunächst den mathematischen Ausdruck für die Lichtvertheilung (einschliesslich der Abstufung der Schwingungsphase) in der Fläche des virtuellen Spectrums zu bilden und auf Grund desselben weiter den Ausdruck zu suchen, für die Lichtstärke, welche die Interferenz aller von dort ausgehenden Strahlen in jedem Punkte der Objectebene erzeugt. Die so bestimmte Lichtvertheilung ist — abgesehen von der rein dioptrischen Vergrösserung — das mikroskopische Bild der gegebenen Objectstructur bei der vorausgesetzten Begrenzung des Lichteintrittes und die Vergleichung dieser Lichtvertheilung mit derjenigen des vorausgesetzten Objectes ergibt alsdann das Verhältniss der Aehnlichkeit, welches unter den angenommenen Umständen zwischen Bild und Object besteht.

Die zur Lösung dieser Aufgabe führenden mathematischen Entwicklungen, welche die gesuchte Lichtwirkung durch ein bestimmtes Integral in Gestalt der Fourier'schen Integrale darstellen, können hier nicht verfolgt, es kann vielmehr nur das allgemeine Resultat derselben angeführt und erläutert werden.

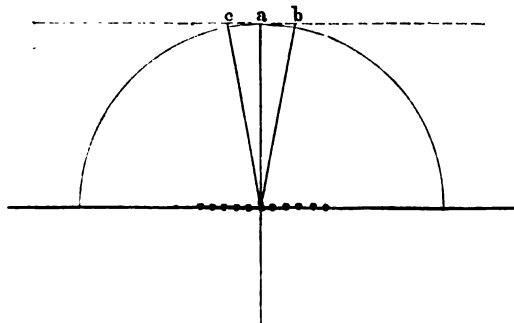
Betrachtet man — um zunächst Beispiele zu geben — eine Structur, welche ein bekanntes Beugungsspectrum liefert, z. B. ein einfaches Gitter, und nimmt an, dass die Oeffnung des Objectivsystemes nur einem Theil der gebeugten Strahlen Zutritt gestattet, etwa nur den beiden abgebeugten Büscheln *b* und *c*, Fig. 65, welche zunächst um den direc-

Fig. 65.



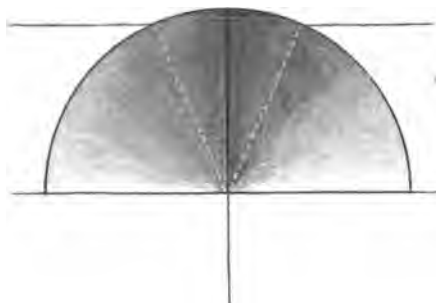
ten Lichtbüschel *a* herumliegen, während die übrigen abgeblendet erscheinen, so ergibt sich Folgendes. Für das Mikroskop sind jetzt die Umstände ganz so, als ob ein Object eingestellt wäre, welches aus dem einfallenden Lichtkegel überhaupt nur jene drei Beugungsbüschel *a*, *b*, *c* erzeugte, dessen ganzes Beugungsspectrum also statt durch Fig. 65 durch Fig. 66 dargestellt würde. Es lässt sich nun zeigen, dass ein

Fig. 66.



solches Object, dessen ganzes Beugungsspectrum auf diese wenigen Büschel beschränkt ist, so dass ausserhalb der Richtungen *b* und *c* überhaupt kein Licht mehr auftritt, wirklich möglich ist, d. h. dass immer eine physische Structur von solcher Beschaffenheit angegeben werden kann, dass ihre Beugungswirkung diese besondere Form annehmen muss. Das Resultat der erwähnten mathematischen Analyse, d. h. das oben erwähnte bestimmte Integral besagt nun: Das mikroskopische Bild, welches unter den obigen Umständen gesehen wird, ist die — vergrössert gesehene — Lichtvertheilung dieser (dem Beugungsspectrum *a*, *b*, *c* entsprechenden) Structur, also nicht das Abbild des wirklich einge-

Fig. 67.



stellten Objectes, sondern dasjenige des anderen Objectes, dessen vollständiges Beugungsspectrum aus jenen drei Lichtbüscheln bestehen würde.

Aehnlich würde sich der Sachverhalt herausstellen, wenn eine Structur gewählt worden wäre, welche nicht ein Spectrum mit deutlich getrennten Maxima, sondern ein solches mit stetiger Lichtausbreitung erzeugt. Nehmen wir z. B. einen isolirten engen Spalt in dunklem Schirm, dessen vollständiges Beugungsspectrum mit stetiger Lichtausbreitung bis zur Lichtstärke Null die Fig. 67 wiedergiebt, und unterstellen, dass die Oeffnung des Objectivsystemes nur einen in der Figur durch Abblendung angedeuteten Theil dieses Spectrums Zutritt gestatte, so wird obige auf eine stetige Lichtausbreitung mit plötzlich auf Null abfallender Lichtstärke, Fig. 68, zurückgeführt. Das mikroskopische

Fig. 68.

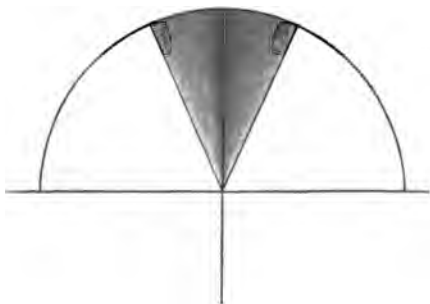


Bild erscheint unter diesen Verhältnissen als das Abbild einer Oeffnung, welche solche Beschaffenheit hat, dass ihre vollständige Beugungswirkung gerade die in der letzteren Figur wiedergegebene Beugungswirkung hervorbringt.

Wie in diesen Beispielen, so ergibt sich nun allgemein:

Bei irgend welcher Begrenzung des Lichteintritts in Bezug auf das gebeugte Licht, sei es durch die natürliche Oeffnung des Objectivsystemes, sei es durch irgend welche künstlich angebrachte Blendungsöffnungen, zeigt das Mikroskop stets das genaue (vergrösserte) Abbild desjenigen Objectes, welches den zum Objectivsystem zugelassenen Theil des wirklich erzeugten Beugungsspectrums der beobachteten Structur als vollständiges Beugungsspectrum liefern würde.

Diese Feststellung schliesst, wie bereits bemerkt, den Satz ein, dass es zu jedem irgendwie gegliederten und begrenzten Beugungsspectrum immer eine wirkliche Objectstructur gebe, welche im Stande ist, dasselbe als ihr vollständiges Beugungsspectrum nach den physischen Gesetzen der Beugung hervorzubringen. Dem scheint zwar die Erfahrung insofern zu widersprechen, als man mit den gewöhnlichen Objecten, mit welchen man die Beugungserscheinungen durch den Versuch darstellt und studirt, niemals ein Beugungsspectrum beobachtet, welches z. B. nur aus

drei solchen Lichtbüscheln (ohne weiter abgebeugte Lichtbüschel von geringerer Lichtstärke) bestände, wie es Fig. 66 darstellt, oder welcher wie in Fig. 68 eine stetige Lichtausbreitung mit plötzlich auf Null abfallender Lichtstärke zeigte. Aber es ist hierbei zu bedenken, dass die Versuche des Physikers mit Präparaten gemacht werden, welche ausschliesslich die eine unter den möglichen Ursachen der Beugungswirkung, nämlich die Unterbrechung der Lichtbewegung durch vollkommen undurchsichtige Theile, d. h. die Abblendung, zur Geltung bringen. Dieses ist aber nur eine sehr specielle Form der Beugungserscheinung, während der vollständige Begriff von Beugung, wie er — nach dem schon früher Erwähnten — für die Theorie des Mikroskopes festgehalten werden muss, sich auf viel allgemeinere Voraussetzungen bezieht, nämlich noch weiter einmal die Abblendung mit stetiger Veränderung der Lichtstärke — abgestufte Durchsichtigkeit — ferner die veränderliche Verzögerung der Lichtbewegung durch nebeneinanderliegende Theile von ungleichem Brechungsvermögen — gleichfalls in stetiger Abstufung — umfasst. Sofern nun der Begriff der „beugenden Structur“ in diesem allgemeinen Sinne genommen wird, zeigt sich in der That, dass es keine Art der Lichtvertheilung oder der Lichtabstufung in einem Spectrum giebt, welche nicht durch die Beugungswirkung irgend einer physisch möglichen Structur hervorgebracht werden könnte.

80 Aus dem eben hingestellten allgemeinen Theorem ergeben sich nun folgende wichtige Sätze:

1. Da es nicht zwei verschiedene Objectstructuren geben kann, welche ein- und dasselbe vollständige Beugungsspectrum liefern, so ist das mikroskopische Bild dem Objecte immer vollkommen ähnlich, d. h. es ist ein genaues, vergrössertes Abbild desselben, wenn das vollständige Beugungsspectrum in der Austrittspupille des Objectivsystemes auftritt, wenn also kein abgebeugtes Licht von merklicher Lichtstärke verloren geht.

2. Das Bild ist dem Objecte selbst nur dann vollkommen ähnlich, wenn die letztere Voraussetzung erfüllt ist, indem im andern Fall das Mikroskop das Abbild einer Structur zeigt, deren vollständiges Beugungsspectrum verschieden ist von dem vollständigen Spectrum des der Beobachtung unterliegenden Objectes.

So ergeben z. B. bei beliebiger Structur des Objectes und bei beliebiger Gruppierung der Einzelspectra des vollständigen Beugungsspectrums nur zwei Spectra — entweder das directe Bild der Lichtquelle und ein Seitenspectrum oder auch zwei Seitenspectren — stets ein einfaches Streifensystem, drei oder vier etc. im Drei- oder Viereck geordnete Spectra zwei, drei . . . auf der Verbindungslinie der letzteren senkrecht stehende, sich schneidende Streifensysteme als mikroskopisches Bild.

3. Ein je grösserer Theil von dem Beugungsspectrum einer zu beobachtenden Objectstructur dem Mikroskop verloren geht, desto unähnlicher wird das sichtbare Bild dem wirklichen Objecte werden. Denn je mehr verloren geht, desto weiter entfernt sich dasjenige Spectrum, welches der Beugungswirkung der sichtbaren Structur entspricht, von dem der wirklichen Structur angehörigen Spectrum — und je verschiedener zwei Beugungsspectren sind, desto verschiedener müssen die Structuren sein, welche dieselben hervorbringen.

Der Grad der Aehnlichkeit oder Unähnlichkeit zwischen den unvollständigen, d. h. durch unvollständige Beugungsspectren vermittelten Bildern und den Objecten, von welchen sie herrühren, lässt sich nicht allgemein näher bezeichnen; man muss sich vielmehr darauf beschränken, das Verhalten in einer Anzahl besonderer Fälle darzulegen, wie es zum Theile in den nachfolgenden Versuchen, zum Theile in dem vierten Buche geschehen soll.

Die oben unter 1 bis 3 gezogenen Schlussfolgerungen lehren, dass 81
irgend eine bestimmte numerische Apertur (oder ein bestimmter Oeffnungswinkel) eines Objectivsystemes nur bis zu einer gewissen Grenze der Kleinheit der Objecte herab eine vollständige, d. h. dem Objecte ähnliche Abbildung gestattet, sowie dass auch für die grössten bei dem Mikroskope noch herstellbaren Werthe der numerischen Apertur bei einer gewissen Grenze der Kleinheit die Möglichkeit vollständiger, dem Objecte genau ähnlicher Abbildung aufhören muss. Denn wie aus Früherem hervorgeht, wird — ein und dasselbe Medium und ein und dieselbe Lichtart vorausgesetzt — die Winkelausbreitung des gebeugten Lichtes immer grösser, je kleiner bei sonst gleicher Beschaffenheit die linearen Ausmaasse der Structurelemente werden. Bei Elementen, deren Ausmaasse beträchtliche Vielfache der in dem betreffenden Mittel wirksamen Wellenlänge ausmachen, ist das gesammte gebeugte Licht bis zu der Grenze verschwindender Lichtstärke in einem kleinen oder mässigen Winkelraum um die Richtung des einfallenden Lichtkegels herum enthalten, kann also von einem Objectivsysteme mit kleiner oder mässiger numerischer Apertur aufgenommen werden und das Bild ist in diesem Falle in Hinsicht auf die Lichtvertheilung in der Objectstructur ein getreues Abbild dieser letztern. Denkt man sich aber ein ganz ähnliches Object mit viel kleineren Ausmessungen, so vergrössern sich die Sinus der Ablenkungswinkel der entsprechenden Beugungsbüschel — wie es für den Fall einer einfachen Streifung in den auf S. 122 u. f. aufgestellten Formeln zum Ausdruck kommt — genau in dem umgekehrten Verhältnisse der Ausmessungen. Sinken letztere auf sehr kleine Vielfache oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herab, so reicht in einem weniger dichten Medium, z. B. Luft, Wasser u. dgl. der ganze Winkelraum von 180° nicht mehr aus, um das vollständige Beugungsspectrum der Structur zur Entwicklung zu bringen und es muss sodann auch die möglichst grösste

Oeffnung unzureichend werden, das ganze der Structur eigenthümliche Beugungsspectrum aufzunehmen. Das Bild wird in diesem Falle bei jedem Objectivsysteme unvollständig bleiben und nur diejenigen Merkmale der Structur zum Ausdruck bringen, welche mit dem mittleren Theile des Beugungsspectrums verknüpft sind.

Wird eine beliebige Objectstructur aus gröberen, in ihren Ausmaassen grosse Vielfache der Wellenlänge erreichenden, und feineren, in ihren Ausmaassen nur geringen Vielfachen oder Bruchtheilen der Wellenlänge gleichkommenden Elementen gebildet, so erzeugen die ersteren einen Beugungskegel, welcher — soweit abgebeugtes Licht von merklicher Lichtstärke in Betracht kommt — schon von Objectivsystemen mit kleiner oder mässiger numerischer Apertur aufgenommen werden kann, während von dem durch die letzteren erzeugten Beugungskegel selbst bei Objectivsystemen mit grösserer numerischer Apertur ausser dem directen Lichtbüschel entweder gar keine abgebeugten Lichtbüschel, oder nur die zunächst um jenes herumgelegenen — also der mittlere Theil der Beugungsfigur — Zutritt in die Oeffnung erlangen. Unter diesen Umständen liefert das Mikroskop nur von den gröberen Theilen des Objectes ein getreues vergrössertes Abbild, während in dem einen Falle von den feineren Structureinzelheiten in dem Bilde nichts enthalten ist, im anderen darin aber nur die Anzeichen einer dem unvollständigen Beugungsspectrum entsprechenden Structur erscheinen.

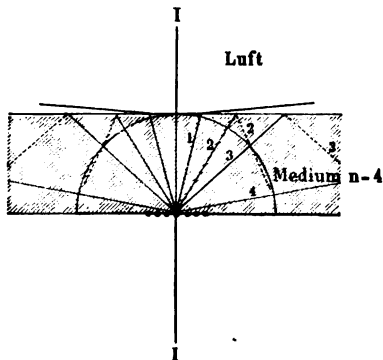
- 82 Wenn in den voranstehenden Entwicklungen mehrfach von dem mittleren Theile des vollständigen Beugungskegels oder Beugungsspectrums einer Objectstructur von sehr kleinen, nur wenige Vielfache oder Bruchtheile der Wellenlänge betragenden linearen Ausmessungen die Rede war, welcher unter Umständen schon den vollen Winkelraum von 180° oder die ganze Austrittspupille eines Objectivsystemes mit der Einheit gleichkommender numerischer Apertur in Anspruch zu nehmen im Stande war, während der vollständige Beugungskegel oder das vollständige Beugungsspectrum weit darüber hinausgegangen, so kann die Frage aufgeworfen werden, ob eine derartige Beugungswirkung denn überhaupt in dem Bereiche der Möglichkeit liege und ob die für schwächer brechende Medien in Frage kommende, als unvollständig bezeichnete Beugungsfigur nicht schon die volle zu erwartende Beugungswirkung jener Structuren umfasse. Diese Frage lässt sich nun befriedigend be-

antworten im Hinblick darauf, dass gemäss der Gleichung $\sin u = \frac{\lambda}{e} \dots$

die Sinus der Ablenkungswinkel aller aus dem einfallenden Lichtkegel abgebeugten Lichtbüschel in gradem Verhältnisse zu der Wellenlänge stehen, die letztere aber sich nach dem Gesetze der Lichtbewegung in dem Maasse verkürzt, als die Brechungsindices der Mittel, durch welche die Lichtstrahlen ihren Weg nehmen, grösser werden. Betrachten wir z. B. der Einfachheit halber eine regelmässige Objectstructur, etwa wieder ein einfaches Gitter, welches vermöge seiner linearen Ausmaasse einen

Beugungskegel liefert, in welchem der Ablenkungswinkel des ersten abgelenkten Lichtbüschels für eine bestimmte Farbe (etwa Grün zwischen den Fraunhofer'schen Linien E und b) in Luft schon 85° beträgt, welche also in den Grenzen des ganzen Winkelraumes von 180° keinen weiteren Beugungsbüschel liefern kann, so würde dieselbe Structur für die gleiche Farbe in einem Mittel $n = 4$ einen Beugungskegel erzeugen, für dessen ersten abgelenkten Lichtbüschel der Ablenkungswinkel etwas über 14° beträgt, von dem also neben dem directen Lichtbüschel noch jederseits vier Beugungsbüschel in dem Winkelraum von 180° Raum finden werden. Denken wir uns nun umgekehrt diesen in dem Mittel

Fig. 69.



$n = 4$ erzeugten Beugungskegel aus diesem Mittel mittelst einer der beugenden Structur parallelen Ebene nach den Gesetzen der Brechung in Luft übertragen (Fig. 69), so wird dessen erster Beugungsbüschel in dieser um den obigen Betrag von 85° von der Richtung des directen Lichtbüschels abgelenkt werden, während alle übrigen für sie durch Totalreflexion (für welche der Winkel unter den vorausgesetzten Umständen etwa 14° beträgt) verloren gehen. Die in

dem Mittel $n = 4$ hervorgerufene Beugungswirkung erscheint somit für Luft $n = 1$ auf nur drei Lichtmaxima zurückgeführt, welche dem directen Lichtbüschel und je einem der ihm jederseits zunächst liegenden Beugungsbüschel angehören. Was hier für einen besonderen Fall erwiesen wurde, gilt aber ganz allgemein. Es kann also das in Luft oder irgend einem anderen schwach brechenden Mittel auftretende unvollständige Beugungsspectrum einer feinen Structur immer angesehen werden als der nach den Gesetzen der Lichtbrechung in Luft übertragbare mittlere Theil des von der entsprechenden Structur in einem Mittel von sehr hohem Brechungsindex erzeugten vollständigen Beugungsspectrums.

Die hier entwickelte Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung 83 ist ganz allgemein und für jede Art von Structuren giltig, umfasst also das ganze Gebiet der der mikroskopischen Beobachtung unterworfenen Objecte. Diese werden uns — mögen sie nun eine zusammengesetztere regelmässige oder unregelmässige Structur besitzen, oder aus einzelnen Elementen bestehen — stets nur insoweit ein objectähnliches (vollständiges) Bild liefern, als dabei lineare Ausmaasse (der Durchmesser, wie der Entfernungen der Structurelemente) von grösseren Vielfachen der Wellenlänge in Betracht kommen. Sobald dagegen diese Ausmaasse

auf kleine Vielfache, oder gar auf Bruchtheile der Wellenlänge herabsinken, können nicht mehr objectgleiche, sondern nur typische (unvollständige) an die Gliederung und Ausdehnung des wirklichen Theiles eines bestimmten Beugungsspectrums geknüpfte Bilder entstehen.

Viertes Capitel.

Die Theorie der secundären Abbildung an der Hand des Versuches.

84 . An die in den vorausgehenden Capiteln festgestellte Theorie der mikroskopischen Abbildung wollen wir nun noch die Betrachtung einer Reihe von Versuchen anknüpfen, welche die erstere mit den wirklichen Thatsachen in unbestreitbare Verbindung zu bringen und damit deren experimentelle Bestätigung zu gewähren im Stande sind.

Als Versuchsobjecte können hierzu selbstverständlich nur solche künstliche und natürliche Objecte benutzt werden, welche unter Verwendung eines verhältnissmässig engen Beleuchtungskegels vermöge ihrer regelmässigen Structurverhältnisse ein Beugungsspectrum liefern, in dem die einzelnen abgebeugten Lichtbüschel scharf und deutlich zur Erscheinung kommen, also eine bestimmte wahrnehmbare Trennung der Maxima und Minima der Lichtstärke ausgesprochen erscheint. Derartige Objecte bilden einestheils künstlich erzeugte Streifensysteme aus gleichlaufenden oder unter verschiedenen Winkeln sich kreuzenden Linien, wie sie in der Abbe'schen Diffractionsplatte vorliegen, anderentheils die Zeichnung der Diatomenschalen, welche die verschiedensten wünschbaren Structurdetails zur Verfügung stellen.

Wollte man einzelne, zerstreute kleine Körperchen, oder unregelmässige Structurverhältnisse zu diesem Zwecke verwenden, so würden diese zwar vermöge der oben hervorgehobenen Allgemeinheit der Beugungswirkung bei Körpern mit optisch verschiedenen Elementen ebenfalls ein Beugungsspectrum liefern. Es liessen sich jedoch in demselben, da die Lichtvertheilung in Folge der selbst in dem kleinsten Raume stets wechselnden Verschiedenheit der beugenden Structureinheiten nicht eine regelmässig wechselnde, sondern eine verwickeltere und unregelmässige sein müsste, die abgebeugten Lichtbüschel selbst bei verwickelter Versuchsanordnung nicht einzeln darstellen und beobachten. Es würde also die Beugungswirkung nicht in der Reinheit zur Erscheinung zu bringen sein, wie sie der Versuch erfordert, dessen wissenschaftliche Bedeutung gerade darin besteht, dass die zu erklären-

den Erscheinungen unter möglichst einfachen Umständen hervorgerufen werden, welche es gestatten, ihre wesentlichen Bedingungen scharf und bestimmt zu beobachten und darzulegen.

Aus diesem Grunde ist denn auch für die grundlegenden Versuche die Anwendung von künstlich hergestellten Objecten unter allen Umständen vorzuziehen, zumal die Structur genau bekannt ist, aus welcher die verschiedenen mikroskopischen Bilder hervorgehen, wenn die Gruppierung der von jenen erzeugten Einzelspectren durch die Versuchsanordnung geändert wird.

Enge Beleuchtungskegel sind insofern Erforderniss, als nur mittelst ihrer das directe Bild und die dasselbe umgebenden Spectralbilder der lichtgebenden Fläche von einander getrennt beobachtet werden können. Weite, etwa die ganze freie Oeffnung des Objectivsystemes in Thätigkeit setzende Beleuchtungskegel würden dagegen die Beobachtung der Beugungswirkung unmöglich machen, indem unter diesen Umständen die den einzelnen abgebeugten Lichtbüscheln angehörigen Spectra sich zu einer einzigen hellen Fläche in der Austrittspupille vereinigen. Die Ausführung der einschlägigen Versuche über den Zusammenhang der Beugungsbilder (Spectren) mit der schliesslichen Gestaltung des mikroskopischen (secundären) Bildes, verlangt, wie aus den theoretischen Entwicklungen hervorgeht, zunächst die Ermittlung der von einem bestimmten Theile irgend einer Objectstructur erzeugten Beugungswirkung, also die Beobachtung des betreffenden reellen, in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes, oder in der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes (in dem sogenannten Augenpunkte) auftretenden Beugungsspectrums, sodann die in Augenscheinnahme des von dem ganzen Mikroskope entworfenen Bildes und zwar beides unter Anwendung sowohl centraler, als excentrischer Beleuchtung, endlich noch weitere Veranstaltung, um bei sonst gleichbleibender Versuchsanordnung verschiedene Gruppen der in dem Gesamtspectrum enthaltenen Einzelspectren in Wirksamkeit setzen zu können.

Die Beobachtung des reellen Beugungsspectrums kann entweder in 85 der Austrittspupille des Objectivsystemes mittelst des freien Auges, sowie mittelst der früher theoretisch erörterten sogenannten teleskopischen Beobachtungsweise, d. h. mittelst des Hülfsmikroskopes, oder in der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes mittelst einer einfachen Lupe vorgenommen werden. Bei jeder von diesen Beobachtungsweisen nimmt das sichtbare Spectrum seinen Ausgang stets von demjenigen Flächenelement des Objectes, dessen Bild entweder unmittelbar oder mittelbar in der Pupille des beobachtenden Auges entworfen wird und es stellt dasselbe somit den Querschnitt aller von diesem Flächenelemente ausgehenden, abbildenden Strahlenkegel vor.

Zu seiner Darstellung kann man bei gröberen Structuren Objectivsysteme mit kleiner numerischer Apertur verwenden. Für feinere Structuren werden dagegen grössere numerische Aperturen erforderlich, um das

ganze Beugungsspectrum zu übersehen. Kommen endlich solche Structuren in Betracht, deren Maassverhältnisse sich der Wellenlänge des Lichtes nähern oder unter ihr bleiben, und bei denen nur ein kleiner Theil des Spectrums übersehen werden kann, dann muss man zu Immersionssystemen mit grosser numerischer Apertur und am besten von mittlerer Stärke — etwa 3 mm Brennweite — greifen.

Die einfachste und bequemste Beobachtungsweise ist diejenige mittelst des freien Auges. Man verfährt dabei folgendermaassen: Zunächst stellt man das Object auf die gewöhnliche Weise ein und bringt den zu beobachtenden Theil in die Mitte des Gesichtsfeldes. Dann nimmt man das Ocular aus dem Tubus und legt ein Stückchen Carton oder eine Messingplatte mit einer kleinen 1 bis 2 mm weiten kreisrunden Oeffnung über dessen oberen Rand. Blickt man nun auf das Objectivsystem hinab, so sieht man das Beugungsspectrum desjenigen Objecttheiles, welcher der kleinen Oeffnung zugeordnet ist, da alle Strahlen, welche durch diese hindurchgehen, vor ihrem Eintritt in das Objectivsystem durch das zugeordnete Flächenelement des Objectes gegangen sein müssen. So z. B. kann man bei der gebräuchlichen Tubuslänge von 155 bis 160 mm mittelst eines Objectivsystemes von 3 mm Brennweite und einer Oeffnung von 1 mm vor dem Auge einen Flächentheil von etwa 20μ isoliren, und wenn man die Blendung über dem Tubus verschiebt, können nach und nach die Beugungsspectren verschiedener Theile betrachtet werden.

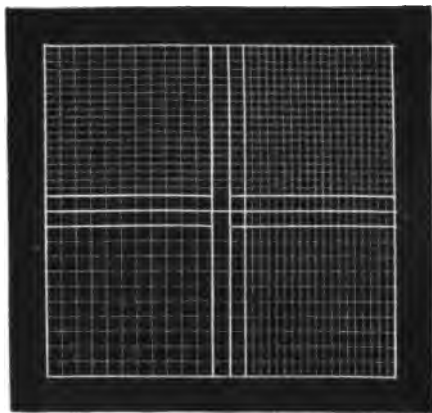
Das Hilfsmikroskop braucht hier nur dann angewendet zu werden, wenn man — worauf wir später zurückkommen werden — an dem Beugungsspectrum Messungen vorzunehmen hat, während die Beobachtung in der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes dann bequem erscheint, wenn man rasch das mikroskopische Bild der Structur selbst mit seiner Beugungswirkung vergleichen will, ohne Veränderungen an dem optischen Apparate vorzunehmen. Bei Beobachtungen mittelst des ersten kann immer nur der Theil des Objectes übersehen werden, welcher sich in der Mitte des Sehfeldes befindet und es muss, um sehr kleine Flächenelemente zu isoliren, über der hinteren Brennebene seines Objectives eine enge centrale Blendung angebracht werden.

Um den Einfluss zu studiren, welchen die veränderte Anordnung der Beugungsspectra, d. h. das in Wirksamkeitsetzen verschiedener Gruppen derselben, auf die Anordnung des Bildes der Structurmerkmale hervorbringt, benutzt man entsprechende, dicht über der Hinterlinse des Objectivsystemes angebrachte Blendungen. Obgleich man auch in diesem letzteren Falle am besten enge Beleuchtungskegel verwendet, so bleibt — während man eine unter Umständen erwünschte grössere Helligkeit erreicht — die Wirkung doch die gleiche, wenn man unter genauer Regulirung der betreffenden Blendungen den vollen Lichtkegel des Abbe'schen Beleuchtungsapparates durch das Object treten lässt.

Wenden wir uns nun den Versuchen zu, welche die Kenntniss der 86
 Beugungsspectren periodisch gegliederter Structures vermitteln sollen, so gilt es, aus dem oben angeführten Grunde zunächst von Objecten auszugehen, deren thatsächliche Structur genau bekannt ist. Solche gewährt die Abbe'sche Diffractionsplatte in ihren drei Liniensystemen, von denen das eine aus parallelen, in der einen Hälfte der Gruppe um 7,5 in der anderen um 15 Mikron ($= 0,001 \text{ mm}$) von einander abstehenden, Fig. 70, die beiden anderen aus je in der einen und anderen Richtung in den oben genannten Abständen gezogenen, unter sich gleichlau-

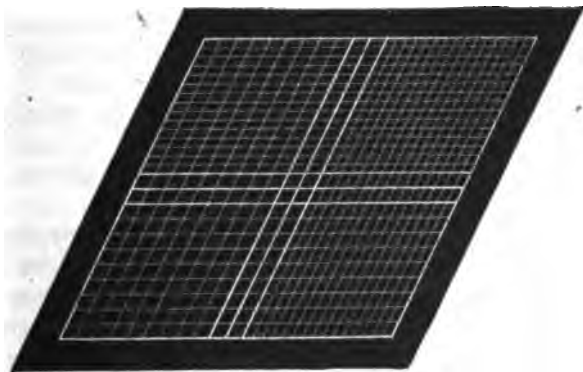
Fig. 71.

Fig. 70.



fenden, sich unter Winkeln von je 90° und 60° schneidenden Linien (Fig. 71 und 72) gebildet werden.

Fig. 72.



Betrachten wir die erste Liniengruppe durch ein schwaches Objectivsystem von etwa 30 mm Brennweite und 0,17 numerischer Apertur (20°

Oeffnungswinkel), indem wir dieselbe — um ein Lichtbüschel zu erhalten, wie es ein unterhalb des Objectes angebrachter mit den Linien gleichlaufender Spalt ergeben würde — mittelst der mit dem Hohlspiegel genommenen schmalen Seite der Flamme einer Petroleumlampe mit etwa 25 mm breitem Flachbrenner beleuchten, so giebt das mikroskopische Bild die wirkliche Structur wieder. Entfernen wir hierauf das Ocular und bringen die Pupille des Auges über dem offenen Tubus dahin, wo das Luftbild der Structur entsteht, so erblicken wir, wenn wir vorher auf die Mitte der Gruppe, d. h. so eingestellt hatten, dass die feineren

Fig. 73.



und größeren Linien zugleich sichtbar waren und das Auge entsprechend bewegen, in der Austrittspupille des Objectivsystemes das absolute Maximum, d. h. das reelle Bild der Flamme, und neben demselben zu beiden Seiten zwei, in ihren Verbindungslinien auf der Linienrichtung senkrecht stehende Reihen von — den abgelenkten Lichtbüscheln zugehörnden — Spectra (Maxima zweiter Ordnung) (Fig. 73), von denen — wie durch mikrometrische Messung leicht nachzuweisen — die einen, von dem engeren Streifensystem erzeugten, gerade doppelt so weit von dem Flammenbild und von einander abstehen, wie die anderen, von dem weiteren Streifensystem hervorgerufenen.

Gehen wir zu den Kreuzgittern über, so ist die Beleuchtung so zu regeln, dass sie die Wirkung äussert, wie eine unterhalb des Präparates angebrachte kreisrunde Oeffnung es thun würde. Wir nehmen zu dem Ende mit dem Planspiegel die breite Seite der ziemlich weit von dem Mikroskope hinweg gerückten Flamme und werfen sie in die Mitte des Sehfeldes. Da nun hier immer je vier verschiedene Gittergruppen (Fig. 71 und Fig. 72) in Betracht kommen, so müssen wir stets je eine derselben zu isoliren suchen, was leicht dadurch gelingt, dass wir die gerade der Beobach-

Die beiden anderen Gruppen links unten und rechts oben geben Beugungsbilder, in denen die Einzelspectren um das directe Bild der Lichtquelle in Form von Rechtecken, beziehentlich verzogenen Sechsecken, und in den Linienabständen und Richtungen der Liniensysteme entsprechenden Abständen und Richtungen angeordnet erscheinen (Fig. 76 und Fig. 77) (a. v. S.).

Diese Versuche ergeben die gleichen Resultate, wie die im voranstehenden Capitel durchgeführten theoretischen Betrachtungen, deren Resultate sich in den drei Sätzen auf S. 128 und S. 132 ausgesprochen finden ¹⁾.

87 Nach diesen vorbereitenden Versuchen können wir uns zu denjenigen wenden, die sich auf die Veränderung des mikroskopischen (secundären) Bildes beziehen, welche eintritt, wenn nach Zahl und Anordnung verschiedene Gruppen der den vollständigen Beugungskegel zusammensetzender Beugungsbüschel in Wirksamkeit gesetzt werden. Um die ersten beiden Factoren nach Wunsch und Bedürfniss zu regeln, dienen die der Abbe'schen Diffractionsplatte beigegebenen, in ein an das Mikroskoprohr anzuschraubendes Zwischenstück einzulegenden Blendungen, welche durch die an dem letzteren befindliche Vorrichtung in die gewünschte Lage zu den Reihen oder Gruppen der Spectren gebracht werden können.

Wählen wir aus den — zunächst zur experimentellen Darstellung der Wirkung verschieden grosser Oeffnung bestimmten — einfachen kreisförmigen Blendungen die engste aus und bringen sie derart über das Objectivsystem, dass entweder nur das directe, oder eines der abgebeugten Lichtbüschel Zutritt zu dem Mikroskope erhält (Fig. 78), dann

Fig. 78.

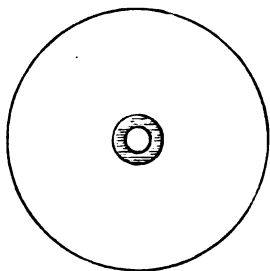
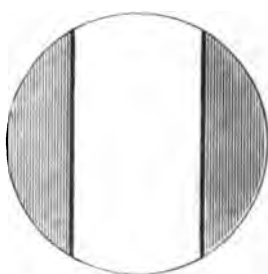


Fig. 79.



erblicken wir an Stelle eines beliebigen der beschriebenen Streifensysteme eine je nach dem durch das Präparat veranlassten Lichtverluste mehr

¹⁾ Vorstehende Beobachtungen können auch bei Tageslicht vorgenommen werden, wenn man im letzten Falle eine sehr kleine kreisförmige, im vorigen eine sehr enge spaltförmige Blende unter dem Objecte anbringt (diese z. B. bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat statt der gewöhnlichen Blendungen einlegt).

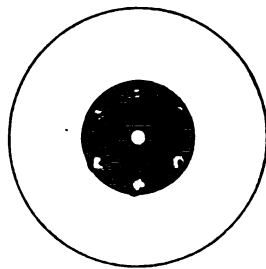
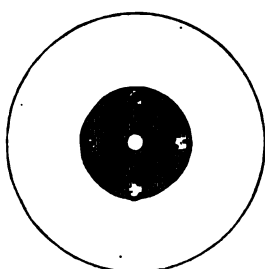
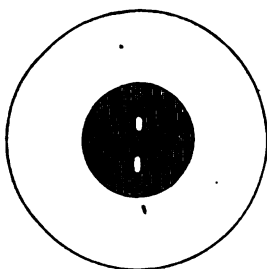
oder weniger schwach, aber gleichmässig beleuchtete, in ihrer Gestalt der Gestalt dieses Streifensystemes entsprechende, scharf begrenzte Fläche ohne jede Zeichnung (Fig. 79).

Bei Anwendung einer weiteren kreisförmigen Blendung, welche gerade noch die dem directen Bilde der Lichtquelle links und rechts

Fig. 80.

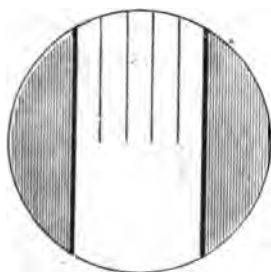
Fig. 81.

Fig. 82.



zunächst gelegenen seitlichen Spectren der gröberen einfachen Linien-
gruppe, je die vier in den Ecken eines Rhombus gelegenen nächsten

Fig. 83.

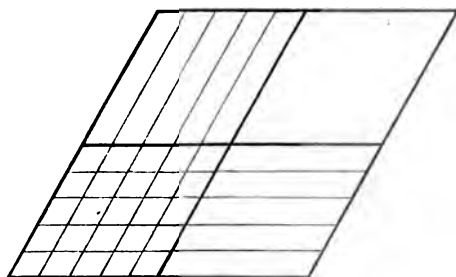
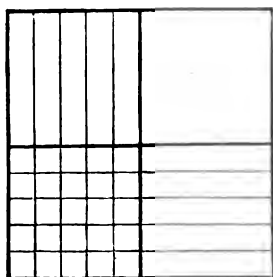


Spectra des rechtwinkligen oder die ersten
sechs Spectren des schiefwinkligen (60°) Kreuz-
gitters zulässt (Fig. 80 bis 82), erblicken wir nur
die gröberen Streifen der einfachen Linien-
gruppe (Fig. 83), bei den Kreuzgittern die-
jenigen Gruppen einfach und grob gestreift,
welche neben dem Streifensysteme mit den am
meisten genäherten noch dasjenige mit den
weiter entfernten Linien enthalten (Fig. 84
und 85), während die aus den beiden gro-
ben Streifensystemen gebildete Gruppe des
quadratischen Gitters ihre volle Zeichnung, die
des gleichnamigen schiefwinkligen neben den

beiden wirklich vorhandenen noch ein drittes die stumpfen Winkel
der beiden anderen, halbirendes Streifensystem enthält.

Fig. 84.

Fig. 85.



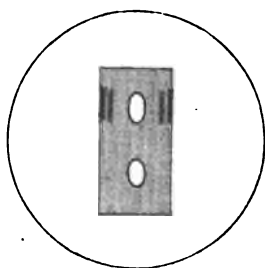
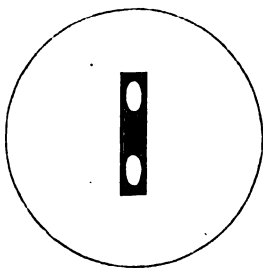
Wir erschen schon hieraus, wie das mikroskopische Bild in seiner Gestaltung wechselt, jenachdem mehr oder weniger Bestandtheile des Beugungskegels zur Wirkung gelangen. Eine weitere Reihe von noch instructiveren Versuchen lässt sich mittelst der Spaltblenden und den Blenden mit mehreren kreisförmigen Oeffnungen ausführen, von denen hier die einfacheren und wichtigeren angeführt werden sollen.

Wählen wir zunächst das einfache Liniensystem und beobachten mittelst der oben beschriebenen Beleuchtungsweise, so lassen sich bei Verwendung der Spaltblende folgende Ergebnisse gewinnen.

Wird der engste Spalt eingelegt und in gleiche Richtung mit dem Linienverlaufe gebracht (Fig. 86), so kann wieder nur der directe Lichtbüschel in das Objectiv gelangen. Das Bild erscheint jetzt ebenso, wie bei dem ersten Versuche der vorhergehenden Reihe (Fig. 79). Dreht man die Blende jetzt um 90° , so dass der Spalt senkrecht auf der Richtung der Linien steht, so erhalten rechts und links von dem directen Lichtbüschel auch eine Anzahl von abgebeugten Lichtbüscheln Zutritt und die Structur erscheint in ihrer wirklichen Gestalt abgebildet. Die zweite weite Spaltblende lässt neben dem directen noch jederseits ein abgebeugtes Lichtbüschel der gröberen Streifung eintreten (Fig. 87) und das mikroskopische Bild zeigt die groben Streifen scharf abgebildet, die feinen dagegen als structurlos helles Band (Fig. 83 a. v. S.). Die

Fig. 86.

Fig. 87.



dritte Blende mit drei Spalten ist so eingerichtet, dass sie neben dem directen Lichtbüschel dem ersten abgebeugten Büschel der feineren und dem zweiten der gröberen Linie den Zutritt gestattet (Fig. 88). Das Object erscheint unter diesen Umständen, d. h. bei absoluter Gleichheit der betreffenden Beugungsspectren und abgesehen von dem Helligkeitsunterschied der oberen und unteren Hälfte (davon herrührend, dass die feinen Streifen mehr Licht durchlassen, als die weiter entfernten) durch seine ganze Fläche gleichmässig gestreift (Fig. 89), also so, dass die Streifenzahl der gröberen Hälfte in Folge des Ueberspringens ihrer ersten beiderseitigen Spectren verdoppelt gesehen wird.

Werden alle Spectren bis auf die zweiten der feineren, die vierten der gröberen Linien und das absolute Maximum abgeblendet (Fig. 90),

so erscheinen die feineren Linien verdoppelt, die gröberen vervierfacht und wiederum das ganze Object gleichmässig gestreift (Fig. 91).

Fig. 88.

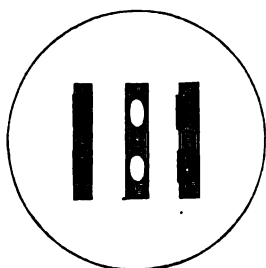
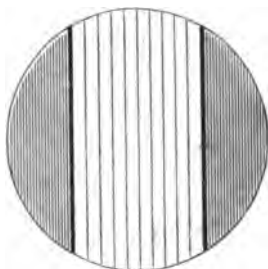


Fig. 89.



Eine Verdoppelung etc. der eben betrachteten Liniensysteme lässt sich auch dadurch herbeiführen, dass man mittelst geeigneter Blen-

Fig. 90.

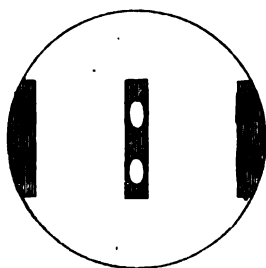
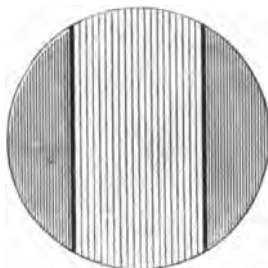


Fig. 91.



dungen das absolute Maximum anschliesst und je einem oder zweien der entsprechenden Seitenspectren den Eintritt in das Objectivsystem gestattet.

An den beiden Kreuzgittern lässt sich jedes der beiden Streifen-systeme für sich in Sicht bringen, wenn man die Ablendung aufeinander-folgend in der, in den Figuren 92 1 und 2, 93 1, 2 und 3 dargestellten

Fig. 92.

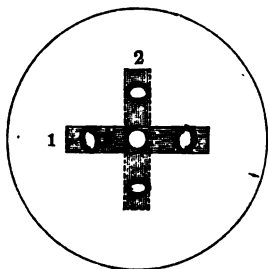
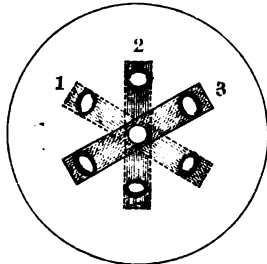


Fig. 93.



Weise vornimmt. Bei der nach einander vorgenommenen Versuchsanordnung, wie in Fig. 94 1, 2 und 3 treten bei dem quadratischen Gitter je ein einziges in dem Verhältnisse von $\sqrt{2} : 1$ (Fig. 95) und von $\sqrt{5} : 1$ (Fig. 96), feineres, als das ursprüngliche, bei derjenigen mittelst einer

Fig. 94.

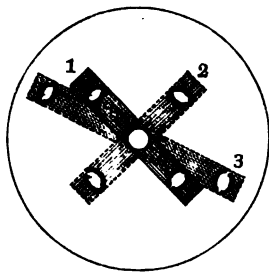


Fig. 95.

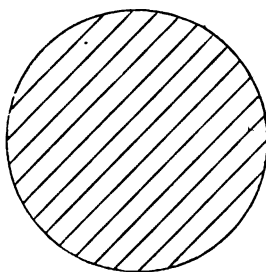
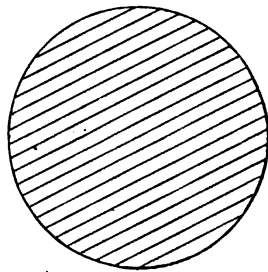


Fig. 96.



Schenkelblendung oder der dreifach durchbohrten Blendung herbeigeführt, der Fig. 97, zwei sich unter rechtem Winkel schneidende, in Bezug auf den Abstand den genannten gleiche Streifensysteme auf (Fig. 98).

Fig. 97.

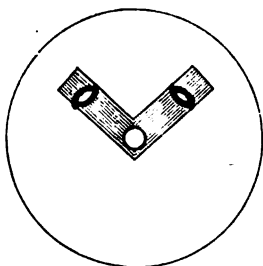
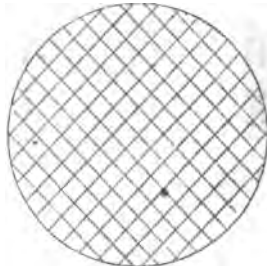


Fig. 98.



Schneidet man in der Beugungsfigur des regelmässig schiefwinkligen Gitters (Gruppe links unten, oder rechts oben, Fig. 72) den directen Lichtbündel, sowie alle Beugungsbündel bis auf drei alternirende der ersten Reihe ab (Fig. 99), so erhält man als Bild ein aus zwei (beziehentlich

Fig. 99.

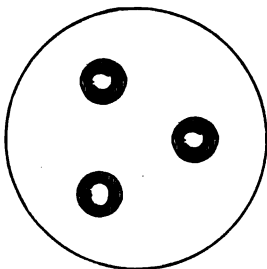


Fig. 100.



dreier) sich unter Winkeln von 60° schneidende Streifensysteme, welche einen in dem Verhältniss von $\sqrt{3} : 1$ kleineren Abstand besitzen, als die ursprünglichen beiden (Fig. 100). Lässt man dagegen die Spectrengruppe a, a_2, a_6 , oder eine ähnlich angeordnete der Fig. 75 (Fig. 101) zur Wirksamkeit

Fig. 101.

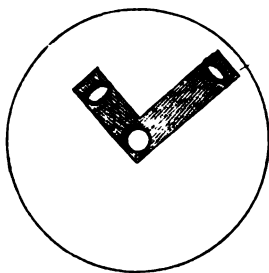
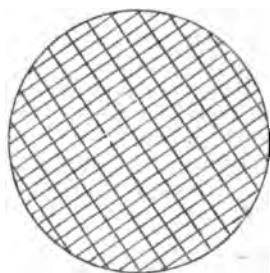


Fig. 102.



kommen, so resultiren zwei im Abstand von 1 und $\sqrt{3}$ stehende, sich rechtwinklig schneidende, die Gruppen links oben und rechts unten des quadratischen Gitters genau wiedergebende Streifensysteme (Fig. 102), während die Gruppe a, a_2, a_3, a_6 , oder eine ähnlich angeordnete der Fig. 75 bei den aus weiter und weniger weit entfernten Streifensystemen bestehenden Gittern ein drittes hervorruft, welches das ursprünglich feinere unter einem Winkel von 30° , das ursprünglich gröbere unter einem Winkel von 90° oder umgekehrt schneidet (Fig. 103).

Fig. 103.



Ausser den genannten lassen sich noch eine Menge anderer nach Zahl und Anordnung verschiedene Spectrengruppen in Wirksamkeit setzen, welche sämmtlich in ihrer Interferenzwirkung verschiedene Abbilder der ihrer Structur nach bekannten Objecte hervorrufen. Namentlich erhält man auch durch die Drehung der Spaltblenden über den gekreuzten Linien-systemen eine Reihe stetig wechselnder Bilder, welche ihre Wirkung auf den vorurtheilsfreien Beobachter nicht verfehlen

können. Wir wollen indessen nicht weiter auf diese Erscheinungen eingehen, da die aus der voranstehenden Versuchsreihe erhaltenen, von jedem Mikroskopiker leicht zu controlirenden Beobachtungsergebnisse vollkommen ausreichend erscheinen, um die Abbe'sche Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung, namentlich auch die Sätze durch beweisende Thatsachen zu belegen ¹⁾, dass erstlich die endliche Gestaltung des mikroskopischen

¹⁾ Unter den beschriebenen Versuchen sind diejenigen besonders beweiskräftig, welche direct den Satz bewahrheiten: dass verschiedene Structuren stets das gleiche Bild liefern, wenn die bei der Abbildung wirksamen Beugungsbüschel auf irgend eine Weise gleich gemacht werden. Dieser Thatsache gegen-

Bildes in unmittelbarer Beziehung steht zu Zahl und Anordnung der in Wirksamkeit gesetzten Beugungsbüschel, und dass zweitens dieses Bild,

über bleibt nämlich jede andere Art der Erklärung unbedingt ausgeschlossen, im Besondern auch die Annahme, dass die Modificationen des Bildes bei veränderter Begrenzung des wirksamen Beugungsspectrums durch eine Diffractionswirkung der angewandten Diaphragmen hinter dem Objectiv verursacht sein könnten. — Dass eine Diffractionswirkung der Linsenöffnung bei der Abbildung mittelst durchfallenden Lichtes nicht existiren kann, ist zwar oben (S. 131 u. 132) aus den Grundsätzen der Undulationstheorie abgeleitet worden. Aber auch wenn sie existirte und in derselben Art wirksam wäre, wie bei der Abbildung selbstleuchtender Objecte (z. B. der Fixsterne im Fernrohr), so könnte ihr Eingreifen doch niemals ungleiche Objecte bei gleichartiger Begrenzung ihres Beugungsspectrums — also bei gleicher Form der angewandten Diaphragmenöffnung — als gleich erscheinen lassen. Die unterstellte Diffractionswirkung des Diaphragmas müsste in diesem Falle bei den verschiedensten Objecten jeden lichtgebenden Punkt immer in derselben Weise in eine Beugungsfigur ausbreiten; eine Verschiedenheit in der ursprünglichen Lichtvertheilung in diesen Objecten müsste also immer eine Verschiedenheit in der schliesslich sichtbaren Lichtvertheilung übrig lassen, weil Gleiches zu Ungleichen hinzugefügt niemals Gleiches geben kann.

Unter diesem Gesichtspunkt fällt ein besonderes Gewicht auf das oben beschriebene Experiment, in welchem eine grobe und eine feine Streifung (neben einander in demselben Gesichtsfelde) als gleichartige Streifungen gesehen werden, wenn von beiden nur die übereinstimmenden Beugungsbüschel zum Mikroskope zugelassen werden. Hier sei nun noch ein anderes Experiment erwähnt, welches für den zuvor angeführten allgemeinen Satz einen noch nachdrücklicheren Beweis liefert.

Es werde als Object eine Streifung von beistehender Form (Figur 104) angenommen: äquidistante durchsichtige Linien in undurchsichtigem Grunde

Fig. 104.



(Russschicht oder Silberniederschlag auf Glas), in der oberen Hälfte schmale Linien mit breiten Zwischenräumen, in der unteren Hälfte umgekehrt, und zwar so, dass das Verhältniss zwischen den durchsichtigen und den undurchsichtigen Theilen in beiden Hälften in beiden Fällen genau den reciproken Werth erhält (z. B. 1 : 3 und 3 : 1). Theorie und Beobachtung ergeben, dass die Beugungsspectren dieser beiden neben einander liegenden, so auffällig verschiedenen Structuren in der Anordnung und in der Lichtstärke der sämtlichen Seitenspectra völlig identisch und nur in der Intensität der umgebeugten Strahlen verschieden sind. Wenn man daher bei der Beobachtung dieser Doppelstructur den directen Lichtkegel abblendet (durch einen diametral über das Objectiv gelegten undurchsichtigen Steg), so müssen die übrig bleibenden Beugungsbüschel für beide Hälften absolut identisch werden. Die Theorie fordert, dass jetzt die Bilder beider Hälften keinerlei Unterschied — nicht einmal ungleiche Helligkeit — mehr zeigen dürfen; und der Versuch bestätigt diesen Schluss so vollkommen, dass bei sorgfältiger Ausführung des Präparates nicht einmal mehr die Grenzlinie zwischen beiden Theilen desselben erkennbar bleibt. Durch das ganze Sehfeld laufen von oben nach unten gleichmässig breite, doppelt contourirte Streifen mit matt beleuchteten Zwischenräumen.

Wegen der Unmöglichkeit, das beschriebene Präparat bei sehr kleinen Dimensionen noch in der erforderlichen Genauigkeit herzustellen, lässt sich dieser Versuch nicht wohl mit einem gewöhnlichen Mikroskope anstellen. Abbe hat ihn ausgeführt unter Benutzung eines relativ groben Präparates, mit Hilfe eines besonderen Mikroskopes, dessen Objectiv 30 cm Brennweite besitzt.

insolange nicht das volle Gesamtspectrum oder doch die lichtstärkeren Theile desselben Zutritt zu dem Objectivsystem erlangen, stets nur ein typisches Bild solcher — entweder wirklich vorhandener oder in Wirklichkeit nicht existirender, aber physisch möglicher — Structuren ist, als diejenigen sind, welche das zur Wirksamkeit kommende Beugungsspectrum erzeugen würde. Dagegen dürfen wir nicht unterlassen, die Beobachtung einiger natürlicher, dem Mikroskopiker geläufiger Objecte zu berühren, welche den vorausgehenden genau ähnliche Resultate ergeben.

Beobachten wir eine kleine Schuppe von *Lepisma saccharinum*, 88 deren Streifenabstand etwa 1,6 bis 1,8 μ beträgt mittelst des oben angewendeten Objectivsystemes von 0,17 numerischer Apertur bei rein centraler Beleuchtung — sehr engem Beleuchtungskegel —, so zeigt die Betrachtung der Austrittspupille, dass ausser dem directen Lichtbüschel, sofern dieses den Mittelpunkt des Sehfeldes einnimmt, keiner der abgelenkten Lichtbüschel mehr Zutritt erlangt; setzen wir nun das Ocular ein, so werden wir finden, dass die Schuppe völlig ohne Zeichnung erscheint. Geben wir dann dem engen Beleuchtungskegel eine gewisse Neigung, oder entfernen wir die enge Blendung, so dass die volle Spiegelfläche zur Wirkung kommt und wenden nun den Spiegel etwas, so dass das directe Bild der Lichtquelle an den Rand der Austrittspupille tritt, so werden wir am gegenüber stehenden Rand ein Beugungsspectrum erscheinen sehen und wenn wir das Ocular einsetzen die Streifung scharf gezeichnet erblicken.

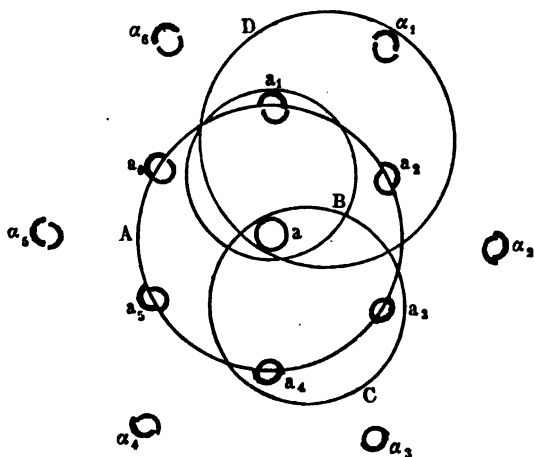
Greifen wir jetzt zu einem *Pleurosigma Hippocampus* mit 10 bis 11 Längsstreifen und 15 bis 16 Querstreifen auf 10 μ (0,01 mm), so werden wir mit Objectivsystemen unter 0,50 numerischer Apertur die Schale — abgesehen von Mittelrippe, Mittel- und Endknoten, und doppelter Randcontour — ohne alle Zeichnung sehen und bei Inaugenscennahme der Austrittspupille ausser dem die Mitte des Sehfeldes einnehmenden directen Bilde der Blendungsöffnung oder des Spiegels kein weiteres Beugungsspectrum wahrnehmen. Verwenden wir aber Objectivsysteme von 0,50 bis 0,55 numerischer Apertur, so werden wir neben dem Bilde des Spiegels zwei mit ihrer Verbindungslinie auf der Längsaxe der Schale senkrecht stehende Spectra und beim Aufsetzen des Oculares alsdann die Längsstreifung, immerhin aber noch keine Querstreifung wahrnehmen. Diese tritt erst hervor, wenn wir Objectivsysteme von 0,65 bis 0,70 numerischer Apertur in Anwendung bringen, bei welchen in der Austrittspupille vier Spectren auftreten. Diese bei rein centraler Beleuchtung mittelst engen Beleuchtungskegels erhaltenen Resultate ändern sich aber sofort, wenn wir bei gleich grossem Lichtkegel zu schiefem Licht übergehen. Wir werden dann schon bei einer numerischen Apertur von 0,30 bis 0,35, und für die feinere Streifung von 0,42 bis 0,45 neben dem directen Lichtbüschel noch ein entsprechendes Beugungsbüschel in das Objectiv leiten und im ersten Falle die Längs-, im anderen die Querstreifen sehen können. Im Uebrigen lassen sich mittelst der mit

unter rechtem Winkel sich kreuzenden Streifensystemen gezeichneten Diatomeenschalen durch entsprechende Abbildung ganz dieselben neuen Streifensysteme hervorrufen, welche wir bei dem quadratischen Gitter der Abbe'schen Diffractionsplatte beobachtet haben.

Ein für die hier in Frage kommenden Erscheinungen höchst interessantes Object bildet das bekannte Probeobject: *Pleurosigma angulatum*, über dessen Oberflächenzeichnung — die aber keineswegs als der genaue Ausdruck einer wirklich vorhandenen Structur aufgefasst werden darf — bekanntlich die verschiedensten Ansichten ausgesprochen worden sind, welche alle gleich berechtigt oder nicht berechtigt sind und deren Vertheidigung von Seiten der betreffenden Beobachter nur in der früheren, wie wir gesehen haben, nicht begründeten Ansicht von der mikroskopischen Abbildung Wurzel schlagen konnte. Hugo v. Mohl und Schacht betrachteten die Zeichnung als durch drei sich kreuzende Streifensysteme hervorgerufen. Max. Schultze u. A., früher ich selbst, sahen sie als aus sechsseitige Vertiefungen, einige englische Mikroskopiker als aus sechsseitige Erhöhungen bestehend an, während Schiff, und später auch ich eine schachbrettartige Felderung erkannten. In neuerer Zeit haben Stein, Pelletan und Dr. Kaiser runden Erhabenheiten das Wort gesprochen, während Dr. Flögel an Querschnittpräparaten nachgewiesen hat, dass jedenfalls die obere Fläche der Schale (mit Ausnahme der Mittelrippe und ihrer Umgebung, sowie des Randes) als flach anzusehen sei, dass dieselbe dagegen zwischen Ober- und Unterfläche von Hohlräumen durchzogen werde.

Sehen wir uns *Pleurosigma angulatum* an der Hand der vorausgehenden theoretischen Entwicklungen und Versuche näher an, so ergibt sich Folgendes: Bei demselben erscheinen unter Verwendung rein centraler Beleuchtung, also sehr enger Beleuchtungskegel, wenn die numeri-

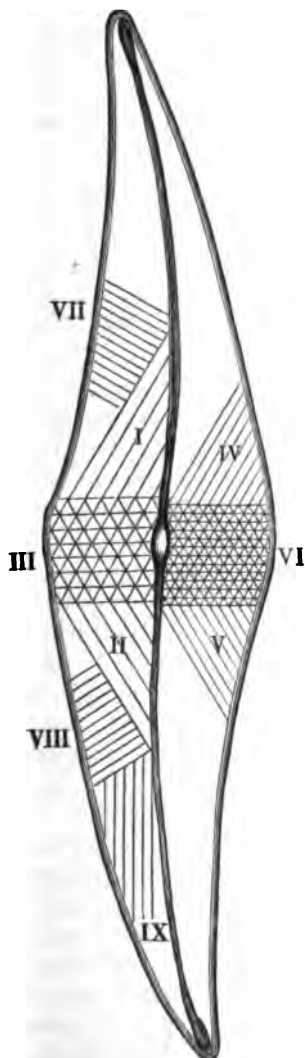
Fig. 105.



sche Apertur des zur Beobachtung dienenden Objectivsystems ausreichend gross ist und mindestens etwa 0,90 bis 0,95 beträgt, sechs Spectra $a_1 - a_6$ (Fig. 105, Kreis A), welche regelmässig um das directe Bild der Lichtquelle angeordnet sind, während die sechs dem letzteren zunächstgelegenen Spectra der zweiten Reihe $a_1 - a_6$ auch bei sehr grosser

numerischer Apertur ausserhalb des Oeffnungsbildes fallen. Ist die Oeffnung so klein, dass sie bei rein centraler Beleuchtung keines der sechs nächsten abgebeugten Lichtbüschel zulässt, so erscheint die Schale ohne Zeichnung, während bei grosser Oeffnung von über 1,00 numerischer Apertur die drei Streifensysteme I bis III (Fig. 106) zugleich auftreten, und eine je nach dem Ueberschuss der Apertur über die Einheit schwächer oder schärfer markirte Felderung herbeiführen. Je eines dieser Streifensysteme

Fig. 106.



kann auch schon mit einer numerischen Apertur von 0,50 (60°) zur Anschauung gebracht werden, wenn man schiefes Licht anwendet. Dann fallen nämlich immer zwei Spectra a und a_1 oder a und a_2 ... (Fig. 105, Kreis B) in die Austrittspupille. Sie können übrigens auch in gleicher Weise mittelst Systemen von grosser numerischer Apertur erzielt werden, wenn man durch passende Blendungen alle anderen Spectra bis auf eines der genannten ausschliesst. Mit einem Objectivsystem von 0,7 bis 0,8 numerischer Apertur können, sobald das Licht genügend schief wird, drei Lichtbüschel, das directe und zwei abgebeugte aufgenommen werden (C), man erhält dann je zwei sich unter 60° schneidende Streifensysteme I und II.

Schliesst man den directen Lichtbüschel aus und lässt nur zwei sich gegenüberstehende Spectra $a_1 a_4$ — $a_2 a_5$, $a_3 a_6$ zur Wirkung kommen, so treten nacheinander drei neue wegen Ausschluss von a hell im dunklen Gesichtsfelde erscheinende Streifensysteme IV bis VI auf, deren Streifen um 2 : 1 mehr genähert, also als doppelt so fein erscheinen, als I bis III, in der Richtung aber mit diesen zusammenfallen.

Die Streifensysteme VII bis IX, welche auf den gewöhnlichen I bis III senkrecht stehen und deren Linien in dem Verhältnisse von $\sqrt{3} : 1$ näher aneinander gerückt erscheinen, erhält man — eines nach dem anderen für

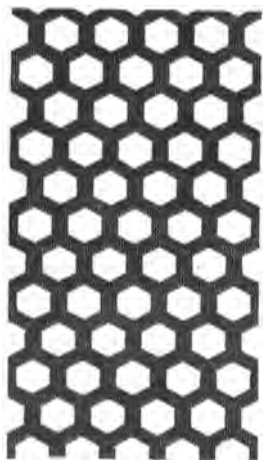
sich — in hellem Gesichtsfelde, wenn man bei Objectivsystemen von sehr grosser numerischer Apertur (homogene Immersion z. B.) die Spectra der ersten Reihe a_1 — a_6 mittelst geeigneter Blendungen ausschliesst und dem directen Lichtbüschel a nebst einem der Spectren der zweiten Reihe, etwa $a a_1, a a_2, \dots a a_6$ Zutritt in das System gestattet. Die Streifung IX kann durch $a a_3$ und $a a_5$ erhalten werden, wenn man das schiefe Licht auf die Mittelrippe einfallen lässt. In dunklem Gesichtsfelde lassen sich die gleichen Streifensysteme darstellen, wenn man bei geradem Lichte und Objectivsysteme von grosser numerischer Apertur durch passende Blendungen a und alle anderen Spectren mit Ausnahme von zweien in der Reihenfolge $a_1 a_3, a_2 a_4 \dots a_4 a_6$ ausschliesst. Die Streifung IX ergibt sich dabei wieder zweimal durch $a_2 a_6$ und $a_3 a_5$.

Da die Entfernung der Spectra $a a_1 a a_2 \dots$ oder der Spectra $a_1 a_3, a_2 a_4 \dots$ in dem Verhältnisse von $1 : \sqrt{3}$ grösser ist als von $a a_1, a a_2 \dots$, so müssen die Linien der Streifensysteme VII bis IX in dem Verhältniss von $\sqrt{3} : 1$ einander näher stehen, als die von I bis III.

Die mittelst der beschriebenen Versuchsanordnungen hervorgerufenen neuen Streifensysteme IV bis IX besitzen die gleiche Schärfe der Zeichnung, wie die schon länger bekannten I bis III und es kommt ihnen insofern die gleiche Wahrheit der Existenz zu, wie diesen.

Aus den betrachteten Erscheinungen erklären sich nun die verschiedenen Ansichten, welche man von den Structuren der Diatomeenschalen erhält, wenn man dieselben unter wechselnder Beleuchtungsart betrachtet. Die zuletzt an *Pleurosigma angulatum* beobachteten geben uns namentlich auch den Schlüssel für die Erklärung der oben erwähnten verschiedenen Ansichten über dessen feinere Structur, so-

Fig. 107.



wie einiger erst in neuester Zeit beobachteter Structurbilder. Trockensysteme und Wasserimmersionssysteme von nicht grosser numerischer Apertur zeigen die bekannten Sechsecke (Fig. 107) bei centraler Beleuchtung mit weiter (d. h. nicht ganz enger) Blendungsöffnung oder bei schiefem Licht wenn z. B. $a a_1 a_2 a_3$ oder $a a_1 a_3 a_6$ wirksam werden. Grosse numerische Apertur und centrale Beleuchtung ergeben in unter 60° sich schneidende Reihen geordnete helle Kreise, zwischen denen bei sehr scharfen Systemen (homogene Immersion z. B.) noch dunkle Punkte erscheinen (Fig. 108). Schiefe Beleuchtung und Wirksamkeit von $a_1 a_2 a_3, a_1 a_3 a_6$ bei einer numerischen Apertur bis 1,10 zeigt schachbrettartige Felderung, wie sie von Schiff und mir beschrieben worden

ist (Fig. 109). Sehr schiefe Beleuchtung und Wirksamkeit von a_2, a_3, a_4 oder a_5, a_6, a_7 bei Objectivsystemen von sehr grosser numerischer Apertur ergeben das eigenthümliche zuerst von Prof. Abbe und Stephenson beobachtete Bild, wobei die hellen rechteckigen Felder von einem schmalen dunklen Streifen durchschnitten und mit den darüber und darunter liegenden dunklen, den ersteren an Ausdehnung gleichen Feldern verbunden werden (Fig. 110). Weitere Formen können durch wechselnde

Fig. 108.

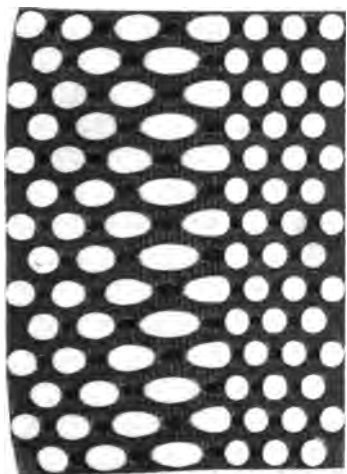
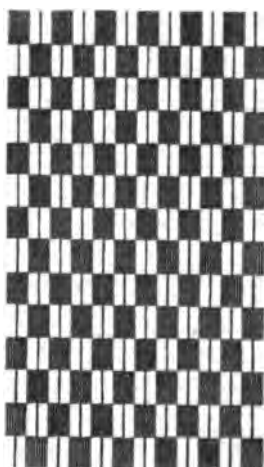


Fig. 109.

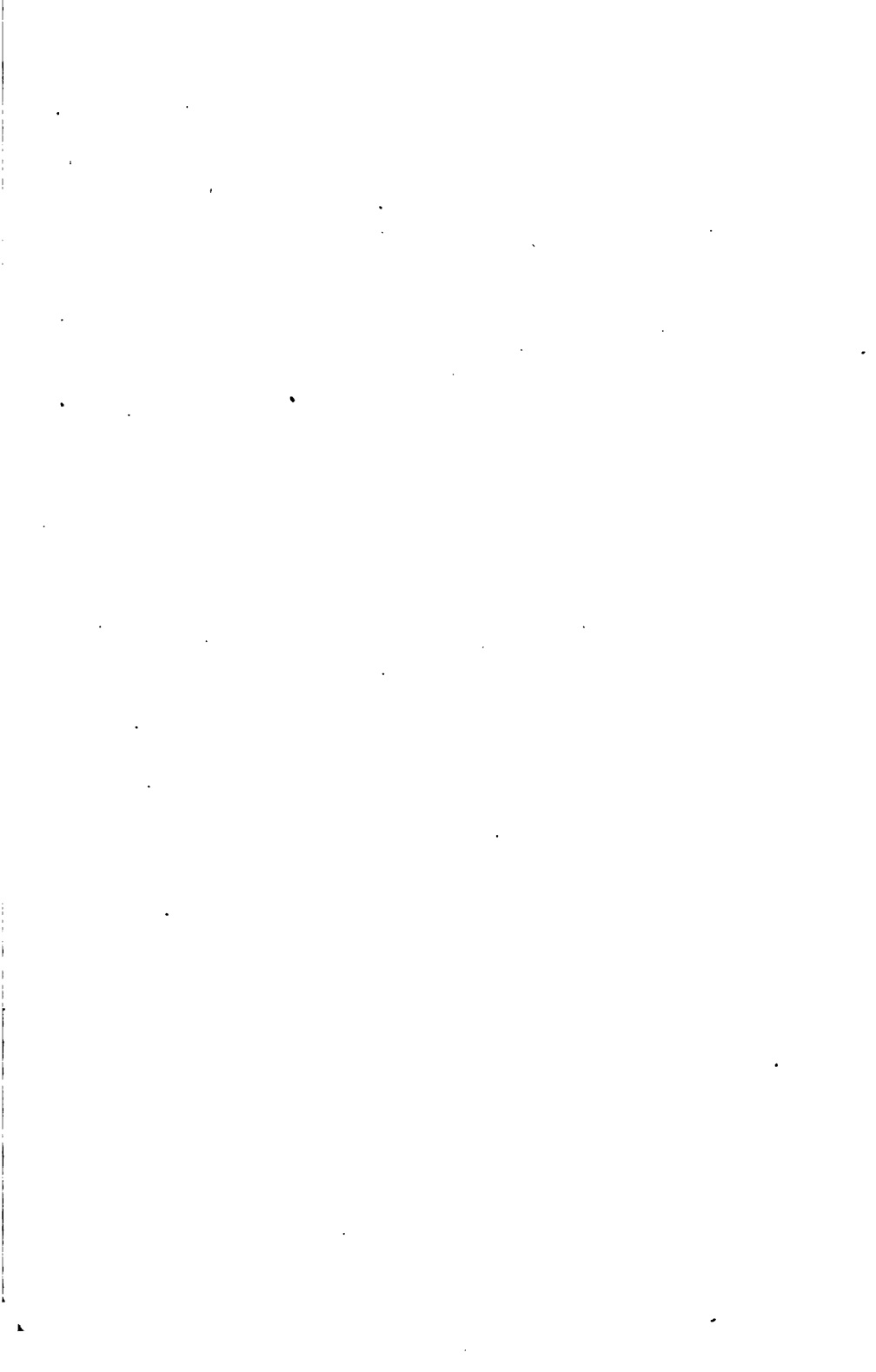


Fig. 110.



Beleuchtung und Anwendung von Blendungen, welche beliebige Spectren der ersten und zweiten Reihe ausschliessen und andere allein zur Wirksamkeit gelangen lassen, im hellen wie im dunklen Gesichtsfelde erhalten werden.

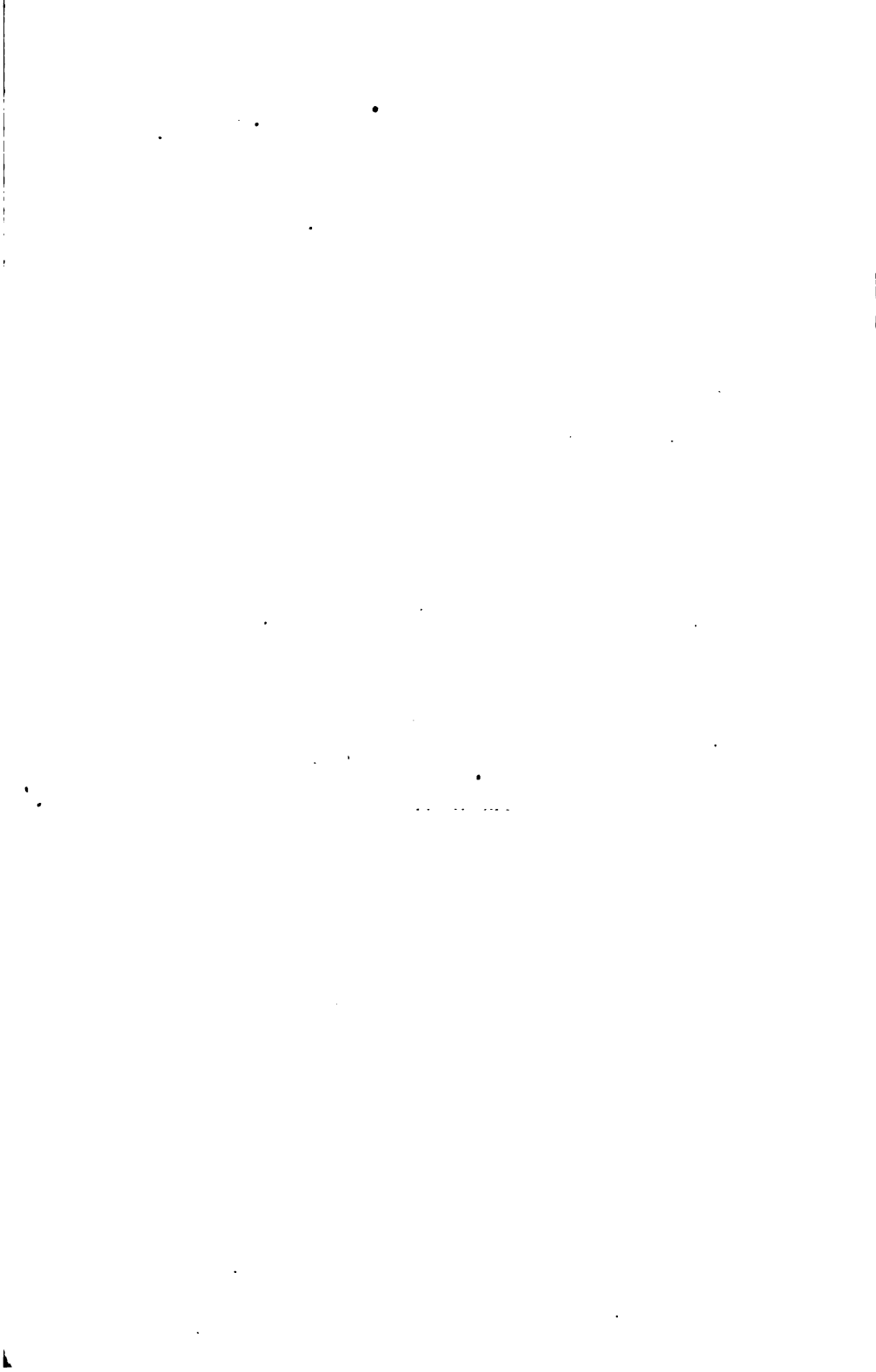
Dass die gewöhnliche Felderung, welche wir durch ein Objectivsystem mit grosser numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung sehen — und ebenso die ihr entsprechenden Streifensysteme I bis III — dem Abbilde der wirklichen Structur näher stehen, als die übrigen Bilder, kann durchaus nicht aus diesen Bildern selbst, sondern allein aus den Bedingungen ihres Zustandekommens geschlossen werden. Die Felderung erscheint, wenn der möglichst grösste Theil des Gesamtspectrums der Pleurosigmaschale zur Wirksamkeit gelangt und möglichst wenig (nämlich nur die entfernteren, lichtschwächeren Büschel der zweiten, dritten Reihe) verloren geht, während jedes der anderen Bilder durch einen viel kleineren Theil des ganzen Beugungsspectrums erzeugt wird. Deshalb darf man schliessen, dass jenes Bild sich weniger weit, als die anderen von demjenigen Bilde entfernt, welches der vollen Beugungswirkung der Schale — die keinem Mikroskope zugänglich ist — entsprechen würde.



ZWEITES BUCH.

D A S M I K R O S K O P.

THEORIE UND EINRICHTUNG.



Erster Abschnitt.

Das einfache Mikroskop.

Erstes Capitel.

Theorie des einfachen Mikroskopes.

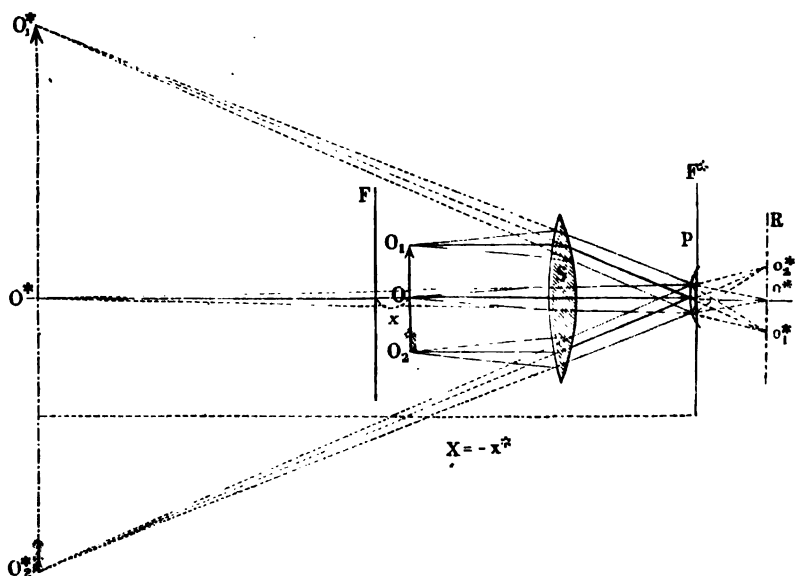
Aus den Lehren der physiologischen Optik ist bekannt, dass die 89 scheinbare Grösse eines Gegenstandes von der Grösse des Gesichtswinkels abhängig ist, unter welchem derselbe gesehen wird, und dass wir, wenn dieser Winkel unter eine gewisse Grösse (welche annähernd eine halbe Bogenminute beträgt) hinabsinkt, keinen deutlichen oder auch gar keinen Gesichtseindruck mehr von dem betreffenden Gegenstande erhalten. Recht kleine Gegenstände bringen wir daher näher an das Auge, als wir dies gewöhnlich zu thun pflegen, um eben dadurch eine Vergrösserung des Gesichtswinkels herbeizuführen. Einer solchen Annäherung des Gegenstandes und der damit verbundenen Vergrösserung des Gesichtswinkels ist aber eine gewisse Grenze gesteckt, welche in der beschränkten Accommodationsfähigkeit des Auges ihren Grund hat. Diese Grenze, welche der Nahepunkt genannt wird, ist zwar für verschiedene Augen eine verschiedene, liegt beim Auge des Kurzsichtigen weit näher, bei dem des Fernsichtigen weit ferner als beim gesunden Auge. Sobald sie jedoch überschritten wird, kann von irgend einem Gegenstande kein deutliches und scharfes Bild mehr entstehen, weil die Vereinigungspunkte der von ihm ausgesendeten, stark divergirenden Lichtstrahlen hinter die Oberfläche der Netzhaut zu liegen kommen. Es entstehen in Folge dessen nur Diffusionsbildchen, und die Sichtbarkeit der kleinen Objecte hat ihr Ende erreicht.

Hieraus geht hervor, dass die Annäherung über den Nahepunkt hinaus nur dann statthaft wird, wenn man ein Mittel anwendet, wodurch die Richtung der von dem Gegenstande aus stark divergirenden Strahlen

derart geändert wird, dass sie in nahezu paralleler oder doch nur wenig divergierender Richtung in das Auge gelangen. Als ein solches Mittel kann nun aber jede Sammellinse dienen, innerhalb deren Brennweite sich der betreffende Gegenstand befindet. Die Sammellinse bildet daher die Grundlage des einfachen Mikroskopes, und es lassen sich die Grundsätze für dessen optische Zusammensetzung ganz und gar auf die Wirkungsweise jener zurückführen.

Um die Wirkung, welche eine vor das Auge gebrachte Sammellinse bei der Betrachtung dieser Gegenstände ausübt, zu erläutern, möge folgende Darstellung (Fig. 111) dienen. Stellt S eine Sammellinse, $O_1 O_2$,

Fig. 111.



einen Gegenstand vor, welcher sich zwischen der Linse und der vorderen Brennebene F befindet, so divergieren die von den Punkten $O_1 O_2$ ausgehenden, auf die Linsenoberfläche treffenden und aus derselben austretenden Lichtstrahlen so, als ob sie von den Punkten $O_1^* O_2^*$ des virtuellen Bildes ausgegangen wären. Der vor der Linse befindliche Gegenstand wird nun bei dem vorausgesetzten Strahlengang vollkommen deutlich und scharf gesehen, sobald sich das Bild $O_1^* O_2^*$ in einer der deutlichen Sehweite entsprechenden Entfernung von dem Auge befindet und die Pupille mit der Brennebene F^* der Linse zusammenfällt, wobei die mittelst Linse und Auge als Gesamtsystem gebrochenen Strahlen sich auf der Netzhaut zu dem verkehrten Bildchen $o_1^* o_2^*$ vereinigen.

Im Wesentlichen liegt die sichtbarmachende Kraft der Sammellinse darin, dass sie es gestattet, den zu betrachtenden Gegenstand dem Auge sehr nahe zu bringen, ohne dass die Schärfe des von ihm entstehenden Netzhautbildehens leidet. Wie durch die Linse die Vergrößerung des Gesichtswinkels hervorgebracht wird, geht aus Betrachtung der Figur hervor, wenn man von den Endpunkten O_1 O_2 des Objectes und O_1^* O_2^* des virtuellen Bildes aus Strahlen nach dem in der hinteren Brennebene gelegenen Kreuzungspunkte im Auge gezogen denkt und die Grösse der dadurch gebildeten Winkel vergleicht.

Die scheinbare Vergrößerung, welche durch eine einfache Sammellinse von einem Gegenstande bewirkt wird, hängt sonach hauptsächlich von dem Grade ab, bis zu welchem derselbe, während man noch ein deutliches Bild von ihm erhält, dem Auge genähert und der Gesichtswinkel vergrößert werden kann. Sie wird daher — sofern man den erreichbaren Gesichtswinkel mit demjenigen vergleicht, welchen das betreffende Auge ohne die Linse erreichen kann — eine je nach der Beschaffenheit des Auges verschiedene, für den Kurzsichtigen mindere, für den Weitsichtigen stärkere, niemals eine absolute sein. Vergleichbare Angaben lassen sich also nur gewinnen, wenn man eine constante — mittlere — Sehweite voraussetzt, als welche man herkömmlich 250 mm annimmt.

Um die Vergrößerung — was unter Umständen wünschenswerth sein kann — zu bestimmen, brauchen wir nur auf die auf S. 17 entwickelten Grundgleichungen zurückzugreifen. Stellt x die Entfernung des Objectes von dem vorderen Brennpunkte F , x^* die Entfernung des Bildes O_1^* O_2^* von der hinteren Brennebene F^* (welche als mit der Pupille des Auges zusammenfallend angesehen werden kann), also die, mit — X zu bezeichnende Weite deutlichen Sehens dar, so haben wir gemäss der angezogenen Gleichungen

$$\begin{aligned} x^* x &= - f^2 \\ \text{oder} \quad - X x &= - f^2 \\ x &= \frac{f^2}{X} \end{aligned}$$

ferner

$$N = \frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = \frac{f \cdot X}{f^2}$$

also

$$N = \frac{X}{f}$$

Es kann sonach die Vergrößerung einer einfachen Sammellinse, oder einer als einfache Sammellinse wirkenden Linsencombination (Lupe) gefunden werden, wenn man die Weite des deutlichen Sehens durch die Brennweite der ersteren dividirt, und es hat dies für jede Sehweite

strenge Gültigkeit, sofern der hintere Brennpunkt der Linse als Ort des Auges genommen, oder die Weite des deutlichen Sehens von diesem Brennpunkte ab gerechnet wird.

Hätten wir z. B. eine Linse von 30 mm Brennweite, so ergibt sich bei der zu 250 mm angenommenen Weite deutlichen Sehens deren Vergrößerung als eine

$$\frac{250}{30} = 8,33 \text{ malige.}$$

Hieraus ist leicht ersichtlich, dass, weil X für ein bestimmt gebautes Auge eine constante Zahl ist, die Vergrößerung wächst, je kleiner der Nenner des Quotienten, d. h. je kleiner die Brennweite der Linse wird.

Die Ermittlung der Brennweite ist dieser Folgerung gemäss für eine einigermaassen genaue Berechnung der Vergrößerung des einfachen Mikroskops nicht ohne erhebliche Wichtigkeit. Wir dürfen indessen hier von den Methoden absehen, welche für diese Ermittlung in Anwendung zu bringen sind, da dieselben bei dem zusammengesetzten Mikroskope eine eingehende Darstellung erfahren werden.

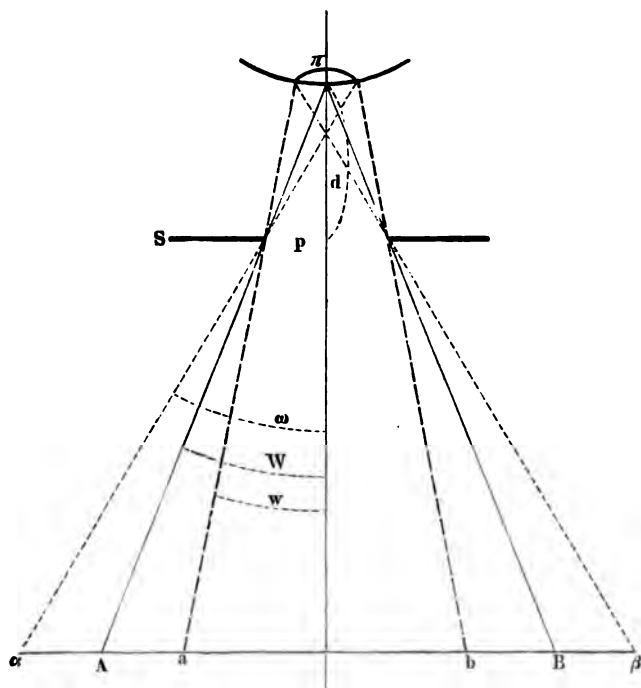
- 91 Ausser der Vergrößerung kommen bei den einfachen Linsen noch folgende optische Factoren in Betracht: Ebenung und Grösse des Sehfeldes, eine möglichst gleichmässige Vergrößerung des Gegenstandes auch in seinen Randtheilen, Grösse des Oeffnungswinkels, Grad der Helligkeit und endlich Deutlichkeit des Bildes.

Was die beiden ersteren Punkte anbelangt, so ist eine vollständige Ebenung des Gesichtsfeldes sowie eine gleichmässige Vergrößerung bei einer einfachen Linse niemals, sondern nur bei den später zu besprechenden Linsenverbindungen zu erreichen.

- 92 Die Grösse des Sehfeldes und des Oeffnungswinkels bestimmt sich bei der Lupe wie bei den Linsenverbindungen, welche dieselbe vertreten, in jeder Beziehung genau nach den Verhältnissen, welche obwalten, wenn man beim freien Sehen einen Gegenstand durch eine Blendung von gegebener lichter Oeffnung und in gegebenem Abstände vom Auge betrachtet, indem beim Sehen mittelst der Lupe das virtuelle Bild in der Weite deutlichen Sehens das Object beim natürlichen Sehen ersetzt. Die Strahlen, welche von dem virtuellen Bilde aus in das Auge gelangen, werden dabei von der lichten Fläche der Linse begrenzt, und ersteres wird gesehen, wie durch eine physische Oeffnung, welche durch die letztere dargestellt erscheint. Sucht man nun die Bedingungen für eine derartige Beobachtung darzulegen, so ergeben sich zwei Fälle, jenachdem die lichte Linsenfläche grösser oder kleiner ist als die Pupille. Im ersten Falle, welcher bei der schwachen Lupe auftritt und durch die schematische Figur 112 versinnlicht wird, besteht ein Raum $a...b$ in der Fläche des virtuellen Bildes, von dessen sämtlichen Punkten volle Strahlenkegel vom Querschnitte π in die Pupille treten — als ob die

Linsenöffnung ganz unwirksam wäre — ferner ein Raum $\alpha \dots \beta$, der die äussersten Punkte umfasst, von welchen noch Strahlen an dem Randé

Fig. 112.



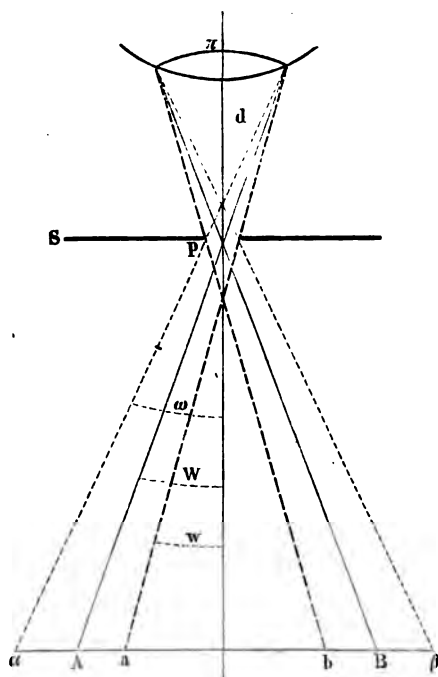
der Linsenöffnung p vorbeigehend, den äussersten Rand der Pupille π erreichen können, während alles, was ausserhalb von $\alpha \dots \beta$ liegt, völlig unsichtbar bleibt. Zwischen a und α , wie b und β liegen solche Punkte, welche noch Strahlen in einen Theil der Pupille senden können; insbesondere giebt es einen Kreis von dem Durchmesser AB , von dessen Grenzpunkten gerade noch halbe Strahlenkegel aufgenommen werden. Die halben Gesichtswinkel, unter welchen diese drei Räume sich dem Auge darstellen, sind der Reihe nach

$$tg w = \frac{p - \pi}{d}, \quad tg \omega = \frac{p + \pi}{d}, \quad tg W = \frac{p}{d}$$

wobei d die Entfernung zwischen den Mittelpunkten der lichten Linsenfläche und der Pupille p den Halbmesser der Linsenöffnung π den Halbmesser der Pupille vorstellt. Sofern man nun $tg W$ als halbes Sehfeld der Linse bezeichnet (also einen Theil des Halbschattenraumes $\alpha\alpha, b\beta$, nämlich die Grenze der halben Auslöschung hinzurechnet), steht das Sehfeld zu der freien Oeffnung $2p$ in geradem, zu dem Abstände der

Pupille von der Linsenöffnung in umgekehrtem Verhältnisse. Das Feld dagegen, in welchem unverminderte Helligkeit auftritt, ist durch w

Fig. 113.



gegeben, hängt also auch von der Weite der Pupille ab.

Der Oeffnungswinkel der in das Auge gelangenden Strahlenkegel ist in diesem Falle unabhängig von der Linsenöffnung und nur von dem Durchmesser der Pupille und von der Brennweite der Linse bedingt und wird ausgedrückt durch die Gleichung

$$tg u = \frac{\pi}{f}$$

Der zweite bei den Doublets etc. vorkommende Fall $p < \pi$ (Fig. 113) zeigt wieder drei Räume: $a \dots b$, von dessen Punkten volle Strahlenkegel von dem Querschnitte $2p$ in die Pupille treten, $\alpha \dots \beta$, von dessen Gren-

zen keine Strahlen mehr in das Auge gelangen können — $a\alpha$, $b\beta$ wieder ein Ring von stetig abnehmender Helligkeit — und AB , von dessen Grenzen noch halbe Strahlenkegel eintreten.

Die halben Gesichtswinkel, unter welchen diese Räume dem Auge erscheinen, sind jetzt

$$tg w = \frac{\pi - p}{d}, \quad tg \omega = \frac{\pi + p}{d} \quad \text{und} \quad tg W = \frac{\pi}{d}$$

letzterer und damit die Grösse des Sehfeldes ¹⁾ hängt also nur von dem Pupillendurchmesser und dem vorhin schon erklärten Abstände d ab, indem es jenem direct, diesem umgekehrt proportional ist. Aber auch die anderen Winkel werden um so mehr unabhängig von p , je kleiner p gegen π wird.

¹⁾ Die Bestimmung des Sehfeldes bezieht sich hier, wie im ersten Falle, auf eine bestimmte Stellung des Auges, denn es ist einleuchtend, dass in beiden Fällen durch Bewegung des letzteren nach und nach ein grösserer Raum übersehen werden kann.

Der Oeffnungswinkel wird in diesem Falle — unabhängig von der Pupillenweite — durch die Linsenöffnung bestimmt und durch die Gleichung

$$\operatorname{tg} u = \frac{p}{f}$$

ausgedrückt.

Wäre z. B. für eine einfache Linse $\pi = 2 \text{ mm}$ $f = 20 \text{ mm}$ gefunden, so erhielten wir

$$\operatorname{tg} u = \frac{2}{20} = 0,1$$

$$u = 5^\circ 45'$$

und daraus die Winkelöffnung

$$2u = 11^\circ 30'$$

Hätten wir dagegen für ein Doublet $p = 1 \text{ mm}$ und $f = 5 \text{ mm}$, so wäre

$$\operatorname{tg} u = \frac{1}{5} = 0,2$$

$$u = 11^\circ 30'$$

$$2u = 23^\circ$$

Die Helligkeit des Bildes ist — wenn man von dem Lichtverluste 93 durch Reflexion und Absorption absieht — für einfache und verhältnissmässig grosse Linsen unter allen Umständen gleich derjenigen des Sehens mit freiem Auge, weil, solange die Oeffnung der Linse grösser ist, als die Pupille des Auges, dieses von dem virtuellen Bilde ebenso breite Strahlenkegel empfängt, wie beim freien Sehen von dem Objecte selbst. Bei kleinen und stark abgeblendeten Linsen hängt die Helligkeit dagegen, wie aus dem eben Erörterten hervorgeht, abgesehen von der Beleuchtung des Objects, zunächst von dem lichten Durchmesser der gebrauchten Linse ab, indem man, ohne einen merkbaren Fehler zu begehen, annehmen darf, dass der Durchmesser des Lichtkegels, welcher durch die Linse von jedem Punkte des Objects ins Auge gelangt, gleich dem Durchmesser derselben sei. Da nun die Schnittflächen der Lichtkegel sowie der lichten Linsen Kreise bilden, so verhalten sich deren Flächenräume und damit die in das Auge gelangenden Lichtmengen wie die Quadrate der Linsenhalmmesser. Um aber einen Maassstab für die wirkliche Erhellung des Objectes bei der Betrachtung durch eine Linse zu haben, muss man die Erhellung desselben Gegenstandes beim Sehen mit blosssem Auge damit vergleichen. Diese gleich 1 und jene gleich H , den Linsenhalmmesser $= p$, den Halmmesser der Pupille $= \pi$ gesetzt, giebt, da beim Sehen mit blosssem Auge die Erhellung im qua-

dratischen Verhältnisse mit dem Pupillenhalmmesser zu - oder abnimmt, die Proportion

$$H : 1 = p^2 : \pi^2$$

woraus

$$H = \frac{p^2}{\pi^2}$$

Die Helligkeit des Bildes hängt — sofern von den zufälligen Lichtverlusten abgesehen wird — in jedem Falle von der Vergrößerung nur insoweit ab, als diese Vergrößerung etwa den Querschnitt der eintretenden Strahlenkegel bestimmt und zwar unabhängig von der Pupille des Auges. Wo dieser Querschnitt unmittelbar gegeben ist (wie bei den stärkeren Doublets), kommt die Vergrößerung nicht weiter in Frage. Das Gleiche ist der Fall bei den schwachen Linsen, wo jener Querschnitt ganz unabhängig von der Linse durch die Pupille des Auges gegeben erscheint. Die Helligkeit, welche eine Lupe gewährt, bleibt daher trotz der Vergrößerung des Bildes der Helligkeit des freien Sehens so lange vollkommen gleich, als p noch nicht unter π herabgeht. Von diesem Punkte ab, d. h. wenn p kleiner als π geworden ist, nimmt sie aber im quadratischen Verhältnisse von $\frac{p}{\pi}$ ab. Mit Rücksicht auf die sphärische und chromatische Abweichung muss nun die Oeffnung einer Linse immer auf einen gewissen Bruchtheil ihrer Brennweite beschränkt bleiben. Bei Linsen von kurzer Brennweite, also starker Vergrößerung wird demnach p immer kleiner sein als der Durchmesser der Pupille. Bei solchen Linsen wird daher unter sonst gleichen Umständen der Werth von H zu dem Quadrate der Vergrößerung im umgekehrten Verhältnisse stehen.

- 94 Die Deutlichkeit des Bildes ist dadurch bedingt, dass die von jedem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Lichtstrahlen wiederum genau in einem einzigen Punkte des ersten vereinigt werden. Diese Bedingung wird aber auf Grund der eben erwähnten Abweichungsfehler nicht ganz erfüllt. Es besitzt das Linsenbild daher eigentlich niemals die volle Deutlichkeit, welche beim Sehen mit blossen Auge erreicht wird. Man kann jedoch dieser Deutlichkeit mehr oder minder nahe kommen, wenn man die geeigneten Mittel anwendet, um eine Anhäufung beider Abweichungen möglichst zu verhindern. Die chromatische Abweichung lässt sich bei einfachen Linsen nicht ganz aufheben und man kann dieselbe nur dadurch vermindern, dass man den Randtheil, an welchem die Farbenzerstreuung am stärksten hervortritt, durch Bedeckung mittelst einer Blendung abschneidet. Es kommt diese Abweichung indessen bei dem einfachen Mikroskope auch wenig in Betracht, da sie hier das Bild lange nicht so stark beeinträchtigt, als wenn solche Linsen als Objectivsysteme eines zusammengesetzten Mikroskops benutzt werden. Weit wichtiger dagegen ist die Verbesserung der sphärischen Abweichung, weil eben

sie die Deutlichkeit des Bildes immer in ziemlich hohem Grade vermindert. Diese kann nun auf folgende Weise erreicht werden.

Erstens beschränkt man die Oeffnung der Linse, indem man die Randtheile, nach denen hin die sphärische Abweichung immer mehr zunimmt, während sie gegen die Mitte auf ein Minimum herabsinkt, abschneidet. In der einfachsten Weise geschieht dies durch Diaphragmen, d. h. durch in der Mitte durchbohrte, geschwärzte Plättchen. Man kann denselben Zweck indessen auch noch auf andere Weise erreichen, worauf wir bei der Betrachtung der Lupe zurückkommen werden.

Zweitens vereinigt man mehrere schwächere Linsen so mit einander, dass sie zusammen gleich einer stärker gekrümmten einfachen Linse wirken. Hierdurch wird nämlich die Vergrößerung erhöht, ohne dass die sphärische Abweichung in demselben Verhältnisse zunimmt. Nebenbei wird auch durch solche Linsencombinationen die Farbenabweichung eingeschränkt.

Sobald es darauf ankommt, ein in der ganzen Ausdehnung richtig 95 gezeichnetes, scharfes und selbst für die stärkeren Vergrößerungen noch hinreichend helles Bild zu erhalten, können, wie aus dem Voranstehenden hervorgeht, die einfachen Linsen nicht mehr zur Anwendung gelangen. Als optischer Apparat dienen dann vielmehr in der Regel Combinationen von zwei fest mit einander verbundenen planconvexen Linsen, sogenannte Doublets. Bei sehr starken, 200 - bis 300fachen Vergrößerungen, welche indessen bei der gegenwärtigen Gebrauchssphäre des einfachen Mikroskopes fast nicht mehr in Betracht kommen, werden sogar dreifache Combinationen, sogenannte Triplets, verwendet. Ja die Rücksicht auf grossen Objectabstand bei schwächeren sowohl, als bei verhältnissmässig starken Vergrößerungen macht noch zusammengesetztere Linsenverbindungen erwünscht und nothwendig.

Die Verbindung der Linsen unter einander kann in verschiedener Weise geschehen. Für unsere Zwecke wird dieselbe in der Regel nur in der Art ausgeführt, dass die Linsen einen geringeren Abstand von einander erhalten, als ihre Brennweite beträgt. Ob dieselben dabei mit ihren beiden ebenen Seiten nach unten gewendet sind, wie dies bei dem ursprünglichen Wollaston'schen Doublet der Fall, oder ob sie, wie bei den Zeiss'schen und anderen neueren Doublets, mit ihren convexen Seiten einander zugekehrt stehen, ist dabei gleichgültig, wenn nur das Ziel einer möglichsten Verbesserung der beiden Abweichungen, sowie einer grossen Oeffnung und damit parallel gehenden grösseren Lichtstärke und eines ausgedehnteren Gesichtsfeldes erreicht wird.

Wie die Verbindung zweier planconvexen Linsen in Bezug auf die Verkürzung der Brennweite und damit auf die Steigerung der Vergrößerung wirkt, geht aus der Betrachtung der Gleichungen zur Bestimmung der Hauptbrennweite hervor. Diese zeigen, dass die Brennweite der Combination um so kleiner wird, je mehr die beiden Linsen einander genähert sind, und dass sie dann am kleinsten ist, wenn sich dieselben

berühren. In diesem letzteren Falle ist die Brennweite eine solche, dass beide Linsen zusammen ebenso stark vergrössern, wie eine biconvexe Linse, deren beide Krümmungshalbmesser den Krümmungshalbmessern der beiden einzelnen Linsen gleich sind.

Die gemeinschaftliche Brennweite zweier planconvexer Linsen mit verschiedenen Brennweiten wird nun unter Voraussetzung der Berührung beider gemäss der früher entwickelten Gleichungen:

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_2 + f_1} \text{ oder } \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

gefunden, wenn man das Product der beiden letzteren durch deren Summe dividirt, ihr reciproker Werth aber, wenn man die reciproken Werthe der beiden Einzelbrennweiten addirt.

Stehen die beiden Linsen nicht mit einander in Berührung, sondern befinden sie sich in irgend einer Entfernung von einander, so erhält man, gemäss den Grundformeln, deren gemeinschaftliche Brennweite, wenn man das Product aus den Brennweiten der beiden Linsen durch die um den Linsenabstand verminderte Summe dieser Brennweiten dividirt.

Es ist sonach

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

Wäre z. B. $f_1 = 25$, $f_2 = 15$, $d = 0$ für den ersten, $= 10$ mm für den zweiten Fall, so wird

$$f = \frac{25 \cdot 15}{25 + 15} = 9,37 \text{ mm und}$$

$$f = \frac{25 \cdot 15}{25 + 15 - 10} = 12,5$$

Die Vergrösserung der Linsenverbindung ergibt sich, sobald die Brennweite bestimmt ist, aus der oben für die einfache Linse aufgestellten Formel. Es ist demnach im ersten Falle

$$N = \frac{250}{9,37} = 27 \text{ (etwa)}$$

im anderen Falle

$$N = \frac{250}{12,5} = 20$$

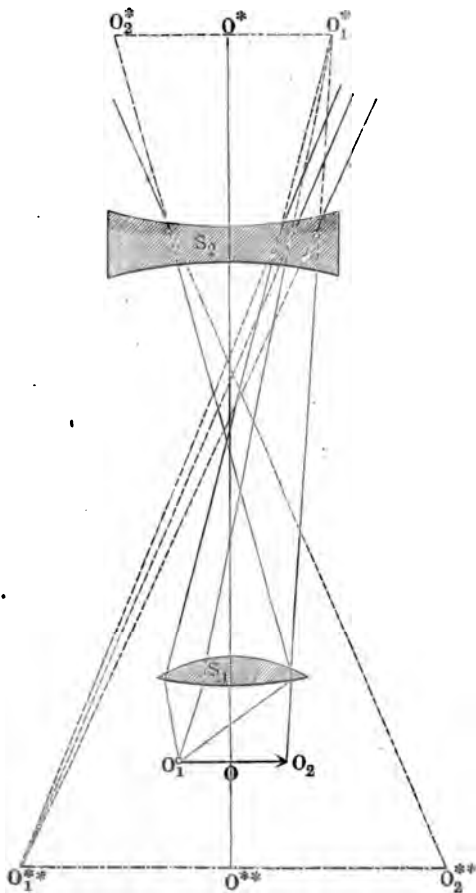
Sehfeld und Oeffnungswinkel des Doublets wurden schon unter Nr. 87 betrachtet und verweisen wir deshalb auf das dort Gesagte. Praktisch kann der letztere in der gleichen Weise gefunden werden, wie bei den Objectivsystemen des zusammengesetzten Mikroskopes und werden wir bei diesem die betreffenden Methoden besprechen.

Ausser den oben genannten besitzen die Doublets auch noch den Vortheil, dass das Gesichtsfeld weit mehr geebnet erscheint, als bei einer gleichstarken einfachen Linse, und dass dasselbe aus diesem Grunde nicht nur eine absolute, in der weiten Oeffnung begründete, sondern ausserdem

eine relative Vergrößerung erlangt, indem auch an den Randtheilen das Bild hinreichend scharf und deutlich gezeichnet ist.

Die zur Erzielung grossen Objectabstandes bei verhältnissmässig 96 starker Vergrößerung in Anwendung gebrachten Linsencombinationen,

Fig. 114.



welche zuerst von Chevalier eingeführt wurden, stellen eigentlich schon ein eigenartiges zusammengesetztes Mikroskop vor. Dieselben bestehen aus einer oder aus mehreren miteinander vereinigten achromatischen Linsen, welche das Objectiv bilden, und einer Concavlinse, welche als Ocular dient. Die von den einzelnen Objectpunkten $O_1 O_2$ (Fig. 114) ausgehenden, nach den Bildpunkten $O_1^* O^* O_2^*$ convergirenden Strahlenbündel werden dabei vor ihrer Vereinigung von der Concavlinse S_1 aufgenommen und zu divergirenden Bündeln umgewandelt, welche in der Weite deutlichen Sehens zur Vereinigung gelangen und in dieser ein vergrössertes aufrechtes Bild

$$O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$$

des Objectes erzeugen. Die Brennweite des Gesamtsystems wird hier, da f_2

negativ ist, gefunden durch die Gleichung

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_2 - f_1 + d}$$

Für diese Linsenverbindung wird das von dem Concavocular in dem Inneren des Rohres entworfene virtuelle Bild der Iris des Objectives zur Austrittspupille des ganzen Systemes und wirkt ganz so, wie die Linsenöffnung bei der gewöhnlichen Lupe.

Zweites Capitel.

Einrichtung des einfachen Mikroskopes.

97 Jede einfache Linse sowohl, als jede Linsencombination, die gleich einer einfachen Linse wirkt, kann als einfaches Mikroskop gebraucht werden. In der Praxis unterscheidet man indessen zwischen Lupe und einfachem Mikroskop im engeren Sinne. Unter der ersteren versteht man in der Regel die schwächer vergrößernden Linsen, die bei ihrer Anwendung kein besonderes Stativ mit Beleuchtungsapparat, Objecttisch und Einstellvorrichtung verlangen, während man unter dem letzteren solche Instrumente einbegreift, bei denen neben schwächeren auch stärker vergrößernde Linsen und Linsencombinationen an einem besonderen, mehr oder minder vollkommen eingerichteten Stativ gebraucht werden. Obwohl dieser Unterschied ein ziemlich willkürlicher ist, so wollen wir ihn doch hier um der Praxis willen festhalten.

1. Die Lupe.

98 Die Lupe ist ein für den Mikroskopiker höchst wichtiges Werkzeug, welches namentlich im Stande ist, denselben bei der Voruntersuchung seiner Objecte, sowie bei deren Vorbereitung zu der eigentlichen Untersuchung wesentlich zu unterstützen. Es sollte dieser daher streben, das Instrumentchen immer in möglichster Vollkommenheit zu besitzen und seine Ansprüche an dasselbe nie zu sehr herabstimmen. Obwohl die Anforderungen, welche man an die Lupe stellt, sich je nach den speciellen Zwecken, zu denen sie dienen soll, verschieden gestalten, so lassen sich doch einige allgemeine Bedingungen hervorheben, denen eine solche jedenfalls entsprechen soll.

Dieselbe soll bei einer fünf- bis zwanzigfachen Vergrößerung erstens ein recht scharfes und deutliches Bild gewähren, zweitens ein grosses Gesichtsfeld und drittens einen solchen Abstand vom Objecte besitzen, dass diesem nicht allein kein Licht entzogen wird, sondern dass man

auch ohne Einschränkung unter ihr Zergliederungen mittelst kleiner Messerchen oder mittelst der Präparirnadeln vorzunehmen im Stande ist.

Was nun zunächst den optischen Apparat der Lupe betrifft, so geht aus dem Früheren klar hervor, dass die beiderseits gleich stark gekrümmten Sammellinsen geradezu verworfen werden müssen, weil dieselben bei der starken sphärischen Abweichung nur für den mittleren Theil des Gesichtsfeldes ein scharfes und tadelloses Bild gewähren, während dasselbe gegen die Ränder zu mehr und mehr verschwommen und verzerrt erscheint. Weit geeigneter sind die einfachen Linsen von der sogenannten besten Form und fast gleich gut die planconvexen Linsen, mit welchen man für alle Fälle ausreicht, wo eine nur schwache Vergrößerung gefordert wird. Will man die Vergrößerung verstärken, so kann man zu diesem Zwecke zwei planconvexe Linsen übereinander schieben.

Bei dem Gebrauche der planconvexen Linse als Lupe hat man besonders auf ihre relative Stellung gegen das Object zu achten. Für genaue Untersuchungen oder Zergliederungen muss dem letzteren immer die ebene Seite zugewendet werden, weil dann die sphärische Abweichung am meisten beschränkt erscheint. Ist bei dieser Stellung auch das Gesichtsfeld etwas kleiner, als wenn man die gekrümmte Seite gegen das Object kehrt, so gewähren dagegen alle in dem Felde befindlichen Theile des Gegenstandes ein gleich scharfes Bild. Werden zwei planconvexe Linsen übereinandergeschoben, wie es bei den gewöhnlichen Taschen-Doppellupen geschieht, so müssen entweder beide erhabenen Flächen gegeneinander, oder es muss die erhabene Fläche der einen Linse der

Fig. 115.

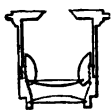


Fig. 116.

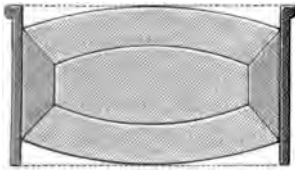


ebenen Fläche der zweiten zugewendet sein. Auf dem letzteren Principe, d. h. auf der Verbindung zweier planconvexer Linsen in der Art der später näher zu betrachtenden Doublets beruhen die Fraunhofer'sche (Fig. 115) und die Wilson'sche (Fig. 116) Lupe, welche

Hartnack, Benèche, Zeiss u. A. zu den Preisen von 6 Mark liefern. In beiden sind die gekrümmten Flächen der planconvexen Linsen einander zugekehrt, bei der ersten einander mehr genähert, bei der anderen ferner gestellt und fest mit einander verbunden. Die letztgenannten Lupenarten geben indessen auch nur für schwache Vergrößerungen ein ganz fehlerfreies Bild. Für stärkere Vergrößerungen eignet sich dagegen die sogenannte aplanatische Lupe von Plössl besser, welche aus zwei achromatischen Linsen besteht, die entweder zusammen oder jede für sich gebraucht werden können und welche je nach Grösse mit 10 bis 20 Mark berechnet wird. Ähnliche Lupen verfertigen auch Benèche, Schieck und Zeiss zu den Preisen von 9 bis 12 Mark.

Die aplanatische Lupe von Steinheil (Fig. 117) ist aus drei miteinander verkitteten Linsen derart zusammengesetzt, dass die mittlere Linse eine biconvexe Crownglaslinse bildet, an welche sich noch

Fig. 117.



oben und unten zwei symmetrische Menisken aus leichtem Flintglas anschliessen. Hierdurch wird ein über das ganze Sehfeld vollkommen ebenes, unverzerrtes und farbenfreies Bild erzielt, während der Objectabstand ein verhältnissmässig grosser bleibt und das Präpariren unter der Lupe gestattet. Steinheil liefert sieben ver-

schiedene Nummern von je 95, 61, 41, 27, 18, 13 und 9 mm Brennweite mit 2-, 3-, 5-, 8-, 12-, 16-, 24maliger Linearvergrösserung zu folgenden Preisen: in einfacher Fassung die drei ersten zu 42, 18, 12 Mark, die übrigen zu je 11 Mark, in Fassung zum Einschlagen zu 45, 25, 18 und 15 Mark. Bei Dr. Zeiss beträgt der Preis der drei 6-, 10- und 20mal vergrössernden Formen mit grossen Linsen, grossem Gesichtsfeld und Messingfassung je 12 Mark.

Aehnlich wie die aus zwei Linsen zusammengesetzten wirken einige andere, aus einem einzigen Glasstücke verfertigte Lupen, deren beide gegenüberstehende Seiten Kugelhauben von gleichem oder verschiedenem Krümmungshalbmesser bilden. Die Cylinderlupe (Fig. 118) besteht aus einem walzenförmigen Glasstücke, dessen beide Enden Kugelabschnitte von verschiedener Krümmung bilden. Wendet man die schwächer gekrümmte Oberfläche dem Objecte zu, so giebt diese Lupe ein von der sphärischen Abweichung ziemlich freies Bild, indem durch die grössere Entfernung der beiden Flächen von einander die Randstrahlen in erforderlicher Weise abgeschnitten werden.

Noch etwas schärfere und reinere Bilder liefern die Coddington'sche und die Brewster'sche Lupe. Bei ihnen gehören die beiden

Fig. 118.



Fig. 119.



Fig. 120.



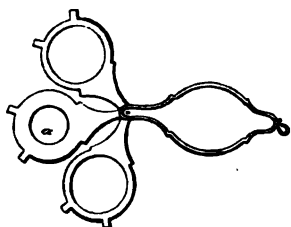
brechenden Flächen Kugeln von gleichem Halbmesser an. Zur Beschränkung der Oeffnung in Rücksicht auf die Abweichungen ist bei der einen (Fig. 119) der mittlere Theil rinnenförmig eingeschliffen, bei der anderen (Fig. 120) eine gerade ringförmige Vertiefung eingeschnitten. Die drei zuletzt genannten Lupen theilen die gleichen Nachteile mit einander, indem sie erstlich eine starke Annäherung an das Object verlangen und zweitens ein sehr beschränktes Gesichtsfeld besitzen. Für die Präparation kommen dieselben daher gar nicht in Betracht, dagegen haben

sie den Vorthail, dass sie mit dem unteren Theile in Wasser getaucht werden können, um in demselben befindliche Gegenstände der Beobachtung zu unterwerfen.

Die Fassung der Lupe muss derart beschaffen sein, dass man das Auge der Linse möglichst nähern kann, es darf erstere daher nicht zu weit über die letztere hervorragen. Eine schüsselförmige Fassung, wie man sie bei den Doublets anwendet, möchte daher für die einfachen Linsen oder für jene Doppellinsen, die einander mehr genähert sind, die

empfehlenswerthe sein, während die weiter von einander abstehenden Doppellinsen sowie die Cylinderlupen eine röhrenförmige Fassung verlangen.

Fig. 121.



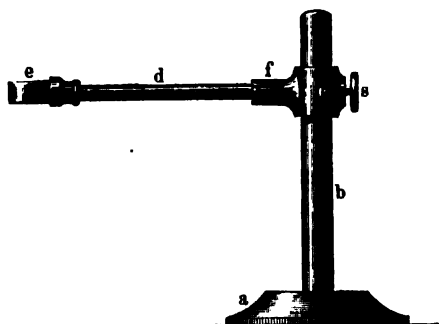
Die gewöhnlichen Hand- oder Taschenlupen (Fig. 121) werden am geeignetsten in Form der Lorgnette gefasst, wobei Einrichtung getroffen sein soll, dass man entweder nur eine einzelne Linse benutzen oder zwei bis drei Linsen übereinanderschoben kann.

Für die Präparirlupen, die man niemals in freier Hand hält, sondern auf einem passenden Träger befestigt gebraucht, muss die Fassung mit Rücksicht auf diesen letzteren eingerichtet werden. Am besten ist dieselbe entweder ganz oder doch am unteren Ende walzenförmig, um von einem Ring des Trägers aufgenommen werden zu können. Indessen kann sich auch an der Seite der Fassung eine runde oder viereckige Oeffnung befinden, vermittelt der die Lupe auf einem entsprechenden Stäbchen verschiebbar ist, oder es mag dieselbe einen seitlichen Fortsatz haben, den man genau in eine passende Oeffnung des Trägers einfügt.

Der Lupenträger ist am besten möglichst einfach eingerichtet. Auf einen besonderen Objecttisch, sowie auf die Beleuchtung des Objects von unten kann man bei demselben um so mehr verzichten, als der ausübende Mikroskopiker für Präparation feinerer Objecte immer ein einfaches Mikroskop zur Hand haben wird, an dessen Stativ er leicht und mittelst einer einfachen Vorrichtung auch seine Lupe anzubringen vermag. Das Haupteigenthum des Lupenträgers besteht darin, dass er eine leichte und sanfte Auf- und Abbewegung der Lupe gestattet, während diese aus der einmal gegebenen Stellung nicht durch jede leichte Berührung verrückt werden kann. Sehr gut genügt diesen Bedingungen folgende einfache Vorrichtung, Fig. 122 (a. f. S.). An einer runden, in den schweren gusseisernen Fuss eingelassenen Messingstange (*b*) bewegt sich mittelst der durch eine Schraube *s* festzustellenden Hülse *c* der Metallstab *d*, welcher in dem Ringe *e* die Lupe aufnimmt und so eine sanfte Auf- und Abbewegung der letzteren, sowie ein hinreichend festes Beharren in der

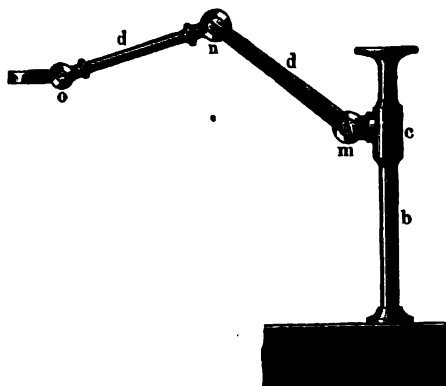
gegebenen Stellung gestattet. Um auch die hier und da ganz erwünschte Bewegung der Lupe in der horizontalen Ebene nicht auszuschliessen, kann man mit der Hülse *c* eine zweite, etwas stark schliessende, federnde

Fig. 122.



Hülse *f* verbinden und in diese den runden Stab *d* einstecken. Das Einzige, was diesem Lupenträger abgeht, ist eine möglichst vielseitige, indessen nur selten vermisste Beweglichkeit des horizontalen Armes. Um diese zu erlangen, wählt man zweckmässig folgende Einrichtung (Fig. 123), die sich recht gut bewährt hat. Der an dem Stabe *b* mittelst einer starken federnden Hülse *c* senkrecht bewegliche Arm *d* erhält ein Charniergelenk in der Nähe der Hülse *c* bei *m*, und dann ein zweites bei *n*, während zur horizontalen Stellung der Lupe ein Kugelgelenk bei *o* angebracht wird.

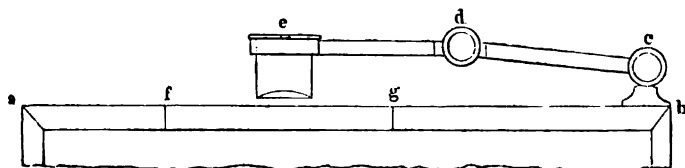
Fig. 123.



Um dem Objecte eine über die Fläche des Arbeitstisches erhöhte, zur Präparation bequeme Lage zu geben, benutzt man am besten einen 15 bis 20 cm langen, etwa 10 cm breiten und 6 bis 8 cm hohen Klotz von glattem Holze, oder lässt gleich in diesen (Fig. 123) den Stab *b* ein.

Auch der von H. v. Mohl empfohlene Lupenträger (Fig. 124) erfüllt recht gut seinen Zweck und gestattet ausserdem, ohne erst das Object unter ein zweites Instrument bringen zu müssen, die Beleuchtung des Gegenstandes von unten, d. h. mittelst durch-

Fig. 124.



dem, ohne erst das Object unter ein zweites Instrument bringen zu müssen, die Beleuchtung des Gegenstandes von unten, d. h. mittelst durch-

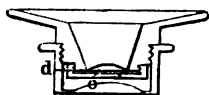
fallenden Lichtes. Ein etwa 15 bis 20 cm langes, 80 cm breites und hohes Kästchen *ab* ist an der dem Fenster zugewandten Seite offen und enthält einen flachen, mittelst eines an der rechten Seite hervorragenden Knopfs um seine Achse beweglichen Spiegel. Bei *fg* hat dasselbe eine Oeffnung, welche mit einer Glasplatte verschlossen ist, auf welche die Objecte gelegt werden, und die Lupe *e* endlich wird von einem linkerseits angeschraubten, mit zwei Gelenken versehenen Arm *cd* getragen. Will man hier bei auffallendem Lichte präpariren, so braucht man nur die Glasplatte durch eine geschwärzte Platte zu ersetzen, auf welche der Objectträger zu liegen kommt. Ausser den beschriebenen giebt es noch eine Menge anders eingerichteter Lupenträger, welche ganz gut ihrem Zweck entsprechen. Es kommt hierbei gar vieles auf die Individualität des Beobachters und dessen specielle Wünsche an. Wer einen einigermaassen gewandten Mechaniker in seiner Nähe hat, wird sich daher leicht seinen Lupenträger nach eigener Idee einrichten lassen können, weshalb ich alle weiteren derartigen Apparate zu beschreiben unterlasse.

II. Das einfache Mikroskop (Präparirmikroskop).

Zu dem einfachen Mikroskope rechnet man alle diejenigen vorzugs- 101
weise zur Präparation dienenden Instrumente, bei denen stärkere, mittelst einfacherer oder zusammengesetzterer Linsenverbindungen hervorgebrachte, etwa 15- bis 100- und 150fache Vergrößerungen in Anwendung kommen und wo, bei einem vollkommeneren Stativ mit Objecttisch, Einrichtungen zur Beleuchtung mittelst durch- und auffallenden Lichtes, sowie zur groben, oder zur groben und feinen Einstellung vorhanden sind.

Was die Fassung der Linsen bei Doublets betrifft, so eignet sich dafür, schon wegen der nothwendigen Annäherung des Auges, die schüsselförmige Messingfassung am besten, in welche die einzelnen Linsen fest eingesetzt und durch eine Verschraubung in bestimmtem Abstände mit einander verbunden sind (Fig. 125). Die Blende ist in der Regel mit der Fassung vereinigt und liegt entweder dicht hinter der vorderen oder dicht vor der hinteren Linse.

Fig. 125.



Die auf S. 175 besprochene zu dem einfachen Mikroskope zu rechnende Linsenverbindung ist in neuerer Zeit von Brücke bei der nach ihm benannten Lupe (Fig. 126, a. f. S.) wiederum in Anwendung gebracht worden. Bei diesem Instrument, dessen Formen von schwächerer (5- bis 30 maliger) Vergrößerung in Bezug auf Sehfeld und Oeffnungswinkel den unter Nr. 87 betrachteten ersten Fall $p > \pi$ repräsentiren, ist

nämlich mit einem aus zwei planconvexen, mit ihren erhabenen Flächen einander zugekehrten Linsen bestehenden Doublet, das dem Object zugewendet ist, eine dem Auge genäherte, in einem kurzen Auszugrohre eingeschraubte Concavlinse so verbunden, dass sich beide in einer Entfernung von 40 bis 60 mm von einander befinden. Der Focalabstand erreicht bei dieser Einrichtung etwa 80 bis 100 mm, die Vergrösserungen

Fig. 126.



wechseln von 4- bis 30fach und das Sehfeld hat je nach der Grösse der Objectivlinse eine Ausdehnung von 10 bis 15 mm im Durchschnitt. Die Vorrichtung in dieser Form wird zur Präparation immer nur eine an gewisse Objecte beschränkte Anwendung finden, indem der allerdings wünschens- und schätzenswerthe Vortheil des grossen Focalabstandes durch die neben einer stets nur mässigen Vergrösserung hergehende, geringe Ausdehnung des Gesichtsfeldes wieder aufgehoben wird.

Dr. Zeiss führt die Brücke'sche Lupe in drei Formen. Die eine vergrössert 4- bis 5fach und kostet 11 Mark, die andere 10- bis 12fach vergrössernde hat grosse Linsen und kostet 30 Mark, die dritte hat zwei achromatische Objectivlinsen, welche zusammen oder die obere für sich gebraucht werden können. Im ersten Falle beträgt die Vergrösserung 30, im anderen 15 und es stellt sich der Preis auf 21 Mark. Auch Dr. Hartnack, Schmidt und Haensch, sowie Plössl und Reichert führen die Brücke'sche Lupe zu je 16, 36 (mit Stativ), 24 und 50 (auf Stativ) Mark.

Die Brücke'sche Lupe wird mit den auf Seite 180 betrachteten Lupenträgern verwendet, welche jedoch wegen der Schwere der ersteren höchst stabil sein müssen.

102 Das Stativ des einfachen Mikroskopes lässt mancherlei Abänderungen zu. Die Hauptgrundsätze indessen, welche bei seinem Bau in Folge des Zweckes, zur Präparation gröberer sowohl, als feinerer Objecte zu dienen, maassgebend sein dürften, lassen sich im Folgenden zusammenfassen.

Erstens: Die Höhe soll weder zu bedeutend noch zu gering sein, weil in dem ersteren Falle die Hand zu weit von dem Arbeitstische abstehen würde, was auf die Präparation störend einwirkt, im anderen Falle aber ein zu starkes Neigen des Kopfes nöthig wäre, was wiederum vielerlei Unbequemlichkeit nach sich zieht. Nach meinen Erfahrungen ist, wenn das Mikroskop auf seinem Kästchen oder auf dem gleich zu beschreibenden Präparirklotz aufgeschraubt ist, eine Höhe des Objecttisches von etwa 150 mm über dem Arbeitstische für Kopf und Hand die bequemste.

Zweitens muss der Objecttisch feststehen und eine solche Grösse haben, dass man auf demselben leicht alle nöthigen Präparationen vornehmen, Objectträger von erforderlicher Grösse benutzen und dieselben ohne Beschränkung drehen kann. Unter 50 bis 60 mm im Quadrat sollte derselbe eigentlich nie gross sein. Er ist am besten eben und wenn

Federklammern angebracht sind, so müssen diese zum Einstecken am hinteren Ende eingerichtet und nicht auf dem Tische festgeschraubt sein. Die Oeffnung ist unter allen Umständen hinreichend, wenn sie 15 bis 20 mm Durchmesser hat.

Drittens bedarf das einfache Mikroskop eines geeigneten Beleuchtungsapparates, der auch bei stärkeren Vergrößerungen noch hinreichend Licht gewährt. Am zweckmässigsten ist ein Doppelspiegel, oder auch ein ebener Spiegel, über welchem, um für die starken Vergrößerungen noch hinreichende Erhellung zu erhalten, eine nach der Seite zu drehende Sammellinse angebracht ist.

Viertens muss das Stativ eine hinreichend bequeme und solide Vorrichtung zur Einstellung besitzen. Für die meisten Fälle genügt hier eine grobe Einstellung, welche entweder durch Zahn und Trieb oder durch Verschiebung des Linsenträgers in senkrechter Richtung bewirkt werden kann. Will man stärkere Vergrößerungen gebrauchen, so ist es gut, wenn auch eine feine Einstellschraube angebracht ist. In jedem Falle muss aber mittelst der Einstellvorrichtung die Linse dem Object genähert und von demselben entfernt, niemals der Objecttisch bewegt werden.

Von den älteren Formen des einfachen Mikroskopes sind mir nur 103 die von Chevalier in Paris und von Körner in Jena, sowie von Plössl in Wien bekannt. Alle drei stimmen in ihrer Einrichtung so ziemlich überein und haben auch denselben Fehler, dass die Einstellung durch Auf- und Abwärtsbewegen des Objecttisches bewerkstelligt wird (Fig. 127).

Fig. 127.

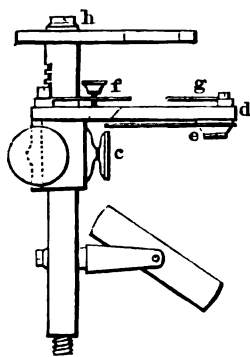
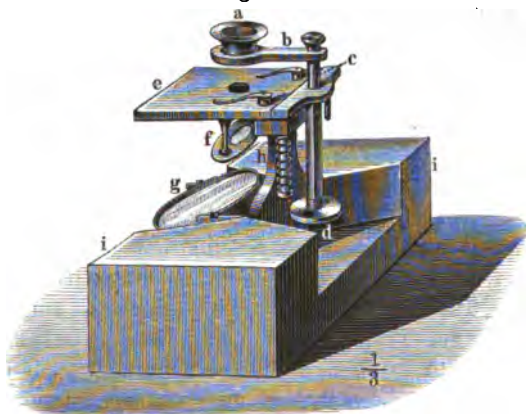


Fig. 128.



Unter den neueren einfachen Mikroskopen besitzen die beiden von Carl Zeiss in Jena construirten Formen und deren Nachbildungen eine allen Anforderungen entsprechende Einrichtung, weshalb ich mich hier auf deren Beschreibung beschränken und etwaige geeignete Abänderungen nur kurz erwähnen will. Das ältere „kleine Präparirmikroskop“

Nr. 81 des neuesten Preisverzeichnisses ist das einfachere. Die geschweifte Säule *a*, Fig. 128 (a. v. S.), trägt den unbeweglichen Objecttisch *e*, nebst zwei Fortsätzen, in welche sich die beiden der feinen Einstellung dienenden Stifte einfügen, von welchen der längere von einer die feine Einstellung regulirenden, unten durch eine Schraube festgehaltenen Spiralfeder umgeben ist. Die grobe Einstellung wird durch Verschiebung der Stahlstange bewirkt, welche den Arm für die Aufnahme der Doublets trägt, wogegen die feine Einstellung mittelst der Schraube *d* vorgenommen wird, welche die Hülse mit dem an ihr befestigten Messingstück, in welchem der Linsenträger enthalten ist, hebt und senkt. Die Beleuchtung wird von dem Planspiegel *g* und der zwischen ihm und dem Objecttische angebrachten Sammellinse *f* bewirkt, welche zur Seite gedreht werden kann.

Um die Hände beim Präpariren bequem aufstützen zu können, wird auf Wunsch ein schwerer hölzerner Klotz *i* beigegeben (Fig. 128), welcher in der Mitte das Mikroskop aufgeschraubt erhält und daselbst wegen des Beleuchtungsapparates und der Einstellschrauben etwas eingeschnitten wird. Die rechte und linke Seitenfläche fallen schief ab, indem sie an den dem Objecttisch zugewandten Seiten eine demselben bis auf etwa 2 cm nahe kommende Höhe haben, an den äusseren Enden dagegen nur noch etwa 4 bis 5 cm hoch sind, die Länge der Seitenflächen beträgt etwa 25, die Breite 15 cm und sämtliche Kanten sind etwas abgerundet.

Zu diesem Mikroskope gehören als Präparirmikroskop drei Doublets mit 15-, 30- und 60facher Vergrösserung und von ganz ausgezeichnete Wirkung. Sein Preis stellt sich auf 33 Mark, mit Zugabe des in der Figur gezeichneten Präparirklotzes auf 36 Mark. Auf Verlangen giebt Herr Zeiss aber auch noch ein sehr schönes Doublet mit 120facher Vergrösserung bei und es kostet das so ausgerüstete und mit Spiegeleinrichtung für schiefe Beleuchtung versehene Instrument 42 beziehentlich 45 Mark.

Das „grosse Zeiss'sche Präparirmikroskop“ (Nr. 79 des Kataloges), welches bereits vielfache Nachahmung gefunden, beseitigt die den kleineren mit Doublet versehenen Instrumenten anhaftenden Mängel: verhältnissmässig kleiner Objectabstand bei schon mittleren Vergrösserungen und niedere eine unbequeme Kopfhaltung veranlassende Stellung der Linsensysteme, vollständig. Das solide Stativ ist dem Nacet'schen ähnlich (Fig. 129). Der feststehende Objecttisch ist ausreichend gross und befindet sich in zum Präpariren bequemer Höhe. Die Einstellung geschieht mittelst Zahn und Trieb und die Beleuchtung wird durch einen grossen, nach allen Seiten beweglichen, auch zur Beleuchtung von oben verwendbaren Hohlspiegel vermittelt. Zum Auflegen der Hände werden dem Objecttische zwei mit Leder überzogene geneigte Flügel eingeschoben. Der optische Apparat besteht aus einer dreifachen Linsencombination als Objectivsystem und einem Concavocular, welches durch ein 35 mm langes Rohr mit den ersteren verbunden wird und es repräsentirt derselbe als Ganzes benützt eine Brücke'sche Lupe, bei welcher $p < \pi$, also das

Sehfeld durch letzteres, der Oeffnungswinkel durch ersteres bestimmt wird. Das Ocular kommt etwa 70 bis 80 mm über dem Objecttische zu

Fig. 129.



stehen und gestattet eine bequeme Kopfhaltung. Die erwünschten Vergrößerungen werden nun auf folgende Weise herbeigeführt.

1. Man benutzt das untere Linsensystem für sich nach Abschrauben des Rohres und zwar entweder die obere Linse allein, die beiden oberen Linsen zusammen, oder das ganze System. Man hat dann die Wirkung der Doublets mit je 15- bis 20- und 30facher Vergrößerung.

2. Durch Verbindung der drei Linsen in der Combination wie unter 1. mit dem Ocular, wodurch die Vergrößerungen 40, 60 und 100 mit Objectabständen von je 27, 16 und 9 mm erreicht werden.

Der Preis des Instrumentes, welches sehr zweckmässig in einem Schränkchen verpackt ist, beträgt 80 Mark, der des Linsensystemes allein 30 Mark.

Diesem Instrumente sind die Präparirmikroskope von Schieck, Kloenne und Müller, Leitz, Seibert und Krafft, Reichert, Plössl, E. Boecker u. A. im Wesentlichen nachgebildet. Dieselben

Fig. 130.



sind mit Ausnahme des Plössl'schen, welches einen schweren vierseitigen Metallfuss besitzt (Fig. 130), entweder auf einen dem oben beschriebenen ähnlichen Klotz, oder den Kasten aufgeschraubt (Fig. 131, Boecker's Präparirmikroskop darstellend), der an Stelle des Präparirklotzes zum Auflegen der Hände dient und beiderseits zwei Schiebelaufen zum Aufbewahren der Linsensysteme und anderen Utensilien enthält, oder es finden die dem Objectische eingeschobenen Flügel — wie bei dem grossen Präparirmikroskop

von Kloenne und Müller — ihre Stütze auf dem Arbeitstische, in dem sie rechtwinklig nach unten gebogen sind.

Fig. 131.

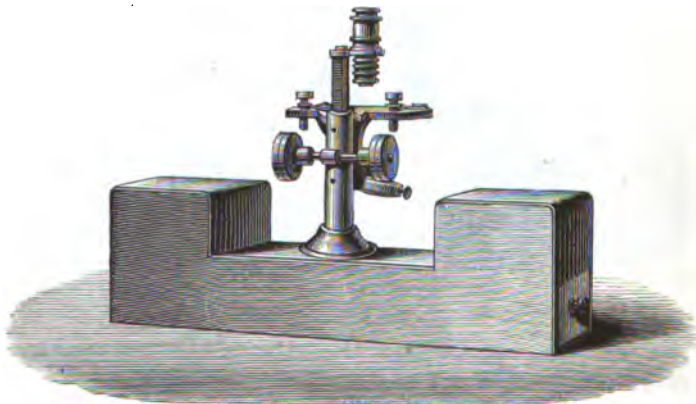


Fig. 132.



Boecker hat Einstellung durch Frictionsrollen angewendet, welche sich recht gut bewährt, andere haben Zahn und Trieb. Kloenne und Müller geben dem Systeme einen abschraubbaren Griff bei, um es bequem als Handlupe benutzen zu können, während es mittelst einer Doppelhülse in einen 80 mm hohen Algensucher mit Objecttischchen (Fig. 132) verwandelt werden kann. Die Preise betragen je nach der Ausstattung 40 bis 60, bei Schieck 75 und 120 Mark.

Zweiter Abschnitt.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

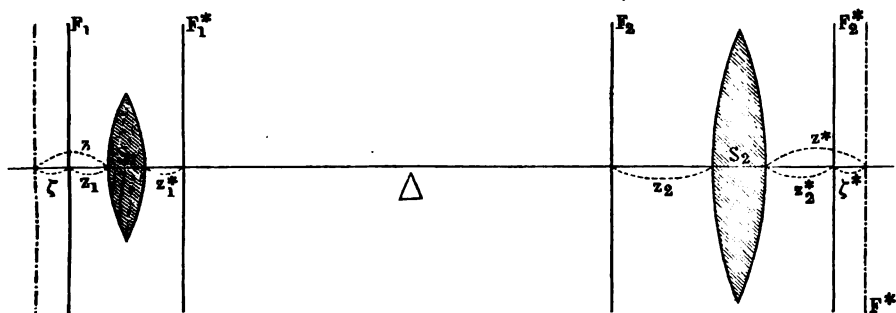
Erstes Capitel.

Theorie des zusammengesetzten Mikroskopes.

I. Allgemeiner Typus und Constanten.

Das zusammengesetzte Mikroskop bildet ein optisches System, welches aus zwei collectiven Linsensystemen S_1 und S_2 (Fig. 133) besteht, durch welche der je einem von ihnen zugehörige Objectraum vor seiner vorderen Brennebene umgekehrt, derjenige hinter derselben

Fig. 133.



aufrecht abgebildet wird. Beide Linsensysteme werden durch eine Röhre: den Tubus, mit einander verbunden und das dem Objecte zugewendete S_1 wird als Objectivsystem (Objectiv), das dem Auge zugekehrte S_2 als Ocular bezeichnet.

105 Die Constanten und Cardinalpunkte des Gesamtsystems, sowie die Bedingungen der dioptrischen Wirkungsweise können aus den allgemeinen Zusammensetzungsformeln V und VI (S. 26 und 27) genau bestimmt werden.

Bezeichnen F_1, F_1^* die beiden Brennebenen des Objectivsystems, F_2, F_2^* diejenige des Oculars, ferner

f_1 die Brennweite des Objectivsystems,

f_2 " " " Oculars,

Δ den Abstand der hinteren (oberen) Brennebene, F_1^* des Objectivsystems von der vorderen (unteren) Brennebene, F_2 des Oculars, welcher als die reducirte oder optische Tubuslänge bezeichnet werden soll,

f die Brennweite des ganzen Mikroskopes,

z_1 den Abstand der vorderen Brennebene des Objectivsystemes von der Vorderfläche desselben,

z_2^* den Abstand der hinteren (oberen) Brennebene des Oculars von der Hinterfläche desselben,

ξ den Abstand der vorderen Brennebene des Mikroskopes von der Brennebene des Objectivsystems,

ξ^* den Abstand der hinteren Brennebene des Mikroskopes von der hinteren Brennebene des Oculars,

z und z^* die Abstände der vorderen und hinteren Brennebene des Mikroskopes je von der vorderen und hinteren Linsenfläche des Objectivsystems und Oculars, endlich

X die Weite deutlichen Sehens,

und wird f_1, f_2, Δ, z_1 und z_2^* durch Beobachtung und Messung bestimmt, so können f, ξ und ξ^* , so wie z und z^* , d. h. die Brennweite des ganzen Mikroskopes, sowie die Lage seiner Cardinalpunkte, d. h. seiner Brennpunkte auf der Achse und damit der freie Objectabstand und der Abstand des Augenpunktes von dem Ocular, welche beide annähernd dem Werthe von z und z^* gleich sind (die Einstellungsebene liegt etwa in der vorderen, der Augenpunkt in der hinteren Brennebene des ganzen Instrumentes), endlich die Gesamtvergrößerung und die Grösse des Sehfeldes durch Rechnung gefunden werden.

Es ist dann nämlich

$$f = -f^* = -\frac{f_1 f_2}{\Delta}$$

$$\xi = -\frac{(f_1)^2}{\Delta}, \xi^* = \frac{(f_2)^2}{\Delta}$$

$$z = \xi + z_1, z^* = \xi^* + z_2^*$$

$$N = \frac{X}{f}$$

Für die Bestimmung der Brennweiten von Objectivsystemen und Ocularen, sowie für die Ermittlung der Lagen der Brennebenen F_1, F_1^* und F_2, F_2^* , also der optischen Tubuslänge und des z_1 und z_2^* werden die betreffenden Methoden im dritten Abschnitte dieses Buches ausführlich mitgetheilt. Wir verweisen daher auf diese Stelle und nehmen, um ein Beispiel der Rechnung durchzuführen, an, es seien nach einer derselben durch Rechnung oder Messung gefunden:

$$f_1 = 26 \text{ mm}, f_2 = 34 \text{ mm}, \Delta = 140 \text{ mm}$$

$$z_1 = -26 \text{ mm} \text{ und } z_2^* = 6 \text{ mm}$$

dann finden wir

$$f = -f^* = \frac{26 \cdot 34}{140} = 6,27 \text{ mm}$$

$$\xi = -\frac{26^2}{140} = -4,8 \text{ mm}$$

$$\xi^* = \frac{34^2}{140} = 8,2 \text{ mm}$$

Die Summe $-(26 + 4,8) \text{ mm} = -30,8 \text{ mm}$ stellt nun den freien Objectabstand im Luftraume dar, welcher sich leicht auf ein anderes Medium und ebenso mit Rücksichtnahme auf das das Präparat bedeckende Deckglas zurückführen lässt. Hätte man z. B. bei der vorliegenden Zusammensetzung des optischen Apparates ein Deckglas von 0,3 mm angewendet, dessen Luftwerth $= 0,2 \text{ mm}$ beträgt, so würde der Abstand der Vorderfläche des Objectivsystemes von der Deckglasoberfläche 30,6 mm betragen. Und befände sich in einem anderen Falle bei einem freien Objectstande von der Deckglasoberfläche von 0,80 mm in Luft zwischen dem Deckglase und der Vorderfläche des betreffenden Objectives Wasser, so würde letztere Zahl auf $1,33 \cdot 0,80$, also auf 1,06 zu erhöhen sein.

Da in dem Quotienten $\frac{(f_1)^2}{\Delta}$ die Grösse von Δ — ausser bei Objectivsystemen von sehr langen Brennweiten — keinen so grossen Einfluss hat, dass wenige Millimeter in Betracht kommen, so kann man bei Berechnung des freien Objectabstandes (resp. des ξ) für dessen Werth, d. h. für die optische Tubuslänge, auch geradezu die Rohrlänge setzen. So wird z. B. bei einem Objectivsystem von 10 mm unter Verwendung des erwähnten Oculars und bei einer Rohrlänge von 160 mm die wahre Tubuslänge 170,5 mm betragen und das eine Mal $\xi = -0,6 \text{ mm}$, das andere Mal $= -0,58 \text{ mm}$ sein. Den bedeutendsten Einfluss auf die Grösse des freien Objectabstandes äussert die Entfernung der vorderen Brennebene F_1 von der Vorderfläche des Objectivsystems und da diese bei verschiedenen Constructionsformen verschieden ausfällt, so ist leicht ersichtlich, dass Objectivsysteme aus verschiedenen Werkstätten bei gleicher oder nahezu gleicher Brennweite einen verschieden grossen Arbeitsabstand haben können. Dass die Vergrösserung der numerischen Aper-

tur bei gleich bleibender Brennweite eine Verminderung des freien Objectabstandes herbeiführt, ist bekannt und beruht diese Thatsache darauf, dass man mit der Vorderfläche des Objectivsystems um so näher an die Objectebene herangehen muss, einen je grösseren Oeffnungswinkel man zu erreichen wünscht.

Der Augenpunkt wird unter den vorausgesetzten Verhältnissen

$$(\xi^* = 8,2 \text{ mm}, s_2^* = 6 \text{ mm})$$

um

$$s^* = 14,2 \text{ mm}$$

über der hinteren (oberen) Linsenfläche des Oculars liegend gefunden werden.

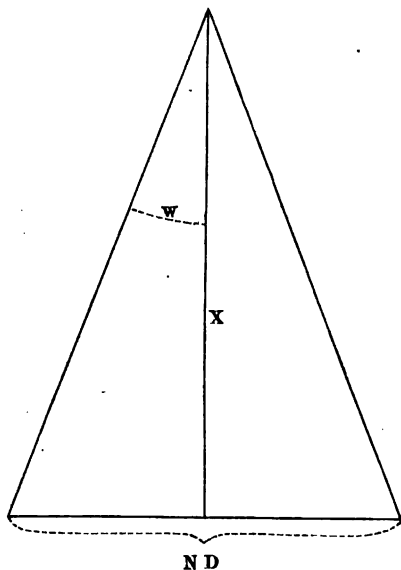
Die Gesamtvergrösserung des Mikroskopes: $\frac{X}{f}$ ist jetzt, wenn wir für f seinen Werth: $-\frac{f_1 \cdot f_2}{\Delta}$ einsetzen, gegeben durch die Gleichung:

$$N = -\frac{X}{f_1} \cdot \frac{\Delta}{f_2} = \left(\frac{X}{f_1}\right) \cdot \left(-\frac{\Delta}{f_2}\right)$$

würde also in dem vorliegenden Falle — ohne Rücksicht auf das die umgekehrte Abbildung anzeigende Vorzeichen — sein

$$= \frac{250}{26} \cdot \frac{140}{34} = 39,8$$

Fig. 134.



Mit der Vergrösserung des zusammengesetzten Mikroskopes steht die Grösse des Sehfeldes, d. h. derjenige Flächen-theil des Objectes, welcher von irgend einem angularen Gesichtsfelde auf einmal umfasst werden kann, in enger Beziehung.

Dasselbe hängt nämlich ausschliesslich von der Vergrösserungsziffer und von dem durch den Durchmesser des scheinbaren Gesichtsfeldes und dessen Abstand vom Augenpunkt gegebenen und leicht bestimmbar Bildwinkel des benutzten Oculars ab und ist, wenn letzterer als constant ange-

nommen wird — also für jedes bestimmte Ocular —, der Vergrößerung umgekehrt proportional, gleichgültig, ob diese durch verschiedene Objectivsysteme oder durch verschiedene Tubuslänge bewirkt wird. Stellt in dem gleichschenkligen Dreiecke, Fig. 134, der halbe \angle an der Spitze w den halben Bildwinkel des Oculares, die Höhe die deutliche Sehweite X und die Grundlinie den N mal vergrößerten Durchmesser D des Objectfeldes dar, so ist:

$$\frac{N \cdot D}{X} = 2 \cdot \operatorname{tg} w$$

und daraus

$$D = 2 \cdot \operatorname{tg} w \cdot \frac{X}{N}$$

Beträgt z. B. der Bildwinkel des Oculars 30° (der Tangente $= 0,26$ nahezu für den halben Winkel entsprechend) und sei die Vergrößerung eine 200 malige, die angenommene Sehweite 250 mm, so ist

$$D = 2 \cdot 0,26 \cdot \frac{250}{200} = 0,65 \text{ mm}$$

Würde mit demselben Ocular die Vergrößerung durch ein stärkeres Objectivsystem auf 500 gebracht, so würde

$$D = 2 \cdot 0,26 \cdot \frac{250}{500} = 0,26 \text{ mm werden.}$$

Nach der bisher üblichen Betrachtungsweise wird der Abbildungs- 106
vorgang in dem zusammengesetzten Mikroskope derart aufgefasst, dass das Objectivsystem von dem in seinem Objectraum befindlichen Objecte ein reelles vergrößertes und verkehrtes Bild in seinem Bildraum erzeuge, während das Ocular als Lupe wirkend, dieses in seinem Objectraum etwas hinter seiner vorderen Brennebene entworfene Bild in Gestalt eines aufrechten, nochmals vergrößerten virtuellen Bildes in die Weite deutlichen Sehens entwerfe. Diese schematische Zerlegung der Wirkungsweise mag für eine allgemeine Uebersicht genügen. Allein sobald es sich darum handelt, dass die dioptrische Zergliederung des Abbildungsvorganges die Grundlage schaffe für die genauere Bestimmung der einzelnen Factoren, welche bei ihm maassgebend sind, dann muss dieselbe, wie Professor Abbe in seinen verschiedenen Arbeiten schlagend nachgewiesen hat, nach zwei Seiten hin wesentlich erweitert werden. Zunächst muss der Strahlengang unter einem allgemeineren, durch die Entwicklungen in dem ersten Buche vorbereiteten Gesichtspunkt aufgefasst werden. Dann aber hat eine andere ebenfalls in den Grundformeln des ersten Buches, namentlich aber in der auf voriger Seite entwickelten Gleichung

$$N = \left(\frac{X}{f_1} \right) \cdot \left(- \frac{\Delta}{f_2} \right)$$

begründete schematische Zerlegung und eine daran anknüpfende eingehendere Charakteristik der Objectivwirkung und Ocularfunc-

tion Platz zu greifen, welche das Uebergewicht in der Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskopes gegenüber derjenigen des einfachen in das rechte Licht setzt und es ermöglicht, einestheils die Beschaffenheit der mikroskopischen Bilder auf ihre maassgebenden Factoren zurückzuführen, anderntheils eine Grundlage für die zahlenmässige Bestimmung gewisser Verhältnisse der Wirkung des Instrumentes zu gewinnen.

II. Strahlengang.

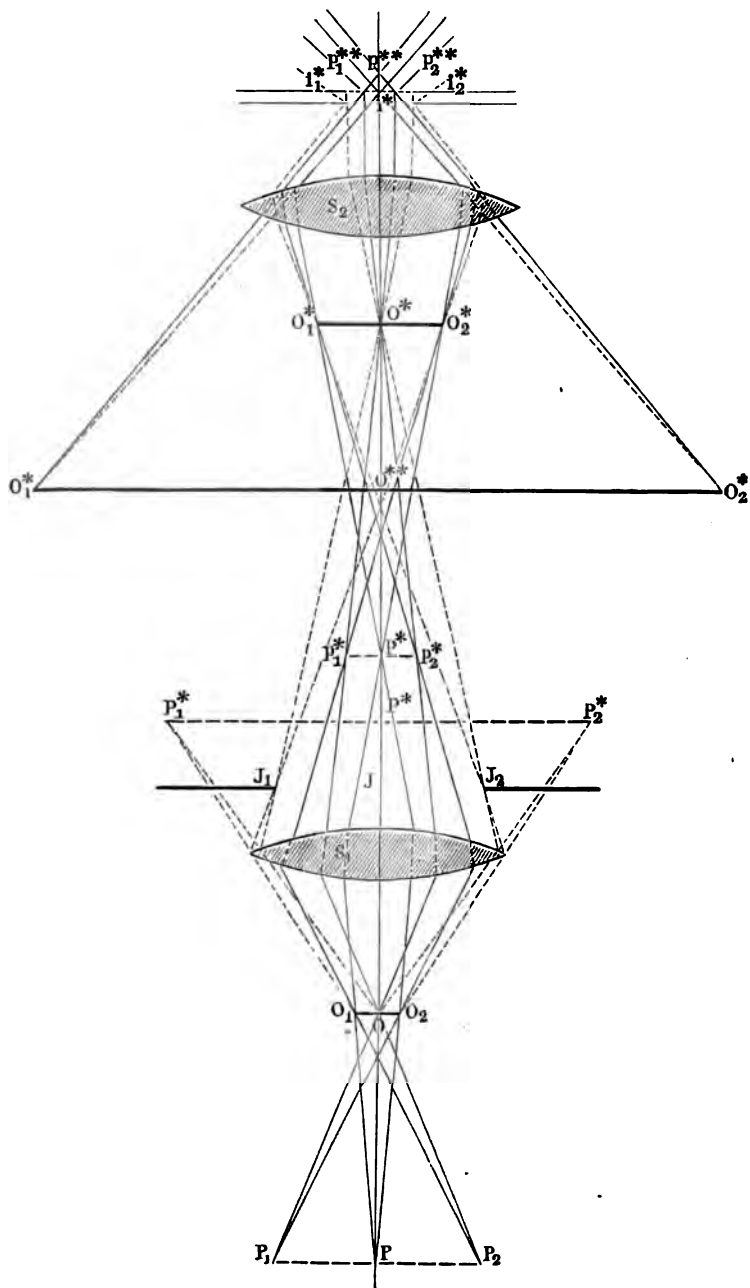
1. Allgemeine Betrachtung des Strahlenganges.

107 Betrachtet man den Strahlengang in dem zusammengesetzten Mikroskope an der Hand der auf Seite 56 u. f. entwickelten Gesetze der Strahlenbegrenzung, so finden wir den dort (Seite 63) angedeuteten Fall in der Folge von Objectebene, Bildebene, Eintrittspupille und Austrittspupille verwirklicht, welcher eintritt, wenn Objectivsystem und Ocular als ein optisches System angesehen werden.

Sei, und zwar unter Voraussetzung von nur durch die Iris des Objectivsystemes begrenzten eintretenden Strahlenkegeln, S_1 (Fig. 135) das Objectivsystem, S_2 das Ocular des Mikroskopes, $J_1 J_2$ die innerhalb des hinteren Brennpunktes der vorderen Objectivlinse befindliche Iris, $P_1 P P_2$ die Eintrittspupille, $P_1^* P^* P_2^*$ die Austrittspupille des Objectivsystemes, $O_1 O O_2$ das Object, $O_1^* O^* O_2^*$ das reelle vom Objectiv und der Vorderlinse des Oculares zusammen erzeugte und $O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$ das virtuelle Bild in der deutlichen Sehweite X , so lässt sich die Austrittspupille des ganzen Systemes $P_1^{**} P^{**} P_2^{**}$ leicht construiren. Dieselbe erscheint nämlich nach Vollzug der Construction in einem kleinen Abstand hinter dem Ocular S_2 , ist jedem Mikroskopiker als kleiner heller Kreis in dem sogenannten „Augenpunkte“ des Oculars bekannt und kann als in dreifach verschiedener Weise entstanden angesehen werden. Man kann sie nämlich betrachten als das reelle Bild der Iris, der Austrittspupille oder der Eintrittspupille des Objectivsystems. Im ersten Falle ist dieses Bild durch Zusammenwirken von Ocular S_2 und hinterem Theil des Objectivsystemes S_1 , im anderen durch das Ocular S_2 allein, im letzteren endlich ist es von dem ganzen System $S_1 + S_2$ entworfen.

108 Unter den bei dem zusammengesetzten Mikroskope thatsächlich vorliegenden Verhältnissen gestaltet sich die Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel meist etwas anders, da nun die mittelbar lichtgebende Fläche, d. h. die Fläche des Spiegels oder der Blendungsöffnung, als stellvertretende Eintrittspupille in Wirksamkeit tritt.

Fig. 136.



Stellt S_1 , Fig. 136, wieder das Objectivsystem, S_2 das Ocular und $P_1 P P_2$ die lichtgebende Fläche vor, so haben wir die von diesen letzteren Punkten aus- und durch das Object $O_1 O O_2$ und das optische Gesamtsystem hindurchgehenden Strahlen zu verfolgen. Wir erhalten dabei zunächst hinter dem Objectivsysteme ein reelles Bild von $P_1 P P_2$ in $p_1^* p^* p_2^*$, welches als Grundfläche der nach den einzelnen Bildpunkten $O_1^* O^* O_2^*$ convergirenden Strahlenkegel erscheint und somit als stellvertretende Austrittspupille thätig wird. Von ihr entwirft ferner das Ocular S_2 ein wieder umgekehrtes (also von der lichtgebenden Fläche ein aufrechtes) reelles Bild $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$, welches die Austrittspupille des ganzen Mikroskopes in Bezug auf die lichtgebende Fläche vorstellt, dieser in Rücksicht auf das Gesamtsystem zugeordnet erscheint und in Folge des im Verhältniss zu s grossen Abstandes der Fläche $P_1 P P_2$ von O in oder nahe an dem hinteren Hauptbrennpunkte F^* auftritt. Neben diesem Bildchen tritt aber, wenn wir noch die nur durch die Iris $J_1 J J_2$ des Objectivsystemes begrenzten, durch die einzelnen Objectpunkte hindurchgetretenen nicht von der Lichtquelle (sondern etwa von der Umgebung dieser letzteren oder des Mikroskopes) ausgegangenen Strahlen verfolgen, ein zweites und zwar das Bild der physischen Oeffnung $i_1^* i^* i_2^*$ oder der in dem Objectraum (nach aussen) projectirt gedachten Eintrittspupille auf, welches den Umständen gemäss in eine andere Ebene als $p_1^{**} p^{**} p_2^{**}$ zu liegen kommt. Man sieht daher den hellen mittleren Lichtkreis über dem Ocular von einem etwas weniger deutlichen, schwach beleuchteten Kreis umgeben ¹⁾.

Der helle Kreis in dem Augenpunkte des Mikroskopes spielt eine wichtige Rolle bei den Abbildungsvorgängen. Die durch $P_1^{**} P^{**} P_2^{**}$ repräsentirte Kreisfläche bildet nämlich die gemeinschaftliche Grundfläche für alle von den einzelnen Bildpunkten ausgehenden virtuellen Strahlenkegel, welche nicht in das Auge gelangen können, ohne diese Kreisfläche durchlaufen zu haben. Es wirkt dieselbe also gerade so, wie eine vor das Auge gebrachte Blendung von gleichem Durchmesser, wenn von diesem statt des mikroskopischen Bildes $O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$ ein nach allen Seiten Strahlen aussendendes leuchtendes Object beobachtet würde, und in Folge hiervon können die Bedingungen des mikroskopischen Sehens sofort auf diejenigen des Sehens mit freiem Auge zurückgeführt werden.

Die eben durchgeführte Betrachtung ergibt nun in Verbindung mit 109 den in dem ersten Buche enthaltenen Erörterungen über die Begrenzung der Strahlenkegel eine richtige Anschauung von dem Strahlengange in dem Mikroskope. Wir ersehen daraus, dass alle homocentrische Strahlenkegel, welche von den einzelnen Objectpunkten aus in dem Mikroskope

¹⁾ Die Austrittspupille eines Systemes, wie es auf S. 175 besprochen wurde, lässt sich an der Hand des eben Betrachteten leicht construiren, wenn man sich statt des Oculares S_2 vor der Bildebene O^* eine Concavlinse (Concavocular) eingeschaltet denkt, und es wird leicht ersichtlich, dass diese Austrittspupille zwischen Objectiv und Concavlinse innerhalb des Rohres auftreten muss.

verlaufen, sich auch zusammenfassen lassen als homocentrische Strahlenkegel, welche von den verschiedenen Punkten einer vor, beziehentlich unter dem Mikroskope und zwar in dem Objectraum gelegenen Fläche ausgehen. Diese Fläche ist im Allgemeinen ein in den Objectraum projecirt gedachtes virtuelles Bild der Iris, d. h. die Eintrittspupille des Objectivsystemes, und enthält als Theil auch die zur Beleuchtung dienende Lichtquelle in sich.

Demnach ergibt sich, dass neben den Objectbildern, welche die einzelnen Theile des optischen Apparates nach einander entwerfen, eine Anzahl von zugeordneten Oeffnungsbildern entsteht, welche sämmtlich die Iris oder die freie Oeffnung des Objectivsystemes abbilden. Von diesen Oeffnungsbildern erscheint das letzte, dem virtuellen Bilde zugeordnete — die Austrittspupille des Mikroskopes — wie wir gesehen haben über dem Ocular und lässt sich mittelst einer Lupe von entsprechender Vergrößerung näher beobachten. Ein anderes von dem Objectivsysteme allein entworfenen liegt in oder nahe an der oberen Brennebene des letzteren und kann in der schon früher erwähnten Weise beobachtet werden.

Beide Reihen von Bildern sind durch allgemeine Beziehungen untereinander verknüpft, welche für die Leistungsfähigkeit und Wirkungsweise des Mikroskopes von höchster Wichtigkeit erscheinen und die Grundlage für die Entscheidung mancher, sonst schwierig zu erledigender Fragen abgeben.

- 110 Werfen wir nochmals einen Blick auf die Fig. 135, so erscheinen die Austrittspupille und das virtuelle Bild des Objectes als von ein und derselben Strahlengruppe abhängig (das Gleiche gilt auch unter den in Buch I an Fig. 37, Seite 60 erörterten Verhältnissen). Der einzige Unterschied besteht darin, dass diese Strahlengruppen auf andere Weise zu Strahlenkegeln vereinigt sind. Fasst man die Strahlen als Strahlenkegel zusammen, welche von den verschiedenen Punkten des Objectes $O_1 O O_2$ ausgehen, so vereinigen sich dieselben in den zugeordneten Punkten des schliesslichen Bildes $O_1^{**} O^{**} O_2^{**}$ und fasst man dieselben Strahlen zusammen als Strahlenkegel, welche von den einzelnen Punkten $P_1 P P_2$ der Eintrittspupille ausgehen, so vereinigen sich dieselben in den zugeordneten Punkten der Austrittspupille $P_1^* P^* P_2^*$ des Objectivsystemes sowohl als der Austrittspupille $P_1^{**} P^{**} P_2^{**}$ des ganzen Mikroskopes.

Hieraus folgt: Das optische System setzt, indem es die beiden Pupillen als Bilder der Iris entwirft, das Objectfeld als Eintrittsoffnung, das Bildfeld als Austrittsoffnung in Thätigkeit. Auf diese Weise wechseln Objectfeld und Eintrittspupille im Objectraum und Bildfeld und Austrittspupille im Bildraum einfach ihre Stelle, wenn es sich theoretisch oder praktisch um die Beobachtung der Bilder der Iris handelt.

Diese Thatsache ist insofern von hoher Bedeutung für die Methoden aller auf die Oeffnung bezüglicher Beobachtungen und Messungen, als die Rechtfertigung der bedingungslosen Anwendung aller in

dem Capitel über die Strahlenbegrenzung abgeleiteten Lehrsätze auf Systeme mit grossem Oeffnungswinkel auf sie gegründet ist. In Folge der betrachteten Beziehung erscheint nämlich die allgemeine Giltigkeit der Abbe'schen Erklärung von Eintrittspupille sowohl, als von Oeffnungswinkel keineswegs von Ausserachtlassung der sphärischen Abweichung solcher Systeme berührt. Der Einfluss dieser Abweichung würde, da, wenn auch O und O^* zugeordnete aplanatische Punkte sind, die Punkte P , P^* und P^{**} nicht nothwendig aplanatische Punkte sein müssen, allerdings zur Geltung kommen müssen, wenn die einzelnen Punkte der durch die Achsenpunkte P , P^* und P^{**} gehenden Flächen, d. h. wenn die Bilder der Iris durch weit geöffnete Strahlenkegel entworfen würden. Nun sind aber diese Strahlenkegel bei ihrem Eintritt durch die Ausdehnung des Objectes $O_1 O O_2$ begrenzt, welches von dem System abgebildet werden soll. Beschränkt man also diese Fläche oder die zugeordnete Fläche des Bildes auf eine hinreichend kleine mittlere Kreisfläche — wie wir es bei einzelnen Methoden zur Bestimmung der numerischen Apertur und der Brennweite kennen lernen werden —, so werden jene Strahlenkegel so sehr eingeeengt, dass sie wie unendlich enge Strahlenkegel wirken und stets ein Punkt für Punkt genaues Bild der Iris von genau bestimmter Lage und Ausdehnung entwerfen. Der Nichtaplanatismus in den Punkten P bis P^{**} hat daher keine andere Folge, als dass die Pupillen ihre Lage und Ausdehnung mehr oder weniger ändern werden, falls durch Verlegung des Objectpunktes O auf der Achse eine andere, bei der Abbildung der Iris wirksame Eintrittsöffnung geschaffen wird. Aus diesem Grunde müssen überall da, wo es sich, wie bei Bestimmungen von Brennweiten, numerischen Aperturen etc. um genaue Lagen- und Maassverhältnisse handelt, die Pupillen immer für eine bestimmte Lage des Objectpunktes auf der Achse bestimmt werden. Ist dies geschehen, so berührt selbst Nichtaplanatismus in dem Objectpunkte O keinen der Sätze über den Oeffnungswinkel, da kein Theil ihrer Begründung auf die Annahme von aplanatischen Punkten gestellt ist ¹⁾.

Ehe wir zu denjenigen Eigenschaften des Mikroskopes übergehen, 111 welche unmittelbar von Art und Weise der Begrenzung der Strahlenkegel bei ihrem Verlauf in demselben abhängen und demgemäss zu der numerischen Apertur in innigstem Zusammenhange stehen, wollen wir noch einige Beziehungen kennen lernen, welche zwischen der letzteren und einigen anderen Elementen des Instrumentes auftreten.

Wie im ersten Buche Seite 61 erörtert, haben die aus einem optischen Systeme austretenden Strahlenkegel ihre gemeinschaftliche

¹⁾ Bei Objectivsystemen mit grossem Oeffnungswinkel sind allerdings die Bilder der Iris nicht eben; sie müssen im Gegentheil, falls die Iris als Ebene angenommen wird und die Punkte O und O^* zugeordnete aplanatische Punkte sind, eine gewisse Krümmung zeigen. Aber dieser Umstand kann hier vollständig ausser Acht gelassen werden, da er auf die Betrachtung des vorliegenden Gegenstandes keinerlei Bezug hat.

Grundfläche in der Austrittspupille dieses Systemes. Der Winkel u^* , dessen Werth durch die auf Seite 72 entwickelte Gleichung

$$u^* = \frac{1}{N} \cdot n \cdot \sin u$$

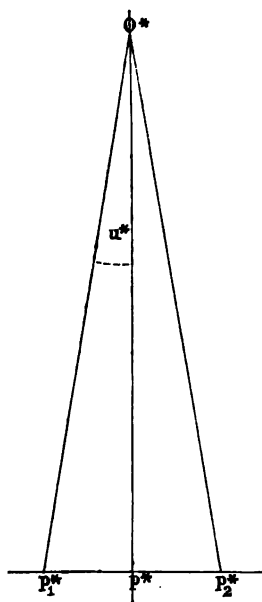
oder da

$$n \cdot \sin u = a$$

$$u^* = \frac{1}{N} \cdot a$$

bestimmt ist, kann daher auch durch das gleichschenklige Dreieck (Fig. 137) ausgedrückt werden, dessen Scheitel durch den Bildpunkt O^* und dessen Grundlinie durch den Durchmesser $P_1^* P_2^*$ der Austrittspupille des

Fig. 137.



Objectivsystemes gebildet wird. Bezeichnen wir nun mit l den Abstand der Austrittspupille von dem Bildpunkt O^* , mit p^* den Halbmesser der Austrittspupille, so ist für kleine Winkel

$$u^* = \frac{p^*}{l}$$

also

$$\frac{p^*}{l} = \frac{1}{N} \cdot a \quad \text{oder} \quad p^* = \frac{l}{N} \cdot a$$

wobei unter N die Vergrößerung des vom Objectiv entworfenen Bildes zu verstehen ist.

Diese Beziehung gestattet nun eine zweifache Anwendung:

Erstlich kann der Durchmesser der Austrittspupille des Objectivsystemes aus deren Abstände l von der Bildebene, aus der in der letzteren stattfindenden Vergrößerung N , welche beide der

Messung zugänglich sind, und aus der numerischen Apertur a berechnet werden, ohne dass man irgend welche Kenntniss von der Iris oder der Eintrittspupille nöthig hat.

Zweitens kann die numerische Apertur für jedes beliebige Objectivsystem gefunden werden, wenn neben den beiden Factoren l und N noch der lineare Durchmesser der Austrittspupille gemessen ist. Wir erhalten dann

$$a = \frac{N}{l} \cdot p^*$$

- 112 Ausser den voranstehenden lassen sich aus dem Werthe des Winkels u^* noch einige andere Beziehungen der numerischen Apertur ableiten, welche für Theorie und Praxis des Mikroskopes von Wichtigkeit sind.

Um den Werth von u^* zu bestimmen, muss man nicht gerade von der Austrittspupille und ihrem Abstand von dem axialen Bildpunkte O^* , sondern man kann ebensogut von irgend einem anderen Querschnitte des austretenden Strahlenkegels und dessen Entfernung von dem genannten Punkte ausgehen. Wäre z. B. r der Halbmesser eines in beliebiger Entfernung l von O^* genommenen Querschnitts des axialen Strahlenkegels, so würde die Gleichung

$$r = \frac{l}{N} \cdot a$$

die Grösse dieses Halbmessers bestimmen.

Nehmen wir einmal an, es sei l gleich dem Abstände des Bildpunktes O^* von der Hinterfläche der letzten Linse des Objectivsystemes, so würde, alle anderen Factoren wie vorher belassen, obige Gleichung die Grösse des Halbmessers von dem nutzbaren Theile dieser Linse angeben, und zeigen, dass dieser zu der numerischen Apertur in bestimmtem Verhältnisse steht.

Würde dagegen der Querschnitt in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes genommen, so würde, da die durch O^* gehende Bildebene als mit der vorderen Brennebene des Oculars zusammenfallend angenommen werden kann, $l = \Delta$, d. h. dem Abstände der hinteren Brennebene (F_1^*) des Objectivsystemes von der vorderen Brennebene (F_2) des Oculars oder der optischen Tubuslänge gleich werden. Da die hintere Brennebene des Objectivsystemes der Beobachtung zugänglich gemacht und ausserdem Δ genau bestimmt werden kann, so ergibt sich auf dieser Grundlage eine bedeutungsvolle Umformung der obigen Gleichung

$p^* = \frac{l}{N} \cdot a$. Bezeichnen wir nämlich mit ϱ den Halbmesser des betreffenden Querschnittes des austretenden axialen Strahlenkegels, mit N wieder die lineare Vergrösserung des von dem Objectivsysteme entworfenen reellen Bildes, so ist

$$\varrho = \frac{\Delta}{N} \cdot a.$$

Da nun für jedes optische System der Quotient $\frac{\Delta}{N}$ der Aequivalentbrennweite des Systemes gleich ist, und man für a jeden beliebigen in Thätigkeit gesetzten, ein entsprechendes ϱ bedingenden Theil der freien Oeffnung setzen kann, der sich durch $n \sin u$ ausdrücken lässt, so geht obige Gleichung über in die beiden Gleichungen

$$\varrho = f \cdot a, \text{ woraus } a = \frac{\varrho}{f}$$

und

$$\varrho = f \cdot n \cdot \sin u, \text{ woraus } f = \frac{\varrho}{n \sin u}$$

oder $n = 1$, d. h. im Objectraum Luft als Medium angenommen,

$$\varrho = f \cdot \sin u \text{ und } f = \frac{\varrho}{\sin u}$$

Da bei dem Mikroskope Aplanatismus vorausgesetzt werden kann, so besagen diese Gleichungen:

Erstens: Die numerische Apertur ist gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivsystemes in den Halbmesser des in der Ebene des hinteren Brennpunktes genommenen Querschnittes von dem austretenden Strahlenkegel.

Zweitens: Jeder von einem aplanatischen Punkte eines Objectivsystemes ausgehende Lichtstrahl schneidet nach dem Durchtritt durch das Linsensystem eine durch den anderen Brennpunkt gelegte, zur Achse senkrechte Ebene in einem Abstände von der Achse, dessen lineare Grösse gleich ist dem Producte aus der Brennweite des Systemes, dem Brechungsindex des betreffenden Mediums und dem Sinus des Winkels, welchen der eintretende Strahl mit der Achse bildet¹⁾.

Die ersten Gleichungen und der erste Satz geben die Grundlage ab für eine später zu besprechende Methode zur Bestimmung der numerischen Apertur, sowie für die Ermittlung der Brennweite von Immersionssystemen. Die zweiten, von denen diejenigen für ϱ schon in der Theorie der Bilderzeugung Anwendung gefunden, ermöglichen es, die Brennweite eines beliebigen Objectivsystemes zu bestimmen und aus dem mikrometrisch gemessenen Ort, den die Spur eines Strahles in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes einnimmt, die Richtung festzustellen, in welcher derselbe vor seinem Eintritt in das Mikroskop verläuft.

- 113 Da bei den Objectivsystemen des Mikroskopes namentlich bei den stärkeren die hintere Brennebene in der Regel sehr nahe an der Aussenfläche der hinteren Linse liegt, so beträgt die Differenz zwischen der Entfernung der ersteren und der letzteren von dem axialen Bildpunkte O^* nur einen äusserst kleinen Bruchtheil dieser Entfernungen. Man kann daher auch die Gleichung $\varrho = a \cdot f$ auf den Querschnitt des austretenden axialen Lichtkegels in der hinteren Linsenfläche anwenden und erhält so die Gleichung

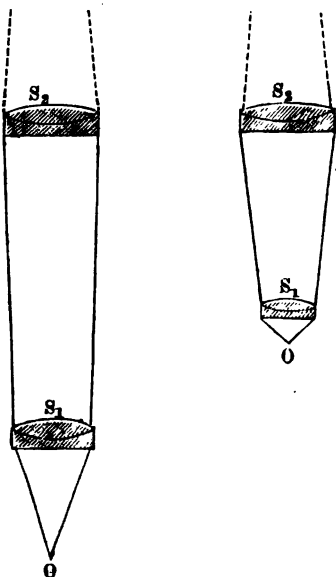
$$2r = 2a \cdot f$$

Dieselbe kann zur Bestimmung des linearen Durchmessers desjenigen Theiles der hinteren Linsenfläche, oder des Minimums ihres lichten Durchmessers dienen, welcher erforderlich ist, um die geforderte numerische

¹⁾ Abbe: Beiträge zur Theorie des Mikroskopes etc. Max Schultze's Archiv Bd. IX.

Apertur zu erreichen. Sie gewährt aber auch in der Umformung $a = \frac{r}{f}$ eine weitere Begriffserklärung der numerischen Apertur, indem diese sich

Fig. 138.



darstellt als das Verhältniss zwischen dem Halbmesser der lichten Oeffnung und der Brennweite.

Ein augenscheinlicher Beweis für die Wichtigkeit, welche in dieser Beziehung der rationelle Zahlenausdruck der Oeffnung besitzt, gewährt ein Vergleich einmal zwischen der grossen Hinterlinse eines Immersionssystemes von grosser Oeffnung und derjenigen eines Trockensystemes von gleicher Brennweite (z. B. Zeiss E. und G.) oder zwischen den Hinterlinsen zweier Trockensysteme von gleichen Brennweiten, aber verschiedener Oeffnung (z. B. Zeiss DD. und D.), dann zwischen den numerischen Aperturen zweier Objectivsysteme mit gleicher lichter Oeffnung der Hinterlinse, aber verschiedener Brennweite, z. B. der Zeiss'schen Systeme *aa* und *BB*, bei denen die Oeffnung circa 11 mm

misst, während die Brennweite je 32 und 10,8 mm, die numerische Apertur je 0,17 (20°) und 0,50 (60°) beträgt und von denen demgemäss das letztere innerhalb des austretenden Strahlenkegels von gleichem Querschnitt eine grössere Strahlenmenge nach O^* sendet, als das erstere (Fig. 138).

Wird die Gleichung

$$p^* = \frac{l}{N} \cdot a$$

auf das ganze Mikroskop angewendet, so tritt der Halbmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes p^{**} an die Stelle von p^* , während N die lineare Vergrösserung des schliesslichen virtuellen Bildes in der deutlichen Sehweite X bezeichnet und es ist

$$p^{**} = \frac{X}{N} \cdot a$$

d. h. der lineare Durchmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes steht in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur, dagegen in umgekehrtem Verhältnisse zu der Gesamtvergrösserung. Da nun der Quotient $\frac{X}{N}$ dem Werthe der Brennweite des ganzen Mikroskopes

gleich ist oder doch so nahe kommt, dass der Unterschied vernachlässigt werden kann — der Augenpunkt fällt nämlich mit dem hinteren Brennpunkte des ganzen Systemes praktisch zusammen —, so bleibt der Quotient $\frac{X}{N}$ bei beliebigem X für eine bestimmte Brennweite stets gleich. Der lineare Durchmesser der Austrittspupille des Mikroskopes hängt also, solange die Brennweite des ganzen Mikroskopes und die numerische Apertur des Objectivsystemes dieselben bleiben, ebensowenig von der deutlichen Sehweite als von irgend einer Art der Zusammensetzung des optischen Apparates ab.

Würde z. B. einmal bei einer optischen Tubuslänge von 150 mm ein Objectivsystem von 3 mm Brennweite und 0,80 numerischer Apertur mit einem Ocular von 50 mm Brennweite combinirt, das andere Mal bei 170 mm Tubuslänge ein Objectivsystem von 5 mm Brennweite und 0,80 numerischer Apertur mit einem Ocular von 34 mm Brennweite, so würde p^{**} unverändert geblieben sein, da f oder die Brennweite des ganzen Mikroskopes in beiden Fällen = 1 mm gefunden worden wäre.

Wenden wir uns nun zu den mit der numerischen Apertur im engsten Zusammenhange stehenden Eigenschaften des zusammengesetzten Mikroskopes, so haben wir hier, da das Abbildungsvermögen in einem späteren Abschnitte zur Sprache kommen soll, vor allem die Sehtiefe und die Lichtstärke zu betrachten.

2. Sehtiefe — Penetration.

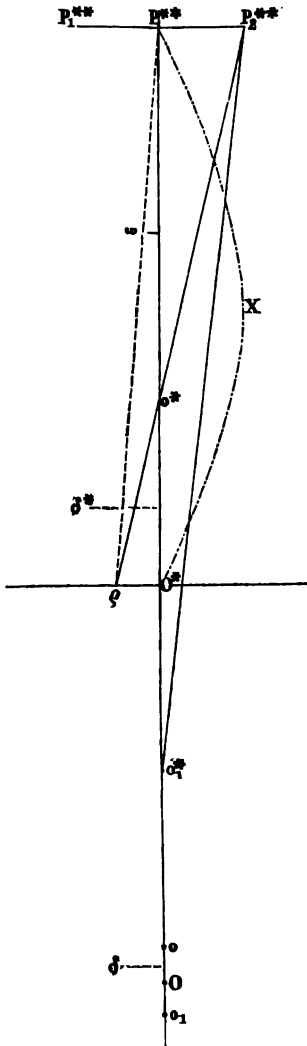
115 Die Sehtiefe oder die Tiefenperspective (die Focustiefe oder sogenannte Penetration) des Mikroskopes, d. h. die Fähigkeit, in verschiedenen Tiefen gelegene Theile eines Objectes zur deutlichen Anschauung zu bringen, beruht auf der Thatsache, dass das Auge gegen kleine Fehler der Strahlenvereinigung in dem mikroskopischen Bilde, d. h. gegen kleine Undeutlichkeitskreise in dem schliesslichen Netzhautbilde, unempfindlich ist und dass es ausserdem die Fähigkeit besitzt, durch bewusste oder unbewusste Accommodation sich auf virtuelle Bilder in grösserer oder kleinerer Sehweite einzustellen und so nach und nach verschiedene Ebenen mit vollkommener Bildschärfe auf der Netzhaut zur Abbildung zu bringen.

116 Aus der ersteren Eigenschaft erklärt sich die Erscheinung, dass bei einer bestimmten Einstellung des Mikroskopes und bei einem bestimmten Accommodationszustande des beobachtenden Auges Querschnitte eines Objectes, welche um ein gewisses Maass von der genauen Einstellungsebene nach oben oder unten abstehen, noch ohne merkliche oder schädliche Undeutlichkeit wahrgenommen werden können. Das

Maass des auf diese Weise erlangten Spielraumes deutlicher Wahrnehmung wird als Focustiefe des Mikroskopes bezeichnet und kann ziffermässig bestimmt werden.

Um diese Bestimmung auszuführen, ist zunächst der Sehwinkel zu bestimmen, unter welchem unter gewissen Umständen die Undeutlichkeitskreise erscheinen, und dann das Maass desselben in Betracht zu ziehen, welches ein noch deutliches Sehen gestattet.

Fig. 139.



Seien O (Fig. 139) ein axialer Objectpunkt in der Ebene genauer Einstellung, o und o_1 zwei auf der Achse gelegene Objectpunkte in höherer und tieferer um δ von O abstehender Ebene, seien ferner O^* der virtuelle Bildpunkt des Objectpunktes in dem Abstände X von der Austrittspupille des Mikroskopes, d. h. in der deutlichen Sehweite, o^* und o_1^* die virtuellen Bildpunkte der Objectpunkte o und o_1 in dem Abstände δ^* von O^* und stelle endlich q den Radius des Undeutlichkeitskreises vor, so lässt sich zunächst der Sehwinkel ω , unter welchem der Undeutlichkeitskreis in der Ebene O^* erscheint, bestimmen. Derselbe ist nämlich, wie aus der Figur leicht ersichtlich, der Winkel an der Spitze eines gleichschenkligen Dreieckes, dessen Basis von dem doppelten Radius des Undeutlichkeitskreises gebildet wird; er berechnet sich durch die Gleichung

$$\omega = 2 \cdot \frac{q}{X}$$

Der Werth von q ergibt sich nun aus dem Verhältnisse der in ähnlichen Dreiecken erscheinenden Stücke q , p^{**} , δ^* und X . Dieses ist aber, da o und o^* sowohl über als unter O und O^* liegen können

$$\frac{q}{p^{**}} = \frac{\delta^*}{X \pm \delta^*}$$

und wenn δ^* sehr klein ist im Verhältniss zu X , was stets angenommen werden darf

$$\frac{\varrho}{p^{**}} = \frac{\delta^*}{X}$$

woraus

$$\varrho = p^{**} \cdot \frac{\delta^*}{X}$$

oder wenn wir für p^{**} seinen Werth aus der Seite 201 entwickelten Formel einsetzen

$$\varrho = a \cdot \frac{\delta^*}{N}$$

Da nun gemäss der Gleichung $\frac{\delta^*}{\delta} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$ auf Seite 20

$$\delta^* = \frac{n^*}{n} \cdot N^2 \cdot \delta$$

so ist endlich

$$\varrho = \frac{a}{N} \times \frac{n^*}{n} \cdot N^2 \cdot \delta \text{ oder } = a \cdot \frac{n^*}{n} \cdot N \cdot \delta$$

Damit ist aber das Maass der scheinbaren oder angularen Grösse, d. h. der Schwinkel der Undeutlichkeitskreise bestimmt, welche durch die vorausgesetzte in dem Objecte auftretende Focusdifferenz in dem mikroskopischen Bilde hervorgerufen werden. Führen wir nämlich in die oben gefundene Formel $\omega = 2 \cdot \frac{\varrho}{X}$ den Werth von ϱ ein, so erhalten wir

$$\omega = 2 \cdot a \cdot \frac{n^*}{n} \cdot \frac{N}{X} \cdot \delta$$

Setzen wir nun eine bestimmte Grösse des Winkels ω fest, unter welcher der scheinbare angularer Durchmesser der Undeutlichkeitskreise dem Auge erscheinen darf, ohne unzulässige Undeutlichkeit hervorzurufen, so giebt der zweifache Werth von δ diejenige Focustiefe an, welche in der Abweichung von der genauen Einstellungsebene nach oben und unten erreichbar ist, ohne dass grössere Undeutlichkeitskreise in das Bild eingeführt werden, als durch den Werth von ω bestimmt ist. Diese Focustiefe ist nun, wenn wir, da das virtuelle Bild sich stets in Luft befindet, $n^* = 1$ setzen,

$$2\delta = \omega \cdot \frac{n}{a} \cdot \frac{X}{N}$$

wobei a entweder die volle numerische Apertur oder denjenigen Theil derselben darstellen mag, welcher durch den Beleuchtungskegel in Wirksamkeit gesetzt wird.

Wir sehen hieraus, dass wenn die Sehweite und der Spielraum in der angularen Grösse der Undeutlichkeitskreise, die für ein normales Auge etwa eine Bogenminute für ein sehr scharfes, 2 bis 3' für ein noch ziemlich deutliches und 5 bis 6' für ein etwa noch erträgliches Sehen

beträgt, gegeben sind, die Focustiefe von nichts weiter abhängt, als von dem Brechungsindex, in welchem sich das Object befindet, von der Vergrößerungsziffer und von der numerischen Apertur des Mikroskopes (oder einem Theil derselben). Sie steht zu dem Brechungsindex des Objectmediums in geradem, zu der numerischen Apertur und der Vergrößerung dagegen in umgekehrtem Verhältnisse.

Nehmen wir an, es sei der Schwinkel ω der zulässigen Undeutlichkeit auf 3 Bogenminuten, oder auf den numerischen Werth von ungefähr 0,00087 festgestellt, der wirksame Theil der numerischen Apertur betrage 0,5 (60° Oeffnungswinkel der abbildenden Strahlenkegel), die Vergrößerungsziffern für die normale Sehweite von 250 mm je 10, 50, 100, 500, 1000 und es werde das Object als in Luft liegend vorausgesetzt ($n = 1$), so ist die Focustiefe

$$2\delta = 0,0008 \cdot \frac{250}{10 \dots \times 0,5} \quad \text{oder}$$

0,040	mm	oder	40	μ	für	10fache	Vergrößerung
0,008	"	"	8	"	"	50	"
0,004	"	"	4	"	"	100	"
0,0008	"	"	0,8	"	"	500	"
0,0004	"	"	0,4	"	"	1000	"
0,0002	"	"	0,2	"	"	2000	"

Würde sich das Object in Wasser oder in Balsam befinden, so würden die Zahlen beziehentlich um je 1,33 oder 1,5mal grösser ausfallen, würden dagegen die Grenzen des Spielraums der zulässigen Undeutlichkeit eingengt oder erweitert, so würden sich dieselben entsprechend vermindern oder erhöhen.

Die auf der oben erwähnten Fähigkeit des Auges, sich verschiedenen 117 Entfernungen anzubequemen, beruhende Accommodationstiefe, welche den zweiten Factor beim Zustandekommen der mikroskopischen Sehtiefe bildet, spielt in der Auffassung der Raumverhältnisse bei dem mikroskopischen Sehen ganz dieselbe Rolle wie bei dem Sehen mit freiem Auge. Dieselbe ist vollständig bestimmt durch die sogenannte Accommodationsbreite des beobachtenden Auges, deren Grenzen die grösste und kleinste Entfernung des deutlichen Sehens bilden, und findet ihr genaues in Zahlen ausdrückbares Maass in dem Unterschiede der reciproken Werthe dieser beiden äussersten Entfernungen. Ist die Accommodationsfähigkeit eines bestimmten Auges direct in Zahlen ausgedrückt, so lässt sich die für dasselbe bestehende Accommodationstiefe beim mikroskopischen Sehen für jede bestimmte lineare Vergrößerung und zwar ganz unabhängig von den einzelnen Bestandtheilen des Mikroskopes (Objectivsystem, Ocular und Tubuslänge) genau berechnen, sobald noch der Brechungsindex des Mediums gegeben ist, von welchem das zu beobachtende Object umgeben erscheint. Namentlich ist dieselbe ganz un-

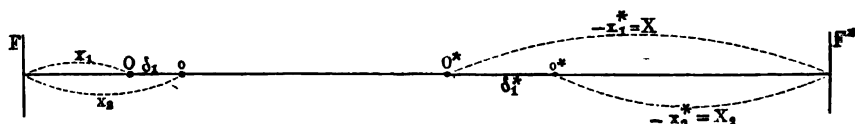
abhängig von der wirksam werdenden Oeffnung der abbildenden Strahlenkegel, da der Spielraum für ein vollkommen deutliches Sehen für enge wie für weite Strahlenbüschel derselbe ist. Dagegen ist leicht einzusehen, dass dieselbe in Folge der aus der Formel

$$\frac{\delta^*}{\delta} = \frac{n^*}{n} \cdot N^2$$

ersichtlichen Uebersvergrößerung der Tiefe in dem nach den drei Richtungen des Raumes ausgedehnten Bilde bei höher gesteigerter linearer Vergrößerung mit der letzteren rasch abnehmen muss.

Sind F und F^* (Fig. 140) die Brennebenen des ganzen Mikroskopes, O und o die um x_1 und x_2 von F entfernten Oerter der Objectschichten,

Fig. 140.



welche den Oertern O^* und o^* der virtuellen Bilder entsprechen, $X_1 = -x_1^*$ und $X_2 = -x_2^*$ die Abstände je des Fern- und des Nähepunkts des beobachtenden Auges von dem praktisch mit dem Augenpunkt zusammenfallenden Brennpunkte F^* aus gerechnet, f die Brennweite des Gesamtsystems, so ist nach der Grundgleichung I auf S. 16 ($xx^* = ff^*$) und weil jetzt $f^* = -f$ ist

$$x_1 \cdot X_1 = -f^2 \text{ oder } x_1 = -\frac{f^2}{X_1}$$

$$x_2 \cdot X_2 = -f^2 \text{ oder } x_2 = -\frac{f^2}{X_2}$$

folglich

$$x_2 - x_1 = -f^2 \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right)$$

oder, da $x_2 - x_1$ die Verschiebung des unteren Einstellungspunktes $= \delta_1$ vorstellt, welche in Folge der veränderten Accommodation des Auges von O^* zu o^* eintritt,

$$\delta_1 = -f^2 \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right)$$

und wenn das Object sich in einem anderen Medium als Luft befindet, wobei $f = -f^* \cdot n$ (f^* die Brennweite des Mikroskopes auf der Bildseite resp. für den Luftraum bezeichnend)

$$\delta_1 = n \cdot (f^*)^2 \cdot \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right)$$

Nun ist

$$f^* = \frac{X}{N}$$

folglich

$$\delta_1 = n \cdot \frac{(X)^2}{(N)^2} \cdot \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right)$$

Setzen wir z. B. $X_1 = 300$, $X_2 = 150$, so wird

$$\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} = \frac{1}{150} - \frac{1}{300} = \frac{1}{300};$$

sei ferner

$$X = 250, N = 10, 50, 100, 500, 1000, 2000 \text{ und } n = 1$$

so wird

$$\delta_1 = \frac{250^2}{(10 \dots)^2} \cdot \frac{1}{300}$$

das heisst

2,08	mm	= 2080	μ	für	10fache	Vergrößerung
0,08	"	80	"	"	50	"
0,02	"	20	"	"	100	"
0,0008	"	0,8	"	"	500	"
0,0002	"	0,2	"	"	1000	"
0,00005	"	0,05	"	"	2000	"

Die Sehtiefe des Mikroskopes setzt sich nun für ein und dieselbe 118 Einstellung aus den beiden Bestandtheilen Accommodationstiefe und Focustiefe in der Art zusammen, dass erstere denjenigen Objectraum bezeichnet, welchen das freie Auge kraft der Accommodationsfähigkeit mit vollkommener Bildschärfe zu durchmessen vermag, während letztere diesen Raum an seinen Grenzen nach unten wie nach oben hin um den Betrag erweitert, bei welchem noch ein deutliches Sehen ohne volle Bildschärfe möglich ist. Die Sehtiefe ist in der That gleich der Summe:

$$\delta_1 + 2\delta.$$

Die ungleichen Antheile, welche beiden Bestandtheilen an dem Resultate ihres Zusammenwirkens zukommen, lassen sich schon aus den beiden angeführten Zahlenreihen leicht ermessen. Man ersieht z. B. daraus, dass bei mittleren Vergrößerungen beide etwa gleiche Wirkung äussern, während bei schwächeren vorzugsweise und fast einzig die Accommodationstiefe, bei stärkeren aber die Focustiefe in Wirksamkeit, jene dagegen fast gänzlich zurücktritt. Diese Antheile werden aber noch besser erkennbar, wenn man die für die einzelnen Vergrößerungen berechneten Tiefenwerthe beider Reihen mit dem Durchmesser des Sehfeldes bei den gleichen Vergrößerungen vergleicht.

Wir haben diesen Durchmesser schon weiter oben (S. 192) aus den maassgebenden Elementen berechnen gelernt, und es würde derselbe unter den dort vorausgesetzten Verhältnissen für die eben in Betracht gezogenen Vergrößerungen folgende Reihe bilden:

14 mm für 10 fache Vergrößerung

2,8	"	"	50	"	"
1,4	"	"	100	"	"
0,28	"	"	500	"	"
0,14	"	"	1000	"	"
0,07	"	"	2000	"	"

Die Accommodationstiefe beträgt demgemäss unter den obigen Beispielen zu Grunde liegenden Voraussetzungen etwa:

$\frac{1}{f}$	des Sehfeldes bei	10 facher Vergrößerung		
$\frac{1}{85}$	"	"	50	"
$\frac{1}{70}$	"	"	100	"
$\frac{1}{550}$	"	"	500	"
$\frac{1}{700}$	"	"	1000	"
$\frac{1}{1400}$	"	"	2000	"

Die mit der optischen Abbildung verknüpfte Uebersvergrößerung der Tiefenabmessung bringt demnach mit wachsender Vergrößerung ein immer ungünstiger werdendes Verhältniss zwischen Tiefe und linearem Durchmesser des der Accommodation zugänglichen Objectraumes hervor.

Ein ganz anderes Verhalten tritt dagegen bei der Focustiefe ein. Hier wird nämlich die Wirkung der Uebersvergrößerung, da das Anwachsen der Undeutlichkeitskreise beim Ueberschreiten des Nahe- oder Fernpunktes in dem Verhältnisse des Durchmessers der abbildenden Strahlenkegel erfolgt, durch die mit der linearen Vergrößerung des Mikroskopes verhältnissmässig fortschreitende Verengerung der Austrittspupille und damit der aus dem Ocular in das Auge tretende Strahlenkegel ausgeglichen. Es bewahrt demgemäss der vermöge der Focustiefe erkennbare Körperraum trotz der Uebersvergrößerung ein — wie die folgende, aus den weiter oben für die Werthe von 2δ und D entwickelten Gleichungen abgeleitete Formel:

$$\frac{2\delta}{D} = \frac{n}{2a} \cdot \frac{\omega}{\operatorname{tg} w} \quad \text{oder} \quad \frac{n \cdot \omega}{a} \cdot \frac{1}{2\operatorname{tg} w}$$

ergiebt — ganz constantes Verhältniss zwischen Tiefenausmessung und linearem Durchmesser, so lange der Gesichtswinkel $2w$ des Oculares, die numerische Apertur in dem oben bezeichneten Sinne, sowie das das Object umgebende Medium gleich bleiben und eine bestimmte Grenze des Seh winkels der zulässigen Undeutlichkeitskreise festgehalten wird. Für die oben angenommene Grösse der numerischen Apertur der abbildenden Strahlenkegel und des zulässigen Seh winkels der Undeutlichkeitskreise beträgt für ein in Luft liegendes Object das für alle Vergrößerungen gleiche Verhältniss zwischen Tiefe und Durchmesser des der

Focustiefe entsprechenden Objectraumes z. B. etwa $\frac{1}{300}$.

Die aus den voranstehenden Betrachtungen sich ergebenden Schlussfolgerungen in Bezug auf die mikroskopische Beobachtung lassen sich nun — wenn wir vorläufig die stereoskopische Beobachtung ausser Acht lassen — in Folgendem zusammenfassen:

Das directe Sehen körperlicher Gebilde ist bei schwachen Vergrößerungen fast ganz allein von der Accommodationsfähigkeit des Auges abhängig. Bei mittleren Vergrößerungen von über 300 wird die Wirkung der beiden Factoren etwa gleichwerthig, ergiebt aber selbst in ihrer Summe schon einen kleinen Bruchtheil vom Durchmesser des Sehfeldes. Werden noch stärkere Vergrößerungen in Anwendung gebracht, so hört die Wirksamkeit der Accommodation fast völlig auf und die ganze Sehtiefe wird mehr und mehr, und endlich fast ganz, nur Focustiefe. Vergrößerungen von 600 bis 1000 und darüber gestatten selbst bei den weiteren Grenzen für die Grösse des Schwinkels der Undeutlichkeitskreise und sehr engen Strahlenbüscheln nur noch eine Sehtiefe von wenigen Einheiten oder gar von Bruchtheilen des Mikron.

Dies giebt uns eine wichtige Richtschnur für die Verwendung des optischen Apparates. Wir werden bei unseren Beobachtungen in allen Fällen, wo es auf eine gewisse Tiefe des Sehraumes ankommt, zunächst stets zu den schwächeren Vergrößerungen greifen, so lange dieselben uns das sonst gewünschte Detail zugänglich machen. Wir werden aber auch bei mittleren und stärkeren Vergrößerungen die Beleuchtung in entsprechender Weise regeln müssen. Aus der Gleichung

$$2\delta = \omega \cdot \frac{X}{N} \cdot \frac{n}{a}$$

ist ersichtlich, dass die Focustiefe in umgekehrtem Verhältnisse zu dem wirksam werdenden a steht, und daraus folgt zunächst, dass wir mit engeren Strahlenkegeln eine grössere Tiefe erreichen, als mit weiteren. So z. B. würde, wenn alle oben angenommenen Zahlenwerthe gleich blieben, statt Strahlenkegel von 0,50 numerischer Apertur aber solche von nur 0,15 (17° Oeffnungswinkel) verwendet würden, die Focustiefe bei 500 maliger Vergrößerung sich ergeben zu:

$$0,0008 \cdot \frac{250}{500 \cdot 0,15} = 0,0027 \text{ mm oder } 2,7\mu$$

statt der früheren von 0,0008 oder $0,8\mu$. Wir werden also zur Erlangung grösserer Sehtiefe engere Beleuchtungskegel verwenden. Indessen kommen diese mit ihrem Betrage nur bei einfacheren Structuren zur Geltung. Sobald verwickeltere Structurverhältnisse auftreten, macht sich die bei ihrem Durchgang durch das Object hervorgerufene Ablenkung der Lichtstrahlen durch Beugung etc. bemerklich und es bleibt demzufolge die wirksame Oeffnung nicht auf die Oeffnung des Beleuchtungskegels beschränkt, sondern es kann dann auch ein enger Beleuchtungskegel die ganze Oeffnung des Objectivsystems in Thätigkeit setzen. Ist dabei das Object nicht sehr dünn und zart, so wird eine grössere

Objectivöffnung bei gleicher Vergrößerung weit grössere Unklarheit hervorbringen, als eine kleine oder mässige. Aus diesem Grunde sind — von anderen Umständen ganz abgesehen — für gewisse Gebiete der mikroskopischen Untersuchungen Objectivsysteme mit kleiner oder mässiger numerischer Apertur von einem nicht zu unterschätzenden Vortheile, und es erscheint als ein ganz grundloses und unwissenschaftliches Vorurtheil, wenn manche Mikrographen Objectivsysteme mit grosser numerischer Apertur für jede Art der Verwendung als vorzuziehende oder erforderliche bezeichnen.

Wenn die Anwendung stärkerer Vergrößerungen in dem Voranstehenden mit Rücksicht auf eine wünschenswerthe Focustiefe und in Bezug auf gewisse Forschungsgebiete beschränkt wurde, so liegt hingegen gerade in der Unverhältnissmässigkeit der Vergrößerung der verschiedenen Ausmessungen des Sehraumes eine hohe Bedeutung nach anderer Richtung. Sie beruht darauf, dass dieser Umstand in dem Grade, als er die unmittelbare Auffassung räumlicher Formen erschwert und beschränkt, die mittelbare Erkenntniss räumlicher Verhältnisse fördert und erweitert. Indem sich nämlich einerseits die Focustiefe bei steigender Vergrößerung Schritt um Schritt vermindert, heben sich andererseits die Bilder in verschiedenen Ebenen in gleichem Maasse vollständiger von einander ab und werden reiner und deutlicher, d. h. die mikroskopischen Bilder körperlicher Objecte gehen bei starken Vergrößerungen in Folge der Ueberschärfung mehr und mehr in optische Querschnitte durch diese Objecte über. So wird dann der Beobachter befähigt, durch aufeinanderfolgende Einstellungen auf eine Reihe von übereinanderliegenden Ebenen die räumliche Gliederung der kleinsten Gebilde mit derselben Sicherheit aufzubauen, mit welcher beim Sehen mit freiem Auge die Formen grösserer körperlicher Gegenstände zur deutlichen Anschauung gebracht werden können.

3. Lichtstärke des Mikroskopes.

- 120 Die Lichtstärke des Mikroskopes steht in engster Beziehung entweder zu der vollen, d. h. durch das über dem Ocular entworfene Bild der Iris des Objectives dargestellten, oder zu der in jedem einzelnen Falle wirksamen Austrittspupille des ganzen Mikroskopes, je nachdem die von dem Objecte ausgehende Lichtstrahlung die ganze Oeffnung ausfüllt, oder nur enge durch die durchsichtigen Theile des Objectes getretene, dem directen Strahlenkegel gleiche Strahlenbüschel bei der Abbildung thätig werden. Alle auf dieselben bezügliche Fragen finden ihre volle Erklärung durch die beiden folgenden aus den Grundbegriffen der Lichtmesskunde (Photometrie) ableitbaren Sätze:

1. Wenn ein vollkommen durchsichtiges Object von einer hinter oder (bei dem Mikroskope) unter demselben befindlichen lichtstrahlenden Fläche beleuchtet wird, so wird die dieser Fläche eigene Leuchtkraft auf das erstere übertragen, d. h. so lange, als Strahlenkegel von gleicher Winkelöffnung in Betracht kommen, sendet jede Flächeneinheit des durchsichtigen Objectes dieselbe Lichtmenge weiter, welche von einer jeden Flächeneinheit der Lichtquelle ausstrahlt.

2. Wenn ein selbstleuchtendes durchsichtiges oder mittelst Zurückwerfung lichtstrahlendes Object durch ein optisches System abgebildet wird, so geht von jeder Flächeneinheit des Bildes dieselbe Lichtmenge aus, welche von der Flächeneinheit des Objectes ausgestrahlt oder durchgelassen wird, so lange Strahlenkegel von gleicher Winkelöffnung oder von gleicher numerischer Apertur in Vergleich kommen, je nachdem Bild und Object von demselben Medium, oder von verschiedenen Medien umgeben werden. Welches auch die Vergrößerung sein möge, das Bild zeigt immer dieselbe Leuchtkraft wie das Object, wenn man die Lichtmengen vergleicht, die von beiden durch Strahlenkegel von gleicher numerischer Apertur ausgestrahlt werden und dabei von den Lichtverlusten absieht, welche durch Brechung, Zurückwerfung oder Absorption herbeigeführt werden.

Die Anwendung dieser Sätze auf das Mikroskop kann nun kurz 121 in folgender Weise ausgedrückt werden: Bei der Beobachtung eines mikroskopischen Bildes müssen alle von dem Bilde zu dem Auge gelangenden Strahlen durch die in dem sogenannten Augenpunkte gelegene Austrittspupille des Mikroskopes hindurchgehen. Dasselbe muss also ganz unter denselben Bedingungen, d. h. in der gleichen Helligkeit gesehen werden, wie ein mit der ursprünglichen Leuchtkraft des mikroskopischen Objectes, oder der hinter (unter) ihm befindlichen lichtgebenden Fläche strahlender, beliebig vergrößerter Gegenstand beim natürlichen Sehen erscheinen würde, wenn man vor dem Auge ein Diaphragma mit einer der Austrittspupille des Mikroskopes congruenten freien Öffnung aufstellt¹⁾.

Der Halbmesser der wirksam werdenden Austrittspupille ist bereits auf S. 201 durch die Formel

$$p^{**} = \frac{X}{N} \cdot a$$

seinem Werthe nach bestimmt worden. Vergleichen wir nun damit den natürlichen Halbmesser der Pupille des Auges, so kann, wenn man wieder von den durch das optische System veranlassten Lichtverlusten absieht, die Helligkeit des mikroskopischen Bildes sofort mit der Helligkeit verglichen werden, unter welcher das Object dem freien Auge erscheinen würde.

¹⁾ Abbe, l. c. Seite 438.

Aus den voranstehenden Betrachtungen ergeben sich als unmittelbare Folgerungen:

1. Die Helligkeit des mikroskopischen Bildes kann, da der Durchmesser der wirksam werdenden Austrittspupille in dem Durchmesser der Pupille des Auges seine äusserste Grenze findet, unter keinen Umständen grösser werden, als diejenige, mit welcher das Object unter gleicher Beleuchtung dem freien Auge erscheinen würde.

2. Wenn die Grösse der Austrittspupille diejenige der Pupille des Auges überschreitet oder erreicht, so kommt die Helligkeit des mikroskopischen Bildes — sofern man von den durch das Instrument verursachten Lichtverlusten absieht — bei jeder beliebigen Vergrösserung stets der Helligkeit des natürlichen Objectes oder der lichtgebenden Fläche gleich.

Wird hierbei ein bestimmter Durchmesser der Pupille des Auges vorausgesetzt, so giebt es einen Grenzwert der Vergrösserung des Mikroskopes, bis zu welchem die Helligkeit des natürlichen Sehens bewahrt wird und welche entweder von der numerischen Apertur des Objectivsystemes oder von der des Beleuchtungskegels abhängt.

Stellt π den Halbmesser der Pupille des Auges vor, so wird dieser Grenzwert ausgedrückt durch die Formel

$$\pi = \frac{X}{[N]} \cdot a \quad \text{oder} \quad [N] = \frac{X}{\pi} \cdot a$$

Sei z. B. die numerische Apertur eines Objectivsystemes für homogene Immersion = 1,25, die deutliche Sehweite $X = 250$ mm und $\pi = 2,0$ mm (der annähernde Halbmesser der Pupille bei Tageslicht) und wird angenommen, das volle a trete in Wirksamkeit, so ist die Vergrösserung, welche dieses System ohne Lichtverlust erträgt,

$$= \frac{250}{2} \cdot 1,25 = 156$$

Dieselbe würde jedoch auf 52 sinken, wenn der Beleuchtungsapparat nur einen Lichtkegel von etwa 0,42 numerischer Apertur (50°) liefert. (Die erste Vergrösserung wäre hier mit $\frac{1}{8}$ und einer nahezu zweimaligen Angularvergrösserung noch zu erreichen, die zweite dagegen liegt bei dieser Brennweite ausser dem Bereiche der Möglichkeit, da sie schon geringer ist, als die Vergrösserung, welche ein solches Objectiv, als Lupe benutzt, gewähren würde.)

3. Uebersteigt die Vergrösserung N des Mikroskopes den mit dem Werthe von a verknüpften Grenzwert $[N]$, so vermindert sich die Helligkeit des mikroskopischen Bildes im Vergleich zu der Helligkeit des natürlichen Sehens in dem Verhältnisse von $\pi^2 : (p^{**})^2$, oder wie aus den beiden voranstehenden Formeln für π und p^{**} leicht abzuleiten, in dem Verhältnisse von $N^2 : [N]^2$.

In Worten: Uebersteigt die Vergrößerung des Mikroskops den oben bezeichneten Grenzwert $[N]$, oder wird die Austrittspupille in dem Augenpunkt des Mikroskopes kleiner als die Pupille des Auges, so vermindert sich die Helligkeit des mikroskopischen Bildes in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der linearen Vergrößerung.

Wird z. B. die Vergrößerung des oben betrachteten Objectivsystemes mit vollem Lichte auf 1560, mit einem Beleuchtungskegel von 0,42 numerischer Apertur auf 520 gebracht, so wird die Helligkeit nur $\frac{1}{100}$ von derjenigen des Sehens mit freiem Auge betragen.

4. Abgesehen von den praktisch fast kaum in Betracht kommenden kleinen Unterschieden in den Lichtverlusten innerhalb des Mikroskopes hängt die Helligkeit des mikroskopischen Bildes in keinerlei Weise von der Zusammensetzung des optischen Apparates (Brennweite des Objectivsystems, Ocularstärke und Tubuslänge), sondern einzig und allein von der wirksam werdenden numerischen Apertur und der Gesamtvergrößerung ab.

Daher sind denn auch alle Objectivsysteme, deren numerische Apertur diejenige des gewöhnlich zur Verwendung kommenden Beleuchtungskegels von etwa 0,35 bis 0,42 überschreitet, in Bezug auf Lichtstärke sämmtlich einander gleich, sobald sie unter gleicher Gesamtvergrößerung benutzt werden und die gegentheiligen Ansichten mancher Mikroskopiker beruhen einfach auf dem Umstande, dass Unterschiede in der Schärfe und Deutlichkeit des Bildes unwillkürlich als Unterschiede in der Helligkeit gedeutet werden.

Der vorhergehende Satz kann leicht durch einen einfachen, auf Mes- 122
sung der beziehentlichen Lichtstärke gegründeten Versuch erwiesen werden. Zu dem Ende verbindet man ein schwaches Objectivsystem von etwa 16 bis 15 mm Brennweite mit einem schwachen Ocular von etwa 50 mm Brennweite und stellt auf irgend ein durchsichtiges Object ein. Dann bringt man auf einem senkrechten dunklen Hintergrunde in gleicher Höhe mit dem Ocular neben dem Mikroskope ein Stück weisses Papier und über dem Ocular ein unter 45° geneigtes Deckgläschen an (letzteres kann mittelst eines aus Carton geschnittenen passenden Rähmchens geschehen). Sieht man in horizontaler Richtung durch dieses durchsichtige Spiegelchen, so erblickt man neben dem Papier das von der geneigten Glasfläche auf dem gleichen Hintergrunde projecirte Bild des Objectfeldes und indem man die Beleuchtung des Papierblattes in entsprechendem Maasse mässigt, erhält man leicht eine genau gleiche Helligkeit der beiden zu vergleichenden Flächen. Nachdem die Helligkeit des mikroskopischen Bildes durch die Helligkeit des Papiers gemessen erscheint, lasse man die Beleuchtung von Papier und Object ungeändert, kehre aber die Anordnung des optischen Apparates um, indem man das Ocular durch irgend eine passende Vorrichtung (wie sie z. B. für die Bestim-

mung der Brennweite von Ocularen erforderlich wird) als Objectiv, das vorher gebrauchte Objectiv als Ocular verwendet und darauf achtet, dass die optische Tubuslänge die gleiche bleibt wie vorher. Dadurch erhält man ein System, welches in jeder Beziehung wie ein gewöhnliches Mikroskop wirkt. Da dabei — weil Objectpunkt und Augenpunkt einfach vertauscht erscheinen — der vordere wie der hintere Brennpunkt des ganzen Systemes ausserhalb der Linsen liegen und die Brennweite ungeändert bleibt, muss auch die Vergrösserung des Bildes dieselbe bleiben wie vorher, und der ganze Unterschied zwischen beiden Anordnungsweisen der Einzeltheile des optischen Apparates besteht darin, dass man nun ein sehr schwaches Objectivsystem von möglichst schlechter Eigenschaft mit einem starken Ocular verbunden hat. War der Beleuchtungskegel so eng gewählt, dass er in beiden Fällen in das gewählte Objectiv eintreten konnte, so wird man keinen Unterschied der Helligkeit wahrnehmen, wenn das Objectfeld wiederholt neben das weisse Papierblatt projectirt wird. Dieser Versuch setzt indessen ein vollständig durchsichtiges Objectfeld voraus. Enthält das Object irgend sichtbares Detail, so wird das undeutliche Bild, welches das Ocular als ein mit starken Abweichungen behaftetes Objectiv entwirft, gewohnheitsmässig als dunkler erscheinen und die vorhin erwähnte Missdeutung veranlassen.

III. Schematische Zerlegung des Mikroskopes. Objectivwirkung und Ocularfunction.

- 123 Zu einer rationellen schematischen Zerlegung des Mikroskopes und einer damit verknüpften gründlicheren Kennzeichnung seiner wesentlichen optischen Wirksamkeit, welche sich aus zwei dem Begriffe nach selbständigen und in ihren besonderen gegenseitigen Leistungen auch thatsächlich trennbaren Grundfactoren: Focalwirkung und Flächenausbreitung, zusammensetzt, gewährt die auf Seite 190 aufgestellte Gleichung

$$N = \left(\frac{X}{f_1} \right) \cdot \left(- \frac{\Delta}{f_2} \right)$$

die erforderliche Grundlage ¹⁾.

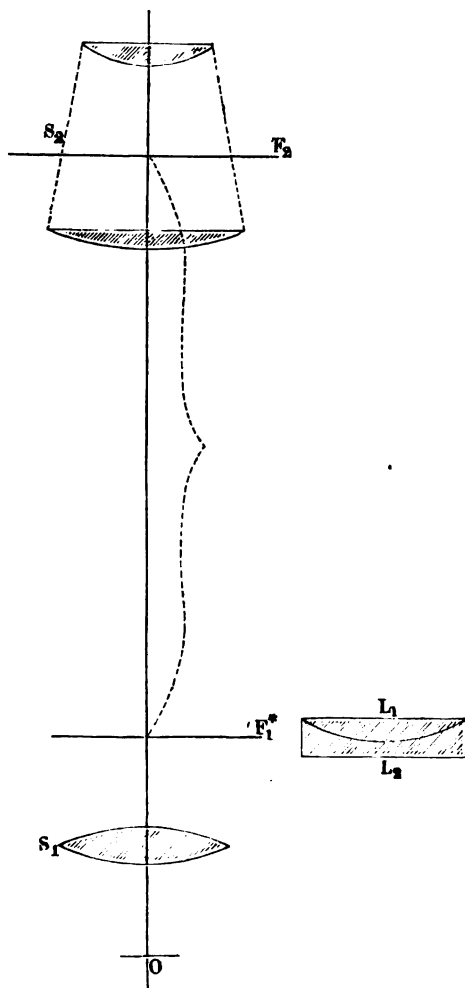
In dieser Gleichung erscheint der erste, mit der auf S. 167 abgeleiteten Gleichung übereinstimmende Factor $\frac{X}{f_1}$ als die Vergrösserung einer Lupe, während der zweite Factor $\left(- \frac{\Delta}{f_2} \right)$ den bekannten Ausdruck für die Angularvergrösserung eines astronomischen Fernrohres darstellt, dessen Ocular die Brennweite f_2 , dessen Objectivsystem die Brenn-

¹⁾ Abbe, Beiträge etc, S. 421 u. f.

weite Δ , also seinen Ort in der hinteren (oberen) Brennebene des Mikroskopobjectives von der Brennweite $= f_1$ hätte. Der erste Factor kennzeichnet somit die Lupen- oder Focalwirkung des Objectivsystemes, der andere die Ocularfunction, welche in der Angularvergrößerung oder Flächenausbreitung des von dem Objectivsystem entworfenen Bildes besteht.

Um diese theoretische Auseinanderlegung der Wirkungsweise zu verwirklichen, müsste man am Orte der hinteren Brennebene F_1^* des

Fig. 141.



Mikroskopobjectives eine — optisch unwirksame — ebene, parallellflächige Platte eingeschaltet und dieselbe aus zwei verschwindend dünnen Linsen von gleicher Krümmung, nämlich einer planconvexen Sammellinse L_1 von der Brennweite Δ und einer planconcaven Zerstreuungslinse L_2 von der Brennweite $-\Delta$ zusammengesetzt denken (Fig. 141).

Dadurch wird an der Zusammensetzung des Mikroskopes thatsächlich nichts geändert und man kann nun die Sammellinse L_1 zum Ocular rechnen, die Zerstreuungslinse L_2 zum Objectivsystem hinzufügen, dessen Brennweite hierdurch nach Formel V b nicht verändert wird, weil dieser Formel zufolge ganz allgemein die Brennweite eines zusammengesetzten Systemes derjenigen des ersten Gliedes gleich bleibt, sobald das zweite Glied eine einfache Linse am Orte des hinteren Brennpunktes des

ersten Gliedes ist und also im Sinne der dortigen Bezeichnung $\Delta = -f_2$ wird.

Auf diese Weise erhält man erstlich ein aus dem Objectivsysteme des Mikroskopes S_1 und der Zerstreuungslinse L_2 gebildetes Objectivsystem ($S_1 + L_2$), dessen vorderer Brennpunkt mit dem Achsenpunkte O der Objectebene zusammenfällt, welches also die nach dem Achsenpunkte der Bildebene hinzielenden Strahlenbüschel in parallelstrahlige mit der Achse gleichlaufende Büschel, alle nach seitlichen Punkten der Bildebene gerichteten zu solchen umwandelt, welche unter einem gewissen, aber gleichen Winkel zur Achse geneigt sind und welches somit das im unteren Brennpunkte F des ganzen Mikroskopes befindliche Object O gerade so virtuell in unendliche Entfernung rückt, wie eine Lupe für ein weitsichtiges Auge; und zweitens ein aus dem Ocular S_2 und der Sammellinse L_1 bestehendes astronomisches Fernrohr ($L_1 + S_2$), welches dieses virtuelle Bild nach Maassgabe der Angularvergrösserung $\frac{\Delta}{f_2}$ auf einen vergrösserten Schwinkel ausbreitet.

124 Aus der voranstehenden Betrachtung ergibt sich die bezeichnende Arbeitstheilung in der Wirkungsweise des zusammengesetzten Mikroskopes, sowie der Antheil, welcher den einzelnen Bestandtheilen desselben bei seiner Gesamtleistung zukommt.

Die erste Thätigkeit in dem Abbildungsvorgange besteht danach in der durch das combinirte Objectivsystem ($S_1 + L_2$) bewirkten Erzeugung eines den parallelstrahligen Büscheln entsprechenden unendlich entfernten virtuellen Bildes, welches zufolge der Gleichung $tg u = \frac{h^*}{f_1}$ (Seite 15) durch die Brennweite des Objectives und den linearen Durchmesser des Objectes nach dem Gesichtswinkel, unter welchem es erscheint, bestimmt ist. Betrachten wir den hierbei stattfindenden Strahlengang z. B. an der Hand der Fig. 135 u. 136, so ergibt sich die Thatsache, dass von den einzelnen Objectpunkten Strahlenkegel von grosser Winkelöffnung ausgehen, dass aber, da die Brennweite den Ausmassen des Objectes gegenüber immer verhältnissmässig gross ist, die nach dem Mittelpunkt der Eintrittspupille hinzielenden Hauptstrahlen der verschiedenen Objectpunkte nur kleine Winkelabweichungen zeigen. Es erfolgt also die Flächenausbreitung des Bildes praktisch so gut wie vollkommen nach den Gesetzen für die Abbildung eines unendlich kleinen Flächenelementes, während dabei zugleich die Divergenzänderung von Strahlenkegeln grossen Oeffnungswinkels, wie sie von den einzelnen Objectpunkten ausgehen, zur Geltung kommt. Mit dieser Erzeugung des Lupenbildes ist denn auch die sachliche Grenzscheide gegeben, an welcher die Objectivwirkung aufhört und die Ocularfunction beginnt. Diese Grenze fällt nämlich, oder kann immer verlegt werden, in die hintere (obere) Brennebene des Objectivsystemes, d. h. dahin, wo die von den einzelnen Objectpunkten divergent in das Objectivsystem eingetretenen Strahlenbüschel in diesem durch wiederholte Brechung (einschliesslich derjenigen an der concaven Fläche der ideellen Zerstreuungslinse L_2) in parallel-

strahlige Büschel umgewandelt und von wo aus sie durch eine weitere Brechung (in der ideellen Sammellinse L_1) nach dem Ocular hin convergent gemacht werden.

Dieses letztere, welches gemäss unserer Zerlegung in Verbindung mit L_1 ein rein teleskopisches System vorstellt, hat nun den zweiten Schritt der Abbildung zu vollziehen, welcher darin besteht, dass es das unendlich entfernte virtuelle Bild vermöge der innerhalb dieses teleskopischen Systemes stattfindenden Brechungen in der Weite des deutlichen Sehens auf einen der teleskopischen Vergrösserung entsprechenden, grösseren Schwinkel ausbreitet. Seine Wirkungsweise ist dabei von derjenigen des Objectivsystemes wesentlich darin verschieden, dass es, weil — wie wir aus den eben angezogenen Figuren ersehen — innerhalb je eines Strahlenbüschels nur noch sehr geringe Divergenzen vorkommen, die Aenderung der Divergenzwinkel der ihm zugeleiteten Strahlenbüschel bis auf unmerkliche Abweichungen so vollzieht, wie sie bei unendlich engen Strahlenkegeln erfolgt, während dabei die Ausbreitung einer Bildfläche auf grossen Bildwinkel hervortritt.

Auf Grund des geschilderten Ineinandergreifens von Objectivwirkung und Ocularfunction beantworten sich zahlreiche wichtige, auf die Theorie des Mikroskopes und die zweckentsprechende Construction seines optischen Apparates bezügliche Fragen, z. B. nach dem Sitze der verschiedenen Fehlerquellen, nach den Mitteln zu ihrer Beseitigung, nach der Grenze der unter gegebenen Verhältnissen möglichen Vollkommenheit der Abbildung, nach der Wirkung, welche verschiedene Constructionselemente, wie die Brennweite des Objectivsystemes, die Tubuslänge und die Ocularstärke, auf die Höhe der Gesamtleistung u. s. w. äussern. 125

Von diesen Fragen sind einzelne schon berührt, andere werden in dem nächsten die Einzeltheile des optischen Apparates behandelnden Capitel dieses Abschnittes, sowie in dem Abschnitte über das optische Vermögen des Mikroskopes ihre Erörterung finden. Hier haben wir zunächst die in den unvermeidlichen Resten der Aberrationen begründeten Abbildungsfehler einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Diese Fehler, wie sie bei dem zusammengesetzten Mikroskope in Folge der grossen Oeffnungswinkel seiner Objectivsysteme in die Erscheinung treten, zerfallen nach Professor Abbe, welcher denselben zuerst und allein eine ausführliche und gründliche Untersuchung gewidmet hat, in zwei Classen: Fehler der Focalwirkung — Abweichungen im engeren Sinne — und Fehler der Flächenausbreitung oder der Vergrösserung.

Die Abweichungsfehler der ersten Classe, zu denen

1. die sphärische Abweichung,
2. die chromatische Abweichung,
3. die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung.

gehören, bedingen allein den Grad der Vollkommenheit der Strahlenvereinigung in der Mitte des Sehfeldes.

Die zweite Classe fasst eine Reihe eigenthümlicher Abweichungen von dem regelrechten Strahlenverlaufe in sich, welche sämmtlich darin ihren Grund haben, dass die verschiedenen Theile eines die freie Objectivöffnung ausfüllenden homocentrischen Strahlenkegels je nach der verschiedenen Neigung dieser Theile gegen die optische Achse und je nach der ungleichen Brechbarkeit der einzelnen Farben, Bilder von ungleicher Vergrösserung liefern, und zwar ungleich, wenn einerseits die verschiedenen Einzelbilder unter einander, oder andererseits verschiedene Richtungen in dem Sehfelde innerhalb je eines Bildes verglichen werden. Aus diesen Abbildungsfehlern, welche vom Professor Abbe als Anomalien der Vergrösserung bezeichnet werden, entspringen die Unvollkommenheiten der Abbildung ausserhalb der Achse, sowie eine besondere Art von chromatischen Fehlern, welche man bisher als chromatische Abweichung gedeutet hat, welche aber zu dieser im strengen Sinne nicht gehören.

Abweichungen dieser zweiten Classe sind z. B.

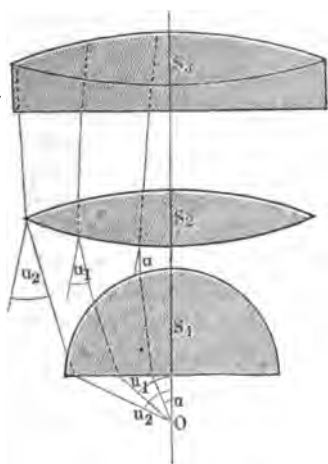
1. Echte Vergrösserungsfehler.
 - a) Die Differenz der Vergrösserung in verschiedenen Zonen des Objectivsystemes, d. h. die verschiedene Vergrösserung der Bilder, welche durch Strahlenbüschel von verschiedener Neigung zur Achse des ersteren erzeugt werden — Convergenzfehler.
 - b) Die chromatische Differenz der Vergrösserung — verschiedene Brennweite für verschiedene Farben.
2. Sphärische Abweichung ausser der Achse.
3. Wölbung des Sehfeldes.
4. Verzerrung des Bildes, d. h. orthoskopische Fehler für die Kreuzungspunkte der Hauptstrahlen.
5. Astigmatische Differenz der Vereinigungsweite.

126 Die sphärische Abweichung zeigt, wie wir S. 48 gesehen haben, für jeden bestimmten Neigungswinkel u der abbildenden Strahlen eine Reihe von selbstständigen, mit bestimmten Coefficienten behafteten und nach den geraden Potenzen von u fortschreitenden Gliedern, welche mit der zunehmenden Neigung der Strahlen gegen die optische Achse und in den verschiedenen Theilen des Objectivsystemes in diesem Fortschreiten mit sehr ungleichförmigem Gange anwachsen.

Verfolgen wir den Gang der Strahlen eines von dem Achsenpunkte O (Fig. 142) der Objectebene ausstrahlenden Lichtkegels, so erkennen wir aus früheren Betrachtungen sofort, dass für die Vorderfläche der Linse S_1 , also der „Frontlinse“ des Objectivsystemes, ein sehr grosser Spielraum für die Neigungswinkel der von der Achse nach dem Linsenrande sich

folgenden Strahlen und damit auch für die Werthe von δ vorhanden ist, während dieser Spielraum für die hinteren Theile auf ein weit geringeres Maass zurückgeführt wird.

Fig. 142.



Ausserdem wird die erste brechende Fläche des Systemes ganz andere Werthe der Coefficienten herbeiführen, als die ihr folgenden Flächen und es wird damit die Ungleichförmigkeit in gewissem Maasse gesteigert.

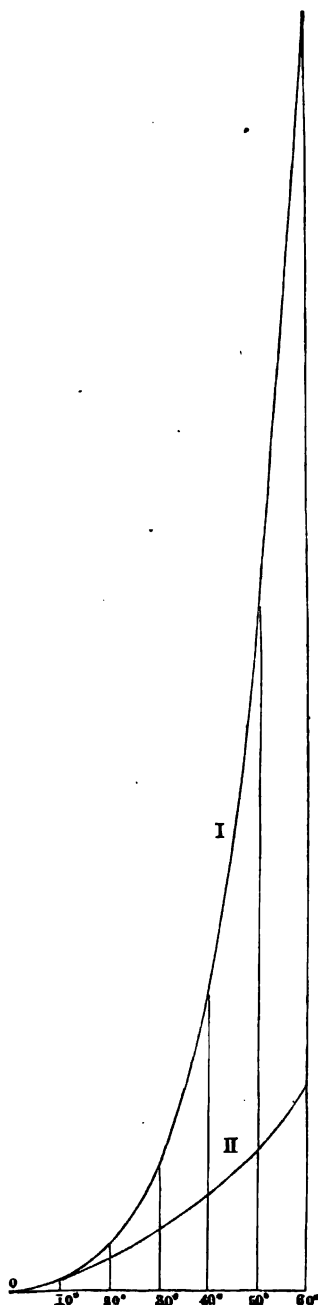
Führen wir nun an der Hand dieser Thatsachen, unter Annahme bestimmter Coefficienten den Gang der sphärischen Abweichung in dem vorderen und hinteren Theile eines Objectivsystemes in graphischer Construction aus, indem wir die Neigungswinkel als Abscisse, die zugehörige Längenabweichung als Ordinate darstellen und die betreffenden Abscissen auf gleiches Maass zurückführen, so ergibt sich für jene eine Curve

wie Fig. 143 I a. f. S., mit anfänglich langsamer, dann auffallend rascher Steigerung, für diese eine langsam und wenig ansteigende, Fig. 143 II. Legen wir jetzt beide Curven über einander, so werden dieselben nur auf eine verhältnissmässig kurze Strecke zur Deckung gelangen, während die übrigen Theile weit auseinander laufen. Wir ersehen daraus, dass eine vollständige Ausgleichung der sphärischen Abweichung auch bei entgegengesetztem Charakter derselben in beiden Theilen des Systemes im Falle grosser Oeffnungswinkel nicht möglich ist.

In der That kann denn auch eine Ausgleichung nur in Bezug auf die beiden ersten Glieder herbeigeführt werden. Geht die Winkelöffnung eines Objectivsystemes über eine kleine Grösse hinaus, dann kann jene nur in der Weise bewirkt werden, dass man die nicht aufhebbaren höheren Glieder durch absichtlich herbeigeführte Reste der niederen ins Gleichgewicht zu setzen sucht.

Wenn eine völlige Ausgleichung erreicht werden sollte, so müsste, wenn die erste Fläche bestimmte Werthe der betreffenden Coefficienten herbeiführt, eine zweite Fläche oder Linse des Systemes gleich grosse, aber gerade entgegengesetzte Werthe dieser Coefficienten geben. Dies lässt sich jedoch nicht ausführen und es bleiben deshalb immer noch Reste der Abweichung übrig, deren Beträge um so grösser ausfallen, je grösser die Neigungswinkel u werden. Dieses Ausgleichungsverfahren hat also immer und nothwendigerweise noch einen nicht zu vermeidenden Ausfall zur Folge und es bestimmt dessen Anwachsen die Grenze, welche die Grösse des Oeffnungswinkels erreichen darf, sowie die Grundform, welche

Fig. 143.



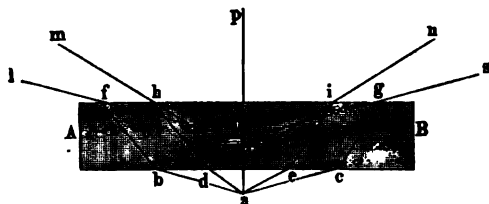
bei der Construction der Objectivsysteme angewendet werden muss, wenn derselbe das mikroskopische Bild nicht in unzulässiger Weise schädigen soll. Ist aber einmal ein Constructionsfehler nach dieser Richtung hin begangen und sind merkliche Reste von sphärischer Abweichung in einem Objectivsysteme geblieben, so können dieselben, da sie ihren Ursprung in denjenigen Brechungen innerhalb des letzteren haben, bei welchen eine grosse Divergenz der Strahlenkegel im Spiel ist, nicht mehr an solchen Stellen gehoben werden, wo die Divergenzwinkel schon sehr gering geworden sind, also weder in den Ocularen noch in Correctionsgläsern über dem System. Alles was durch derartige Einrichtungen, seien es solche letzterer Art, seien es eigenartige Ocularconstructions, erreicht werden kann, ist immer auch durch eine zweckentsprechende Construction der Objectivsysteme selbst zu erzielen. Was für diese überhaupt nicht oder in Folge verfehelter Construction nicht erreicht werden kann, kann auch durch jene nicht herbeigeführt werden. Die oft gerühmten Wirkungen derartiger Apparate sind und bleiben Luftschlösser, welche jeden festen Unterbaues entbehren.

Eine der sphärischen Abweichung analoge Erscheinung ruft der Einfluss des Deckglases hervor. Bis gegen das Jahr 1830 blieb derselbe gänzlich unbeachtet, aber je weitere Fortschritte man nach und nach in der Vervollkommnung der Objective, namentlich aber in der Verbesserung der Abweichungen und in der Vergrösserung des Oeffnungswinkels machte, desto mehr musste sich dieser Einfluss namentlich bei den stärker-

ren Objectivsystemen äusseren. In Folge dieses Einflusses erscheinen nämlich die Bilder solcher Objective, welche mit Rücksicht auf unbedeckte Probeobjecte hergestellt wurden, mit nicht unbedeutenden Abweichungsfehlern behaftet, sobald man mit einer dünnen Glasplatte bedeckte Objecte mittelst derselben beobachtet. Derselbe Fehler tritt ein, wenn man solche Objectivsysteme, die unter Benutzung eines Deckglases von bestimmter Dicke construirt wurden, zur Beobachtung unbedeckter oder mit Deckgläsern von abweichender Dicke bedeckter Objecte verwendet. Den Grund dieser Erscheinung, zu deren näherer Erläuterung die nachfolgende Betrachtung dienen soll, haben wir in der Brechung der Lichtstrahlen durch eben- und parallelfächige Glasplatten zu suchen.

In Fig. 144 ist AB der Durchschnitt einer ebenen Glastafel, hinter welcher sich, nahe an ihrer unteren Fläche, der leuchtende Punkt a be-

Fig. 144.



findet. Von diesem Punkt aus treffen die Strahlen ab, ac, ad, ae auf die ebene Fläche. Der senkrecht auffallende Strahl ap geht in gleicher Richtung weiter, die vier übrigen dagegen werden von ihrer ursprünglichen Richtung um so weiter abgelenkt, je schiefer sie die Glastafel treffen. Sie nehmen in dem Glase die Richtungen bf, cg, dh, ei an und gehen nach ihrem Austritte in die Luft in den Richtungen fl, gs, hm, in weiter. Die am schiefersten auffallenden Strahlen ab und ac scheinen daher nach ihrem Durchgange durch die Glastafel ihren Vereinigungspunkt in o , die näher an der Achse liegenden in r zu haben, wie aus der rückwärtsgehenden Verlängerung der austretenden Strahlen erhellt. In Folge dessen stellt sich der Punkt a bildlich als eine Reihe von unendlich vielen in der Achse ap übereinanderliegenden Punkten dar, von denen der der oberen Fläche zunächst gelegene von den am schiefersten auffallenden Strahlen gebildet wird und umgekehrt. Denken wir uns an der Stelle des einzelnen Punktes einen leuchtenden Gegenstand, so wird von demselben eine Schicht übereinanderliegender, sich deckender Bilder entstehen, welche um so dicker wird, je mehr die Glasplatte an Dicke zunimmt. Wir haben hier also ganz dieselbe Erscheinung, welche wir bei den Linsen als sphärische Abweichung kennen lernten. In welcher Weise das Deckglas in Verbindung mit dem Objectivsysteme wirkt, wird leicht verständlich, wenn wir ins Auge fassen, dass die Vereinigungspunkte der von den einzelnen Bildpunkten ausfahrenden

Strahlenkegel um so weiter von dem hinteren Brennpunkte des Objectivsystemes sich entfernen, je näher diese Bildpunkte an den vorderen Brennpunkte heranrücken. Es tritt also in sphärischer Beziehung in gewissem Grade eine Uebersverbesserung ein, welche immer einen nicht unbedeutenden nachtheiligen Einfluss auf die Deutlichkeit der mikroskopischen Bilder äussert. Ist ein Objectivsystem für ein nicht bedecktes Object eingerichtet, so muss dessen Verbesserung durch den Einfluss des Deckglases natürlich eine Störung erleiden, welche mit der Dicke des letzteren an Grösse zunimmt. Ganz in gleicher Weise wird sich aber auch ein Deckglas geltend machen, welches in seiner Dicke von demjenigen abweicht, das bei der Construction des betreffenden Objectivsystemes von dem Optiker benutzt wurde. Amici beobachtete diesen Einfluss des Deckglases zuerst und zwar schon im Jahre 1829. Später, im Jahre 1837, wurde derselbe auch von dem englischen Optiker A. Ross wahrgenommen, ohne dass derselbe, wie es scheint, von Amici's Entdeckung Kenntniss genommen hatte.

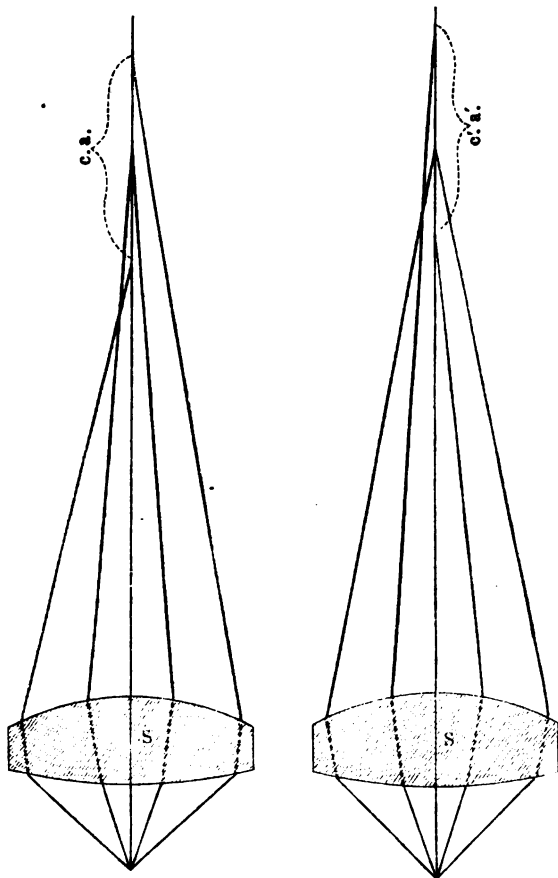
128 Ein der sphärischen Abweichung angehöriger Rest der Farbenabweichung, die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung (nach Abbe's Bezeichnung), hat ihren Grund in der den verschiedenen Glasarten eigenen ungleichen Farbenzerstreuung, zufolge der die sphärische Abweichung einer einfachen Sammel- oder Zerstreuungslinse für die verschiedenen Farben ungleiche Beträge und ihr Unterschied zwischen Roth und Blau eine, je nach der Dispersion der betreffenden Glasart verschiedene Grösse hat. Dieser Umstand bedingt nun einen ungleichen Gang zwischen der positiven und der negativen (d. h. der ausgleichenden) sphärischen Aberration in dem Systeme. Während nämlich die negative Längenabweichung der Zerstreuungslinsen von Roth zu Blau rasch steigt, unterliegt die positive Längenabweichung der Sammellinsen in der gleichen Richtung einem weit langsameren Fortschreiten der gleichen Art, und es ist leicht einzusehen, dass die sphärische Abweichung einer Sammellinse aus Crown Glas nicht gleichzeitig für alle Farben durch die entgegengesetzte sphärische Abweichung einer aus Flintglas bestehenden Zerstreuungslinse aufgehoben werden kann. Es erscheint daher, wenn für die rothen Strahlen die richtige Ausgleichung erzielt ist, die sphärische Abweichung der Flintglaslinsen für Blau überwiegend, sie befindet sich umgekehrt für Roth im Rückstande, wenn die blauen Strahlen zur genauen Vereinigung gebracht sind. Daher bleibt eine corrigirte Doppellinse oder ein beliebig zusammengesetztes Linsensystem in dem einen Falle für Blau sphärisch überverbessert, in dem anderen für Roth sphärisch unterverbessert.

Die Wirkung dieses Abweichungsfehlers kommt in Form einer eigenthümlichen, mit zunehmender numerischer Apertur sich rasch steigenden Verschiedenheit zur Erscheinung, welche die Farbenabweichung der Objectivsysteme in Bezug auf verschieden geneigte, also auf verschiedene Zonen der freien Oeffnung treffende Strahlenbüschel

erkennen lässt. Ist ein solches System für den mittleren Theil, d. h. für die centralen Strahlen, chromatisch möglichst genau corrigirt und treffen für diese Roth und Blau an derselben Stelle der Achse zusammen, so

Fig. 145.

Fig. 146.



muss der blaue Randstrahl die Achse in grösserer Entfernung schneiden, als der rothe Randstrahl (Fig. 145) ¹⁾. Das System erscheint sonach

¹⁾ Der Deutlichkeit halber sind Roth und Blau in den Figuren 145 und 146 nur für je eine Seite gezeichnet. Beide stellen Systeme vor, welche sphärisch für eine mittlere Farbe (z. B. Gelb, also für das intensivste Licht) corrigirt, daher für Roth sphärisch unter-, für Blau sphärisch überverbessert sind (die normale Art der sphärischen Correction, weil sie für das intensivste Licht die beste Strahlenvereinigung herbeiführt). Dagegen ist das System in Fig. 145 chromatisch corrigirt für die Achse, übercorrigirt (mit der Längenabweichung $c. a$) für den Rand, das System in Fig. 146 chromatisch corrigirt für den Rand, untercorrigirt (mit der Längenabweichung $c'. a'$) für die Achse.

für schiefes Licht wie chromatisch überverbessert und während es bei gerader Beleuchtung die günstigsten grün und rosa umsäumten Bilder gewährt, zeigt es bei excentrischem Lichteinfalle merklich breite gelbe und blaue Farbensäume an den Grenzen der abgebildeten Objecte. Umgekehrt muss, wenn das Objectivsystem für die äussersten Zonen der Oeffnung möglichst abweichungsfrei gehalten ist, d. h. wenn für die schiefsten (Rand-) Strahlen Roth und Blau auf der Achse zur Vereinigung gebracht sind, der blaue Achsenstrahl die Achse früher treffen, als der rothe Achsenstrahl Fig. 146 (a. v. S.) und das erstere für gerades Licht als chromatisch unterverbessert erscheinen. Schiefe Beleuchtung erzielt scharfe Zeichnung und schmale secundäre, violette und grüne Farbensäume, während bei geradem Lichte schlechte, mit tiefen rothen und blauen Farbensäumen umgrenzte Bilder auftreten.

Die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung kann mit-
telst der zur Zeit der optischen Technik zu Gebote stehenden Materialien nicht beseitigt werden und nöthigt bei der Construction der Objectivsysteme zu einem eigenthümlichen Ausgleichungsverfahren, welches darin besteht, dass die Stelle der besten Achromasie in eine mittlere Zone verlegt, das System mithin, für die centralen Strahlen unter-, für die äusserst schiefen Strahlen aber übercorrigirt wird und demgemäss die Erscheinungen zeigt, auf welche wir später zurückkommen werden. Diese Differenz erscheint sonach als einer der störendsten Abweichungsfehler dessen Einfluss so bedeutend ist, dass er die Leistungsfähigkeit der mittleren Systeme von 6 bis 3 mm Brennweite schon weit unter diejenige Höhe herabdrückt, welche sie bei sonstiger Vollkommenheit der Construction, Verbesserung der sphärischen Abweichung auf der Achse etc. zu erreichen im Stande sein würde.

- 129 Die Reste der chromatischen Abweichung, soweit sie ihren Grund in der verschiedenen Lage der Brennpunkte der verschiedenfarbigen Strahlen, also in derjenigen Farbenabweichung haben, welche die Strahlenkegel im Ganzen treffen, lassen sich bis auf geringe secundäre Farbenabweichungen, welche aus dem ungleichförmigen Gang der Farbenzerstreuung in Crown- und Flintglas entspringen, bei einer geeigneten Construction wo nicht vollständig aufheben, so doch fast unmerklich machen, so dass sie anderen Farbenfehlern gegenüber, wie wir sie eben betrachtet haben und noch kennen lernen werden, fast gänzlich zurücktreten.

- 130 Die Vergrösserungsfehler zerfallen in Abweichungen nach zwei Richtungen hin, indem die eine eine Differenz der Vergrösserung in verschiedenen Zonen der freien Objectivöffnung, die andere eine Verschiedenheit der Vergrösserung der Bilder von verschiedenen Farben in sich fasst. Diese Fehler haben bei den Objectivsystemen des Mikroskopes, bei welchen Strahlenkegel von sehr grossen Divergenzwinkeln wirksam werden, natürlicherweise nach beiden Richtungen hin einen sehr weiten Spielraum.

Die erstere Abweichungsform macht sich nach dem Früheren (Seite 51 u. f.) auch bei auf der Achse vollständig gehobener sphärischer Abweichung darin geltend, dass das Bild eines in der Achse liegenden Flächenelementes, welches von einem zur Achse mehr oder weniger geneigten Strahlenbüschel, also durch einen mehr oder minder excentrischen Theil der freien Oeffnung erzeugt wird, eine andere lineare Vergrößerung zeigt, als dasjenige Bild, welches zugleich mit ihm von einem centralen Strahlenbüschel, sohin durch den mittleren Theil der Oeffnung, von demselben Flächenelement entworfen wird, sowie dass in den Bildern erster Art ausserdem noch eine nach verschiedenen Meridianen verschiedene lineare Vergrößerung und zugleich eine Niveaudifferenz auftreten kann, der Art, dass ihre Lage gegen die optische Achse als eine mehr oder minder geneigte erscheint. Durch diese Wirkungen wird — ausserhalb der Achse wenigstens — eine genaue Uebereinanderlagerung der einzelnen Bilder, welche das mikroskopische Gesamtbild erzeugen, nicht mehr möglich, es fallen dieselben vielmehr mit zunehmendem Abstände von der Achse im Verhältniss zu diesem Abstände weiter und weiter auseinander. Die von ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkten ausgehenden Strahlenkegel werden in Folge hiervon in nicht mehr vereinigungsfähige Strahlenbüschel umgewandelt und es stellen deren Durchschnitte in der Bildebene elliptische Flächen dar, welche in ihren Ausmaassen proportional mit dem Abstände von der Achse wachsen. Sind merkliche, durch die freie Oeffnung fortschreitende Fehler dieser Art vorhanden, dann erscheint ein ebenes Object, wie das Bild einer von der Achse aus gesehenen Kegelspitze also nicht mehr einfach gewölbt. Die Beseitigung dieses Fehlers bildet einen der wichtigsten, aber auch schwierigsten Punkte in der Construction der Objectivsysteme und es kann derselbe bei grossen Oeffnungswinkeln selbst bei der besten Construction nicht gänzlich gehoben werden. Die Bedingung für seine möglichste Beseitigung bildet der schon öfter erwähnte und auf Seite 54 abgeleitete Satz der Convergenz für conjugirte aplanatische Punkte

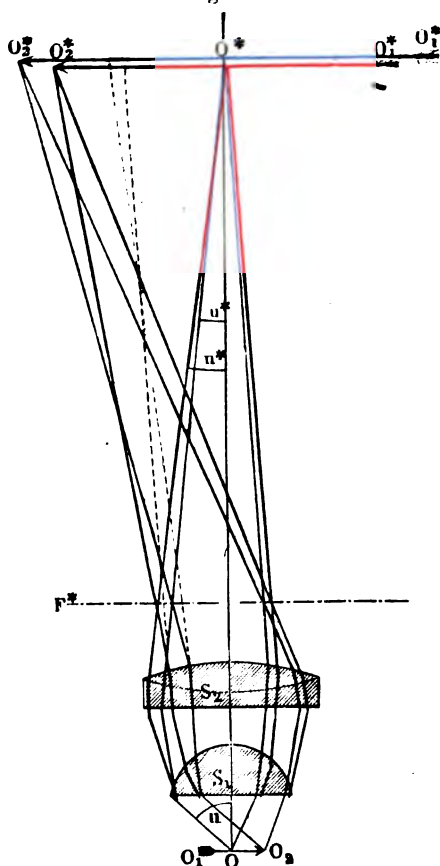
$$\frac{\sin u^*}{\sin u} = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$$

Die durch die chromatische Differenz der Vergrößerung hervorgerufenen Bildfehler beruhen darauf, dass bei einem optischen Systeme, in welchem, wie bei dem Mikroskopobjective zur Herbeiführung der theilweisen Achromasie eine unachromatische, d. h. chromatisch unter verbesserte Vorderlinse mit einer entsprechend über verbesserten Linse oder Linsenverbindung verbunden erscheint, und die Vereinigungspunkte der blauen und rothen Strahlen in eine Ebene gebracht sind, die Convergenzwinkel der letzteren auch selbst für den Achsenpunkt O^* der Bildebene verschieden bleiben. Es wird also für die aus weissem Lichte bestehenden, von der Objectebene aus unter gleichen Divergenzwinkeln für Blau und Roth in das Objectiv eintretenden und für die

unter verschiedenen Neigungswinkeln u^*_1 und u^*_2 nach der Bildebene zielenden Strahlen der Werth des Convergenzverhältnisses $\frac{\sin u^*}{\sin u} = C$

bezw. $\frac{n^* \sin u^*}{n \sin u} = C$ in dem allgemeineren Fall ungleicher Medien für die verschiedenen Farben verschieden. Da nun nach den allgemeinen

Fig. 147.



Beziehungen die lineare Vergrößerung zu dem Convergenzverhältnisse immer im umgekehrten Verhältnisse steht

— in der Fig. 147 ist $\frac{u^*}{u}$ für

Blau kleiner, als für Roth, daher die lineare Vergrößerung für ersteres grösser, als für letzteres — so müssen die Bilder der verschiedenen Farben, trotzdem sie in derselben Ebene entstehen, verschiedene Grösse gewinnen und das blaue Bild greift über das rothe über. Das gleiche Resultat ergibt sich auch aus der auf Seite 199 entwickelten Gleichung

$$q = f \cdot n \cdot \sin u$$

mit Rücksicht auf die bei der in Rede stehenden theilweisen Achromasie belassenen Verschiedenheit der Brennweiten für die beiden äussersten Farben, indem die Strahlen beider Farben in Folge dieser Veränderlichkeit der f die hintere Brennebene des Objectivsystems in verschiedenem Ab-

stande von der Achse schneiden — wie dies die Fig. 147 zum Ausdruck bringt — und das blaue Bild grösser wird, als das rothe. Diese Vergrößerungsdifferenz ist zwar bei Objectivsystemen von sehr grosser Oeffnung auch für centrale Strahlen schon vorhanden, jedoch nicht sehr merkbar; dagegen tritt sie für excentrische Strahlenbüschel, d. h. bei schiefem Licht, sehr entschieden, und zwar wieder als nach zwei Richtungen hin ungleich, durch starke Farbensäume gekennzeichnet hervor.

Die sphärische Abweichung ausserhalb der Achse, wie sie sich bei 131 unseren Objectivsystemen mit grossem Oeffnungswinkel geltend macht, ist darin begründet, dass selbst bei genauer Aufhebung der sphärischen Abweichung auf der Achse die Lichtbüschel, welche von excentrischen Objectpunkten aus verschiedene Theile der Oeffnung in Thätigkeit setzen, nicht mehr in einem Punkte zur Vereinigung gelangen, sondern mit ihren Spitzen hinter- und nebeneinander liegen. Dadurch treten Verschiebungen der partiellen Bilder nach verschiedenen Querschnittsebenen sowohl, als nach den Seiten hin hervor, welche nicht selten in recht auffälliger Weise bemerkbar werden, und die nur unter Einhaltung bestimmter Grenzen für die Grösse der Oeffnung in erträglichen Schranken gehalten werden können.

Hand in Hand mit dem durch die vorhergehende Abweichung hervor- gebrachten Niveauunterschied gehen diejenigen Bildfehler, welche als Wölbung des Gesichtsfeldes bekannt sind und dadurch hervorgerufen werden, dass die Vereinigungsweiten der von verschieden weit von der Achse entfernten Objectpunkten ausgehenden Strahlenkegel in verschiedenen Ebenen liegen. Dieselben bedingen die Verschiedenheit der Einstellung für verschieden weit aus der Mitte des Sehfeldes gelegene Objectelemente.

Die Verzerrung des Bildes, d. h. die Aufhebung der Proportion- 132 alität der Achsenabstände zweier zugeordneter Punkte in zugeordneten Querschnitten des Object- und Bildraumes beruht auf Fehlern der Strahlen- convergenz in denjenigen zugeordneten Punkten der Achse, in welchen die Eintritts- und Austrittspupille ihren Ort haben. Soll diese Proportionalität und damit die Bildähnlichkeit (Verzerrungslosigkeit) bestehen bleiben, so erfordert dies, dass bestimmten Werthen der y in der Object- ebene verhältnissmässige Werthe der y^* in der Bildebene entsprechen, d. h. dass in Fig. 148 (a f. S.)

$$y_1 : y_2 : \dots = y_1^* : y_2^* : \dots$$

oder

$$\frac{y_1^*}{y_1} = \frac{y_2^*}{y_2} = \dots = N$$

Nun ist aber, wenn wir die Strecken OP und O^*P^* mit l und l^* be- zeichnen:

$$y_1 = l \cdot \operatorname{tg} u_1$$

$$y_2 = l \cdot \operatorname{tg} u_2$$

$$y_1^* = l^* \operatorname{tg} u_1^*$$

$$y_2^* = l^* \operatorname{tg} u_2^*$$

folglich muss nach der oben gestellten Bedingung sein:

$$l \operatorname{tg} u_1 : l \operatorname{tg} u_2 = l^* \operatorname{tg} u_1^* : l^* \operatorname{tg} u_2^* = \dots \text{ oder}$$

$$\operatorname{tg} u_1 : \operatorname{tg} u_2 = \operatorname{tg} u_1^* : \operatorname{tg} u_2^* = \dots$$

$$\frac{\operatorname{tg} u_1^*}{\operatorname{tg} u_1} = \frac{\operatorname{tg} u_2^*}{\operatorname{tg} u_2} = \dots = C$$

Die Constante C ist aber im ersten Buche Seite 10 bestimmt worden zu

$$C = \frac{y}{y^*} \times \frac{n}{n^*} \text{ oder } \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$$

demnach wird

$$\frac{tg u_1^*}{tg u_1} = \frac{tg u_2^*}{tg u_2} = \frac{1}{N} \cdot \frac{n}{n^*}$$

Eine ganz ähnliche Bedingungsgleichung wie hier unter Betrachtung des von dem Objectiv allein entworfenen Bildes sich ergeben hat, ergibt sich, wenn das Verhältniss zwischen dem Object und dem virtuellen, von dem ganzen Mikroskope erzeugten Bilde ins Auge gefasst wird. Es ist alsdann nur u_1^{**} , u_2^{**} an Stelle von u_1^* , u_2^* einzusetzen und unter N die Gesamtvergrößerung des Mikroskopes zu verstehen.

Diese Betrachtung zeigt, dass in jedem Falle, um Aehnlichkeit des Bildes mit dem Objecte (proportionale Vergrößerung) herbeizuführen, die Strahlenconvergenz an denjenigen Punkten, in welchen die Hauptstrahlen der abbildenden Strahlenkegel die Achse treffen, in bestimmter Art regulirt sein muss — nämlich so, dass an diesen Punkten ein constantes Verhältniss der Tangenten der Neigungswinkel aller zugeordneten Strahlen besteht. Die in Frage kommenden zugeordneten Punkte sind aber die Mittelpunkte von Eintrittspupille und Austrittspupille des Objectivsystemes oder des ganzen Mikroskopes, je nachdem die Wirkung des ersteren für sich oder diejenige des Gesamtsystemes betrachtet wird. Sofern die Strahlenconvergenz an diesen Punkten der obigen Bedingung genügt, nennen wir sie — im Gegensatz zu den zugeordneten aplanatischen Punkten eines Systemes — nach dem von Professor Abbe eingeführten Sprachgebrauche zugeordnete orthoskopische Punkte.

Die astigmatische Differenz der Vereinigungsweiten excentrischer Strahlenbüschel beruht auf der ungleichen Wirkung der Krümmung der Linsenfläche in zu einander senkrechten Meridianen. Sie bedingt einen verschiedenen Abstand der Vereinigungspunkte der Strahlen in den gegen die Achse des Mikroskopes radialen und sagittalen Ebenen (Anacentricität) für die Strahlenbüschel von excentrischen Punkten des Objectfeldes — sofern die Strahlenbüschel im Ganzen betrachtet werden. Wenn man aber einzelne Theile der freien Oeffnung (neben- oder nacheinander) ins Auge fasst, tritt sie durch verticale und horizontale Verschiebung der partiellen Vereinigungspunkte beim Uebergang von einem zum andern Theil der freien Oeffnung in die Erscheinung und ihre Wirkungen vermischen sich daher in der Praxis völlig mit den übrigen Vergrößerungsanomalien.

Von den besprochenen Abbildungsfehlern kommen diejenigen der ersten Classe und diejenigen gegen das Convergenzverhältniss der Sinus ausschliesslich in dem Objectivsystem zur Geltung, weil ausserhalb desselben in den abbildenden Strahlenkegeln keine Divergenzen mehr auftreten, welche den von der verschiedenen Neigung der Strahlen gegen

die Achse abhängigen Wirkungen einen erheblichen Spielraum gewähren könnten und weil andererseits eine nennenswerthe chromatische Längenabweichung in den Ocularen durch die auf S. 43 gegebenen Nachweise über die chromatische Abweichung in der Lupe ausgeschlossen erscheint. Die orthoskopischen Fehler dagegen haben nur für die Oculare eine praktische Bedeutung, weil in der Wirkung der Objective umgekehrt kein Spielraum bleibt für irgend eine erhebliche Divergenz der Hauptstrahlen, indem das Objectivbild stets nur geringe Bildwinkel umfasst. Die übrigen zuvor erörterten Abweichungen können im Objectivsystem und im Ocular zugleich zur Geltung kommen.

Aus diesen Thatsachen lässt sich nun der Einfluss feststellen, welchen die verschiedenen Bestandtheile des optischen Apparates auf die Eigenschaften der Gesamtwirkung des zusammengesetzten Mikroskopes äussern, und damit die Trennung der Objectivwirkung und Ocularfunction durchführen. Wir ersehen daraus zunächst, dass die für die scharfe und genaue Abbildung in der Mitte des Sehfeldes und damit für die eigentliche Leistungsfähigkeit bedeutungsvollsten Factoren, d. h. die sphärische und chromatische Abweichung, die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung auf der Achse, sowie die Vergrößerungsfehler in Folge Verstosses gegen das Sinusgesetz ihren Sitz einzig und allein in der Focalwirkung des Objectivsystemes haben und dass das Ocular auf dieselben keinen irgendwie merklichen Einfluss gewinnen kann. Alle Abbildungsfehler, an welchen das Ocular mit betheiligt ist, stecken der Vollkommenheit der Gesamtleistung ausserdem nur insofern eine Grenze, als noch unvermeidliche Reste der ersteren in der Wirkung des Objectivsystemes vorhanden geblieben sind. Es finden sohin alle diejenigen Abbildungsfehler, welche auf die Wirkung des Instrumentes überhaupt einen wesentlichen Einfluss gewinnen, schon ihren Ausdruck in dem unendlich entfernten, virtuellen Bilde, welches das Objectivsystem als Lupe wirkend von dem der Beobachtung unterworfenen Objecte erzeugt.

Der Ocularapparat, wie er sich aus der optischen Tubuslänge und dem betreffenden Linsensysteme zusammensetzt und als Fernrohr wirkend nur dazu dient, um das Lupenbild für das Auge auf den erforderlichen Sehwinkel auszubreiten, kann von groben Verstössen abgesehen, den in der Focalwirkung des Objectivsystemes begründeten Abweichungen und Vergrößerungsanomalien gegenüber in allen wesentlichen Punkten praktisch als vollkommen fehlerfrei angesehen werden und zwar auch selbst dann, wenn die einfachsten bekannten Constructionsformen zur Anwendung kommen.

Blicken wir nämlich nochmals auf die schematische Zerlegung des Mikroskopes zurück, so ergeben sich aus dem Vergleiche mit der Wirkung eines wirklichen astronomischen Fernrohres folgende Schlussfolgerungen.

Bei dem letzteren ist, selbst unter Anwendung von sehr grossen Objectiven bei einem Verhältnisse des Durchmessers dieser Objective zu

ihrer Brennweite von etwa 1 : 14, die Bildschärfe für die Mitte des Sehfeldes bekanntlich so gross, dass die Anwendung so starker Oculare, wie sie bei dem Mikroskope in Gebrauch sind, getragen wird, ohne dass Bildfehler sichtbar werden. Nun kann das Objectiv des bei der schematischen Zerlegung des Mikroskopes erhaltenen Fernrohres immer als so vollkommen gedacht werden, wie ein gewöhnliches Fernrohrobjectiv, und da es bei verhältnissmässig grosser bei dem gewöhnlich gebrauchten Tubus etwa 150 bis 160 mm betragender Brennweite und kleinem Durchmesser des Objectives selbst bei schwachen Systemen noch günstigere Verhältnisse bietet als letzteres, so wird die Gesamtwirkung des teleskopischen Theiles mindestens als ebenso vollkommen angenommen werden können, wie bei einem guten Fernrohre. Dies gilt aber um so mehr, wenn stärkere Objectivsysteme des Mikroskopes in Frage kommen, bei denen der Linsendurchmesser so sehr verkleinert wird, dass das obige Verhältniss in ein solches von 1 : 20 bis 1 : 50 übergeht. Daraus geht aber hervor, dass gemäss der durchgeführten Zerlegung der den Bestandtheilen des optischen Apparats eigenen Functionen die möglichste Höhe der Leistung des zusammengesetzten Mikroskopes allein durch die Construction der Objectivsysteme bedingt wird und dass keinerlei Vervollkommnung der Oculare dieselbe in irgend einer Weise wesentlich zu beeinflussen vermag.

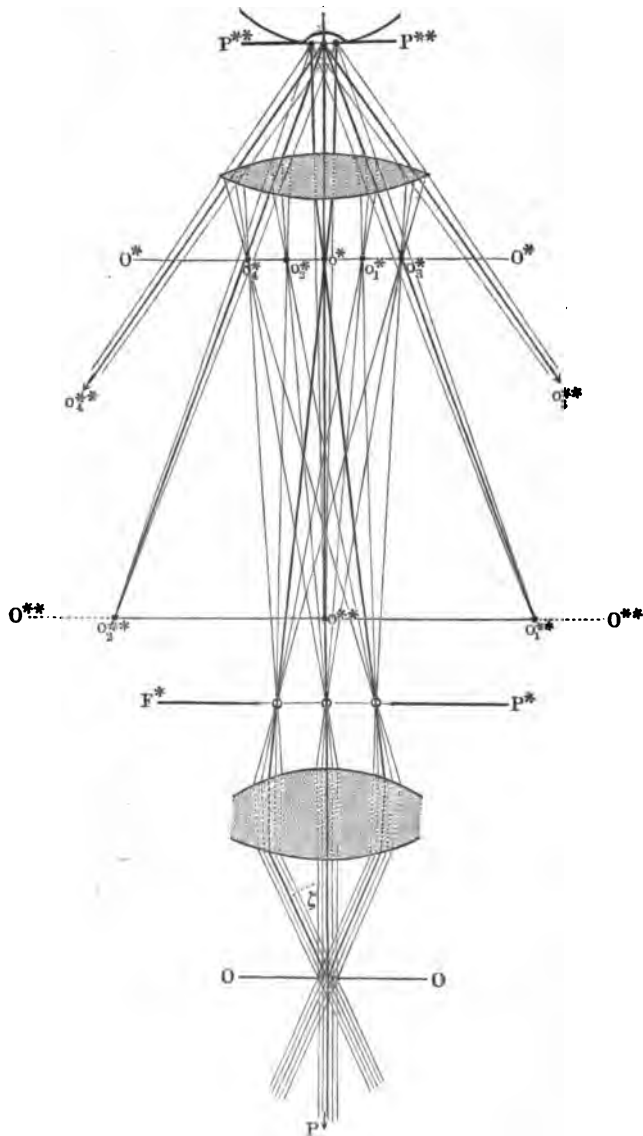
IV. Die Abbildung durch das zusammengesetzte Mikroskop.

Die in der allgemeinen Theorie der Bilderzeugung entwickelte Ab- 135
leitung der secundären Abbildung in Gestalt einer durch die Beugungswirkung des beobachteten Objectes hervorgerufenen Interferenzerscheinung ging von der Voraussetzung aus, dass bei der Aufeinanderfolge der vier charakteristischen Punkte P, O, P^*, O^* , die durch P^* gehende Ebene des reellen Beugungsspectrums, aus welchem zunächst (S. 122) die Lichtvertheilung in der durch O^* gelegten Bildebene abgeleitet wurde, dieser letzteren auf der Achse voran gehe. Nun lehrt die Betrachtung des Strahlenganges in dem zusammengesetzten Mikroskope, dass die Lichtquelle als stellvertretende Eintrittspupille thätig wird, und dass das ganze System in oder nahe an seinem hinteren Hauptbrennpunkte von ihr ein reelles Bild $P_1^{**} P^{**} P_2^{**}$ — die Austrittspupille des Mikroskopes — entwirft, während das virtuelle Bild des Objectes in die Ebene O^{**} projiziert wird.

Dieses reelle Bild erscheint aber in dem hier in Betracht kommenden Falle, d. h. bei der mikroskopischen Beobachtung eines Objectes als das reelle dicht vor, oder in der Pupille des Auges auftretende Beugungsspectrum P^{**} , in welches die Lichtquelle P vermöge der Beugungs-

wirkung des eingestellten Objectes ausgebreitet wird (Fig. 149) und die Aufeinanderfolge von Beugungsspectrum und Bildfläche ändert sich gegen

Fig. 149.



früher jetzt dahin, dass das erstere der letzteren auf der Achse nachfolgt. Damit wird aber für die Bestimmung der schliesslichen Abbildung nichts

Wesentliches geändert, da unter den, bei der früher gemachten Voraussetzung gewonnenen Folgerungen keine einzige enthalten ist, welche nicht auf jede beliebige Form aplanatischer Systeme und auf jede beliebige Verhältnisse des Strahlenganges Anwendung finden könnte. Auch für das zusammengesetzte Mikroskop als Ganzes — welches ja ein Linsensystem von bestimmter Brennweite darstellt — behalten daher die Gleichung auf Seite 111

$$pq = f \cdot \sin u,$$

sowie alle in den Nummern 66 u. f. dargelegten Entwicklungen unbeschränkte Geltung, indem jetzt f die Brennweite des ganzen Mikroskopes bedeutet, für x^* die Weite deutlichen Sehens X zu setzen ist und die ε in der Ebene P^{**} , die ε^* und ε' in der virtuellen Bildfläche O^{**} auftreten.

Alle Verhältnisse in Bezug auf die Bestimmung des reellen Beugungsspectrums, das in der Ebene P^{**} erscheint, welche der in Bezug auf die Brennweite f in sehr grossem Abstände befindlichen Lichtquelle zugeordnet ist, bleiben also dieselben, wie bei Bestimmung des reellen, von dem Objectivsystem allein entworfenen, eben dieser selben Lichtquelle zugeordneten Beugungsspectrums. Und ganz in der gleichen Weise, wie man früher aus dem reellen Spectrum hinter dem Objectivsysteme das Bild ableitete, welches das letztere von dem Objecte erzeugt — indem man die Lichtvertheilung in der zu O in Bezug auf das Objectivsystem zugeordneten Ebene O^* aufsuchte — so kann man jetzt aus dem von dem Gesamtsystem entworfenen Spectrum die Lichtvertheilung in derjenigen Ebene O^{**} ableiten, welche in Bezug auf dieses Gesamtsystem dem Objecte O zugeordnet ist, also unmittelbar das virtuelle Bild bestimmen, welches das Auge in der Weite deutlichen Sehens erblickt.

Da nun — Anpassung für ein weitsichtiges Auge vorausgesetzt — 136 die Fläche O^{**} des virtuellen Bildes in unendliche Ferne gerückt erscheint, so haben wir für die Bestimmung des schliesslichen mikroskopischen Bildes — und dies erscheint für die Anwendung auf den besonderen Fall von Wichtigkeit — jetzt nur die Interferenz von parallelen Elementarstrahlen in Betracht zu ziehen, welche von den einzelnen Punkten des reellen Spectrums P^{**} aus nach den — unendlich entfernten — Punkten jener Fläche hinzielen. Das virtuelle Bild wird aber nach dem früher Erörterten für unser Auge gleichsam zu einem nach allen Richtungen lichtstrahlenden Objecte, dessen reelles Bild durch Vermittlung der brechenden Medien des Auges auf der Netzhaut entworfen wird. Es muss demgemäss jeder Punkt des virtuellen Bildes einem bestimmten Punkte der Netzhaut zugeordnet sein und alle Lichtwege zwischen solchen zugeordneten Punkten müssen gleiche optische Länge besitzen. Auf Grund dieser Thatsache und im Anschlusse an die Betrachtungen auf S. 134 und 135 folgt nun, dass die Elementarstrahlen jedes nach der virtuellen Bildfläche hinzielenden parallel-

strahligen Lichtbüschels in der entgegengesetzten Richtung verfolgt, den zugeordneten Punkt der Netzhaut mit dem gleichen Phasenunterschiede erreichen müssen, den sie in jenen Punkten besitzen und es kann darauf hin die schliessliche Lichtvertheilung auf der letzteren unmittelbar aus der Interferenz jener Lichtbüschel abgeleitet werden.

Bei der mikroskopischen Beobachtung stellt sich sonach das sichtbare Bild des Objectes dar, als die Interferenzwirkung aus einem, vor oder in der Pupille des Auges auftretenden von der beobachteten Objectstructur erzeugten Beugungsspectrum auf die Ebene des deutlichen Sehens, oder — durch Vermittlung der Augenmedien — auf die Netzhaut selbst.

- 137 Aus der Betrachtung des Strahlenganges in der Fig. 149 geht ferner hervor, dass unter den obwaltenden Umständen dem Auge eine gewisse Betheiligung bei der Begrenzung des wirksamen Spectrums zukommt. Das in der Austrittspupille des Mikroskopes auftretende Beugungsspectrum erscheint nämlich ebenso wie früher begrenzt durch das gleichzeitig mit ihm in jener entworfene Bild des Randes der Objectivöffnung (Iris). Ist nun dieses von dem Ocular erzeugte Bild kleiner als die Pupille des Auges, so bleibt die Begrenzung des Spectrums von ihr unabhängig; wird dagegen — wie es z. B. bei dem Gebrauche schwacher Objectivsysteme mit grosser numerischer Apertur der Fall sein kann — das Oeffnungsbild grösser als die Pupille des Auges, so blendet diese einen Theil des Spectrums ab. Das virtuelle Bild des Objectes im Sehfelde, oder das ihm zugeordnete Bild auf der Netzhaut ist jetzt nicht mehr durch die Iris des Objectivsystemes, sondern durch die Weite der Augenpupille bestimmt, indem diese letztere gerade so wirkt, als ob jene durch eine Blendung verengt worden sei, deren lichte Fläche der Pupille in Bezug auf die zwischenliegenden Ocularlinsen dioptrisch zugeordnet ist.

Im Uebrigen finden alle in der allgemeinen Theorie der Bilderzeugung aus den dort geführten Betrachtungen abgeleiteten Sätze auch auf das virtuelle Bild des beobachteten Objectes in vollem Umfange Anwendung.

Zweites Capitel.

Der optische Apparat.

I. Das Objectivsystem.

1. Constructionstypen.

Das Objectivsystem bidet, gemäss der Betrachtungen unter III. des 138
vorigen Capitels den wichtigsten Theil des zusammengesetzten Mikro-
skopes. Ihm müssen daher auch, soll das Instrument einen möglichst
hohen Grad der Vollkommenheit erreichen, die in Betracht kommen-
den Verbesserungen zunächst zugewendet werden. Die verschiedenen
Mängel der einfachen Linse sind bekannt. Ebenso ist bereits früher
einiger Mittel gedacht worden, welche zur Einschränkung ihrer haupt-
sächlichsten Fehler, der sphärischen und chromatischen Abweichung,
in Anwendung gebracht werden. Ein weiteres Mittel hierzu bietet die
Verbindung von einer Sammellinse aus Crown Glas mit einer Zerstreuungs-
linse aus Flintglas, wie sie als achromatisches Objectiv beim Fernrohr in
Gebrauch ist, Fig. 150 (a. f. S.). Diese Mittel aber reichen zur Herstellung
so vollkommener Objectivsysteme wie sie für das Mikroskop erforderlich
werden, noch lange nicht aus. Eine so kleine Doppellinse, wie sie zu
einem nur einigermaassen starken Objectiv für das Mikroskop nothwen-
dig wäre, legt ihrer vollkommenen Ausführung immer sehr bedeutende
Schwierigkeiten in den Weg; ausserdem aber kann bei ihr die sphäri-
sche Aberration nur bis zu einem kleinen Oeffnungswinkel gehoben werden,
da die Zerstreuungslinse der Combination auf die Randstrahlen einen
weit stärkeren Einfluss ausübt, als auf die nahe der optischen Hauptachse
durchgehenden Strahlen. Mit solchen den Fernrohrobjectiven nachge-
bildeten Objectivsystemen wäre daher bei dem Mikroskope noch sehr
wenig erreicht, indem, um einigermaassen fehlerfreie Bilder zu erhalten,
nur Objective von sehr kleinem Oeffnungswinkel und grosser Brennweite
angewendet werden dürften und man die zu erzielende Vergrösserungs-
kraft vorzugsweise in das Ocular verlegen müsste. Sie werden daher

immer nur für die schwächsten Vergrößerungen verwendet werden dürfen, wie dies denn auch von einzelnen Optikern noch geschieht.

Um vollkommene Objective von stärkerer und stärkster Vergrößerungskraft herzustellen, muss man zu dem zuerst von Selligie und Amici und seitdem von allen Optikern mit Erfolg angewendeten Mittel greifen, und die einzelnen Doppellinsen zu mehreren zu einem System verbinden.

Die Anforderungen, welche im Laufe der Zeit in Bezug auf Vergrößerung und Oeffnung an das Objectivsystem gestellt worden sind und gestellt werden, haben im allmäligen Fortschreiten die verschiedenen Grundformen seiner Construction hervorgerufen, welche zum Theil wieder verlassen sind, zum Theil aber noch gegenwärtig ausgeführt werden.

- 139 **Allgemeine Constructionsformen.** Eine erste Gruppe dieser Formen umfasst die Objectivsysteme von 50 und mehr Millimeter bis zu etwa 15 mm Brennweite und mit sehr geringer, bis zu etwa 35° Winkelöffnung oder 0,30 numerischer Apertur. Hier

Fig. 150.

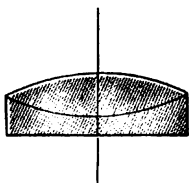
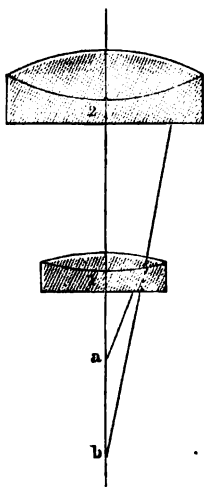


Fig. 151.

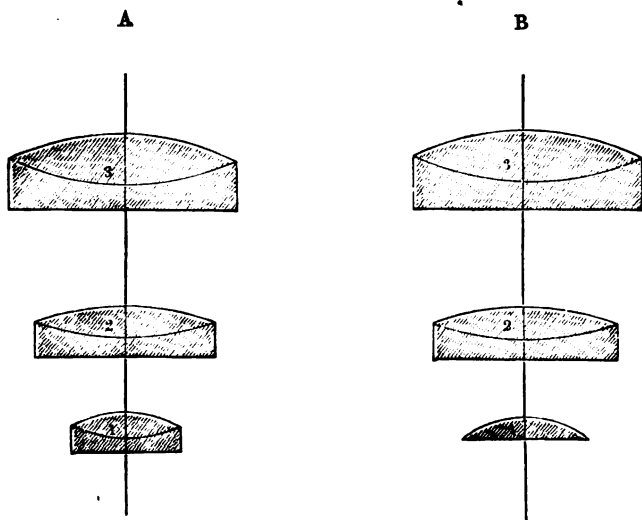


kommt für die längeren Brennweiten theilweise noch die einfache achromatische Linsenverbindung (Fig. 150, d. h. die Verbindung von einer biconvexen Crownglaslinse mit einer planconcaven Flintglaslinse, zur Verwendung, deren Oeffnung dann — sofern die Linse nicht auf einen genügend kleinen Durchmesser gebracht wird — um die in den Randzonen nicht ganz aufhebenden Abweichungen zu beseitigen, in der entsprechenden Weise durch eine Blendung eingeschränkt werden muss. Die kürzeren Brennweiten dieser Grundform fordern dagegen die Zusammensetzung des Objectivsystemes aus mehreren, in der Regel zwei Doppellinsen und diese werden dann, falls jede der beiden Linsencombinationen für sich als Objectiv gebraucht werden (wie es hie und da noch bei schwächeren Systemen der Fall ist), also annähernd ohne sphärische Abweichung wirken soll, in der von Lister (Philosophical Transactions) 1830 anempfohlenen Weise derart mit einander vereinigt (Fig. 151), dass die von dem kürzesten aplanatischen Brennpunkte der Vorderlinse ausgehenden Strahlen an ihrer hinteren Fläche mit denjenigen Strahlen zusammentreffen, welche von dem längsten aplanatischen Brennpunkte der hinteren Linse aus divergiren, während bei „festen“

Systemen die hintere Linse die Ausgleichung der in der vorderen Linse noch vorhandenen Abweichung zu bewirken hat.

Die zweite Grundform, welche die Objectivsysteme von etwa 16 mm bis 6 mm Brennweite und bis zu etwa 0,50 numerischer Apertur oder 60° Oeffnungswinkel umfast, besteht aus dreigliedrigen Systemen. Die ältere Constructionsform (Fig. 152 A) verwendet hier drei zweifache Doppellinsen oder eine dreifache Vorderlinse mit zweifacher Mittel- und

Fig. 152.

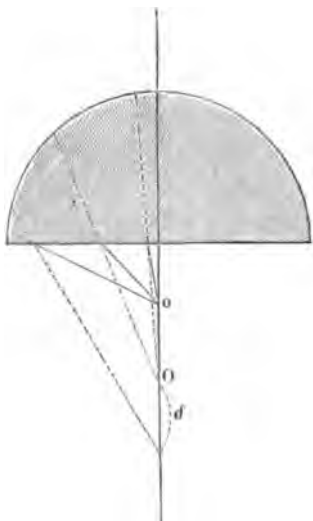


Hinterlinse. Die Aussenfläche der Flintglaslinse des zweiten und dritten Gliedes wird dabei je nach Umständen als schwach concav oder schwach convex angetroffen. Die neueren Constructionstypen (Fig. 152 B) zeigen dagegen eine einfache planconvexe Vorderlinse mit zweigliedriger Mittel- und Hinterlinse.

Geht der Oeffnungswinkel über 60° , also die numerische Apertur über 0,50 hinaus, dann reichen die betrachteten Typen zu einer genügenden Ausgleichung der Abbildungsfehler nicht mehr aus, und es wird die möglichste Annäherung der ersten brechenden Fläche an das Object bezweckende, wahrscheinlich von Amici erfundene Constructionsform zur Bedingung bester Correction. Diese Constructionsform, welche den eigentlichen Ausgangspunkt für die neueren Fortschritte in der Vervollkommenung des zusammengesetzten Mikroskops bildet, kennzeichnet sich dadurch, dass an Stelle einer achromatischen Linsencombination eine nahezu halbkugelige, unachromatische Vorderlinse tritt, welche mit einer nachfolgenden stark übercorrigirten Linsengruppe verbunden wird. Sie knüpft an die Eigenschaft der dicken Vorderlinse an, ohne eine merkliche sphärische Abweichung eine beträchtliche Vergrößerung und somit eine Zusammenziehung des einfallenden Strahlenbüschels auf geringe Divergenzwinkel zu liefern, und hat ihre wesentliche Grundlage in der

S. 49 betrachteten Lage der abweichungsfreien Punkte. Denn obgleich die auf die hier in Frage kommende Linse treffenden Strahlen, bevor sie in das Glas eintreten, schon durch die ebene Vorderfläche gebrochen werden und eine gewisse sphärische Abweichung δ (Fig. 153) erlangen, behält doch jene Betrachtung ihre Bedeutung, indem die Brechung an der

Fig. 153.



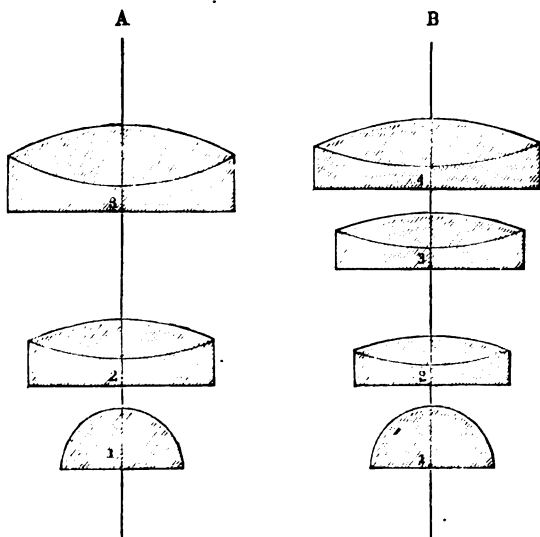
Kugelfläche keine neue Abweichung einführt und die vorhandene nicht weiter erhöht, als es die Vergrößerung mit sich bringt. Die Dicke der Linse hat unter diesen Verhältnissen — wie schon erwähnt — den Zweck, den Punkt O , von welchem die Strahlen innerhalb des Glases divergieren, in den früher festgestellten Abstand S von dem Kugelmittelpunkte zu bringen und zur möglichsten Verringerung der eben besprochenen Abweichung dennoch nur eine geringe Luftschicht zwischen dem wirklichen Objectpunkte o und der unteren — ebenen — Linsenfläche einzuführen. Bei den Trockensystemen, bei denen eine genügende Einschränkung der sphärischen Abweichung nur für Öffnungswinkel von 105° bis höchstens 115° , also für numerische Aperturen von $0,80$ bis $0,85$ möglich wird, falls der freie Objectabstand nicht auf einen sehr kleinen Bruchtheil

von der Brennweite des Systems beschränkt werden soll, kommen theils drei-, theils viergliedrige Objectivsysteme dieser (Amici'schen) Grundform zur Ausführung. Die ersteren enthalten dann neben der einfachen Vorderlinse entweder zweifache, aus einer biconvexen Crownglas- und einer planconcaven Flintglaslinse bestehende Mittel- und Hinterglieder Fig. 154 A, oder statt deren ein dreifaches Mittel- oder ein dreifaches Hinterglied und zwar je mit einer planconvexen oder biconvexen Vorderlinse. Die viergliedrigen Objective, Fig. 150 B, dagegen bestehen aus drei zweifachen Hintergliedern, von denen das dritte und vierte als zusammengehörig und den beiden Vordergliedern gegenübergestellt angesehen werden können. Diese letzte Form, obwohl sie bei Trockensystemen von abnorm grossem Öffnungswinkel neuerdings häufig zur Anwendung gelangt, findet ihre hauptsächlichste Anwendung bei den über die numerische Apertur $1,00$ hinausgehenden, also bei den Immersionssystemen und ist bei diesen zur Zeit ziemlich allgemein üblich.

Wo das höchst mögliche Maass der Öffnung erreicht werden soll, sei es nun bei Objectivsystemen für Wasserimmersion oder bei solchen für homogene Immersion, da wird dieses nur durch das viergliedrige System mit sogenannter „duplex front“, Fig. 155, erreicht, welches

von Tolles und Spencer zuerst in Anwendung gebracht worden ist. Diese Form besteht aus zwei einfachen — einer halbkugeligen und einer

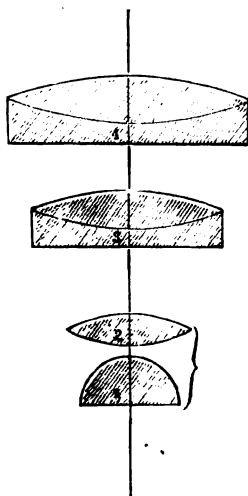
Fig. 154.



biconvexen oder planconvexen —, nahe aneinandergerückten Crown-
glaslinsen als vorderste Glieder, denen zwei sogenannte achromatische zwei-

fache oder auch dreifache Linsencombinationen als drittes und viertes Glied folgen. In Bezug auf die Ausführung dieses Typus sind zur Zeit zwei Abänderungen in Gebrauch. Der amerikanische von Tolles ausführlicher beschriebene Typus hat eine Vorderlinse von äusserst kleinem Halbmesser, der bei einem $\frac{1}{6}$ " (4 mm) etwa 0,73 mm beträgt. Dagegen gestattet die bei den Zeiss'schen Systemen für homogene Immersion eingeführte Form noch Vorderlinsen von beträchtlich grösserem Halbmesser, so dass derselbe bei einem $\frac{1}{12}$ " (1,8 mm) noch 0,9 mm beträgt und um etwa 0,2 mm grösser ist als bei dem $\frac{1}{6}$ " von Tolles, bei dem $\frac{1}{18}$ " (1,2 mm) mit 0,6 mm nur wenig unter den des genannten $\frac{1}{6}$ " herabgeht. Die deutsche Construktionsform gestattet sonach in Folge des günstigeren Verhältnisses zwischen Brennweite und Radius der Vorderlinse noch weit geringere Brennweiten, als die amerikanische. Während

Fig. 155.



letztere — und zwar bei verhältnissmässig geringerem freiem Objectabstande — die höheren Vergrösserungen durch den Ocularapparat (Tubuslänge und Ocularstärke) erreichen muss, gestattet die deutsche bei verhältnissmässig grösserem Objectabstande und stärkerer Lupenvergrösserung eine geringere Angularvergrösserung, was namentlich für wissenschaftliche Arbeiten erheblich ins Gewicht fällt, da für eine grosse Anzahl derselben dem Beobachter unter den zur Zeit obwaltenden Umständen den regelmässigen Gebrauch nicht zu sehr erschwerende Objectivsysteme von genügend kurzer Brennweite zur Verfügung stehen müssen.

Da schon bei Oeffnungswinkeln, welche über ganz geringe Grösse hinausgehen, die — namentlich bei der sphärischen Abweichung — rasch und ungleichmässig anwachsenden Abbildungsfehler niemals innerhalb einer Linsencombination beseitigt werden können, so muss — wie schon früher hervorgehoben — bei all den beschriebenen Constructionsformen das Bestreben der praktischen Optiker dahin gehen, dass die in dem einen Gliede gebliebenen oder absichtlich herbeigeführten Reste der sphärischen und chromatischen Abweichung durch absichtlich herbeigeführte Abweichungen in den anderen Gliedern ausgeglichen werden und dass erst in dem letzten Gliede die erreichbar correcteste, die möglichste Vollkommenheit des Bildes bedingende Strahlenvereinigung herbeigeführt wird. Das in der Regel hierbei verfolgte Verfahren besteht darin, dass man ein stark unterverbessertes vorderes Linsensystem mit einem überverbesserten nachfolgenden verbindet und durch entsprechende Regulirung der Entfernung die möglichst vollkommene Ausgleichung herbeiführt.

Wo die Objectivsysteme, wie in der Zeiss'schen Werkstätte, auf Grund genauer Untersuchung des verwendeten Materiales und theoretischer Berechnung aller einzelnen Elemente der Construction — Dicke, Krümmung, Oeffnung jeder einzelnen Linse etc. — ausgeführt werden, da ist auch diese Entfernung rechnermässig bestimmt und nur bei den stärkeren Systemen bleibt ein Linsenabstand veränderlich, um die hier unvermeidlichen kleinen Abweichungen der Arbeit wieder ausgleichen zu können. Wo dagegen die Ausführung das vielfach noch übliche empirische Verfahren einschlägt, da ist das Auffinden der entsprechenden Entfernung der einzelnen Linsencombinationen vorzugsweise Sache des Versuchens. Dieses muss denn auch so lange fortgesetzt werden, bis der Optiker die möglichst bestë Correction erreicht zu haben glaubt, worüber ihm seine Probeobjecte — mit denen er natürlich auf das genaueste vertraut sein muss — die erforderlichen Anhaltspunkte an die Hand geben. Aus diesem Verfahren erklärt sich denn auch die merkliche Verschiedenheit (unbedeutende Unterschiede sind auch bei dem ersten Verfahren nicht ganz ausgeschlossen), welche z. B. in Bezug auf die Brennweite etc. immer zwischen den Objectivsystemen gleicher Nummer aus manchen Werkstätten herrscht.

Immersionssysteme, Eintauchsysteme. — Aus den vorhergehenden Erörterungen hat sich ergeben, dass dem Trockensysteme in Bezug auf seine Oeffnung eine bestimmte, ohne Schädigung nach anderer Richtung hin nicht wohl zu überschreitende Grenze gesteckt ist, welche ziemlich weit unter der Einheit der numerischen Apertur zurück bleibt. Die Ueberschreitung dieser Grenze bis zu gewissen, durch das auf S. 72 entwickelte Maass der numerischen Apertur $n \cdot \sin u$ bestimmten Bruchtheilen über die Einheit hinaus, auf welcher zur Zeit die noch weitere Erhöhung der Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Mikroskopes im Wesentlichen beruht, ist nur durch das Princip der Immersion, d. h. durch die Zwischenlagerung einer die Luft an Lichtbrechungsvermögen übertreffenden Flüssigkeit zwischen Deckglas und Planfläche der Vorderlinse von besonders für diese Veranstaltung construirtem Objectivsysteme zu ermöglichen. Die Immersion, mit welcher neben dem genannten hauptsächlich noch einige andere, mehr nebensächliche, aber immerhin ins Gewicht fallende Vortheile verbunden sind, wurde zuerst und zwar zunächst für Wasser von Amici (1850) und dann auch von E. Hartnack (1859) mit Erfolg angewendet, dessen Immersionssysteme aus den ersten sechziger Jahren schon eine numerische Apertur von 1,05 erreichten.

Wasserimmersion (Wasserlinsen, Eintauchlinsen). Der erheblichste Gewinn der Wasserimmersion macht sich darin geltend, dass bei rationeller, unter Anwendung entsprechend grosser Oeffnungsdurchmesser ausgeführter Construction die in das Mikroskop eintretende Lichtmenge (in photometrischem Sinne) und das Abbildungsvermögen gesteigert werden können, ohne dass — und zwar in Folge der bei dem Amici'schen Constructionstypus der Trockensysteme erwähnten, hier in noch etwas höherem Grade hervortretenden Eigenschaft der dicken Vorderlinse — die gleichmässige Verbesserung der Abweichungen mehr erschwert wird. Durch das Einschalten einer Wasserschicht tritt nämlich dieselbe Wirkung ein, als ob man den Sinus des halben Oeffnungswinkels in Luft in dem Verhältnisse des Brechungsindex von Luft zu Wasser, also um 1,33 mal vergrössert hätte. Es wird sonach bei ein und demselben Oeffnungswinkel in Luft und Wasser in letzterem der Durchmesser der austretenden Strahlenbüschel im Verhältniss zur Brennweite des Objectivsystemes gleichfalls um 1,33 mal vergrössert und diesen (bei gleicher Brennweite) breiteren zu dem Bilde übergeführten Lichtbüscheln entspricht bei gleichem Oeffnungswinkel eine um $(1,33)^2$ mal grössere Lichtmenge. Diesem Mehr an Licht folgt nun, sobald die numerische Apertur über die — in Luft nicht einmal zu erreichende — Einheit hinausgeht, noch eine im Verhältniss zu dem Ueberschuss des α über 1,0 stehende Zuführung von in seinen Eigenschaften neuem Lichte — durch Beugung abgelenkte Lichtbüschel — zu dem Bilde, welches aus dem Luftraume gar nicht in das Objectivsystem hätte gelangen, ja nicht einmal von diesem im Luftraum hätte ausgesandt wer-

den können. Dieses neue Licht aber gerade ist es, welches gemäss der theoretischen Betrachtungen in dem zweiten Abschnitte des ersten Buches das Abbildungsvermögen, d. h. das Vermögen, feinere Structurverhältnisse abzubilden, bedingt und erhöht.

Die weiteren durch die Wasserimmersion zu erreichenden Vortheile sind folgende. Erstlich wird bei gleichem Oeffnungswinkel eine vollkommenere Correction der Abweichungen möglich, da der im Vergleich mit Luft geringere Unterschied im Brechungsvermögen zwischen Wasser und Glas bei gleichem Divergenzgrade der aufgenommenen Strahlenbüschel und bei gleicher Dicke der Schicht zwischen Object und Vorderfläche des Objectives doch eine geringere Frontabweichung einführt, deren Aufhebung in den hinteren Gliedern des Systemes auch geringere Reste übrig lässt.

Zweitens wird durch die zwischenliegende Wasserschicht, welche ein in seinem Brechungsvermögen weniger von dem Glase verschiedenes Medium, als Luft vorstellt, selbst in Bezug auf dasjenige Licht, welches auch aus dem Luftraume in das System eintreten könnte, der Lichtverlust vermindert, weil einmal schon bei gleichen Einfallswinkeln eine geringere Zurückwerfung der Lichtstrahlen an der vordersten Linsenfläche sowie an der Oberfläche des Deckglases eintritt, und ausserdem noch die Einfallswinkel entsprechender Strahlen erheblich verkleinert sind (derjenige Strahl, welcher in Luft unter einem Winkel von 60° einfällt, hat in Wasser nur $40,5^\circ$ Neigung).

Drittens erlangt man die Möglichkeit, den Objectivsystemen bei gleicher Brennweite und bei demselben Oeffnungswinkel einen grösseren Objectabstand zu geben, als es in Luft zulässig wäre, da die Abweichung an der ersten brechenden Fläche in Folge des geringeren Unterschiedes der Brechungsindices auch bei einer dickeren Wasserschicht noch geringer bleibt, als bei einer dünneren Luftschicht.

Viertens erscheinen die Systeme weit weniger empfindlich gegen Schwankungen in der Deckglasdicke und es werden bei solchen zum Behufe der Correction weit geringere Aenderungen in der gegenseitigen Stellung der Linse nothwendig gemacht, weil demselben Unterschied im Deckglas bei Wasser — wegen des geringeren Unterschiedes im Brechungsvermögen — eine geringere Ueber- oder Unterverbesserung entspricht, als in Luft.

Die Anwendung der Wasserimmersion bezeichnete denn auch für den genannten Zeitabschnitt und bis in die letzten Jahre namentlich in Betracht der schwierigsten physiologischen Untersuchungen einen höchst bedeutungsvollen Fortschritt in der Vervollkommenung des zusammengesetzten Mikroskopes, und ich habe, die englischen nicht ausgenommen, kein Trockensystem kennen gelernt, was die gut construirten Objective für Wasserimmersion an Lichtstärke, an Freiheit von Aberrationserscheinungen, an auflösendem und begrenzendem Vermögen, sowie an Klarheit und Schönheit des Bildes erreicht hätte.

Die Anwendung dieser Systeme erfordert allerdings Vorsicht bei der Behandlung, indem man Sorge dafür tragen muss, dass man nur ganz reines destillirtes Wasser anwendet und dass die vorderste Linse nach dem Gebrauche immer wieder gut abgewischt wird. Auch ist darauf zu achten, dass bei dem Gebrauche das störende Auftreten von etwa in der zwischenliegenden Wasserschicht erscheinenden Luftblasen möglichst abgehalten wird, damit nicht auf deren Beseitigung längere Zeit verwendet werden müsse. Hierauf werden wir später, wenn von dem Gebrauche des Mikroskopes die Rede ist, noch einmal zurückkommen.

Homogene Immersion. Schon Amici hatte in dem Bestreben, die Oeffnung noch weiter zu vergrössern und den Einfluss der Deckglasdicke mehr und mehr auszuschliessen, bald nach Einführung der Wasserimmersion auch andere, stärker brechende Flüssigkeiten, namentlich Glycerin und verschiedene Oelmischungen, als Immersionsflüssigkeit in Anwendung gebracht. Indessen scheint von diesen Versuchen wenig bekannt geworden zu sein, obwohl der italienische Gelehrte eine Anzahl von Oelimmersionslinsen für seinen eigenen Gebrauch construirt hatte, von denen ich 1874 bei Professor Schiff in Florenz einige kennen gelernt habe. Auch die von Gundlach früher — um 1867 — construirten Objectivsysteme für Glycerinimmersion verdanken wohl dem gleichen Gedankengange, namentlich aber dem Streben, die Empfindlichkeit gegen die Deckglasdicke in etwas engere Grenzen einzuschliessen, ihr Entstehen. Gundlach ging bald wieder von dem Glycerin ab und erst Spencer in Geneva (New-York) hat dasselbe später mit Erfolg bei einigen Nummern seiner Systeme verwendet, welche bei bestimmten Stellungen der Correctionsschraube einmal als Trockensysteme, dann als Systeme für Wasser- und Glycerin-Immersion gebraucht werden können. Amici scheint nicht bis zur vollen Consequenz des Immersionssystemes vorgedrungen zu sein, da er verschiedene durch Probiren herausgefundene Oelmischungen in Anwendung brachte, welche in ihrem Brechungsvermögen zum Theil (Anisöl z. B.) erheblich von dem Crown Glas abweichen. Erst den zunächst durch Herrn J. W. Stephenson in London angeregten Bestrebungen Professor Abbe's ist es im Vereine mit den tüchtigen Arbeitskräften der optischen Werkstätte von Dr. Carl Zeiss in Jena gelungen, Anfangs 1878 das System der „homogenen Immersion“ zur vollen Ausbildung zu bringen, welches seitdem auch bei uns (Seibert und Krafft, C. Reichert, Leitz) sowie in England und Amerika mehr und mehr in Aufnahme gekommen ist.

Das Princip der homogenen Immersion beruht darauf, dass mittelst einer dem Crown Glas, d. h. dem Material, aus welchem Deckglas und Vorderlinse der Objectivsysteme verfertigt sind, an Brechungsindex und Zerstreungsvermögen gleiche oder doch sehr nahe kommende Immersionsflüssigkeit zwischen Object und Objectivsystem eine optisch homogene Verbindung hergestellt wird, welche alle Brechung der Lichtstrahlen vor

der ersten brechenden Fläche des optischen Systemes aufhebt. Dadurch fällt erstlich der Lichtverlust durch Zurückwerfung hinweg, welcher an den Trennungsflächen optisch verschiedener Medien, namentlich bei den schief einfallenden Strahlen, eintritt. Dann wird, da hier das Seite 49 betrachtete Verhältniss in seiner vollen Ausdehnung und Reinheit zur Geltung kommt, und die Correction eines Objectivsystemes mit sehr grosser numerischer Apertur auf die eines Trockensystemes mit mässiger Oeffnung zurückgeführt wird, ein beträchtlicher Theil der sphärischen Abweichung, welcher in den hinteren Gliedern des Objectivsystemes wieder gehoben werden müsste und unvermeidliche Reste übrig lassen würde, schon im Entstehen beseitigt. Die Definition gewinnt auf diese Weise eine noch höhere Vollkommenheit als bei der Wasserimmersion. Ferner liegt darin die Möglichkeit, die numerische Apertur noch um ein bedeutendes und zwar gegen die des Trockensystemes ideell im Verhältniss von 1 : 1,5 gegen die der Wasserimmersionssysteme im Verhältnisse von 1,33 : 1,5 zu steigern und damit das Unterscheidungsvermögen und die Lichtstärke in erheblichem Maasse zu erhöhen, während der freie Objectabstand ein verhältnissmässig grosser bleibt. Endlich — und dies ist in praktischer Beziehung nicht gering anzuschlagen — wird der Einfluss der Deckglasdicke aufgehoben, indem es nun vollständig einerlei bleibt, ob man ein dünneres Deckglas und eine dickere Flüssigkeitsschicht, oder umgekehrt zwischen Object und Objectivsystem hat. Damit fällt denn auch die Correctionsvorrichtung fort, welche mancherlei Unbequemlichkeiten und Unzuträglichkeiten — Zeitverlust, Aenderung der Vergrösserung bei verschiedenen Stellungen der Linsen gegen einander, Ausnutzung bei längerem Gebrauche etc. — im Gefolge hat.

Als eine der geeignetsten Immersionsflüssigkeiten hatte Professor Abbe nach ausgedehnten Untersuchungen zuerst das flüchtige Oel erkannt, welches aus dem Holze des virginischen Wachholders (rothe Ceder, *Juniperus virginiana*) gewonnen wird (aus der Fabrik von Schimmel und Comp. Leipzig und New-York) und welches bei einem Brechungsexponenten von 1,51 ein nur wenig grösseres Zerstreuungsvermögen besitzt, als das Crown Glas. In Rücksicht auf die Seite 222 besprochene chromatische Differenz der sphärischen Abweichung und die aus ihr sich ergebende Verschiedenheit in der Farbencorrection für die Mitte und die Randzone der Objectivsysteme kann übrigens — wenigstens bei den schwächeren Systemen dieser Art — die Anwendung einer Flüssigkeit gelegentlich Vortheil bringen, welche bei gleichem Brechungsindex mit dem Cedernholzöl ein etwas stärkeres Zerstreuungsvermögen besitzt. Man kann nämlich mit einer solchen Flüssigkeit die Farbencorrection für die centralen Strahlen (also für gerades Licht) noch etwas vollkommener erhalten, als sie bei der möglichsten Ausgleichung der Reste für die ganze Oeffnung sich stellt. Für diesen Zweck ist eine auf den richtigen Brechungsindex abgegliche Mischung von Fenchelöl und Ricinusöl brauchbar.

Nächst diesen Flüssigkeiten können noch Copaivabalsamöl ($n=1,504$), ferner Lösungen von Chlorcadmium und Sulfo-Carbolat in Glycerin (letztere können auf den gewünschten Brechungsindex gebracht werden) zur Verwendung gelangen¹⁾.

In neuester Zeit haben Professor Abbe und Professor van Heupck noch einige weitere Flüssigkeiten angegeben, welche genau auf den Brechungsindex des Crownlasses (1,518 bis 1,520) gebracht werden können, ohne dessen Zerstreungsvermögen wesentlich zu überschreiten, welche also die Bedingung der homogenen Immersion ganz streng zu erfüllen gestatten. Wir beschränken uns hier auf die von Prof. Abbe zuletzt mitgetheilte, welche in Bezug auf die Annehmlichkeit des Gebrauches wohl alle anderen übertreffen dürfte. Es ist das gewöhnliche Cedernholzöl, nachdem dasselbe in dünnen Schichten längere Zeit der Einwirkung von Luft und Licht ausgesetzt worden war. Dasselbe kann dadurch (ohne Steigerung der Dispersion) auf die Consistenz von Ricinusöl und auf den Brechungsindex 1,520 gebracht werden. Für den Gebrauch mit Objectiven, welche einmal auf das natürliche Cedernholzöl adjustirt sind, muss diesem verdickten Olivenöl oder Ricinusöl zugesetzt werden, um seinen Brechungsindex wieder auf 1,51 herabzubringen.

Ueber die bei diesen Systemen erforderlichen Vorsichtsmaassregeln und Veranstaltungen, namentlich auch über die Mischung und Abgleichung der Immersionsflüssigkeiten werden wir in dem vierten Buche das Nöthige mittheilen.

Correctionssysteme. Den Einfluss, welchen die Dicke des Deckglases auf die Eigenschaften des mikroskopischen Bildes äussert, haben wir bereits in dem vorigen Capitel erörtert. 141

Zur Hebung dieses Einflusses sind nun von den beiden ersten Beobachtern desselben, von Amici (1829) und A. Ross (1837), verschiedene Wege eingeschlagen worden. Ersterer suchte diesem Einflusse dadurch entgegenzuwirken, dass er von den stärkeren Objectivsystemen seinen Mikroskopen stets einige beigab, welche bei ziemlich gleichem vergrösserndem Vermögen mittelst Abänderung in dem wechselseitigen Abstände der einzelnen Linsen so eingerichtet waren, dass sie entweder mehr oder weniger stark überverbessert oder unterverbessert erschienen und nur ohne Deckglas oder in Verbindung mit einem Deckglase von bestimmter Dicke ein fehlerfreies Bild gewährten. So waren z. B. bei einem Instrumente, welches ich Gelegenheit hatte näher kennen zu lernen, drei Objectivsysteme vorhanden, welche er bei einer 333-, 375- und 360maligen,

¹⁾ Die Basset'sche Flüssigkeit, eine Lösung von 12 bis 14 Theilen Ohloralhydrat (in Krusten) in 1 Theil ziemlich starken Glycerins, hat sich in einer mir früher von Prof. Abbe mitgetheilten Probe nicht ohne Auskrystallisiren, in einer neueren dagegen gut erhalten. Dieselbe ist also nicht ganz zuverlässig und soll auch die Verschlusskitte angreifen, weshalb sie wieder aufgegeben zu sein scheint.

also ziemlich gleichstarken Vergrößerung, das erstere zur Beobachtung eines unbedeckten Gegenstandes, das andere für die Benutzung eines Deckglases von $\frac{1}{2}$, das dritte für die eines solchen von 1 mm Dicke eingerichtet hatte. Bei anderen, grösseren Instrumenten war die Serie III. der Objectivsysteme für die Beobachtung unbedeckter Gegenstände, die Serie IV. für den Gebrauch eines 1,1 mm dicken Deckglases bestimmt, und die dadurch erzielten Vergrößerungen blieben bei beiden Serien einander fast gleich. Einen ganz anderen Weg schlug A. Ross ein, der, während die Amici'sche Veranstaltung fast keine Nachahmung gefunden hat, seither von den englischen und continentalen Optikern mit geringen Abweichungen in der optischen und mechanischen Einrichtung allgemein befolgt wird. Dieser Optiker richtete nämlich seine stärkeren Systeme derart ein, dass es der Beobachter in der Gewalt hat, die wechselseitige Entfernung zwischen den vorderen und hinteren Linsen des betreffenden Objectivsystemes innerhalb gewisser Grenzen so abzuändern, wie es die Dicke des zur Anwendung kommenden Deckglases erfordert. Dass hierdurch die Brennweite des Objectivsystemes und in Folge hiervon die Vergrößerung des Mikroskopes geändert wird, was sich namentlich bei mikrometrischen Messungen störend geltend macht, ist selbstverständlich. Allein, so lange nicht andere Mittel zu dem fraglichen Zwecke in Anwendung kommen können — wie sie in der homogenen Immersion gegeben sind —, muss man diese Uebelstände mit in den Kauf nehmen. Wie durch die besprochene Einrichtung die erzielte Verbesserung erreicht werden kann, möge folgende Betrachtung lehren. Wir wissen bereits aus Früherem, dass man in der Regel mittelst der Vorderlinse einen unterverbesserten Lichtbündel auffängt, der durch die hinteren Linsencombinationen des Systemes zur genauen Vereinigung gebracht wird. Ist das System nun für ein unbedecktes Object eingerichtet, so muss, wenn ein bedeckter Gegenstand betrachtet werden soll, eine Correction eintreten. Die Unterverbesserung der Vorderlinse wird nämlich durch das Hinzukommen einer Glasplatte, welche in gewissem Maasse überverbessernd wirkt, theilweise aufgehoben und kann nur dadurch wieder auf den früheren Grad ihrer Stärke zurückgebracht werden, dass man die unterste Linse den beiden übrigen Linsen mehr nähert. Je näher nämlich die Vorderlinse den festverbundenen beiden hinteren zu stehen kommt, desto grösser muss der Abstand zwischen der unteren ebenen Grenzfläche jener ersteren und dem Gegenstand werden und desto dicker wird also die Luft- oder Wasserschicht, von welcher die Aberration an der Vorderlinse hauptsächlich herrührt. Die unterverbessernde Wirkung der vordersten Linse wird dadurch gegen früher in gewissem Maasse verstärkt und hebt so den von dem Deckglase ausgehenden gegenheiligen Einfluss wieder auf. Ist dagegen die Correction für ein Deckglas von bestimmter Dicke gemacht und es soll nun ein Gegenstand beobachtet werden, der unbedeckt ist, so würde der umgekehrte Fall eintreten und es müsste die vorderste Linse von den beiden übrigen

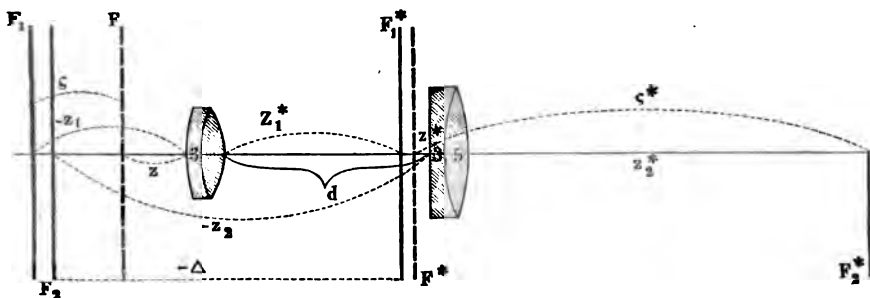
entfernt werden, um ihre für diesen Fall zu starke unterverbessernde Wirkung zu beschränken. Aus dieser Auseinandersetzung leuchtet auch zugleich ein, wie die Entfernung zwischen der vorderen und den beiden übrigen Linsen geändert werden muss, wenn Deckgläser von verschiedener Dicke gebraucht werden sollen. Bei einem dickeren Deckglase hat man dieselbe zu verringern, bei einem dünneren zu vergrössern.

2. Constanten und Cardinalpunkte.

Die Brennweite f und die Lage der beiden Cardinalpunkte, d. h. des vorderen und hinteren Brennpunktes F und F^* , eines Objectivsystemes können mittelst der Zusammensetzungsformeln V b und VI b, Seite 27, gefunden werden, sobald die Brennweiten der einzelnen Glieder, sowie die Lage ihrer Brennpunkte (resp. Brennebenen) bestimmt sind.

Um die Rechnung für einige einfache Beispiele durchzuführen, legen wir die Systeme AA und a^* (letzteres mit veränderlichem Linsenabstande, dispansivem Vorder- und collectivem Hintergliede) von Dr. Zeiss zu Grunde, welche in den Figuren 156 und 157 in natürlicher Grösse ihrer Dimensionen (die Linsendicken sind eingeschrieben) dargestellt sind.

Fig. 156.



Es ist für das erstere gefunden:

$$f_1 = 15,2 \text{ mm}, \quad f_2 = 33,8 \text{ mm}$$

$$z_1 = -13,5 \text{ mm}, \quad z_2 = -31,6 \text{ mm}$$

$$z_1^* = +15 \text{ mm}, \quad z_2^* = +33,9 \text{ mm}$$

ferner der Abstand der beiden Glieder an ihren beiden einander zugekehrten Flächen $d = 17,2 \text{ mm}$. Daraus ergibt sich nun:

$$\Delta = -31,6 - 15 + 17,2 = -29,4 \text{ mm}$$

und ferner

$$f = \frac{15,2 \times 33,8}{29,4} = 17,48 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{(15,2)^2}{29,4} = 7,86 \text{ mm}$$

$$\xi^* = -\frac{(33,8)^2}{29,4} = -38,86 \text{ mm}$$

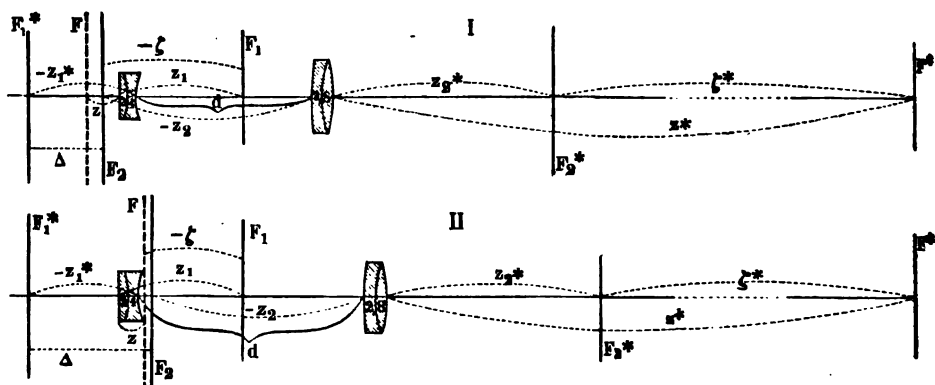
ferner

$$s = s_1 + \xi = -13,5 + 7,86 = -5,64 \text{ mm}$$

$$s^* = z_2^* + \xi^* = 33,9 - 38,86 = -4,96 \text{ mm}$$

Es liegen also bei einer Brennweite von 17,48 mm der vordere Brennpunkt F' um 5,64 mm vor der Vorderfläche des ersten Gliedes (der Vorderlinse), der hintere Brennpunkt F^* um 4,96 mm vor der Hinterfläche (äusseren Fläche) des zweiten Gliedes (der Hinterlinse), und damit ist alles gegeben, was zur Bestimmung der dioptrischen Wirkung des Systemes erforderlich erscheint.

Fig. 157.



Für das System a^* ist:

$$f_1 = -15 \text{ mm}, \quad f_2 = 29,4 \text{ mm}$$

$$s_1 = 16,5 \text{ mm}, \quad z_2 = -27,8 \text{ mm}$$

$$s_1^* = -14,8 \text{ mm}, \quad z_2^* = 29,2 \text{ mm}$$

d bei grösster Annäherung der Linsen (0 des Index) = 23,5 mm (Fig. 157 I)

bei weitester Entfernung der Linsen (10 des Index) = 29,5 mm (Fig. 157 II)

demnach:

$$\Delta (\text{bei } d = 23,5) = +10,5, \quad (\text{bei } d = 29,5) = +16,5$$

$$f = \frac{15 \cdot 29,4}{10,5} = 42 \text{ mm} \text{ und } f = \frac{15 \cdot 29,4}{16,5} = 26,7 \text{ mm}$$

$$\xi = -\frac{15^2}{10,5} = -21,4 \text{ mm} \text{ und } \xi = -\frac{15^2}{16,5} = -13,6 \text{ mm}$$

$$\xi^* = \frac{15^2}{10,5} = + 82,3 \text{ mm und } \xi^* = \frac{15^2}{16,5} = + 52,38 \text{ mm}$$

$$s = 16,5 - 21,4 = - 4,9 \text{ mm und } s = 16,5 - 13,6 = 2,9$$

$$s^* = 29,2 + 82,3 = + 111,5 \text{ und } s^* = 29,2 + 52,38 = + 81,58$$

Wir ersehen aus diesem letzten Beispiele, welchen Einfluss der Abstand der einzelnen Glieder bei gleicher Brennweite derselben auf die Brennweite des Gesamtsystemes und namentlich auf die Lage der Brennpunkte ausübt.

3. Mechanische Einrichtung.

Die mechanische Einrichtung der Objective anlangend, haben wir die Art ihrer Fassung, die Verbindung der einzelnen Doppellinsen zu Systemen, die Verbesserungseinrichtung für verschieden dicke Deckgläschen und endlich die Art und Weise, wie dieselben mit dem Stative verbunden werden, näher ins Auge zu fassen.

Fassung der Objectivsysteme. — Die Fassung der Objectivsysteme 143 wird bekanntlich von Messingröhrchen gebildet und hat man dabei vorzugsweise darauf zu sehen, dass die einzelnen Doppellinsen sowohl als auch die zu Systemen vereinigten, hintereinander stehenden Linsen genau centrirt, d. h. so angeordnet werden, dass die optischen Mittelpunkte derselben genau in eine gerade Linie fallen. Andernfalls erleidet das Bild immer, selbst bei einem auch nur unbedeutenden Fehler gegen die genaue Centrirung, eine beträchtliche Verminderung an Schärfe. Die genaue Centrirung ist bei der Kleinheit der Linsen, welche zu den Objectiven der Mikroskope verwendet werden, immerhin, selbst bei den einfacheren Systemen, eine sehr schwierige Aufgabe und bedarf, um in befriedigendem Grade erreicht zu werden, grosser Geduld des Verfertigers. Noch weit schwieriger aber wird dieselbe bei den Systemen mit Verbesserungseinrichtung, bei denen die bewegliche Doppellinse ihre relative Lage zu den feststehenden bei jeder Aenderung des Abstandes wechselt.

Die Vereinigung der einzelnen Doppellinsen zu Systemen kann nach zwei verschiedenen Methoden geschehen. Nach der einen, zugleich älteren, welche gegenwärtig nur noch bei den sehr billigen, für uns eigentlich nicht in Betracht kommenden Mikroskopen und auch hier nur bei Herstellung der schwächeren Objectivsysteme befolgt wird, erhält das Mikroskop eine Anzahl einzelner Objective, welche ihrer Stärke nach mit der Nummer 1, 2, 3 etc. bezeichnet werden, beigegeben. Diese werden dann in folgenden Reihen aufeinandergeschraubt benutzt: 1, 1 + 2, 1 + 2 + 3 etc., so dass also bei einem derartig eingerichteten Mikroskope ebenso viele Combinationen möglich sind, als die Anzahl der ein-

zelenen Doppellinsen betrügt. Bietet nun diese Methode in Betreff der Zahl der einzelnen, zu einem bestimmten Mikroskope erforderlichen Linsen und dem damit zusammenhängenden Preise des Instrumentes einen gewissen Vortheil, so leidet sie doch an mancherlei Unzulänglichkeiten, welche sie weniger empfehlenswerth erscheinen lassen als die folgende, und ihre Anwendung für zum wissenschaftlichen Gebrauch bestimmte Instrumente ausschliessen. Die andere, zuerst von Oberhäuser, Amici und den englischen Optikern angewendete Methode geht darauf hinaus, dass die zusammengehörigen Linsen ein- für allemal zu einem festen Systeme vereinigt werden und hat gegenwärtig allgemeinen Eingang gefunden. Erhöht sich auch bei dieser Methode die Anzahl der einzelnen zu einem Mikroskope gehörigen Doppellinsen und damit dessen Preis bedeutend, so wird dies doch mehr als aufgewogen durch die Vollkommenheit der Systeme und den Zeitgewinn beim Wechseln der Vergrößerungen, sowie namentlich durch den Umstand, dass mit solch vollkommenen Systemen weit stärkere Oculare verbunden werden können, was in vielen Beziehungen mit nicht unerheblichem Gewinn verknüpft ist. Man braucht nur einmal zwei nach den verschiedenen Methoden gebaute Instrumente zu vergleichen, um sich von letzterer Thatsache auf das Entschiedenste zu überzeugen.

Eine eigenartige Fassung hat Dr. Zeiss seinem mit a^* bezeichneten Systeme gegeben, welches für manche Zwecke sehr gute Dienste leistet. Dasselbe besteht nämlich aus zwei achromatischen Linsen, welche durch einen drehbaren, nach Art der Correctionsfassung construirten Ring einander genähert und von einander entfernt werden können, so dass das System, wie wir eben gesehen haben, veränderliche Brennweite und veränderliche Vergrößerung gewinnt.

- 144 Die Verbesserungseinrichtung (Correctionsfassung) wegen verschiedener Dicke der Deckgläschen beruht, wie bereits erwähnt, im Wesentlichen darauf, dass die einzelnen Linsencombinationen oder Linsen des Objectivsystemes gegeneinander verschiebbar sind. Dabei können die beiden hinteren Linsen, oder die hintere Linse allein, feststehende und die vordere, oder die beiden vorderen Linsen beweglich gemacht, oder es kann das Umgekehrte der Fall sein. Beide Methoden, so verschieden sie auch erscheinen, laufen doch wesentlich auf ein- und dasselbe Ziel hinaus, und es lässt sich dasselbe bei ziemlich gleichartiger mechanischer Ausführung erreichen. Die letztere Art der Einrichtung, welche zuerst von Wenham (*Quarterl. Journal of microscop. science* Bd. II, p. 188) empfohlen, dann von Nabet, Gundlach, Zeiss u. A. befolgt wurde, hat vor der ersteren, die von dem Erfinder der Correctionsvorrichtung, A. Ross, dann von Plössl, Merz, Hartnack befolgt wurde und noch gegenwärtig hier und da im Gebrauch ist, den Vorzug, dass das Object bei der Ausführung der Correction weder verschwindet, noch das Deckglas Gefahr läuft, zerdrückt zu werden.

Die mechanische Ausführung kann innerhalb der beiden Grundformen eine verschiedene sein und wollen wir einige der gebräuchlichsten Formen etwas näher betrachten.

Die eine, zuerst von A. Ross ausgeführte, früher in England und auch auf dem Continente nachgeahmte Einrichtung möge nebenstehende Durchschnittszeichnung eines Ross'schen Systemes mit Verbesserungseinrichtung, Fig. 158, erläutern. *a* ist die Röhre, welche die vordere, *b* diejenige, welche die fest mit einander verbundene mittlere und hintere Linse enthält. Die erstere gleitet über die letztere in der Art hin, dass deren höchster und niederster Stand durch das an diese festgeschraubte Stück *d* bestimmt wird, welches sich in dem in die Röhre *a* geschnittenen Ausschnitte auf und ab bewegt. Die gleitende Bewegung wird durch den Ring *c* vermittelt. Dieser trägt am unteren Ende eine Schraubenmutter, welche in das auf die Röhre *a* geschnittene Gewinde greift. Am oberen Ende desselben befindet sich dann ein ringförmiger Vorsprung, der in einer auf der Röhre *b* befindlichen Rinne läuft. Wird nun der Schraubenring *c* gedreht, so hebt und senkt sich derselbe sammt dem ringförmigen Vorsprunge, der an der Röhre *a* die gleiche auf- und abgleitende Bewegung hervorbringt. So kann je nach Bedürfniss die vordere Linse den beiden übrigen genähert, oder von denselben entfernt werden.

Bei den Hartnack'schen Systemen mit Verbesserungseinrichtung (Fig. 159) gleitet die Röhre *A*, welche die beiden vorderen fest mit ein-

Fig. 158.

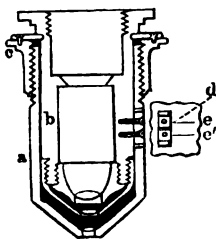
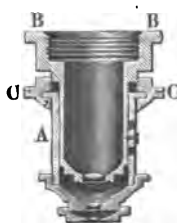


Fig. 159.



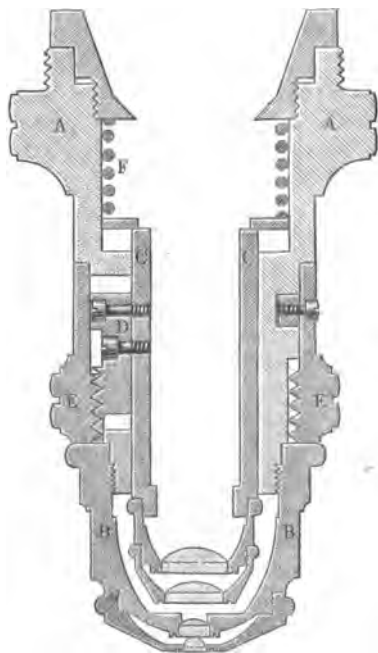
ander verbundenen Linsen trägt, ebenfalls über die Röhre *B*, in welche die hinterste Linsencombination eingeschraubt ist. Der Ring *C*, vermittelt dessen die Correction vorgenommen wird, hat oben eine Schraubenmutter, welche in das auf der Röhre *B* eingeschnittene Gewinde greift; unterhalb der Schraubenmutter befindet sich dagegen eine Ringfurche, in welche ein Vorsprung der äusseren Röhre *A* so passt, dass sich der Ring *C* mittelst der Furche ohne Reibung über ihn weg bewegen kann. Durch die Umdrehung des Ringes wird nun die äussere Röhre je nach der Richtung der Drehung gehoben oder herabgedrückt und damit die beiden vorderen Linsen der hinteren genähert oder von derselben entfernt. Die Wirkung bleibt in Bezug auf die Aufhebung

des Einflusses der Deckglasdicke zwar im Ganzen dieselbe, wie bei den nach englischer Weise eingerichteten Systemen; doch unterscheiden sich die Hartnack'schen Linsen in optischer Beziehung wesentlich, indem sowohl die Verbesserung der beiden Abweichungen und damit die Begrenzung und Farbenfreiheit, als auch die Grösse des Oeffnungswinkels und in Folge dessen das Auflösungsvermögen durch diese Art der Linsenverbindung bei den verschiedenen von der Deckglasdicke bedingten Stellungen weit weniger verändert werden, was als ein nicht wenig ins Gewicht fallender Vorzug zu betrachten ist.

Dieser einfacheren Einrichtung hat Dr. Hartnack später für die stärksten seiner Immersionssysteme eine Correctionsfassung hinzugefügt, mittelst welcher bei Umdrehung des Ringes, die gegenseitige Entfernung sowohl zwischen der vorderen und mittleren, als zwischen dieser und der hinteren Linse in gewissem Verhältnisse geändert wird.

Die Zeiss'sche Correctionsfassung (Fig. 160), welcher diejenigen von E. Leitz und C. Reichert nachgebildet sind, hat die Röhre *BB*,

Fig. 160.



in welcher die beiden Vorderlinsen eingesetzt sind, fest mit der Hauptfassung *AA* verbunden (durch Verschraubung, wie aus der Figur ersichtlich ist), während die Röhre *C*, welche die hintere Linse (Trockensysteme), oder die beiden hinteren Linsen (Immersionssysteme) trägt, innerhalb *AA* auf und ab geführt werden kann. Diese Bewegung, welche durch die Spannfeder *F* in dem oberen Theile der Fassung regulirt wird, geschieht mittelst Drehung des mit der Röhre *C* verschraubten, in einer Rinne (rechts in der Figur) und durch die Röhren *A* und *B* fixirten Ringes *EE*, dessen Schraubenmutter in das Gewinde des mit *C* verschraubten Ansatzes *D* eingreift. Der Correctionspielraum für etwa 0,1 mm Differenz in der Deckglasdicke beträgt nicht einmal eine volle Umdrehung und sind die Stellungen des Ringes für je 0,01 Differenz beziffert, so dass

die erforderliche Correction für eine bekannte Deckglasdicke sofort und ohne langes Versuchen ausgeführt werden kann.

Da durch die geschilderten Formen der Verbesserungseinrichtung der gleichmässige Gang in der erstrebten möglichst gleichlaufenden Auf-

hebung der chromatischen und sphärischen Abweichung immer mehr oder minder beeinträchtigt wird, so hat Gundlach eine neue Form derselben construirt, welche, gemäss seiner eigenen Aussage, diesen Uebelstand beseitigen und ausserdem noch den Vortheil einer unbeschränkten Wahl in der Dicke der Deckgläser, sowie eines vergrösserten, für Trockensysteme bei den verschiedenen Stellungen der Correctionsschraube gleichen Arbeitsabstandes, gleichbleibender Vergrösserung und Oeffnung einschliessen soll. Derselbe lässt die Entfernung der Linsen gegen einander unveränderlich, bringt dagegen vor der Vorderlinse des Objectivsystemes eine parallelfächige Glasplatte an, welche der ebenen Vorderfläche jener mittelst einer Correctionsschraube genähert oder von ihr entfernt werden kann. Den Zwischenraum zwischen der Vorderfläche des Systems und der Glasplatte füllt er mit einer in ihrem Brechungsvermögen dem Crown glase nahe stehenden Flüssigkeit (reines Glycerin) aus, deren Dicke sich durch die Bewegung der Glasplatte ändert — der Ueberschuss der Flüssigkeit kann seitlich entweichen — und damit den Einfluss der Deckglassdicke ausgleicht, ohne die Verbesserung der Abweichungen des Objectivsystemes zu stören, oder dessen Brennweite und numerische Apertur zu ändern.

Diese Construction, welche ich nicht unerwähnt lassen wollte, dürfte wohl kaum alle die ihr zugetheilten Vortheile erreichen, da einerseits der Arbeitsabstand bei Trockensystemen, wie bei Immersionssystemen unter 1,2 numerischer Apertur nur durch die Bedingung einer genügenden Correction der sphärischen Abweichung für den verlangten Oeffnungswinkel beschränkt ist, während sie andererseits wegen der für die sonst erreichbaren numerischen Aperturen erforderlichen Dicke der Vorderlinse aus technischen Gründen nur für Trockensysteme von nicht unter 2,5 mm Brennweite ausführbar erscheint.

Hier muss noch eines Umstandes erwähnt werden, welcher, mit 145 Ausnahme der Zeiss'schen Werkstätte, bisher bei der Construction resp. Fassung der Objectivsysteme gar keine Beachtung gefunden hat, der aber auf die Begrenzung der Strahlenkegel nicht ohne Einfluss ist. Es ist dies die Lage der als strahlenbegrenzend wirksamen physischen Oeffnung oder der Iris, welche je nach Zufall bald von der Vorderlinse, bald von der Hinterlinse, bald von einer mittleren Linse gebildet wird. Da deren Stellung gegen den hinteren Brennpunkt des Objectivsystemes immer verschiedene Lage der Eintrittspupille und der Austrittspupille herbeiführt, so sollte die Lage der Iris stets einen wesentlichen wohl beachteten Theil der Construction ausmachen. Durch die beiden Pupillen wird nämlich der Verlauf der bilderzeugenden Lichtbüschel insofern bedingt, als deren Mittelpunkte die Hauptstrahlen aller der Lichtkegel bestimmt, welche von den einzelnen Objectpunkten aus zu den zugeordneten Bildpunkten hinübergeführt werden, und als verschiedene Lage dieser Mittelpunkte verschiedene geometrische Schemata des Strahlenganges in einem Systeme hervorruft. Dieser Lagenwechsel wird nun allerdings prak-

tisch nur dann von höherer Bedeutung, wenn die Eintrittspupille der Objectebene sehr nahe liegt (wie es z. B. in Fig. 35 u. Fig. 37, S. 57 u. 60 der Fall ist). Hier erhalten nämlich die nach den Rändern der Iris oder der Eintrittspupille hinzielenden Strahlen eine Neigung gegen die Objectebene, welche in verschiedenen Theilen derselben eine ansehnlich verschiedene ist. Da nun verschiedene Seiten in der Wirkungsweise eines Objectivsystemes von der Neigung der Strahlenbüschel abhängen, welche von ihm aufgenommen werden, so ist die Wirkung in entgegengesetzten Theilen des Sehfeldes eine verschiedene. Derartige Ungleichheiten trifft man häufig bei Objectivsystemen von kurzer Brennweite, wenn die Iris von der Fassung der Vorderlinse gebildet, also sehr nahe an die Objectebene gebracht wird. Um möglichst gleichmässige Wirkung über die ganze freie Oeffnung zu erzielen, sollte eine solche Anordnung vermieden und das Bestreben dahin gerichtet werden, dass die Eintrittspupille möglichst weit von der Objectebene entfernt liege.

Bei den Objectivsystemen mit Correctionsfassung tritt bei Vornahme der Correction eine Veränderung im Durchmesser, wie in der Stellung der Eintrittspupille und damit eine Aenderung des Oeffnungswinkels ein, wenn die Iris in dem hinteren Theile derselben erscheint. Wird dieselbe z. B. von der Fassung der hintersten Linse gebildet, dann ändert jede Umdrehung der Correctionsschraube den Abstand zwischen der Iris und dem Vordertheile des Objectivsystemes und damit Durchmesser und Lage des Bildes der Iris, welches durch den letzteren in dem Objectraume entworfen wird. Wird nun der Objectpunkt auf der Achse in gleicher Entfernung von der Vorderfläche des Systemes festgehalten, so ändert sich der angulare Durchmesser der Eintrittspupille in Beziehung zu dem Objectpunkte, d. h. der Oeffnungswinkel entsprechend den verschiedenen Stellungen der Correctionsschraube. So z. B. finde ich bei einem Objectivsysteme 10 (Immersion) von Schmidt und Haensch die numerische Apertur bei der Stellung für dünnste Deckgläser $= 1,07$, bei der für dickste noch verwendbare, welche um acht volle Umdrehungen tiefer liegt, $= 1,055$.

Diese Erscheinung giebt Winke dafür, dass erstlich die Iris bei dieser Fassungsform in den Vordertheil des Objectivsystemes verlegt und zweitens der Correctionsspielraum nicht auf eine zu grosse Abstandsveränderung ausgedehnt werden soll. Das letztere empfiehlt sich auch noch aus dem Grunde, weil im anderen Falle die Brennweite allzu stark wechselt. Bei dem genannten System z. B. wechselt die Brennweite für die beiden extremen Stellungen zwischen 2,1 und 3,1 mm (Vergrößerung mit Ocular Nr. 2 von Zeiss $= 600$ und 430), bei einem VI von Seibert und Krafft zwischen 2,23 und 2,77 mm, während bei dem Zeiss'schen F die Differenz nur 0,17 mm (1,93 mm und 2,1 mm Vergrößerung $= 650$ und 610) beträgt.

Verbindung der Objectivsysteme mit der Mikroskopröhre. — 146

Die Verbindung der Objectivsysteme mit dem Mikroskopkörper wird jetzt allgemein mittelst der Schraube bewerkstelligt. Die von Chevalier zuerst angewendete, von Harting neuerdings empfohlene Bajonettverbindung ist hierzu, wie schon Mohl bemerkt hat, ganz und gar nicht geeignet, da dieselbe leicht der Ausnutzung unterworfen ist, wodurch leicht ein Schlottern entsteht, was gerade hier von sehr nachtheiliger Wirkung sein müsste. In dieser Beziehung wäre von Seiten der Mikroskopiker nur zu wünschen, ja nachdrücklich zu fordern, dass unsere deutschen Optiker endlich dem Beispiele der englischen folgten und sämmtlich die gleiche Schraube für ihre Objectivsysteme annehmen möchten, um diejenigen der einen Werkstätte an Stativen einer anderen sofort gebrauchen zu können. Wie erwünscht dieses für den wissenschaftlichen Beobachter wäre, geht aus der Erfahrung hervor, dass die Objective aus der einen Werkstätte diesen, die aus einer anderen jenen — wenn auch oft nur subjectiven — Vorzug in ihren optischen Leistungen für specielle Untersuchungsgebiete besitzen. Als zur allgemeinen Annahme zu empfehlende Schraube ist meiner Ansicht nach allein die englische „society-screw“ geeignet, da dieselbe ausser in England in Amerika allgemein und auch schon in Deutschland, z. B. bei den Mikroskopen von Zeiss, Leitz, Reichert u. A. (bei denen der letzteren Werkstätten wenigstens — neben den eigenen kleineren — an dem Tubus) mehrfach in Gebrauch ist ¹⁾.

II. Der Ocularapparat.

Der Ocularapparat ist gemäss der früheren Erörterungen als aus Tubus und Ocularlinsen zusammengesetzt zu betrachten und haben wir zu untersuchen, welche Rolle jeder dieser Bestandtheile bei der dem ersteren übertragenen Function: das Lupenbild auf den erforderlichen Sehwinkel auszubreiten, spielt.

1. Der Tubus.

Für die Vollkommenheit des Bildes ist es vollständig gleichgültig, **147** wie die Vergrösserung durch die Tubuslänge und Ocularstärke zu Stande kommt, sobald die Objectivsysteme den einmal angenommenen Verhältnissen richtig angepasst sind. Damit ist aber gesagt, dass weder der lange Tubus, wie er in England gebräuchlich

¹⁾ Um möglichste Uebereinstimmung in der Ganghöhe der Schraube zu fördern, ist Herr Dr. Zeiss, wie er mir persönlich versicherte, gern bereit, eine Copie des Mustergewindes der society-screw auf Wunsch mitzutheilen.

ist, noch der kurze continentale Tubus die Höhe der Leistungsfähigkeit des Mikroskopes berühren, dass aber für den letzteren berechnete Objectivsysteme und namentlich solche von grösserer Oeffnung nicht ohne Weiteres mit dem ersteren gebraucht werden dürfen und umgekehrt.

Dagegen äussert die Tubuslänge auf andere Verhältnisse ganz bestimmte Einflüsse. Aus der Gleichung

$$N = \frac{X}{f_1} \cdot \left(-\frac{\Delta}{f_2} \right)$$

lässt sich sofort erkennen, welche Bedeutung die durch die Lage des hinteren (oberen) Brennpunktes des Objectivsystemes und des vorderen (unteren) Brennpunktes des Oculares bestimmte und, wie wir später sehen werden, messbare Grösse von Δ , d. h. die reducirte oder optische, bei der Verbindung verschiedener Objectivsysteme und Oculare miteinander wechselnde Tubuslänge ¹⁾ neben den Brennweiten beider Bestandtheile des Mikroskopes für die Gesamtvergrösserung gewinnt.

Die strenge Beachtung dieses Einflusses allein gewährt eine feste Grundlage für die Erklärung gewisser Thatsachen, welche ohne dieselbe ganz unverständlich bleiben würden. So erklärt sich daraus die verschiedene Vergrösserung zweier Objectivsysteme oder zweier Oculare von gleicher Brennweite an demselben wirklichen Tubus beim Gebrauche der ersteren mit demselben Ocular oder der letzteren mit demselben Objectivsystem ganz einfach. Ein in meinen Händen befindliches System 1 von Leitz und ein System *aa* von Zeiss z. B. haben nahezu die gleiche Brennweite von 32,5 mm; bei dem ersten aber liegt die hintere Brennebene 10 mm über, bei dem letzteren 8 mm vor dem unteren Tubusrande. Unter Anwendung eines Oculars Nr. 2 von Zeiss, dessen vordere Brennebene etwa 22 mm unter dem oberen Tubusrande liegt, beträgt daher in einem Falle die optische Tubuslänge 128 mm, im anderen 146 mm und die Vergrösserungen je 28 und 32 stehen in dem Verhältnisse von 7:8. Ebenso haben ein Ramsden'sches Ocular und Ocular 4 von Zeiss nahezu gleiche Brennweite (26,8 mm), das eine ergibt aber mit System *D* von Zeiss eine optische Tubuslänge von 155, das andere von 175 mm und beide Combinationen vergrössern je 390 und 425 mal, also im Verhältniss von 13:14. In gleicher Weise erklärt sich der Umstand, dass eine gleichgrosse Verlängerung des wirklichen Tubus (d. h. des Messingrohres) einmal eine starke, ein anderes Mal dagegen nur eine schwache Veränderung der Vergrösserung hervorbringt.

¹⁾ Um ein Beispiel für die wechselnde optische Tubuslänge zu geben, mögen diejenigen für die Objectivsysteme *aa* ($f = 32$ mm) und *D* ($f = 4,2$ mm) und die Oculare Nr. 1 bis Nr. 5 von Zeiss bei 160 mm Rohrlänge hier Platz finden.

Für ersteres beträgt diese Länge (Δ)

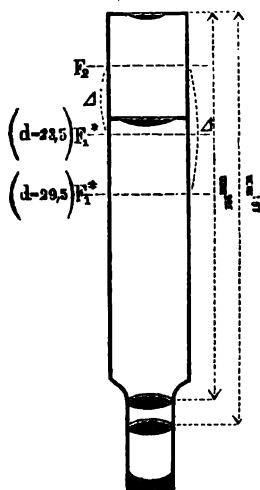
je 133,4 — 145,3 — 153,4 — 159 — 164,4 mm,

für das letztere

je 150,5 — 162,4 — 170,5 — 176,1 — 184 mm.

Eine schlagende Verdeutlichung des Einflusses der optischen Tubuslänge gewährt neben den obigen Beispielen namentlich auch das weiter oben betrachtete Objectivsystem a^* von Zeiss mit um 6 mm verstellbaren Linsen. Der innere Abstand dieser letzteren beträgt bei der Stellung auf 10 des Index 29,5, bei der Stellung auf 0 dagegen 23,5 mm. Nimmt man nun einen wirklichen Tubus von 155 mm Länge, wobei die obere Linsenfläche, von der aus die s_1^* gemessen sind, bei der ersten

Fig. 161.



Stellung etwa in den unteren Rand des Tubus, bei der anderen 6 mm tiefer zu liegen kommt und verwendet man das Ocular Nr. 2 ($f_2 = 42,5$) von Zeiss, dessen untere Brennebene F_2 etwa 22 mm unter dem oberen Tubusrande liegt, so ist, da die Ebene F_1^* je 81,6 und 111,5 mm von der Hinterfläche der oberen Linse des Objectives abgehend gefunden wurde, die optische Tubuslänge Δ für die Stellung des Index auf 10, also für den Linsenabstand 29,5 mm gleich

$$155 - (81,6 + 22) = 51,4 \text{ mm}$$

für die Stellung auf 0, Linsenabstand = 23,55 mm

$$161 - (111,5 + 22) = 27,5 \text{ mm.}$$

Während bei den Stellungen 10 und 0, wie wir an der erwähnten Stelle gefunden haben, die Brennweite etwa von 27 auf 42 mm steigt, verkürzt sich gleichzeitig der Tubus fast auf die Hälfte und es erklärt sich hier-

aus die rasche Abnahme der Vergrößerung, welche im ersten Falle = 12, im anderen = 4 ist. Hätte man den wirklichen Tubus auf 250 mm verlängert, so würden die optischen Tubuslängen je 146,4 und 122,5 mm und die Vergrößerungszahlen 31 und 17 ergeben haben. Die Vergrößerung würde also unter diesen Verhältnissen im ersten Falle um das Drei-, im anderen nur um etwa das 1,8-fache steigen.

Die Grundgleichung: $xx^* = -f^2$ zeigt die Abhängigkeit des Objectabstandes x von der Tubuslänge, indem diese letztere den Bildabstand x^* bedingt. Je grösser der letztere, desto kleiner wird der erstere und umgekehrt und es rückt damit der Objectpunkt auf der Achse der Vorderfläche des Objectivsystemes bei langem Tubus näher, während er sich bei kurzem davon entfernt. Hierdurch tritt in Bezug auf die Strahlenbegrenzung der auf S. 68 erörterte Fall ein und es steht somit auch die Grösse des Öffnungswinkels im Zusammenhange mit der Tubuslänge. Bei Objectivsystemen von kurzer Brennweite ist die Aenderung in dem Abstände des Objectpunktes immer nur unerheblich, wenn die Tubuslänge innerhalb der gewöhnlichen Grenzen bleibt und die Aenderung des Öffnungswinkels wird kaum bemerkbar. Bei Objectivsystemen von

grosser Brennweite dagegen tritt, wenn die Iris von der Brennebene der Vorderlinse ziemlich entfernt liegt, immer ein bedeutender Wechsel in der Grösse des Oeffnungswinkels ein, wenn z. B. der Tubus von 150 mm auf 250 mm verlängert wird, und dieser Wechsel zeigt verschiedene Merkmale, jenachdem die Eintrittspupille des Systemes ein virtuelles Bild über der Objectebene oder ein reelles vor derselben ist. In dem ersten Falle, welcher der Fig. 36 auf Seite 58 entspricht, wird der Oeffnungswinkel vergrössert, wenn sich der Objectpunkt dem Objectivsysteme nähert, verkleinert, wenn er sich entfernt. In dem anderen Falle, welcher in Fig. 37 vorliegt, findet das umgekehrte Verhalten statt.

2. D a s O c u l a r.

148 Soll das Ocular, welches an den Abbildungsfehlern in der weiter unten bezeichneten Grenze ohnehin mit Theil nimmt, in Verbindung mit den immerhin noch unvermeidliche Reste der Abbildungsfehler übrig lassenden Objectivsystemen von grosser Winkelöffnung die beste Wirkung hervorbringen, so muss auch ihm eine dem Zwecke des ganzen optischen Apparates möglichst entsprechende Einrichtung gegeben werden. Dass in dieser Beziehung die einfache Linse nicht genügen kann, ist natürlich. Denn selbst wenn man Linsen der besten Form anwenden wollte, würde der Erfolg doch nicht das erstrebte Ziel erreichen. In Folge der nothwendigen starken Krümmung der Linsenoberflächen, namentlich einigermassen stark vergrössernder Linsen, müsste die Oeffnung derselben bedeutend verkleinert werden, und es könnte nur ein sehr kleiner Theil des von dem Objective entworfenen Bildes übersehen werden. Ferner würde eine einfache Linse die an dem Objectivbild noch haftenden Abbildungsfehler — wenigstens ausserhalb der Achse — in sehr merkbarem Maasse vergrössern. Dies hatte man denn auch schon früh erkannt und sich, wie die Geschichte des Mikroskopes nachweist, bemüht, auch dem Ocular die erforderliche Einrichtung zu geben.

Die Grundform des zur Zeit im Gebrauch befindlichen Oculars ist ein aus einfachen planconvexen Sammellinsen gebildetes zweigliederiges Linsensystem, welches folgenden Zweck verfolgt:

1. Die Möglichkeit, ohne achromatische Linsen gleiche Vergrösserung (d. h. gleiche Brennweiten-) für verschiedene Farben zu erhalten.

2. Die Verminderung beziehungsweise Aufhebung innerhalb eines gewissen Schwinkels,

- a) der Verzerrung,
- b) der Wölbung des Sehfeldes,
- c) der sphärischen Abweichung der Randbüschel,
- d) des Astigmatismus der äusseren Strahlenbüschel.

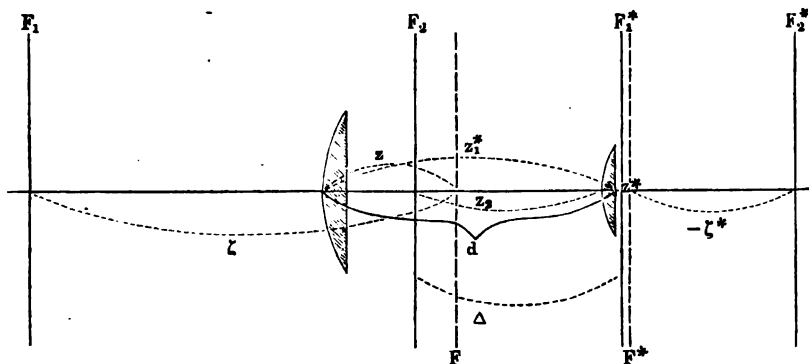
Die Bedingung für die Art der Verbindung der beiden unachromatischen Linsen, zu einem derartigen Systeme ist auf Grund der Erzielung achromatischer Vergrößerung. (vergleiche Seite 41 u. f.) gegeben in der Gleichung

$$d = \frac{f_1 + f_2}{2},$$

welche besagt, dass die Entfernung der beiden Glieder gleich sein muss der halben Summe ihrer Brennweiten. Dieselbe kann in verschiedener Weise vollzogen werden und es gehen daraus mehrere Einzelformen des Mikroskopoculars hervor, von denen wir die gebräuchlicheren näher betrachten wollen.

Huyghens'sches Ocular. Das Huyghens'sche Ocular, eine der 149 unbestimmt vielen möglichen Formen, durch welche der oben gestellten Bedingung Genüge geleistet werden kann, während zugleich die Möglichkeit gegeben ist, mit einer einfachen Construction aus zwei planconvexen Linsen verhältnissmässig günstige Verhältnisse in Bezug auf die Verminderung der oben unter 2 a bis d genannten Bildfehler zu erhalten, war schon lange bei dem Fernrohre im Gebrauch, ehe man es für das Mikroskop benutzte. Dasselbe besteht aus zwei planconvexen Linsen einer Vorderlinse: Collectivlinse, die indessen, wie man in Folge eines Missverständnisses von manchen Seiten annimmt, keineswegs eine Vergrößerung des Sehfeldes herbeiführt, und einer Hinterlinse, Augenlinse, welche beide dem Objectivsysteme ihre gewölbte Fläche zuwenden (Fig. 162). Als Repräsentant dieses Oculars würde ein Linsensystem von der Form

Fig. 162.



$f_1 = 4$, $f_2 = 2$ und $d = 3$ betrachtet werden können. Indessen brauchen die ersten beiden Elemente, weil das Objectivbild doch immer einen Rest der chromatischen Differenz der Vergrößerung enthält und es deshalb zu weit gegangen wäre, wenn man die äusserste Vollkommenheit zu erstreben suchte, in der Praxis nicht genau in den gegebenen Verhältnissen eingehalten zu werden.

Aus der beschriebenen Art der Verbindung geht eine Lage der beiden Brennpunkte des Systemes hervor, welche dadurch gekennzeichnet ist, dass der vordere, hier virtuelle Brennpunkt F zwischen die beiden Linsen fällt, während der hintere, reelle, F^* wenig über der Hinterfläche der zweiten Linse zu liegen kommt.

Die rechnungsmässige Bestimmung dieser Lage, sowie der Brennweite, vollzieht sich in derselben Weise wie bei dem Objectivsysteme.

Legen wir z. B. das Ocular Nr. 2 von Zeiss (Fig. 162) zu Grunde und sei gefunden $f_1 = 46,6$ mm, $f_2 = 29,1$ mm, die Entfernung der beiden Linsen von Scheitel zu Scheitel (wobei die Linsendicke der Vorderlinse mit ihrem Luftwerthe in Rechnung gebracht ist) $d = 43,9$ mm, ferner $s_1^* = f_1 = 46,6$ und $s_2 = -f_2 = -29,1$ mm, so erhalten wir zunächst

$$\Delta = -29,1 - 46,6 + 43,9 = -31,8 \text{ mm}$$

ferner

$$f = \frac{46,6 \cdot 29,1}{31,8} = 42,6 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{(46,6)^2}{31,8} = 68,3 \text{ mm}$$

$$\xi^* = -\frac{(29,1)^2}{31,8} = -26,6 \text{ mm}$$

und endlich

$$s = s_1 + \xi = -46,6 + 68,3 = +21,7 \text{ mm}$$

$$s_2 = s_2^* + \xi^* = 29,1 - 26,6 = +2,5 \text{ mm}$$

Bei einer Aequivalentbrennweite von 42,6 mm liegt also der vordere Brennpunkt F 21,7 mm über dem Scheitel der Vorderlinse, der hintere Brennpunkt F^* 2,5 mm über dem Scheitel der Hinterlinse und wir erhalten für positive x , wie sie in der That hier auftreten, eine positive Vergrösserung, d. h. ein aufrechtes virtuelles Bild des Luftbildes.

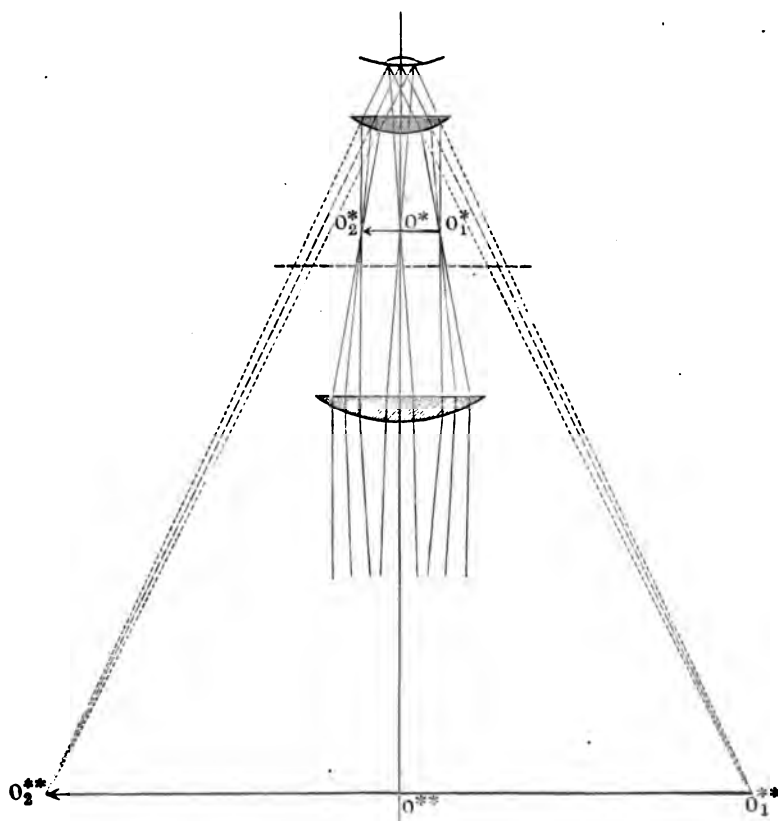
150 Fassen wir nun die Function des Oculars bei dem Abbildungsvorgange ins Auge, wie er sich aus der schematischen Zerlegung des Mikroskopes (S. 214) ergibt, so gestaltet sich dieselbe folgendermaassen.

Das von dem aus dem Mikroskopobjectiv und der Zerstreuungslinse L_2 combinirt gedachte Objectivsystem erzeugte Lupenbild wird durch die wiederholten Brechungen in den beiden Vorderlinsen des Ocularapparates, d. h. in der mit der genannten Zerstreuungslinse zu einer Planplatte verbundenen Sammellinse L_1 und der Vorderlinse (Collectiv) des Oculars als ein verkleinertes, verkehrtes, etwas über der vorderen (unteren) Brennebene F des Oculars gelegenes, reelles Luftbild in den Objectraum des letzteren projiziert und endlich durch die letzte brechende Fläche: die Augenlinse, in der Weite des deutlichen Sehens auf den erforderlichen Schwinkel ausgebreitet (Fig. 163 a. f. S.).

Hieraus geht hervor, dass der letzte Vorgang bei der Abbildung, d. h. die Divergenzänderung der von den einzelnen Objectpunkten aus-

gehenden Strahlenbüschel bis auf geringe Abweichungen in der Weise erfolgt, wie an unendlich engen Strahlenbüscheln; und diese Thatsache

Fig. 163.



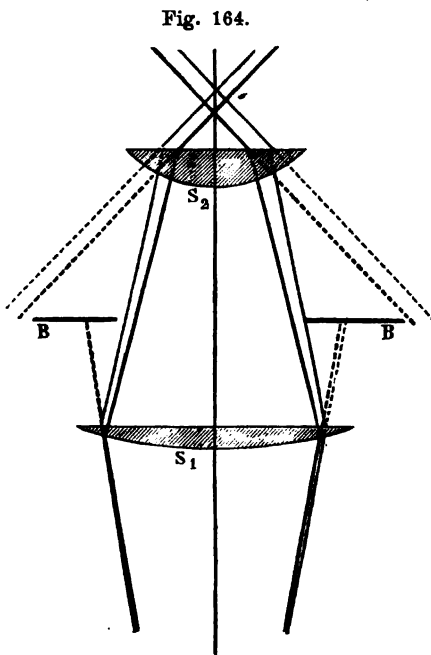
giebt zugleich den Leitfaden an die Hand für die Betrachtung des Einflusses, welchen das Ocular auf die Abbildungsfehler ausübt. Es folgt daraus, dass eine merkliche sphärische Längenabweichung — wenigstens auf der Achse — im Ocular nicht mehr eintreten kann, weil diese mit dem Quadrat der wirksam werdenden Linsendurchmesser abnimmt, also sehr klein bleiben muss, wenn — wie es im Ocular der Fall ist — der Querschnitt der Strahlenkegel auf einen kleinen Bruchtheil der Brennweiten oder der Krümmungshalbmesser der Linsen verringert erscheint. Die chromatische Längenabweichung hingegen ist, weil sie in der Verschiedenheit der dioptrischen Elemente: Brennweite und Ort der Brennpunkte für verschiedene Farben ihren Grund hat, allerdings unabhängig von den Divergenzwinkeln der Strahlenbüschel. Die Undeutlichkeitskreise aber, welche aus ihr entspringen können, nehmen ab

im Verhältnisse mit dem Divergenzwinkel (oder dem Querschnitt) der Strahlenkegel, wie bei der Betrachtung der Verhältnisse bei der einfachen Linse (S. 46 u. f.) gezeigt worden ist. Aus den dort mitgetheilten Zahlen wird ersichtlich, dass auch bei ganz unachromatischen Ocularlinsen eine irgend merkliche chromatische Abweichung in der Focalwirkung nicht eintreten kann, weil beim Ocular des Mikroskopes noch günstigere Verhältnisse eintreten, als bei der Lupe, indem der Querschnitt der von dem virtuellen Bild ausgehenden Strahlenbüschel bei jenem stets auf den Querschnitt der Austrittspupille des Mikroskopes, also auf einen verhältnissmässig kleinen Bruchtheil von der Brennweite der Ocularlinsen beschränkt bleibt.

Diese Betrachtung zeigt nun auch, dass alle die verschiedenseitigen Angaben über die Verbesserung oder Verschlechterung der in dem Objectivsysteme gebliebenen Reste von eigentlichen Aberrationen aller Begründung entbehren, da das Ocular keinen nennenswerthen Einfluss auf den Gang der eigentlichen sphärischen und chromatischen Abweichung äussert und dass sich seine Wirkung nach dieser Richtung hin und

unter Voraussetzung richtiger Construction nur auf die S. 258 bezeichneten Punkte erstrecken kann.

Was zuvörderst die Erzielung gleicher Vergrößerung, beziehentlich gleicher Brennweite für Strahlen verschiedener Farbe betrifft, so wird diese Wirkung durch nebenstehende Figur versinnlicht. Die Hauptstrahlen für Roth und Blau, welche, da gleiche Vergrößerung des von dem Objectsystem entworfenen Bildes für verschiedene Farben vorausgesetzt werden muss, bei ihrem Eintritt in das Ocular nach demselben Punkte des Luftbildes hinstreben, werden, wie bekannt, verschieden gebrochen. Der blaue Hauptstrahl wird von der Vorderlinse stärker ge-



brochen, als der rothe und trifft daher die hintere Linse in geringerem Abstände vom Scheitel, als dieser. Es erfährt somit der blaue Hauptstrahl an der letzten Linse trotz des stärkeren Brechungsvermögens für Blau eine geringere Ablenkung als der rothe Hauptstrahl, sofern nur die

Treffpunkte genügend weit auseinander gerückt sind — was man offenbar durch die Entfernung zwischen der Collectiv- und Augenlinse in der Gewalt hat —. Ist diese Entfernung richtig gewählt, so bewirkt die letztere Linse eine solche Brechung, dass der rothe und blaue Strahl in gleicher Richtung austreten, also für das Auge von einem Punkte eines entfernten Sehfeldes auszugehen scheinen. Das Gleiche darf man für die zwischenliegenden Farben annehmen. Die Convergenzpunkte verschiedenfarbiger Strahlen eines Lichtkegels müssen sich sonach in dem betreffenden Bildpunkte zu weissem Lichte vereinigen und damit wird die chromatische Differenz der Vergrösserung, soweit das Ocular theilhaft ist, gehoben erscheinen.

Die Aufhebung der Verzerrung des Bildes, deren Ursprung wir ebenso wie die Bedingung zu ihrer Beseitigung weiter oben schon kennen gelernt haben, erfordert, dass das Ocular derart construirt sei, dass die nach der Mitte der Eintrittspupille des Objectivsystems und nach der Mitte der ihr zugeordneten Austrittspupille des ganzen Mikroskopes hinzielenden Strahlen ein constantes Verhältniss der Tangenten ihrer Neigungswinkel zeigen. Diese Constanz könnte nun mittelst einer einfachen Linse nicht erzielt werden, da hier die Hauptstrahlen der äusseren Strahlenbüschel eine verhältnissmässig zu grosse Divergenzänderung erleiden würden. Durch die Vertheilung der Brechung auf zwei in der entsprechenden Entfernung mit einander verbundene Kugelflächen lässt sich jedoch die Divergenz der Hauptstrahlen jener Strahlenbüschel wenigstens über einen begrenzten Raum des Sehfeldes hin auf die erforderliche Winkelgrösse bringen und damit die Bildähnlichkeit innerhalb eines mässigen Seh winkels herbeiführen.

Die Wölbung des Sehfeldes kann auch durch das zweigliedrige Ocular — und zwar wie ich mich an durch meine Hand gegangenen orthoskopischen, achromatischen und aplanatischen Ocularen zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe, durch irgendwelche Construction desselben — nicht ganz aufgehoben werden. Es ist indessen immer möglich, durch die der obigen Bedingungsgleichung entsprechende Anordnung der Linsen ein geringeres Hervortreten dieses Fehlers herbeizuführen, als es bei einer einzigen Linse der Fall sein würde. So äussert diese Construction denn auch nach dieser Richtung hin eine günstige Wirkung, wie sie zugleich der Verminderung der sphärischen Abweichung ausserhalb der Achse und vor allem in den Randbüscheln, sowie des Astigmatismus der äusseren Strahlenbüschel zu dienen vermag.

Ramsden'sches Ocular. — Von dem Huyghens'schen unterscheidet sich das Ramsden'sche, bei dem Mikroskope selten und nur zu Messungszwecken angewendete, zu einzelnen dieser letzteren (z. B. Bestimmung von Brennweiten etc.) aber auch unentbehrliche Ocular dadurch, dass seine beiden — ebenfalls planconvexen — Linsen mit ihren Scheiteln einander zugekehrt sind und deren Abstand ein weit kleinerer ist.

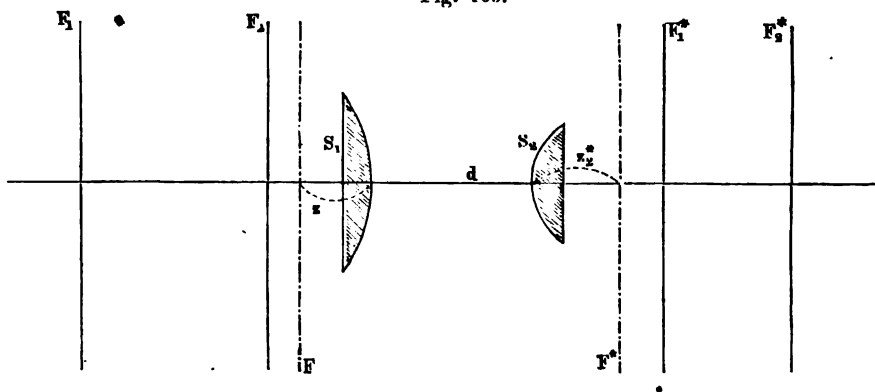
Dasselbe hat in seiner Construction den gleichen Bedingungen gerecht zu werden, wie das Huyghens'sche Ocular und es repräsentirt seine typische Gestalt den Sonderfall

$$f_1 = f_2, \text{ also } d = f_1 = f_2$$

wobei dann auch die Hauptbrennweite $f = f_1 = f_2 = d$ wird. Da indessen bei genauer Einhaltung dieser Bedingungen die Unbequemlichkeit eintreten würde, dass der vordere reelle Brennpunkt gerade in die Collectivlinse fiele (was die Anbringung eines Mikrometers hindern würde) und da andererseits die praktische Anwendung doch nur eine annähernde Erfüllung derselben erfordert, so lässt man die Ausführung der Construction nach verschiedenen Richtungen von obiger Grundform abweichen. Man nimmt einmal den Abstand der Linsen etwas kleiner, um den vordern Brennpunkt noch vor der Collectivlinse zu erhalten und dann die Brennweite des Collectivs etwas länger als die des Augenglases, um den hinteren Brennpunkt — und damit die Austrittspupille des Mikroskopes — in etwas grösseren Abstand von der Augenlinse zu verlegen. Als Beispiel einer solchen thatsächlichen Construction möge ein von Zeiss ausgeführtes zu Messungszwecken dienendes Ocular (Fig. 165) dienen, für welches

$$f_1 = 39 \text{ mm}, f_2 = 35 \text{ mm}, d = 22 \text{ mm}.$$

Fig. 165.



Aus diesen Daten berechnet sich in der gleichen Weise wie oben bei dem Huyghens'schen Ocular

$$\Delta = -39 - 35 + 22 = -52$$

$$f = 26,2 \text{ mm}$$

$$\zeta = 29,24 \text{ mm}$$

$$\zeta^* = -23,6 \text{ mm}$$

$$z = (-39 + 29,24) \text{ mm} = -9,76 \text{ mm}$$

$$z^* = (35 - 23,6) \text{ mm} = 11,4 \text{ mm}.$$

Der vordere reelle Brennpunkt F liegt somit 9,76 mm vor (unter) dem Scheitel des Collectivs, der hintere F^* 11,4 mm über dem Scheitel der Augenlinse.

Man ersieht hieraus, dass die vordere Brennebene im Vergleiche zur Augenlinse bei dem Ramsden'schen Oculare einen weiteren Abstand gewinnt, als bei einem Huyghens'schen von gleicher Brennweite (bei Nr. 4 von Zeiss liegt die vordere Brennebene etwa 22 mm unter der Augenlinse, hier dagegen nahezu 32 mm), und dass demzufolge das erstere immer mit kürzerer optischer Tubuslänge wirken muss, wie das letztere, wenn beide so eingesetzt werden, dass die Augenlinsen in gleiche Höhe zu stehen kommen.

Wird das Ramsden'sche Ocular als Mikrometerocular angewendet, so muss der Glasmikrometer, um einem Auge hinter dem Ocular in der Weite deutlichen Sehens zu erscheinen, vor der Collectivlinse sehr nahe der vorderen Brennebene des Oculars zu liegen kommen. Sein Vortheil besteht dann darin, dass das Luftbild und die Mikrometerscala durch das Ocular in gleichem Maasse vergrößert werden und die Linien der letzteren namentlich in der Mitte des Gesichtsfeldes vollkommen geradlinig erscheinen, was bei mikrometrischen Messungen allerdings sehr berücksichtigt zu werden verdient.

Orthoskopisches, periskopisches und aplanatisches Ocular. 152

Die Construction der unter den obigen Namen bekannten Oculare geht darauf hinaus, durch Anwendung achromatischer Linsen für die Beseitigung der Verzeichnungsfehler, wie der sphärischen Abweichung und des Astigmatismus der Randbüschel, Brennweiten und Abstand der Linsen zur freien Verfügung zu haben, ohne durch die Rücksicht auf Farben-correctio n beschränkt zu sein.

Die „orthoskopischen“ Oculare, welche von C. Kellner in Wetzlar eingeführt, seitdem auch von anderen Optikern nachgeahmt wurden, besitzen eine achromatische Augenlinse, ein biconvexes, um die Brennweite der letzteren von ihr abstehendes Collectiv und zeichnen sich durch ein grosses Gesichtsfeld aus, während gleichzeitig die Verzerrung des Bildes beseitigt erscheint. Dass das Bild auch in einer Ebene liege, wie Harting behauptet, kann ich dagegen nicht bestätigen. Der Rand des Bildes verlangt eine etwas stärkere Senkung des Tubus als dessen Mitte.

Das neue „periskopische“ Ocular von Gundlach besitzt einen reellen vordern Brennpunkt und besteht aus einer dreifachen, aus zwei collectiven Crownglaslinsen und einer dispansiven Flintglaslinse gebildeten Augenlinse und einem doppelt convexen Collectiv, während der Abstand der beiden Glieder kleiner ist, als die Brennweite der Augenlinse. Dieses Ocular soll nach den Angaben Gundlach's ein noch grösseres und ebeneres Sehfeld besitzen, als das orthoskopische, und sich auch vorzüglich als Mikrometerocular eignen.

Das sogenannte aplanatische Ocular von Plössl, Schieck u. A. besteht aus zwei nach Art des Ramsden'schen Oculares mit einander verbundenen achromatischen, planconvexen Linsen, giebt ein sehr helles, reines und scharfes, von Verzerrung freies, fast ebenes Bild, und kann überall da angewendet werden, wo man gerade auf diese Verhältnisse besondere Rücksicht nimmt.

Die genannten sind aber auch die einzigen Vortheile, welche derartige Constructionen bieten, dagegen ist die Ansicht, als ob durch dieselben in dem Objectivsystem noch gebliebene Abweichungsreste beseitigt werden könnten, durchaus unbegründet.

- 153 Das Vollglasocular (Holosteri'sches Ocular) wurde zuerst in Amerika verwendet (Hagen, Max Schultze'sches Archiv Bd. IV, 1870, Seite 205) und von Hartnack auch bei uns eingeführt. Dasselbe bildet eine Art Coddington'sche Lupe, deren obere Brennebene etwa in den oberen Linsenscheitel fällt, während die untere (vordere) bei einem in meinem Besitze befindlichen Nr. II von Leitz 6,5 mm über dem unteren Linsenscheitel, also in der Linse liegt, so dass eine ähnliche Wirkung erzielt wird, wie bei dem Huyghens'schen Oculare. Wenn die Arbeit sorgfältig ausgeführt ist, wie bei den von Leitz construirten Exemplaren, welche ich besitze, dann tritt auch bei starker Vergrößerung (die erwähnte Nummer hat 9,8 mm Brennweite) ein verhältnissmässig geringer Lichtverlust ein, während das scharf gezeichnete Bild weniger verzerrt und gewölbt erscheint, als bei dem gewöhnlichen Ocular. Meines Erachtens können die Vollglasoculare in Verbindung mit schwächeren und mittleren Systemen für homogene Immersion noch ganz erspriessliche Dienste leisten, sobald es darauf ankommt, deren Auflösungsvermögen in vollem Umfange auszubenten, oder äusserst kleine isolirte Organismen (Bakterien u. dergl.) genau zu beobachten.

- 154 Fassung der Oculare. Collectiv- und Ocularlinse werden in der Regel in einer Messingröhre in festem Abstände eingeschraubt, Fig. 166.

Fig. 166.



Der Ort der Blendung, welche dazu dient, um scharfe Begrenzung eines bestimmten Bildfeldes herbeizuführen, ist bei jeder Construction des Oculares durch den Ort des vorderen (unteren) Brennpunktes bestimmt. Für ein weitsichtiges Auge fällt er genau, sonst wenigstens annähernd mit dem letzteren zusammen. Liegt der vordere Brennpunkt vor der Collectivlinse, wie bei dem Ramsden'schen Ocular, so ist die Ebene der Blendung unmittelbar gegeben. Ist dagegen F' virtuell, wie beim Huyghens's-

schen Ocular, so muss sie hinter dem Collectiv durch denjenigen Punkt der Achse gehen, welcher diesem virtuellen F' in Bezug auf das Collectiv conjugirt ist.

Die Verbindung des Oculares mit dem Mikroskopkörper geschieht einfach durch Einschieben seiner Hülse in das Rohr. Diese Einrichtung verdient der Möglichkeit des schnelleren Wechselns halber den Vorzug vor einer Schraubenverbindung, setzt aber sehr genaue Arbeit voraus, so dass das Ocular bei jeder Stellung genau centrirt bleibt.

III. Der Beleuchtungsapparat.

Der dritte Theil des optischen Apparates unserer zusammengesetzten **155** Mikroskope besteht aus dem Beleuchtungsapparate. Ist dieser Bestandtheil auch im Ganzen genommen von geringerer Wichtigkeit als Objectivsystem und Ocular, so muss derselbe doch, soll er der Vollkommenheit letzterer in ausreichender Weise entsprechen und bei unseren immer sehr begrenzten Lichtquellen eine Beleuchtung der mikroskopischen Objecte gestatten, welche deren besonderen, äusseren und inneren Structurverhältnissen am angemessensten ist, mit grosser Aufmerksamkeit und Sorgfalt hergestellt werden. Es ist und bleibt immer, selbst für ein optisch sonst ganz vollkommenes Instrument, ein schlechtes Ding, wenn die Beleuchtungsvorrichtung mangelhaft eingerichtet ist.

Durchsichtige und undurchsichtige Gegenstände verlangen, jegliche in ihrer Art, eine eigenthümliche Beleuchtungsweise. Erstere verlangen durchgehendes, letztere auffallendes Licht. Darnach zerfallen denn auch die Beleuchtungsvorrichtungen in zwei wesentlich verschiedene Gattungen.

1. Beleuchtungsvorrichtung für durchfallendes Licht.

Am häufigsten kommt die Beobachtung mittelst durchfallenden Lichtes **156** vor, sei es, dass die Gegenstände schon von Natur aus dafür passend sind, oder erst durch Präparation in geeigneter Weise dazu hergerichtet werden. Betrachten wir daher zunächst den Apparat für diese Beleuchtungsweise. Derselbe hat verschiedene Bedingungen zu erfüllen, welche wesentlich durch die Art und Beschaffenheit der Objecte, namentlich aber durch deren feinere Structurverhältnisse bestimmt werden. Die einen verlangen ein sehr intensives, die anderen ein mehr gemässigtes Licht; die einen enthüllen das feinere Detail ihrer inneren, namentlich aber mancher sehr zarten äusseren Structurverhältnisse am besten bei schief einfallenden Strahlen, die anderen lassen dagegen zur genauen Erkennung namentlich der feineren inneren Structur nur gerades Licht zu. Schliesslich bedingt die Construction der Objectivsysteme die Anwendung eines Lichtkegels bald von kleinerer, bald von grösserer Oeffnung, um

verschiedene Structurverhältnisse mit der ihnen angemessenen Klarheit zu erkennen. Hieraus und im Anschlusse an das in dem dritten Capitel des ersten Buches Gesagte ergeben sich denn unmittelbar die Anforderungen, denen ein vollständiger Beleuchtungsapparat zu genügen hat.

Erstens muss er es möglich machen, sowohl gerade, d. h. mit ihrer Achse in der Richtung der optischen Axe des Mikroskopes dahingehende, sowie von allen Seiten her schief einfallende, mit ihrer Achse die optische Axe unter beliebigen Winkeln schneidende Lichtkegel auf den Gegenstand zu leiten und die Uebergänge in der Einfallsrichtung des wirksamen Strahlenkegels möglichst rasch und leicht herbeizuführen.

Zweitens muss es in der Gewalt des Beobachters liegen, je nach Bedürfniss Lichtkegel von grösserer oder kleinerer Oeffnung, d. h. Lichtkegel, gebildet aus Strahlen von verschiedenen Divergenzwinkeln, zur Beleuchtung zu verwenden und damit möglichst viele und feine Abstufungen in der Intensität des Lichtes zur Verfügung zu haben.

Im Allgemeinen genügt diesen Bedingungen ein ausreichend grosser, allseitig beweglicher Spiegel in Verbindung mit einer entsprechend eingerichteten Blendungsvorrichtung, in höherem Maasse und weiterem Umfange jedoch ein in seiner Ausführung möglichst einfach gehaltener, zweckentsprechend gebauter, besonderer Beleuchtungsapparat.

- 157 **Der Spiegel.** — Um das von dem Himmel oder von einer künstlichen Lichtquelle ausstrahlende Licht aufzufangen und nach der Einstellungsebene zu reflectiren, kann man einen Plan- oder einen Hohlspiegel verwenden. Am zweckmässigsten erscheint jedoch, wie schon oben aus der zweiten Forderung hervorgeht, die Vereinigung beider Spiegelarten in einer Fassung in der Art, dass sich auf der Vorderseite ein ebener, auf der Rückseite ein hohler Spiegel befindet. Man wird dann bei schwachen Vergrösserungen immer den engeren Lichtkegel verwenden, welchen der Planspiegel gewährt und dadurch eine angenehmere und zweckmässigere Beleuchtung erzielen können, als wenn man den von dem Hohlspiegel ausgehenden breiteren Lichtkegel auf das Object leitet.

Man fertigt jetzt fast allgemein die ebenen sowohl als die concaven Spiegel aus Glas, und es scheint dasselbe auch nach allen Erfahrungen dasjenige Material zu sein, welches vorzuziehen ist. Zunächst liefern Glasspiegel ein weit helleres und weisseres Licht als Metallspiegel, und dann sind dieselben auch weit wohlfeiler herzustellen als die letzteren. Die doppelte Zurückwerfung von der vorderen sowohl, als von der hinteren Fläche, welche man von einigen Seiten den Glasspiegeln als Fehler entgegeng gehalten hat, entbehrt jeder Begründung. Als Form hat man die runde festgehalten und würde die von Goring vorgeschlagene elliptische auch von ganz und gar keinem Vortheile, eher der Bequemlichkeit hinderlich sein. Die Grösse des Spiegels kann mannigfach wechseln,

da es dabei, wie aus dem Früheren (S. 73 u. f.) hervorgeht, nur auf das Verhältniss zwischen dessen Durchmesser und dessen Abstand von der Einstellebene — oder auf die scheinbare Grösse des Spiegels für den Ort des Objectes — ankommt und der grössere Spiegel nur den Vortheil hat, dass er bei grossem Abstände denselben Lichtkegel liefert, wie ein kleinerer bei kleinem Abstände. Dieselbe hängt von mancherlei Umständen, namentlich auch von der Form des Statives ab und schwankt im Allgemeinen zwischen 25 bis 50mm; sie kann aber unter Umständen auch auf ein noch kleineres Maass heruntergehen, ohne dass — für schwächere Vergrösserungen wenigstens — die Beleuchtung des Sehfeldes allzusehr beeinträchtigt wird.

Die Verbindung des Spiegels mit dem Stative geschieht entweder mittelst eines eigenen Trägers (Plössl bei dem älteren grossen Stative, Nachet bei den mittleren und kleinen älteren und einigen neueren Instrumenten), oder durch Befestigung an der Säule, welche den Körper des Mikroskopes trägt (Hartnack, Zeiss, Schiek, Merz u. A.). Er hängt dabei bei einfacherer Einrichtung in einem Bügel, welcher sich mittelst eines Stiftes um seine horizontale oder senkrechte Achse dreht, während der Spiegel selbst in einer auf dieser senkrechten Richtung um seine Querachse beweglich ist, so dass er allseitig und unter jedem Winkel gegen die Lichtquelle geneigt werden kann. Diese Bewegung ist indessen nicht hinreichend, um der zweiten, oben gestellten Anforderung: von allen Seiten her schiefes Licht, sowie Lichtkegel von verschiedener Divergenz auf den Gegenstand fallen lassen zu können, zu entsprechen. Dazu ist es nothwendig, dass der Spiegel ausserhalb der optischen Achse des Mikroskopes gebracht, sowie höher und tiefer gestellt werden kann. Zu dem ersteren Zwecke, also zur Erzielung geneigter Strahlenbüschel braucht der Spiegel, da man den Gegenstand selbst entweder mittelst der Hand oder mittelst später zu beschreibender mechanischer Hilfsmittel drehen kann, gerade nicht eine allseitige Beweglichkeit gegen die Achse zu besitzen, sondern es genügt, wenn er sich in einer senkrechten Ebene zur Seite oder nach vorwärts bewegen lässt. Am einfachsten ist die von Amici wieder aufgenommene Einrichtung, dass der Bügel, welcher den Spiegel trägt, an dem untersten Ende einer mit der Säule verbundenen Kurbel befestigt wird, die sich am oberen Ende in einem festen Stifte dreht und eine Bewegung nach links und rechts ausführen kann. Für Stative mit festem Objectische empfiehlt sich indessen die von Zeiss eingeführte Einrichtung, mittelst welcher der an einem gegliederten Träger aufgehängte, schief gestellte Spiegel sich in einem Bogen drehen lässt (siehe die Figuren zur Beschreibung der Zeiss'schen Stative im vierten Abschnitt).

Sehr zweckmässig wäre es, wenn sich an dem Stative eine Vorrichtung befände, wodurch die Zurückführung des schief gestellten Spiegels in die Achsenrichtung sicher ohne Mühe und Zeitverlust erreicht werden könnte, so dass man bei dieser Zurückführung nicht immer das Auge von

dem Oculare entfernen müsste, um mit dessen Hilfe die richtige Lage des Spiegels aufzufinden.

Die Vergrößerung oder Verkleinerung des angularen Durchmessers der lichtgebenden Fläche und damit die Steigerung oder Minderung der Lichtmenge ist, wie wir auf Seite 75 nachgewiesen haben, in gewissem Umfange durch Annäherung und Entfernung des Spiegels zu erreichen. Die hierzu erforderliche senkrechte Bewegung des letzteren kann entweder in den Stift des Bügels (Zeiss u. A.) oder der Kurbel (Hartnack u. A.) verlegt sein, welcher mittelst entsprechender Vorrichtungen auf- und abwärts geschoben werden kann.

158 Die Blendung. Um die Abstufungen in der Menge des von dem Spiegel reflectirten Lichtes in weiterem Umfange regeln zu können, reicht die Verstellbarkeit des Spiegels in senkrechter Richtung nicht aus. Hierzu bedarf es der Blendungsvorrichtungen, mittelst deren für centrale Beleuchtung ein beliebiger Theil des von dem Spiegel ausgesendeten Lichtkegels abgeschnitten und damit der wirksame Theil der leuchtenden Fläche nach Bedürfniss beschränkt werden kann. Da es aber, wie wir später ausführlicher erörtern werden, bei Betrachtung verschiedenartiger Gegenstände und zur Erkennung von mancherlei Einzelheiten in den feineren Structurverhältnissen derselben nicht gleichgültig ist, ob durch die Blendung die von den Randtheilen oder von der Mitte des Hohlspiegels zurückgeworfenen Strahlen abgeschnitten werden, da es vielmehr wünschenswerth ist, für manche Fälle nur diese, für andere nur jene zum Objective gelangen zu lassen, so müssen die Blendungen von zweierlei Art sein. Die einen, schon seit lange in Gebrauch befindlichen, müssen die Abhaltung der Randstrahlen, die anderen, deren Wichtigkeit man erst in neuerer Zeit schätzen gelernt hat, die der Achsen- oder Mittelstrahlen gestatten. Diese zweite Art der Blendungen leisten namentlich dann ihre vorzüglichsten Dienste, wenn sie mit einem vollständigen Beleuchtungsapparate in Verbindung gebracht werden; aber auch mit dem einfachen Hohlspiegel werden sie nicht ohne Vortheil gebraucht. Für diesen Fall müssen sie jedoch in senkrechter Richtung beweglich sein.

Bezüglich der Verbindungsweise der Blendungsvorrichtung mit dem übrigen Beleuchtungsapparate und dem Stative, wobei vorzugsweise darauf zu achten ist, dass die Handhabung leicht und bequem, die Abstufung der Beleuchtung ohne Veränderung der Lage des Objectes möglich und der Zutritt fremden Lichtes ausgeschlossen sei, kommen verschiedenerlei Abänderungen vor, von denen hier nur der am meisten in Gebrauch befindlichen gedacht werden soll.

Die einfachste Vorrichtung besteht aus einer runden Metallscheibe (Fig. 167), welche sich um einen in ihrem Centrum gelegenen Stift dreht und eine Anzahl weiterer und engerer runder Oeffnungen enthält, die durch Umdrehung ersterer nach einander unter die Oeffnung des Object-

tisches gebracht werden können. Soll dieselbe ihrem Zwecke möglichst vollkommen genügen, so muss sie sich entweder unmittelbar oder doch nur in kleiner Entfernung unter dem Objecttische befinden und eine nicht zu geringe Anzahl, sondern etwa 6 bis 8 Oeffnungen enthalten, die in einer solchen Entfernung von einander stehen, dass, wenn die eine derselben zur Seite gedreht wird, das Gesichtsfeld vollkommen verdunkelt erscheint, ehe die andere hervortritt. Solche Scheiben, welche mit einigen wenigen, etwa zwei bis vier Oeffnungen versehen sind und sich 20 bis 25 mm, oder noch weiter unterhalb des Objecttisches befinden, entsprechen ihrem Zwecke an vollkommenen Instrumenten nicht und passen

Fig. 167.



höchstens für kleinste Mikroskope. Die Wirkung der drehbaren Blendungsscheibe wurde durch die in Fig. 168 dargestellte gewölbte Form, welche Zeiss in Jena zuerst anwendete, bedeutend erhöht, indem dieselbe bei hinreichend starkem Objecttische möglichste Annäherung an das Object gestattet.

Fig. 168.



Weit zweckmässiger, wenn auch nicht so einfach und so billig herzustellen, wie die drehbare Blendungsscheibe, ist der zuerst von Oberhäuser angewendete, von ihm später bedeutend vervollkommnete, in neuerer Zeit von Dr. Zeiss in höchst zweckentsprechender Weise abgeänderte Apparat für bewegliche Cylinderblendungen.

Mittelst dieser Blendungen kann man nicht nur den Grad der Beleuchtung, ausser durch Wechseln der Blendungen, durch Auf- und Abschieben derselben in den feinsten Abstufungen einwirken lassen, sondern auch zugleich den Einfluss der allmählig sich ändernden Beleuchtung auf das Bild des Gegenstandes ungestört verfolgen und die für ein bestimmtes Object passendste Lichtstärke ausmitteln, was für manche Fälle der Beobachtung von Wichtigkeit wird. Ferner können dieselben, was namentlich bei Anwendung von stärkeren, lichtschwächeren Vergrößerungen zur Beobachtung kleinerer Theile eines Objectes in Betracht kommt, unmittelbar unter den Objectträger gebracht werden, so dass der mittlere Theil des Gesichtsfeldes hell erleuchtet ist, während der übrige

Theil mässigeres Licht erhält und nicht dadurch störend einwirken kann, dass überflüssiges Licht in das Auge gelangt. Auch in Bezug auf das Auffinden sehr kleiner Gegenstände bei starken Objectivvergrösserungen gewähren dieselben eine nicht zu verkennende Bequemlichkeit. Man braucht jene nämlich nur unmittelbar auf die kleine Oeffnung zu legen, um sie dann ohne vieles Suchen und grossen Zeitverlust in das Sehfeld bringen zu können.

Fig. 169.

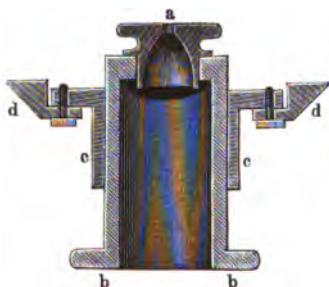


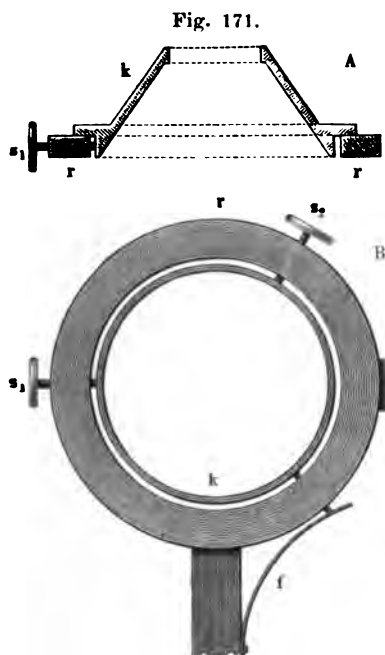
Fig. 170.



Bei dem Oberhauser'schen Schlittenapparat befinden sich die aus einem kleineren, conisch ausgehöhlten, nach oben eine engere oder weitere kreisrunde Oeffnung besitzenden Cylinder bestehenden Blendungen *a* (Fig. 169) in dem oberen Ende eines weiteren Hohlcyinders *bb*, der genau in eine gleiche Hülse *cc* eingeschliffen ist und in derselben auf- und abbewegt werden kann, um die ersteren nach Belieben dem Objecte nähern oder von demselben entfernen zu können. Der ganze Apparat ist an einem Schlitten *dd* festgeschraubt, der unter dem Objecttische in schwalbenschwanzförmigen Falzen läuft, so dass es möglich gemacht ist, die Blendungen wechseln zu können, ohne das Object berühren zu müssen.

In etwas einfacherer Weise kann der Blendungswechsel auch mittelst eines drehbaren Armes und Bajonnetverbindung geschehen.

Der Zeiss'sche Blendungsapparat für das grosse Stativ (Fig. 170, rechte Seite) ist an einer vierseitigen mit dem Objecttische fest verbundenen senkrechten Zahnstange angebracht, auf welcher derselbe mittelst Triebes gehoben und gesenkt werden kann. Ueber der Führungshülse dreht sich ein unter einem Winkel von etwa 90° gebogener Träger mit Handgriff nebst an einem im Objecttisch befestigten Stahlstift einklappendender und an diesem Führung erhaltender Feder. In dem Scheitel des Trägers befindet sich der mit dessen beiden Schenkeln aus einem Stücke gearbeitete Ring r , welcher den unten in eine Ringplatte mit dünnwandigem Einsatzring übergehenden Konusk (Fig. 171) trägt, der die Cylinderblende eingesetzt erhält. Auf dem ersteren gleitet die Ringplatte und kann mittelst zweier unter einem Winkel von 120° wirkenden Stellschrauben s_1 , s_2 und einer in der Halbierungslinie dieses Winkels entgegenwirkenden Spannfeder f centrirt werden. Diese



Einrichtung gestattet neben der für viele Beobachtungen bei centraler Beleuchtung höchst wichtigen Centrirung der Blendungsöffnung und der feinsten, stetigen Abstufung der Lichtmenge ein höchst bequemes Wechseln der ersteren und verdient eine weite Verbreitung.

Für kleinere Instrumente möchte sich vielleicht eine vereinfachte Einrichtung empfehlen, bei welcher der die Blenden aufnehmende Cylinder in einer an dem Objecttisch unter der Oeffnung angeschraubten, für schiefe Beleuchtung an der einen Seite geöffneten Hülse verschiebbar wäre. Dagegen sind die festen, zum Einlegen in den Objecttisch bestimmten Blendungen sowohl unbequem, als unzweckmässig. Zwar bieten dieselben im Vergleich mit der drehbaren Scheibe immer noch einige Vortheile, vorzugsweise auch in Beziehung auf genaue Centrirung dar; diese werden aber einestheils durch ihre Unbequemlichkeit und die Störung der Beobachtung beim Wechseln aufgehoben, anderentheils lassen sich bei der Drehscheibe mit Leichtigkeit Vorkkehrungen zu möglichst genauer Centrirung treffen.

Die zweite Art der Blendungen, welche in der Regel in Verbindung mit einer Beleuchtungslinse oder einem Beleuchtungssysteme verwendet werden und dazu bestimmt sind, die von der Mitte des Spiegels aus

reflectirten Strahlen abzuschneiden, bestehen aus kleinen kreisförmigen Plättchen, welche aus einer undurchsichtigen, geschwärzten Masse verfertigt sind und einen Durchmesser von 1 bis 5 mm haben können. Dieselben werden zweckmässig zwischen Spiegel und Linse oder Linsensystem angebracht und entweder auf eine drehbare Glas- oder mit passenden Oeffnungen versehene Metallscheibe (Fig. 172), an die dünnen Speichen eines sich horizontal drehenden Rädchens, oder auch auf einem horizontal verschiebbaren Glasstreifen (Fig. 173) befestigt. Immer aber

Fig. 172.



Fig. 173.



hat man dafür zu sorgen, dass auf derselben Scheibe auch eine oder einige Oeffnungen für Centralstrahlen vorhanden sind, um nöthigenfalls auch diese sofort verwenden zu können. Befestigt man die Central-

blenden in der Röhre für bewegliche Blendungen, oder senkrecht beweglich an einem Stäbchen, so kommt man wohl auch mit einem oder höchstens zwei Scheibchen aus, da man es in der Gewalt hat, durch deren Auf- und Abbewegen einer grösseren oder kleineren Menge der mittleren Strahlen den Zugang zu versperren. Damit verbindet sich noch ausserdem der Vortheil, dass man während der Beobachtung mit stetig wechselnder Breite der wirksamen Randzonen der leuchtenden Fläche ganz allmählig verschiedene Grade der Beleuchtungsstärke einwirken lassen kann.

- 159 **Abbe's Beleuchtungsapparat** (Max Schulze's Archiv für mikroskop. Anatomie, Band IX. 1872). Was Spiegel und Blendungsvorrichtung nicht in vollem Umfange zu leisten vermögen, d. h. die mit möglichster Sicherheit und Leichtigkeit und innerhalb möglichst weiter Grenzen zu regelnde Abstufung der Beleuchtung nach Art und Maass, das wird mit den möglich einfachsten Mitteln und in der vortheilhaftesten Form mittelst des genannten Beleuchtungsapparates erreicht, welcher mittelst weniger Handgriffe die Verwendung von Beleuchtungskegeln verschiedenster Divergenz, von beliebiger innerhalb seiner Oeffnung möglicher Neigung und wechselnder Einfallsrichtung gestattet und ausserdem noch eine mehrseitige, in dem weiteren Verfolge zu besprechende Verwendbarkeit besitzt. Derselbe hat denn auch schon eine weite Verbreitung und vielfache Nachahmung gefunden und sollte für jedes grössere Stativ eine wesentliche Zugabe bilden. Ich selbst bediene mich dessen schon seit einer langen Reihe von Jahren, sowohl in seiner ursprünglichen, als in seiner neueren Form und habe ihn bei fast ununterbrochenem Gebrauche nach allen Richtungen von solcher Annehmlichkeit und so vortheilhafter Wirkung gefunden, dass er mir unentbehrlich geworden ist.

Der Apparat wird in seiner neuen Form aus einem, unterhalb des

Objecttisches in der aus Fig. 170 (Seite 272) ersichtlichen Weise einzusetzenden (also eventuell mit dem gewöhnlichen Doppelspiegel leicht zu wechselnden) Stücke gebildet und besteht aus Beleuchtungssystem, Blendenapparat und Doppelspiegel, Fig. 174 I bis II (a. f. S.).

Das für den gewöhnlichen wissenschaftlichen Gebrauch bestimmte Beleuchtungssystem *S* (es wird dem Träger *T* aufgeschraubt) besteht aus zwei unachromatischen Linsen in Form eines grossen Objectivsystemes mit dicker, mehr als halbkugelig planconvexer Vorderlinse. Die ebene, nach oben gewendete Fläche der letzteren kommt, sobald der Träger bis zum Anschlage eingeschoben wird, fast in die Tischebene zu liegen und es kann der kleine, zwischen ihr und dem Objectträger bleibende Zwischenraum durch einen Tropfen Wasser ausgefüllt werden, sobald es darauf ankommt, Lichtverluste möglichst zu vermeiden. Die Brennweite beträgt etwa 15 mm, der obere Brennpunkt befindet sich jedoch nur wenige Millimeter über der ebenen Fläche der Vorderlinse, so dass das betreffende Präparat nahe in denselben zu liegen kommt. Die numerische Apertur beträgt für den oberen Brennpunkt etwas über 1,15, oder etwa 120° Öffnungswinkel in Wasser. Ein in einer wässerigen Flüssigkeit oder in Canadabalsam liegendes Object wird demnach, wenn der Zwischenraum unter dem Objectträger mit Wasser angefüllt ist, von Lichtstrahlen getroffen, welche um nahezu 60° beziehentlich 49° gegen die optische Achse geneigt sind und demselben niemals aus einem Luftraum zugeführt werden könnten.

Ein zweites, für den Gebrauch von Objectivsystemen mit über 1,10 hinausgehender numerischer Apertur (homogene Immersion) bestimmtes, aber auch für die stärkeren Objectivsysteme überhaupt verwendbares Beleuchtungssystem *S*₁ ist aus drei Linsen zusammengesetzt. Dasselbe besitzt bei einer Brennweite von ungefähr 10 mm eine numerische Apertur von 1,4, so dass es noch Strahlen liefert, welche in Glas und damit auch bei den für die homogene Immersion getroffenen Veranstaltungen (Ausfüllung des Zwischenraums unter dem Objectträger mit der betreffenden Immersionsflüssigkeit, Einschluss der Objecte in Canadabalsam, Cassiaöl, Monobromnaphtalin etc.) in den Objecten selbst die optische Achse unter einem Winkel von 72° schneiden.

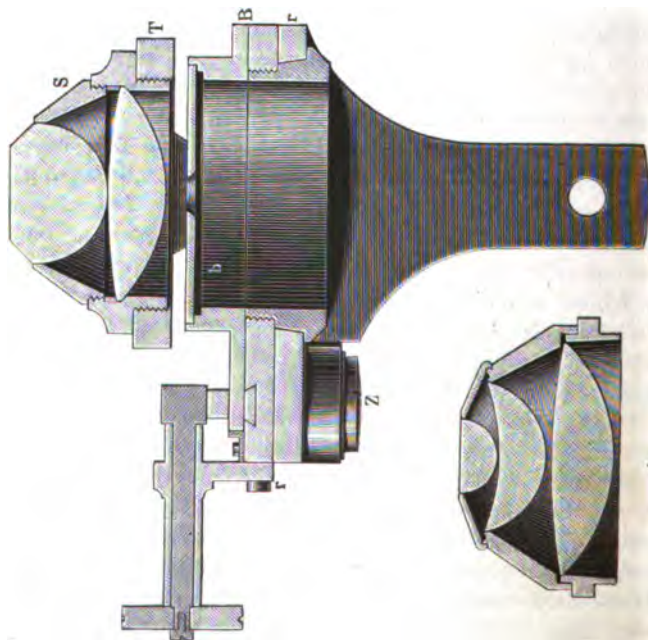
Der Doppelspiegel ist nur um einen festen Punkt in der Achse des Instrumentes allseitig beweglich.

Der Blendenapparat befindet sich zwischen Beleuchtungssystem und Spiegel und zwar nahe dem unteren Brennpunkte des ersteren, so dass sich die mittelst der verschiedenen Blenden aus der zugänglichen Lichtfläche ausgeschiedenen wirksamen Theile dem Objecte gegenüber verhalten wie sehr entfernte, aber entsprechend ausgedehnte leuchtende Flächen. Die Blenden bestehen aus einer Anzahl von Scheiben mit concentrischen Oeffnungen von 1 bis 12 mm Durchmesser. Um dieselben schnell und sicher wechseln zu können, ist der Blendenträger *r* in einem seitlichen Zapfen *s* drehbar und lässt sich so unter dem Objecttisch hervorbewegen und wieder in die richtige centrale Stellung zurückschlagen.

Fig. 174.

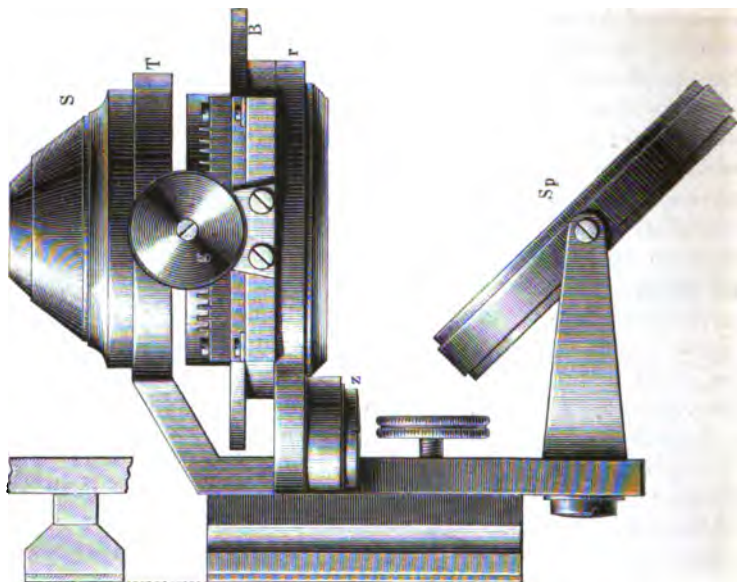
i.

(Durchschnitt).



II.

(Ansicht und Durchschnitt des Trägers).



Die Blendungsscheiben *b* werden jedoch nicht in diesen Träger unmittelbar, sondern in eine Scheibe *B* eingelegt, welche durch einen unter dem Tische hervortretenden, mit gerändertem Knopfe versehenen — zugleich zum Vor- und Zurückschlagen des Blendungsträgers dienenden — Griff *g* auf ihm dreh- und verschiebbar ist. Drehung dieses Griffes um die eigene Achse, verschiebt mittelst Zahn und Trieb, Scheibe und Blendung, deren centrische Stellung sich dem Finger durch Einspringen eines federnden Zahnes näher andeutet, in radialer Richtung und führt die centrale Beleuchtung in stetig wechselnde schiefe über, während die excentrisch gestellte Oeffnung im Umfange von etwa 120° um die Achse des Mikroskopes herumgeführt und damit das Azimut der Lichtstrahlung geändert werden kann, wenn jener als Hebel für eine horizontale Drehung benutzt wird.

2. Beleuchtungsvorrichtungen für auffallendes Licht.

Der Apparat für Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes bedarf, soweit es sich nicht um die Beobachtung positiver, also selbstleuchtender Bilder feinerer Structuren auf dunkeltem Grunde handelt, weder einer solchen Vollkommenheit wie derjenige für durchfallendes Licht, noch kann derselbe, wenn er nicht zu complicirt und — ausser Verhältniss mit seiner Leistungsfähigkeit — kostspielig werden soll, in einer solchen hergestellt werden. Bei schwächeren Vergrösserungen von 20- bis 100mal im Durchmesser bedarf man bei unseren heutigen lichtstarken Mikroskopen eigentlich noch gar keiner künstlichen Beleuchtungsmittel, sondern es genügt das gewöhnliche Tageslicht. Sollen aber undurchsichtige Gegenstände bei einer über 100fachen oder gar, was indessen nur höchst selten vorkommt, bei einer höheren Vergrösserung betrachtet werden, so bedarf es allerdings passender Apparate zu deren Beleuchtung.

Die Beleuchtungslinse für auffallendes Licht. Für Vergrösserungen zwischen 100- bis 200mal genügt vollkommen eine planconvexe Sammellinse, welche entweder, wie bei kleineren Instrumenten mittelst einer über die den Tubus tragende Hülse zu schiebenden Ringes oder dergl. an dem Mikroskope selbst oder, was vorzuziehen ist, auf einem eigenen schweren Fusse befestigt werden kann und dabei so eingerichtet sein muss, dass sie sich nach jeder Richtung wenden, unter jedem Winkel gegen die Achse des Mikroskopes neigen und in die für die intensivste Beleuchtung passende Entfernung von dem Objecte bringen lässt. Richtet man eine solche Linse, deren lichte Oeffnung nicht zu klein sein darf, sondern mindestens 50 bis 120 mm betragen muss, gegen den Himmel, stellt das Mikroskop hinreichend weit von dem Fenster entfernt auf, so dass ein möglichst kleines und helles Lichtbild auf den Gegenstand geworfen werden kann, und trägt man endlich dafür Sorge, dass das Gesichtsfeld

hinreichend verdunkelt ist, was am besten mittelst Unterlegen von matten, schwarzen und undurchsichtigen Objectträgern geschieht, so wird man durch dieselbe eine vollkommen ausreichende Beleuchtung erzielen.

Fig. 175.

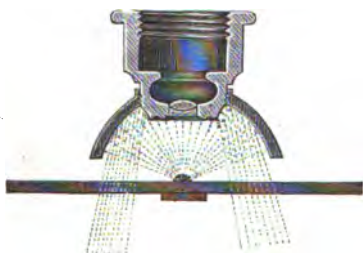


161

Lieberkühn'scher Spiegel. — Sollen zur Beobachtung opaker Gegenstände höhere, etwa 200- bis 300fache Vergrößerungen verwendet werden, bei denen durch das dem Gegenstande mehr genäherte Objectivsystem die von der Sammellinse kommenden Strahlen von dem Objecte abgeschnitten werden, so kann an die Stelle der Sammellinse der Lieberkühn'sche Spiegel, oder eine andere passende, aber einfache Vorrichtung treten. Der Lieberkühn'sche Spiegel besteht aus einem kleinen, in der Mitte durchbrochenen Spiegelchen aus möglichst vollkommen polirtem Stahl, oder Spiegelmetall von etwa 20 bis 25 mm Durchmesser, dessen

Krümmungshalbmesser so gewählt sein muss, dass sein Brennpunkt wenigstens nahezu mit dem Brennpunkte des in Gebrauch befindlichen Objectivsystemes zusammenfällt. Beim Gebrauche verschiedener Objectivsysteme muss daher auch zu jedem ein dafür eingerichteter Lieberkühn vorhanden sein. Man wird indessen einen solchen Wechsel mit den Objectivsystemen kaum nöthig haben, da man bei den schwächeren die Beleuchtungslinse verwenden und bei etwa gewünschter Steigerung der Vergrößerung sich

Fig. 176.



mit stärkerer Ocularvergrößerung helfen kann. Beim Gebrauche wird das Spiegelchen (Fig. 176), dessen centrale Oeffnung dem Objectivsysteme angepasst und so gross sein muss, dass die unterste Linse dieselbe gerade ausfüllt, mittelst seiner Fassung durch eine Schrauben- oder andere passende Vorrichtung unten an das Objectiv befestigt. Der durchsichtige Objectträger muss dann auf seiner

oberen oder unteren Seite ein rundes Scheibchen aus einer geschwärzten und undurchsichtigen Masse enthalten, welches einen demjenigen der vorderen Linse gleichen Durchmesser hat, zur Aufnahme des kleinen, seinen Durchmesser nicht überschreitenden Objectes dient und das von dem Beleuchtungsspiegel reflectirte Licht von dem Eintritt in das Objectiv abhält. Wird dann, nachdem man die grösste Oeffnung der drehbaren

Scheibe unter die Oeffnung des Objecttisches gerückt, oder bei beweglichen Blendungen den ganzen Blendungsapparat entfernt und das dunkle Scheibchen des Objectträgers genau in die Achse des Mikroskopes gebracht hat, der Spiegel nach dem Himmel gerichtet, so gelangt sein Licht an der geschwärzten Scheibe des Objectträgers vorbei auf das sphärische Metallspiegelchen und wird von diesem aus allseitig auf das Object geworfen. Die Beleuchtung durch den Lieberkühn'schen Spiegel passt indessen nicht für jeden opaken Gegenstand. Abgesehen davon, dass dieser letztere nämlich nur von einer beschränkten Grösse sein darf, ist auch die mittelst dieses Beleuchtungsapparates erzielte Vertheilung von Licht und Schatten eine solche, dass sie nicht für alle Strukturverhältnisse der Oberfläche die nöthige Klarheit und Schärfe gewährt. Näher hierauf einzugehen werden wir im vierten Buche Gelegenheit haben.

Vorrichtung zur Erzeugung positiver Bilder auf dunklem 162
Grunde. Positive Bilder können unter gewissen, an dem entsprechenden Orte näher zu besprechenden Umständen einen entschiedenen Werth haben und sollte demgemäss das Mikroskop auch die erforderlichen Mittel bieten, um die zu deren Darstellung geeignete Lichtstrahlung herzustellen. Für schwache Objectivsysteme mit kleinem Oeffnungswinkel ist dieselbe mittelst Schiefstellung des Spiegels einigermaassen, aber immerhin in unvollkommener Weise herstellbar. Für stärkere Vergrösserungen ist diese Veranstaltung natürlich ganz und gar unbrauchbar und dies um so mehr, als, wie gesagt, schon bei schwächeren die Bilder an bedeutenden Mängeln leiden. Scharfe Bilder bei fast vollständig verdunkeltem Gesichtsfelde lassen sich dagegen bei schwachen wie bei stärkeren Vergrösserungen — es können diese bei hellem Tageslichte recht gut bis auf circa 500- und 600fache steigen — mittelst des Abbe'schen Beleuchtungsapparates erzielen. Der betreffende Beleuchtungseffect tritt nämlich für Objectivsysteme, deren numerische Apertur nicht merklich über 0,35 (etwa 40° Oeffnungswinkel) hinausgeht, sofort in Thätigkeit, wenn statt der gewöhnlichen Blende ein schmaler Ring eingelegt wird, der mittelst dünner Speichen eine mittelpunktständige Scheibe von etwa 12 mm Durchmesser trägt, welche den mittleren Theil des Beleuchtungskegels unwirksam macht. Sollen Objectivsysteme von grösserer numerischer Apertur verwendet werden, so muss, um das Sehfeld dunkel zu erhalten, die Randzone ihrer Oeffnung durch passende, über der hinteren Linse des ersteren aufgeschraubte Blendungen (Zeiss giebt solche bei) in entsprechendem Maasse beschränkt werden.

Wo der grössere Beleuchtungsapparat fehlt, kann man den gleichen Zweck durch eine mit dem Cylinderblendenapparat zu verbindende fast halbkugelige Linse erreichen, deren Mitte mit einer entsprechenden Scheibe bedeckt wird.

Drittes Capitel.

D a s S t a t i v.

163 Obwohl der Bau des Statives an Bedeutung hinter dem optischen Apparate zurücksteht, ist derselbe doch immerhin von nicht unerheblichem Einfluss auf die Gebrauchsfähigkeit eines Instrumentes, und es verdient derselbe in seinen verschiedenen Theilen eine eingehende Betrachtung. Dabei kann allerdings nur der allgemeine Standpunkt eingehalten und nicht auf besondere Fälle des Gebrauches Rücksicht genommen werden, welche eine oder die andere Abweichung in dem Baue des ganzen Statives oder einzelner Theile desselben bedingen.

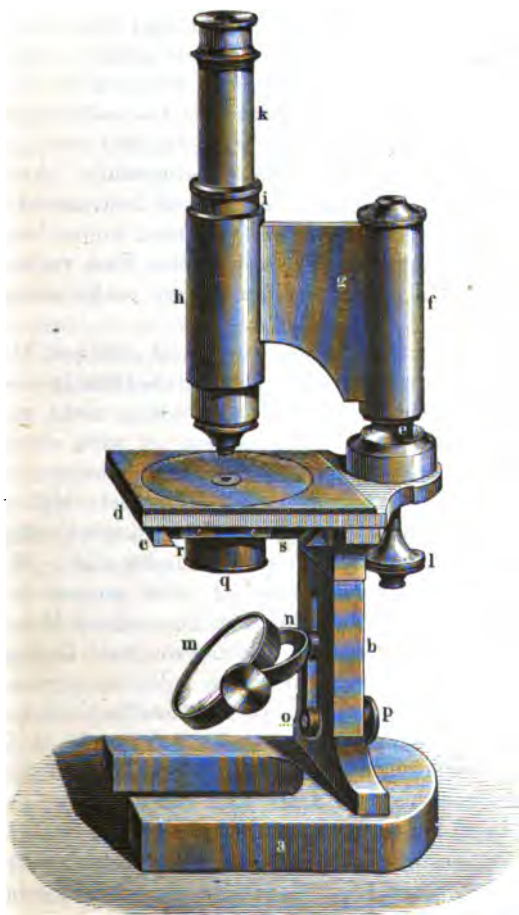
Fassen wir, unter dieser Voraussetzung der Tüchtigkeit zu möglichst allgemeinem und unbeschränktem Gebrauche bei mikroskopischen Untersuchungen in Thier- und Pflanzenanatomie, die Bestimmung des Statives ins Auge, so besteht dieselbe wesentlich in Folgendem. Es hat zunächst den optischen Apparat aufzunehmen und demselben eine, bei voller Unverrückbarkeit aus der Achse des ganzen Instrumentes, in vollem Umfange bis zum feinsten Grade zu modificirende Beweglichkeit zu ertheilen. Dann hat es den für die Beobachtung hergerichteten Gegenständen eine passende, genügend feste und für die verschiedenen etwa nothwendigen Manipulationen hinreichend Raum gewährende Unterlage zu bieten. Dem ersteren Zwecke dienen der Tubus sowie die Vorrichtungen zur Einstellung und zur Anbringung des Beleuchtungsapparates, dem letzteren der Objecttisch. Als Träger des Ganzen kommen dann noch Fuss und Säule hinzu.

Den an den Bau des Statives zu stellenden Anforderungen hat man von verschiedenen Seiten in verschiedener Weise und zwar einerseits durch einfachere, andererseits durch verwickeltere Einrichtung gerecht zu werden versucht. So entstanden zwei wesentlich von einander abweichende Grundformen: das zur Zeit von den deutschen und französischen Werkstätten allgemein angenommene niedere, einfach gebaute, handliche „con-

tinentalen“ und das in England und Amerika vorwiegend gebräuchliche, meist mit höchst mannichfaltigen Bewegungen u. dgl. versehene, hochkörperige, für den täglichen wissenschaftlichen Gebrauch nicht gerade bequeme „englische“ Stativ. Das letztere werden wir weiter unten kennen lernen, während das Musterstativ für die seit etwa 40 Jahren hergestellten continentalen Formen, das ältere grosse Hufeisenstativ von Oberhäuser (Fig. 177) (gegen Mitte der vierziger Jahre zuerst gebaut) als Ausgangspunkt für unsere Betrachtungen schon hier einen Platz finden soll.

Fuss und Säule. — Was zunächst den ersteren betrifft, so ist 164 erste und unerlässliche Bedingung, dass derselbe dem Mikroskope eine hinreichend breite Grundfläche biete, und so schwer sei, dass der

Fig. 177.



Schwerpunkt des ganzen Instrumentes nicht allein hinreichend unterstützt, sondern auch zugleich möglichst tief nach unten gerückt wird, um dasselbe vor jedem zufälligen Umfallen genügend zu schützen. Dieses Ziel kann mittelst verschiedener Constructionen erreicht werden, die alle mehr oder minder ihrem Zwecke entsprechen. Zunächst kann der Fuss, wie bei den im Vorausgehenden beschriebenen einfachen Mikroskopen, von dem Kasten gebildet werden, so dass das Stativ auf demselben festgeschraubt wird oder er erscheint fest mit dem Stativ verbunden.

Die erstere Ausführungsweise ist namentlich bei kleineren, sogenannten Reise- oder Taschenmikroskopen anwendbar, da dieselben dadurch bedeutend an Compendiosität gewin-

nen. Allein dann darf, wenn später zu besprechende Vortheile beim Gebrauche nicht verloren gehen sollen, erstlich das Mikroskop selbst nicht sehr hoch sein und zweitens muss der Kasten sich nicht von oben, sondern von der Seite öffnen, damit man ohne Störung Oculare und Objective wechseln kann.

Der fest mit dem Stative verbundene Fuss *a* (Fig. 177) kommt dagegen bei dem eigentlichen Arbeitsmikroskope in Anwendung und kann in verschiedener Gestalt ausgeführt werden. Die früher fast allgemein gebräuchliche Form des Fusses, wo derselbe aus drei Armen besteht, die zum Zusammenlegen eingerichtet sind, ist jetzt ziemlich selten geworden. Zwar ist dieselbe, abgesehen von ihrer immer nicht sehr bedeutenden Festigkeit, nicht gerade unbedingt zu verwerfen, namentlich wenn die Gelenke sehr genau gearbeitet sind, und dafür Sorge getragen ist, dass die Höhe der Arme deren Breite übertrifft, so dass jedes Schlottern und Federn vermieden wird. Doch bringt das immer sich wiederholende Auseinanderschlagen und Zusammenlegen einige Unbequemlichkeit mit sich und leiden dadurch nach und nach die Gelenke immer etwas, so dass man bei längerem Gebrauche den vollkommen festen Stand einigermaassen vermissen wird, es sei denn, dass man das Mikroskop beständig unter Glaskasten oder Glocke aufbewahre. Auch lässt sich diese Form des Fusses nicht gut bei solchen Instrumenten anwenden, welche mit drehbarem Objecttische versehen sind, und müsste selbstverständlich ganz wegfallen, wo die Drehung in den Fuss verlegt ist, wie bei den Instrumenten von Nobert, den älteren (siehe weiter unten) von Plössl und einigen anderen Stativen.

Am zweckmässigsten finde ich den festen, aus einem einzigen Metallstück gearbeiteten Fuss, mag derselbe rund oder hufeisenförmig sein oder sonst eine Form besitzen. Derselbe bietet dem Stative nicht nur eine hinreichend grosse Unterstützungsfläche, sondern es wird durch sein ansehnliches Gewicht auch der Schwerpunkt des ganzen Instrumentes ziemlich tief nach unten verlegt, was selbst den kleineren Mikroskopen mit einem Fusse von geringeren Dimensionen hinreichende Festigkeit verleiht, so dass kaum irgend ein Unfall zu befürchten ist. Wo der Spiegel in senkrechter Richtung verschiebbar ist, oder wo man bei fester, tieferer, zwischen Fuss und Tischfläche noch hinreichend Raum für Beleuchtungsapparate u. dgl. gewährender Stellung die freie Beweglichkeit desselben möglichst wenig beschränkt wissen will, da verdient die jetzt fast allgemein übliche Hufeisenform den Vorzug vor allen anderen.

Mit dem Fusse steht unmittelbar der untere Theil *b* der Säule in Verbindung, welcher den Beleuchtungsapparat, den Objecttisch und den eigentlichen Körper, d. h. den oberen Theil *f* der Säule mit der an einem Querstück *g* befestigten Röhre *h* zur Aufnahme der Objective und Oculare trägt und an welchem auch meistens die Mittel zur Einstellung, d. h. zur senkrechten Bewegung der Röhre gegen das Object angebracht sind. Hier nun sind sowohl so viele ihrem Zwecke fast gleich gut entspre-

chende Modificationen möglich und ausgeführt, dass wir uns ein weiteres Eingehen auf dieselben bis dahin ersparen müssen, wo von den Mikroskopen aus den verschiedenen optischen Werkstätten die Rede sein wird.

Der Objecttisch. — Der Objecttisch *d* (Fig. 177) ist einer der 165 wichtigsten Theile des Statives, von dem namentlich die Bequemlichkeit bei der Benutzung des Instrumentes sehr abhängt. Es ist daher nothwendig, dass ihm bei dem Baue eines Mikroskopes die nöthige Aufmerksamkeit zugewendet wird. Vor Allem ist darauf zu sehen, dass der Objecttisch sich in einer Höhe über dem Arbeitstische befinde und eine Grösse erhalte, die es gestattet, alle während der Dauer einer Beobachtung nothwendigen Manipulationen mit Sicherheit und Bequemlichkeit auf ihm ausführen zu können und sich weder in der Grösse der Objectträger, noch in deren Bewegung nach allen Seiten hin im mindesten beschränken zu müssen. An vielen älteren und auch an manchen der kleinen neueren Instrumente ist derselbe offenbar zu klein oder doch zu schmal. Am zweckmässigsten ist wohl ein Durchmesser von 70 bis 100 mm nach Länge und Breite und darf man auch selbst bei den kleineren Instrumenten, ohne in der Anwendung grösserer Glasplatten zu sehr beschränkt zu werden, nicht gut unter ein Maass von 60 bis 70 mm herabgehen. Was seine Form anbelangt, so ist dieselbe im Ganzen ziemlich gleichgültig, doch möchte im Allgemeinen die quadratische oder runde der rechteckigen vorzuziehen sein, weil eben diese Formen den grössten benutzbaren Raum gewähren.

Die Oberfläche des Objecttisches soll so beschaffen sein, dass von ihr aus möglichst wenig fremdes Licht nach dem Auge, oder beim Gebrauche schwächerer Objectivsysteme in das Mikroskop reflectirt wird. Da derselbe fast immer aus Messing angefertigt wird, so muss dieses entweder matt geschliffen oder geschwärzt sein, oder in den Tisch selbst, wie dies in neuerer Zeit von Hartnack und Anderen geschieht, eine matt geschliffene und geschwärzte dicke Glastafel eingesetzt oder demselben, wie bei Leitz u. A., eine Hartgummiplatte aufgeschraubt werden. In letzterem Falle hat man dann auch noch den Vortheil, dass der Objecttisch nicht so leicht irgend welchen Beschädigungen durch die Reagentien ausgesetzt ist, mit denen der Mikroskopiker ja immer umzugehen hat. Feststehende Federklammern und dergleichen Vorrichtungen sollten auf der Oberfläche des Tisches jedenfalls nicht angebracht sein. Man wird durch diese Beigaben nur in der Freiheit der Bewegung des Objectes gehindert, ohne dass man ihrer bei der senkrechten Stellung des Mikroskopes jemals bedürfte, ausgenommen etwa solche Fälle, wo man den Objectträger bei Messungen, Zählungen oder Demonstration möglichst zu fixiren wünscht. Zu diesem Zwecke sind dann aber am besten ein paar aus geeignetem Metalle hergestellte, genügend starke, bewegliche Federklammern zu verwenden, welche in passend angebrachte Löcher

eingesteckt und nach dem Gebrauche wieder entfernt werden können. Bei geneigter oder horizontaler Stellung des Mikroskopes, die indessen nur als Ausnahmefall vorkommen dürfte, sind derartige Apparate allerdings unbedingt nothwendig, müssen aber auch ihre Entfernung gestatten.

Die Oeffnung zum Durchlassen des von dem Spiegel zurückgeworfenen Lichtes ist für gerade Beleuchtung hinreichend weit, wenn ihr Durchmesser wenig grösser ist, als derjenige des Sehfeldes bei der schwächsten Vergrösserung und etwa 12 bis 15 mm misst. Für schiefe Beleuchtung dagegen sowie bei Anwendung des Lieberkühn'schen Spiegels zur Beleuchtung undurchsichtiger Gegenstände ist eine etwas weitere Oeffnung von etwa 25 bis 30 mm sehr erwünscht. In diesem Falle sind wieder die beweglichen Blendungen von unbedingtem Vortheile, indem man den Blendungsapparat ganz entfernen kann und dann eine hinreichend weite Oeffnung erhält. Bei der drehbaren Blendungsscheibe ist dagegen die weite Oeffnung des Tisches wegen der Zwischenräume zwischen den Oeffnungen immer mit einiger Unbequemlichkeit verbunden und muss für eine passende Einlage Sorge getragen werden, um erstere in dem nöthigen Maasse verringern zu können.

Zu den Haupterfordernissen eines zweckentsprechenden Object-tisches gehört möglichste Festigkeit und Freiheit von Federung. Man muss daher vermeiden, demselben eine zu grosse Beweglichkeit zu erteilen. Was dessen Beweglichkeit in verschiedenen Richtungen der Horizontalebenen betrifft, welche bei sorgfältiger Ausführung, wie sie die neueren englischen und amerikanischen Stative zeigen, den Preis unverhältnissmässig erhöht und zu deren Ausführung der Tisch mit Schrauben- oder Hebelvorrichtungen überladen wird, so ist dieselbe für den Mikroskopiker von Fach für die meisten Untersuchungen nicht allein entbehrlich, sondern hinderlich, weil alle diese Vorrichtungen einestheils durch die vorstehenden Schraubenknöpfe das Arbeiten behindern, anderentheils Zeit und Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, welche mit viel mehr Nutzen auf die Beobachtung verwendet würden. In dieser Beziehung kann man nicht zu oft die sehr treffenden Worte Hugo v. Mohl's (Mikrographie Seite 89) wiederholen: „Wer nicht die manuelle Geschicklichkeit hat, um mit einem einfach gebauten Mikroskop zu beobachten, wer für jede Bewegung, anstatt seinen Finger zu gebrauchen, eine Schraube nothwendig hat, der ist ohnehin zum mikroskopischen Beobachter untauglich, denn er wird vergeblich ein brauchbares Präparat zu verfertigen sich bemühen.“ Damit soll indessen nicht gesagt werden, dass die horizontale Bewegung nicht für gewisse Beobachtungen wünschenswerth oder gar nothwendig sei. Es giebt ja Fälle genug, für welche dieses der Fall ist, wie bei Messungen, beim Durchsuchen von Präparaten, welche aus vielen kleinen Objecten bestehen, und bei denen es gilt, keines der letzteren zu übersehen etc. Dann aber lege man die Horizontalverschiebung nicht in den Tisch des Mikroskopes selbst, sondern bediene sich eines der abnehmbaren, so-

genannten beweglichen Objecttisches, wie dieselben von mehreren optischen Werkstätten angefertigt und in einem der folgenden Abschnitte beschrieben werden.

Nur eine Bewegung, in horizontaler Ebene, scheint mir nicht allein wünschenswerth, sondern für manche Fälle ganz unentbehrlich. Dies ist die Drehung des Tisches um die optische Achse. Sie ist, wenn man bei schiefer Beleuchtung Licht von allen Seiten her auf das Object fallen lassen will, nicht allein sehr bequem, sondern kaum zu ersetzen, und deshalb auch fast von allen Optikern mindestens an ihren grösseren Instrumenten angebracht. Aber auch für die Beobachtung bei gerader Beleuchtung bietet diese Bewegung solche Vortheile und Annehmlichkeiten, dass sie jedem Instrumente einen Vorzug vor einem anderen sichert, dem sie fehlt. Kann man auch nöthigenfalls die gewünschte Drehung mit der freien Hand ausführen, so bleibt sie doch ohne besondere Uebung immer höchst mangelhaft. Erstlich veranlasst sie mancherlei Zeitverlust, indem dabei, namentlich bei stärkeren Vergrösserungen, das Object fortwährend aus dem Gesichtsfelde verschwindet und immer wieder aufs Neue zurechtgerückt werden muss. Dann aber wirkt sie, was besonders hervorzuheben ist, bei der Beobachtung durch dieses fortwährende aus dem Gesicht Verlieren des Objectes höchst störend, während man bei drehbarem Tische den Gegenstand von allen Seiten der schiefen Beleuchtung aussetzen und deren gradweise Einwirkung verfolgen kann, ohne das Auge auch nur einen Augenblick vom Mikroskope entfernen zu müssen. An den noch von manchen Seiten praktisch befolgten Ausführungsweisen der Tischdrehung ist namentlich Zweierlei zu tadeln. Erstens erfordert dieselbe während der Umdrehung ein Festhalten des Fusses mit der zweiten Hand, so dass keine für die Einstellschraube frei bleibt. Dadurch muss aber die genaue Beobachtung und Durchforschung des zu untersuchenden Gegenstandes, wenn auch nur auf kurze Zeit, unterbrochen werden, indem während der Drehung bekanntlich die feine Einstellung fortwährend etwas geändert werden muss. Zweitens geht durch die Art und Weise ihrer Verbindung mit den übrigen Theilen des Mikroskopes ein mehr oder minder grosser Theil der Umdrehung, oder bei sehr schiefer Spregelstellung eine gewisse Menge von Licht verloren. So wird z. B. bei unter der Säule liegendem Schraubenkopf der feinen die weitere Drehung durch das Anstossen an den schief stehenden Spiegel gehindert, durch zwischentretende Stativtheile das Licht vom Spiegel zum Theil abgeschnitten und das Gesichtsfeld verdunkelt, oder es gestattet die Dicke der beiden Platten nur eine beschränkte Neigung des Beleuchtungskegels, wenn das Licht noch nach dem Objecte gelangen soll. Letzterem Uebelstande hat Zeiss durch die Aushöhlung der unteren und starke Verdünnung der oberen Platte in der Nähe der Tischöffnung abgeholfen, ohne die Stabilität im Geringsten zu beeinträchtigen. Die anderen lassen sich, wo sie noch vorhanden sind, ohne grosse Schwierigkeit heben und sollte dies nicht versäumt

werden. Einfacher und billiger herzustellen, als die gedachte Einrichtung wäre die von Welker (Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte etc. 1856) empfohlene Objectdrehscheibe (Fig. 178), wenn sich

Fig. 178.



dieselbe in ihrer einfachen Form so genau herstellen liesse, dass sie während der Umdrehung genau centriert bliebe. Dies ist aber, wie ich mich an älteren Instrumenten von Belthle wie an einem neueren kleinen Stative

von Plössl überzeugt habe, nicht in dem erforderlichen Grade zu erreichen, ohne dass besondere Vorrichtungen zum Centriren angebracht werden, wie sie bei den später zu beschreibenden Drehscheiben für Winkelmessung etc. verwendet werden.

Gegen die Beweglichkeit des Objecttisches in senkrechter Richtung, um dadurch die Einstellung des Objects zu bewirken, glaube ich mich ohne allen Vorbehalt aussprechen zu müssen. Der einzige Umstand, der zu Gunsten der senkrechten Bewegung des Tisches geltend gemacht werden kann, dass das Ocular dabei immer in gleicher Höhe über dem Arbeitstische stehe und so dem Beobachter bezüglich der Haltung des Kopfes einige Bequemlichkeit gewähre, ist kaum beachtenswerth, da der Unterschied in der Erhebung oder Senkung des Oculares über die Tischoberfläche für die Körperstellung kaum merklich ist. Ich habe häufig mit Instrumenten beiderlei Art gearbeitet und konnte in dieser Beziehung demjenigen mit beweglichem Objecttische nie einen Vorzug abgewinnen. Der von Härtling noch ausserdem angeführte Grund fällt meiner Ansicht nach ganz ausser Gewicht, da wohl kaum ein Mikroskopiker der Zeichnung oder Messung wegen sein Arbeitsmikroskop zu einem tragbaren Sonnenmikroskop umzuwandeln in Versuchung kommt. Es giebt Zeichen- und Messapparate genug, die alles leisten, was man in dieser Beziehung verlangen kann. Selbst bei den kleineren Instrumenten sollte man diese Bewegung, wenn es irgend angeht, vermeiden. Denn entweder erreicht man dadurch bei möglichster Stabilität des Objecttisches die feine Einstellung, welche hauptsächlich noch hier und da in dieser Weise angebracht wird, für stärkere Objectivsysteme nur unvollkommen, oder es bleibt dem Tische, wenn man die Einstellung möglichst vollkommen zu erreichen sucht, immer ein gewisses Federn, was bei dem geringsten Drucke der Hand höchst unangenehm wird. Endlich ändert sich bei beweglichem Objecttische mit jedem Wechsel der Einstellung die Beleuchtung, was zwar für geringere Vergrösserungen weniger in Betracht kommt, bei der Anwendung starker Objectivsysteme dagegen und bei sehr schwierigen Objecten nicht ohne Nachtheil ist. Es ist daher dankend anzuerkennen, dass unsere Optiker auch in dieser Beziehung den Anforderungen der Mikroskopiker gerecht geworden sind und nicht nur bei ihren grösseren Instrumenten, sondern auch bei den mittleren und kleinen — mit Ausnahme der für uns hier nicht in Be-

tracht kommenden, sogenannten kleinsten — die feine Einstellung an der Säule angebracht haben.

Mikroskopröhre. — Die Mikroskopröhre, dazu bestimmt, die 166 Haupttheile des optischen Apparates, Objectivsystem und Ocular aufzunehmen, erhält durch diese Bestimmung ihre Construction ziemlich genau vorgezeichnet. Da es, wie bereits bei Besprechung der allgemeinen Grundsätze gezeigt wurde, in Bezug auf die Grösse sowohl als auch auf die sonstigen Eigenschaften des mikroskopischen Bildes durchaus nicht gleichgültig ist, in welcher Entfernung sich bei bestimmten Constructionsformen Objectiv und Ocular von einander befinden, so wird hierdurch schon eine Grenze gezogen, über die man bei der Länge der Röhre weder hinaus- noch hinabgehen darf, wenn man möglichst vollkommene Bilder erhalten will. Bei einer sehr kurzen Röhre müsste dem Ocular ein weit bedeutenderer Theil der Vergrösserung überlassen bleiben, als bei einer längeren. Da es aber, wie oben schon dargethan, immer am vortheilhaftesten ist, den Hauptfactor der Vergrösserung in das Objectivsystem zu verlegen, so ist im Allgemeinen und soweit es andere Rücksichten gestatten, eine gewisse Entfernung zwischen letzterem und dem Oculare, also eine nicht zu kurze Röhre vorzuziehen. Gegen ein nicht in passenden Grenzen des Längenausmaasses gehaltenes Rohr spricht namentlich auch der Umstand, dass, nachdem bei einem bestimmten Constructionstypus der Objectivsysteme ein gewisses Maass der Verkürzung oder Verlängerung überschritten ist, sich die Erscheinungen der beiden Abweichungen in um so höherem Grad geltend machen, je stärker die Annäherung oder Entfernung zwischen Objectiv und Ocular ausfällt. In optischer Beziehung unterliegt die Rohrlänge nur nach unten hin einer Beschränkung, indem dieselbe nicht unter das 10- bis 12fache der in Anwendung kommenden Linsenöffnung verkürzt werden darf. Einer beliebigen und bedeutenden Länge des Rohres dagegen steht der gewichtige Umstand entgegen, dass es für den täglich mit dem Mikroskope umgehenden Beobachter ganz und gar nicht gleichgültig ist, ob derselbe die bei der Beobachtung vorkommenden Arbeiten mit Bequemlichkeit vornehmen kann oder ob er die Körperstellung öfter ändern muss. Da es nun zum Zwecke bequemerer Handhabung der sonstigen bei mikroskopischen Untersuchungen in Betracht kommenden Utensilien erwünscht ist, an einem Tische von gewöhnlicher Höhe zu arbeiten, so darf das Mikroskop nicht zu weit über die Fläche des letzteren emporragen. Eine Höhe von etwa 300 bis 360 mm, wie sie die continentalen Mikroskope bei ausgezogenem Rohre besitzen, ist in dieser Beziehung ganz entsprechend und bedingt eine Rohrlänge von 150 bis 180 mm. Bei Mikroskopen von so kolossaler Höhe, wie die grossen englischen und amerikanischen, welche bei Rohrlängen von 250 bis 300 mm etwa 420 bis 450 mm über den Tisch emporstehen und zum Sitzen der Beobachter einen niedrigen Tisch für die Aufstellung des Mikroskopes nöthig machen, ist eine zweckdienliche

Handhabung der Beobachtungsgegenstände gar nicht oder nur mit Hilfe von besonderen erhöhenden und mehr oder weniger hindernden Auf-sätzen möglich.

Zur Abhaltung solcher Lichtstrahlen, welche von dem Objectivsysteme aus in schiefer Richtung auf die innere Röhrenwand gelangen, von da aus in das Ocular reflectirt werden und dadurch das mikroskopische Bild benachtheiligen könnten, ist es unumgänglich nothwendig, dass sowohl an dem unteren Theile als auch in der Mitte des Rohres passende Blendungen angebracht werden. Hierbei ist vor Allem darauf zu sehen, dass dieselben enge genug sind, um die falschen Lichtstrahlen abzuschneiden, dagegen nicht das unmittelbar ins Ocular gelangende Lichtbündel beschränken. Eine Schwärzung des Inneren der Röhre ist bei gehörigen Blendungen gerade nicht unbedingt nothwendig, erscheint indessen doch, namentlich für den unteren Theil bis zur mittleren Blendung, zweckmässig.

Ein Umstand, der von vielen Seiten kaum beachtet wird und auf welchen zuerst von Harting in genügender Weise aufmerksam gemacht wurde, erscheint bei der Construction der Mikroskopröhre nicht ohne Gewicht und dürfte wohl zu allgemeinerer Nachahmung zu empfehlen sein. Es ist dies die Zusammensetzung der Röhre aus zwei ineinander verschiebbaren — nicht abschraubbaren — Stücken k und i (Fig. 177), von denen das innere eine Millimetertheilung eingeschnitten haben soll. Zur Vornahme einer Anzahl von allgemein mikrographischen Operationen, auf welche wir weiter unten zurückkommen werden, wie zur Bestimmung der Brennweite, der numerischen Apertur etc. ist diese Einrichtung ganz und gar unentbehrlich. Man ist aber auch dadurch, dass der Abstand zwischen Objectivsystem und Ocular in gewissen Grenzen beliebig geändert werden kann, im Stande, manche Vortheile zu erreichen, auf welche man bei einer massiven Röhre verzichten muss. Als die praktisch wichtigsten sind folgende hervorzuheben.

Erstlich hat man es auf diese Weise innerhalb der zulässigen Rohrlänge in der Hand, die Vergrößerungen einzelner Combinationen von Objectivsystemen und Ocularen auf bestimmte runde Zahlen zu bringen, welche man häufig bei mikrometrischen Messungen gebraucht. So ist es z. B. vorzuziehen, wenn man bei der später zu besprechenden Messungsmethode, wobei die Bildgrösse durch die Vergrößerungszahl getheilt wird, den vergrößerten Durchmesser eines Gegenstandes statt durch 47 oder 53, durch 50, statt durch 187 oder 209, durch 200 dividiren kann. Um nun die einmal gefundene Stellung des verschiebbaren Röhrentheils, bei welcher die Vergrößerung des Mikroskopes für ein bestimmtes Objectiv und Ocular einer der obigen Zahlen entspricht, ein- für allemal festzuhalten, ist es zweckmässig, wie von Harting empfohlen, eine Tabelle anzufertigen, in welcher, nach vorheriger genauer Bestimmung, die einander entsprechenden Zahlen der auf dem verschieb-

baren Rohrtheile befindlichen Theilung und der Vergrößerungen eingeschrieben werden.

Zweitens bietet die Verschiebbarkeit der Röhre ein Mittel, um den Einfluss verschieden dicker Deckgläschen auf das Hervortreten der Abweichungserscheinungen mindestens bis zu gewissem Grade zu beseitigen.

Endlich ist dieselbe für alle Fälle vortheilhaft, in denen man Objectivsysteme für homogene Immersion gebraucht, oder solche aus verschiedenen optischen Werkstätten und von verschiedenem Constructions-typus an seinem Mikroskope benutzen will. Man hat dann in dem Auszuge ein Mittel an der Hand, um das Rohr auf die Länge, und die Entfernung zwischen Objectivsystem und Ocular auf das Maass zu bringen, welches die ersteren Systeme bei Anwendung dem Crownlase an Brechungsvermögen nicht ganz gleicher Immersionsflüssigkeiten, wie von der geeigneten Dicke merklich abweichender Deckgläser erfordern, oder für welche die letzteren justirt sind, bei welchem also der günstigste Correctionszustand herrscht und eine solche Combination den möglichst hohen Grad ihrer Wirkungsfähigkeit entfalten kann.

Auch in Bezug auf die Compendiosität und Transportabilität des Mikroskopes bietet diese Einrichtung grosse Annehmlichkeiten dar, indem der Kasten meistens gut auf drei Viertel seiner sonst erforderlichen Länge verkürzt werden kann.

Einstellungsvorrichtungen. — Gehen wir zu den Mitteln für die 167
Einstellung der Objectivsysteme auf eine bestimmte Ebene über, so bleibt hierfür, da oben als Grundsatz festgestellt wurde, dass der Object-tisch feststehend sein solle, nur die Bewegung des Mikroskopkörpers, d. h. des Rohres übrig. Es fragt sich daher nur, in welchem Grade dieselbe ermöglicht sein muss und in welcher Weise sie ausgeführt werden soll. In ersterer Beziehung möchte wohl als allgemein gültig der Grundsatz aufzustellen sein, dass ein Mikroskop, welches zu der Mehrzahl der wissenschaftlichen Untersuchungen brauchbar sein soll, ausser einer schnell und in weiterem Umfange ausführbaren senkrechten Bewegung auch eine solche im feinsten Grade gestatten, also eine doppelte, sogenannte grobe und feine Einstellung haben muss.

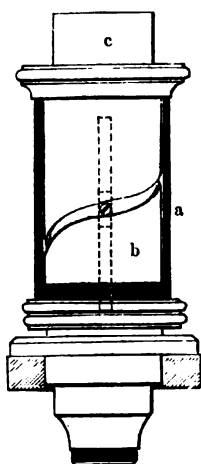
Die einfachste Art der groben Einstellung besteht in der von den deut- 168
schen und französischen Optikern bei mittleren und kleinen Instrumenten fast allgemein angewendeten Verschiebbarkeit der Mikroskopröhre *i* in einer federnden Hülse *h* (Fig. 177) mittelst freier Hand. Ist genau gearbeitet und gleiten ausserdem Flächen zweier verschiedener und geeigneter Metalle, etwa das in neuerer Zeit in Aufnahme gekommene Hartnickel und Messing aufeinander, so dass sich die Röhre in der hinreichend langen Hülse sanft, mit dem nöthigen Halt und doch ohne zu grosse Reibung verschieben lässt, so genügt dieselbe für die schwächeren Systeme vollständig und kann selbst bei mittleren Systemen und bei gehöriger

Uebung noch zur feinen Einstellung benutzt werden. Da sie ausserdem von den gleich zu besprechenden noch oft genug hervortretenden Fehlern, welche der Einstellung durch Zahn und Trieb anhaften, frei ist, so möchte sie dieser wenigstens für die eben genannten Gattungen der Mikroskope vorzuziehen sein. Von den von H. v. Mohl angeführten Nachtheilen, dass sich nämlich bei langem Gebrauche die Röhre durch anhängenden Schmutz zu schwer, oder nach dessen Entfernung in Folge der Abnutzung des Messings zu leicht verschieben lasse, ist mir bei meinen Instrumenten keiner in fühlbarem Grade bemerklich geworden.

Im Wesentlichen gleicher Art, wie die beschriebene einfachere, sind die in neuerer Zeit von Schmidt und Haensch, Plössl, und Winkel angenommenen Vorrichtungen zur groben Einstellung, bei denen die Drehung des Tubus um die optische Achse vermieden, folglich eine feste Stellung desselben vollständig gewahrt ist.

Bei der namentlich für mittlere und kleinere Stative eine weitere Verbreitung verdienenden groben Einstellung der erstgenannten Optiker (Fig. 179) befindet sich der fest mit dem Querarm der Säule verbundenen Hülse eine zweite, durch crenelirten Ring drehbare, bei den mittleren Stativen durch einen äusseren Mantel *a* verdeckte Hülse *b* umgelegt, in welcher ein schraubenförmig gewundener breiter Spalt einge-

Fig. 179.



schnitten ist. In diesem läuft ein mit dem Rohre *c* fest verbundener Stahlzapfen, welcher zugleich in einem aus der festen Hülse ausgefraisten, senkrechten Spalte eine der optischen Achse gleichgerichtete Führung erhält, so dass sich das erstere nicht drehen kann. Bewegt man den crenelirten Ring vor- oder rückwärts, so senkt oder hebt sich das Rohr in genau axialer Richtung und — wie ich mich überzeugt habe — in so stetigem und äusserst sanftem Gange, dass man für schwächere und mittlere Objectivsysteme die Einstellung ohne Benutzung der Mikrometerschraube ausführen kann.

Die Plössl'sche höchst einfache Hebelvorrichtung (siehe die Abbildung des grossen Plössl'schen Statives!) zeichnet sich durch sanften und sicheren Gang aus und eignet sich auch für grössere Stative. Die beiden, etwa 48 mm im Durchmesser haltenden, an einer Stahlaxe drehbaren Schraubenköpfe haben nahe an ihrer Peripherie fest eingelassene Stahlzapfen, an denen das eine Ende, einer kurzen Zugstange, beweglich angebracht ist. Diese bewegt sich mit ihrem anderen Ende gleichfalls um Stahlzapfen, welche fest mit dem Rohre verbunden sind und in einem der mit Tuch ausgefütterten Führungshülse eingefraisten, rechteckigen, 35 mm langen, der optischen Achse parallelen Spalte

Führung haben, so dass Drehung der Schraubenköpfe nach aufwärts oder abwärts das Rohr in entsprechendem Maasse hebt oder senkt. Die Winkel'sche grobe Einstellung ist im Wesentlichen der beschriebenen gleich und unterscheidet sich nur dadurch, dass zunächst eine aus Rothguss bestehende Hülse durch die Zugstange gehoben wird, in welcher das mit Millimetertheilung versehene Rohr für sich verschiebbar ist.

Die Einstellung durch Zahn und Trieb besteht aus der unmittelbar oder mittelst des Querarmes mit dem Rohre oder mit der Säule fest verbundenen in eine entsprechend geformte Führungscouliasse genau eingeschliffenen Zahnstange und dem in dem Querarme oder in der Säule mittelst grosser Schraubenköpfe drehbaren Triebe, welcher in die Zähne der ersten eingreift und dieselbe hebt und senkt. Diese Einstellungsvorrichtung verlangt, wenn sie vollkommen sein soll, sehr grosse Sorgfalt in ihrer mechanischen Ausführung. Namentlich muss die gezahnte Stange sehr gleichmässig geschnitten sein, ebenso der Trieb, damit er nicht nur sanft wirke, sondern auch bei gleicher Drehung des Knopfes immer gleiche Hebung hervorbringe. Die Hauptfehler, mit deren einem oder dem anderen die Einstellung durch Zahnstange und Trieb noch hier und da behaftet gefunden wird, von denen ich aber an den in meinem Gebrauche befindlichen grossen Stativen von Dr. Zeiss und Leitz nichts bemerkt habe, sind: das Federn, der todte Gang und die Verrückung des Objectes aus dem Gesichtsfelde.

Durch das Federn wird die Einstellung insofern unvollkommen, als das Object, welches genau eingestellt schien, so lange die Hand auf dem geränderten Knopfe ruhte, plötzlich aus dem Focus verschwindet, sobald man die Hand entfernt, und in Folge hiervon wiederholte Einstellung nöthig macht. Die Ursache dieses Fehlers kann theilweise in der Ausführung der Arbeit liegen und lässt sich derselbe dann allerdings nicht leicht entfernen. Häufig liegt sie aber auch gar nicht in der groben, sondern in der an dem gleichen Stativtheile und gewöhnlich unterhalb der groben Einstellung angebrachten feinen Einstellung, indem deren Spannfeder entweder im Ganzen etwas schwach ist oder einzelne Stellen derselben ungleiche Spannkraft haben. Dadurch wird dieselbe in Folge des bei der groben Einstellung angewendeten Druckes leicht etwas zusammengedrückt und dehnt sich wieder aus, sobald der erstere nachlässt. Hier lässt sich der Fehler allerdings etwas verbessern, indem man bei der groben Einstellung vorsichtig jeden unnöthigen Druck vermeidet und die Hand nur ganz leicht an dem Schraubenknopf spielen lässt. Am besten ist es, die beiden Einstellungen möglichst auseinanderzuhalten und damit der Druck auf die Feder der Mikrometerschraube verhütet wird, die feine Einstellung am Rohre, die grobe an der Säule wirken zu lassen. Der todte Gang giebt sich dadurch zu erkennen, dass man den geränderten Schraubenknopf etwas nach der einen oder der anderen Richtung bewegen kann, ohne dass sich die Röhre hebt oder senkt, dann aber bei der

Annäherung an das Object plötzlich und mit einem Rucke weiter nach unten rückt, als beabsichtigt und nothwendig ist. Dieser Fehler liegt, wenn er bei einem neuen Instrumente vorkommt, immer an ungenauer Arbeit. Oft zeigt er sich aber erst nach langem Gebrauche und rührt dann entweder von Abnutzung der Stange und des Triebes, oder von einer Lockerung der Schrauben her, welche den letzteren gegen die erstere andrücken. In diesem Falle kann er leicht verbessert werden, wenn man diese Schrauben fester anzieht. Die Verrückung des Objects aus dem Gesichtsfelde rührt immer von nachlässiger Arbeit her, indem Trieb und Stange weder gleichmässig geschnitten, noch Führungscoullisse und Stange genau ineinandergepasst sind. Dadurch wird während der Einstellung ein Schlottern hervorgerufen, welches die Röhre aus der optischen Achse rückt.

Die von Wenham (Quarterly Journal of microscop. sc. 1859) empfohlene auf der Reibung zwischen verschiedenen Metallflächen beruhende Vorrichtung zur groben Einstellung ist, wie bereits erwähnt, von E. Boecker bei dem einfachen Mikroskope in Anwendung gebracht worden, und dürfte sich, da ihre Wirkung eine sanfte und gleichmässige, den todten Gang vermeidende ist, falls sie in einer Weise hergestellt werden kann, welche eine auf die Dauer befriedigende Wirkung sichert, wohl auch für das zusammengesetzte Mikroskop empfehlen. Der genannte Optiker wendet einfache Reibungsrollen an. Die ursprüngliche Wenham'sche Vorrichtung dagegen ist folgendermaassen construiert. Der den Tubus *a* (Fig. 180) tragende Querarm *b* erhält drei bis vier

Fig. 180.

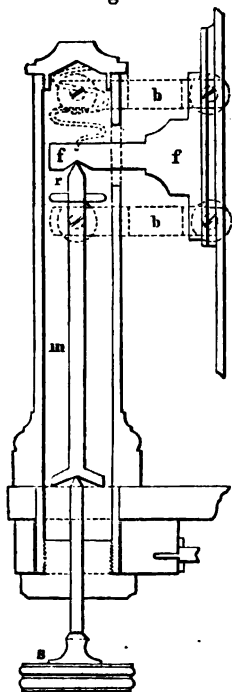


längslaufende, tiefe und scharfkanthige Gruben eingeschnitten, in welche obensoviele Rinnen eines mit zwei Drehscheiben verbundenen Stahlcylinders *c* eingreifen. Der letztere wird durch eine Feder *d* genau und fest an den Querarm angedrückt und bei Drehung der beiden Scheiben wird in Folge der Reibung der Arm *b* und damit der Tubus gehoben oder gesenkt.

- 169 Die feine Einstellung, obwohl für schwache und selbst für mittlere Vergrößerungen nicht unbedingt nothwendig, ist doch für die stärkeren Vergrößerungen und namentlich auch zur genauesten Durchforschung feinerer Structurverhältnisse, welche häufig die allerfeinsten Abänderungen in der Einstellung nothwendig machen, unentbehrlich und darf keinem zu wissenschaftlichem Gebrauche bestimmten Instrumente fehlen. Dieselbe wird durch eine Mikrometerschraube bewirkt. Sie sollte womöglich immer den Körper, nicht den Objecttisch bewegen, kann aber in verschiedener Weise ausgeführt werden. Auch bei ihr sind so ziemlich dieselben Fehler zu vermeiden wie bei der groben Einstellung;

namentlich aber ist der letzte mit aller Sorgfalt fern zu halten. Derselbe macht sich wohl hier und da noch bemerklich, wenn nicht die einander entsprechenden Theile, Säule und Hohlcyylinder, vollkommen gleichmässig gearbeitet und auf das Genaueste ineinandergeschliffen sind. Als am zuverlässigsten hat sich mir die Construction gezeigt, wo sich, wie bei den Oberhäuser'schen und den ihnen nachgebildeten Stativen mittelst Schraube und Spannfeder über einer genau geschliffenen Rundsäule oder noch besser einem dreiseitigen Stahlprisma ein entsprechend ausgeschliffener Hohlcyylinder bewegt, und es hat dieselbe mit ein oder der anderen unwesentlichen Abänderung fast allgemein Eingang gefunden. Auch die durch Gundlach eingeführte von Seibert und Krafft beibehaltene und mehrseitig namentlich für kleinere Stative nachgeahmte feine Einstellung durch sogenannte Parallelogrammbewegung (Fig. 181) hat sich

Fig. 181.



vielfach bewährt und zeichnet sich, da die Reibung möglichst vermieden ist, durch stetigen Gang und leichte und sanfte Drehbarkeit der Schraube aus. Bei ihr wirkt die Mikrometerschraube *s* auf den trichterförmigen Kopf des Stahlstiftes *m* ein, welcher seine Bewegung mittelst des oberen, zugespitzten in eine konische Vertiefung des rechtwinklig aufsitzenden durch eine Spannfeder niedergedrückten Fortsatzes *ff* eingreifenden Endes auf das Rohr überträgt. Die Führung wird durch die lose in die Hohl säule eingepassten Ringe *r* und die das Parallelogramm bildenden, an Säule und Tubus durch Gelenkverbindungen befestigten vier Querarmen *bb* bewirkt und ist, wenn hinreichend solide gearbeitet wurde, ganz untadelhaft. Durch die Hebung und Senkung des Tubus wird die Achse des optischen Apparates allerdings etwas verschoben, da das Rechteck der mittleren Stellung durch dieselbe in ein schiefwinkliges Parallelogramm übergeführt wird. Diese Verschiebung bleibt indessen bei dem äusserst kleinen Maasse der Bewegung ohne merklich störenden Einfluss auf die Wirkung des Instrumentes.

In der Wirkungsweise kommt der beschriebenen eine von der Bausch und Lomb Optical Company eingeführte, in England von Crouch ebenfalls angewendete feine Einstellungsvorrichtung gleich. Der massive gebogene Arm *A*, Fig. 182 (a. f. S.), welcher den Tubus trägt, ist an den vorderen Enden zweier flachen zu einander parallelen Federn *CC* aus Stahl befestigt, deren andere Enden mit dem den Objecttisch etc. tragenden Stücke *D* fest verbunden sind. Die Einstellschraube *E* wirkt auf den

Fortsatz *F* des Armes *A* und drückt den letzteren nach abwärts, während beim Rückwärtsdrehen die Elasticität der Stahlfedern denselben auf-

Fig. 182.

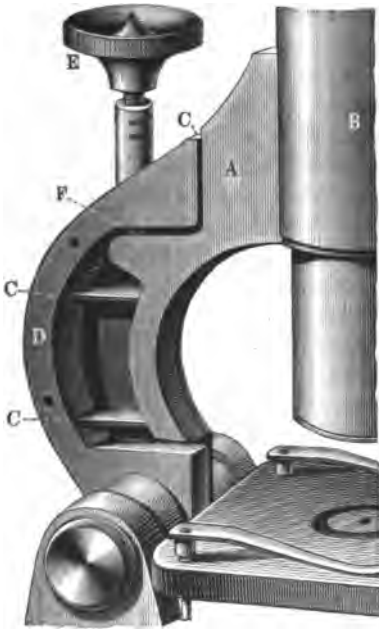
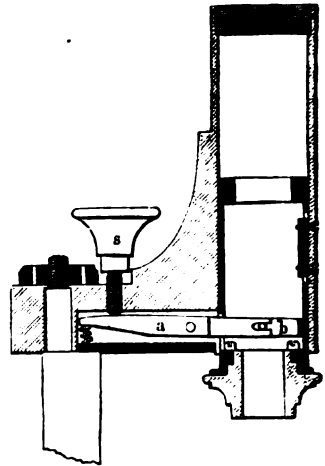


Fig. 183.



wärts treibt. Da weder der in senkrechter Richtung von dem Stücke *D* durch einen kleinen Zwischenraum getrennte Arm *A* das erstere, noch die den Mechanismus umschliessenden Deckplatten beide berühren, so ist leicht ersichtlich, dass jede Reibung vermieden ist, während die Einstellung sehr empfindlich und von stetigem, sanftem Gange sein soll.

Eine in neuerer Zeit in Amerika eingeführte und auch in England von Ross angenommene Art der feinen Einstellung wird durch Hebelvorrichtung bewirkt. Dabei ist der Arm, welcher das Rohr mit dem Träger verbindet, hohl und enthält einen mit einer zu der Zahnstange parallelen Schieberstange verbundenen Hebel, welcher seinerseits durch die über dem Arm hervortretende Mikrometerschraube bewegt wird und so die letztere und damit das Rohr hebt und senkt. Inwieweit sich dieselbe bewähren wird, muss die Erfahrung lehren, indessen erscheint dieselbe vor den vorbeschriebenen Arten mancherlei Vortheile zu gewähren, da sie nur das Rohr mit dem optischen Apparat zu bewegen hat und bei sorgfältiger Ausführung jedenfalls fürs erste einen sanften und stetigen Gang verbürgt.

Da die feine Einstellung nach den verschiedenen eben beschriebenen Constructionsformen immer das Gewicht des ganzen oberen Körpers zu

tragen hat, so giebt man in England noch immer der feinen Einstellung durch die ältere Hebelvorrichtung den Vorzug und es ist dieselbe auch von Schmidt und Haensch für seine grossen Stativ angenommen worden (Fig. 183). Dabei wirkt die in dem massiven Verbindungsstücke von Säule und Rohr eingefügte Mikrometerschraube *s* auf den mittelst einer kurzen Spannfeder nach oben getriebenen vorderen Arm des Hebels *a*, dessen zweiter Arm das Zwischenstück *b* hebt und senkt, welches mit einer im unteren Ende des Rohres gleitenden, das Objectivsystem tragenden kurzen Hülse verbunden ist. Es ist nicht zu leugnen, dass diese Einrichtung manche Vortheile gewährt, allein sie dürfte trotz alledem nicht zu empfehlen sein. Einmal ändert sich durch diese Art der Einstellung immer die Entfernung zwischen Objectivsystem und Ocular und somit die Tubuslänge und dies hat eine Aenderung in der Vergrösserung im Gefolge, welche im Allgemeinen wohl kaum ins Gewicht fallen würde, sich aber bei feineren mikroskopischen Messungen störend geltend macht. Dann ist diese Vorrichtung auch bei bester Ausführung auf die Dauer nicht in gutem Stande zu erhalten, weil der verhältnissmässig starke Angriff gegen die beweglichen Theile des Hebels beim Wechseln der Objective unvermeidlich schon bald ein Schlottern herbeiführen muss.

Die von französischen Mikroskopikern empfohlene feinste Einstellung mittelst des Oculares hat dieselben Unzuträglichkeiten, wie die zuletzt beschriebene und zwar in noch höherem Maasse. Ausserdem bietet sie noch weitere Unsicherheiten und Unbequemlichkeiten und kann ich dieselbe nicht zur Nachahmung empfehlen.

Neigung des Mikroskopkörpers. — Zum Schlusse kann ich 170 nicht umhin, mit einigen Worten die Frage zu berühren, ob die geneigte oder senkrechte Stellung des Mikroskopkörpers vorzuziehen sei. Die erstere Stellung wird namentlich von den englischen Mikroskopikern befürwortet und finden sich daher alle englischen Mikroskope mit der Einrichtung zum Ueberlegen versehen. In Deutschland fand diese Einrichtung nur vereinzelt Nachahmung und wurde in der Regel von unseren Optikern die Horizontalstellung früher nur auf besonderes Verlangen ausgeführt. Erst in neuerer Zeit ist die Neigung des Stativkörpers auch bei uns und zwar vorzugsweise bei den grossen Stativen allgemein eingeführt worden.

Sollte diese Stellung auch in der That einen oder den anderen der hervorgehobenen Vortheile gewähren, was ich z. B. in Bezug auf den Gesundheitszustand der Augen sehr bezweifle, so bietet sie doch gerade für dauernde mikroskopische Beobachtungen eine Menge von Nachtheilen, und ist somit vom Standpunkte des praktischen Mikroskopikers die Frage leicht zu entscheiden. Die meisten anatomischen Untersuchungen verlangen eine Beobachtung des betreffenden Gegenstandes unter Wasser oder unter dem Einflusse irgend anderer Flüssigkeiten und Reagentien. Diese aber lässt sich entschieden nur bei horizontaler Stellung des

Objecttisches ausführen. Hierdurch ist also die senkrechte Stellung als Regel gefordert, wenn man nicht etwa ein Prisma in einer rechtwinklig gebrochenen Röhre einschieben will. Für die geneigte Stellung bleiben somit nur solche Einzelfälle, wo trockene Objecte oder hermetisch verschlossene Präparate beobachtet werden sollen. Selbst hierfür aber erfordert der Objecttisch besondere Vorrichtungen zum Festhalten des Gegenstandes, welche denselben mit Klammern und dergleichen überladen würden, was weiter oben schon als verwerflich hervorgehoben wurde. Dann kann bei ersterer Stellung weit leichter und ohne künstliche Vorrichtungen fremdes Licht vom Auge abgehalten werden, als bei letzterer. Das Licht immer von der linken Seite oder gar etwas von hinten auf den Spiegel fallen zu lassen, wie es englische Mikrographen anrathen, ist auch wenig thunlich, indem alsdann, wie jeder Beobachter weiss, bei den während der Untersuchung stets vorzunehmenden Manipulationen auf dem Objecttische das Licht durch die Bewegung der Arme und Hände häufig theilweise abgeschnitten und das Gesichtsfeld verdunkelt werden würde.

Was endlich die besonders oft hervorgehobene Nothwendigkeit der horizontalen Stellung zum Zwecke des Nachzeichnens mikroskopischer Objecte betrifft, so ist dieselbe keineswegs in dem Grade vorhanden, als es auf den ersten Anblick scheinen möchte. Erstlich wäre hierfür kaum eine andere Einrichtung möglich als eine gebogene Röhre mit Prisma, da die meisten unserer Objecte in dem Zustande gezeichnet werden müssen, wo sie der Beobachtung unterliegen, der Tisch also in seiner horizontalen Stellung zu belassen ist. Dann aber hat man es ja in seiner Gewalt, jene nur noch vereinzelt im Gebrauch befindlichen Zeichenapparate, welche eine horizontale Stellung verlangen, durch solche zu ersetzen, welche bei senkrechter Stellung des Mikroskopes zu zeichnen erlauben, sei es auf wenig geneigter (18° bis 20°), sei es auf horizontaler Zeichenfläche, wie bei der neuen Abbe'schen Camera lucida u. a.

Etwas anders fällt die Antwort aus, wenn man die Frage der Zweckmässigkeit nach anderer Richtung hin erwägt. So ist z. B. die Einrichtung für manche allgemein mikrographische Arbeiten recht erwünscht. Andererseits erleichtert sie die solide und handliche Anpassung verschiedener unter dem Objecttische anzubringender Apparate und befördert deren raschen und bequemen Wechsel.

Dritter Abschnitt.

Das optische Vermögen des Mikroskopes und dessen Prüfung.

Erstes Capitel.

Die Einzelvermögen des optischen Gesamtvermögens und die Ermittlung ihrer Grundfactoren.

I. Die Einzelvermögen.

Das optische Gesamtvermögen und damit die Leistungsfähigkeit 171 des zusammengesetzten Mikroskopes gliedert sich in drei Einzelvermögen, welche ihrerseits in bestimmten Grundfactoren der Construction des optischen Apparates wurzeln, von denen sie nach Art und Maass bestimmt werden.

Diese Einzelvermögen geben sich zu erkennen als:

1. der Spielraum in der Bildausbreitung, Vergrößerungsvermögen, absolutes optisches Vermögen,
2. die geometrische Vollkommenheit der Strahlenvereinigung: Begrenzungs- oder Zeichnungsvermögen (Definition),
3. die Fähigkeit, kleine Objecte und Structureinzelheiten oder deren Merkmale bis zu gewissen Grenzen der Kleinheit getreu zur Anschauung zu bringen: Abbildungsvermögen.

1. Vergrößerungsvermögen.

Die Vergrößerung bedingt das absolute optische Vermögen des 172 Mikroskopes, insofern als sie die Fähigkeit seines optischen Apparates bemisst, das Bild mit den in ihm enthaltenen Structureinzelheiten auf

einen Schwinkel auszubreiten, welcher dem Auge die deutliche Unterscheidung möglich macht. Dieselbe ist, wie es die Formel

$$N = \left(\frac{X}{f_1} \right) \cdot \left(- \frac{\Delta}{f_2} \right)$$

zum Ausdruck bringt, für eine gegebene Sehweite bestimmt durch die beiden Brennweiten von Objectivsystem und Ocular, sowie durch die optische Tubuslänge und aus der Erklärung ihrer Function wird ersichtlich, dass eine bestimmte Höhe derselben nur dazu erforderlich wird, damit ein Auge von bestimmter Sehschärfe von den in dem Inhalte des Bildes dargebotenen Einzelheiten auch noch solche zu unterscheiden vermöge, welche unter sonst gleichen Bedingungen, aber bei geringerer Bildausbreitung nicht mehr, oder doch nicht deutlich unterschieden werden können. Das in Ziffern ausgedrückte Maass, bei welchem dieser Bedingung Genüge geleistet wird, kann man als die förderliche oder nutzbare Vergrösserung des zusammengesetzten Mikroskopes bezeichnen und wie weit deren Grenzen gesteckt sind, geht aus den folgenden Betrachtungen hervor.

- 173 Die Vereinigung der von den einzelnen Objectpunkten ausgehenden, in das Objectivsystem eintretenden, das reelle „Luftbild“ erzeugenden Strahlenbüschel kann, wie wir gesehen haben, niemals eine ganz vollkommene sein. Es treten somit an die Stelle von mathematischen Bildpunkten stets kleine Zerstreuungskreise, deren Grösse das Maass der einem Objectivsysteme überhaupt zugänglichen Structureinzelheiten bedingt. Diese Grösse kann nun leicht bestimmt und auf die Maassverhältnisse des Objectes zurückgeführt werden. Bezeichnen wir nämlich mit f_1 die Brennweite eines beliebigen Objectivsystemes, mit α den Durchmesser eines Objecttheilchens, mit σ den angularen Werth des Zerstreuungskreises eines aus dem Objectivsysteme austretenden Strahlenbüschels und mit Σ den Schwinkel, unter welchem das Theilchen α in dem unendlich entfernt gedachten Lupenbilde erscheint, so ist

$$\Sigma = \frac{\alpha}{f_1}$$

Da nun ein deutliches Sehen und Unterscheiden von Theilchen einer bestimmten Grösse jedenfalls voraussetzt, dass ihr Schwinkel grösser sei, als der Schwinkel der Zerstreuungskreise, mit welchen sie abgebildet werden, so bestimmt die Bedingung

$$\sigma = \Sigma$$

also

$$\sigma = \frac{\alpha}{f_1}$$

oder

$$\alpha = \sigma \cdot f_1$$

die äusserste Grenze der deutlichen Abbildung, welche bei Zerstreuungskreisen von der Grösse σ bestehen kann. Bleibt nun das Maass irgend

welcher Structureinzelheit unter demjenigen Betrage, welcher dem auf das Ausmaass des Objectes zurückgeführten angularen Durchmesser der Zerstreuungskreise entspricht, so kann eine deutliche Abbildung überhaupt nicht mehr stattfinden. Nun muss aber für Objectivsysteme der verschiedensten Brennweiten bei jedem bestimmten Oeffnungswinkel, unter Voraussetzung gleicher Vollkommenheit der Construction der angularen Durchmesser der Zerstreuungskreise in ihren Lupenbildern ein- und derselbe sein und demgemäss die absolute Grösse der kleinsten Theile, welche noch abgebildet werden, vermöge der Gleichung

$$\sigma = \frac{\alpha}{f_1}$$

ein- und denselben Bruchtheil der Brennweite betragen. Daraus geht hervor, dass das Maass des kleinsten, durch das Objectivsystem noch abbildbaren Details eines Objectes unter obiger Voraussetzung im umgekehrten Verhältnisse zu dessen Brennweite steht, also das absolute optische Vermögen in demselben Maasse zunehmen muss, wie die Brennweite abnimmt.

Um nun das abbildbare Detail einem normal gebauten Auge voll- 174
kommen zugänglich zu machen, hat die in dem zweiten Factor der Gleichung für die Gesamtvergrösserung, d. h. in dem Quotienten $-\frac{\Delta}{f_2}$ umfasste, aus optischer Tubuslänge und Ocularstärke zusammengesetzte Angularvergrösserung das Lupenbild auf die entsprechende Bildfläche auszubreiten.

Da nach dem Obigen der Schwinkel, unter welchem in dem Lupenbilde die Zerstreuungskreise, also auch die kleinsten abbildbaren Objecttheilchen erscheinen für alle Objectivsysteme von ähnlicher Construction (gleicher numerischer Apertur) und gleicher Vollkommenheit der Ausführung der gleiche ist, so wird für solche Objective, welches auch ihre Brennweite sein möge, immer gleiche Angularvergrösserung — d. h. gleicher

Werth von $\frac{\Delta}{f_2}$ — erforderlich sein, um jene kleinsten Theilchen unter irgend einem bestimmten, für bequeme Wahrnehmung ausreichenden Schwinkel in dem schliesslichen virtuellen Bilde sichtbar zu machen. Die Gesamtvergrösserung, bei welcher dieses eintritt, wird also unter sonst gleichen Umständen zu der Brennweite des Objectivsystemes stets im umgekehrten Verhältnisse stehen. Welches aber die erforderliche und ausreichende Angularvergrösserung und welches daraufhin die förderliche Gesamtvergrösserung für irgend eine bestimmte Brennweite sei, wird wesentlich abhängen: 1. von der Annahme, die man über die Grösse σ bei unseren heutigen Systemen macht, 2. von dem Schwinkel, welchen man für die deutliche Wahrnehmung (beziehungsweise die Unterscheidung) der Theilchen eines mikroskopischen Bildes für zureichend hält. Wäre z. B. σ für eine gewisse Classe von Objectivsystemen $= \frac{1}{4}$ Bogenminute zu setzen,

während ein Auge von normaler Sehweite einen Schwinkel von 2 Bogenminuten zur deutlichen Wahrnehmung gebraucht, so würde 8 als diejenige Angularvergrößerung folgen, welche angewendet werden müsste, um die Leistung eines solchen Objectives zu erschöpfen.

In Bezug auf die Grösse von σ lässt sich nun im Allgemeinen nicht viel mehr sagen, als dass sie 1. um so kleiner sein würde, je vollkommener ein Objectiv gearbeitet ist, 2. dass ihr Betrag mit zunehmender numerischer Apertur wachsen muss, weil je grösser die letztere, desto grösser die Anhäufung der unvermeidlichen Abweichungsreste, 3. dass sie bei gleicher numerischer Apertur grösser sein wird für Trockensysteme, als für Immersionssysteme, und für Wasserimmersion grösser, als für homogene Immersion, entsprechend der fortschreitenden günstigeren Bedingungen für die gute Correction der Abweichungen in den drei Arten der Objective, endlich 4. dass unter sonst gleichen Umständen Objectivsysteme von sehr kurzer Brennweite wegen der wachsenden technischen Schwierigkeiten der fehlerfreien Ausführung einen grösseren Werth zeigen werden, als solche von mittlerer und grosser Brennweite. Eine verlässliche zahlenmässige Bestimmung der fraglichen Grösse ist aber schon deshalb nicht wohl zu erlangen, weil bei den Objectivsystemen mit grosser numerischer Apertur immer nur ein kleiner Theil der verfügbaren Oeffnung gleichzeitig von den abbildenden Strahlenkegeln in Anspruch genommen wird und dieser Theil, welcher allein die zu Stande kommende Abweichung veranlasst, je nach Art der Beleuchtung und Structur der Objecte nach Grösse und Lage fortwährend wechselt, so dass bei dem praktischen Gebrauche solcher Objectivsysteme die von den Aberrationsresten und den Mängeln der technischen Ausführung herrührenden Zerstreuungskreise in dem Lupenbilde niemals mit dem ganzen Betrage zur Geltung kommen, welcher einem die volle Oeffnung ausfüllenden Strahlenkegel entsprechen würde. Eine allgemein gültige Feststellung der Höhe der förderlichen Angularvergrößerung und damit der förderlichen Gesamtvergrößerung kann demnach nicht vollzogen werden. Allein die vorausgehende Betrachtung giebt immerhin ein Mittel an die Hand, eine annähernde Schätzung derselben herbeizuführen, indem man sich an vorhandene Objective hält, welche der heute erreichbaren Vollkommenheit in der Correction und technischen Ausführung entsprechen und durch unmittelbare Versuche ermittelt, mit welcher Ocularbrennweite f_2 bei gegebener Tubuslänge ein normales Auge alles überhaupt sichtbar zu machende Detail vollkommen deutlich wahrnimmt. Auf diese Weise findet sich, dass die Grenze der förderlichen Gesamtvergrößerung unter Voraussetzung der normalen Beleuchtungsweise mittelst gewöhnlichen Tages- oder entsprechend modificirten künstlichen Lichtes für schwache und mittlere Objectivsysteme erreicht und damit die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes nach dieser Seite hin erschöpft ist, wenn Ocular und Tubus zusammen ein etwa achtfach vergrösserndes Fernrohr darstellen, also das Ocular bei der an dem continentalen Stative

gebräuchlichen wirklichen Tubuslänge von 150 bis 170 mm einer Aequivalentbrennweite von etwa 20 mm besitzt. Bei stärkeren Trockensystemen von 2 mm Brennweite und darunter wird das maximale optische Vermögen schon bei einer fünffachen Angularvergrößerung, also bei einer Aequivalentbrennweite des Oculares von etwa 30 bis 35 mm, erreicht, während Wasserimmersion noch eine sechs- bis siebenfache, homogene Immersion eine acht- bis neunfache Angularvergrößerung möglich und damit Oculare von 26 bis 20 mm Brennweite verwendbar machen.

Wir ersehen hieraus, dass die Höhe der förderlichen Gesamtvergrößerung, wie aus der angezogenen Formel leicht zu berechnen ist, schon bei verhältnissmässig niederen Ziffern erreicht wird, welche ansehnlich hinter denjenigen zurückbleiben, die man hier und da angegeben findet. So beträgt dieselbe z. B. für Trockensysteme von 15 mm Brennweite etwa 130 bis 140, von 5 mm etwa 400, von 2 mm etwa 600 bis 700, für Wasserimmersion bei 3 mm Brennweite 500 bis 600, bei 1 mm 1500 bis 1700, für homogene Immersion bei 2 mm Brennweite und darunter 1000 bis 2000.

Damit soll indessen keineswegs gesagt sein, dass diese Zahlen überschreitende Vergrößerungen unter gewissen Umständen nicht noch brauchbar oder nützlich sein könnten, indem sie die betreffenden Structureinzelheiten bequemer zur Anschauung bringen. Die eigentliche Leistungsfähigkeit des Mikroskopes in Bezug auf das absolute optische Vermögen werden sie aber nicht erhöhen.

2. Begrenzungsvermögen.

Das Begrenzungsvermögen, d. h. die Zeichnung des mikroskopischen 175 Bildes in vollem Umfange, also nach Reinheit, Schärfe und Färbung in seiner ganzen Ausdehnung beruht in demselben Elemente, welches auch das absolute optische Vermögen bedingt, d. h. in der geometrischen Vollkommenheit der Strahlenvereinigung in der Bildfläche und der damit Hand in Hand gehenden Beseitigung der bereits in Früherem besprochenen Abbildungsfehler. Wie bei der Betrachtung des zusammengesetzten Mikroskopes erörtert wurde, kommen diese Fehler vorzugsweise in dem Lupenbilde zum Ausdruck, haben also in der Construction des Objectivsystemes ihren Sitz, während der der Flächenausbreitung dienende Ocularapparat dabei praktisch fast so gut wie unbetheiligt erscheint. Die Vollkommenheit der Abbildung nach dieser Richtung hin wird demnach bedingt vorzugsweise durch den Grad, bis zu welchem sphärische und chromatische Abweichung der abbildenden Strahlenkegel in dem Objective gehoben und die Convergenzverhältnisse in den conjugirten aplanatischen Punkten der Achse gewahrt sind, dann aber auch durch die Ge-

nauigkeit der technischen Ausführung, namentlich in Bezug auf Fehlerlosigkeit des verwendeten Materiales, auf regelmässige Form und genaue Centrirung der brechenden Flächen.

176 Von hervorragender Bedeutung für die Bildzeichnung erscheint vor allem die sphärische Abweichung. Das mikroskopische Bild besteht, wie aus der Theorie der Bilderzeugung nichtleuchtender Körper hervorgeht, aus einer Anzahl von Einzelbildern, welche der Anzahl der isolirten Lichtbüschel entspricht, die aus dem eintretenden Strahlenkegel durch Beugung ausgesondert werden und in das Objectiv eintreten. Jedes dieser Bilder ist aber für sich genommen inhaltsleer und die sichtbaren Einzelheiten, bezügl. die Merkmale oder Anzeichen bestimmter Structurverhältnisse, werden erst durch die Verschmelzung mehrerer derselben zu Stande gebracht. Praktisch kommt daher nur die Gesamtwirkung aller dieser Einzelbilder in dem Gesamtbilde in Betracht, dessen Vollkommenheit dabei abhängig ist von der Vollkommenheit, in welcher die den einzelnen Beugungsbüscheln entsprechenden Theilbilder zur Verschmelzung gelangen. Nun nehmen aber die einzelnen Strahlenbüschel, deren homocentrische Vereinigung hiernach gefordert wird, verschiedene, je nach der Objectstructur und der Beleuchtungsweise stets wechselnde Theile der freien Objectivöffnung in Anspruch. Eine in allen Fällen vollkommene Verschmelzung der Einzelbilder wird daher nur dann möglich, wenn das Objectiv für den ganzen Umfang seiner freien Oeffnung gleichmässig frei von sphärischer Abweichung ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt und noch ein ansehnlicher Rest von sphärischer Abweichung vorhanden, so können zwar die Einzelbilder noch scharf gezeichnet sein, da dieselben durchweg durch isolirte Strahlenkegel von verhältnissmässig kleinen, meist nur 30° bis 40° betragenden Divergenzwinkeln erzeugt werden, deren Spitzen noch scharf genug sind, um keinen sehr auffälligen Zerstreungskreis übrig zu lassen. Dagegen werden dieselben sowohl längs wie seitlich gegen einander verschoben und gelangen zu keiner ausreichend vollkommenen Uebereinanderlagerung, weil bei grossem Oeffnungswinkel — von welchem die Entwicklung der feineren Structurmerkmale abhängig ist — die Spitzen der einzelnen, die verschiedenen Theile der freien Oeffnung gleichzeitig in Thätigkeit setzenden Strahlenbüschel nun nicht in einem Punkte zusammentreffen können. Die ein und derselben Stelle und ein und derselben Ebene des Objectes zugehörigen Structurmerkmale, Grenzen sowohl wie inneres Detail, erscheinen daher von einander getrennt, verwaschen und unklar.

177 Die Farbenerscheinungen, welche bei Objectivsystemen von grossem Oeffnungswinkel auftreten und ihren Einfluss auf die Bildzeichnung geltend machen, beruhen nicht bloss in denjenigen Focusdifferenzen, welche die Strahlenkegel im Ganzen treffen, also in der eigentlichen chromatischen Aberration, sondern vielmehr noch in der

unvermeidlichen Ungleichheit der Farbenvereinigung für verschieden geneigte Strahlenbüschel innerhalb der freien Objectivöffnung, welche wir als die chromatische Differenz der sphärischen Abweichung kennen gelernt haben, sowie in der als chromatische Differenz der Vergrößerung bezeichneten Farbenabweichung. Die erstere tritt je nach Art der Beleuchtung und Objectstructur in verschiedener Weise hervor. Objecte mit größeren Structureinzelheiten, bei denen die vermöge der letzteren abgebeugten, noch zur Bilderzeugung beitragenden, lichtstärkeren Strahlenbüschel nur einen kleinen Theil der Oeffnung in Thätigkeit setzen, können bei einem bestimmten Grade der Ausgleichung noch scharf gezeichnet erscheinen, während andere mit feinen Structurdetails, deren lichtstärkere Beugungsbüschel verschiedene Zonen der Oeffnung in Anspruch nehmen, eine entschiedene Verschlechterung des Bildes zeigen. Ebenso können Objective, welche für centrale Beleuchtung vollständig achromatisch sind, bei schiefer so starke Farbe geben, dass die Zeichnung eine höchst mangelhafte wird, und umgekehrt solche, welche für Auflösung von Diatomeenstreifungen bei schiefem Lichte glänzende Resultate gewähren, für histologische Beobachtungen fast völlig unbrauchbar sein.

Die zweite Abweichungsform ist zwar auch schon für die centralen Strahlenkegel vorhanden, jedoch meist ganz unmerklich, sie wird dagegen für die Randzone ziemlich beträchtlich und macht sich bei schiefer Beleuchtung durch die breiten Farbensäume am Rande des Sehfeldes geltend.

Während die gewöhnlichen (primären und secundären) Farbenabweichungen bei sorgfältiger Construction sich entweder ganz heben, oder doch fast unmerklich machen lassen, sind — wie wir bereits S. 222 u. f. gesehen — die beiden anderen mittelst des heute zu Gebote stehenden Materiales nicht vollständig zu beseitigen. Man muss sich daher mit einer mittleren Ausgleichung in der Art begnügen, dass sich die betreffenden Abweichungen nicht in irgend einem Theile der freien Oeffnung häufen. Zu dem Ende wird der Punkt bester Achromasie weder in die Achse, noch in die Randzone, sondern in eine mittlere Zone der Oeffnung verlegt und das betreffende System für die centralen Strahlen unter-, für die äussersten schiefen Strahlen übercorrectirt.

Ausser der Verschlechterung des Bildes überhaupt wird auch bei den nicht ausreichend auf die Farbenabweichung corrigirten Objectivsystemen eine bald mehr, bald minder stark hervortretende Färbung des Sehfeldes und damit der Beobachtungsgegenstände hervorgerufen, welche in jener ihren Sitz hat und deren Uebergänge vom Lichtgrauen, Bläulichen bis zum Grünlichen und Gelben wechseln. Diese Färbung, welche neben den genannten auch von einigen anderen Ursachen, z. B. Färbung des Glases etc., herrühren kann, tritt namentlich dann in störender Weise hervor, wenn sie in Gelb übergeht, welche Farbe ich in verschiedenen Abstufungen, namentlich bei älteren, hier und da aber

auch bei neuen Systemen als am meisten vorkommend gefunden habe. Sie beeinflusst namentlich die Entscheidung über die Färbung der Objecte selbst und die Beurtheilung der Wirkung gewisser färbender Reagenzien auf diese und muss, wenn sie in bemerkbarer Stärke hervortritt, als ein Fehler betrachtet werden, der vermieden werden sollte.

178

Die Verbesserung der beiden Abweichungen erscheint nach dem Gesagten als ein höchst wichtiges Element für das Zeichnungsvermögen, d. h. für die Reinheit und Schärfe des Bildes. Zwar äussern geringe Reste derselben, welche nicht gerade die mittleren Zonen der Oeffnung treffen, auf solche Objecte keinen erheblichen Einfluss, bei denen, unter Voraussetzung centraler Beleuchtung, die aus dem directen Strahlenkegel abgebeugten Strahlenbüschel sehr nahe an diesen zu liegen kommen, wo also die bild erzeugenden lichtstarken secundären Spectren nur den mittleren Theil des Oeffnungsbildes einnehmen. Derselbe tritt jedoch sofort hervor, wenn bei ersteren Objecten zu schiefer Beleuchtung übergegangen wird, oder wenn die Beobachtungsgegenstände Structuren aufweisen, welche bei centraler Beleuchtung einen grossen Beugungswinkel bedingen, so dass die betreffenden Lichtkegel auf verschiedene und auch auf die äusseren Zonen der Objectivöffnung treffen und die bilderzeugenden Spectren bis an den Rand des Oeffnungsbildes herantreten.

Verschwommene Grenzen und mangelhafte Structurdetails, welche als Folge der fehlerhaften Uebereinanderlagerung der durch die einzelnen Lichtbüschel erzeugten Bilder auftreten, werden die unausbleibliche Folge sein. Nun wird zwar bei der meist in Anwendung befindlichen normalen, d. h. centralen Beleuchtung die Randzone der Oeffnung bei Beobachtung von histologischen Objecten letzterer Art, und zwar je nach der Structurbeschaffenheit mehr oder weniger stark und in sehr vielen, ja in den meisten Fällen oft nur durch lichtschwachen abgebeugten Strahlenkegel in Anspruch genommen. Es macht sich daher der Correctionsmangel nur dadurch kenntlich, dass das Bild in Folge eines leichten über dasselbe ausgebreiteten Nebels eine gewisse Weichheit erhält und wird leicht übersehen oder wegen Milderung der scharfen Linien gar als eine Annehmlichkeit empfunden. Dennoch scheint er ausreichend, um ihn auch vom praktischen Gesichtspunkte aus als einen Fehler zu charakterisiren, welcher den Werth des betreffenden Objectivsystems noch unter denjenigen eines entsprechend starken von kleinerer Oeffnung herabdrückt. Denn während es — abgesehen von der Fähigkeit, feine Streifungen nebelhaft zu zeigen — nicht mehr leistet, als ein solches, wird es beim Gebrauche einestheils durch seinen kleinen Objectabstand, anderentheils dadurch unbequem, dass man für den Fall, als man nicht vorzieht, die Oeffnung durch eine über der letzten Linse eingesetzte Blendung zu verkleinern, fortwährend Vorsichtsmaassregeln gebrauchen muss, um bei schwierigeren Beobachtungen nicht Licht aus der uncorrigirten Randzone in das Bild zu bekommen. Trifft der Correctionsmangel die mittlere Zone der Oeffnung, während in dem Bestreben,

eine möglichst grosse Oeffnung und damit ein möglichst hohes Auflösungsvermögen zu erreichen, die beste Correction in die Randzone verlegt ist, so erscheint ein so gebautes Objectivsystem für alle normalen wissenschaftlichen Beobachtungen ganz unbrauchbar.

Die ungleiche Vergrösserung durch verschiedene Theile der Objectivöffnung, welche die Nichtbeachtung des Convergenzverhältnisses in zugeordneten aplanatischen Punkten in den verschiedenen Zonen der freien Oeffnung hervorruft, kann so bedeutende Zeichnungsfehler bedingen, dass schon ganz in der Nähe der Achse eine deutliche Abbildung völlig ausgeschlossen ist. Es bildet demgemäss die Wahrung desselben neben der Correction der sphärischen Abweichung eines Strahlenbüschels von grossem Divergenzwinkel in den gleichen Punkten der Achse die unumgängliche, aber auch zureichende Bedingung des Aplanatismus. Fehler, welche gegen die Proportionalität der Sinus der Neigungswinkel conjugirter Strahlen verstossen und welche meistens mit dem Namen „Wölbung des Sehfeldes“ bezeichnet werden, machen sich aus dem genannten Grunde auch in geringeren Beträgen schon so entschieden merklich, dass man sie von Seiten der praktischen Optik — auch da, wo es nicht, wie z. B. in der Zeiss'schen Werkstätte, mit Bewusstsein geschieht — in dem Streben nach „ebenem Gesichtsfelde“ unbewusst zu vermeiden und die betreffenden Constructionen den theoretischen Erfordernissen des vollkommenen Aplanatismus anzupassen gesucht hat. So finden sich denn unter den verschiedensten neueren Objectivsystemen, welche von Professor Abbe sowie von mir daraufhin geprüft worden sind, fast keine vor, welche in merkbarem Grade mit dem betreffenden Fehler behaftet erscheinen, obgleich die Grösse der bei ihnen vorkommenden Oeffnungswinkel den mannigfaltigsten Abweichungen Spielraum offen lässt.

Diejenigen Undeutlichkeiten der Abbildung — von den absichtlich herbeigeführten Bildverschiebungen kann hier füglich abgesehen werden —, welche man passend als Unsymmetrie der optischen Wirkung bezeichnen kann, haben ihren Grund theils in der Beschaffenheit des zu den Linsen verwendeten Materiales, theils in der Unregelmässigkeit ihrer Form und in der ungenauen Centrirung der Einzellinsen sowohl als der Linsensysteme.

Eine sorgfältige Centrirung macht für das zusammengesetzte Mikroskop erforderlich, dass zunächst die einzelnen Convex- und Concavlinsen für sich, sowie in ihrer Verbindung zu Doppellinsen, dann aber die Objectivsysteme und Oculare als Ganze genau centrirt seien. Man darf indessen nicht an eine falsche Centrirung der Systeme an und für sich denken, wenn beim Wechseln mit den Objectivsystemen eine Bildverschiebung eintritt. Diese Bildverschiebung liegt vielmehr in der Ausführung der Schraubengewinde, tritt namentlich oft da hervor, wo man mittelst sogenannter Zwischenstücke fremde Objectivsysteme mit dem Stativ einer bestimmten Werkstätte verbindet und ist für die optische Wirkung an sich ohne alle Bedeutung.

Eine Verbesserung der falschen Centrirung möchte wohl so ziemlich ausserhalb des Bereiches des praktischen Mikroskopikers liegen. Denn abgesehen von dem kaum zu erwartenden Gelingen einer genaueren Centrirung, wozu es ihm in der Regel auch an den mechanischen Mitteln fehlt, ist es immer eine sehr schwierige Sache, die zu einem Objectivsysteme gehörigen Linsen auseinanderzunehmen und wieder in der gehörigen Weise miteinander zu verbinden. Man wird in einem solchen Falle selbst immer mehr verderben als gut machen, und daher am besten thun, wenn man sich an den Optiker wendet, von dem man den betreffenden Apparat erhalten hat. Wo die Mikroskopröhre beweglich, d. h. zur groben Einstellung in einer Hülse verschiebbar ist, bietet sich hierin, wie H. von Mohl hervorhebt, ein wenn auch nur unvollkommenes und nur für einzelne Fälle anwendbares Mittel zu etwaigen Verbesserungen, indem man jene so weit dreht, bis die Stelle des Objectives, welches die geringste Abweichung zeigt, senkrecht auf die zu beobachtenden Strukturen, z. B. feine Linien und dergleichen, zu stehen kommt. Bei den mir bekannten neueren Objectivsystemen sind indessen die Abweichungen meist so gering, dass bei der Umdrehung — mittelst einer Drehscheibe — ein Unterschied in der Schärfe des Bildes kaum stattfindet, je nachdem die eine oder die andere Stelle eines solchen senkrecht zu der betreffenden Zeichnung steht.

Unregelmässigkeiten in der Kugelform der brechenden Flächen sind nur bei den stärksten Objectivsystemen schwer vermeidlich, bei denen die Kleinheit der Ausmaasse die Messung und Prüfung nicht mehr völlig sicher ausführen lässt, während sie bei den schwächeren und mittleren unschwer fern gehalten werden können.

Fehler in dem zu den Linsen verwendeten Materiale bilden: schlechte Politur der Linsen, Schlieren und Flecken im Glase, sowie Unreinigkeiten und Trübungen in der Kittsubstanz. — Bezüglich der Politur der Linsen hat man sein Augenmerk vorzugsweise darauf zu richten, ob die Oberfläche derselben mit dicht nebeneinander liegenden Streifen und matten Flecken bedeckt ist, wodurch das ganze Gesichtsfeld ein nebelartiges Ansehen erhält. Vereinzelte und kleine Flecken oder Streifen, welche wohl kaum bei dem Poliren ganz vermieden werden können, schaden weniger, indem dem mikroskopischen Bilde kein merklicher Eintrag dadurch geschieht. Das Glas, woraus die Linsen geschliffen, sowie die Kittsubstanz, durch welche sie fest mit einander verbunden werden, müssen möglichst rein und frei von Streifen, sogenannten Adern oder Schlieren, grösseren Luftblasen u. dergl. sein. Kleinere Luftbläschen, die sich immer nur durch höchst genaue Untersuchung entdecken lassen, trifft man selbst in sonst ganz ausgezeichneten Gläsern hier und da an. Dieselben äussern indessen, wenn sie in sehr beschränkter Anzahl auftreten, kaum einen nachtheiligen Einfluss auf ein Objectivsystem.

Einige andere Fehler, welche sich erst während des Gebrauches entwickeln, können, wie schon H. v. Mohl und später Harting hervor-

gehoben haben, recht störend auf die Reinheit und Deutlichkeit der Bilder einwirken. Ich selber habe bisher keinen derselben, weder an meinen eigenen noch an fremden Linsensystemen neuerer, in richtiger Weise und sorgfältig behandelter Instrumente wahrnehmen können. An älteren Instrumenten lernte ich allerdings ein und den anderen schon vor Jahren kennen. Ebenso sah ich manches gute Instrument, dessen Linsen durch nachlässige Behandlung so verdorben waren, dass man sie kaum als mit anderen aus ein- und derselben Werkstatt hervorgegangen hätte erkennen können, wenn nicht der Name des Optikers am Instrumente gestanden hätte.

Der erste dieser Fehler beruht auf dem Verwittern der äusseren Linsenflächen, wodurch Oculare wie Objective in hohem Grade getrübt und nach und nach ganz unbrauchbar werden. Diese Erscheinung, welche ich jedoch bei keinem der mir in die Hand gekommenen Objectivsysteme der letzten Jahrzehnte — auch bei den Merz'schen (Merkel, das Mikroskop etc. München 1875) nicht —, wohl aber hier und da bei Ocularen bemerkt habe, liegt wesentlich an der Beschaffenheit des zu den Linsen verwendeten Glases. Manche Glassorten besitzen nämlich die Eigenschaft in hohem Maasse, die Wasserdünste der umgebenden Luft auf ihrer Oberfläche zu verdichten. Dadurch haften aber kleine Staub- und Schmutztheilchen, welche mit ihr in Berührung kommen, sehr fest an und können mit der Zeit so innig adhären, dass man sie nicht zu entfernen im Stande ist, ohne die äusserste Fläche des Glases theilweise mit zu verletzen. Das erste und vorzüglichste Mittel, um diesen Fehler möglichst abzuschneiden, ist grösste Sorgfalt in Bezug auf Reinhaltung der Gläser und Aufbewahrung des Mikroskopes an möglichst trockenem, vor Staub geschütztem, gleichmässig durchwärmtem Orte. Ein Mittel, um die genannte Eigenschaft des Glases unschädlich zu machen, welches aber selbst wieder gewisse Nachtheile hat, wurde von Muncke empfohlen. Es besteht darin, dass man die Oberflächen der Linsen mit einer äusserst dünnen Oelschicht überzieht. Am besten bewerkstelligt man dies dadurch, dass man die Linsenflächen mit etwas Terpentinöl befeuchtet und dieselben dann mittelst eines zarten leinenen Lappchens soweit abwischt, bis keine Spur des Oeles mehr bemerkbar ist. Es bleibt dann immer noch eine dünne Oelschicht zurück, welche sich nicht ganz verflüchtigt, sondern unter dem Einflusse der Luft schnell verharzt und so das Glas vor dem Niederschlage der Wasserdünste schützt.

Eine zweite Fehlerquelle hat ihren Sitz in der zur Vereinigung der Concav- und Convexlinse verwendeten dünnen Schicht von Canadabalsam. In dieser bilden sich nämlich bei manchen Linsen im Laufe der Zeit kleine Krystallansammlungen, wodurch das betreffende Linsensystem fürs erste getrübt und unbrauchbar wird. Ich habe auch diesen Fehler an meinen eigenen Objectivsystemen, die zum Theil schon zehn, zwölf und mehr Jahre alt und aus verschiedenen Werkstätten hervorgegangen sind,

noch nicht entdeckt, ihn aber, und zwar vor längerer Zeit, an den Objectivsystemen eines älteren, einer Schulanstalt gehörigen Chevalier'schen Mikroskopes, sowie an einem älteren Schieck und an einigen Nachet'schen Objectiven aus den sechsziger Jahren beobachtet und bin daher nicht im Stande, aus eigener Erfahrung etwas Genaueres darüber anzugeben. Ueber die Ursache der Krystallbildung ist man nicht ganz einig. H. v. Mohl (Mikrographie, S. 178) erklärt dieselbe als eine Folge chemischer Einwirkung der in dem Balsam vorhandenen Harzsäuren auf einen der Bestandtheile (Blei) des Flintglases. Dem widerspricht aber Harting (Mikroskop, Seite 272), da nach seiner Erfahrung die Linsenflächen stets unangegriffen bleiben und die Krystallanhäufungen durch Auflösung mittelst Alkohols oder Aethers entfernt werden können. Er sucht den Grund in der Veränderung der Zusammensetzung des canadischen Balsams und glaubt, dass es auf die Sorte des letzteren ankomme, ob die Krystallbildung eintrete oder nicht. Je nach Umständen mögen wohl beide oder auch nur eine der von beiden Gelehrten angenommenen Ursachen wirken. Liegt dieselbe einzig und allein an dem Balsam, dann lässt sich der entstandene Fehler leicht beseitigen, indem man eben die alte Balsamschicht durch Auflösungsmittel entfernt und eine neue zwischen die gereinigten Linsen bringt. Diese Arbeit muss aber natürlich einem Optiker übertragen werden, wenn man nicht Gefahr laufen will, seine Systeme zu verderben. Ist das Glas selbst angegriffen, dann freilich ist die Mühe umsonst. Es scheint übrigens, als ob die praktische Optik die betreffende Ursache auf irgend eine Weise zu beseitigen gelernt hätte, da man den Fehler an neueren Objectivsystemen — so weit wenigstens meine eigenen Erfahrungen reichen, und auch von anderer Seite habe ich nichts darüber vernommen — nicht mehr findet. Die von H. v. Mohl an oben citirter Stelle erwähnte Trübung der Linsen durch eine sich zwischen nicht verkitteten Linsen in Tropfen absetzende ölartige Substanz dürfte jetzt kaum mehr in Betracht kommen, da wohl von sämtlichen Optikern die beiden Linsen durch Canadabalsam fest mit einander vereinigt werden.

Die gedachten Fehler treten zwar bei einigermaassen sorgfältiger Arbeit nie in sehr hohem Betrage auf, können aber immerhin recht störend auf die Bildschärfe wirken. Dieselben sollten jedenfalls und um so mehr thunlichst vermieden werden, als es im Bereiche der Möglichkeit liegt, selbst an sehr kleinen Linsen bestimmte Krümmungen bis auf ein paar Tausendtheile des Halbmessers genau herzustellen, die unregelmässigen Abweichungen der brechenden Flächen von der richtigen Kugelform in ihren absoluten Beträgen auf kleine Bruchtheile von der Länge einer Lichtwelle einzuschränken und die Centrirung der einzelnen Flächen eines Linsensystemes bei der Fassung bis auf höchst geringe Abweichungen genau auszuführen. Dass dies jedoch — mit Ausnahme der Dr. Zeiss'schen Werkstätte — noch nicht durchgängig in vollem Umfange geschieht, davon haben mich zahlreiche Prüfungen mittelst der

weiter oben beschriebenen Methode überzeugt und darf ich nicht verfehlen, die ausführenden Optiker darauf hinzuweisen.

Die Störung der Ebenmässigkeit, hervorgerufen durch die in dem 181 vorhergehenden Abschnitt näher charakterisirte Verzerrung des Bildes, hat, wie wir gesehen haben, ihren Sitz vorzugsweise in Fehlern, welche in Bezug auf das Convergenzverhältniss in den orthoskopischen Punkten begangen wurden, während die die Ebenflächigkeit störende Wölbung des Sehfeldes, welche sich durch die Nothwendigkeit der Veränderung der Einstellung für verschiedene Zonen des letzteren bekundet, theilweise in der sphärischen Abweichung ausserhalb der Achse, vor allem aber in der verschiedenen Vereinigungsweite der von den ausserhalb der Achse gelegenen Objectpunkten ausgehenden homofocalen Strahlenbüschel ihren Grund hat.

3. Abbildungsvermögen.

Die Begriffsbestimmung des „Abbildungsvermögens“, unter welchem das Unterscheidungs- (Auflösungs-) vermögen der Autoren einzubegreifen ist, muss mit Bezug auf die Theorie der mikroskopischen Bild-erzeugung jetzt anders gefasst werden, als die bisher gebräuchliche Erklärung des Abbildungs- wie des Unterscheidungsvermögens. Während nämlich nach der sonst üblichen Auffassung das „Abbildungsvermögen“ als eine dem Mikroskop schlechthin und ganz selbstverständlich zukommende, mithin gar nicht weiter zu erörternde Fähigkeit betrachtet wurde, welche bei der als völlig ähnlich gedachten Wiedergabe der Objecte unter Umständen nur durch die in Folge der Unvollkommenheit der Strahlenvereinigung herbeigeführte Unterdrückung von Einzelheiten im Bilde eine Einschränkung erfahre, erscheint dieses Vermögen nach der neueren Theorie als eine bedingte, verschiedengradiger Abstufung unterliegende und insofern zahlenmässig bestimmbare Eigenschaft des Instrumentes.

Unter „Abbildungsvermögen“ hat man jetzt zu verstehen:

Erstlich: — im engeren Sinne — die Fähigkeit des Mikroskopes, unter gewissen Umständen von den Objecten genau ähnliche Bilder zu entwerfen, welche — abgesehen von der Vergrösserung — als einfache Projectionen dieser Objecte erscheinen.

Zweitens: — im weiteren Sinne, sofern man dasselbe als eine gradweise verschiedene, möglicher Abstufung unterliegende Eigenschaft betrachtet — die Fähigkeit, bei der Abbildung gegebener Objecte eine grössere oder geringere Aehnlichkeit zu erreichen.

Im ersteren (strengen) Sinne besteht ein Abbildungsvermögen nur für solche Gegenstände, welche im Verhältniss zu der Oeffnung der Objectivsysteme genügend grosse und zwar so grosse Ausmaasse darbieten, dass annähernd alles ihrem Beugungsspectrum entsprechende

Licht in das Objectiv eintritt. Im andern Sinne dagegen ist dasselbe für jedes Objectivsystem in Bezug auf jedes Object vorhanden, jedoch in verschiedenem Grade je nach der Grösse der Oeffnung, indem je nach dieser Oeffnung entweder vollständige Aehnlichkeit oder aber irgend ein bestimmter Grad der Aehnlichkeit bis zu kleineren oder grösseren Ausmaassen herab erreicht wird.

Als Unterscheidungs- oder Auflösungsvermögen ist nun diejenige besondere Form des Abbildungsvermögens zu kennzeichnen, in der dieses letztere bei regelmässigen Structuren (Streifungen, Felderungen u. dgl.) auftritt, welche regelmässige Beugungsspectren liefern, oder welche wenigstens getrennte Theile in gewisser einfacher Anordnung darbieten. Dasselbe bezieht sich — insofern man eine gradweise Abstufung oder eine zahlenmässige Bestimmung im Auge hat — nicht mehr auf die volle Bildähnlichkeit, sondern gleichsam nur auf den ersten (niedrigsten) Grad, die eben beginnende Bildähnlichkeit, d. h. auf das blosse Sichtbarwerden der Structurgliederung (das blosse Getrennterscheinen der Theile), wenn auch in schematischer Form — in Gestalt von typischen Abbildern —.

183 Das Abbildungsvermögen hat seinen Sitz einzig und allein in der Function der Oeffnung des Objectivsystemes und findet in ihr sein Maass, indem es unter allen Umständen in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur steht.

In Rücksicht auf das allgemeine Abbildungsvermögen wird daher ein Mikroskop die objectähnliche Abbildung für kleiner und kleiner werdende Ausmaasse von einzelnen Objecten, wie von Structurelementen um so mehr begünstigen, je mehr das Objectivsystem im Stande ist, grössere Antheile gleich zusammengesetzter Beugungskegel aufzunehmen. Das Auflösungsvermögen dagegen bemisst sich nach der Fähigkeit des Objectivsystemes, neben dem directen Lichtbüschel noch einen der abgelenkten, dem mittleren Theile des Beugungskegels angehörigen Beugungsbüschel aufzunehmen.

Es ist nun leicht, aus dieser allgemeinen Beziehung durch Specialisirung derselben diejenige Grenze zu bestimmen, bis zu welcher dem Abbildungsvermögen für ein bestimmtes Objectivsystem und unter Voraussetzung einer bestimmten Wellenlänge und Beleuchtungsart die Wiedergabe von gewissen regelmässigen Structurverhältnissen, wie z. B. Streifungen, Schichtungen, Felderzeichnungen etc., sowie von vereinzelt kleinen Körperchen und Structurelementen, Fasern, kleinen Inhaltkörperchen oder Zellen u. dgl. in Form von objectähnlichen oder von typischen Bildern möglich erscheint, oder auch diejenige numerische Apertur zu ermitteln, welche zur Sichtbarmachung der Structuranzeichen wie zur objectähnlichen Abbildung gefordert wird.

Wenden wir uns zunächst zu der Unterscheidungsgrenze, so ist für 184 einfache Streifensysteme, oder solche Structureinzelheiten, welche sich in Gestalt solcher Streifensysteme ordnen lassen (die Zeichnung auf den Schalen der Diatomeen z. B.), zu deren typischen Abbildung in ihren ersten Anzeichen neben dem Eintritte des directen Lichtbüschels nur noch der von einem Beugungsbüschel, d. h. in dem, in der hinteren Brennebene des Objectivs auftretenden Beugungsbilde nur das Vorhandensein von einem Beugungsspectrum neben dem directen Bilde der Lichtquelle, erfordert wird, unter der Voraussetzung eines sehr engen Beleuchtungskegels, diese Grenze sowie die von einer vorliegenden Streifendistanz geforderte numerische Apertur in einfacher Weise bestimmbar. Der kleinste zulässige Streifenabstand bei gegebener Oeffnung ergibt sich für centrale Beleuchtung: als Quotient der Wellenlänge durch die numerische Apertur, für möglichst schiefe Beleuchtung: als Quotient der halben Wellenlänge durch diese Apertur. Die kleinste numerische Apertur für einen gegebenen Streifenabstand andererseits wird ausgedrückt durch den Quotienten aus der ganzen oder der halben Wellenlänge durch den Streifenabstand, je nachdem rein centrale oder möglichst schiefe Beleuchtung zur Anwendung kommt.

Beide finden demgemäss, wenn λ die Wellenlänge für eine bestimmte Farbe in Luft, e die Streifendistanz bezeichnet, ihren Zahlenausdruck in den Gleichungen:

$$1) \quad e = \frac{\lambda}{a} \quad \text{und} \quad a = \frac{\lambda}{e}$$

$$2) \quad e = \frac{\lambda}{2a} \quad \text{und} \quad a = \frac{\lambda}{2e}$$

Diese Gleichungen können unter Zuhilfenahme der Sätze über die Abbildung von Liniensystemen unmittelbar aus den Gleichungen

$$\sin u = \frac{\lambda}{ne} \quad \text{und} \quad \sin u = \frac{\lambda}{2ne}$$

S. 105 und 106 abgeleitet werden, indem der dort auftretende Winkel u jetzt dem halben Oeffnungswinkel des Objectivsystemes in einem Medium vom Brechungsindex n gleichgesetzt werden kann.

Wenn statt eines sehr engen, der optischen Achse parallelen Strahlenkegels ein solcher verwendet wird, dessen äusserste Strahlen eine gewisse, durch den Winkel w ausgedrückte Neigung gegen die optische Achse besitzen, so geht die erste der obigen Gleichung für den Fall, dass w kleiner ist, als der halbe Oeffnungswinkel des Objectivsystemes, über in

$$e = \frac{\lambda}{a + n \cdot \sin w}$$

oder, wenn wir $n \cdot \sin w$ mit α bezeichnen, in:

$$e = \frac{\lambda}{a + \alpha}$$

als Ausdruck für den kleinsten Linienabstand, welcher bei der angenommenen Beleuchtungsweise der numerischen Apertur a zugänglich ist und die Umkehrung dieser Gleichung

$$a = \frac{\lambda}{e} - \alpha$$

bestimmt die kleinste numerische Apertur, bei der ein Streifensystem von gegebenem Linienabstand e unter den gedachten Verhältnissen sichtbar wird.

Der hier betrachtete Fall tritt immer ein, wenn bei dem gewöhnlichen Gebrauch des Mikroskopes mit sogenanntem geraden Lichte gearbeitet wird wobei stets ein einfallender Lichtkegel von mehr oder minder grosser Grundfläche zur Anwendung kommt, dessen Winkelöffnung unter Umständen, z. B. bei Verwendung des Hohlspiegels, 40 bis 50° betragen kann. Wird w ebenso gross oder grösser als der halbe Oeffnungswinkel, wie es bei Objectivsystemen von langer Brennweite und geringer numerischer Apertur meist, bei Verwendung des vollen Lichtkegels, welchen der Abbe'sche Beleuchtungsapparat gewährt, immer der Fall ist, so ist die Grenze der Auflösung bei sogenanntem geraden Lichte soweit hinausgerückt, wie bei äusserst schiefer Beleuchtung.

In Bezug auf solche Structurverhältnisse, welche als Grundform unter bestimmten Winkeln sich krenzende Streifensysteme ergeben, ändern sich die oben gegebenen Grenzbestimmungen, da für deren Abbildung neben dem Eintritt des directen Lichtbüschels auch noch der von mindestens zwei nicht zu derselben Reihenordnung gehörigen abgelenkten Strahlenbüscheln, also in dem Beugungsbilde in der hinteren Brennebene das Auftreten von mindestens drei nicht in einer geraden Linie liegenden Spectren erforderlich wird.

Würden sich z. B. zwei Streifensysteme mit den linearen Abständen e_1 und e_2 unter dem Winkel i schneiden, so würde die zur typischen Abbildung dieser Structur erforderliche numerische Apertur sich ergeben

$$a = \frac{\lambda \cdot \sqrt{e_1^2 + e_2^2 - 2 e_1 e_2 \cdot \cos i}}{2 e_1 e_2 \cdot \sin i}$$

so lange e_2 grösser als $e_1 \cdot \cos i$ bliebe, d. h. den linearen Abstand der engsten Streifung bezeichnete, während im anderen Falle die gleiche numerische Apertur ausreichend sein würde, welche für die Abbildung je einer der Streifungen erforderlich ist.

Wird $e_1 = e_2$ und $i = 60^\circ$, wie z. B. bei den scheinbaren Streifensystemen von *Pleurosigma angulatum*, dann geht die obige Gleichung über in

$$a = \frac{\lambda}{2 e \cdot \sin i}$$

und da

$$\sin i = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}$$

in

$$a = \frac{\lambda}{e \cdot \sqrt{3}}$$

und umgekehrt

$$e = \frac{\lambda}{a \sqrt{3}}$$

Die numerische Apertur, welche für die Lösung eines derartigen Strukturverhältnisses erfordert wird, ist also in dem Verhältniss von $\sqrt{3} : 2$ grösser, als diejenige, welche für das eine Liniensystem genügt. Während z. B. für die Sichtbarmachung der einzelnen Streifensysteme von größerem Pleurosigma angulatum (etwa 18 Streifen auf 10μ) bei äusserst schiefe Lichteinfall schon eine numerische Apertur von 0,50 (60°) genügt, ist für die Lösung der Felderung eine solche von 0,58 (71°) erforderlich.

Für ein quadratisches Netzwerk würde

$$a = \frac{\lambda \cdot \sqrt{2}}{2e}$$

oder nach einer leichten Umformung

$$a = \frac{\lambda}{e \cdot \sqrt{2}}$$

und umgekehrt

$$e = \frac{\lambda}{a \cdot \sqrt{2}}$$

werden, also das obige Verhältniss übergehen in das von $\sqrt{2} : 2$. Wenn demnach je die einzelnen Streifensysteme derartiger Structuren zur Lösung eine numerische Apertur von 0,50 erforderten, so würde die Felderung eine solche von 0,70 (90° etwa) verlangen.

Die in dem Vorausgehenden ermittelten Grenzwerte sind bei der 185 praktischen Prüfung des Unterscheidungsvermögens nur dann erreichbar, wenn sie — vollkommene Correction der sphärischen und chromatischen Abweichung vorausgesetzt — unter Anwendung sehr intensiven monochromatischen Lichtes und sehr enger Strahlenkegel ausgeführt werden. Unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen werden die erlangten Resultate unter Umständen mehr oder weniger hinter den berechneten zurückbleiben. Die gewöhnliche schiefe Beleuchtung (die gerade ist schon oben erörtert) setzt nicht allein die oben in Rechnung gezogenen, der halben Winkelöffnung entsprechenden, äusserst schiefen direct einfallenden Strahlen, sondern eine grosse Menge weniger schief eintretende in Thätigkeit, deren abgelenkte Strahlenbüschel in dem ganzen vom Objectivsysteme aufgenommene Beugungskegel nicht mehr enthalten sind und deren Wirkung jene der äussersten Strahlen wenigstens theilweise unterdrücken kann. Ferner bedingt die Anwendung der gebräuchlichen Be-

leuchtung mittelst gemischten Lichtes — sei es nun Tageslicht oder durch blaue Gläser u. dgl. modificirtes Lampenlicht — eine Abweichung von der theoretischen Grenze, deren Berechnung auf die Wellenlänge einer bestimmten einzelnen Farbe des Spectrums gegründet ist. Das Tageslicht z. B., dessen Wellenlänge in der Regel gleich derjenigen des Grün auf der Fraunhofer'schen Linie E , also zu $0,526\mu$ angenommen wird, enthält neben dem grünen Lichte des entsprechenden Theiles des Spectrums auch noch alle übrigen Farben und darunter auch die intensiven Roth, Orange und Gelb von grösserer Wellenlänge. Beobachtet man nun eine Structur, deren Detail an der theoretischen Grenze der Auflösung liegt, so ist es leicht möglich, dass dasselbe nicht mehr abgebildet wird, weil die helleren rothen bis gelben Lichtstrahlen mit ihren weiter abgelenkten Beugungsbüscheln zur Abbildung nicht mehr beitragen können, das lichtschwache von den grünen und blauen Strahlen erzeugte Bild aber in dem hell erleuchteten Gesichtsfelde nicht mehr wahrgenommen wird, wenn nicht die betreffende Structur eine etwas stark markirte ist. Die Sichtbarkeit einer feinen Structur bei Beleuchtung mittelst gewöhnlichen Tageslichtes hängt also unter sonst gleichen Umständen vorzugsweise von der schärfer ausgesprochenen natürlichen Zeichnung derselben ab. Diese Thatsache erklärt dann auch die andere, dass man — abgesehen von durch die Kittsubstanz veranlassten Trübungen — bei den höheren Gruppen der Nobert'schen Platte mit einem bestimmten Objectivsysteme bei der Auflösung weniger weit kommt, als mit scharf markirten Streifungen der Diatomeenschalen und dass mittelst des durch entsprechende blaue Gläser oder einer Lösung von Kupferoxyd geleiteten Lampenlichtes, in welchem die stärker brechbaren Strahlen weniger vorherrschen, an der Grenze des theoretischen Auflösungsvermögens stehende Structurdetails schärfer und deutlicher gesehen werden, als mittelst gewöhnlichen Tageslichtes.

Verwendet man indessen scharf ausgeprägte Zeichnung besitzende Probeobjecte, wie sie sich unter den Diatomeen in reicher Auswahl finden und berechnet man die Grenze des Unterscheidungsvermögens unter Zugrundelegung der Wellenlänge des hellen Grün zwischen den Fraunhofer'schen Linien D und E , welche etwa $0,00055\text{ mm}$ oder $0,55\mu$ beträgt, so darf man, wie ich mich durch vielfache Versuche überzeugt habe, sicher sein, dass die theoretisch berechneten Werthe und die Beobachtungsergebnisse in voller Uebereinstimmung mit einander bleiben.

Ein weiterer wichtiger Umstand, welcher auf die Erreichung der theoretischen Unterscheidungsgrenze seinen Einfluss äussert, besteht in der Art des Einschlusses der betreffenden Objecte und es ist keineswegs gleichgiltig, von welchem Medium dieselben umgeben sind. Von Luft eingehüllte Objecte geben nur für Trockensysteme, deren numerische Apertur stets unter 1,0 bleibt, verlässliche Resultate. Bei Immersionssystemen jeder Art mit einer numerischen Apertur über 1,0 wird letztere dagegen, wie aus der Betrachtung auf S. 65 u. f. hervorgeht, wenn sich

eine sehr dünne Luftschicht zwischen Object und Deckglas befindet, immer auf 1,0 oder vielmehr auf wenig unter 1,0 herabgedrückt. Die Grenze des Auflösungsvermögens von Immersionssystemen mit möglichst grosser numerischer Apertur — z. B. von solchen für homogene Immersion — erreicht unter derartigen Umständen stets nur die einfache Wellenlänge bei centraler, die halbe Wellenlänge bei äusserst schiefer Beleuchtung, da alle über 90° abgelenkten Beugungsbüschel keinen Zutritt finden. Eine etwas weiter gehende Unterscheidungsgrenze tritt aber immer dann auf, wenn trocken eingelegte Objecte mit dem Deckglase in unmittelbarer Berührung (an dasselbe festgeklebt oder angeschmolzen) sind. Denn obgleich die Divergenz der äussersten Strahlen des eintretenden Lichtkegels auf 90° beschränkt bleibt, werden doch alle Beugungsbüschel aufgenommen, welche bis zur Grenze der vollen Oeffnung abgelenkt sind und gemäss der Gleichung 2 auf S. 311 wird die Unterscheidungsgrenze bestimmt durch die Formel

$$e = \frac{\lambda}{a + 1}$$

und die für die Lösung einer solchen Structur erforderliche numerische Apertur durch die Formel

$$a = \frac{\lambda - e}{e} = \frac{\lambda}{e} - 1$$

Ein Immersionssystem wirkt also in diesem Falle so, als ob seine numerische Apertur $= \frac{a + 1}{2}$, d. h. der Hälfte seiner um die Einheit vermehrten wirklichen numerischen Apertur gleich wäre.

Während z. B. im ersten Falle *Amphipleura pellucida* das feinste bis jetzt bekannte Probeobject aus der Reihe der Diatomeen von irgend einem Immersionssysteme nur bei Anwendung von blauem Spectrallicht gelöst werden könnte, reicht im anderen Falle ein solches von 1,2 numerischer Apertur noch aus, um die Lösung bei hellem Tageslichte zu ermöglichen.

Aus diesen Betrachtungen erklären sich denn auch alle die verschiedenen Resultate, welche verschiedene Beobachter mittelst Immersionssystemen an den schwierigeren, trocken eingelegten Probeobjecten (*Frustulia saxonica*, *Surirella gemma* etc.) und deren sogenannten „guten“ und „schlechten“ (d. h. an das Deckglas angeschmolzenen oder von dem Deckglase durch eine dünne Luftschicht getrennten) Exemplaren erlangt haben.

Soll ein Immersionssystem seine volle auflösende Kraft entfalten, so muss dasselbe — alle anderen Umstände als gleich vorausgesetzt — auf Objecte angewendet werden, welche von einem Medium eingeschlossen sind, dessen Brechungsindex der numerischen Apertur mindestens gleichkommt oder dieselbe übertrifft. Die Objectivsysteme für Wasserimmersion wie für homogene Immersion bis zu 1,33 numerischer Apertur entfalten

daher nach dieser Seite hin — und von anderen, später zu erörternden Umständen abgesehen — ihr volles optisches Vermögen schon an allen Präparaten, welche in die gewöhnlich gebräuchlichen Zusatzflüssigkeiten und Aufbewahrungsmittel: Wasser, Chlorcalcium, Glycerin, Canadabalsam u. dgl., eingebettet sind.

In Bezug auf die Immersionssysteme von grosser numerischer Apertur bleibt nur noch hinzuzufügen, dass das volle Auflösungsvermögen bei schiefer Beleuchtung zu seiner vollen Entwicklung einen Beleuchtungsapparat erfordert, dessen numerische Apertur, um noch ausreichend schiefe Strahlen zu liefern, derjenigen des betreffenden Objectivsystemes mindestens gleichkommen muss.

186

Hinsichtlich vereinzelter Körperchen irgend welcher Art: Fasern, Inhaltskörperchen der Zelle, Keimzellen der niedersten Organismen etc., ist die Wirkungsweise des Mikroskopes derjenigen des Fernrohres bei Beobachtung von Fixsternen zu vergleichen. Derartige Gegenstände werden durch das Mikroskop immer abgebildet, selbst wenn ihre Durchmesser hinter dem zehnten Theile der Wellenlänge zurückbleiben sollten. Ihre Sichtbarkeit hängt nicht sowohl von allgemeinen optischen Bedingungen, als von dem Lichtcontrast, welchen das Object in dem Sehfelde herbeiführt, sowie von dem Grade der Verbesserung der Aberrationen und besonders von der grösseren oder geringeren Empfänglichkeit der Retina des beobachtenden Auges für schwache Schatteneffekte ab. In allen diesen Fällen äussert sich die Wirkung der Oeffnung in einer ganz anderen Richtung, wie bei zusammengesetzten Structuren. Durchmesser und Gestalt des Bildes werden, sobald die Grösse des Objectes unter ein ansehnliches Vielfaches der Wellenlänge hinabgeht, nicht vollständig durch Durchmesser und Gestalt des letzteren bestimmt, sondern hängen von der numerischen Apertur und der Wellenlänge ab. Die unvollständige Aufnahme der Beugungsbüschel, welche von derartigen Objecten erzeugt werden und eine ununterbrochene und nahezu eiförmige Zerstreuung des gebeugten Lichtes über die ganze Halbkugel vorstellen, wirkt immer so, dass dadurch der scheinbare Durchmesser des Objectes, und zwar im Verhältnisse der mehr oder minder unvollständigen Aufnahme, vergrössert wird. Diese Vergrösserung erscheint stärker bei kleiner als bei grosser numerischer Apertur und demgemäss ist der scheinbare Durchmesser aller sichtbaren isolirten mikroskopischen Objecte für jede bestimmte numerische Apertur einem kleinsten Werthe unterworfen, welcher durch die Gleichung

$$\frac{\lambda}{2a}$$

annähernd gegeben ist.

Fasern oder Inhaltskörperchen (z. B. solcher in den Speichelskörperchen) von beliebigem unter ein grösseres Vielfaches der Wellenlänge herabgehendem Durchmesser werden, sobald sie überhaupt gesehen werden können, gesehen als Fäden oder Körperchen von einem Durch-

messer von nicht weniger als $0,4 \lambda$ mit einem Objectivsystem von 1,25 numerischer Apertur und von nicht weniger als $0,5 \lambda$ mit einem solchen von 1,0 numerischer Apertur.

Diese Thatsache schliesst die weitere ein, dass ganz oder nahezu isodiametrische Körperchen von beliebiger Gestalt immer als nahezu kreisförmige

Scheibchen von einem Durchmesser $= \frac{\lambda}{2a}$ gesehen werden, sobald ihr

wirklicher Durchmesser nach jeder Richtung erheblich kleiner als $\frac{\lambda}{2a}$

ist. Und dieses Verhalten tritt ausnahmslos ein, mögen die in Frage kommenden Objecte als helle Körperchen auf dunklem oder weniger durchsichtigem Hintergrunde oder als dunkle Körperchen in hellem Gesichtsfelde erscheinen. Dieser letztere Satz gründet sich auf den allgemeinen Lehrsatz der Beugungstheorie, dass das Beugungsspectrum — von der Lichtstärke des directen Strahlenkegels abgesehen — stets dasselbe bleibt, wenn die durchsichtigen und undurchsichtigen Stellen einer Beugung bewirkenden Structur vertauscht werden. In Folge dieser wesentlichen Gleichheit der Beugungsbüschel in beiden Fällen bleiben die Bedingungen für die Entwicklung des mikroskopischen Bildes ebenfalls gleich, obwohl die Bedingungen für dessen Wahrnehmung unter den erwähnten ungleichen Verhältnissen sehr verschiedene sein können.

Die Fähigkeit des Mikroskopes, eine objectähnliche Abbildung 187 regelmässig oder unregelmässig angeordneter Structureinzelheiten hervorzurufen, steht in geradem Verhältnisse zu der numerischen Apertur. Je grösser die letztere ist, desto feinere Structureinzelheiten werden noch ganz oder nahezu objectähnlich abgebildet. Dieser Schluss ergibt sich, wenn man die früher dargelegten Sätze über den Abstand der Beugungsspectren im Verhältniss zu dem linearen Abstände der betreffenden Structurelemente, wie über die Ausdehnung des Oeffnungsbildes in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes, d. h. der Austrittspupille des letzteren, in Betracht zieht. Nach diesen Sätzen stehen nämlich die ersteren Abstände in umgekehrtem Verhältnisse zu denen der betreffenden Structureinzelheiten des Objectes, während der lineare Durchmesser des Oeffnungsbildes, also die Ausdehnung des bei der Abbildung wirklichen Beugungsspectrums der numerischen Apertur direct proportional ist.

Betrachten wir zur Erläuterung wieder die Abbildung einer regelmässigen Streifung, deren Beugungsspectrum aus einer Reihe gleichweit entfernter isolirter Einzelspectren mit allmählig abnehmender Helligkeit besteht, so wird die Streifung schon „aufgelöst“, sobald nur eines der Seitenspectren, d. h. ein abgebeugter Strahl neben dem directen Strahl in das Objectiv eintritt, aber das Bild zeigt nur die typische oder schematische Form derselben, nämlich abwechselnd helle und dunkle Striche von annähernd gleicher Breite, ohne deren individuellen Character irgendwie zum Ausdruck zu bringen. Dieser individuelle

Character, also das richtige Verhältniss der Breite der hellen und dunklen Zwischenräume und die wahre Form der Umrisse, kommt im Bilde erst mehr zum Vorschein, wenn eine grössere Anzahl der beiderseits abgelenkten Beugungsbüschel in das Objectiv eintritt und ganz vollständig erst, wenn kein Büschel von noch merklicher Lichtstärke verloren geht. Wegen der mehr und mehr abnehmenden Lichtstärke der abgelenkten Strahlen wird aber die vollständige Aehnlichkeit zwischen Bild und Object praktisch schon erreicht werden, wenn nur eine gewisse, mässige Anzahl von Beugungsbüscheln — m auf jeder Seite des ungebeugten Strahles — Zutritt zum Objectiv erlangt. Ist nun wieder a die numerische Apertur des Objectives und e der Streifenabstand, so ist die Bedingung für den Eintritt der m ersten Beugungsbüschel bei centralem Einfall des directen Lichtes gegeben in der Gleichung

$$m \cdot \frac{\lambda}{e} = a \quad \text{oder} \quad e = m \cdot \frac{\lambda}{a},$$

woraus folgt, dass je grösser a ist, desto kleiner e sein darf — und je kleiner a , desto grösser e bleiben muss — wenn keine andere Beugungsbüschel denn solche von höherer als m ter Ordnung verloren gehen sollen. Irgend ein bestimmter Grad der Vollständigkeit des Bildes, oder der Aehnlichkeit mit dem Objecte, wird also für um so kleinere Maassverhältnisse erreicht, je grösser die numerische Apertur und erfordert um so grössere Maassverhältnisse, je kleiner die numerische Apertur.

Derselbe Schluss muss auch für Structures von ganz beliebiger Zusammensetzung gelten, sofern nur immer ähnliche Structures unter sich verglichen werden. Denn solche geben immer ähnliche (nur im Maassstab verschiedene) Lichtvertheilung im Beugungsspectrum in der Austrittspupille des Objectivsystemes. Je kleiner die Ausmaasse der Objectstructur, desto grösser muss also die numerische Apertur des Objectivs sein, damit stets derselbe Theil des gesammten Beugungsspectrums Zutritt erhalte, oder derselbe Grad von Aehnlichkeit zwischen Object und Bild erreicht werde — wie sehr auch die Lichtvertheilung in dem Beugungsspectrum von derjenigen verschieden sein mag, welche bei einer einfachen Streifung auftritt.

188 Aus den voranstehenden Erörterungen geht zunächst hervor, welche Bedeutung Begriffsbestimmung und Zahlenwerth der numerischen Apertur gewinnen, wenn es sich um die Vergleichung der Objectivsysteme verschiedener Art nach ihrer, von der freien Oeffnung abhängenden optischen Leistung handelt¹⁾.

Der Zahlenwerth für a ist nämlich ein absolutes Maass im strengsten Sinne der Messkunde, indem er in der That die Menge der von

¹⁾ Siehe auch: Abbe: On the estimation of the Aperture in the Microscope und: Crisp. Notes on aperture etc. (Journal of the Royal Microscopical Society in London, April- und Juniheft 1881.)

dem Objecte ausgehenden Strahlen misst, welche ein beliebiges Objectivsystem aufzunehmen vermag und so die wirklich wirksame Oeffnung der verschiedensten Objectivsysteme ohne Rücksicht auf wechselnde und zufällige Elemente (wie z. B. den Brechungsindex des betreffenden Mediums) bestimmt und sie mit einer natürlichen Normaleinheit in Vergleich setzt. Diese Einheit ist der Ausdruck für die Fähigkeit eines Objectivsystemes, die sämmtlichen, von der ganzen Halbkugel umfassten Strahlen aufzunehmen, welche von einem leuchtenden Punkte in einem Medium von dem Brechungsindex $= 1,00$ ausgehen. Sie wird dargestellt durch ein Objectivsystem, für welches

$$n \cdot \sin u = 1$$

ist, z. B. durch ein Trockensystem, dessen Oeffnungswinkel genau 180° betragen würde und kann in dieser Form immer verwirklicht werden durch irgend ein Immersionssystem, dessen numerische Apertur die Einheit überschreitet, wenn man dasselbe mit einem trocken eingelegten, das Deckglas fast berührenden Objecte verwendet, so dass es in ein Trockensystem umgewandelt wird, dessen untere Planfläche jetzt das Deckglas vorstellt, während bei dem äusserst geringen Abstände des letzteren von dem Objecte auch noch die Strahlen von äusserster Schiefe, d. h. von etwa 88° bis 89° Neigung, Zulassung finden. Von dieser Einheit kann irgend ein Theil durch ein Trockensystem, ein Vielfaches aber nur durch ein Immersionssystem repräsentirt werden. So z. B. würde ein Trockensystem von 60° ($\sin = 0,5$) die Hälfte, ein System für homogene Immersion mit dem entsprechenden Oeffnungswinkel von 120° etwa $\frac{4}{3}$ der Einheit gleichkommen.

Mittelst dieses Zahlenausdruckes für die numerische Apertur allein können Objectivsysteme verschiedener Art: Trockensysteme und Immersionssysteme in Bezug auf ihre von der Oeffnung abhängigen Leistungen mit einander verglichen werden. Denn es führt unser a sofort die quantitative Beziehung vor Augen, welche zwischen Lichtkegeln, die innerhalb verschiedener Medien mit verschieden grossen oder gleichen Divergenzwinkeln strahlen, also auch zwischen verschieden grossen, wie zwischen gleichen Oeffnungswinkeln in eben solchen verschiedenen Medien bestehen.

Um diese Verhältnisse zu deutlicherem Verständnisse zu bringen, 189 mögen folgende Betrachtungen dienen.

Nehmen wir an, es sei $J_1 O J_2$, Fig. 184 (a. f. S.), ein unter dem halben Convergenzwinkel U aus der Linse S in Luft austretender axialer Strahlenkegel und verfolgen wir dessen Randstrahlen $O J_1 O J_2$ durch die Linse hindurch rückwärts, indem wir vor derselben einmal ein dem Glase an Brechungsvermögen nachstehendes Medium mit dem Brechungsindex $= n$, das anderemal ein Medium von dem gleichen Brechungsindex des Glases $= n^*$ annehmen, so erreichen dieselben vor der Vorderfläche der Linse in dem ersten Falle den Achsenpunkt o , im anderen aber den Achsen-

indices stehen. Ebenso entspricht den Oeffnungswinkeln von $2 \times 90^\circ$ oder 180° in Luft ($n=1$), $2 \times 48^\circ$ oder 96° in Wasser ($n=1,33$) und $2 \times 41^\circ$ oder 82° in verdicktem Cedernholzöl ($n=1,52$) die gleiche numerische Apertur, nämlich

$$a = 1,0.$$

Betrachten wir weiter einen Strahlenkegel mit dem Divergenzwinkel $= 2U$, Fig. 185, welcher einmal von einem weniger dichten Medium mit dem Brechungsindex $= n$ aus, ein andermal von einem dichteren Medium mit dem Brechungsindex des Crownsglases $= n^*$ aus in die Linse S eintreten soll, so erhalten wir im ersten Fall einen austretenden Strahlenkegel mit dem Divergenzwinkel $= 2u$, im anderen einen solchen mit dem Divergenzwinkel $= 2u^*$. Derselbe eintretende Strahlen-

kegel entspricht also, da $\angle u < \angle u^*$ ist, für das schwächer brechende Medium $= n$ einen engeren mol , für das stärker brechende $= n^*$ einem weiteren in Luft austretenden Strahlenkegel $m^*o^*l^*$, d. h. ein Strahlenkegel in einem stärker brechenden Medium umfasst eine grössere Summe von Lichtstrahlen, als derselbe Strahlenkegel in einem schwächer brechenden Medium umfassen kann.

Da nun hier nach den früheren Erörterungen (S. 72)

$$u^* = n^* \cdot \sin U$$

und

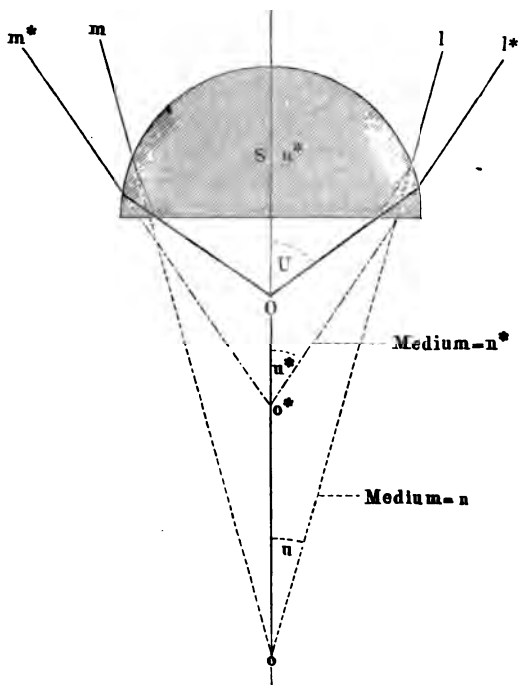
$$u = n \cdot \sin U$$

sein muss und da $u^* > u$ ist, so leuchtet ein, dass auch

$$n^* \cdot \sin U > n \cdot \sin U$$

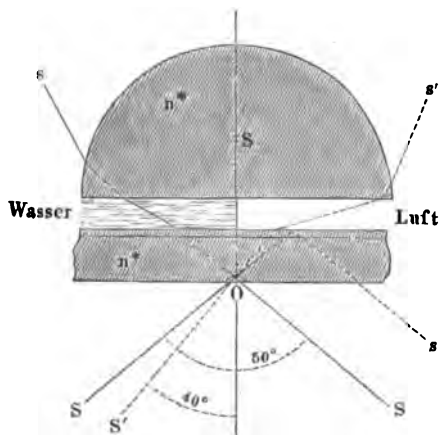
sein und demgemäss für ein und denselben Oeffnungswinkel U die numerische Apertur a für das dichtere Medium $= n^*$ einen grösseren Werth haben muss, als für das weniger dichte Medium $= n$. Vergleichen wir z. B. die Oeffnungswinkel von 100° in verdicktem Cedernholzöl und in Wasser einmal unter sich, dann mit einem solchen von

Fig. 185.



100° in Luft, so entspricht der erstere einer um $\frac{1,52}{1,33} = 1,14$ mal grösseren numerischen Apertur als der zweite, der erstere und der zweite einer um je 1,52 mal und 1,33 mal grösseren numerischen Apertur als der letzte, so dass sich, da der *sinus* des halben Oeffnungswinkels = 0,76 ist, als Werthe des a ergeben würden: für das Trockensystem 0,76, für die Wasserimmersion 1,02, für homogene Immersion 1,16. Setzen wir ferner den Oeffnungswinkel in Luft = $2 \times 90^\circ$, d. i. = 180° , also gleich dem ideellen Maximum, über welches derselbe in keinem Medium hinausgehen kann, so erhalten wir als Aequivalent für diesen Oeffnungswinkel in Wasser ($n = 1,33$) oder verdicktem Cedernholzöl ($n = 1,52$) die kleineren Oeffnungswinkel von beziehentlich 96° und 82° und es ist leicht einzusehen, dass diese Winkel in ihren betreffenden Medien noch bis zur Erreichung des ideellen Maximums, also weit über das Maass hinaus vergrössert werden können, welches dem Oeffnungswinkel von 180° in Luft entspricht. Damit ist aber gesagt, dass ein Immersionssystem irgend welcher Art eine über die Einheit hinausgehende numerische Apertur haben kann und auch wirklich hat, sobald sein Oeffnungswinkel über den Winkel der Totalreflexion zwischem dem betreffenden Medium und Luft hinausgeht. Ebenso ist klar, dass ein solches System dem mikroskopischen Bilde noch Strahlen zuführen kann, welche demselben von dem Luftraume aus niemals zugeführt werden könnten. Denken wir uns z. B. ein durchsichtiges Object in einem Medium $n = 1,52$ (etwa Canadabalsam) eingebettet und führen ihm mittelst eines entsprechenden (z. B. des Abbe'schen) Beleuchtungsapparates einen Lichtkegel mit einem Divergenzwinkel von $2 \times 50^\circ$, also von 100° zu, so sendet dasselbe

Fig. 186.



einen gleichweit geöffneten Lichtkegel von je einem Flächenelemente aus nach dem Objectivsystem hin. Befindet sich nun z. B. zwischen der ebenen Fläche der Frontlinse und der Deckglasoberfläche eine Wasserschicht (Fig. 186 links), so werden, da der Winkel der Totalreflexion zwischen Wasser und dem Canadabalsam etwa 60° beträgt, sämtliche Strahlen jenes Lichtkegels (der in Wasser einen Divergenzwinkel von wenig über 116° besitzt) ungehindert in das Objectiv eintreten können,

sobald dessen numerische Apertur etwa 1,13 gleich ist. Wird dagegen der Zwischenraum zwischen Deckglasoberfläche und vorderster Fläche

des Objectivsystems von Luft eingenommen (Fig. 186 rechts), so werden alle Lichtstrahlen, welche beiderseits der Achse über den Winkel der Totalreflexion zwischen Canadabalsam und Luft, also über 41° geneigt sind, an der oberen Deckglasoberfläche vollständig zurückgeworfen und können weder in den Luftraum, noch in das Objectiv eintreten. Damit ist denn auch das früher (S. 241) berührte Uebergewicht der Immersionssysteme erklärt, welches dieselbe den Trockensystemen gegenüber behaupten, sobald es sich um Leistungen handelt, welche von der Oeffnung abhängen. Der Ueberschuss über die Einheit der numerischen Apertur bezeichnet hier die Fähigkeit eines Objectivsystemes in gleichem Verhältnisse nicht nur mehr, sondern auch qualitativ neue von dem Objecte ausgehende Strahlen aufzunehmen.

Nächst der Klärung dieser Verhältnisse giebt aber auch der Werth a 190 den Schlüssel an die Hand für die Lösung zweier anderer wichtiger Fragen.

In dem hier gewonnenen Resultate findet zunächst die Frage, wieweit bei den gegenwärtig zu Gebote stehenden Mitteln die Grenze des Unterscheidungsvermögens unserer Mikroskope hinaus gerückt werden kann, ihre Erledigung. Setzen wir normale Beleuchtung mittelst hellen Tageslichtes voraus, dessen Wellenlänge, wie wir gesehen haben, $0,55 \mu$ gleichgesetzt werden kann, so ergeben sich die Grenzwerte für Trockensysteme wie für verschiedene Immersionssysteme durch folgende Betrachtung. Der Oeffnungswinkel eines optischen Systemes kann auf das optisch schwächste, d. h. das den kleinsten Brechungsindex darbietende Mittel unmittelbar vor dem Mikroskopobjective (die Zwischenschicht zwischen der vorderen Objectivlinse und der Deckglasoberfläche) bezogen nach seinem angularen Werthe genommen niemals 180° überschreiten (wohl kaum erreichen). Der Brechungsindex dieses schwächsten Mittels giebt daher, da $\sin u = 1$ ist, unmittelbar das höchste Maass für die numerische Apertur an, welche einem optischen Systeme annähernd gegeben werden kann, und dieses beträgt für das Trockensystem, für welches $n = 1$ ist, 1,00, für die Wasserimmersion 1,33, für die homogene Immersion etwa 1,5. Daraus ergibt sich als äusserste Grenze der Unterscheidungskraft für ideelle Systeme der genannten Art

$$e = \frac{0,55}{2} = 0,27 \mu, e = \frac{0,55}{2,66} = 0,20 \mu, e = \frac{0,55}{3} = 0,18 \mu$$

Nun können aber in Wirklichkeit die ideellen numerischen Aperturen nicht erreicht werden. Zunächst bilden die zu überwindenden Schwierigkeiten in Beziehung auf die genügende Verbesserung der Abweichungen ein Hinderniss, dann aber tritt ihnen besonders der Umstand entgegen, dass der Vorderlinse des Objectivsystemes — selbst bei dem in neuester Zeit angewendeten aussergewöhnlichen Constructionstypus — nicht mehr die genügende freie Oeffnung gegeben werden kann. Etwas über neun Zehntel des theoretischen Maximums, eine numerische Apertur von etwa 1,25 bei der Wasserimmersion, von 1,40 bei der homogenen Immersion wird ungefähr das Aeusserste sein, was die Technik ohne Beeinträchtigung der übrigen un-

erlässlichen Eigenschaften — und sicher nur bei Objectivsystemen von verhältnissmässig grosser Brennweite etwa 3 bis 4 mm — noch leisten kann, und auch in dem $\frac{1}{8}$ " für Wasserimmersion von Powell und Lealand mit etwas über 1,26 numerischer Apertur, sowie in dem $\frac{1}{8}$ " für homogene Immersion von Zeiss mit 1,40 numerischer Apertur, dem $\frac{1}{12}$ von Powell und Lealand und $\frac{1}{8}$ " von E. Gundlach mit 1,43 numerischer Apertur bereits geleistet hat. Damit erreicht aber die mittelst dieser Objectivsysteme noch sichtbar zu machende Streifendistanz für normales Tageslicht bei rein centraler Beleuchtung je 0,43 und 0,39, bei äusserst schiefer je 0,21 und 0,19 μ .

Die Unterscheidungsgrenze des Mikroskopes, welche unter den gegenwärtigen Verhältnissen nicht weiter gesteigert werden kann, liegt also für die gebräuchliche Beleuchtungsweise so, dass sie unter den günstigsten Umständen für noch zulässige, äusserst schiefe Beleuchtung über den Betrag von $\frac{3}{8}$, bei rein centraler aber über $\frac{3}{4}$ der Wellenlänge (etwa 0,55 μ) des weissen Lichtes nicht hinausgeht. Mittelst Beleuchtung durch homogenes blaues Licht von etwa 0,43 μ Wellenlänge (Fraunhofer'sche Linie G) würden sich unter den gleichen Beleuchtungsverhältnissen die obigen Beträge höchstens auf etwa $\frac{3}{10}$ und $\frac{6}{10}$ dieser letzteren, d. h. auf etwa 0,15 μ und 0,30 μ herabdrücken lassen.

Ferner gewährt der Werth a auch einen Maassstab für die Entscheidung darüber, welche Vortheile sich aus der Vergrösserung des Oeffnungswinkels ergeben, sobald dieser der äussersten Grenze näher rückt. Fassen wir z. B. zwei Trockensysteme ins Auge, von denen das eine einen Oeffnungswinkel von 110° , das andere von 150° besitzt, so erscheint zu Gunsten des letzteren ein Gewinn von etwa 36 Proc. vorhanden zu sein, welcher sich jedoch durch Vergleichung der entsprechenden numerischen Aperturen von je 0,82 und 0,96 auf 17 Proc. reducirt. Nehmen wir auf der anderen Seite den Fortschritt, welcher sich von einem Systeme für Wasserimmersion mit einer numerischen Apertur von 1,25 und einem Oeffnungswinkel von 140° in Wasser und von einem solchen für homogene Immersion mit der numerischen Apertur von 1,40 und einem Oeffnungswinkel von 138° in der betreffenden Immersionsflüssigkeit bis zu dem idealen Maximum (180° in dem betreffenden Medium) ergibt, so beträgt derselbe nach den Winkelgrössen berechnet je 28 und 30 Proc., während er in der That auf 6 bis 7 Proc. herabgeht. Diese letzte Thatsache beleuchtet zugleich das Maass des Gewinnes, welches man etwa von der weiteren Vergrösserung der Oeffnung erwarten könnte, selbst wenn man die gegenwärtig benutzten stärkst brechenden Substanzen zur Einbettung gewisser Präparate (Diatomeen), wie Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff $n = 2,1$ als Immersionsflüssigkeit und als Material für die Frontlinsen angewendet voraussetzen und dadurch das ideelle Maximum der numerischen Apertur auf entsprechend höheren Werth gebracht denken wollte. In Anbetracht, dass auch dann der ganze Gewinn nicht

viel mehr als 30 Proc. erreichen könnte, würde der Vortheil darin gipfeln, dass man etwa bei gewissen Diatomeen noch Anzeichen von Structuren entdeckte, wo man bis jetzt leere Flächen abgebildet sieht, dass bei anderen Gebilden die jetzt nur zum Theil in das Objectiv eintretenden lichtstarken Beugungsbüschel alle von demselben aufgenommen und die Structurmerkmale etwas schärfer abgebildet würden, oder dass in gewissem Falle noch etwas stärker abgebeugte Strahlen zur Wirksamkeit gelangten und von den bis jetzt inhaltsärmsten Formen, welche die nur durch wenige Beugungsbüschel hervorgerufene Bilder liefern, noch etwas mehr von dem Inhalte der wirklichen Structureinzelheiten zugänglich machten. Für das tiefere Eindringen in die thatsächliche Structur der feineren Naturgebilde würde damit aber immerhin noch wenig gewonnen sein. Denn dasjenige Detail von körperlichen Structuren, welches der Kleinheit seiner Ausmaasse halber im strengen Sinne des Wortes durch unsere heutigen Objectivsysteme nicht mehr abgebildet werden kann, würde auch dann noch in nur unvollständigen Bildern zur Wahrnehmung gelangen, welche höchstens einen wenig höheren Grad der Aehnlichkeit darzubieten vermöchten.

4. Verhältniss zwischen Vergrößerungs- und Abbildungsvermögen oder zwischen Brennweite und numerischer Apertur.

Die Betrachtungen über die Höhe der förderlichen Vergrößerung 191 (Seite 298 u. f.), die Reinheit, Schärfe etc. des mikroskopischen Bildes und die Grenzen des Auflösungsvermögens lehren, dass die förderliche Vergrößerung für jeden bestimmten Grad technischer Vollendung der Construction (d. h. für die je nach Umständen möglichst hohe Vollkommenheit der Verbesserung der Abbildungsfehler) der Brennweite des Objectivsystemes umgekehrt proportional ist und das von der numerischen Apertur abhängige Abbildungsvermögen zu dieser in geradem Verhältnisse steht. Daraus ergibt sich, dass die zwei für die Sichtbarmachung des räumlich Kleinen und damit für die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes gleich unentbehrlichen Factoren bei einer vernünftigen Construction unseres Instrumentes in ein derartiges Verhältniss zu einander gebracht werden müssen, dass die Grenzen der ersten und letzten annähernd zusammenfallen.

Betrachten wir das entsprechende Verhältniss zwischen der förderlichen Vergrößerung und der numerischen Apertur, so würde es ebenso nutzlos sein, die numerische Apertur auf eine Höhe zu bringen, welche die förderliche Vergrößerung nicht mehr zu verwerthen gestattet, als die letztere in höherem Maasse zu steigern, als es das Abbildungsvermögen eines Objectivsystemes nöthig macht. Im ersten Falle, d. h. wenn die

numerische Apertur zu gross wäre im Verhältnisse zu der von der Brennweite dargebotenen oder ermöglichten Vergrösserung, würden wir ein nutzloses Abbildungsvermögen haben, welches noch Details abzubilden vermöchte, die nicht gesehen werden könnten; im anderen Falle, wenn die Brennweite eine höhere Vergrösserung bedingte, als diejenige, welche das der numerischen Apertur noch zugängliche Detail erforderte, würde eine leere Vergrösserung entstehen, die im Bilde Nichts vorfände, was ihrer bedürfte. Im Anschlusse an das Gesagte ergeben sich gewisse, vielfach noch unbeachtete, aber die eingehendste Beachtung verdienende Grundsätze für die Art und Weise, in welcher Brennweite und numerische Apertur einander angepasst werden sollen. Im Allgemeinen folgt daraus, dass mit kleiner und mässiger Oeffnung, schwache und mässige, mit grosser Oeffnung starke Vergrösserungen beziehentlich kleine Brennweiten zu verbinden sind. Im Besonderen aber ergibt sich ein bestimmtes Verhältniss, in welches die Brennweite zu den grössten für eine bestimmte Constructionsform zulässigen numerischen Aperturen gebracht werden muss. Fassen wir zunächst die starken Trockensysteme ins Auge, so erscheint bei denselben, wenn der freie Objectabstand nicht in ganz unzulässiger Weise beschränkt und dadurch das Objectivsystem für den regelrechten wissenschaftlichen Gebrauch wenig geeignet gemacht werden soll, eine ausreichende Einschränkung der sphärischen Abweichung nicht mehr möglich, wenn der Oeffnungswinkel über 105° bis 115° und damit die numerische Apertur über 0,80 bis 0,85 hinausgeht. Zwar könnte eine Vergrösserung des Oeffnungswinkels zulässig werden, wenn die vordere Linse in einer von der Kugelfläche abweichenden Form geschliffen wird. Aber wer die technischen Bedingungen für derartige Arbeit kennt, der wird zugeben müssen, dass die Herstellung solcher Formen mit Gewähr der erforderlichen Gleichmässigkeit unmöglich ist und stets eine Sache des Zufalls bleibt. Unter einer grossen Anzahl von Objectivsystemen mit unzulässig gesteigerter Apertur werden meist nur einzelne, besonderen Glücksfällen zu verdankende vorkommen, welche bei ihrem grossen Oeffnungswinkel nicht mit erheblichen Fehlern behaftet sind. Die sämtlichen übrigen stellen aber diejenigen Gläser dar, bei welchen man — entweder durch Abblenden der fehlerhaften Zonen, oder indem man bei Correctionssystemen mittelst der Aenderung einer Linsendistanz die vorhandenen Aberrationsreste zwischen Mitte und Rand der freien Oeffnung gleichsam hin- und herschiebt und so eine einzelne Zone auf Kosten der übrigen vorübergehend mehr oder minder aberrationsfrei macht — das Verfahren einschlägt, welches von manchen Schriftstellern als „Umsetzung des Auflösungsvermögens in Begrenzungsvermögen und umgekehrt“ bezeichnet wird. Durch diese Thatfachen, welche Jeder beobachten kann, werden die gegen die Abbe'sche Grenzbestimmung für die numerische Apertur von Trockensystemen erhobenen Einwände auf ihren wahren Werth zurückgeführt.

Der oben angegebenen numerischen Apertur entspricht für schiefes

Licht ein linearer Abstand kleinsten Details (Streifendistanz u. dgl.) von etwa $0,35$ bis $0,32\mu$. Soll nun dieses Detail einem normalen Auge deutlich zur Wahrnehmung gebracht werden, so erfordert dasselbe unter Annahme eines Seh winkels von mindestens zwei Bogenminuten, dessen Tangente $= 0,00058$ ist, für eine Sehweite von 250 mm eine Flächenausbreitung auf $250 \cdot 000058$ mm oder etwa 150μ , welche von einer fehlerlosen Vergrößerung von 400 bis 500 erreicht wird. Diese Gesamtvergrößerung steht für eine etwa fünffache Angularvergrößerung, wie sie z. B. das Ocular 3 von Zeiss bei 160 mm langem Tubus gewährt, eine Lupenvergrößerung von 80 bis 105 mal zur Seite und hieraus berechnet sich die Brennweite des Objectivsystemes zu 3 bis $2,5$ mm. Mit dieser Brennweite muss daher bei den Ansprüchen, welche man heut zu Tage an die Technik stellen darf, das normale Auflösungsvermögen der Trockensysteme erschöpft sein.

Die Wasserimmersion und die homogene Immersion lassen, wie wir gesehen haben, für die betreffenden Objective noch numerische Aperturen, erstere bis zu $1,25$, letztere bis zu $1,40$, zu, welchen Streifendistanzen von $0,22\mu$ und $0,19\mu$ entsprechen. Diese Werthe erfordern aber Gesamtvergrößerungen von 700 bis 800 fach und müssen demnach unter Voraussetzung vollkommener Construction und einer sechs-, resp. neunfachen Angularvergrößerung Objectivsystemen mit 100 - bis 120 facher, beziehentlich 90 facher Lupenvergrößerung, also mit einer Brennweite für Wasserimmersion von $2,5$ bis 2 mm, für homogene Immersion von 3 bis $2,5$ mm jedenfalls zugänglich sein.

Bezeichnet nun eine 700 - bis 800 fache Vergrößerung auch diejenige Grenze, bei welcher die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes theoretisch genommen erschöpft ist, d. h. bei der man Alles sehen kann, was ein normales Auge in dem Mikroskope zu sehen vermag, so ist hiermit doch immerhin nicht das letzte Maass der wissenschaftlich noch verwendbaren und nutzbaren Vergrößerungen gegeben. Für gewisse Structurverhältnisse und zu bestimmten Zwecken wird es jedenfalls bequem sein, wenn nicht nothwendig werden, die Flächenausbreitung der kleinsten, den betreffenden numerischen Aperturen noch zugänglichen linearen Ausmaasse mindestens um $\frac{1}{3}$, also auf etwa 200μ zu steigern. Damit würden sich aber die oben gefundenen Zahlen bei dem Trockensysteme auf 500 bis 700 , bei den Immersionssystemen auf 900 bis 1200 erhöhen. Es würden also, da es meist angenehmer und unter Umständen erforderlich ist, mit schwächeren Ocularen zu arbeiten für erstere noch Brennweiten von 2 mm, für letztere von höchstens 1 mm als vorzüglich verwendbare in Betracht kommen. Was darüber hinausgeht, wie z. B. Objectivsysteme mit Brennweiten von $0,5$ mm und weniger, kann auf wissenschaftlichen Werth keinen Anspruch erheben.

Mit den genannten Brennweiten von 2 und 1 mm und den entsprechenden numerischen Aperturen ist die Grenze erreicht, bis zu der, unter den zur Zeit obwaltenden Umständen, eine Ausdehnung der Vergrö-

nung und des Abbildungsvermögens zulässig erscheint. Da nach dem Gesagten eine noch weitere Erhöhung des Abbildungsvermögens (Vergrößerung der numerischen Apertur) mit den gegenwärtig gebotenen Mitteln als ausgeschlossen erscheint, so kann auch eine weitere Steigerung der Vergrößerung des Mikroskopes keinen Nutzen bringen. Das Streben der praktischen Optik muss vielmehr darauf hinausgehen, diejenigen Abbildungsfehler, welche die Zeichnung des mikroskopischen Bildes beeinträchtigen, und sohin die nutzbare Vergrößerung herabdrücken, in möglichst erreichbarem Grade zu beseitigen und dahin zu gelangen, dass die Vergrößerungen, über welche man gegenwärtig verfügt, und zwar die höheren wie die geringeren, in gleicher Vollkommenheit durch verhältnissmässig schwächere Objectivsysteme zu erreichen sind. Wenn es gelingt, mittelst Objectivsystemen von 5 bis 3 mm Brennweite ebenso hohe Vergrößerungen vortheilhaft zu erreichen, wie sie heute solche von 2 und 1 mm Brennweite gewähren, dann wird dies einen entschiedenen, für den wissenschaftlichen Gebrauch des Mikroskopes nützlichen Fortschritt der optischen Kunst bezeichnen. Es würde damit einerseits die grosse äussere Unannehmlichkeit und Erschwerung beseitigt, welche das Arbeiten mit hohen Vergrößerungen wegen des kurzen Arbeitsabstandes mit sich bringt, andererseits würde sich ein hochanzuschlagender Vortheil darin bieten, dass jedes einzelne Objectiv einen weiten Spielraum in den brauchbaren, mittelst in weiten Grenzen noch förderlichen Angulärvergrößerungen zu erreichenden Vergrößerungen umfasste. Ja auch in Hinsicht auf die rein optische Wirkung würde die Erzeugung der höheren Vergrößerungen durch stärkere Oculare, statt durch stärkere Objectivsysteme einen in der Vermeidung gewisser, die Schärfe ausserhalb der Achse benachtheiligenden Abbildungsfehler bedingten Gewinn ergeben. Bedenken, welche gegen den Gebrauch sehr starker Oculare insofern auftauchen könnten, als man meinte, derselbe brächte erhebliche Unbequemlichkeiten mit sich, würden sich bald als grundlose erweisen. Denn wenn sie einmal erforderlich werden sollten, lassen sich Linsencombinationen construiren, welche es gestatten, beliebig hohe Vergrößerungen in ebenso bequemer Weise zu erhalten, wie es heut zu Tage mittelst der gewöhnlichen Oculare geschieht¹⁾.

II. Ermittlung der Grundfactoren des optischen Vermögens.

Wenden wir uns nun zur Ermittlung derjenigen Constructionselemente, welche den einzelnen Bestandtheilen des optischen Vermögens zur Grundlage dienen, so haben wir uns mit der Bestimmung

¹⁾ Siehe Abbe: Die optischen Hilfsmittel der Mikroskopie. Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der internationalen Ausstellung in London. Braunschweig 1881.

1. der Brennweite von Objectivsystemen und Ocularen,
 2. des Correctionszustandes und der sich hieran anschliessenden Eigenschaften des optischen Apparates, und
 3. der numerischen Apertur
- zu beschäftigen.

1. Bestimmung der Brennweite.

Bevor wir zu den einzelnen Methoden der Brennweitenbestimmung 192 übergehen, wollen wir die Verfahrungsweisen zur Ermittlung der Lage der vorderen und hinteren Brennpunkte (Brennebenen) von Objectivsystemen und Ocularen sowie der davon abhängigen optischen oder reducirten Tubuslänge betrachten, da diese Elemente sowohl für die ersteren wie für die früher schon durchgeführten Bestimmungen der Gesamtbrennweite des Mikroskopes, des freien Objectstandes etc. zur Anwendung kommen.

Die Lage von F_1^* , d. h. von der hinteren Brennebene des Objectivsystemes, wird gefunden, wenn man das letztere in der gewöhnlichen Weise an dem Tubus verwendet und unter Zuhilfenahme der auf S. 83 u. f. beschriebenen teleskopischen Beobachtungsweise die Lage des von einem entfernten Gegenstande (Schornstein etc.) mittelst des Planspiegels in die Achse des Mikroskopes geworfenen Bildes auf dieser bestimmt. Zu dem Ende muss, ehe das Objectivsystem an den Tubus geschraubt wird, das Hilfsmikroskop, um dessen vorderen Brennpunkt ein- für allemal mit dem unteren Tubusrand zusammenfallend zu haben, auf eine an diesen angedrückte Ebene (man kann hierzu einen bestäubten Objectträger benutzen) genau eingestellt und diese Stellung (a) durch eine Marke an dem Auszug des Rohres bezeichnet, oder, wenn dieser eine Theilung besitzt, abgelesen und notirt werden. Hierauf schraubt man das betreffende Objectivsystem an den Tubus an und stellt das Hilfsmikroskop auf das oben erwähnte Bild ein. Die jetzt erhaltene Stellung des Auszugsrohres (b) wird wieder mittelst Marke bezeichnet oder abgelesen und die Differenz beider Stellungen (a und b) gemessen oder berechnet. Diese Differenz, welche entweder positiv (wenn die zweite Stellung eine tiefere als die erste, beziehentlich die erste Ablesungszahl eine grössere, als die zweite war) oder negativ (wenn die zweite Stellung höher liegt als die erste, beziehentlich die erste Ablesungszahl kleiner als die zweite) sein kann, ergiebt den Abstand des Brennpunktes (der Brennebene) F_1^* von dem unteren Tubusrande und auch denjenigen von der hinteren Linsenfläche — falls der nicht mit dieser praktisch so gut wie zusammenfällt — da man auf diese gleichfalls das Hilfsmikroskop einstellen und die Differenz zwischen der Einstellung auf die F_1^* und die Linsenfläche messen oder berechnen kann. Hätte man z. B. gefunden: $a = 255,4 \text{ mm}$, $b = 240 \text{ mm}$, so würde sich der Abstand von F_1^*

von dem unteren Tubusrande $d = + 15,4$ mm ergeben (d. h., es wäre F_1^* 15,4 mm unterhalb des letzteren gelegen).

Der Abstand des vorderen Brennpunktes (oder der vorderen Brennebene) F_1 eines Objectivsystemes von seiner Vorderfläche, sowie des vorderen und hinteren Brennpunktes (oder der resp. Brennebene) F_2 und F_2^* eines Oculares von den entsprechenden Oberflächen seiner Linsen ist gleichfalls leicht zu ermitteln. Man legt zu diesem Zwecke das Objectivsystem oder Ocular möglichst genau centrirt und mit der betreffenden Linsenfläche nach oben gewendet auf den Objecttisch und stellt mittelst eines schwachen Objectivsystemes, oder bei Ocularen und schwachen Objectiven mittelst des Hilfsmikroskopes, zunächst auf die Linsenfläche (d. h. auf darüber vertheilte Staubtheilchen u. dgl.) und dann — beim Gebrauch des Hilfsmikroskopes mittelst Schiebung, im anderen Falle mittelst der feinen Einstellung auf das mittelst des Planspiegels in die Achse geworfene Bild entfernter Gegenstände ein.

Die Einstellungsdivergenz wird dann im ersten Falle aus den Ablesungen der betreffenden Zahlen der Theilung gefunden, im anderen Falle muss dieselbe an der Theilung des Schraubenkopfes der feinen Einstellung abgelesen werden.

Dies Verfahren ergibt zunächst den Abstand des vorderen Brennpunktes von der Vorderfläche eines Objectivsystemes, die s_1 , und ebenso des F_2^* von der Aussenfläche der Augenlinse, die s_2^* , wie der F_2 hinter der Vorderfläche der Collectivlinse, die s_2 (zwischen den beiden Linsen liegend). Um nun auch noch den Abstand, d^* , der vorderen Brennebene F_2 des Oculares von der hinteren Fläche der Augenlinse und damit, weil die letztere bei der gewöhnlichen Einrichtung annähernd in den oberen Tubusrand fällt, von diesem (praktisch ausreichend genau) zu erhalten, braucht man bloss von der Entfernung zwischen der Hinterfläche der Augenlinse und der Vorderfläche der Collectivlinse den vorher gefundenen Abstand abzuziehen.

Ist durch dieses Verfahren der Abstand der hinteren Brennebene F_1^* des Objectivsystemes von dem unteren und der vorderen Brennebene F_2 des Oculares von dem oberen Tubusrande festgestellt, so ergibt sich hieraus die optische Tubuslänge Δ , wenn man zu der wirklichen Tubuslänge (Länge des Messingrohres) den positiven oder negativen Abstand ($+d$), der F_1^* vom unteren Tubusrande addirt und den Abstand (d^*) der F_2 vom oberen Tubusrande von dieser Summe abzieht.

Wäre z. B. gefunden

$$d = - 2 \text{ mm}$$

$$d^* = 18 \text{ mm}$$

und es betrage die Rohrlänge 160 mm, so fände man

$$\Delta = 160 - 2 - 18 = 140 \text{ mm}$$

Die Bestimmung der Brennweite kann, je nachdem man dabei die Definition der Brennweite, die Grundgleichung II, oder das Convergenz-

verhältniss conjugirter Strahlen in aplanatischen Punkten und die daraus abgeleitete Sinusregel (S. 199), welche im Wesentlichen wieder auf die Definition der Brennweite hinausläuft, zu Grunde legt, nach verschiedenen Methoden ausgeführt werden, welche bei sorgfältiger Ausführung grade in ihren theoretischen Grundlagen für die Genauigkeit der Resultate volle Bürgschaft gewähren. Die Verwendbarkeit dieser Methoden, zu deren Verwirklichung in mehreren Fällen der Besitz des schon beschriebenen Hilfsmikroskopes vorausgesetzt wird und eine Millimetertheilung des Auszuges erwünscht und vortheilhaft ist, wechselt je nach der Grösse der Brennweite, so dass — worauf wir bei Darstellung der Ausführungsweisen näher zurückkommen werden — die eine nur für Linsen und Linsensysteme von grösserer, die andere für solche von kleinerer Brennweite geeigneter erscheint.

Für Objectivsysteme von grosser Brennweite, für unachromatische oder unaplanatische Linsensysteme, z. B. Oculare, wie für Einzellinsen eignet sich vorzugsweise diejenige Methode, welche darauf abzielt, den fundamentalen Begriff der Brennweite — wenigstens annähernd — zu verwirklichen, wonach diese gleich ist dem Verhältnisse des Gesichtswinkels (Sehwinkels), oder — sofern bei kleinen Winkeln der Winkel statt seiner Tangente, also statt

$$f = \frac{h^*}{\operatorname{tg} u}, \quad f = \frac{h^*}{u}$$

gesetzt werden kann — der angularen Grösse eines unendlich entfernten Gegenstandes zur linearen Grösse seines Bildes in der hinteren Brennebene.

Da für die hier in Betracht kommenden Linsensysteme, Objective wie Oculare u. dgl., ein Abstand von 1 m dem Zwecke so gut genügt, wie eine unendliche Entfernung, so wird die aus dieser Begriffsbestimmung sich ergebende Methode der Brennweitenbestimmung leicht ausführbar. Das einfachste Verfahren ist folgendes: Auf einer Fensterscheibe befestigt man, um je nach Bedürfniss verschiedene Winkelwerthe zur Verfügung zu haben, als Objecte drei Papierscheibchen von je 5 cm Durchmesser derart, dass die beiden äusseren von dem mittleren je einen Abstand von 2,5 cm erhalten. Dadurch gewinnt man drei lineare Durchmesser $d_1 = 5$ cm (Durchmesser des mittleren Scheibchens), $d_2 = 10$ cm (Abstand der inneren Ränder der beiden äusseren Scheibchen), $d_3 = 20$ cm (Abstand der äusseren Ränder dieser Scheibchen). Bringt man jetzt das Mikroskop in eine solche — durch Marken auf dem Arbeitstische fixirte — Stellung zu dem mittleren Scheibchen, dass der Abstand von ihm bis zur Mitte des Planspiegels und von da bis zur Tischebene des Mikroskopes, also $AC + CF = aF (= D) = 1$ m (oder verhältnissmässig mehr, wenn man grössere Beträge der d in Anwendung bringen will) wird Fig. 187 (a. f. S.), so bedingt dieser einen bestimmten, bekannten Sehwinkel, nämlich

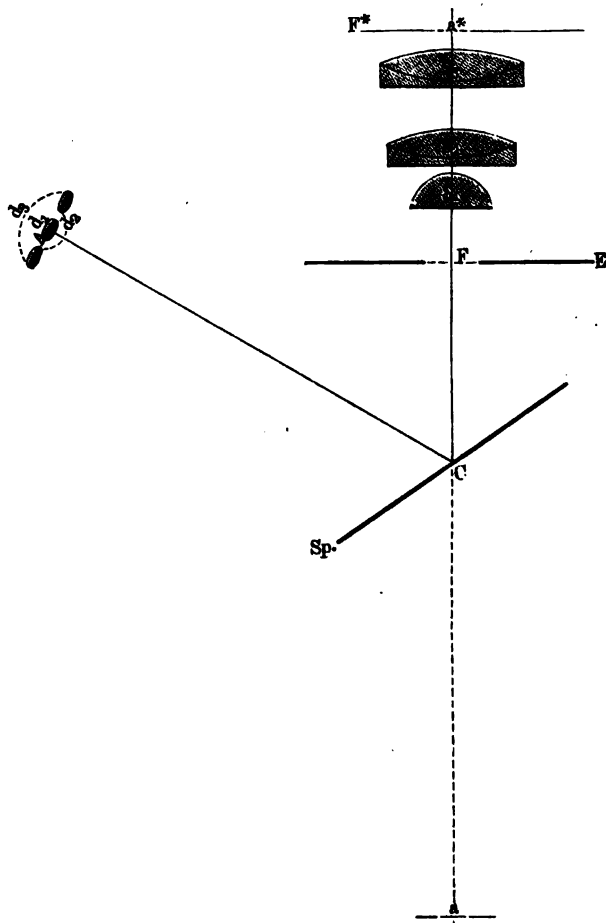
$$u_1 = \frac{d_1}{D} = 0,05 \text{ } (1/20)$$

$$u_2 = \frac{d_2}{D} = 0,1 \text{ } (1/10)$$

$$u_3 = \frac{d_3}{D} = 0,2 \text{ } (1/5)$$

Wird jetzt das zu messende Objectiv oder Ocular annähernd auf die Tischebene E eingestellt, die betreffende Bildgrösse a^* in der hin-

Fig. 187.



teren Brennebene mittelst des Hilfsmikroskopes mikrometrisch gemessen und die gefundene Zahl, jenachdem man d_1 , d_2 oder d_3 in Betracht gezogen hat, mit 20, 10 oder 5 multiplicirt, so erhält man die Brennweite f . Hätte man z. B. für ein Ocular als Werth von a^* (in Beziehung auf

einen Winkel $u = 1/20$ 2,5 mm gefunden, so würde sich als Werth für f 2,5 . 20, d. h. 50 mm ergeben haben.

Für die bezeichneten Linsencombinationen bietet diese Methode insofern besondere Vortheile, als die Einstellung derselben auf die Ebene des Objecttisches nicht sehr empfindlich, und da man stets mit sehr kleinen Winkelwerthen (höchstens $\sin u = 0,1$) operirt, von der Voraussetzung des Aplanatismus unabhängig ist.

Die zweite auf die Grundgleichung II

195

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = - \frac{x^*}{f^*}$$

gegründete Methode ist namentlich für die Bestimmung der Brennweite von schwachen und mittleren Objectivsystemen sehr bequem und sicher, jedoch auch für stärkere Objectivsysteme, wie für Oculare und einzelne Linsen verwendbar. Es ist nach der angezogenen Gleichung nämlich

$$f^* = \frac{x^*}{\left(\frac{y^*}{y}\right)} \quad \text{oder} \quad f^* = \frac{x^*}{N}$$

ferner ist

$$f^* = - \frac{n^*}{n} \cdot f$$

also

$$f = - \frac{n}{n^*} \cdot \frac{x^*}{N}$$

endlich, wenn beiderseits Luft als Medium vorausgesetzt wird und die Linsensysteme oder Linsen collective, d. h. solche mit positiver f und negativer N sind, für positive x^*

$$f = \frac{x^*}{N}$$

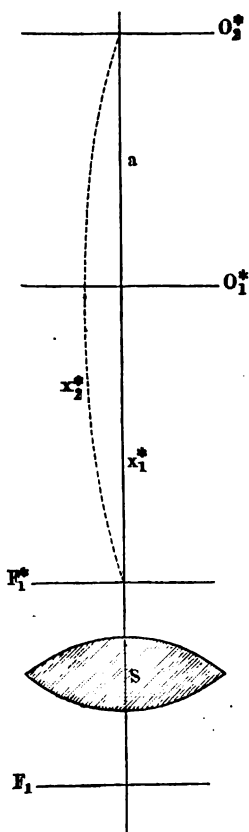
wobei N die lineare Vergrößerung des Bildes bezeichnet, welches im Abstände x^* vom hinteren Brennpunkte F^* des zu messenden Objectivsystemes entsteht und daselbst beobachtet werden kann. Zur Ausführung hat man also diese Entfernung x^* und die dabei auftretende Vergrößerungszahl N zu bestimmen.

Um die erste Aufgabe zu lösen, kommt das unter Nr. 192 beschriebene Verfahren zur Anwendung. Hat man mittelst desselben den Abstand der hinteren Brennebene F^* des Linsensystemes von dem unteren Tubusrande $= \pm d$ gefunden, dann entfernt man das Hilfsobjectiv. Nun stellt man den Tubus auf eine bestimmte, abzulesende oder zu messende Länge und addirt hierzu den gefundenen Abstand $\pm d$. Die so erhaltene algebraische Summe ergibt den in Anwendung zu bringenden Werth von x^* . Um die Vergrößerungszahl N zu erhalten, benutzt man ein mit Mikrometertheilung versehenes Ramsden'sches Ocular, welches mittelst eines aufsteckbaren Ringes so ausgeglichen wird, das die Ebene

der Mikrometertheilung mit der Ebene des oberen Tubusrandes zusammenfällt, und zählt die Anzahl der Intervalle dieser Theilung (y^*) ab, welche auf ein bestimmtes Intervall (y) eines nach gleicher Einheit getheilten, als Object benutzten Objectivmikrometers gehen.

Einige Beispiele der praktischen Ausführung mögen dieses Verfahren näher erläutern. Sei die ein- für allemal für ein bestimmtes Ocular fest bestimmte Einstellung des Hilfsmikroskopes auf die Ebenen des unteren Tubusrandes $a = 255,4$ mm und es ergebe die Einstellung auf das Bild eines entfernten Gegenstandes, also auf F^* des betreffenden Objectives: $b = 233$ mm (als Abmessungen an der Theilung des Auszugsrohres von einem willkürlichen Nullpunkt aus) so beträgt die Differenz d 22,4 mm (d. h. F^* liegt 22,4 mm tiefer als die Ebene des unteren Tubusrandes). Nun habe man den

Fig. 188.



Tubus auf 250 mm Rohrlänge gestellt, so ist

$$x^* = 250 + 22,4 = 272,4 \text{ mm}$$

Decken dann 25 Intervalle (y^*) des in $\frac{1}{10}$ mm getheilten Ocularmikrometers 10 Intervalle (y) des in $\frac{1}{100}$ mm getheilten Objectivmikrometers, woraus

$$N = 25$$

so folgt:

$$f = \frac{272,4}{25} = 10,8 \text{ mm}$$

Ein andermal sei gefunden

$$a = 255,4 \text{ mm}$$

$$b = 332,0 \text{ mm}$$

also

$d = -76,6$ mm (F^* liegt über dem unteren Tubusrand)

$$x^* = 250 - 76,6 = 173,4 \text{ mm}$$

$$N = 6,3$$

so ist

$$f = \frac{173,4}{6,3} = 27,5 \text{ mm}$$

Die voranstehende Methode lässt eine ihre allgemeine Ausführbarkeit bedeutend erleichternde Vereinfachung zu, bei welcher man von dem Abstände der Bildebene von der hinteren Brennebene des Objectivsystemes, also von x^* vollkommen unabhängig wird.

Denken wir uns nämlich die lineare Vergrößerung einmal für die Ebene O_1^* und den Abstand x_1^* , dann für die Ebene O_2^* und den Abstand $x_2^* = x_1^* + a$ (Fig. 188) bestimmt, so erhalten wir

$$N_1 = \frac{x_1^*}{f}$$

$$N_2 = \frac{x_2^*}{f} = \frac{x_1^* + a}{f}$$

$$N_2 - N_1 = \frac{x_1^* + a}{f} - \frac{x_1^*}{f} = \frac{a}{f}$$

und daraus

$$f = \frac{a}{N_2 - N_1}$$

Zur praktischen Ausführung bestimmt man in gleicher Weise wie oben bei irgend einer beliebigen, gemessenen Rohrlänge die entsprechende Vergrößerung N_1 und bei einer anderen ebenfalls gemessenen, von der ersten ansehnlich verschiedenen Rohrlänge die zugehörige Vergrößerung N_2 ; dann berechnet man die Differenz der Rohrlängen sowie der Vergrößerungsziffern und dividirt, um die gesuchte Brennweite zu erhalten, die erstere durch die letztere. Hätte man z. B. auf diese Weise gefunden

$$\text{bei 160 mm Rohrlänge } N_1 = 16,3$$

$$\text{" 200 " " " } N_2 = 20$$

so würde sein

$$f = \frac{40}{3,7} = 10,8 \text{ mm}$$

Die dritte, auf die Seite 200 abgeleitete Gleichung

197

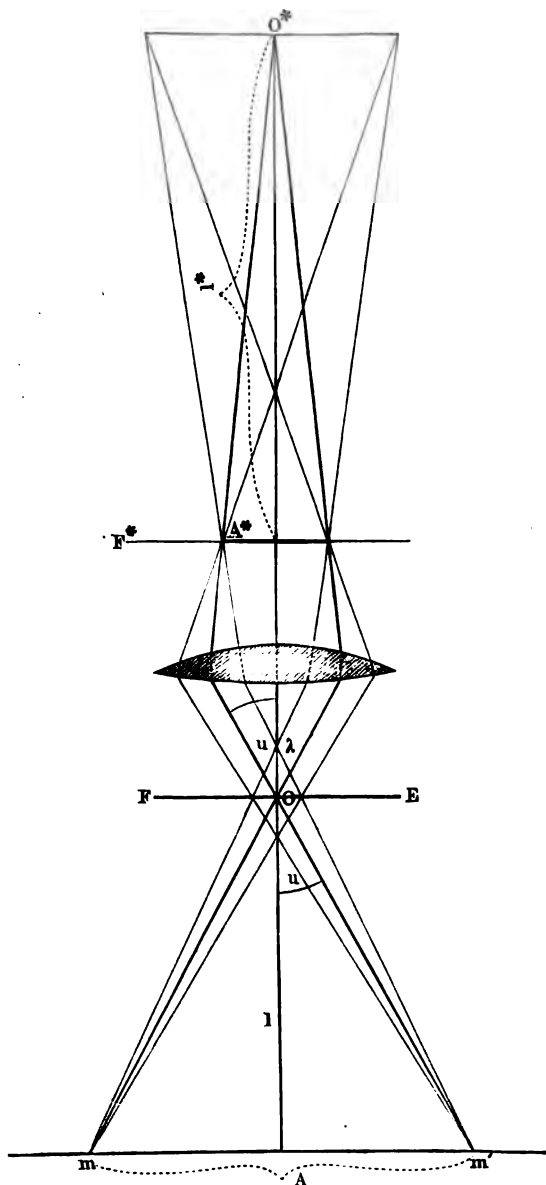
$$\varrho = f \cdot \sin u \quad \text{oder} \quad f = \frac{\varrho}{\sin u}$$

sich gründende Methode ist vorzugsweise für stärkere Objectivsysteme mit grösserem Oeffnungswinkel bequem anzuwenden, führt aber für diese auch sicher und rasch zum Ziele.

Das Objectivsystem, dessen Brennweite bestimmt werden soll, wird nach Beseitigung des Beleuchtungsapparates am Tubus des Mikroskopes mittelst eines gewöhnlichen Oculares auf eine bestimmte Ebene E z. B. auf die Ebene des Objecttisches eingestellt, wodurch die Lage der vorderen Brennebene F resp. des vorderen Brennpunktes bekannt wird. (Ich benutze zu dieser Einstellung ein sehr dünnes Deckglas, dessen einer Fläche ein Kreuz eingeritzt oder aufgezeichnet ist und das ich mit dieser Fläche auf die Tischöffnung lege.) In einem gemessenen Abstände l unterhalb dieser Ebene — 100 mm sind vollkommen ausreichend, wo es sich um Objectivsysteme von nicht sehr grosser Brennweite handelt — wird dann eine mit kräftigen Strichen gezeichnete, etwa in halbe Centimeter getheilte Scala senkrecht zur Achse aufgelegt und aus dem halben Abstände A zweier symmetrisch von dem Null (Mittel-) Punkte abstehenden Striche ($m m'$) nach der Formel $\lg u = \frac{1}{2} \frac{A}{l}$ der Winkel u berech-

net. Endlich wird mittelst des Hilfsmikroskopes die lineare Grösse A^* des Abstandes der beiden gewählten Strichen entsprechenden Bild-

Fig. 189.



punkte des Oeffnungsbildes in der hinteren Brennebene F^* mikrometrisch gemessen. Dann ist die Brennweite

$$f = \frac{1}{2} \frac{A^*}{\sin u}$$

Sei z. B. bei 100 mm Abstand der Scala

$$A = 80 \text{ mm}$$

$$A^* = 3,185 \text{ mm}$$

so ist

$$\operatorname{tg} u = \frac{1}{2} \frac{80}{100} = 0,4$$

$$\angle u = 22^\circ \text{ (nahezu)}$$

$$\sin u = 0,37461$$

endlich

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{3,185}{0,37461} = 4,25 \text{ mm}$$

Um den Werth von $\sin u$ nicht erst berechnen zu müssen, kann man sich eine Scala anfertigen, deren Intervalle für den Abstand $l = 100 \text{ mm}$ gleichen Zunahmen von $\sin u$, also der Reihe nach den Werthen

$$\sin u = 0,05, 0,1, 0,15, 0,20 \dots$$

entsprechen, was dadurch geschieht, dass man von dem Nullpunkte aus nach rechts und links die den betreffenden Sinuswerthen entsprechenden Tangentwerthe ausgedrückt in Millimetern aufträgt. Die Intervalle werden demnach betragen:

für $\sin u$:	Millimeter
00,0	0,00
0,05	5,00
0,10	10,05
0,15	15,17
0,20	20,41
0,25	25,82
0,30	31,45
0,35	37,38
0,40	43,65
0,45	50,37
0,50	57,73
0,55	65,84
0,60	75,00
0,65	85,57
0,70	97,97
0,75	113,3
0,80	133,4
0,85	161,3

Auf dieser Scala bezeichnet man sich, um bessere Marken zu haben, die Theilstriche eines entsprechend genommenen Sinuswerthes beiderseits des Nullpunktes durch genau diese Theilstriche berührende Messing- oder Cartonscheibchen und misst den Abstand ihrer inneren Ränder in der Ebene F^* wie vorher. Sei z. B. genommen:

$$\sin u = 0,5$$

gemessen:

$$A^* = 4,2315$$

so ist

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{4,2315}{0,5} = 4,23 \text{ mm}$$

Soll dieses Verfahren mit gutem Erfolg auch für Objectivsysteme mit grosser Brennweite angewendet werden, so sind einige Vorsichtsmaassregeln und Abänderungen des Apparates nothwendig. Die Genauigkeit des Resultats hängt nämlich wesentlich davon ab, dass die Hauptstrahlen der von dem Punkte der Ebene A ausgehenden Strahlenkegel, welche das Bildchen A^* erzeugen, sich wirklich in dem Punkte O , von welchem aus der Abstand l gemessen ist, kreuzen, d. h. dass der Punkt O genau dem Bildpunkte O^* conjugirt sei. Diese Bedingung ist am leichtesten zu erfüllen, wenn man das Oeffnungsbildchen mit dem blossen Auge beobachtet und die Pupille nahe an die zu O conjugirte Stelle O^* bringt, indem von dieser dann keine anderen Strahlen aufgenommen werden können, als solche, welche durch eine kleine kreisförmige Fläche bei O durchgegangen sind.

Bei dem obigen Verfahren bedingt das Diaphragma, welches sich hinter dem Objective des Hilfsmikroskopes befindet, den unteren Kreu-

zungspunkt, und wenn dasselbe in Bezug auf alle zwischenliegenden Linsen nicht genau oder wenigstens nicht sehr nahezu genau zu O conjugirt ist, so hat man den Kreuzungspunkt und mithin den Scheitel des zu bestimmenden Winkels an einer anderen Stelle, als man ihn zu haben glaubt. Da nun die feste Regulirung des Diaphragmas in dieser Beziehung nur für Objectivsysteme unter 6 mm Brennweite ausreichend ist, man dessen Ort für schwächere Objective aber jedesmal besonders berichtigen müsste, so ist es besser, dasselbe durch Abschrauben zu entfernen und die Begrenzung des Strahleneintrittes unmittelbar in der Ebene F zu bewirken. Dies geschieht dadurch, dass man in die Tischebene eine Blending mit enger, 0,5 bis 1 mm weiten Oeffnung einsetzt und auf diese das zu messende Objectivsystem einstellt.

Geht die Brennweite über etwa 15 mm hinaus, so kann die Berechnung von f nicht mehr mittelst der einfachen Formel

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{A^*}{\sin u} \quad (= \lambda \text{ in Fig. 189})$$

bewirkt werden, sondern sie muss mittelst der strengen Formel

$$f = \frac{\lambda}{1 - \frac{\lambda^2}{l \cdot l^*}}$$

geschehen, für welche man, da $\frac{\lambda^2}{l \cdot l^*}$ immer ein kleiner Bruch ist, setzen kann

$$f = \lambda \cdot \left(1 + \frac{\lambda^2}{l \cdot l^*} \right) = \lambda + \frac{\lambda^3}{l \cdot l^*}$$

Es würde nämlich nur dann $f = \lambda$ sein, wenn A^* genau in die obere Brennebene des Objectives fallen würde, also A in unendlicher Entfernung läge, oder wenn O den unteren Brennpunkt des Objectivsystemes vorstellte, die Einstellung also mit unendlich langem Tubus erfolgte.

Das Glied $\lambda \cdot \frac{\lambda^2}{l \cdot l^*}$ stellt die Correction wegen der Abweichung des A^* vom Brennpunkte F^* vor. Da nun $l = 100$ mm, l^* aber annähernd gleich der ganzen Tubuslänge des Mikroskopes ist, so ist diese Correction — sie beträgt z. B. bei 10 mm Brennweite nur 0,06 mm — nur bei ganz schwachen Objectiven erforderlich.

198

Für Immersionssysteme mit einer die Einheit überschreitenden numerischen Apertur ergibt sich eine einfache Bestimmungsweise der Brennweite mittelst mikrometrischer Messung des Durchmesser des Kreises der Totalreflexion. Wie wir Seite 314 gesehen haben, wird der Werth von $a = 1$, wenn ein derartiges Objectivsystem mit der betreffenden Immersionsflüssigkeit zwischen Vorderlinse und Deckglas auf ein von Luft umgebenes Präparat eingestellt wird und es geht die obige Formel

$$f = \frac{1}{2} \frac{A^*}{\sin u}$$

über in

$$f = \frac{1}{2} \cdot A^*$$

Hätte man z. B. für ein Immersionssystem den Durchmesser (A^*) des Kreises der Totalreflexion mittelst des Hilfsmikroskopes mikrometrisch zu 5,86 mm bestimmt, so erhielte man

$$f = \frac{1}{2} \cdot 5,86 = 2,93 \text{ mm}$$

2. Erprobung des Aplanatismus, der Achromasie und der optischen Symetrie der Objectivsysteme.

Wie wir gesehen haben, treten die Abweichungsfehler nach verschiedenen Richtungen hin und in verschiedenem Maasse hervor. Demnach erfordert die Ermittlung des Correctionszustandes der Objectivsysteme ein Verfahren, welches die Zerlegung dieser Fehler in ihre einzelne Bestandtheile ermöglicht und die Art ihres Hervortretens mit Sicherheit zu erkennen gestattet. Dieser Anforderung sind nun die bisher angewendeten Verfahrungsweisen zur Ermittlung der sphärischen und chromatischen Abweichung nicht ausreichend gewachsen. Dieselben führen keineswegs zu einer vollständigen Kenntniss der Abweichungsfehler, da die durch sie sichtbar zu machenden Wirkungen der letzteren nicht einfache sind, sondern aus vielen verschiedenartigen Ursachen hervorgegangene Gesamtwirkungen vorstellen. Dagegen gestattet das vom Professor Abbe auf Grund genauer Studien der hier in Frage kommenden Fehler vorgeschlagene Verfahren — welches ich hiermit auch den praktischen Optikern auf das dringendste zur Anwendung empfohlen haben will — die durch die Theorie nachweisbaren Correctionsmängel mittelst höchst einfacher Hilfsmittel am fertigen Instrumente in vollem Umfange nachzuweisen. 199

Das hierbei in Frage kommende Verfahren setzt die Anwendung eines Oculares von etwa 20 mm Brennweite für schwache, 25 bis 35 mm Brennweite für mittlere und stärkere Objectivsysteme und recht helles Licht voraus und beruht im Wesentlichen darauf, dass man die Bilder, welche die verschiedenen zur Wirksamkeit kommenden Zonen der freien Objectivöffnung erzeugen, entweder gleichzeitig oder nach einander zur Erscheinung bringen und jedes einzelne nach seiner Beschaffenheit genau beobachten kann. Es gestattet sonach eine zweifache, in der Versuchsanordnung etwas verschiedene Ausführungsweise. Als

Object dient in beiden Fällen ein Präparat, welches nur scharfe Grenzen zwischen vollkommen durchsichtigen und ganz oder fast ganz undurchsichtigen Theilen innerhalb einer einzigen Ebene darbietet und an den hindurchtretenden Strahlen keinerlei Ablenkungen hervorbringt. Ein solches für schwache wie für die stärksten Systeme passendes Präparat wird dadurch erhalten, dass man gröbere und feinere Liniengruppen in eine äusserst dünne, auf einem vollständig ebenen dünnen Glasplättchen — hier auf einem Deckglase — niedergeschlagene Silber- oder Goldschicht einritzet und dann verschiedene derart behandelte, ihrer Dicke nach genau gemessene und wechselnde Plättchen — die versilberte oder vergoldete Fläche nach unten gewendet — mittelst Canadabalsam nebeneinander auf einen Objectträger aufkittet ¹⁾.

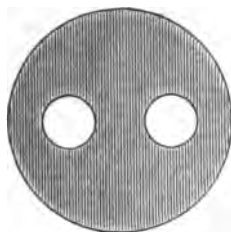
200

Die eine Methode, welche darauf hinausgeht, das Zusammenwirken der verschiedenen Zonen des Objectivsystemes, sowohl in der Mitte wie am Rande des Sehfeldes, zur Anschauung zu bringen und dabei doch die Bilder, welche sie einzeln erzeugen, deutlich unterscheidbar zu erhalten, ist an den Besitz des Abbe'schen Beleuchtungsapparates gebunden. Man verwendet dabei je nach der Grösse der numerischen Apertur des zu prüfenden Objectivsystemes zwei oder drei getrennte Strahlenbüschel, welche so angeordnet werden, dass deren Spuren in der Austrittspupille, während sie möglichst weit von einander abstehen, alle Zonen der freien Oeffnung, und zwar jede durch einen schmalen Streifen vertreten, in Thätigkeit setzen. Diese Beleuchtungsform wird erzielt durch leicht herzustellende kreisförmige Blendungen von geschwärztem Carton, welche gleich den gewöhnlichen Blendungen in den Blendungsträger eingelegt werden und zwei oder drei kreisrunde Oeffnungen erhalten, von denen das Bild einer jeden dem Durchmesser nach je den vierten oder sechsten Theil des Durchmessers der Austrittspupille des Objectivsystemes einnimmt. Der Durchmesser dieser Oeffnungen, welcher von der Brennweite des Beleuchtungssystemes und dem Oeffnungswinkel des Mikroskopobjectives abhängt, lässt sich für ein beliebiges zu prüfendes Objectivsystem leicht durch Versuch ermitteln. Man wechselt nämlich bei genauer Einstellung auf das Probeobject so lange mit den zu dem Beleuchtungsapparate gehörigen Blendungen, bis man diejenige gefunden hat, deren Bilddurchmesser in der hinteren Brennebene des Objectivsystemes den entsprechenden Theil von dem Durchmesser der Austrittspupille des letzteren gleichkommt und nimmt dann deren Oeffnung zum Maass. Die Entfernung der gegenüberstehenden Ränder der Oeffnungen wird ihren Durchmessern gleich gemacht und ihre Stellung so regulirt, dass bei zweien jede um die Hälfte ihres Durchmessers von dem Mittelpunkte der Scheibe absteht (Fig. 190), bei dreien aber die mittlere das Centrum derselben

¹⁾ Dr. Zeiss liefert solche Poltäfelchen mit sechs verschiedenen Deckglasdicken von etwa 0,08 bis 0,25 mm zu dem Preise von 5 Mark.

einnimmt, während die anderen um ihren eigenen Durchmesser von dieser aus nach dem Rande gerückt werden, Fig. 191. Verschiebt man jetzt eine derartige hergerichtete Blending mittelst des Triebes am

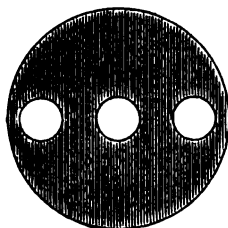
Fig. 190.



Blendingsträger soweit aus der Achse, dass das Bild der einen Oeffnung gerade den Rand der Austrittspupille berührt, so wird im ersten Falle die Spur der einen Oeffnung bei einem 12 mm im Durchmesser haltenden Oeffnungsbilde in der Zone von der Mitte bis auf etwa 3 mm Abstand, die der anderen auf der entgegengesetzten Seite in der Zone von 3 mm bis zu 6 mm des Halbmessers, d. h. am Rande auftreten (Fig. 192), während im anderen Falle die Spuren der drei Oeffnungen die

Zonen von der Mitte bis auf 2 mm, von 2 mm bis 4 mm auf der entgegengesetzten Seite und von 4 mm bis 6 mm auf derselben Seite wie die erste einnehmen (Fig. 193) und die entsprechen-

Fig. 191.



den Zonen der freien Objectivöffnung in Thätigkeit setzten. Diese Anordnung der getrennten Beleuchtungskegel giebt den „empfindlichen“ Strahlengang (nach Abbe), bei welchem alle Correctionsmängel am stärksten hervortreten, indem die verschiedenen Strahlenbüschel im Bilde unter möglichst grossen Winkeln zusammentreffen. Man erhält dabei von einer das Sehfeld ausfüllenden Linien-Gruppe des Präparates ebensoviel Bilder, als einzelne Theile der Oeffnungsfläche in Thätig-

Fig. 192.

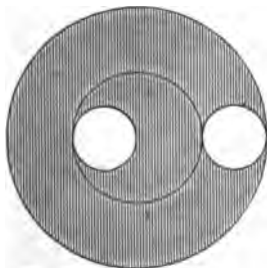
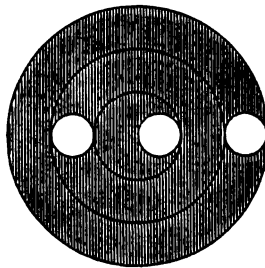


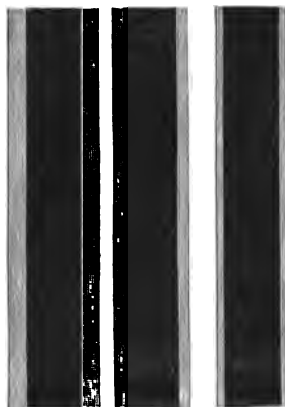
Fig. 193.



keit treten, indem jeder Theil des Objectes je einmal von je einem der verwendeten Beleuchtungskegel abgebildet wird. Die Bilder kann man durch Heben und Senken des Tubus in der Mitte wie am Rande des Sehfeldes über einander hin und herschieben, und dadurch zur An-

schauung bringen, wobei man sehen wird, wie sich die dunklen Linien, soweit sie übereinander fallen, als solche zeigen, während die seitlich

Fig. 194.



nach rechts und links verschobenen Theilbilder schwächer gezeichnet erscheinen (Fig. 194).

Bei der zweiten Methode, welche darauf abzielt, die von verschiedenen Zonen der freien Objectivöffnung erzeugten Bilder nach einander vorzuführen, genügt bei Trockensystemen zur Ausführung neben dem beschriebenen Probetäfelchen der aus der Achse verstellbare Hohlspiegel. Dieselbe gewährt auf etwas einfacherem und kürzerem Wege schon hinreichend sichere Resultate und ist allen denjenigen zu empfehlen, welche die vollständigen Beleuchtungs-Einrichtungen nicht besitzen, bei der Beurtheilung ihres Instrumentes aber doch einen strengeren

Maaßstab anlegen wollen, als es bisher meist geschehen ist. Man stellt dabei die in die Mitte des Sehfeldes gebrachte Linie der betreffenden Liniengruppe bei centraler Beleuchtung scharf ein, nimmt das Ocular hinweg und bewegt, während man in das offene Rohr sieht, den Spiegel soweit aus der Achse, bis sein in der Austrittspupille als elliptische Fläche erscheinendes Bild den Rand dieser letzteren berührt. Dann setzt man das Ocular wieder ein und beobachtet das Probeobject wiederholt, um die Beschaffenheit des mittelst des Randbüschels erzeugten Bildes zu ermitteln. Bei schwächeren Objectivsystemen, deren Oeffnungswinkel kleiner, gleich oder wenig grösser ist, als der anguläre Durchmesser des Spiegels, also bei Oeffnungswinkeln bis zu etwa 60° , muss man die Fläche des letzteren durch aufgelegte Cartonblendungen soweit verkleinern, dass dessen Bild nur noch etwa den vierten Theil des Oeffnungsbildes einnimmt.

Bei dem Befunde dieser beiden Beobachtungsweisen ist zunächst für die Beurtheilung der Vollkommenheit eines Objectivsystemes das Bild der einen hellen Linie, welche genau die Mitte des Sehfeldes durchzieht und dann erst das Verhalten derjenigen, welche dem den Rand einnehmenden Theile der Liniengruppe angehört, in Betracht zu ziehen.

Beobachtet man mittelst zwei oder drei isolirten Lichtkegeln, so muss dieses Bild der mittleren Linie nach beiden Seiten hin als ein vollkommen scharf begrenztes erscheinen, d. h. es müssen sich die von jenen Strahlenkegeln entworfenen Bilder genau zu einem einzigen scharfen Bilde vereinigen, welches nur schmale und reine (grünlich und violett oder rosa gefärbte) secundäre Farbensäume zeigen darf. Erreicht das von dem Randbüschel erzeugte Bild bei keiner Einstellung eine scharfe Be-

grenzung oder tritt eine solche erst bei anderer Einstellung als für das von dem centralen Strahlenbüschel erzeugte Bild ein, in welchen beiden Fällen die beste Einstellung ein deutliches Bild der hellen Linie in einem breiten verwaschenen Streifen eingelagert ergiebt, oder werden endlich — was der seltenere Fall ist — die verschiedenen, d. h. die von den verschiedenen Strahlenbüscheln erzeugten Bilder bei der gleichen Einstellung scharf, kommen aber nicht zur Deckung, was sich dadurch kund giebt, dass man zwei gegen einander verschobene scharfe, oder bei veränderter Einstellung ein breiteres verwaschenes Bild erhält, dann liegen Fehler der sphärischen Abweichung vor. Verstösse gegen die richtige Correction der Farbenabweichung geben andere als die obigen, und zwar primäre Farben: Blau und Orange oder Gelb, welche, je nachdem die sphärische Abweichung nebenbei mehr oder minder gut verbessert ist, in Form von meist breiten, mehr oder weniger verwaschenen Bändern auftreten.

Die oben erwähnten scharfen, schmalen Farbensäume, welche dem von den Randbüscheln erzeugten Bilde anhaften, während das Bild des centralen Büschels fast farblose Grenzen liefert, beruhen auf der chromatischen Differenz der sphärischen Abweichung und treten um so auffälliger hervor, je reiner sie sind, d. h. je besser die sphärische Abweichung corrigirt ist.

Im Rande des Sehfeldes treten nun eine Reihe von Erscheinungen auf, welche von den vorhergehenden scharf getrennt gehalten werden müssen, weil sie nicht auf der mangelhaften Verbesserung der sphärischen und chromatischen Abweichung selbst, sondern in anderen sich durch sie kundgebenden — nicht vollständig zu beseitigenden — Abbildungsfehlern beruhen. Zunächst wird man gewahren, dass auch bei sonst vollkommenen Objectivsystemen die Theilbilder der nach dem Rande des Sehfeldes gelegenen Linien nicht zu einem einfachen Bilde vereinigt werden können und zwar überhaupt nicht, oder doch nicht gleichzeitig mittelst der richtigen Einstellung auf die Mitte; und dass diese Bilder um so weiter — aber ungleich weit in den vier Quadranten — auseinanderfallen oder übereinandergreifen, je weiter man sich von der Mitte entfernt. Diese Erscheinung beruht auf den weiter oben betrachteten Vergrößerungsfehlern, mit denen zugleich noch die eigentliche Wölbung des Sehfeldes in Verbindung auftritt. Dann treten gegen den Rand des Sehfeldes hin in dem durch die Randbüschel erzeugten Bilde starke, nach zwei Hauptrichtungen hin in sich ungleiche Farbensäume auf, welche in der chromatischen Differenz der Vergrößerung ihren Grund haben.

Bei der zweiten Methode muss bei richtig corrigirten Objectivsystemen die bei centralem Lichte eingestellte durch die Mitte des Sehfeldes gehende Linie auch dann scharf begrenzt bleiben und darf nur secundäre reine scharfe Farben zeigen, wenn man zu dem schiefen Lichte übergegangen ist und nun das Präparat ohne Aenderung der früheren Einstellung wieder mit aufgestecktem Oculare beobachtet. Mangelhafte Correction äussert sich hier dadurch, dass bei schiefem Lichteinfalle

entweder überhaupt keine scharfe Begrenzung mit schmalen und reinen Farbensäumen: apfelgrün bis saftgrün einerseits und rosa bis lila andererseits, zu erreichen ist und ein breiter Aberrationssaum an deren Stelle tritt, oder dass zu deren Herstellung eine wesentlich veränderte Einstellung nothwendig wird, während zugleich verwaschene gelbe und blaue Farbensäume auftreten. Eine geringe Einstellungs-differenz wird bei bestem Correctionszustand immer deshalb eintreten, weil wegen der chromatischen Differenz der sphärischen Abweichung diese letztere immer für die Mitte des optisch wirksamen Spectrums, also für das Ende des Grüns, ihr erreichbares Minimum gewinnen muss. Nun herrschen aber in der Wirkung auf das Auge die lichtstärkeren Strahlen Orange und Gelb vor und so kommt es, dass bei einer Einstellung auf eine scharfe Grenzlinie die Einstellung auf den Vereinigungspunkt jener Strahlen das schärfste Bild gewährt und dass bei der angedeuteten besten Correction für Gelb schon eine kleine Abweichung in der Vereinigung centraler und peripherischer Strahlen, d. h. eine kleine Niveaudifferenz zwischen dem schärfsten Bilde der centralen und dem schärfsten Bilde der Randstrahlen, eintreten muss.

Die vorhin erwähnten Farbensäume in Folge der chromatischen Differenz der Vergrößerung treten hier bei schiefer Beleuchtung weit entschiedener hervor, als bei der vorigen Methode. Wenn man die Linien von einem Ende des Sehfeldes bis zu dem anderen in der Richtung des Lichteinfall es verfolgt, so geben dieselben in der auftretenden Farbenscala die Wirkung der Uebereinanderlagerung der in der Mitte vorhandenen secundären Farbensäume, mit den nach dem Rande hin zunehmenden primären Spectren, welche durch das seitliche Uebereinandergreifen der blauen Bilder über die rothen entstehen. Man erhält von dem Punkte der besten Achromasie aus Farbensäume, welche nach der einen Richtung hin durch Blaugrün und Purpur in Blau und Roth, nach der anderen durch Gelblichgrün und ein unbestimmtes Violett in Gelb und Blau übergehen, also zu den beiden Farben, welche den Anfang einer primären Farbenabweichung — jenes Unter-, dieses Uebersverbesserung — anzeigen.

Diese den ganzen Correctionszustand eines Mikroskopes in seinen einzelnen Bestandtheilen nach Art und Grösse genau darlegende Prüfungsmethode ergibt auch dasjenige, was den eigentlichen Abweichungen oder der Eocalwirkung angehört, deutlich getrennt von den Unvollkommenheiten, welche aus den ungleichen Vergrößerungen zwischen ungleich geneigten und ungleich brechbaren Strahlen entspringen. Ausserdem kann man den Einfluss des Oculares auf die durch die gemeinschaftlichen Abweichungsfehler bedingte Beschaffenheit des Bildes ausserhalb der Achse dadurch aufheben, dass man mittelst einer engen, über den Tubus hinwegführbaren Blendung an verschiedenen Stellen des Sehfeldes nur dessen Mitte wirksam werden lässt.

Die von Professor Abbe empfohlene Methode ¹⁾ zur Erprobung der 203
Wahrung des Convergenzverhältnisses in zugeordneten aplanatischen
Punkten für Objectivsysteme mit grossem Oeffnungswinkel gründet sich
auf die diesem Verhältnisse eigenthümliche, genau vorauszubestimmende
Verzerrung des Bildes, welches das betreffende System von einer, von
dem aplanatischen Punkte auf der Objectseite entfernten Ebene — etwa
• A der Fig. 189 — in der zugeordneten Ebene — A^* derselben Figur — durch
Strahlenkegel entwirft, deren Hauptstrahlen sich in diesem aplanatischen
Punkte kreuzen. Die eigenthümliche Art dieser Verzerrung lässt sich
ausreichend genau feststellen, wenn man die Umgestaltung bestimmt,
welche ein System paralleler Linien bei der Abbildung erleidet, oder
wenn man die Gestalt derjenigen Curven aufsucht, welche im Bilde als
parallele Gerade erscheinen müssen. Diese durch Rechnung unschwer
auszuführende Bestimmung ergiebt z. B., dass eine durch eine bestimmte
Gleichung gegebene Schar von Hyperbeln mit gleichem Mittelpunkte und
gleicher Nebenachse, aber verschieden grossen Hauptachsen als ein System
von parallelen geraden Linien abgebildet wird, wenn die abbildenden Strah-
lenkegel beim Eintritt in das optische System sich in dem aplanatischen
Punkte auf der Objectseite kreuzen und wenn weiter zur Vereinfachung
angenommen wird, dass der Convergenzwinkel der Strahlen in dem zu-
geordneten Punkte auf der Bildseite als so klein angesehen werde, dass
auf dieser Seite die Sinus den Tangenten gleich gesetzt werden können.
Von diesen beiden Bedingungen erscheint die letztere bei dem Mikro-
skopobjectiv immer in genügender Annäherung vorhanden, während die
erste immer dann erfüllt ist, wenn bei der Beobachtung die Pupille des
beobachtenden Auges, oder die sonst den Zutritt der Strahlen zu dem
Auge vermittelnde Oeffnung an dem Orte des zugeordneten aplanatischen
Punktes auf der Bildseite in die Achse des optischen Systemes gebracht
wird, da in diesem Falle kein Strahl zum Auge gelangen kann, welcher
beim Eintritt in das System nicht durch das der Pupille oder der sonst
wirksamen Oeffnung zugeordnete jetzt als Eintrittsöffnung wirksam
werdende Flächenelement auf der Achse hindurchgegangen war.

Das für die in Frage kommende Beobachtung erforderliche Object
wird erhalten, wenn man zwei nach der Gleichung

$$y = \frac{\Delta}{a} \sqrt{x^2 - a^2},$$

worin die gemeinsame Nebenachse in beiden Scharen, Δ , den Abstand
der Objectebene (A) von dem betreffenden aplanatischen Brennpunkte
darstellt und die Werthe von a in beiden Scharen nach der Formel

¹⁾ Abbe: Ueber die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme.
Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medicin und Naturwissenschaft
1879.

$$a = \frac{\Delta \cdot u}{\sqrt{1 - u^2}}$$

gleichen Zunahmen des u entsprechend — z. B. die Beträge für

$$u = 0 \dots 0,2 \dots 0,4 \dots 0,6, \dots 0,8 \dots$$

gewählt werden — entworfenen Scharen von Hyperbeln mit gemeinsamem Mittelpunkt, senkrecht sich schneidenden Hauptachsen und gemeinsamer Nebenachse in zwei Quadranten zeichnet (Fig. 195)¹⁾, welche zusammen ein genügend grosses, an Länge mindestens dem Achtfachen, an Breite dem Vierfachen der 12 bis 50 mm messenden Nebenachse Δ gleiches Stück der Halbebene umfassen und wenn man diese Figur dann auf

Fig. 195.



$$\Delta = 12,5 \text{ mm.}$$

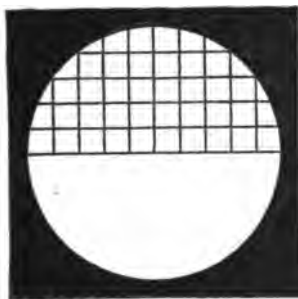
ein ganz ebenes, dünnes, sich nicht ziehendes Brett, oder bei kleinen Dimensionen — wie unsere nebenstehende Figur — auf ein Glastäfelchen aufzieht.

Bringt man den Mittelpunkt des Curvensystemes in die optische Achse, und hebt den Tubus soweit, dass der Einstellungspunkt des zu prüfenden Objectivsystemes, d. h. der aplanatische Punkt auf der Objectseite von der Zeichnungsfläche einen der Nebenachse Δ gleichen Abstand — etwa l der Fig. 189 — erhält, dann müssen, wenn das Convergenzverhältniss gewahrt ist, in dem Bilde der Objectivöffnung zwei Scharen paralleler gleich weit von einander abstehender, sich rechtwinklig durchschneidender Linien erscheinen und die krummlinig begrenzten, nach aussen hin

¹⁾ Damit die geraden Linien im Bilde eine gewisse und überall gleiche Stärke erhalten, werden die Curven als schwarze Streifen zwischen je zwei Hyperbeln dargestellt, welche man mit Werthen von a construirt, denen immer derselbe Unterschied in u (etwa $u = 0,19$ und $0,21$; $u = 0,39$ und $0,41$ etc.) entspricht.

immer mehr ausgedehnten und immer stärker verzogenen Felder der Objectfigur sich sämmtlich als congruente quadratische Felder darstellen

Fig. 196.



(Fig. 196), während Abweichungen von dem richtigen Convergenzverhältnisse sich durch das Auftreten eines mehr oder minder verzerrten Liniennetzes bemerklich machen.

Mit Objectivsystemen bis zu etwa 4 und 3 mm Brennweite herab kann die beschriebene Erscheinung hinreichend deutlich mit freiem Auge beobachtet werden, indem man, wie schon öfter erwähnt, in den offenen Tubus auf das Bild der Objectivöffnung hinsieht. Bei Objectivsystemen mit kürzerer Brennweite dagegen, welche dies

Bildchen zu klein werden lassen, muss die Beobachtung mittelst des Hilfsmikroskopes geschehen.

Zur Feststellung derjenigen Fehler, welche durch falsche Centrirung 204 hervorgerufen werden, oder den Centrirungsfehlern ähnlich wirken und oben als Unsymmetrie in der optischen Wirkung eines Systemes bezeichnet wurden, ist es erforderlich, das letztere um seine Achse drehen zu können, ohne dass das zur Befestigung am Tubus dienende Gewinde diese Drehung ausführt. Dies kann mittelst eines Zwischenstückes geschehen dessen oberer Theil in den Tubus fest eingeschraubt wird, während sich der untere, das Objectivsystem aufnehmende centrisch und leicht in jenem dreht. Das Prüfungsverfahren besteht in Folgendem: Man stellt ein geeignetes Probeobject, z. B. die für die vorausgehenden Untersuchungen über die Correctionsmängel erforderliche Silberplatte, bei schieferm Lichte ein und dreht dann das zu prüfende Objectivsystem, indem man von $\frac{1}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ oder von $\frac{1}{8}$ zu $\frac{1}{8}$ Umdrehung fortschreitet, um seine Achse, während man die durch die mechanische Unvollkommenheit dieser Drehung eintretende Veränderung in der scharfen Einstellung und Verschiebung des eingestellten Punktes aus der Mitte des Sehfeldes immer wieder ausgleicht. Besitzt das zu prüfende Objectivsystem keine Mängel der bezeichneten Art, dann muss die Beschaffenheit des Bildes: Schärfe, Charakter der sphärischen und chromatischen Abweichung etc. in allen Stellungen genau die gleiche bleiben. Treten dagegen sichtbare Veränderungen auf, so bekunden dieselben Unsymmetrie der optischen Wirkung, also entweder Fehler in der Centrirung oder örtliche Fehler in den Linsen selbst oder in den Kittschichten.

Diese Probe, welche in der Zeiss'schen Werkstätte auf jedes Objectivsystem vor seiner Fertigstellung angewendet wird, ist, wenn man ein geeignetes Object verwendet, welches kleine Unterschiede noch gut sichtbar macht, eine sehr empfindliche und zuverlässige. Sie giebt na-

mentlich auch Kenntniss darüber, ob ein Objectivsystem gleichmässig, d. h. nicht etwa auf der einen Seite über- oder untercorrigirt ist, wenn die andere Seite richtig verbessert erscheint. Dann ist sie die einzige, welche eine wirkliche Prüfung der Centrirung der Linsen gestattet, indem das Verfahren, welches man sonst für diesen Zweck empfohlen hat, nicht die Centrirung der Linsen, sondern nur diejenige des Gewindes ergibt, was für die optische Wirkung eine völlig gleichgültige Sache ist.

3. Bestimmung der numerischen Apertur.

205 Wie aus den theoretischen Entwicklungen im ersten und in diesem Buche hervorgeht, bildet das unter Zuhilfenahme einer hinreichend ausgedehnten Lichtquelle in der hinteren Brennebene eines Objectivsystemes entwickelte, seiner Ausdehnung nach einzig und allein durch die volle Oeffnung dieses letzteren bestimmte Bild jener Lichtquelle die Grundlage für die Maassbestimmung des Oeffnungswinkels und der numerischen Apertur. Die von den einzelnen Punkten der Lichtquelle ausgehenden Strahlenkegel kreuzen sich in der vorderen Brennebene des Objectives und divergiren dann von hier aus nach letzterem hin. Ziehen wir nun diejenigen Strahlenkegel in Betracht, welche in den äussersten Bildpunkten des der Lichtfläche conjugirten Oeffnungsbildes ihren Vereinigungspunkt haben, so bildet der Divergenzwinkel der in dem vorderen Brennpunkte sich kreuzenden Hauptstrahlen in irgend einem Meridiane und in irgend einem vorausgesetzten Medium den nach diesem Medium bemessenen Oeffnungswinkel des Objectivsystemes und es ist, wenn wieder u dem halben Oeffnungswinkel gleichgesetzt wird

$$n \cdot \sin u = a$$

und für Luft

$$\sin u = a$$

Das Verfahren zur Bestimmung der numerischen Apertur geht nun theoretisch darauf hinaus, das Oeffnungsbild des abbildenden Objectivsystemes in das Sehfeld eines Fernrohres umzuwandeln, dessen angulares Gesichtsfeld den bei der mikroskopischen Abbildung wirksamen Oeffnungswinkel umfasst und seiner Ausdehnung nach durch Messung bestimmt werden kann. Die hierzu erforderliche Anordnung des optischen Apparates besteht darin, dass dem Mikroskopobjectiv die Rolle des Objectivs eines Miniaturfernrohres übertragen wird, indem man dasselbe für schwächere Objectivsysteme mit dem blossen Auge, für stärkere Objectivsysteme mit dem schon früher beschriebenen, als terrestrisches Ocular wirkenden Hilfsmikroskope verbindet und damit das nahezu in der hinteren Brennebene des ersteren entworfene Bildchen eines vor dem Mikroskope befindlichen Gegenstandes beobachtet.

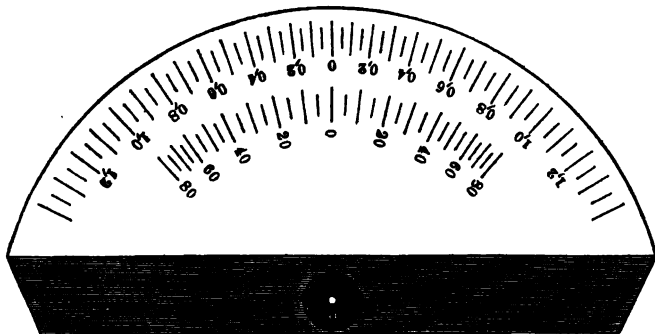
Zur Herstellung des Hilfsmikroskopes dient auch hier wieder ein schwaches Objectivsystem von etwa 50 mm Brennweite, welches an das

untere Ende des Auszugrohres angeschraubt wird. Dasselbe besitzt die früher besprochene abschraubbare Blendung, welche nach Entfernung und Weite für eine mittlere Einstellungshöhe des Hilfsmikroskopes regulirt und der die Function übertragen ist, welche bei Betrachtung des Oeffnungsbildes mittelst des freien Auges die Pupille erfüllt, indem sie die sogenannten falschen, d. h. alle diejenigen Strahlen ausschliesst, welche nicht zur Entwicklung des gewöhnlichen Bildes in der Mitte des Gesichtsfeldes beitragen.

Als Messapparat dient entweder die S. 335 u. f. beschriebene Scala, welche bei Trockenobjectiven bis zu 0,85 numerischer Apertur Anwendung finden kann, oder die Abbe'sche Apertometerplatte, welche für jede Art von Objectivsystemen geeignet ist.

Die letztere, Fig. 197, bildet eine zum Auflegen auf den Objectisch bestimmte dicke, vollkommen halbkreisförmige, vermöge ihrer rationellen Construction alle Fehlerquellen ausschliessende Crown- oder Flintglasplatte von 90 mm Durchmesser. Ihre 12 mm hohe Cylinderfläche ist polirt, während genau in der Richtung des Durchmessers ein Reflexionsprisma von 45° angeschliffen ist und der Schnittpunkt der Dia-

Fig. 197.



gonalen der oberen Kathetenfläche des letzteren von dem Centrum einer kleinen, kreisrunden, in der dünnen Versilberungsschicht eines auf der Platte aufgekitteten Deckglases befindlichen Oeffnung eingenommen wird. Auf der oberen Fläche befinden sich zwei gravirte, geschwätzte, in Folge der weiss gehaltenen Unterfläche leicht ablesbare Theilungen, deren Mittelpunkt genau in dem Mittelpunkte des Halbkreises liegt und deren Intervalle auf Grund des genau bestimmten Brechungsindex des zur Anfertigung verwendeten Glases besonders berechnet sind. Die innere derselben giebt von dem Nullpunkte aus nach beiden Seiten hin für Trockensysteme je den halben Oeffnungswinkel in Luft von 5 zu 5 Graden direct an, die äussere lässt — und zwar ebenfalls vom Nullpunkte aus nach beiden Seiten hin — von 5 zu 5 Einheiten der zweiten

Decimalstelle die numerische Apertur, d. h. das Product aus dem Sinus des halben Oeffnungswinkels und dem Brechungsindex des zwischen der Vorderlinse des zu messenden Objectivsystemes und der Glasplatte befindlichen Mediums (Luft, Wasser etc.) ablesen. Zwei zugehörige Zeiger (Fig. 198) bestehen aus rechtwinklig gebogenen, geschwärzten, sich

Fig. 198.



genau an die Cylinder- und Oberfläche der Platte anlegenden Messingplättchen, welche vorn scharf zugespitzt sind und oben eine radial scharf gekantete Seite haben. Sie dienen dazu, scharfe, leicht sichtbare Marken zu haben, einmal für die Grenzen des angularen Gesichtsfeldes des Miniaturnfernrohres, resp. die freie Oeffnung des der Messung unterworfenen Objectivsystemes, dann für die genaue Ablesung der Scalentheile.

206 Die Bestimmung der numerischen Apertur wird nun in folgenden Weisen vollführt.

Kommt für Trockensysteme die einfache Centimeterscala oder die Sinusscala in Anwendung, so wird diese, wie früher angegeben, nach Beseitigung des Beleuchtungsapparates zunächst so aufgelegt, dass ihre Theilung 100 mm unterhalb der Ebene des Objecttisches und ihr Nullpunkt möglichst genau in die optische Achse zu liegen kommt. Hierauf wird in der gleichen Weise, wie bei der Brennweitenbestimmung angegeben, auf die Tischebene eingestellt und dann zwei geschwärzte Messingscheibchen auf der Scala verschoben, während bei schwächeren Systemen mit dem blossen Auge, bei stärkeren mit dem Hilfsmikroskop die Stellung derselben beobachtet wird, in der sie mit ihren äusseren Rändern die gegenüber liegenden Ränder des Oeffnungsbildes berühren, oder mit ihren inneren gerade in dieses eintreten. Die von den entsprechenden Rändern der beiden Scheibchen berührten Theilstriche geben nun in den beigesetzten Zahlen, wenn diese — wegen der nicht immer ganz genau zu erzielenden Lage des Nullpunkts in der optischen Achse — addirt und durch 2 dividirt werden, im einen Falle (Centimeterscala) die Tangente des halben Oeffnungswinkels, woraus dieser und damit die numerische Apertur berechnet werden kann, im anderen Falle (Sinusscala) unmittelbar den Zahlenwerth der numerischen Apertur. Kommen die Scheibchenränder nicht genau am Theilstrich zu liegen, so kann man den betreffenden Bruchtheil des Intervalls leicht durch Schätzung bestimmen.

Wird für schwächere Systeme unter 6 mm Brennweite das Hilfsmikroskop gebraucht, so müssen aus den auf Seite 337 bereits erörterten Gründen die dort besprochenen Abänderungen der Beobachtungsweise

in Anwendung kommen, wenn ein richtiges Resultat gewonnen werden soll.

Bei Anwendung der Crownglasplatte wird diese derart auf den Objecttisch aufgelegt, dass der Mittelpunkt der kleinen Oeffnung des versilberten Deckglases vorläufig möglichst genau in die optische Achse zu liegen kommt, was durch Hinabsehen in den von Ocular und Objectiv noch freien Tubus leicht zu bewerkstelligen ist. In dieser Stellung wird die Platte mittelst starker Federklammern festgehalten, dann das der Messung zu unterwerfende Objectivsystem — bei Immersionssystemen unter Zwischenfügung der betreffenden Flüssigkeit — angeschraubt, das Ocular aufgesetzt und auf die kleine Oeffnung eingestellt und diese durch entsprechendes Verschieben möglichst genau centrirt. Nach Wegnahme des Oculars erblickt man jetzt beim Hinabsehen in den Tubus neben den Bildern der vor dem Mikroskope befindlichen Gegenstände, das quer über das Oeffnungsbild verlaufende Bild der Cylinderfläche der Crownglasplatte mit den Zeigern. Ist das Objectivsystem ein solches von längerer Brennweite bis zu etwa 6 mm, so ist das Bild gross genug, um die Messung mit freiem Auge vornehmen zu können. Zu diesem Zwecke werden, während die Pupille des Auges genau in centraler Stellung über dem Rohre verbleibt, die beiden Zeiger beiderseits von aussen her soweit zusammengeschoben, bis deren Spitzen gerade die gegenüber stehenden Ränder des Oeffnungsbildes berühren, und dann die an den von ihren geraden Seiten berührten Theilstrichen stehende Zahlen nach beiden Seiten von dem Nullpunkte abgelesen. Die halbe Summe dieser Zahlen ergibt dann, je nachdem die innere oder äussere Theilung benutzt wird, entweder den halben Oeffnungswinkel in Luft, oder die numerische Apertur. Sinkt die Brennweite unter 6 mm, so benutzt man das Hilfsmikroskop und stellt dieses auf das Bild der Cylinderfläche und der Zeiger ein, während man Sorge trägt, dass die Einstellung auf die kleine Oeffnung nicht gestört wird. Im Uebrigen verfährt man wie bei dem vorhergehenden Falle, nur dass man bei Objectivsystemen mit grosser Oeffnung die Zeiger umsetzt und von der Mitte her so lange nach aussen rückt, bis ihre Spitzen die Peripherie des Oeffnungsbildes von innen berühren. Für Trockensysteme, sowie für Immersionssysteme, deren numerische Apertur unter der Einheit bleibt, ergibt die doppelte Ablesung sowohl den Oeffnungswinkel in Luft, als die numerische Apertur; für Immersionssysteme dagegen, deren Oeffnungswinkel über 180° in Luft hinausgeht, also imaginär ist, kann nur die numerische Apertur abgelesen und es muss für sie, wie auch für Immersionssysteme mit unter 1 bleibender numerischer Apertur, der auf die Immersionsflüssigkeit bezogene Oeffnungswinkel durch Rechnung bestimmt werden.

Die Messungen mittelst des Abbe'schen Apertometers gewähren gemäss der Folgerichtigkeit und Sorgfältigkeit seiner Construction eine grosse Genauigkeit der Resultate und die von einzelnen Seiten (Woodward, L. H. Smith) dagegen erhobenen Einwände entbehren, wie

Professor Abbe eingehend nachgewiesen hat (Journ. of the Royal Mikr., Soc. 1880), und nach meinen Erfahrungen, durchaus der Begründung. Da Messungsfehler in Folge der Construction bei richtigem Gebrauche vollständig ausgeschlossen sind, so könnte es sich nur noch um solche handeln, welche im Gefolge einer falschen Ablesung auftreten würden. Da die Intervalle der Theilung von 0,05 zu 0,05 der Einheit gehen und die Entfernung der feinen Theilstriche vom Nullpunkte aus von etwa 1,5 bis auf 2,5 mm steigen, so wird es keinem einigermaassen geübten Beobachter auch nur die geringste Schwierigkeit bereiten, noch nahezu ein Fünftheil der ersteren sicher zu schätzen, und der mögliche Schätzungsfehler könnte höchstens die Hälfte einer Einheit der zweiten Decimalstelle, also $\frac{1}{2}$ Proc., betragen. Ein solcher Grad von Genauigkeit würde aber schon mehr als genügend sein, da andere in Folge äusserer Umstände, z. B. in Folge von geringen Abweichungen in der Tubuslänge, von Aenderung in der Stellung der Linsen bei stärkeren Correctionssystemen, für Objectivsysteme mit sehr grosser numerischer Apertur sogar in Folge des Einflusses verschiedenfarbiger Strahlen auf Brennweite und Oeffnung über 1 Proc. hinausgehende Fehler veranlassen können. Im Uebrigen würde es weder praktisch noch wissenschaftlich von irgend einem Belange sein, den Oeffnungswinkel auf $\frac{1}{2}$ bis 10° genau zu haben, da wohl kein Beobachter im Stande sein dürfte, Unterschiede in der Leistungsfähigkeit eines Objectivsystemes wahrzunehmen, so lange unter sonst gleichen Umständen die Unterschiede in der numerischen Apertur nicht mehrere Procente betragen. Auch die Messungen mittelst der Sinusscala lassen, wenn dieselbe genau getheilt ist und bei dem Gebrauche alle erforderliche Vorsicht angewendet wird, ausreichende Genauigkeit zu. Wenn man sich bei der Ausführung der Messung Willkürlichkeiten gestattet, indem man z. B. beim Gebrauch der Apertometerplatten das Hilfsmikroskop zur Bestimmung der numerischen Apertur von schwachen Systemen anwendet, ohne dass man die erwähnten Vorsichtsmaassregeln beachtet und dergleichen, dann können Fehler entstehen, wie sie auch dann nicht ausbleiben, wenn man andererseits empfohlene Hilfsmittel in gleich unzweckmässiger Weise gebraucht.

- 207 Eine weitere einfache, genaue Resultate gewährende, jedoch den Besitz eines entsprechenden Beleuchtungsapparates mit ausreichender Oeffnung voraussetzende Methode zur Bestimmung der numerischen Apertur ergibt sich aus der auf Seite 199 entwickelten Formel

$$a = \frac{q}{f} \text{ oder, da } f = \frac{x^*}{N} \text{ ist}$$

$$a = \frac{N}{x^*} \cdot q.$$

Da die beiden Zahlenwerthe N und x^* meist schon aus der Bestimmung der Brennweiten nach einer der weiter oben beschriebenen Methoden bekannt sein werden, so braucht man, indem man einen die Oeffnung des Objectivsystemes voll ausfüllenden Lichtkegel in das Mikroskop wirft,

nur noch den fehlenden Factor ϱ zu ermitteln, um daraus dann sofort die numerische Apertur mit genügender Schärfe zu erhalten.

Sei z. B., um das frühere Beispiel Seite 334 beizubehalten, gefunden

$$x^* = 272,4 \text{ mm} \cdot N = 25, \varrho = 3,8 \text{ mm}$$

so ist

$$a = \frac{3,8 \cdot 25}{272,4} = 0,35$$

Soll diese Methode auf Immersionssysteme angewendet werden, wobei die numerische Apertur des Beleuchtungsapparates natürlich die Einheit überschreiten muss, so hat man, um ϱ genau zu finden, wie bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung auf ein Balsampräparat einzustellen und dann letzteres, um die Begrenzung des Oeffnungsbildes scharf und rein zu erhalten, so zu rücken, dass das Sehfeld von dem Objecte frei wird.

Aus der voranstehenden Darlegung ist ersichtlich, wie für Trocken- 208 systeme die Apertometerplatte durch directe Ablesung sowohl den Oeffnungswinkel als die numerische Apertur ergibt, während für Immersionssysteme die Begriffserklärung der letzteren in der Umsetzung der Gleichung

$$a = n \cdot \sin u$$

das Mittel an die Hand giebt, den nach der betreffenden Immersionsflüssigkeit bemessenen Oeffnungswinkel zu erhalten.

Es ist nämlich

$$\sin u = \frac{a}{n}$$

woraus u und damit $2u = w$ berechnet werden kann.

Sei z. B. $a = 1,4$ (homogene Immersion), $n = 1,52$

so ist

$$\sin u = \frac{1,4}{1,52} = 0,921 \dots$$

$$u = 67^\circ \text{ (nahezu)}$$

$$w = 134^\circ$$

Um über das Verhältniss zwischen der numerischen Apertur und 209 dem entsprechenden Oeffnungswinkel, sowie zugleich über die der ersteren entsprechende Auflösungsgrenze für gerades und schiefes Licht — unter Voraussetzung weissen Tageslichtes von der Wellenlänge $0,55 \mu$ und des Werthes $0,342$ für α (S. 311) — eine Uebersicht zu gewähren, möge die Tabelle auf umstehender Seite dienen, in welcher die betreffenden Beträge in runden Zahlen angegeben sind.

Numerische Apertur	Oeffnungswinkel			Theoretische Grenze des Auflösungsvermögens			
	Trocken- systeme $n = 1$	Wasser- immer- sion $n = 1,33$	Homo- gene Immer- sion $n = 1,52$	gerades Licht		schiefes Licht	
				Streifen- abstand in μ	Streifen- zahl auf 10 μ	Streifen- abstand in μ	Strei- fen- zahl auf μ
0,15	17°	—	—	1,70	6	—	—
0,20	23°	—	—	1,40	7	—	—
0,25	29°	—	—	1,00	10	—	—
0,30	35°	—	—	0,90	11	—	—
0,35	41°	—	—	0,80	12	—	—
0,40	47°	—	—	0,74	13	0,68	14
0,45	53°	—	—	0,70	14	0,60	16
0,50	60°	—	—	0,65	15	0,55	18
0,55	66°	—	—	0,60	16	0,50	20
0,60	74°	—	—	0,58	17	0,45	22
0,65	82°	—	—	0,55	18	0,42	24
0,70	90°	—	—	0,53	19	0,39	25
0,75	97°	—	—	0,50	20	0,36	28
0,80	106°	—	—	0,48	21	0,34	29
0,85	116°	—	—	0,46	22	0,32	30
0,90	128°	85°	—	0,44	23	0,30	33
0,95	144°	91°	—	0,42	24	0,29	34
1,00	180°	97°	82°	0,41	25	0,27	36
1,05	—	104°	86°	0,39	26	0,26	38
1,10	—	112°	92°	0,38	27	0,25	40
1,15	—	119°	98°	0,36	28	0,24	41
1,20	—	128°	104°	0,35	—	0,23	43
1,25	—	140°	113°	0,34	29	0,22	45
1,30	—	156°	120°	0,335	30	0,21	47
1,35	—	—	128°	0,32	31	0,20	50
1,40	—	—	138°	0,315	31 — 32	0,195	51
1,45	—	—	145°	0,30	33	0,19	52

Zweites Capitel.

Bestimmung der Vergrößerung.

Die Vergrößerung eines Mikroskopes steht zunächst zwar für die 210 Leistungsfähigkeit desselben insofern nicht in erster Linie, als es nicht darauf ankommt, wie gross das von ihm erzeugte Bild möglicherweise sein, sondern welche Einzelheiten man in demselben und in welchem Grade der Bestimmtheit, Reinheit und Schärfe man sie wahrnehmen kann und ein Mikroskop ist nicht um so vorzüglicher, je stärker es vergrössert, seine Leistung wächst im Gegentheil in dem Verhältnisse, als es mit anderen verglichen bei schwächerer Vergrößerung dieselben Einzelheiten und Unterschiede in der Structur eines mikroskopischen Objectes mit voller Bestimmtheit und Klarheit erkennen lässt, welche jene erst bei stärkeren Vergrößerungen wahrnehmen lassen. Für manche Structurverhältnisse und Objecte sind jedoch, wie wir gesehen haben, bestimmte Grenzen in der Vergrößerung gesteckt, unterhalb deren man sie entweder gar nicht mehr oder doch nicht mit der erforderlichen Bestimmtheit zu unterscheiden vermag. In diesen Fällen ist dann eine mit den übrigen Seiten des optischen Vermögens gepaarte bis zu jener Grenze reichende Steigerung der Vergrößerungskraft unbedingtes Erforderniss für den Werth eines Instrumentes, und es ist stets dasjenige am höchsten zu stellen, welches bei stärkerer Vergrößerung erst den Höhepunkt seiner Leistungen erreicht, d. h. nicht nur ein stärker vergrössertes, sondern auch ein solches Bild giebt, welches feinere Einzelheiten der Structur oder deren Anzeichen zur klaren Anschauung bringt. Auch in praktischer Hinsicht ist die Kenntniss der Vergrößerung, bei welcher irgend eine mikroskopische Beobachtung ausgeführt wurde, an und für sich nicht von unbedingter Nothwendigkeit; doch erscheint sie einerseits für den höchst erwünscht, welcher letztere einer möglichst eingehenden Controle unterwerfen will und wird andererseits bei mikroskopischen Messungen unumgänglich nothwendig. Es sollte daher die Vergrößerungsziffer bei jedem beob-

achteten Objecte neben dessen Zeichnung in einer oder der anderen Weise angegeben sein.

Aus den eben entwickelten Gründen geht hervor, dass die Ermittlung der Vergrößerungen, welche die Combinationen der verschiedenen Objective und Oculare eines Mikroskopes gewähren, zu den dem ausübenden Mikroskopiker nicht zu erlassenden Arbeiten gehört und es fällt uns somit die Aufgabe zu, die zur Bestimmung dieser Vergrößerungen sowohl mittelst Berechnung aus deren auf Seite 190 angegebenen Grundfactoren, d. h. aus den Elementen f_1 , f_2 und Δ , als auch durch directe Messungen hier eine Anleitung zu geben.

- 211 Wenden wir uns zunächst zur rechnerischen Bestimmung, so erscheint, wie wir gesehen haben, die Gesamtvergrößerung als das Product zweier Factoren: der Lupenvergrößerung des Objectives, $\frac{X}{f_1}$, und der Angularvergrößerung $\frac{f_2}{\Delta}$ des Ocularapparates. Die Methoden zur Ermittlung der einzelnen Bestimmungstücke dieser beiden Factoren haben wir bereits kennen gelernt und erhalten, da normal die deutliche Sehweite zu 250 mm angenommen wird, und das Vorzeichen der negativen Vergrößerung für unsere Zwecke unbeachtet bleiben kann, aus denselben unmittelbar die Formel:

$$N = \frac{250}{f_1} \cdot \frac{\Delta}{f_2}$$

Seien nun z. B. die Brennweite des Objectives (D. Zeiss) f_1 zu 4,2 mm, die reducirten (optischen) Tubuslängen Δ bei 160 mm wirklicher Rohrlänge für die Oculare Nro. 1 bis 5 und das vorliegende System zu 151,6 — 164,5 — 173,5 — 177,1 und 184,6, ferner die Brennweiten der gedachten Oculare zu 50 — 42,2 — 33,5 — 26,2 und 18,7 mm bestimmt, so ergibt sich der erste Factor zu $\frac{250}{4,2} = 59,5$, während die Angularvergrößerung für die verschiedenen Oculare

$$\frac{151,6}{50} - \frac{164,5}{42,2} - \frac{173,5}{33,5} - \frac{177,1}{26,2} \text{ und } \frac{184,6}{18,7}$$

oder

$$3,05 - 3,9 - 5,18 - 6,72 \text{ und } 9,66$$

beträgt. Hieraus finden wir als Gesamtvergrößerung der vorliegenden Combinationen, denen wir noch diejenigen eines zweiten Objectivsystemes (F. Zeiss) von 1,8 mm mit den genannten Ocularen zufügen wollen, für welche $\frac{X}{f_1} = 138,8$ ist, während die Angularvergrößerungen je 3,14 — 4,02 — 5,35 — 6,95 und 10,01 betragen, folgende Zahlen:

Objectiv	Ocular 1	Ocular 2	Ocular 3	Ocular 4	Ocular 5
<i>D</i> ($f = 4,2\text{mm}$)	182	234	310	401	578
<i>F</i> ($f = 1,8\text{mm}$)	435	558	742	965	1389

Eine etwas abgekürzte, für die Praxis wohl ausreichend genaue Resultate liefernde Methode der Berechnung, welche im strengen Sinne für jede Verbindung von je einem bestimmten Objectiv mit je einem bestimmten Oculare besonders durchgeführt werden muss, lässt sich für mittlere und starke Objectivsysteme, bei welchen der Ort von der F_1^* keinen beträchtlichen Schwankungen unterliegt, aus der vorausgehenden auf folgende Weise ableiten. Man betrachtet (obwohl die Grösse von Δ — auch bei gleichbleibendem wirklichen Tubus — für jedes andere Objectivsystem im Allgemeinen einen anderen Werth gewinnt, also der Quotient $\frac{\Delta}{f_2}$ je nach der Lage des hinteren Brennpunktes F_1^* für jedes Ocular veränderlich und damit das Verhältniss der Werthe $\frac{\Delta}{f_2}$, d. h. der Angularvergrößerungen bei zwei Ocularen für verschiedene Objective ein anderes wird) das Verhältniss der Werthe von $\frac{\Delta}{f_2}$ zwischen den verschiedenen Ocularen — unter Voraussetzung sich immer gleich bleibender wirklicher Tubuslänge — als constant und bestimmt dasselbe für die Reihe der Oculare ein- für allemal mittelst irgend eines der Objective dieser Gattung. Ferner bildet man aus den nach der bei Bestimmung der Brennweite angewendeten Methode ermittelten Vergrößerungsziffern der Objectivsysteme die zugehörigen Verhältnisszahlen. Endlich bestimmt man die Vergrößerung eines einzigen (des schwächsten) Objectivsystems mit einem (dem schwächsten) Ocular, multiplicirt diese Vergrößerung einmal mit den Verhältnisszahlen für die verschiedenen Objectivsysteme $v, v_1 v_2 \dots$ und dann die so erhaltenen Producte mit den Verhältnisszahlen $a_1, a_2 \dots$ der Angularvergrößerungen für die verschiedenen Oculare.

Hätte man z. B. für die Zeiss'schen Objectivsysteme *B* bis *F* und die Oculare Nr. 1 bis 5 die Verhältnisszahlen

$$1 : 1,53 : 2,65 : 3,9 : 6,4$$

für die Objectivvergrößerungen,

$$1 : 1,28 : 1,72 : 2,21 : 3,2$$

für die Angularvergrößerungen, ferner die Vergrößerung für das Objectiv *B* mit Ocular Nr. 1 zu 68 gefunden, so würden sich — um bei unserem Beispiele von vorhin stehen zu bleiben — für die betreffenden beiden Combinationen folgende Vergrößerungsziffern ergeben:

Objectiv	Ocular 1	Ocular 2	Ocular 3	Ocular 4	Ocular 5
D ($f = 4,2 \text{ mm}$)	180	230	310	398	576
F ($f = 1,8 \text{ mm}$)	435	557	748	961	1397

Bei sehr schwachen Objectivsystemen mit hoch liegendem F_1^* , z. B. bei einfachen achromatischen Linsen mit langer Brennweite oder bei Systemen, wie das a^* von Zeiss, lässt sich diese Vereinfachung der Berechnung nicht anwenden, da sie ganz falsche Resultate herbeiführen würde. Solche Systeme verkürzen nämlich das Δ sehr, und lassen demzufolge die Veränderungen in der Lage der F_2 der verschiedenen Oculare viel stärker hervortreten, als dies bei grösseren Werthen von Δ der Fall ist. Setzen wir den Fall, es lägen zwei Objectivsysteme A und B vor, so bleibt für das Objectiv A der untere Endpunkt der Strecke Δ , d. h. der Brennpunkt F_1^* , derselbe für alle Oculare, dagegen wechselt der obere, F_2 , für die letzteren und die Quotienten $\frac{\Delta}{f_2}$ — die Angularvergrösserungen — der verschiedenen Oculare ergeben für dieses eine Objectiv bei unveränderlicher wirklicher Tubuslänge eine ganz bestimmte Proportion. Gehen wir nun zu dem zweiten Objectiv B über und es ändert sich der Ort des unteren Endpunktes F_1^* nur wenig, etwa um einige Procen te des mittleren Werthes von Δ , — zwischen den Objectivsystemen B bis F von Dr. Zeiss beträgt die Differenz nur 2 bis 3 mm —, so ändern sich zwar alle Zahlen für $\frac{\Delta}{f_2}$, aber alle fast in gleichem Verhältniss, so dass die Proportion unter ihnen fast dieselbe bleibt, wie für das Objectiv A . Wird dagegen beim Uebergang von A zu B der untere Endpunkt des Δ um ein Bedeutendes verrückt, etwa um $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der ganzen optischen Tubuslänge so wird nun auch die Proportion wesentlich verschoben (dieselbe ist für Zeiss' $a^* = 1:1,2:1,5:2:2,6$) und das abgekürzte Verfahren muss zu merklich fehlerhaften Zahlen führen.

- 213 Eine neuerdings in England (siehe Journal of the Royal Microscopical Society 1882, Heft 1, Seite 105) in Anwendung gebrachte Berechnungsweise der Vergrösserung, wobei die beiden Factoren zur Berechnung der Vergrösserungen aus dem Quotienten der Objectivbrennweite in die wirkliche Rohrlänge und dem Quotienten der Ocularbrennweite in die Weite deutlichen Sehens gebildet werden, kann auch selbst dann keine genaue Resultate geben, wenn die Oculare so eingerichtet sind, dass deren vordere Brennebene annähernd in die Ebene des oberen Tubusrandes fällt, da für verschiedene Objectivsysteme die F_1^* verschiedene Lage hat. So würde z. B. für die beiden oben besprochenen Systeme für das erstere die

Tubuslänge 187,1 mm, für das andere 192,4 mm betragen, während sie bei einem dritten Systeme von 16 mm Brennweite nur 168 mm gleichkommt. Unter den bei uns obwaltenden Umständen, wo das Ocular bis zu dem Oculardeckel in den Tubus fällt, ist die Abweichung von der Genauigkeit natürlich noch eine grössere, bald positive (bei Ocularen mit langer Brennweite), bald negative (bei Ocularen mit kürzerer Brennweite). Um das ziemlich erhebliche Maass der Abweichung vor Augen zu führen, füge ich hier die für die obigen Systeme und Oculare nach der englischen Methode erhaltenen Vergrößerungsziffern an.

Objectiv	Ocular 1	Ocular 2	Ocular 3	Ocular 4	Ocular 5
$f = 4,2 \text{ mm}$	190	224	282	362	524
$f = 1,8 \text{ mm}$	444	524	689	858	1225

Da nun für eine grössere Anzahl von Ocularen und Objectivsystemen 214 die Ermittlung der einzelnen für die Rechnung erforderlichen Daten eine zeitraubende Arbeit ist, so begnügt man sich in der Regel mit der directen Bestimmung der Vergrößerung, welche indessen, mit Vorsicht ausgeführt, auch für die meisten Fälle ausreichend genaue Resultate liefert.

Diese unmittelbare Bestimmung der Vergrößerungen des Mikroskopes als Ganzes beruht (wie bei jedem optischen System) auf der allgemeinen auf S. 16 und 17 entwickelten Gleichung

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f}{x} = \frac{x^*}{f^*}$$

welche in der zweiten Form $\frac{x^*}{f^*}$ besagt, dass die lineare Vergrößerung bei jedem optischen System zu dem Abstände des Bildes von dem hinteren Brennpunkte, F^* , in geradem, zu der Brennweite in umgekehrtem Verhältnisse steht. Die Kennzeichnung der gesamten dioptrischen Wirkungsweise des ganzen Mikroskopes durch Angabe der Vergrößerung $\frac{y^*}{y} = N$ für einen bestimmten (durch Uebereinkommen angenommen) Abstand des Bildes $x^* = X = 250 \text{ mm}$ ist demgemäss nur möglich, weil kraft der obigen Gleichung, welche in diesem besondern Fall die Form $N = \frac{250}{f^*}$ annimmt, mit dieser Vergrößerung zugleich die Brennweite $f^* (= f)$ des ganzen optischen Systemes gegeben ist. Die directe Bestimmung der Vergrößerung N für eine bestimmte (angenommene) Sehweite X ist daher dem Wesen der Sache nach nichts anderes, als eine Ermittlung der Brennweite

des ganzen Mikroskopsystemes. Hieraus folgt dann weiter (da grundsätzlich alle Methoden zur Bestimmung der Brennweite von Objectiven und Ocularen auch auf das Mikroskop als Ganzes angewendet werden können), dass jede Methode, welche practisch geeignet ist, die Brennweite f des ganzen Mikroskopsystemes zu ermitteln, auch die verlangte Angabe für die Vergrößerung N bei 250 mm liefert, indem man eben nur den Quotienten $\frac{250}{f}$ zu bilden braucht. Als die zur Anwendung bequemste erscheint nun beim ganzen Mikroskope die unmittelbar aus der obigen Gleichung hervorgehende

$$f^* = \frac{x^*}{\frac{y^*}{y}}$$

d. h. die Ermittlung der linearen Vergrößerung $\frac{y^*}{y}$ für irgend einen beliebigen Bildabstand (vom hinteren Brennpunkte ab genommen). Daraus folgt:

$$N = \frac{250}{f^*} = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{250}{x^*}$$

wobei dann als ganz besonderer Fall der offen bleibt, dass man $x^* = 250$ mm nimmt, um $N = \frac{y^*}{y}$ selbst zu haben.

Dem eben Erörterten zufolge kommen alle angewandten Methoden zur directen Bestimmung der Vergrößerung im Wesentlichen darin überein, dass man das Bild eines seiner Grösse nach genau bekannten Objectes, z. B. der Abtheilung eines Glasmikrometers, mittelst der Camera lucida oder eines ähnlich wirkenden Hilfsmittels auf einer Ebene projecirt und der Messung unterwirft. Der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Maass des Bildes durch dasjenige des Objectes dividirt, stellt dann die entsprechende Vergrößerungsziffer dar. Sei z. B. jenes $= 4,5$ mm, dieses $= 0,01$ mm, so ist die Vergrößerungsziffer $\frac{4,5}{0,01} = 450$.

215 Ehe wir zu den einzelnen Methoden selbst übergehen, müssen wir noch einige Punkte näher ins Auge fassen, welche nicht ohne Wichtigkeit für die Sicherheit und Genauigkeit der Resultate sind.

Zunächst ist zu beachten, dass der Abstand des beobachteten Bildes nicht vom Oculare oder von dem Auge des Beobachters aus, sondern von dem hinteren Brennpunkte F^* des Mikroskopes dem sogenannten Augenpunkte ab zu messen ist, und in Folge hiervon gewisse Vorsichtsmaassregeln zu beobachten sind. Wenn bei der Beobachtung eines der eben erwähnten, später näher zu beschreibenden Hilfsmittel zur Projection des Bildes des der Messung zu Grunde gelegten Maassstabes auf einer Ebene neben dem Mikroskope benutzt wird, so ist zu beachten,

dass die Entfernung zwischen dieser Ebene und dem Augenspunkte (x^*) durch den ganzen (gebrochenen) Weg $a + b$ des reflectirten Lichtstrahles dargestellt wird, und in dieser Summe in Rechnung gebracht werden muss, und dass hier dann leicht Fehler unterlaufen, wenn nicht einfache Spiegel, sondern Prismen die Reflexionen vermitteln, indem man dann das Stück zwischen letzteren nur unsicher bestimmen kann. Um sichere Resultate zu gewinnen, wirft man vortheilhaft das Bild auf eine senkrechte Fläche vor dem Mikroskope, und zwar mit Hilfe eines einfachen Spiegelchens (ein unbelegtes oder versilbertes, zur Beobachtung des Bildes mit einer durchsichtigen Stelle in der Mitte versehenes Deckglas), welches man möglichst genau in das Niveau des Augenspunktes einstellt. Da indessen auch hier immer eine gewisse Unsicherheit im Ort des Augenspunktes — des F^* — bleibt, wenn man nicht sehr umständlich verfahren will, so ist es — um dieser Unsicherheit möglichst wenig Einfluss zu gewähren — gut, einen möglichst grossen Werth von x^* zu wählen, d. h. die Projectionsfläche thunlichst weit zu entfernen, und zur Reduction auf die angenommene Sehweite von 250 mm die Vergrößerung nach der Formel

$$N = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{250}{x^*}$$

zu berechnen.

Unter allen Umständen ist es erforderlich, die Vergrößerungen für 250 mm als Normalabstand des Bildes anzugeben. Ist es auch leicht, die entsprechenden Vergrößerungsziffern auf andere Entfernung zu reduciren, so ist diese Arbeit doch immerhin einigermaassen unbequem und zeitraubend. Daher halte ich das Verfahren für verwerflich, wonach der Eine bei 8" Pariser, der Andere bei 8" Rheinländisch, ein Dritter endlich bei 10" Pariser oder Rheinländisch Maass oder für eine gewisse Rohrlänge seine Vergrößerungen bestimmt. Alle von mir in diesem Werke gegebenen Zahlenangaben der Vergrößerungen sind aus diesem Grunde bei einem Abstände von 250 mm zu verstehen, wenn dieses auch nicht ausdrücklich dabei angegeben sein sollte.

Zweitens muss in Betracht gezogen werden, dass die erhaltenen Vergrößerungen, wenn sie auch bei gleichem Abstände zwischen Auge und Projectionsebene ermittelt sind, immer nur einen relativen Werth haben, der strenggenommen nur für das Auge desjenigen gilt, welcher die Bestimmung ausführte. Ist die hieraus resultirende Differenz auch im Allgemeinen nicht von grosser Erheblichkeit, so folgt doch daraus, dass in der Regel, namentlich aber wo es sich, wie bei mikrometrischen Messungen, um ganz genaue Kenntniss der Vergrößerung handelt, dieselbe von dem Beobachter selbst bestimmt sein sollte.

Die ältere, einfachere Methode, welche auch für die meisten Fälle, 216 namentlich insoweit nur schwächere Vergrößerungen in Betracht kommen, ganz genügende Resultate liefert, ist die von Jaquin (in Baum,

gärtner's und Ettingshausen's Zeitschrift für Physik und Mathematik, Thl. IV. 1. 1828) empfohlene. Um nach ihr die verschiedenen Vergrösserungen eines Mikroskopes zu bestimmen, projecirt man mittelst eines der dazu geeigneten Hilfsmittel das Bild eines in dem Gesichtsfelde befindlichen Mikrometers auf einem in beliebigem, aber bestimmtem, oder in dem nach Uebereinkunft festgestellten Normal-Abstande (250 mm) befindlichen, nach der gleichen Einheit getheilten Maassstabe. Hat man dafür Sorge getragen, dass die Beleuchtung des Gesichtsfeldes und diejenige des Maassstabes gehörig geregelt und in Uebereinstimmung sind, so unterliegt es bei schwächeren und mittelstarken Vergrösserungen ganz und gar keiner Schwierigkeit, das Bild des Mikrometers deutlich auf dem Maassstabe zu sehen und die Zahl der Abtheilungen des ersteren zu ermitteln, welche auf eine oder mehrere Abtheilungen des letzteren treffen. Für die schwächsten Vergrösserungen eignet sich zu diesen Bestimmungen am besten ein Mikrometer, welcher $\frac{1}{10}$, für stärkere ein solcher, welcher $\frac{1}{100}$ mm angiebt. Als Maassstab kann in beiden Fällen eine mittelst Tusche auf weissem Kartenpapier ausgeführte, ausreichend genaue Theilung dienen, welche einzelne Millimeter angiebt und auf welcher je 5 und dann je 10 mm auf die bekannte Weise durch längere Striche markirt sind.

Bequemer und zuverlässigere Resultate während finde ich für kleinere x^* — 250 mm — ein etwas abgeändertes Verfahren. Ich projecire das Bild des Mikrometers nicht unmittelbar auf den Maassstab, sondern auf ein Papier, schliesse eine oder mehrere Abtheilungen desselben in zwei feine Bleistiftlinien ein, fasse deren Abstand zwischen die Spitzen eines guten Zirkels und bestimme dessen Grösse mittelst eines Maassstabes, der so eingerichtet ist, dass man noch Zehntel des Millimeters messen kann. In der Regel verfahre ich in der Art, dass ich nicht einzelne, sondern je nach den Vergrösserungen Gruppen von fünf oder zehn Mikrometerabtheilungen zwischen zwei feine Linien einschliesse und deren Abstand messe. Auf diese Weise äussern Unterschiede in dem Werthe einzelner Abtheilungen weniger Einfluss und man erhält das Maass einer solchen Abtheilung so genau, als nur irgend möglich. Nimmt man ausserdem mehrere Messungen an verschiedenen Stellen des Mikrometers vor und zieht daraus das Mittel, so erhalten die daraus gewonnenen Vergrösserungsziffern einen hohen Grad von Verlässlichkeit.

Hätte man z. B. nach einer der angegebenen Messungsweisen gefunden, dass für verschiedene Combinationen von Objectiv D mit den Ocularen Nr. 1 bis 5 je 0,05 mm des Objectivmikrometers je 18, 23,8, 32, 59,8, 57,6 mm des in einem Abstände von 50 cm befindlichen Maassstabes decken, so würden die Vergrösserungen auf 250 mm bezogen sein:

$$\frac{18}{0,05} \cdot \frac{1}{2} = 180, \quad \frac{23,8}{0,1} = 238, \quad \frac{32}{0,1} = 320, \quad \frac{39,8}{0,1} = 398 \quad \text{und}$$

$$\frac{57,6}{0,1} = 576.$$

Diese Methode ist insofern unbequem und zeitraubend, als man dabei für jede einzelne Combination der verschiedenen Objectivsysteme mit den verschiedenen Ocularen dieselbe Arbeit zu wiederholen hat. Hätte z. B. ein Mikroskop fünf Objectivsysteme und vier Oculare, so wären nicht weniger als zwanzig einzelne Messungen vorzunehmen. Dann ist es bei stärkeren Vergrößerungen fast unmöglich, die Abtheilungen des Objectmikrometers auf der Scala des Maassstabes mit hinreichender Schärfe und Deutlichkeit projecirt zu sehen. Ja selbst dann, wenn man nicht direct auf den Maassstab projecirt, sondern nach der angegebenen Abänderung verfährt, wird es ziemlich schwierig, bei sehr hohen Vergrößerungen das Bild deutlich genug sehen und nachzeichnen zu können. Manchmal wird man bei starken Ocularen von manchen Projectionsmitteln ganz und gar im Stiche gelassen, indem sie wegen der bedeutenden Annäherung des Auges an das Ocular kaum mehr anwendbar sind. Weniger störend als dies hier und da geglaubt wird, würde im Ganzen die Breite der Theilstriche wirken, indem man entweder ganz scharf auf deren Mitte oder noch besser auf ihre gleichliegenden Ränder einstellen kann und dann im Stande ist, eine ganz exacte Zeichnung zu entwerfen. Dagegen tritt bei Verwendung der gewöhnlichen Zeichenvorrichtungen eine weitere Unbequemlichkeit, sowie ein kaum vermeidlicher und wohl den grössten Einfluss äussernder Factor der Ungenauigkeit der Messung darin auf, dass die Entfernung der Projectionsfläche von dem Augenpunkte — die Strecke $a + b$ — mit merklich wechselndem Objectabstande bei Objectivsystemen mit merklich verschiedener Brennweite fortwährend ein anderer wird und neu gemessen werden muss.

Aus den besprochenen Gründen wurde denn auch schon bald nach 217 Erscheinen der Jaquin'schen Abhandlung von Ettingshausen eine Verbesserung vorgeschlagen (Baumgärtner's und Ettingshausen's Zeitschrift V. 1829, S. 316), welche weit bequemer und namentlich auch für die stärkeren Vergrößerungen mit mehr Sicherheit zum Ziele führt. Ettingshausen ging dabei von dem Grundgedanken aus, dass sich die Vergrößerungen, welche die verschiedenen Objectivsysteme mit demselben Oculare geben, nahezu genau umgekehrt verhalten wie die wirklichen Längen, welche bei diesen verschiedenen Objectivsystemen gleich gross erscheinen, oder, was dasselbe ist, deren Bilder den gleichen Raum des Sehfeldes einnehmen. Demgemäss schlug er vor, für sämtliche Oculare eines Mikroskopes nur diejenigen Vergrößerungen $[N]$, $[N]_1$, ..., $[N]_k$ direct zu messen, welche dieselben mit nur einem zu dieser Messung am besten geeigneten Objectivsysteme geben, und daraus diejenigen N bis N_k^m , welche sie mit den übrigen Objectivsystemen gewähren, durch Rechnung zu bestimmen. Zu dem Ende muss das Sehfeld des Mikroskopes in der Art beschränkt werden, dass sein Randtheil ausgeschlossen wird, was entweder dadurch geschehen kann, dass man in das Ocular eine geschwärzte Blendung mit enger Oeffnung oder einen Ocularmikrometer einlegt und den Raum zwischen zwei wenig und gleichweit von der Mitte

des Gesichtsfeldes abstehenden Theilstrichen in Betracht zieht. Zählt man dann die Abtheilungen eines Mikrometers ab, welche bei der Anwendung eines bestimmten Objectivsystemes den so begrenzten Theil des Sehfeldes eines Oculares einnehmen, und dividirt mit ihrer Zahl Z, Z', Z'' in das Product aus den nach der ersten Methode gefundenen Vergrößerungsziffern des der Messung zu Grunde gelegten Objectivsystemes und der Anzahl von Mikrometerabtheilungen, welche bei diesem das in gleicher Weise eingeeengte Sehfeld des gleichen Oculars einnahmen, so erhält man die Vergrößerungsziffer der in Rede stehenden Combination nach der Formel

$$N = \frac{Z \cdot [N_k]}{Z''}$$

218 Man ersieht hieraus, dass man hier ebenso wie bei der oben beschriebenen abgekürzten Methode aus den Z und N , d. h. aus den Quotienten

$$\frac{Z}{Z'}, \frac{Z}{Z''} \dots \frac{Z}{Z'''} \quad \text{und} \quad \frac{[N]^1}{[N]} \dots \frac{[N]^m}{[N]}$$

die Verhältnisszahlen für die Objectiv- und Ocularvergrößerungen $V \dots$ und $v \dots$ bestimmen und dann in ähnlicher Weise wie oben rechnen kann. Damit ist man denn auf die von Pohl (Berichte der K. K. Akademie d. W. zu Wien, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe, Bd. XI, S. 504 u. f.) vorgeschlagene Vereinfachung der Ettingshausen'schen Methode gekommen, welche im Wesentlichen auf die eben erwähnte Methode hinauskommt.

Wären für die oben ins Auge gefassten Systeme $aa - F$ auf 10 Theile eines Ocularmikrometers je 34, 17, 10, 6,5, 3,8, 2,6 und 1,7 Theile eines Objectivmikrometers gezählt¹⁾ und die Vergrößerungen der Oculare Nr. 1 bis 5 mit System B zu 73, 92, 130, 158 und 226 gefunden worden, so würden daraus die Verhältnisszahlen

$$1 : 2 : 3,4 : 5,22 : 8,9 : 13,1 : 20$$

für die Objectivsysteme und

$$1 : 1,26 : 1,8 : 2,17 : 3,1$$

für die Oculare hervorgegangen sein, woraus die Vergrößerungen für die Systeme D und F sich berechneten zu

Objectiv	Ocular 1	Ocular 2	Ocular 3	Ocular 4	Ocular 5
$D \dots \dots \dots$	192	242	342	416	595
$F \dots \dots \dots$	430	541	765	980	1330

¹⁾ Diese Zahlen geben zugleich die Maasszahlen des in $\frac{1}{10}$ mm getheilten Ocularmikrometers (in einem Huyghen'schen Oculare) in Mikron (μ) ausgedrückt (siehe viertes Buch, Abschnitt IV).

Diese Abänderung der Jaquin'schen Methode, obwohl weit bequemer und sicherer, namentlich auch für das Auge weniger anstrengend als die ursprüngliche, leidet indessen immerhin noch an einigen Mängeln. Erstens leiden die Messungen der nach der Jaquin'schen Methode noch zu bestimmenden Vergrößerungen an der bei dieser erwähnten Unsicherheit. Zweitens wird das Resultat der Berechnung, namentlich für stärkere Vergrößerungen, dadurch etwas unsicher, dass nicht immer eine ganze Zahl von Abtheilungen des Mikrometers das Gesichtsfeld ausfüllt, sondern, dass in den meisten Fällen Bruchtheile einer solchen geschätzt werden müssen. Bei dieser Schätzung aber können kleine Fehler um so leichter begangen werden, je breiter die Abtheilungen ausfallen, und es üben dieselben einen um so grösseren Einfluss, je weniger von den letzteren in dem Gesichtsfelde erscheinen. Endlich sind die auf diese Weise ermittelten Verhältnisszahlen der Ocularvergrößerungen nicht für alle Systeme und eben sowenig den aus den Angularvergrößerungen abgeleiteten gleich. Verfährt man indessen mit äusserster Sorgfalt, so dürfte wohl kaum auf irgend eine andere Weise der directen Bestimmung der Vergrößerung eine grössere Sicherheit und Verlässlichkeit erreicht werden, als es bei diesem Verfahren möglich ist.

Zum Schlusse sei noch besonders auf einige Vorsichtsmaassregeln 219 hingewiesen, welche man bei den directen Messungen, die ja immer die Grundlage der ganzen Arbeit bilden, zu beobachten gut thun wird.

Erstens hat man sich auf das Genaueste von der Beschaffenheit der Theilung des zu benutzenden Objectmikrometers zu überzeugen, um etwa vorkommende Unterschiede in dem Werthe der einzelnen Abtheilungen, welche wohl ohne Ausnahme bei solchen Mikrometern in höherem oder geringerem Maasse vorhanden sind, gehörig in Rechnung zu bringen. Am einfachsten umgeht man die hieraus fliessenden Ungenauigkeiten, wenn man nicht einzelne Abtheilungen für sich, sondern ganze Gruppen derselben, etwa 5 bis 10, der Messung zu Grunde legt. Dadurch vertheilt sich der etwaige Fehler so auf die einzelnen Abtheilungen, dass er kaum mehr einen Einfluss äussern kann. Noch besser ist es, wenn man nicht eine, sondern mehrere Gruppen von verschiedenen Stellen des Mikrometers misst und dann aus den verschiedenen Messungen das Mittel zieht. Auch ist es nothwendig, sich zu überzeugen, ob die getheilte Maasseinheit nicht abweicht, so dass z. B. mehr oder weniger als 1 mm getheilt wäre. Da der relative Fehler, welcher aus einer solchen Abweichung entspringt, immer der gleiche bleibt, so können aus ihm Unterschiede von grossem absolutem Betrage nur für die stärkeren Vergrößerungen hervorgehen. Wäre z. B. statt eines vollen Millimeters nur 0,95 mm getheilt, so würde die Differenz zwischen dem wahren und dem gefundenen Werthe für eine Gruppe von 5 Abtheilungen = 0,0025 mm sein, was bei einer Linearvergrößerung von 1000 schon von erheblicher Bedeutung sein und eine wirklich 1000fache Vergrößerung auf eine 975fache herabdrücken würde, ein Fehler, welcher

die durch die verschiedenen Methoden gefundenen Differenzen bedeutend überschritte. Ueber die Mittel zur genauen Bestimmung dieses Maasses wird später bei den mikrometrischen Messungen das Nöthige beigebracht werden.

Zweitens hat man die Breite der Theilstriche gehörig zu berücksichtigen und zu beachten, dass der Werth einer Abtheilung nicht durch die einander gegenüberliegenden Ränder derselben, sondern durch deren Mitte oder deren gleichliegende (linke oder rechte) Ränder bestimmt wird. Bei dem Gebrauche eines solchen Mikrometers, dessen Theilstriche, wenn auch sonst bezüglich der Feinheit allen Anforderungen genügend, doch bei stärkeren Vergrösserungen mit einer gewissen Breite erscheinen, muss man daher entweder genau auf die Mitte oder noch besser auf die gleichliegenden Ränder der letzteren einstellen und diese Stellen durch feine Bleistiftlinien markiren, oder bei der Vergleichung berücksichtigen.

Drittens muss man sich daran gewöhnen, das Auge während des Vergleichens der sich deckenden Maasseinheiten oder während des Zeichnens der Mikrometerabtheilungen ganz ruhig zu halten. Denn bewegt sich dasselbe um seine Querachse nach rechts oder links, so finden immer in der Lage des Mikrometerbildes Verschiebungen statt, welche zu bedeutenden Fehlerquellen werden können.

Endlich hat man — worauf schon früher hingewiesen wurde — darauf zu achten, dass man nur die Theile des Bildes zur Messung verwendet, welche nahe an der Mitte des Gesichtsfeldes liegen. Zu diesem Zwecke ist eine einfache geschwärzte Blendung mit einer Oeffnung von 2,5 bis 3 mm ganz gut. Mittelst ihrer kann man, durch Auflegen auf die Blendung des Oculares, das Sehfeld in dem gewünschten Grade beschränken.

Drittes Capitel.

Directe Prüfung des Mikroskopes.

I. Prüfung des Begrenzungs- und Auflösungs- oder Unterscheidungsvermögens.

1. Allgemeine Grundsätze.

In dem voranstehenden Capitel haben wir die Einzelvermögen des optischen Vermögens, die Elemente der Construction, in welchen dieselben ihren Sitz haben, kennen, sowie den Grad ihrer Höhe und Vollkommenheit und damit die Leistungsfähigkeit des Mikroskopes auf theoretischer Grundlage bemessen gelernt; in dem vorliegenden Capitel dagegen wollen wir uns mit der directen Prüfung des optischen Vermögens sowie einiger andern Eigenschaften in mehr praktischer Richtung befassen. Denn geben auch die beschriebenen Ermittlungen in ihren Resultaten vollständig ausreichende, sichere Anhaltspunkte zur Beurtheilung des mehr oder minder hohen Grades der Leistungsfähigkeit eines Mikroskopes, so sind dieselben doch namentlich für den noch weniger Geübten theilweise etwas umständlich, um kurzerhand mit der nöthigen Sicherheit über die praktische Brauchbarkeit des optischen Apparates zu entscheiden oder verschiedene Instrumente rasch mit einander zu vergleichen. Es darf daher eine unmittelbare Prüfung des optischen Vermögens und der Leistungsfähigkeit in Beziehung auf bestimmte, durch die Erfahrung festgestellte, dem jezeitigen Standpunkte und den Fortschritten der praktischen Optik entsprechende, dieser Bestimmung als Maassstab zu Grunde gelegte Objecte, sogenannte Probeobjecte¹⁾, hier nicht umgangen werden.

¹⁾ Der geübte Mikroskopiker wird, wenn es nicht auf genauere Vergleichung mehrerer Instrumente ankommt, sondern wenn es bloss gilt, die Brauchbarkeit zur Beobachtung überhaupt zu ermitteln, allerdings kaum zu einer so ausgedehnten Prüfung zu schreiten brauchen, um sein Urtheil festzustellen. Ihm wird schon die Betrachtung eines einzigen Präparates aus der thierischen oder pflanzlichen Histologie dazu ausreichen.

Diese Prüfung hat sich zu beziehen erstens auf das Begrenzungs- und Auflösungsvermögen, zweitens auf die Grösse, Färbung und Ebenflächigkeit des Sehfeldes und die gleichmässige Vergrösserung des Bildes in seiner ganzen Ausdehnung. Wir werden daher in Folgendem jeder einzelnen dieser Seiten eine besondere Betrachtung zu widmen haben.

Bei der Prüfung eines Mikroskopes auf sein Begrenzungs- und Auflösungsvermögen hat man alle Vorsichtsmaassregeln zu beachten, welche bei schwierigen mikroskopischen Untersuchungen überhaupt in Anwendung kommen, und verweise ich daher, um Wiederholungen zu vermeiden, auf die dahin bezüglichen Stellen dieses Werkes. Nur einige kurze Bemerkungen möchte ich vorausschicken, welche meiner Erfahrung gemäss besondere Beachtung verdienen. Zunächst ist zu einer derartigen Untersuchung einzig und allein die normale Beleuchtungsweise mittelst Tageslichtes zu verwenden und nicht etwa zu künstlicher Beleuchtung Zuflucht zu nehmen. Zwar werden in Bezug auf N o b e r t's Platte sowohl, als auf die natürlichen Probeobjecte bei künstlicher Beleuchtung mittelst des durch blaue Gläser u. dgl. hervorgerufenen fast homogenen blauen Lichtes, wie aus dem Früheren hervorgeht, günstigere Resultate für das Instrument erzielt, diese aber sind für uns durchaus nicht maassgebend, da das Mikroskop als wissenschaftliches Beobachtungsinstrument für den Tag und nicht für die Nacht bestimmt ist und solche Fälle, wo man es zu letzterer Tageszeit gebraucht, immer Ausnahmen sein und bleiben werden. Ferner hat man darauf zu achten, dass man die Prüfung bei möglichst gleichmässigem Lichte vornimmt. Am geeignetsten habe ich hierzu stets einen ununterbrochen mit hellen Wolken bedeckten, gleichsam mit einem dünnen, leuchtenden Wolkenschleier überzogenen Himmel gefunden. Das Licht ist dabei nicht allein vollkommen gleichmässig, es besitzt auch hinreichende Intensität, um alle erforderlichen Abstufungen in der Beleuchtung der Probeobjecte zu erzielen. Nach einem derartig beschaffenen ziehe ich einen rein blauen Himmel in den Morgen- und Nachmittagsstunden vor, in denen im Sommer die Sonne noch nicht hoch über dem Horizont steht. Niemals sollte man eine derartige Arbeit bei zerissen bewölktem oder grauem Himmel vornehmen, da im erstere Falle die Beleuchtung zu sehr wechselt, und bei einigermaassen schwierigen Objecten das Auge stark ermüdet, im anderen Falle aber für die stärkeren Objectivsysteme das Licht nicht mehr ausreicht, um deren volle optische Kraft auszubeuten. Was endlich die Art der Beleuchtung betrifft, so ist bei der hier ins Auge gefassten Art der Prüfung des Begrenzungsvermögens nur die centrale Beleuchtung zu empfehlen. Auch bei der Prüfung des Auflösungsvermögens gebe man dieser normalen Beleuchtungsweise den Vorzug. Man prüfe erst die Kraft seiner sämtlichen Objective in dieser Weise und schreite erst dann zur schiefen Beleuchtung, wenn man sich darüber unterrichten will, wie weit die äusserste Grenze des Auflösungsvermögens gesteckt ist, oder welchen Einfluss der schiefe

Lichteinfall auf die Anordnung der Beugungsspectren in dem stets zu controlirenden Oeffnungsbildchen und damit auf die Aenderung der Ansicht schwieriger Probeobjecte äussert. Soll ich Gründe für dieses Verfahren anführen, so werden wohl folgende drei ausreichen. Erstens ist die centrale zugleich die normale Beleuchtungsweise für die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen, während die schiefe nur in einzelnen Ausnahmefällen mit nennenswerthem Vortheil in Anwendung kommt. Es ist daher von der höchsten Wichtigkeit, zu wissen, bis zu welchem Grade man sich bei dem regelrechten Gebrauche auf sein Instrument verlassen kann. Zweitens hängen die Resultate der Prüfung bei schiefem Lichte zu oft von einzelnen Umständen, wie Spiegelstellung und dergleichen, ab, so dass man sich bei sehr schwierigen Objecten oft vergeblich bemüht, eine gewisse Ansicht zu gewinnen, die ein anderes Mal der Zufall ohne Weiteres in die Hände spielt. Drittens ändert sich, wie die verschiedenen Zeichnungen, die über das einzige Pleurosigma angulatum vorliegen, und welche mannigfache Streitigkeiten über die wahre Beschaffenheit seiner Oberflächenstructur hervorgerufen haben, genügend lehren, die Zeichnung der Probeobjecte mit dem Wechsel in der Richtung der Lichtstrahlen und der damit Hand in Hand gehenden Umlagerung der in Wirksamkeit tretenden, bilderzeugenden Lichtkegel in mancherlei Weise und bedingt, dass der Eine die, der Andere jene Zeichnung für diejenige erklärt, bei welcher ein Objectivsystem seine volle Leistungsfähigkeit entfalte.

Ueber das gegenseitige Verhältniss der beiden in der Ueberschrift bezeichneten Vermögen zu einander habe ich mich weiter oben schon ausgesprochen. Demgemäss reichten eigentlich diejenigen Probeobjecte, welche man vorzugsweise zur Prüfung des Auflösungsvermögens gebraucht, zur Prüfung beider aus und es bilden unter gehöriger Berücksichtigung der betreffenden numerischen Aperturen die bei centraler Beleuchtung nicht zu schwierig lösbaren derselben für die stärksten Objectivsysteme sogar die besten Prüfsteine für das Begrenzungsvermögen. Es kommen dann für das Auflösungsvermögen die Beschaffenheit der Zeichnung, die gegenseitige Entfernung und die relativen Maassverhältnisse der Linien, Punkte und dergleichen, für das Begrenzungsvermögen dagegen die Art und Weise, wie, d. h. die Schärfe und Klarheit, mit welcher ein Objectivsystem derartige Structurunterschiede erkennen lässt, in Betracht. Da es jedoch in diesem Falle immer schwieriger ist, das Begrenzungsvermögen, als das Auflösungsvermögen genügend zu beurtheilen, so lange Einem nicht bestimmte Erfahrungen zur Hand gehen, und da zu beachten bleibt, dass unter sonst gleichen Verhältnissen grössere Oeffnung deutlicher hervortretende Zeichnung hervorruft und man unter Umständen geneigt sein könnte, auf Rechnung besserer Begrenzung zu setzen, was durch grössere Oeffnung veranlasst wird, so halte ich es namentlich denjenigen Lesern gegenüber, welche nicht schon mit dem Gebrauche des Mikroskopes vertraut und im Auffassen mikroskopischer Bilder geübt sind, für angemessen, neben den Probeobjecten für das Auflösungsvermögen eine Reihe

solcher aufzuführen und näher zu beschreiben, welche gewöhnlich zur Beurtheilung des Begrenzungsvermögens angewendet werden.

- 221 Um allgemeine, annähernd gültige Anhaltspunkte zu gewinnen für den Grad des Auflösungsvermögens, welches neben dem nie und für keine Classe von Objectivsystemen ausser Acht zu lassenden vollkommenen Begrenzungsvermögen etc. zu verlangen ist, scheint es mir geeignet, nach dem Vorgange Carpenter's die verschiedenen Objectivsysteme je nach dem Zwecke, dem sie zu dienen haben, zu gruppiren, und dabei die entsprechenden Probeobjecte aufzuführen, welche den Maassstab zu ihrer Beurtheilung abgeben können.

Sieht man von einzelnen Nebenzwecken ab, so lassen sich die Objectivsysteme von den niedersten bis zu den höchsten Graden der Stärke in drei Gruppen bringen.

Die erste Gruppe umfasst alle diejenigen Objectivsysteme, welche vorzugsweise zur Betrachtung undurchsichtiger Gegenstände mittelst auffallenden Lichtes, sowie zur Untersuchung solcher durchsichtiger Objecte und Präparate gebraucht werden, deren zu beobachtende Structurverhältnisse im Allgemeinen eine verhältnissmässig erhebliche Grösse besitzen, oder bei denen man sich eine allgemeine Uebersicht nur der gröberen Structureinzelheiten und der räumlichen Gestaltung, also eine gleichzeitig deutliche Anschauung in verschiedenen Ebenen oder Schichten des Präparates verschaffen will. Es gehören dahin die Objectivsysteme von 75 bis zu etwa 15 mm Brennweite und 0,10 bis 0,20 und 0,25 numerischer Apertur (10° bis 25° und 30° Oeffnungswinkel), welche mit den schwächsten Ocularen, also bei einer zwei- bis dreimaligen Angularvergrösserung eine 10- bis 50malige, mit den stärkeren aber, d. h. bei vier- bis sechsmaliger Angularvergrösserung eine etwa doppelt so starke Vergrösserung gewähren. Für diese Gruppe von Objectivsystemen kommt namentlich vollkommenes Begrenzungsvermögen, grosse Sehtiefe und vollständige Farbenfreiheit in Betracht, während das Auflösungsvermögen in nur mässigem Grade entwickelt zu sein braucht, niemals aber auf Kosten der übrigen Eigenschaften bevorzugt sein darf. Zur Prüfung des Begrenzungsvermögens dieser Systeme eignen sich als Objecte für auffallendes Licht bei dunklem Grunde namentlich die Pollenkörner der Malvaceen, z. B. von *Althaea rosea* mit ihren Stacheln der Exine, dann Theile von Insectenflügeln, welche mit Farbeschuppen bedeckt sind. Für durchgehendes Licht gewähren die Tracheen der Seidenraupe und für stärkere Vergrösserungen die Haare von dem Rücken der Hausmaus, ebenso ein dünner Längsschnitt aus dem Holze eines Nadelholzes gute Dienste. Gewährt ein Objectivsystem die später geschilderte Ansicht von diesen Objecten, so kann man sich mit dessen Leistungen zufrieden geben. Alle Linien müssen dabei scharf, klar und ohne zu grosse Breite erscheinen, wenn sie genau eingestellt sind. Zur Prüfung des Auflösungsvermögens der stärkeren hierher gehörigen Objectivsysteme dienen die ersten Gruppen der Nobert'schen Platte oder die denselben gleichstehenden natürlichen

Probeobjecte, wozu die Schuppen von *Lepisma saccharina* und die gewöhnlichen Schuppen von *Pieris brassicae*, dann die Kieselshalen von *Navicula* (*Pinnularia*) *nobilis*, *Navicula viridis*, *Cymbella gastroides* gehören. In dieser Beziehung genügt ein Objectivsystem zwischen 30 bis 15 mm Brennweite, wenn es, je nach seiner Brennweite und unter Beachtung der früher erwähnten Bedingungen für die Grenze des Auflösungsvermögens von Systemen mit so kleiner numerischer Apertur, die erste bis dritte, beziehungsweise bis fünfte ¹⁾ Gruppe der Nöbert'schen Platte scharf und deutlich löst, die Längsstreifen auf den grösseren, länglich-runden, oder für stärkere Vergrösserungen auf den kleineren, fast kreisrunden Schuppen von *Lepisma*, sowie die Querstreifen auf den Kieselshalen der genannten Diatomeen zeigt, indem dann bei seinem Gebrauche alle diejenigen Einzelheiten der Objecte zum Vorschein kommen, zu deren Beobachtung sie dienen sollen. Objectivsysteme von grösserer, d. h. schon übermässiger numerischer Apertur, wie man sie hier und da bei dem Streben nach grosser Oeffnung findet, lassen selbst noch bei centraler Beleuchtung die Querstreifen auf den Schuppen des Weibchens von *Hipparchia Janira* erkennen und lösen bei entsprechender Spiegelneigung, wie bei schiefer Beleuchtung überhaupt die leichteren Probeobjecte für die folgende Classe. Man dürfte indessen kaum in den Fall kommen, bei den einschlägigen Untersuchungen von einem so hohen, vielfach die erforderlichen Eigenschaften dieser Systeme schädigenden Auflösungsvermögen Gebrauch zu machen.

Zur zweiten Gruppe gehören die Objectivsysteme zwischen 15 bis 4 und 3 mm Brennweite mit numerischen Aperturen von 0,20 bis etwa 0,80 (25° bis 105° Oeffnungswinkel), welche mit den schwächeren Ocularen eine etwa 50- bis 200 malige, mit den stärkeren eine 150- bis 600 malige Vergrösserung geben. Diese Objectivsysteme geniessen die ausgedehnteste Anwendung zu wissenschaftlichen Untersuchungen. Sie dienen vorzugsweise zur Beobachtung durchsichtiger oder durchsichtig hergerichteter Objecte und Präparate aus der morphologischen Entwicklungsgeschichte, sowie aus der allgemeinen und vergleichenden Morphologie und Histologie des Pflanzen- und Thierreiches.

Die Ansprüche, welche von Seiten der praktischen Mikroskopiker an diese Gruppe von Objectivsystemen gestellt werden, können je nach der Beschaffenheit der der Beobachtung unterworfenen Gegenstände verschiedene sein. Auf der einen Seite kann vorzugsweise höchst entwickeltes Begrenzungsvermögen und genügende Sehtiefe mit zu bequemer Verwendung befähigendem, grossem Objectabstande und geringere Empfindlichkeit gegen die Deckglasdicke, auf der anderen grösseres Abbildungsvermögen nebst möglichster Ausbeutung der förderlichen Vergrösserung durch stärkere Oculare gefordert werden. Hier ist denn auch das Verfahren angezeigt:

¹⁾ Die niedrigeren Gruppen beziehen sich auf die Tafel mit 19, die höheren auf jene mit 30 Gruppen.

die Objective dieser Gruppe nach beiden Gesichtspunkten in zwei Serien, die eine je nach den Brennweiten mit geringeren, 0,20 bis 0,60, die andere mit grösseren, 0,30 bis 0,80, betragenden, unter keinen Umständen aber diese Grenzen merklich überschreitenden numerischen Aperturen zu construiren, wie es von Dr. Zeiss bei seinen Systemen von *A* und *AA* an bis *D* und *DD* befolgt wird.

Als Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen sind für die schwächeren Objectivsysteme dieser Classe die Rückenhaare der Hausmaus, die Haare der gemeinen Fledermaus, zarte Längsschnitte aus dem Wurzelholze der einheimischen Coniferen, für die stärkeren vor allem die gewöhnlichen, auf die Unterfläche des Deckglases gebrachten und trocken eingelegten Schüppchen von *Pieris brassicae*, dann die getüpfelten Schuppen von *Lycaena Argus* oder *L. Alexis*, die dunkleren Schuppen von *Podura plumbea*, quergestreifte Muskelfasern, sowie die Schleimkörperchen aus der Mundhöhle sehr geeignet. Für das Auflösungsvermögen können, je nach der Apertur die zweite und vierte bis zur siebenten und achten, beziehungsweise die zweite und siebente, bis zur zehnten oder vierzehnten Gruppe der Nobert'schen Probeplatte und von den natürlichen Probeobjecten die Schuppen von *Hipparchia Janira*, *Lycaena Argus* und *Lycaena Alexis*, dann die Kieselschalen von *Nitzschia Brebissonii*, *Synedra splendens*, *Stauroneis Phoenicentron*, *Grammatophora marina*, *Nitzschia hungarica*, *Nitzschia amphioxys*, *Grammatophora serpentina*, *Nitzschia sigma* für gerades Licht, für schiefes Licht noch ausserdem diejenigen von *Grammatophora oceanica*, *Surirella gemma* (Querstreifen), *Nitzschia sigmoidea*, *Grammatophora maeilenta*, *Nitzschia obtusa* und *linearis* in Anwendung kommen. Gutes Begrenzungsvermögen giebt sich durch hinreichend scharfe und dunkle, dabei aber feine und zarte Begrenzungslinien der genau eingestellten Theile des betreffenden Objectes zu erkennen. Breite Schatten der Grenzlinien, welche hier und da erzielt zu werden pflegen, sind ein Zeichen von ungenügend gehobener Aberration und bilden, so sehr sie auch in Betreff mancher Bilder bestechen mögen, einen Fehler, der sich in einem oder dem anderen Falle bestimmt geltend macht. In Bezug auf das Auflösungsvermögen genügt es, wenn ein Objectivsystem dieser Classe je nach seiner Stärke die dritte bis neunte, beziehungsweise die fünfte bis zwölfte Gruppe der Nobert'schen Platte, die Querstreifen auf den Flügelschuppen der genannten Schmetterlinge oder auf den Kieselschalen der ersterwähnten Diatomeen bei centraler Beleuchtung mit Schärfe und Klarheit löst. Die stärkeren Objectivsysteme mit grösserer Oeffnung lösen wohl auch noch die ersten der für schiefe Beleuchtung empfohlenen Diatomeen, sowie Nobert's Probeplatte, bis etwa zur zehnten, beziehungsweise sechzehnten Gruppe mittelst centraler Beleuchtung, während bei schiefer Beleuchtung auch die weniger schweren Probeobjecte für die folgende Classe, sowie die dreizehnte, beziehungsweise vierundzwanzigste Gruppe der Nobert'schen Platte noch auflösbar sind. So hohes Unterscheidungsvermögen ist indessen bei diesen weniger theuren Systemen viel-

fach mit mangelhafter Correction der sphärischen Abweichung, einem so hohen Grade von Farbe, so sehr verkürztem Objectabstande und so grosser Empfindlichkeit gegen nur wenig schwankende Deckglassdicken und Tiefenausmessungen der Objecte verbunden, dass es mit Rücksicht auf die hier im Allgemeinen zu erzielenden Erfolge mehr schadet als nützt, indem solche Systeme mit Ausnahme einzelner besonderer Fälle zu den meisten Untersuchungen nicht gut brauchbar sind. Es wird daher, wo sich Einem oder dem Anderen ein scheinbares oder wirkliches Bedürfniss nach Objectivsystemen von so hohem Auflösungsvermögen geltend macht, besser zu Immersionssystemen von entsprechender Brennweite gegriffen.

In die dritte Gruppe sind alle Trockensysteme von 3 bis 2 mm Brennweite und 0,82 bis 0,85 numerischer Apertur, sowie die Systeme für homogene und Wasserimmersion von 3 bis 1 mm Brennweite einzureihen, welche mit den schwächeren Ocularen eine 300- bis 600 malige Vergrösserung gewähren, während die letztere, sofern eine oder die andere Art der Immersion in Anwendung kommt und das Objectivsystem in jeder Beziehung vollkommen ist, durch stärkere Oculare bis zu 1000- und 2000 mal gesteigert werden kann. Für die eigentliche Beobachtung kommen allerdings nur die mittelst der schwächeren Oculare erzielten Vergrösserungen in Betracht, allein für manche Zwecke, z. B. für Zählung kleiner Objecte, mikrometrische Messung, bequemere Erkennung mancher Einzelheiten etc., sind jene stärkeren Vergrösserungen ganz erwünscht. Diese stärksten Objectivsysteme sind von einer weit beschränkteren Anwendung als die der vorhergehenden Classe. Sie dienen vorzugsweise zu Untersuchungen hinreichend durchsichtiger, in geeigneter Weise präparirter histologischer Gegenstände, bei denen es sehr zarte kleine Ausmaasse besitzende Structurverhältnisse zu erforschen gilt, dann zu Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte der feineren organischen Elementartheile. Wer sich mit den feinsten Structurunterschieden in dem Baue der organischen Elementarorgane, der Zellhüllen und dergleichen unterrichten, wer die Wissenschaft in Beziehung auf die Entstehung und Ausbildung der Zellen, Gefässe etc. fördern und dabei die minutösesten Einzelheiten aufspüren will, der kann dieselben nicht entbehren, muss sich aber nicht allein mit deren immerhin nicht leichten Behandlung vertraut machen, sondern auch in der Präparation der entsprechenden Objecte die nöthige Fertigkeit erwerben, wenn er sich ihrer mit Vortheil bedienen will. Für diese Systeme ist neben vollkommenem Begrenzungsvermögen, hohem Achromatismus, bedeutender Lichtstärke für Trockensysteme ein der Brennweite entsprechend — aber nicht abnorm gesteigertes — hohes, für Immersionssysteme möglichst hohes Abbildungsvermögen unbedingtes Erforderniss, und in je höherem Grade dieses letztere unter vollständiger Wahrung der erstgenannten Eigenschaften entwickelt sein kann und entwickelt ist, desto höher steigt der Werth eines solchen Objectivsystemes. Dass dieses Ziel ein schwierig zu erreichendes ist, darauf wurde schon früher hingewiesen. Man darf sich daher auch nicht wun-

dern, wenn solche Meisterwerke der praktischen Optik den früher gewohnten Preis bedeutend übersteigen. Die vorzüglichsten Objectivsysteme dieser Gruppe welche ich in neuerer Zeit kennen gelernt habe und in denen sich alle genannten Eigenschaften in möglichster Vollkommenheit vereinigt finden, sind die Objectivsysteme für „homogene Immersion“ von Dr. Carl Zeiss in Jena, an welche sich diejenigen von Seibert und Krafft in Wetzlar und Carl Reichert in Wien anreihen, welche indessen etwas kleinere numerische Aperturen haben als diejenigen aus der ersten Werkstätte.

Als Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen können die lichter-
ren Schuppen von *Podura plumbea*, die Schleimkörperchen, die Primitiv-
fibrillen der quergestreiften Muskelfasern, und vor allem als bester Prüf-
stein die Schärfe der Zeichnungen auf den Flügelschuppen von *Pieris
brassicae*, sowie auf den Kieselschalen scharf und nicht zu fein gezeich-
neter, trocken eingelegter Diatomeen dienen, deren Gestaltung bei den
schwierigeren Objecten nur mittelst Objectivsystemen von ausgezeichnetem
Begrenzungsvermögen erkannt werden kann. Zur Prüfung des Auflösungs-
vermögens dienen für Trockensysteme die schwierigeren Probeobjecte der
vorigen Gruppe, für Immersionssysteme die Nöbert'sche Platte über die
neunte, beziehungsweise die funfzehnte Gruppe hinaus und von den natür-
lichen Probeobjecten ausser den genannten *Nitzschia Schweinefurthii* oder
tenuis, *Grammatophora subtilissima*, *Navicula rhomboides* var. *saxonica*
(*Frustulia saxonica*), *Nitzschia curvula* und *Amphipleura pellucida*. Nur
die besten Systeme (homogene Immersion) lösen *Nitzschia sigmoidea*,
Nitzschia obtusa und *Nitzschia linearis*, ebenso die Nöbert'sche Platte
bis etwa zur zwölften, beziehungsweise bis zur dreiundzwanzigsten Gruppe
bei sehr günstigem, weissem und intensivem Lichte und gerader Beleuch-
tung vollkommen, während man schiefes Licht anwenden muss, um die letz-
ten Gruppen der Nöbert'schen Platte und die schwierigsten Diatomeen-
zeichnungen zu sehen.

2. Probeobjecte.

Es bleibt uns nun noch übrig, die einzelnen Probeobjecte etwas
näher zu betrachten und nach ihrer für den betreffenden Zweck vorzugs-
weise in Betracht kommenden Beschaffenheit zu charakterisiren. Die
beigegebenen Zeichnungen mögen dabei den weniger Erfahrenen soweit
als möglich unterstützen. Dieselben sind daher alle so ausgeführt, wie
sie mit den anerkannt besten Objectivsystemen gesehen werden und wie
sie sich dem Beobachter darstellen müssen, wenn das Instrument die im
Voranstehenden hervorgehobenen Eigenschaften besitzen soll.

a. Probeobjecte für das Begrenzungsvermögen.

Ausschliesslich zur Prüfung des Begrenzungsvermögens verwendete 222
Probeobjecte bilden:

1. Für auffallendes Licht auf dunklem Grunde: Stärkekörner von *Solanum tuberosum*, *Canna indica* etc., Pollenkörner, Theile von Insectenflügeln, welche entweder mit den bekannten Farbeschüppchen oder mit feinen Haaren bedeckt sind. — Die Haare der Hausmaus.
2. Für durchgehendes Licht: Tracheen der Seidenraupe, Haare der Haus- und Fledermaus, Quer- und Längsschnitte von *Pinus sylvestris* und *Abies excelsa* oder einer anderen Nadelholzart, für schwächere und mittlere Systeme mit kleiner und mittlerer numerischer Apertur, die getüpfelten Schüppchen von *Lycaena Argus*, *Argiolus* oder *Alexis*, die Schüppchen von *Pieris brassicae* und *Podura plumbea*, quergestreifte Muskelfasern und endlich die sogenannten Schleim- oder Speichelskörperchen für mittlere und starke Systeme mit grösserer numerischer Apertur.
3. Eine Auswahl zarter und feiner, aber stark markirt gezeichneter Insectenschüppchen und Diatomeen zur Ausführung der Abbe'schen Prüfungsmethode.

Die Stärkekörner, welche man am besten von der Kartoffel und wo möglich von den Früchten nimmt, weil diese nicht gar zu klein sind, müssen, wenn man sie mittelst auffallenden Lichtes betrachtet, von einer feinen, hellweissen, scharf abgeschnittenen Grenzlinie umgeben erscheinen und darf sich an dem scharf gezeichneten Rande durchaus kein Lichtnebel zeigen.

Unter den Pollenkörnern sind namentlich diejenigen vorzuziehen, deren Exine mit kleinen stachelförmigen Erhebungen besetzt ist, wie die der Malven. Sehr geeignet sind diejenigen von der gemeinen Stockrose, *Althaea rosea*, welche etwa einen Durchmesser von $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ mm besitzen. Die kleinen Stacheln müssen scharf abgeschnitten gesehen werden und es darf ihre Begrenzung auch bei Anwendung der stärkeren Oculare nicht an Feinheit und Schärfe verlieren, wenn ein gutes Objectivsystem zur Beobachtung gebraucht wird. Erscheinen dieselben nicht scharf von der Fläche des Kornes abgehoben und ihre Grenzen verwaschen und nebelig, oder verbreitern sich dieselben bedeutend bei stärkeren Ocularvergrösserungen, so darf man überzeugt sein, dass das in Anwendung gekommene Objectivsystem mangelhaft corrigirt ist.

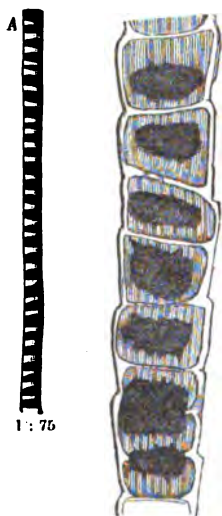
Ein sehr gutes Object für auffallendes Licht gewähren auch Theile solcher Insectenflügel, welche, wie bei den Schmetterlingen, bei dem Diamantkäfer (*Curculio imperialis*), dem Birnenrüsselkäfer (*Cur. Pyri*) und anderen dieser Familie mit kleinen Schüppchen oder, wie bei den

Fliegen, mit kleinen Härchen bedeckt sind. Jene Schüppchen sowohl als die feinen Haare und deren kreisrunde Ansatzstellen müssen scharf umgrenzt und deutlich abgehoben erscheinen. Die behaarten Flügel eignen sich ausserdem auch recht gut zur Prüfung des Begrenzungsvermögens bei durchgehendem Lichte und ist dabei vorzugsweise auf das deutliche Hervortreten der Anheftungstellen der Haare zu sehen.

Die Haare der Hausmaus eignen sich sowohl für auffallendes wie für durchgehendes Licht und können in ersterem Falle trocken, sowie in eine Flüssigkeit eingelegt verwendet werden. Trocken eingelegte oder auch in Canadabalsam liegende Haare müssen die hellen und dunklen Stellen deutlich getrennt und durch scharfe Linien von einander gescheiden erkennen lassen, wobei die ersteren ein schön silberglänzendes Ansehen zeigen, Fig. 199.

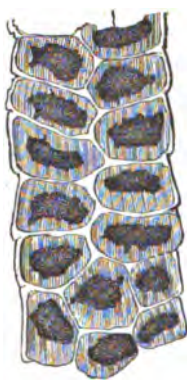
In Chlorcalcium eingelegte Haare werden ganz von der Flüssigkeit durchdrungen und lassen dann jene Verschiedenheit weniger gut erkennen, dagegen müssen sie von einer scharfen, feinen silberglänzenden Linie begrenzt erscheinen und es sollen bei mittleren und stärkeren Vergrößerungen der Objectivsysteme die Stellen deutlich hervortreten, welche durch die zellige Structur der Rindenschicht hervorgerufen werden. Bei durchgehendem Lichte zeigt sich ungefähr dasselbe Bild; nur erscheinen

Fig. 199. Fig. 200.



1 : 600

Fig. 201.



jetzt die vorhin glänzenden Stellen dunkel, die vorher dunklen, aber durchsichtig (Fig. 200 und Fig. 201).

Auch die Haare der gemeinen Fledermaus (*Vespertilio murinus*) (Fig. 202) bieten in der Structur ihrer Rindenschicht, welche aus spiralig geordneten, platten, schuppenartigen Zellen besteht, die am Rande etwas vorspringen, gleich den vorigen ein sehr gutes Probeobject für die

stärkeren Objectivsysteme der ersten Classe und für die schwächeren der zweiten Classe bei durchgehendem Lichte.

Die Tracheen der Seidenraupe (Fig. 203) bilden ein recht brauchbares Probeobject und können die Hauptäste zur Prüfung schwächerer, die immer feiner und zarter werdenden Verzweigungen derselben zur Prüfung der stärkeren Vergrößerungen verwendet werden. Gute Systeme müssen die Spiralbänder deutlich von einander getrennt sowie klar und bestimmt umgrenzt

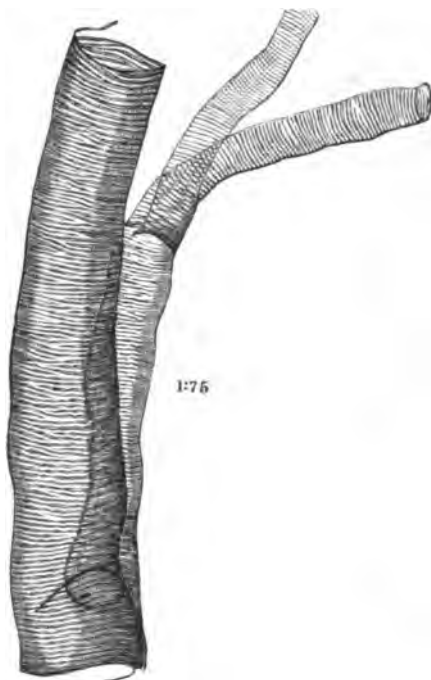
zeigen, ohne dass sich in den Zwischenräumen die merkliche Farbe-Erscheinung oder nebeliges Aussehen bemerkbar machen dürfen.

Fig. 202.

Fig. 203.



1 : 120



Der Querschnitt einer Nadelholzart, namentlich der Kiefer, eignet sich ganz vortrefflich für die Prüfung des Begrenzungsvermögens und bietet namentlich die Schärfe, Reinheit und Feine der Grenzlinien des aus der Cambialwandung und den primären Zellstoffhüllen gebildeten Netzwerkes, sowie der inneren secundären Verdickungsschicht (sogenannten tertiären Membran), Fig. 204 (a. f. S.), ausgezeichnete Anhaltspunkte für die mittleren und starken Objectivsysteme.

Auf Längsschnitten von *Pinus sylvestris*, *Abies excelsa* und dergleichen Nadelholzarten, Fig. 205 und 206 (a. f. S.), welche man am besten aus dem Wurzelholze nimmt, kommt vorzugsweise die Umgrenzung des Tüpfelcanales in Betracht. Dieselbe muss bei voller Zartheit klar und bestimmt hervortreten und namentlich bei enger Blendung eine deutlich blaue Färbung zeigen, wenn das Objectiv chromatisch gut corrigirt sein, also bei schiefe Licht nicht breite primäre Farbensäume geben und gerechten Anforderungen entsprechen soll. Ich finde dieses Probeobject

nicht allein für die schwächeren Systeme, sondern auch für die stärkeren namentlich aber für diejenigen der zweiten Gruppe sehr geeignet, indem

Fig. 204.

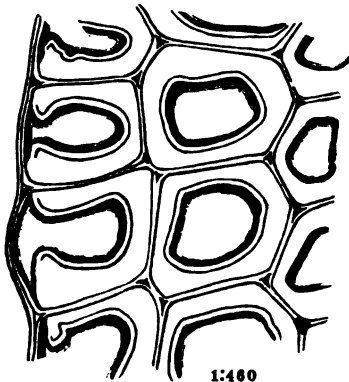


Fig. 205.

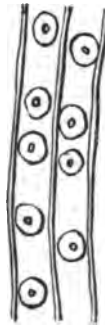
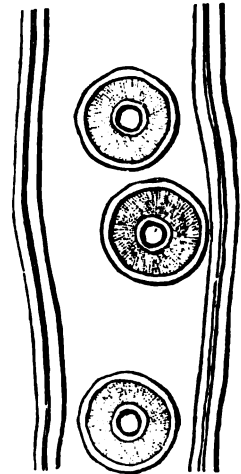


Fig. 206.



das Bild, unter dem sich der ganze Tüpfel darstellt, einen sehr guten Anhaltspunkt zur Beurtheilung nicht nur der Correction der sphärischen, sondern auch der chromatischen Abweichung darbietet.

Die getüpfelten Schüppchen von den Flügeln der vorher genannten *Lycaena*-arten (Fig. 207 und 208) eignen sich sehr gut zur

Fig. 207.



Fig. 208.

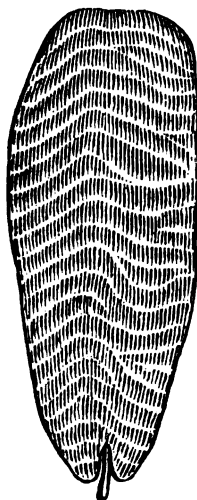


Prüfung der Objectivsysteme zweiter Gruppe und werden zu diesem Zweck am besten in Balsam aufbewahrt, indem sie dann ein schön aufgehelltes Bild gewähren. Bei allen müssen sowohl die in Längsreihen geordneten ringförmigen Punkte mit der in ihrer Mitte stehenden haarförmigen Spitze deutlich und scharf umgrenzt gesehen, als auch die die einzelnen Ringe verbindenden zarten Längsstreifen erkannt werden, ohne dass einzelne nahe bei einander stehende Ringe zusammenfliessen dürfen.

Die Schüppchen, welche Körper und Beine der *Podura plumbea* bedecken, sind zweierlei Art, grösser, dunkler — und kleiner, heller (Fig. 209 und 210). Auf den ersteren, die sich ausserdem durch ihre mehr in die Länge gezogene Gestalt leicht bemerklich machen, sind die ihre Oberfläche bedeckenden, in wellenförmigen Querreihen angeordneten, keilförmigen

gen Zeichnungen bedeutend stärker markirt, während sie auf den letzteren, namentlich auf den fast kreisrunden Exemplaren weit zarter und

Fig. 209.



1 : 400

Fig. 210.



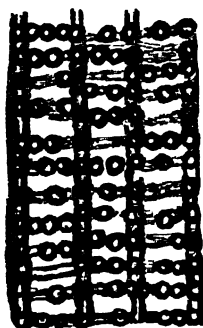
1 : 400

schwächer gezeichnet erscheinen. Die dunkleren Schüppchen sind für die schwächeren Objectivsysteme der zweiten, die helleren aber für die stärkeren Systeme dieser sowohl als für die der dritten Gruppe ein sehr gutes Probeobject für das Begrenzungsvermögen. Es müssen an ihm die genannten Zeichnungen

deutlich, von der Umgebung bestimmt abgehoben und scharf begrenzt hervortreten, ohne dass sie verschleiert oder unter der Form von zusammenhängenden Längslinien erscheinen, wie es häufig bei weniger gut definirenden Systemen der Fall ist. Mit den vollkommeneren Systemen erkennt man auf dem breiteren Ende der Keilchen noch eine ringförmige Zeichnung, von der ich indessen noch nicht genau ermitteln konnte, woher sie rührt.

Die Schüppchen von den Flügeln des Kohlweisslings (*Pieris brassicae*) (Fig. 211) und zwar die etwa gleich breiten, mit starken Längsstreifen gezeichneten geben in ihrer Zeichnung über Klarheit,

Fig. 211.



Schärfe und Farbenfreiheit des von mittleren oder stärkeren Objectivsystemen entworfenen Bildes vorzüglichem Aufschluss. Gute schwächere Objective lassen auf diesen Schüppchen scharf markirte Längs- und Querstreifen erkennen, stärkere zeigen sie, sowohl auf, als zwischen den Längsstreifen, mit scharf markirten, klar gezeichneten, kreisrunden Punkten bedeckt, welche bei weniger guten Systemen mehr oder minder verschleiert oder gar zusammengefloßen erscheinen.

Die quergestreiften Muskelfasern (Fig. 212 bis 214, a. f. S.), welche man am besten aus dem Thorax eines Lauf- oder Schwimkäfers nimmt, gewähren für die Objectivsysteme der

zweiten und dritten Gruppe ein vorzügliches Probeobject. Nur die besten Systeme dieser Classe gewähren ein Bild, welches die gesammten Structurverhältnisse, welche in ihrem Aussehen allerdings je nach dem Contractionszustande wechseln, mit der erforderlichen Klarheit und Schärfe erkennen lässt. Die Structur der Primitivfibrillen bedarf zu ihrer genügenden Erkenntniss ein sehr gut begrenzendes System der dritten Gruppe, indem

durch weniger vollkommene Systeme Bilder erzeugt werden, welche leicht zu falschen Anschauungen verleiten.

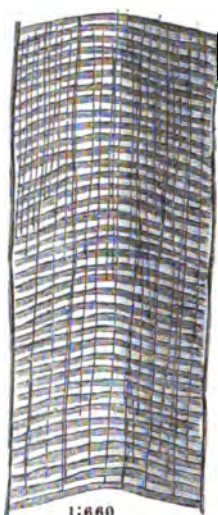
Die Schleim- oder Speichelkörperchen (Fig. 215), welche man leicht erhält, wenn man mit einem Scalpelle oder sonstigen nicht ganz

Fig. 212.



1:180

Fig. 213.



1:660

Fig. 214.



1:800

scharfen Messerchen an dem Zahnfleisch, der Innenseite der Wangen oder über den Rücken der Zunge hinstreicht, gewähren ein sehr schönes

Fig. 215. Object für das Begrenzungsvermögen der stärkeren und stärksten Systeme. Es kommt dabei hauptsächlich auf die scharfe Begrenzung im Allgemeinen sowohl, als namentlich des Kernes und der kleinen, in Molecularbewegung befindlichen Inhaltskörperchen an, welche nur mit recht guten Systemen in genügender Weise erkannt werden können.

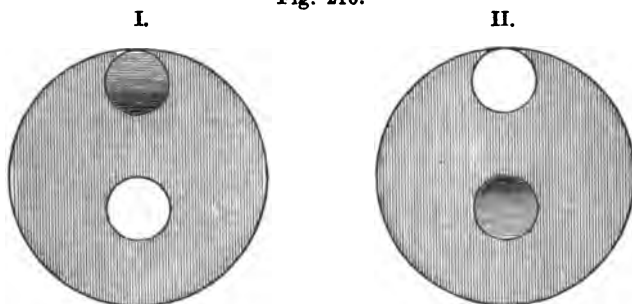


223

Die Prüfung des Begrenzungsvermögens mittelst der voranstehend beschriebenen Probeobjecte giebt hinreichend sichere Anhaltspunkte über die Art, in welcher ein Objectivsystem gewisse, den letzteren gleiche oder ähnliche Strukturverhältnisse zu zeichnen vermag, welche in der Regel mittelst ihrer weniger abgelenkten, lichtstärkeren Beugungsbüschel nur die mittleren Theile der freien Oeffnung stärker, die Randzone dagegen nur mittelst der weiter abgelenkten, weniger lichtstarken, also verhältnissmässig schwach in Anspruch nehmen, und erlaubt insofern eine annähernd ausreichende Beurtheilung für gewisse Gebrauchszwecke. Dagegen reicht sie nicht vollkommen aus, wenn es darauf ankommt, die Bedingungen für das richtige Zusammenwirken von Strahlenbüscheln zu erproben, welche verschiedene Theile der freien Oeffnung durchlaufen

und dieselben etwa gleichmässig in Thätigkeit setzen. Hier ist die von Professor Abbe vorgeschlagene, im Wesentlichen der auf S. 340 u. f. beschriebenen nahe kommende, aber rascher und leichter ausführbare Prüfungsmethode mittelst einer Anzahl der gewöhnlichen Probeobjecte in Anwendung zu bringen. Wählt man dabei das betreffende Object von solcher Feinheit des Details, dass das zu prüfende Objectivsystem dasselbe bei rein centraler Beleuchtung eben sichtbar macht, bei schiefer aber ohne alle Schwierigkeit löst, so kann damit ohne weitere Hilfsmittel der empfindliche Strahlengang im Mikroskope herbeigeführt werden. Die Lage des directen Lichtbüschels und des einen ersten Beugungsbüschels oder des Bildes der Lichtquelle und des einen ersten Einzelspectrums in der Austrittspupille des Objectivsystemes gewinnt in diesem Falle — wie die unmittelbare Beobachtung der Lichtspuren durch Hineinsehen in den offenen Tubus zeigt — nämlich ein solches Verhältniss zu der Oeffnung, dass bei zwei bestimmten Stellungen des Spiegels Theile aller Zonen der freien Oeffnung, jede durch einzelne Streifen vertreten, wirksam werden und zwar unter Umständen, welche das Hervortreten der Correctionsmängel besonders begünstigen. Die eine dieser beiden Stellungen erhält man, wenn man den Spiegel senkrecht zu einem Streifensysteme des in Verwendung kommenden Objectes so weit aus der Achse bringt, dass der eine Rand desselben ungefähr in diese trifft. Die Spur des ungebeugten Lichtbüschels erscheint dann in dem Oeffnungsbildchen etwas excentrisch mit seinem Rande gerade dessen Mitte berührend, die Spur des Beugungsbüschels auf der gegenüberstehenden Seite in der Randzone (Fig. 216 I.) Die andere, d. h. diejeige der möglichst schiefen Be-

Fig. 216.



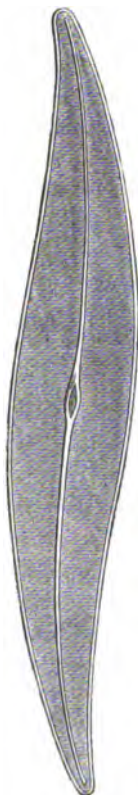
leuchtung, welche das System ohne merkliche Verdunkelung des Gesichtsfeldes gestattet, ist herbeigeführt, sobald beide Spuren ihre Stellung vertauscht haben, wenn also diejenige des ungebeugten Lichtbüschels in die Randzone, das Beugungsspectrum dicht an die Mitte getreten ist (Fig. 216 II.) In beiden Lagen hat man, wenn nur ein Streifensystem vorhanden ist, zur Abbildung zwei gesonderte Lichtbüschel wirksam, welche einen Theil der Mittel- und einen Theil der Randzone der freien Oeffnung, aber beide auf entgegengesetzter Seite der Achse, in Thätig-

keit setzen. Enthält das Object mehrere gleichartige Streifungen, so treten zwar noch Theile anderer Beugungsbüschel in das Objectivsystem ein, aber es wird dadurch an den vorher betrachteten Verhältnissen nichts Wesentliches geändert.

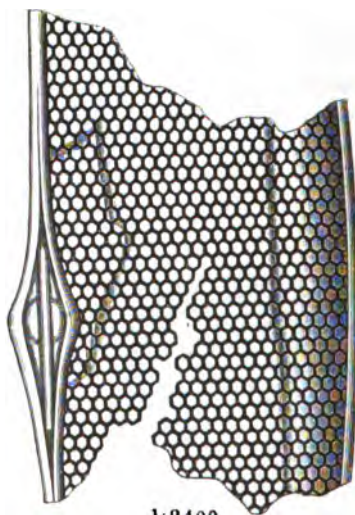
Bei diesem Verfahren hat man die ein- und denselben Theile des Objectes angehörigen Theilbilder, d. h. das durch die Interferenz des absoluten Maximums und der lichtstarken, an dieses nahe herangerückten Beugungsspectren erzeugte Bild der größeren Structur: die Contouren und das aus der Interferenz des absoluten Maximums und der den stärker abgebeugten Lichtbüscheln entsprechenden Beugungsspectren entspringende Bild der feineren Structureinzelheiten neben einander. Liegen nun in dem Objecte beide Structurverhältnisse in derselben Ebene, so müssen deren Bilder bei ein- und derselben Einstellung sowohl jedes für sich vollkommen scharf gezeichnet hervortreten, als auch beide zugleich ohne Niveaudifferenz und ohne seitliche Verschiebung zusammenfallen, Fig. 217 II. Besteht ein Objectivsystem diese Probe wenig-

Fig. 217.

I.



II.



1:2400

stens in der Mitte des Sehfeldes, so wird dasselbe bei jeder beliebigen Art der Beleuchtung von jedem beliebigen Objecte stets richtige Bilder liefern. Zeigt sich dagegen bei Einstellung auf die Umrisse das Detail als scheinbar über oder unter dem Objecte schwebend, oder seitlich über jene hinüberfließend, so lässt sich aus diesem Befunde schliessen, dass die Construction des Objectivsystemes kein Gewähr dafür

bierte, dass bei seinem Gebrauche an beliebigen Objecten die zusammengehörigen Structurmerkmale auch als zusammengehörige kenntlich gemacht werden. Abweichungen der gedachten Art wird man bei Objectivsystemen von grossem Oeffnungswinkel und wenn der Gesichtswinkel des Oculars nicht ungewöhnlich klein ist, nach dem Rande des Gesichtsfeldes hin stets wahrnehmen; doch entspringen dieselben meistens nicht aus den die Abbildung unbedingt schädigenden Abweichungsfehlern, sondern aus Differenzen der Vergrösserung, welche bei den besten Constructionen unvermeidlich sind, und es bemisst ihr mehr oder minder starkes Hervortreten die Vollkommenheit der Abbildung ausser der Achse.

Die an dem Umrissbilde haftenden Farbensäume, welche bei dieser Prüfungsmethode auftreten, geben die weiteren Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Güte eines Objectivsystemes und es sollen dieselben schmale, scharfe, den secundären Farben angehörige, nicht breite, oder verwaschene primäre Farben zeigende sein. Indessen ist zu bemerken, dass dieselben beim gewöhnlichen Gebrauche des Mikroskopes sich nur dann störend geltend machen, wenn sie bei centraler Beleuchtung hervortreten.

Die zu verwendenden Probeobjecte, welche hier nicht in unverletzten Exemplaren, sondern in Bruchstücken zu verwenden sind, die sich meist in allen gebräuchlichen Präparaten finden, oder leicht herstellen lassen, müssen vor allen Dingen folgenden zwei Anforderungen genügen. Sie müssen erstlich so dünn und so eben sein, dass man das Bild der in Betracht kommenden Contouren und der feinen Structur als in einer Ebene liegend ansehen kann, zweitens müssen die abgebeugten Strahlenbüschel eine grosse Lichtstärke haben, damit die von ihnen herrührende Wirkung neben derjenigen der weniger abgebeugten ausreichend zur Geltung kommen kann. Mit Rücksicht auf diesen letzten Punkt eignen sich daher nur trocken eingelegte Objecte mit scharf ausgeprägter Zeichnung, welche recht lichtstarke Beugungsspectren geben.

Für die schwächeren und mittleren Objectivsysteme können die schon früher besprochenen Schüppchen des Kohlweisslings (*Pieris brassicae*), dann die Kieselschalen gröber gezeichneter Diatomeen, z. B. von *Achnanthes breripes* Ag. *Cocconeis Scutellum* Ehrbg. *Navicula didyma* Kutz. dienen. Für stärkere Trockensysteme, bei denen vorzugsweise auch die erste Anforderung in Betracht kommt, gewährt das später zu besprechende *Stauroneis Phoenicenteron* für numerische Aperturen von etwa 0,65 bis 0,80, die grossen gröber gezeichneten Schalen des *Pleurosigma angulatum* (Fig. 217) bei numerischer Apertur von über 0,80 vortreffliche Objecte. Den numerischen Aperturen der Immersionssysteme bis zu 1,1 entsprechen die feiner gezeichneten Schalen der kleinen Exemplare von *Pleurosigma angulatum*, während für solche über 1,1 und namentlich für die hohen numerischen Aperturen der Systeme für homogene Immersion die grösseren und mittleren Exemplare der *Navicula rhomboides* var. *maxima* (Diatomeenerde von Cherryfield, Monmonth, trocken eingelegt) sehr passende Objecte bilden.

Bei allen diesen Objecten darf man indessen nicht die natürlichen Ränder oder die Mittelrippe in Betracht ziehen. Man muss vielmehr stets das Bild in der Nähe von reinen und scharfen Bruchrändern beobachten.

b. Probeobjecte für das Auflösungsvermögen.

Als Probeobjecte für das Auflösungsvermögen dienen vorzugsweise:

Die Nobert'sche Probeplatte, Schüppchen von den Flügeln verschiedener Insecten und Kieselschalen aus den Diatomeengattungen, Navicula, Grammatophora, Pleurosigma, Nitzschia u. A.

Nobert's Probeplatte. — Die Probeplatte des verstorbenen Nobert (Barth in Pommern), welche mehrfache, mir bis jetzt indessen nicht bekannt gewordene Nachahmungen gefunden hat, besteht in den älteren Formen aus 10, 15, 20 oder 30, in der neuesten aus 19 Gruppen oder Bändern, in denen feine parallele Linien derart gezogen sind, dass sie in der ersten Gruppe am weitesten von einander entfernt und am stärksten, in der letzten am meisten einander genähert und am feinsten sind, so dass sämmtliche Gruppen in Bezug auf die Schwierigkeit ihrer Auflösbarkeit in einzelne Linien eine annähernd regelmässig aufsteigende Reihe bilden. Man besitzt in derselben also, wenn sie eine genügende Anzahl solcher Bänder enthält, ein für alle Fälle ausreichendes Probeobject. Die Probeplatte bietet offenbar die meiste Zuverlässigkeit unter allen Objecten, sobald es darauf ankommt, genau vergleichbare und maassgebende Resultate zu erhalten, und es kann dieselbe wohl von keiner Reihe der natürlichen Probeobjecte ganz erreicht werden, sowohl in Bezug auf die Gleichförmigkeit verschiedener Exemplare als auch auf den stetigen Fortschritt in der Schwierigkeit der Lösbarkeit. Zwar trifft man auch bei ihr immer auf kleine Differenzen in der Stärke der einzelnen Linien und Liniengruppen, solche aber können einmal bei so höchst feinen Theilungen bis jetzt nicht vermieden werden. Namentlich sind in den höheren Gruppen der umfangreicheren Platten nicht alle Linien ganz gleichmässig ausgefallen und man begegnet immer einzelnen, welche die übrigen an Stärke übertreffen und demzufolge leichter gesehen werden können als diese, was namentlich bei centraler Beleuchtung sehr entschieden hervortritt, in minderem Grade dagegen sich bei schiefem Lichte geltend macht. Diese Ungleichheiten bedingen je nach ihrem Hervortreten den relativen Werth einer Platte als Probeobject und es mögen dieselben bei den älteren Platten in einer solchen Weise hervorgetreten sein, dass Mohl zu den gemachten Ausstellungen ganz berechtigt war. Sie rühren indessen fast weniger von der Verschiedenheit in einzelnen Linien, als vielmehr von dem mehrfach geänderten Theilungsprincipe Nobert's und von der Feinheit der Linien je einer ganzen Platte her.

In der neueren Zeit scheint indessen Nobert einen festen Eintheilungsgrund angenommen gehabt zu haben und die in den aus den letzten Jahrzehnten herrührenden Platten vorkommenden Unterschiede sind nach den Mittheilungen Pohl's, welcher eine Anzahl von Platten genau geprüft hat (Ueber mikroskopische Probeobjecte etc., Wien 1860), sowie nach meinen eigenen Wahrnehmungen an einer 30 gruppigen Platte nicht so erheblich, dass sie die erhaltenen Resultate wesentlich beeinträchtigen könnten¹⁾.

Da es für den Gebrauch der Probeplatte erwünscht ist, das Verhältniss ihrer einzelnen Liniengruppen zu den Zahlenwerthen der den numerischen Aperturen entsprechenden Grenzen des Auflösungsvermögens zu kennen, wird es nicht unangemessen sein, die beiden neueren Formen mit je 30 und 19 Gruppen näher zu beschreiben.

Die Platte mit 30 Gruppen, welche mir vorliegt, wurde im Jahre 1860 ausgeführt, hat ein so dünnes Deckglas, dass sie für alle mir bekannten Objectivsysteme verwendbar ist, und trägt die von Nobert mit dem Diamant eingeritzte Inschrift:

$$\begin{array}{r} \text{Test-Object} \\ 1'' \quad 1'' \\ \hline 1000 \quad - \quad 8000 \end{array}$$

dann folgende Distanzangaben:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ Gr.} = 0'',001\,000 & 15 \text{ Gr.} = 0'',000\,200 \\ 5 \text{ " } = 0, \, 000\,550 & 20 \text{ " } = 0, \, 000\,167 \\ 10 \text{ " } = 0, \, 000,275 & 25 \text{ " } = 0, \, 000\,143 \\ & 30 \text{ Gr.} = 0'',000\,125. \end{array}$$

Von den 30 Bändern sind immer je fünf wieder zu einer grösseren Gruppe vereinigt, indem sie durch einen weiteren Zwischenraum von einander geschieden werden, als dies bei den einzelnen Bändern der Fall ist. Hierdurch wird die Uebersicht in hohem Grade erleichtert und ein Irrthum in der Zählung der Bänder vermieden. Die Breite der einzelnen Bänder ist durch die ganze Platte fast gleich und beträgt nach meinen in der Mitte derselben vorgenommenen Messungen im Durchschnitt 0,013585 bis 0,012877 mm. Berechnet man die Summen der Linienabstände, wie sie Nobert für die einzelnen Gruppen angegeben hat, so ergeben sich dieselben für

$$\begin{array}{ll} \text{Gruppe } 1 = 0,0135 \text{ mm} \\ \text{ " } 5 = 0,0136 \text{ " } \\ \text{ " } 10 = 0,0130 \text{ " } \\ \text{ " } 30 = 0,0127 \text{ " } \end{array}$$

also annähernd die oben gefundenen Werthe.

¹⁾ Dasselbe rühmen Max Schultze (Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. I, Heft 2 und 3), Prof. van Heurck (Les Microscopes 1878) und Woodward auch von den neuesten Platten mit 19 Gruppen.

Die Abstände der Linien in den aufeinanderfolgenden Gruppen, denen die Anzahl derselben beigelegt ist, sind nach Nobert's Angaben in Theilen der Pariser Linien, nach vorgenommener Umrechnung in Theilen des Millimeters ausgedrückt, folgende:

Gruppe	Entfernung der Linien nach Nobert	Entfernung der Linien in Theilen des Millimeters	Anzahl der Linien in einer Gruppe
1.	0,001 000 ¹⁾	0,002 256 mm	7
2.	0,000 850	0,001 917	8
3.	0,000 730	0,001 647	9
4.	0,000 620	0,001 399	10
5.	0,000 550	0,001 240	12
6.	0,000 480	0,001 082	13
7.	0,000 400	0,000 902	15
8.	0,000 350	0,000 789	17
9.	0,000 300	0,000 677	20
10.	0,000 275	0,000 620	22
11.	0,000 250	0,000 591	24
12.	0,000 238	0,000 566	25
13.	0,000 225	0,000 533	26
14.	0,000 213	0,000 508	28
15.	0,000 200	0,000 451	29
16.	0,000 192	0,000 433	30
17.	0,000 185	0,000 417	31
18.	0,000 178	0,000 401	32
19.	0,000 172	0,000 388	33
20.	0,000 167	0,000 376	34
21.	0,000 162	0,000 365	36
22.	0,000 157	0,000 354	37
23.	0,000 152	0,000 342	38
24.	0,000 147	0,000 331	40
25.	0,000 143	0,000 322	41
26.	0,000 139	0,000 313	42
27.	0,000 135	0,000 304	43
28.	0,000 131	0,000 295	44*
29.	0,000 128	0,000 288	45*
30.	0,000 125	0,000 282	46*

¹⁾ Die mit * bezeichneten Zahlen sind nicht mit Sicherheit festgestellt.

Zum Behufe der leichten Vergleichung der einzelnen Gruppen mit den Gliedern der aus den natürlichen Probeobjecten gebildeten Reihe habe ich die Anzahl der Linien hestimmt, welche in jeder der ersteren auf 0,01 mm oder 10 μ gehen. Dabei sind indessen nur die Linien der 1. bis 27. Gruppe einer wirklichen Zählung mittelst des Spitzenoculares unterworfen, die der übrigen durch Rechnung interpolirt worden, da ich in Uebereinstimmung mit meinen Zählungen in der 1. bis 27. Gruppe fand, dass die Anzahl der Linien, welche auf 0,01 mm kommen, nahezu im umgekehrten Verhältnisse ihrer gegenseitigen Entfernung stehen, und ferner habe ich, um möglichst ganze Zahlen zu erhalten, alle Bruchtheile über 0,5 zu der nächst höheren, alle unter 0,5 zu der nächst niedrigen Zahl gezogen. Nur in der ersten Gruppe durfte ich den Bruchtheil nicht vernachlässigen.

Es gehen auf 0,01 mm, oder 10 μ :

In Gruppe	I. . .	5,5 Linien.	In Gruppe	XVI. . .	22 Linien
"	II. . .	6	"	XVII. . .	23 "
"	III. . .	7	"	XVIII. . .	24 "
"	IV. . .	8	"	XIX. . .	25 "
"	V. . .	9	"	XX. . .	26 "
"	VI. . .	10	"	XXI. . .	27 "
"	VII. . .	11	"	XXII. . .	28 "
"	VIII. . .	13	"	XXIII. . .	29 "
"	IX. . .	15	"	XXIV. . .	30 "
"	X. . .	16	"	XXV. . .	31 "
"	XI. . .	17	"	XXVI. . .	32 "
"	XII. . .	18	"	XXVII. . .	33 "
"	XIII. . .	19	"	XXVIII. . .	34 "
"	XIV. . .	20	"	XXIX. . .	35 "
"	XV. . .	21	"	XXX. . .	36 "

Die neueste Platte von 19 Gruppen, welche ich nicht selbst kenne, ist nach einem anderen Principe getheilt. Die Linienabstände der einzelnen Gruppen bilden darin eine absteigende Reihe von $\frac{1}{1000}$ zu $\frac{1}{10000}$ Par. Linie.

Die Linienabstände in den einzelnen Gruppen, sowie die Anzahl der Linien auf je 0,01 mm oder 10 μ ergibt die Uebersicht auf folgender Seite, welcher die bezüglichlichen Gruppen der voranstehend beschriebenen Platte angefügt sind.

Bei dem Gebrauche der Nobert'schen Probeplatte hat man selbstverständlich sämtliche Vorsichtsmaassregeln zu beachten, welche bei so schwierigen Untersuchungen überhaupt in Anwendung kommen müssen. Die Construction des Objectes macht aber ausserdem besondere Umsicht nothwendig. Vor allem hat man sorgfältig darauf zu achten, dass eine bestimmte Gruppe nur dann als wirklich gelöst angesehen wird, wenn

alle Linien deutlich von einander getrennt erscheinen und nicht etwa dann, wenn man in derselben eine mehr oder minder deutliche Streifung wahrnimmt. Eine solche Streifung tritt namentlich bei den höheren

Gruppe	Anzahl der Linien auf 10 μ	Entfernung der Linien in μ	Entsprechende Gruppe der älteren Platte
1.	4,43	2,25	1
2.	6,56	1,50	2
3.	8,86	1,12	5
4.	11,08	0,90	7
5.	13,29	0,75	8
6.	15,50	0,64	9
7.	17,72	0,56	11
8.	19,94	0,50	13—14
9.	22,15	0,45	16
10.	24,37	0,41	18
11.	26,58	0,37	20
12.	28,20	0,34	23
13.	31,00	0,32	25
14.	33,23	0,36	27
15.	35,44	0,28	29
16.	37,66	0,26	30
17.	39,87	0,25	—
18.	42,09	0,24	—
19.	44,30	0,22	—

Gruppen leicht hervor, indem die größeren Linien, von denen vorher die Rede war, leichter gesehen werden und so eine Täuschung veranlassen können. Hier hilft nur die allergenaueste Einstellung und die sorgfältigste Durchmusterung der betreffenden Gruppe, um seiner Sache gewiss zu werden. So sehe ich z. B. mit einem Objectivsysteme, welches die 20. Gruppe deutlich löst, in noch weit höheren, z. B. in der 25. und 26. Gruppe die stärkeren Streifen und den Zwischenraum mit Längsstreifen schattirt, ohne dass aber die einzelnen Linien mit der erforderlichen Klarheit hervortreten.

225 Insectenschüppchen. — Die Schüppchen von dem Körper einiger ungeflügelter Gradflügler (Thysanuren) sowie von den Flügeln gewisser Schmetterlinge, welche noch vielfach im Gebrauch sind und deshalb hier

nicht übergangen werden dürfen, eignen sich vorzugsweise zur Prüfung solcher Mikroskope, deren Objectivsysteme der ersten und den Nummern der zweiten Gruppe mit grösseren Brennweiten oder kleinerer numerischer Apertur angehören.

Das Detail der Structurmerkmale, worauf es bei diesen Objecten ankommt, bilden die auf ihrer Oberfläche vorkommenden Längs- und Querstreifen, von denen die ersteren, am weitesten von einander entfernten und am stärksten markirten für die schwächeren, die letzteren, weit mehr einander genäherten und feiner gezeichneten aber für die stärkeren Systeme der genannten Gattung gebraucht werden können.

Die Längsstreifen werden durch Erhebungen der Oberfläche gebildet, zwischen denen muldenförmige Vertiefungen verlaufen, so dass die Schüppchen auf dem Querschnitte ein wellenförmiges Ansehen gewinnen. Sie erscheinen bei schwächeren Vergrößerungen und namentlich bei schiefem Lichte, welches senkrecht zu ihrer Längsachse einfällt, scharf von zwei Linien begrenzt. Bei stärkeren Vergrößerungen dagegen und centraler Beleuchtung nehmen sie unter einem gut definirenden Objectivsysteme ein gezähntes Aussehen an, indem dann die in gleicher Ebene liegenden und mit ihnen zugleich im Focus befindlichen Theile der Querstreifen mit zur Anschauung gelangen, wodurch sie an diesen Stellen etwas verdickt erscheinen. Bei den schwächeren Vergrößerungen können diese Structurverhältnisse eben ihrer Zartheit halber kaum die Schärfe der Grenzlinien moderiren. Bei schiefer Beleuchtung werden sie selbst mittelst stärkerer Systeme deshalb übersehen, weil die von den Längsstreifen abgelenkten Lichtbüschel vorzugsweise in Wirksamkeit treten. Hierauf beruhen denn auch die auseinandergehenden Ansichten, welche von verschiedenen Mikroskopikern über die wahre Beschaffenheit dieser Längsstreifen aufgestellt wurden. So behauptet z. B. Brewster (*Treatise on the microscope*), dass die Querstreifen gar nicht existirten, sondern dass die Längsstreifen mit kleinen Zähnen besetzt seien. Chevalier (*Les microscopes etc.*) beschreibt die Schüppchen von *Pieris brassicae* als mit Längsstreifen besetzt, welche aus kleinen nahe beieinanderstehenden Kügelchen gebildet würden, und hält die Sichtbarmachung dieser Kügelchen für den wahren Prüfstein für die Güte eines Objectivsystemes. Einige englische Mikrographen stimmen dem bei, andere, z. B. Goring, dann unter den Deutschen H. v. Mohl, widersprechen und behaupten das Vorhandensein von scharf begrenzten Längs- und Querstreifen, und es hält letzterer die Chevalier'sche Beschreibung jenes Probeobjectes für ein schlechtes Zeugniß, das er seinen Mikroskopen ausgestellt habe. Brewster ist nur theilweise mit seiner Behauptung im Rechte, da er die Querstreifen gänzlich übersehen oder vielmehr nicht gesehen hat; Chevalier aber hat entschieden Recht. Ich habe denselben Gegenstand neuerlich mit verschiedenen der besten Objectivsysteme der neuesten Zeit untersucht und das Bild den Chevalier'schen Angaben entsprechend gefunden. Die bekannten herzförmigen, Fig. 218 (a. f. S.), sowie

die gewöhnlichen Schüppchen von *Pieris brassicae* (Fig. 211 S. 379) erscheinen nämlich über ihre ganze Oberfläche, sowohl auf den Längsstreifen als in den Zwischenräumen, mit sehr kleinen, unregelmässig eckigen bis rundlichen Körperchen besetzt, wodurch unter gewissen Beleuchtungsverhältnissen die Ansicht von Querstreifen hervorgerufen wird, welche zwischen und neben den Längsstreifen verlaufen, während sie, bei gerader Beleuchtung durch gut begrenzende Objectivsysteme gesehen, in der von Chevalier gezeichneten Weise erscheinen.

Die Querstreifen verlaufen bei den meisten Schüppchen in senkrechter, bei anderen in schiefer Richtung zu der Achse der Längsstreifen, sowohl über die Kuppen dieser als über die Zwischenräume, ohne von ersteren unterbrochen zu werden. Bei derjenigen Einstellung des Mikroskopes indessen, welche man gewöhnlich wählt, um die Querstreifen innerhalb der Zwischenräume mit Bestimmtheit zu sehen, entgeht dieses Verhalten leicht der Beobachtung. Nur bei einer gewissen mittleren Einstellungsweise tritt dasselbe deutlich hervor. Die Querstreifen nehmen je nach dem beabsichtigten oder unbeabsichtigten Wechsel in der Richtung des Beleuchtungskegels und der dadurch hervorgerufenen Aenderung in der Lage der wirksamen Spectra ein verschiedenes Aussehen an.

So können z. B. bei sehr schief einfallendem Licht zwischen den stärkeren einige sehr zarte Längsstreifen auftreten, wie sie in der nebenstehenden Zeichnung eines Schüppchens von *Hipparchia Janira* (Fig. 219)

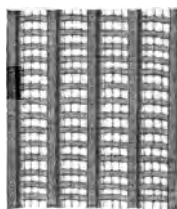
Fig. 218.



1: 370

Fig. 219.

1:1920



dargestellt sind und welche bei weitem schwieriger zu sehen sind, als die Querstreifen. Bruno Hasert hat diese Erscheinung schon 1847 aufgespürt und dieselbe seitdem näher beleuchtet (Amtlicher Bericht über die 34. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Karlsruhe, Seite 212). Auf seine An-

regung in brieflicher Mittheilung habe ich dieselbe schon vor Jahren ebenfalls einer näheren Untersuchung mittelst Objectivsystemen mit grosser numerischer Apertur unterworfen und mich von der Richtigkeit seiner Darstellung überzeugt. Beobachtet man die Querstreifen mittelst einer 300- bis 400fachen Vergrösserung bei gerade einfallendem Lichte, so

erscheinen sie wie gezähnt, müssen dabei aber scharf begrenzt sein. Bei stärkeren Vergrößerungen treten, sobald das betreffende Objectivsystem in sphärischer Beziehung hinreichend vollkommen verbessert ist, auf den Querstreifen bei entsprechender Spiegelstellung einzelne rundliche Körperchen mit deutlicher, zarter Begrenzung hervor, woraus sich die diagonalen Streifen erklären, welche man bei gewissen Beleuchtungsverhältnissen mittelst starker Objectivsysteme auf den Schüppchen wahrnimmt. Bei schiefer Beleuchtung gewahrt man scharf markirte, linienähnliche Querstreifen, wie sie früher von den meisten Mikroskopikern gesehen und gefordert wurden. Daher rühren denn auch die Vorwürfe, welche man einzelnen als vortrefflich bekannten Objectivsystemen machte, welche die Querstreifen der Hipparchiaschuppen gezähnt zeigten. Diagonale Linien treten namentlich dann hervor, wenn schiefes Licht unter einem Winkel von 30 bis 60° auf die Längsstreifen trifft, während die zarteren Längslinien dann am deutlichsten werden, wenn das schiefe Licht senkrecht gegen die Längsachse einfällt. In Bezug auf die Sichtbarkeit der beiden letztgenannten Liniensysteme kommen manche Schmetterlingschuppen den schwierigeren Probeobjecten aus der Familie der Diatomaceen fast gleich, ohne indes eine genügend vollständige Vergleichungsreihe darzubieten.

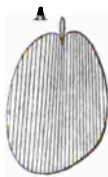
Nach diesen allgemeinen Bemerkungen gehe ich zur Schilderung derjenigen Schüppchen über, welche ich zur Prüfung der oben bezeichneten Instrumente für am meisten geeignet gefunden habe. Dieselben würden der Zahl der Streifen nach, welche auf 0,01 mm oder 10 μ gehen, etwa der 1. bis 5., beziehentlich der 1. bis 9. Gruppe der beiden Nöbert'schen Platten entsprechen, stehen aber, trocken eingelegt, in der That etwas niedriger, da die Streifen dunkler und daher leichter zu sehen sind, als die einzelnen Linien auf jener. In Canadabalsam eingelegt, stellt sich dagegen annähernde Gleichheit heraus.

Die Schüppchen, welche den ganzen Körper von *Lepisma saccharina*, einem unter Leinen, Papier und Zucker, sowie an feuchten Brettern oft in zahlloser Menge auftretenden, kleinen Insecte aus der oben genannten Gruppe bedecken und dessen perlmutterartigen Glanz hervorrufen, sind von zweierlei Art. Die grösseren (Fig. 220 und 221 a. f. S.) sind länglichrund bis keilförmig und enthalten auf 0,01 mm 4 bis 5 Längsstreifen, welche zwar schon bei einer schwachen, etwa 20- bis 30-maligen Vergrößerung gesehen werden können, aber der Durchsichtigkeit des Objectes und der scharfen Zeichnung der Streifen halber ein ganz gutes Probeobject für die schwächsten Objective darbieten, namentlich, wenn man auch die Schärfe und Klarheit des Bildes richtig beachtet. Die kleineren (Fig. 223) sind fast kreisrund, sehr durchsichtig, enthalten 7 bis 8 Längsstreifen auf 0,01 mm und sind sehr geeignet zur Prüfung etwa 100facher Vergrößerungen.

Hipparchia Janira ist ein fast überall in unserem Vaterlande gemeiner Wiesenschmetterling, der namentlich während der Monate Juli

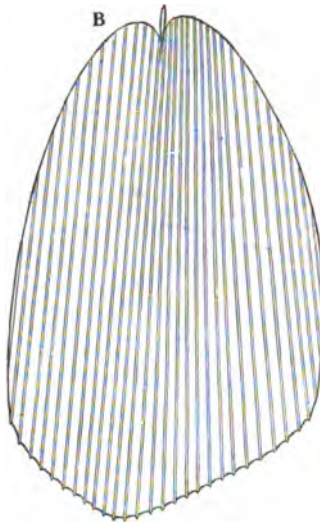
und August fliegt, zu welcher Zeit man ihn sich leicht verschaffen kann. Als Probeobject dienen vorzugsweise die hellgefärbten Schuppen von den Flügeln des Weibchens (Fig. 223), welches sich von dem Männchen

Fig. 220.



1:75

Fig. 221.



1:400

Fig. 223.



1:370

Fig. 222.



1:400

leicht durch seine Grösse, sowie durch ein grösseres okergelbes bis rothes Feld unterscheidet, in welchem der Augenfleck steht. Die Längsstreifen, von denen 4 bis 5 auf 0,01 mm kommen, sind etwa von gleicher Schwierigkeit, wie die auf den grösseren Schüppchen von *Lepisma saccharina*. Von den Querstreifen gehen 10 bis 12 auf 0,01 mm und können zur Prüfung von 200- bis 300fachen Vergrösserungen dienen. Bei diesen schwächeren Vergrösserungen sowie bei senkrecht gegen sie einfallendem schiefem Lichte erscheinen dieselben als scharfe Linien. Betrachtet man die Schüppchen aber mittelst stärkerer Objectivsysteme, so stellen sich die Querstreifen, welche sowohl über die erhabenen Längslinien als über die Zwischenräume verlaufen, wie gezähnt dar (Fig. 219) und man erkennt, wie sich dieselben in Form von parallelen Reihen kleiner, vier-eckig und an den Ecken mehr oder weniger abgerundet oder rundlich erscheinender Körperchen darstellen. Entsprechend auffallendes schiefes Licht bringt die zarten Längsstreifen oder auch diagonalen Streifen zur Anschauung.

Lycaena Argus ist ebenfalls einer unserer gewöhnlichsten Schmetterlinge, der vorzugsweise in den späteren Sommermonaten auf trockenen Wiesen und Waldplätzen fliegt. Das Männchen ist dunkelblau mit schwarzen Streifen und weissem Saume, das Weibchen braun. Als Probeobject nimmt man die Schüppchen von der Oberseite der Flügel

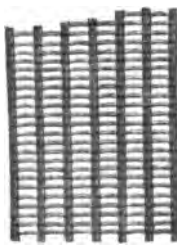
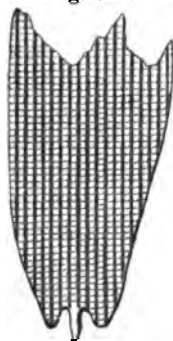
des Männchens. Dieselben sind dreierlei Art. Die schon früher beschriebenen, sogenannten getüpfelten Schüppchen interessiren uns hier nicht, sondern lediglich die zwei Arten mit Streifen. Die einen davon (Fig. 224 und 225), welche Bruchstücke eines Schüppchens darstellen, sind bei auffallendem Lichte blau, bei durchgehendem citronengelb gefärbt; die anderen erscheinen bei auffallendem Lichte braun, bei durchgehendem dunkelgraubraun. Beide haben auf dem Raume von 0,01 mm 6 bis 7 Längsstreifen, die sich sehr gut zur Prüfung schwächerer, 50- bis 100-facher Vergrößerungen eignen. Die Querstreifen auf den dunkleren Schuppen, von denen 11 bis 12 auf 0,01 mm gehen, sind etwas schwieriger sichtbar zu machen, als diejenigen von *Hipparchia Janira*. Diejenigen auf den helleren sind, obgleich sie etwas weiter von einander stehen, so dass 7 bis 9 auf 0,01 mm kommen, ihrer schwachen Zeichnung und der grossen Durchsichtigkeit der Schüppchen halber noch etwas schwerer zu sehen und verlangen schon eine gute Vergrößerung von 250- bis 300-fach im Durchmesser.

Ein noch etwas schwierigeres Object bieten die braunen (Fig. 226 und namentlich die gelben, sehr durchsichtigen, denen der vorigen

Fig. 224.

Fig. 225.

Fig. 226.



1:1450



1:370

1:600

Art ähnlichen Schüppchen von *Lycaena Alexis*, welche etwa zu gleicher Zeit mit der vorigen fliegt und namentlich auf mit Klee oder Luzerne bestellten Feldern zu finden ist. Von *Lyc. Argus* unterscheidet sich dieselbe leicht durch himmelblaue Färbung mit röthlichem Schimmer. Die Querstreifen stehen weit dichter als bei den vorhergehenden Schüppchen, auf den dunklen 14 bis 15, auf den lichten 10 bis 11 auf 0,01 mm, und bilden ein gutes Probeobject für etwa 200- bis 300-fache Vergrößerungen.

Diatomeenschalen. — Die Kieselschalen der Diatomeen sind vor 226 einigen Jahrzehnten namentlich von England aus, wo sich eine namhafte Zahl von Mikroskopikern mit besonderer Vorliebe dem Studium ihrer Oberflächenbeschaffenheit widmeten, als Probeobjecte empfohlen worden. Im Allgemeinen sind sie in dieser Beziehung den Insectenschuppen weit vor-

zuziehen, da sie, gehörig zubereitet, einestheils weit durchsichtigere Objecte bilden, auf denen die entsprechenden Zeichnungen mit mehr Bestimmtheit und Schärfe hervortreten, anderentheils diese Zeichnungen auch viel gleichmässiger sind, als auf jenen. Auch hat man unter den verschiedenen Objecten dieser Classe einen grösseren Spielraum, indem dieselben eine Reihe Probeobjecte liefern, welche von den schwächsten Systemen an durch alle Zwischenstufen hindurch bis zu den stärksten und vollkommensten ausreichen.

Die Zeichnungen, welche für alle verwendeten Probeobjecte in der Gestaltung übereinstimmen und daher für unsere Zwecke allein berücksichtigt werden sollen¹⁾, bilden diejenigen, welche in Form von sich unter rechten Winkeln kreuzenden, scheinbaren Längs- und Querlinien auftreten und bald aus gleich grossen, bald nach der einen oder anderen Richtung in die Länge gezogenen Körperchen, „Perlchen“, gebildet erscheinen.

Ueber die Gestaltung dieser Sculpturen, namentlich der feiner gezeichneten Arten, herrschen, da sie nur die Merkmale bestimmter, die vorliegende Beugungserscheinung hervorrufer Strukturverhältnisse sein können, die je nach der Anordnung der in Wirksamkeit tretenden Beugungsbüschel wechseln, ähnliche Meinungsverschiedenheiten wie jene, welchen wir bei den Schmetterlingsschuppen begegnen, und es haben dieselben bereits in dem dritten Abschnitte des ersten Buches ihre Erörterung und Erklärung gefunden, so dass ich hier nur auf das dort Gesagte zu verweisen brauche.

Bei Auswahl und Art des Einschlusses der in Gebrauch zu nehmenden Diatomeen kommen verschiedene Gesichtspunkte in Betracht.

Als zunächst bestimmend erscheint in Folge ihres theoretischen Zusammenhanges mit der Grenze des Auflösungsvermögens die numerische Apertur. Dieselbe bedingt vor Allem die Auswahl nach der Streifendistanz beziehentlich nach der Anzahl der auf eine bestimmte Maasseinheit, hier 10μ (0,01 mm), kommenden Streifen. Ferner erfordert sie, dass, um vergleichbare Resultate zu erzielen, auf die ausreichende absolute und verhältnissmässig gleichscharfe Markirung der in den betreffenden Structuren hervortretenden Zeichnung, auf das in dieser Beziehung sich geltend machende Verhalten der Kieselschalen verschiedener Diatomeenarten gegen das zu wählende Einschlussmittel, sowie auf die Art des Einschlusses, welche gemäss der in dem ersten Buche Seite 65 und in diesem Buche Seite 314 u. f. besprochenen Verhältnisse der Construc-

¹⁾ Aus dem genannten Grunde sind die vielfach gebräuchlichen Pleurosigmen, wie *formosum*, *angulatum* etc. mit unter schiefen Winkeln sich kreuzenden Streifensystemen nicht in die folgende Reihe aufgenommen, obwohl das Seite 382 abgebildete *Pleurosigma angulatum* recht gut als Probeobject für die Objective mit 0,70 bis 0,80 numerischer Apertur für gerades, für solche mit 0,55 bis 0,60 numerischer Apertur für schiefes Licht Anwendung finden kann.

tionsformen der Objectivsysteme — ob sie Trockensysteme oder Immersionssysteme sind — von Bedeutung wird, Bedacht genommen werde.

Da nicht für jede kleinere Abweichung in dem Zahlenwerthe der numerischen Apertur ein besonderes Probeobject aufgestellt und damit deren Zahl allzusehr vermehrt werden kann, so muss man sich nach dieser Richtung hin etwa nach der mittleren numerischen Apertur der am meisten in Gebrauch befindlichen Abstufungen von Objectivsystemen richten.

Betrachten wir diese letzteren, und zwar die Trockensysteme von etwa 32 bis 2 mm (schwächere kommen hier nicht in Betracht), sowie die Immersionssysteme bis herab zu 1 mm Brennweite, so werden wir — die abnorm grossen Oeffnungen mancher englischen und amerikanischen, sowie einiger neueren continentalen Trockensysteme, sowie die unter der Einheit zurückbleibenden mancher Wasserimmersionssysteme mit eingeschlossen — folgende Mittelzahlen für die maassgebenden numerischen Aperturen finden.

0,20, 0,26, 0,34, 0,43, 0,50, 0,67, 0,77, 0,82, 0,90, 0,95, 1,00, 1,10, 1,15, 1,20, 1,25, 1,30, 1,40.

Berechnen wir nun nach der Gleichung

$$e = \frac{\lambda}{a + \alpha} \text{ (Seite 311)}$$

und unter Zugrundelegung der Wellenlänge $\lambda = 0,55 \mu$ die für die gebräuchliche centrale Beleuchtung dieser Reihe entsprechenden Streifenabstände, so erhalten wir in Mikron ausgedrückt annähernd

$e = 1,4, 1,0, 0,8, 0,7, 0,65, 0,55, 0,50, 0,47, 0,44, 0,42, 0,40,$
 $0,38, 0,36, 0,35, 0,34, 0,33 \text{ und } 0,315$

und hieraus nach der aus jener Gleichung abgeleiteten Formel

$$s = \frac{10(a + \alpha)}{\lambda}$$

— und wenn wir einige nicht in Betracht kommende Zwischenzahlen wegfallen lassen — annähernd die Streifenzahlen:

7, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32.

Ermitteln wir ferner noch die Streifendistanzen und Streifenzahlen, welche für die Objectivsysteme von etwa 0,40 numerischer Apertur ab die Grenze für deren Auflösungsvermögen bei äusserst schiefer Beleuchtung bilden, nach der Gleichung 2 auf S. 311 und der daraus abgeleiteten

$$s = \frac{10 \cdot 2a}{\lambda},$$

so erhalten wir, wenn wir bei s wieder einige Zwischenglieder vernachlässigen, die Zahlenreihen:

$e = 0,68, 0,55, 0,41, 0,35, 0,33, 0,30, 0,29, 0,27, 0,25, 0,24,$
 $0,23, 0,22, 0,21, 0,19$

$s = 16, 18, 24, 28, 30, 34, 36, 40, 42, 46, 48, 52.$

Fassen wir endlich die beiden Reihen für gerade und schiefe Beleuchtung zusammen, so erhalten wir, da Diatomeen mit über 40 Streifen auf 10μ bis jetzt nicht bekannt sind, und wenn wir für die schwächsten Systeme noch eine gröber gezeichnete Form vorschieben für die Streifenzahl der auszuwählenden Probeobjecte in Mittelzahlen:

6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 40.

Was das Verhalten der Kieselschalen verschiedener Diatomeenarten gegen das Einschlussmittel angeht, so ist genügend bekannt, dass es solche gibt (wie z. B. die Grammatophoraarten), bei denen die Umhüllung mit Luft die Sichtbarkeit der betreffenden Structur mehr oder weniger beeinträchtigt, während dieselben bei Einschluss in ein stärker brechendes Mittel klar hervortritt. Auf der anderen Seite finden sich Arten (z. B. manche Pleurosigenen etc.), bei denen der Einschluss in Canadabalsam etc. die Sichtbarkeit stärker herabdrückt, als dies den sonstigen Verhältnissen nach erwartet werden dürfte. Demgemäss müssen in dieser Beziehung auf Grund der Erfahrung oder von Versuchen die entsprechenden Arten so gewählt werden, dass bei gleicher Einschlussweise die Stufenfolge der Lösbarkeit nur durch den Streifenabstand, beziehentlich die Streifenzahl auf 10μ bedingt wird.

Die Art des Einschlusses kann mit Bezug auf die oben erwähnten Umstände eine verschiedene sein, d. h. es können verschiedene Einschlussmittel zur Anwendung kommen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die Sichtbarkeit von Structurverhältnissen, d. h. das von ihnen erzeugte Bild an Schärfe und Deutlichkeit in dem Verhältnisse ab- oder zunimmt, als sich der Unterschied zwischen den Brechungsindices von Object und Einschlussmittel vermindert oder vermehrt. Denn dieser Unterschied ist gerade derjenige Factor, welcher die Lichtstärke der in dem Oeffnungsbilde des Objectivsystemes auftretenden von der betreffenden Structur erzeugten Beugungsspectren und damit die Abstufung der Lichtstärke in der Bildebene bedingt und diese Lichtstärke erscheint um so grösser, je mehr die Brechungsindices von einander abweichen. Diese Thatsache tritt deutlich hervor, wenn man z. B. die Beugungsspectren eines trocken eingelegten Präparates und eines Balsampräparates von *Pleurosigma angulatum* mittelst eines Objectivsystemes von genügender numerischer Apertur mit einander vergleicht.

Da der Brechungsindex der Diatomeenschalen etwa 1,43 beträgt, so sind von vornherein alle Medien ausgeschlossen, welche in ihrem Brechungsverhältnisse dieser Zahl sehr nahe kommen, wie Glycerin, wässrige Lösungen u. dgl. Man hat aus diesem Grunde, da ein anderes passendes, d. h. leicht und sicher zu behandelndes, stärker brechendes Mittel nicht vorhanden war, den Canadabalsam mit dem Brechungsindex 1,54 für weisses Licht (Fraunhofer'sche Linie *E*) als Einschlussmittel für solche Probeobjecte benutzt, welche als Trockenpräparate nicht geeignet erscheinen. Da jedoch hier der gedachte Unterschied nur 0,11

beträgt, so war der Grad der Sichtbarkeit, wie wohl Jedem bekannt ist, welcher derartige Objecte beobachtet hat, ein sehr mässiger. Ich selbst habe deshalb schon seit längerer Zeit Anis- und Cassiaöl ($n = 1,56$ u. $1,62$ — für ersteres wird in älteren Lehrbüchern der Physik sonderbarer Weise $n = 1,8$ angegeben —) zur Aufbewahrung von Diatomeenschalen benutzt und Mr. J. W. Stephenson hat neuerdings (Journ. of R. M. Soc. S. 564, 1880) Schwefelkohlenstoff ($n = 1,647$, Differenz $= 0,20$), sowie Lösungen von Schwefel und Phosphor in Schwefelkohlenstoff ($n = 1,75$ und $2,10$, Differenz $= 0,32$ und $0,67$) als Einschlussflüssigkeiten vorgeschlagen. Von diesen Flüssigkeiten gewährt das Cassiaöl mit einer Differenz von $0,19$ schon recht befriedigende Resultate, und schöne, klare Präparate, während es leicht zu behandeln ist. Dagegen machen Schwefelkohlenstoff sowohl als die genannten Lösungen den Einschluss wegen ihrer grossen Flüchtigkeit schon recht unbequem und die Phosphorlösung besitzt ausserdem die Unannehmlichkeit einer immerhin zu beachtenden Feuergefährlichkeit. Als ganz vorzügliche Einschlussmittel empfehlen sich neben dem Cassiaöl und dieses in mancher Hinsicht übertreffend das erst neuerdings entdeckte, von mir auf Anregung von Professor Abbe zuerst angewendete und empfohlene (Botanisches Centralblatt 1880, Nr. 36/37) Monobrom-Naphtalin, eine nicht flüchtige, bei 280° siedende, farblose, öartige, in Aether und Weingeist lösliche Flüssigkeit mit dem Brechungsindex von $1,658$ und der Differenz $0,228$, ferner die von J. W. Stephenson neuerdings empfohlene (Journal of R. M. Soc., April 1882 und Botan. Centralblatt Nr. 29 1882) gesättigte Lösung von Quecksilberjodid in Jodkaliumlösung mit dem Brechungsindex $1,682$ und der Differenz $0,25$. Dieselben sind — wie wir bei den Aufbewahrungsmethoden sehen werden — leicht zu behandeln und geben ein wunderbar klares Bild der betreffenden Structuren.

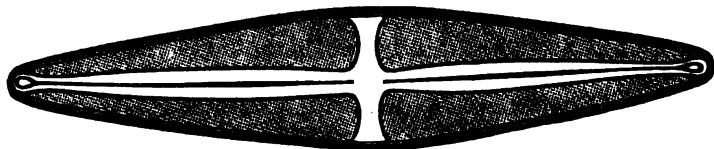
Bezüglich der trocken eingelegten Probeobjecte bleibt gemäss der Betrachtung auf Seite 315 noch hervorzuheben, dass dieselben, wenn sie für Immersionssysteme von über $1,0$ numerischer Apertur Verwendung finden sollen, an dem Deckglase festhaften müssen, nicht aber auf dem Objectträger aufgelegt sein dürfen. Im ersten Falle verhält sich nämlich das Object in Bezug auf die von ihm ausgehenden Beugungsbüschel — wie wir gesehen haben — genau so, wie ein Object, welches in einem stark brechenden Medium liegt und es wird nur die Schiefe des einfallenden Lichtkegels durch die zwischenliegende Luftschicht beschränkt, während im anderen Falle die Lichtstrahlen von beiden Seiten einer Beschränkung unterliegen und das Objectivsystem nur mit etwa $1,0$ numerischer Apertur wirkt.

Geleitet vom obigen Gesichtspunkte habe ich — zur Aufstellung einer Reihe von in entsprechender Stufenfolge von den leichter zu den schwerer löslichen fortschreitenden Probeobjecten — eine grössere Anzahl von Diatomeenarten geprüft, deren Streifenabstand, sowie deren Streifenzahl

auf $10\mu^1$) bestimmt und kann die folgenden als vollkommen geeignete empfehlen.

Stauroneis Phoeniceenteron (Ehrenberg), Fig. 227, ist trocken eingelegt in mancher Beziehung dem gleichwerthigen *Pleurosigma* bal-

Fig. 227.



1 : 700

ticum vorzuziehen. Dasselbe enthält 14 Querstreifen auf 10μ , entspricht also der V. Gruppe der N Robert'schen Probeplatte²⁾ und dient zur Prüfung von Objectivsystemen mit 0,45 numerischer Apertur bei centraler, mit 0,40 bei excentrischer Beleuchtung.

Navicula (*Pinnularia*) *nobilis* (Ehrenberg), Fig. 228, enthält auf 10μ 4 bis 6 starke Querstreifen, welche schon bei 20- bis 25 facher Vergrößerung zu sehen sind. Sie entspricht etwa den ersten zwei Gruppen der N Robert'schen Probeplatte, so dass sie ein Probeobject

Fig. 228.

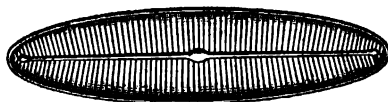


1 : 800

für die Systeme von etwa 40 bis 50 mm Brennweite bildet. Dabei kommt natürlich vorzugsweise in Betracht, mit welcher Schärfe die einzelnen Linien hervortreten, da es wohl kaum zu erwarten ist, dass dieselbe nicht von allen Systemen dieser Classe gelöst wird.

Navicula (*Pinnularia*) *viridis* (Rabenhorst), Fig. 229, enthält auf 10μ 7 bis 8 Querstreifen. Sie bildet ein Probeobject, welches etwa der dritten Gruppe der N Robert'schen Tafel entspricht und für die schwächeren Ocularvergrößerungen der Objectivsysteme von 20 bis 30mm Brennweite und 0,20 numerischer Apertur geeignet ist.

Fig. 229.



1 : 420

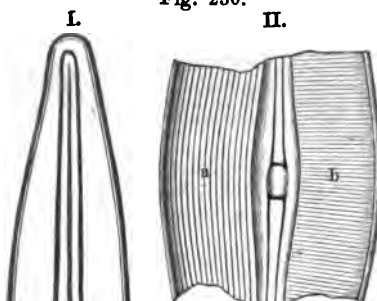
Navicula rhomboides Ehrbg. stellt eine vielfach abändernde Art vor und liefert in den Aufsammlungen der

¹⁾ Für die weniger verbreiteten Objecte habe ich die Bezugsquellen bei den einzelnen Arten angegeben.

²⁾ Es ist hier immer die neueste Tafel mit neunzehn Gruppen verstanden.

Diatomeenerde von Cherryfield & Monmount Möller & Thum) etc. eine ganze Reihe von Probeobjecten. Die grössten Exemplare der genannten Erde von 200 bis 260 μ Länge besitzen 22, die grossen von 160 bis 180 μ 24, die mittleren zwischen 120 bis 140 26 Querstreifen auf 10 μ .

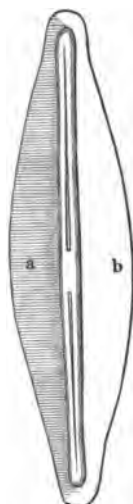
Fig. 230.



1 : 1500

Fig. 231.

II.



1 : 1550

Fig. 231.

I.



1 : 800

Ein schwieriges Probeobject bildet die *Navicula rhomboides* typ. Ehrbg., Fig. 230 I. und II., welche auch unter dem Namen *Navicula Amici* (fossil) sowie als *Navicula affinis*, *Vanheurckia rhomboides* und *viridula* de Breb. ausgegeben wurde. Dieselbe misst etwa 60 bis 120 μ und enthält neben stärkeren Längsstreifen, *a*, von denen 24 bis 26 auf 10 μ gehen, sehr zarte, hier allein in Betracht kommende Querstreifen, *b*, deren man auf gleichem Raume 28 bis 30 zählt. Sie kann trocken, sowie in Monobrom-Naphthalin und Kalium-Quecksilberjodid eingelegt werden, entspricht Gruppe XII Nobert's und erfordert für Objectivsysteme von 0,85 bis 1,30 numerischer Apertur die Anwendung schiefen Lichtes zu ihrer Lösung.

Navicula rhomboides var. *saxonica* Rbh. (*Frustulia saxonica* Rbhst., *Navicula* — *Vanheurckia* — *crassinervia* de Breb.), Fig. 231 I. u. II. (echt aus der sächsischen Schweiz durch E. Thum zu beziehen) besitzt bei einer Länge von 35 bis 60 μ äusserst feine Längs- und Quer-

streifen, von denen 34 bis 35 auf 10 μ gehen. Beide Streifensysteme (namentlich die Längsstreifen), welche etwa Gruppe XV. entsprechen, verlangen ein vorzügliches System zur Lösung. Man giebt sie indessen bei schiefem Lichte und günstiger Tagesbeleuchtung mittelst der stärksten Objectivsysteme ganz gut, wenn nur das Object richtig zubereitet, „gespalten“ und trocken oder in Monobrom-Naphthalin oder

Kalium-Quecksilberjodid eingelegt ist. Liegt dasselbe dagegen in Balsam, so sind die Querstreifen sehr schwer zu sehen; ich habe sie indessen

mit den besseren Wasserimmersionssystemen von 1,08 numerischer Apertur an auch in diesem Falle erkannt.

Amphipleura pellucida Kg. (Fig. 232) ist das schwierigste bis jetzt bekannte Probeobject aus der Reihe der Diatomeen, welches

Fig. 232.

1 : 1200

erst in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid eingelegt seine volle Schärfe der Zeichnung entfaltet. Die Anzahl der Querstreifen auf 10μ beträgt im Mittel 40 und es lassen sich dieselben mit vorzüglichen Systemen der homogenen Immersion als geperlt erkennen. Das Object entspricht etwa der XVII. Nobert'schen Gruppe und verlangt zu seiner Lösung bei sehr schiefer Beleuchtung Wasserimmersion mit mindestens 1,16 numerischer Apertur oder homogene Immersion.

Fig. 233.



1 : 400

Pleurosigma balticum, Fig. 233, welches trocken oder in Monobrom-Naphtalin und Kalium-Quecksilberjodid eingelegt werden kann, enthält ziemlich starke Längs- und gleichstarke Querstreifen, von denen 14 bis 15 auf 10μ gehen, so dass es etwa der fünften Gruppe entsprechen und eine numerische Apertur von 0,40 für schiefe, von 0,48 für centrale

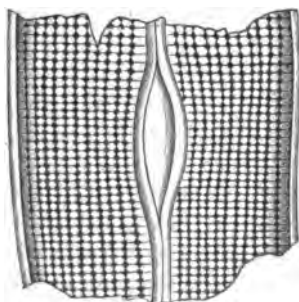
Fig. 234.

I.



1 : 400

II.



1 : 1280

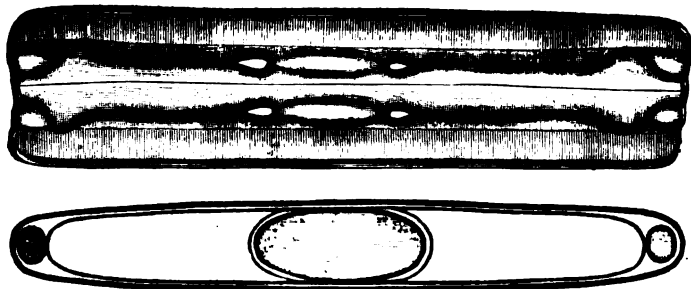
Beleuchtung in Anspruch nehmen würde. Bei dieser und der folgenden Species lässt sich mittelst gut begrenzender Vergrößerungen die anscheinend geperlte, respective gefelderte Structur (Fig. 234) leicht erkennen.

Pleurosigma attenuatum, Fig. 234 I. und II. — trocken, in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid einzulegen — ist dem vorigen ganz ähnlich gezeichnet, nur sind die Längelinien schärfer und es

stehen die der VI. Gruppe entsprechenden Querlinien etwas näher beisammen, so dass etwa 16 auf 0,01 mm kommen.

Ganz vortreffliche Probeobjects für die mittleren, stärkeren und stärksten Systeme liefert die Gattung *Grammatophora*, deren Arten *Gr. marina* W.Sm. (*tropica* Kg., Fig. 235 mit 16, *Gr. serpentina* Kg., Fig. 236 (a. f. S.), mit 18, *Gr. oceanica* Ehb. (*marina* Kg.), Fig. 237 (a. f. S.), (Eugén Bourgogne in Paris) mit etwa 22, *Gr. macilenta* W.Sm. mit 26, *Gr. sub-*

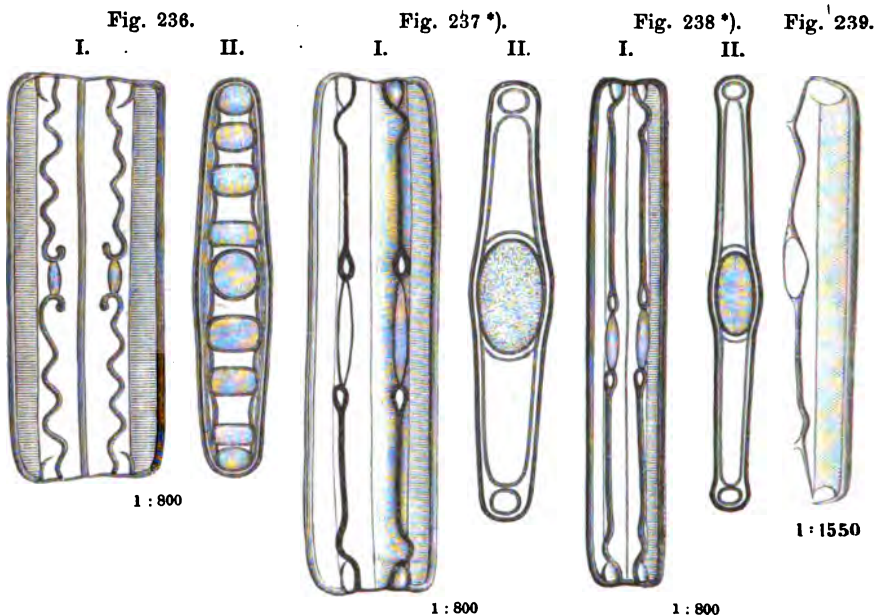
Fig. 235.



1 : 600

tilissima, Fig. 238 (a. f. S.) (Möller in Wedel-Honduras-Diatomeen) mit 34 bis 36 — bei den vier ersten Arten ganz deutlich gegerlten — Querstreifen auf 10μ etwa den Gruppen VI., VII., IX., XI. und XV. der Nobeit'schen Probeplatte entsprechen und stets in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid (oder auch Canadabalsam etc.) eingelegt sein sollten. Bei der ersten und zweiten Art sieht man bei centraler Beleuchtung die Querstreifen schon recht gut mittelst guter Vergrösserungen der Systeme von 10 bis 6 mm Brennweite und mit einer numerischen Apertur von 0,55 bis 0,65, bei schiefer von 0,45 bis 0,50, auf der dritten treten sie bei hellem Wolkenlichte sehr scharf hervor, wenn man bei centraler Beleuchtung Trockensysteme von 3 bis 2 mm Brennweite und 0,80 bis 0,85 numerischer Apertur verwendet, während bei schiefem Lichte solche von 6 bis 4 mm Brennweite und 0,60 numerischer Apertur zur Lösung schon ausreichen. Die Sichtbarmachung der Querstreifen der vierten Art erfordert bei geradem Lichte Wasserimmersion von mindestens 1,05 numerischer Apertur, für schiefe Beleuchtung Trockensysteme von etwa 0,70, um dagegen diejenigen der letzten Art deutlich zu sehen, bedarf man bei Immersionssystemen von über 1,00 numerischer Apertur schiefer Beleuchtung bei gutem Tageslichte. Bei allen Arten können neben den Querlinien auch sich schief durchkreuzende Linien, wie bei *Pl. angulatum*, hervorgerufen werden, Fig. 239 (a. f. S.), die aber bei *Gr. subtilissima* äusserst schwierig zu sehen sind und zu ihrer Lösung bei sonst sehr günstiger Beleuchtung Anwendung gut regulirten schiefen Lichtes verlangen. Schliesslich will ich nicht versäumen, zu bemerken, dass die in der ersten Auflage als *Gr. marina* beschriebene

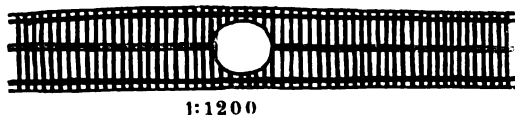
Art die *Gr. oceanica* Ehrenberg ist und dass die im Handel vorkommende *Gr. subtilissima* — soweit ich sie kennen lernte — mit *Gr. maci-*



lenta W. Sm. identisch erscheint. Die wahre *Gr. subtilissima* Bailey (*Gr. macilenta* var. *subtilissima*?) habe ich nur in einem älteren Bour-gogne'schen und einem von Bailey herrührenden Präparate, sowie in den Diatomeen von Honduras (Möller in Wedel) vor mir gehabt (siehe Zeitschrift für Mikroskopie Jahrgang II, 1880, Heft IX). Dieselbe ist jedenfalls sehr selten und kann vielleicht nur von dem Bailey'schen Fundorte, wie von Honduras echt beschafft werden.

Von den *Synedra*-Arten gewährt *Synedra pulchella* (Fig. 240) mit 12 Querstreifen und etwa der IV. bis V. Gruppe nahe kommend für

Fig. 241.



die Systeme von 0,35 bis 0,40 numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung ein recht brauchbares Object.

Mehrere sehr schöne Probeobjecte liefert die Gattung *Nitzschia*.

*) In Fig. 237 und 238 sind die Streifen gröber gezeichnet, als es der Vergrößerung entspricht.

Nitzschia Brebissonii W. Sm. (Fig. 241) (neben der gleichwerthigen *N. scalaris* W. Sm. häufig im Badeschlamm von Södertelge,

Fig. 241.



1 : 400

Möller in Wedel, Rodig in Hamburg — als *N. sigmoidea* var. *Brebissonii* —, Thum in Leipzig), hat 10 stark markirte Querstreifen auf 10μ , entspricht also etwa der III. bis IV. Gruppe der Nobert'schen Tafel und findet für Systeme von 0,25 bis 0,30 numerischer Apertur Verwendung.

Nitzschia hungarica, Grunow (Fig. 242), kommt mit 16 Querstreifen auf 10μ der *Grammatophora marina* gleich und eignet sich zum Trockeneinlegen, wozu jene nicht gut brauchbar ist (Möller und Thum).

Fig. 242.



1 : 800

Nitzschia amphioxys W. Sm. (*Hantschia amphioxys* Grun.) (Fig. 243) mit 18 Querstreifen auf 10μ entspricht der Gr. ser-

Fig. 243.

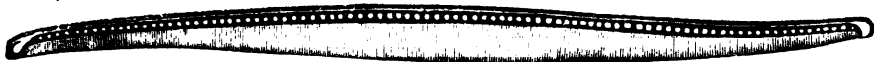


1 : 800

pentina und kann sowohl trocken, als in Balsam oder Monobrom-Naphtalin etc. liegend Verwendung finden (Möller).

Nitzschia sigma W. Sm. (Fig. 244) besitzt 20 Querstreifen auf 10μ , entspricht sohin Gruppe VIII. und dient trocken oder in Monobrom-

Fig. 244.



1 : 800

Naphtalin etc. eingelegt für Objectivsysteme mit 0,75 bis 0,80 numerischer Apertur bei gerader, für solche mit 0,55 numerischer Apertur bei schiefer Beleuchtung.

Nitzschia paradoxa Grun. (*Bacillaria paradoxa* Grun.) (Fig. 245)

hat etwa 22 Querstreifen auf 10μ und entspricht der VIII. bis IX. Gruppe Nobert's (H. Boecker in Wetzlar und Thum).

Fig. 245.



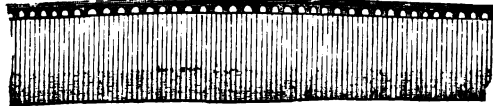
1 : 800

Nitzschia sigmoidea (Ehrenberg) W. Sm., Fig. 246 und 247 — deren früheren Beschreibungen ein anderes Material (wohl zwischen dieser und *N. vermicularis*) zu Grunde gelegen hat —, besitzt etwa 26 Querstreifen und eignet sich für numerische Aperturen von etwa 0,95 an bei geradem, für solche von 0,65 bei schiefem Lichte.

Fig. 246.



Fig. 247.



1:1500

Nitzschia obtusa W. Sm., Fig. 248 mit 28 Querstreifen auf 10μ , kommt der XII. Gruppe nahe. Sie kann trocken oder in Monobrom-

Fig. 248.



1 : 800

Naphtalin etc. eingelegt verwendet werden und zwar für numerische Aperturen von 1,15 (Wasserimmersion) bei centralem, von 0,85 bei excentrischem Lichte (Möller und Thum).

Nitzschia stagnarum. Rabenhorst. (Fig. 249). Von E. Bour-gogne als *Nitzschia parvula* W. Sm. ausgegeben, hat 26 Streifen auf 10μ

Fig. 249.

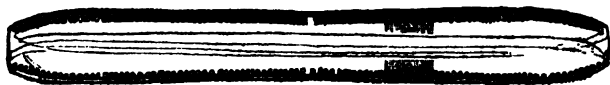


1:1200

und entspricht etwa der X. Gruppe Nobert's. Zur Auflösung bei centraler Beleuchtung erfordert sie trocken oder in Monobrom-Naphtalin etc. aufbewahrt gute Wasserimmersion von mindestens 1,05 bis 1,10, bei schiefem Licht Trockensysteme von 0,70 bis 0,75 numerischer Apertur.

Nitzschia linearis (Fig. 250 und 251) mit 30 Querstreifen auf 10μ , entspricht der XIII. Nobert'schen Gruppe.

Fig. 250.



1 : 600

Fig. 251.



1 : 1560

In Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid liegend wird sie von den Objectivsystemen für homogene Immersion mit über 1,30 numerischer Apertur (z. B. Zeiss $\frac{1}{8}$ ", 1,40 numerische Apertur) bei geradem Lichte gelöst, während bei schiefem Lichte Trockensysteme von 0,85 numerischer Apertur die Streifen deutlich zeigen müssen (Thum).

Nitzschia vermicularis (Kg.) Grunow (Fig. 152) und *Nitzschia tennis* W. Sm. enthalten beide 32 bis 34 Querstreifen auf

Fig. 252.



1 : 600

10μ und stehen zwischen der XIII. und XV. Gruppe Nobert's. Sie erfordern trocken oder in Monobrom-Naphtalin, Kalium-Quecksilberjodid liegend schiefes Licht bei einer numerischen Apertur von mindestens 0,90 bis 0,95, wie sie bei einzelnen Trockensystemen mit abnorm grosser Oeffnung, ebenso bei manchen hinter ihrer normalen numerischen Apertur zurückbleibenden Wasserlinsen hier und da vorhanden ist

Nitzschia curvula Ehrenberg (nicht W. Sm. Zeitschrift für Mikroskopie II, 1881) von Möller, Fig. 253 (a. f. S.) ist eines der schwierigsten Probeobjecte mit 36 Streifen auf 10μ und entspricht der XV. bis XVI. Gruppe. Gute Wasserimmersionssysteme mit über 1,00 numerischer Apertur lösen dieselbe bei schiefem Lichte, besser noch die Systeme

Fig. 253.

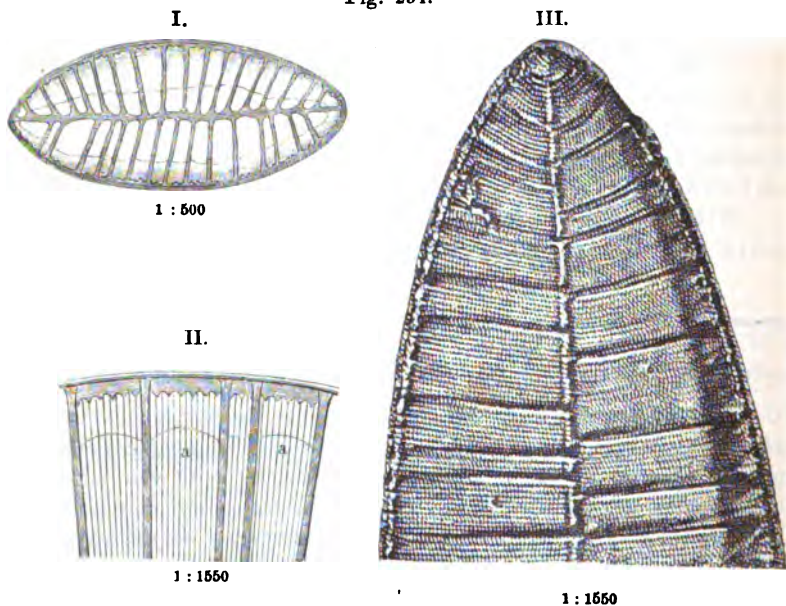


1 : 1600

für homogene Immersion. Ihr steht *Nitzschia palea* W. Sm., die sich häufig in süßem Wasser findet, in kleinen Exemplaren etwa gleich, während grosse Exemplare 34 Querstreifen besitzen.

Ein prachtvolles Object ist *Surirella gemma*, Fig. 254 I. Die den Querrippen parallel verlaufenden stärkeren Querstreifen (Fig. 254 II), von denen 24 auf 10μ gehen, sind schon mittelst Immersionssystemen von 1,00 und etwas weniger numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung deutlich zu sehen, dagegen sind die äusserst zart gezeichneten Längstreifen, welche auch über die Querleisten verlaufen und von denen 30 bis 32 auf 10μ gehen, sehr schwer sichtbar zu machen und verlangen schiefe Beleuchtung. Für die homogene Immersion bildet bei trocken eingelegten, an das Deckglas angeschmolzenen, in Kalium-Quecksilberjodid oder Phosphorlösung liegenden Exemplaren die feinere Zeichnung, welche sich je nach dem Lichteinfalle bald wie ein Korbgeflecht, bald in Form von kleinen, abwechselnd hell und dunkel gezeichneten Rhomboiden,

Fig. 254.



von langgezogenen Sechsecken (Fig. 254 III.) oder runden Perlen darstellt, einen vortrefflichen Prüfstein der Vollkommenheit.

Die beschriebenen Probeobjecte, an deren Stelle übrigens auch andere gleichwerthige verwendet werden können, genügen, soweit meine Erfahrungen reichen, für alle Fälle, namentlich auch für die Erkenntniss feinerer Unterschiede in dem Auflösungsvermögen der stärkeren Objectivsysteme. Im Allgemeinen wird man aber je nach den zu prüfenden Objectivsystemen, d. h. je nach den bei denselben vertretenen numerischen

Aperturen mit einer geringeren Anzahl ausreichen und muss man dann seine Auswahl in entsprechender Weise treffen, wofür das auf S. 370 u.f. Gesagte ausreichende Anhaltspunkte gewährt.

Hauptbedingung für den Gebrauch dieser Objecte, mag man sich nun einer umfangreicheren Reihe oder nur einer kleineren Anzahl bedienen, bleibt aber immer die, dass man sich vorher mit deren Aussehen unter anerkannt guten Instrumenten vertraut mache, ehe man ihr Verhalten seinem Urtheile zu Grunde legt.

Zum Schlusse füge ich der bequemeren Vergleichung mit Nobert's Probeplatten wegen noch eine Tafel bei, welche die auf 10μ kommenden Streifen und deren Entfernungen, für eine Auswahl von Diatomeen, die entsprechenden Gruppen der Probeplatte, sowie die zur Auflösung bei der üblichen geraden, wie bei äusserst schiefer Beleuchtung erforderlichen numerischen Aperturen enthält¹⁾.

¹⁾ Die Streifenzahlen habe ich, weil mir dieses für den vorliegenden Zweck das Entsprechendere scheint, in mittleren runden Zahlen angegeben.

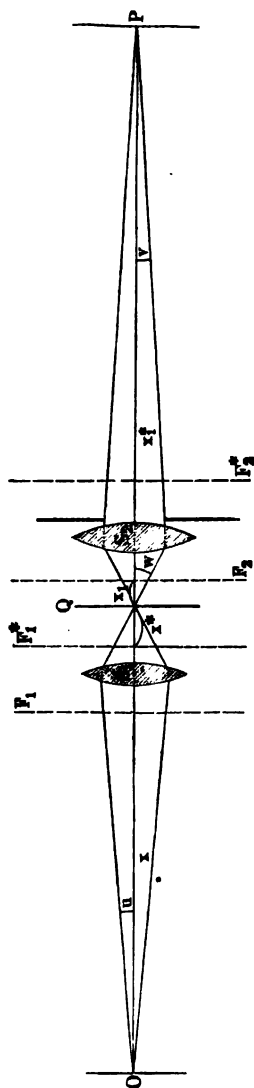
Natürliche Probeobjecte			Zur Auflösung erforderliche numerische Aperturen		Nobert's Probeplatte mit 19 Gruppen		
Namen der Probeobjecte	Anzahl der Streifen in 10 μ	Entfernung der Streifen in μ	bei geradem Lichte	bei schiefem Lichte	Gruppe	Anzahl der Linien in 10 μ	Entfernung der Linien in μ
Navicula (Pinnularia) nobilis	5—6	1,90	0,15	—	1	6,65	1,50
Navicula (Pinn.) viridis	7—8	1,33	0,20	—	2	8,86	1,12
Nitzschia Brebissonii	10	1,00	0,25	—	3	11,08	0,90
Synedra pulchella	12	0,83	0,35	—	4	13,29	0,75
Stauroneis Phoenicentron und Pleurosigma balticum .	14	0,70	0,45	0,40	5		
Nitzschia hungarica, Pleurosigma attenuatum und Grammatophora marina	16	0,62	0,55	0,45	6	15,50	0,64
Nitzschia amphioxys und Grammatophora serpentina	18	0,55	0,65	0,50	7	17,72	0,56
Nitzschia sigma	20	0,50	0,75	0,55	8	19,94	0,50
Grammatophora oceanica und Nitzschia paradoxa .	22	0,46	0,85	0,60	9	22,15	0,45
Surirella gemma, Querstreifen	24	0,41	1,00	0,65	10	24,37	0,41
Grammatophora macilenta und Nitzschia sigmaidea .	26	0,38	1,05	0,70	11	26,58	0,37
Nitzschia obtusa	28	0,36	1,15	0,75	12	28,80	0,34
Nitzschia linearis und Navicula rhomboides typ. .	30	0,33	1,30	0,85	13	31,00	0,32
Nitzschia vermicularis und tennis	32	0,31	1,40	0,90	14	33,23	0,30
Nitzschia palea (gross) und vermicularis (klein) .	34	0,29	—	0,95	15	35,44	0,28
Nitzschia curvula und Navicula rhomboides (Frustulia) var. saxonica	36	0,28	—	1,00	16	37,66	0,26
Grammatophora subtilissima (Hondouras)	38	0,26	—	1,05	17	39,87	0,25
Amphipleura pellucida	40	0,25	—	1,10	18	42,09	0,24
" (kleine)	42	0,24	—	1,15	19	44,30	0,22
"				1,25			

Die von Harting zuerst empfohlene Methode der Prüfung des Unterscheidungsvermögens mittelst der von Luftbläschen oder von einem passenden Objectivsysteme erzeugten Bildchen eines Gitters oder Drahtnetzes stellt sich, wie Professor A b b e dargethan hat (Ueber die Grenzen

der geometrischen Optik I, Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft für Medicin und Naturwissenschaft 1880; Sitzung vom 25. Juli), als eine rein illusorische dar. Um dies einzusehen, sind zunächst die Bedingungen näher ins Auge zu fassen, welche bei einem derartigen Versuche als die maassgebenden erscheinen. Sei z. B. in der Fig. 255 O das betreffende Object, von welchem das Objectivsystem S_1 ein Bildchen Q entwirft, das dann durch das zu prüfende Objectivsystem S_2 (mit einem der Voraussetzung nach kleineren Oeffnungswinkel als S_1) in P vergrössert abgebildet und mittelst eines hinter P angebrachten Oculares beobachtet wird, so steht, wenn man bei irgend einer bestimmten Anordnung das Detail des Gitters oder Drahtnetzes sieht, als Thatsache jedenfalls nur das fest, dass das Object O durch das gesammte Linsensystem ($S_1 + S_2$) bei P abgebildet wird. Alles andere ist bloss Annahme, besonders aber ist das eine ganz willkürliche, durch nichts zu begründende Annahme, dass bei obigem Abbildungsvorgange die Beschaffenheit des Bildchens bei Q überhaupt eine Bedeutung für das schliessliche Resultat habe. Man kann ja allerdings das schliessliche Bild P betrachten und geometrisch bestimmen als ein Bild, welches das in der Versuchsanordnung zweite System S_2 von dem Bildchen Q entworfen hat. Das Gleiche gilt aber in Bezug auf jedes der zahlreichen Zwischenbilder, welche bei einem zusammengesetzten optischen System dadurch entstehen, dass jede folgende Linse oder Linsenfläche ein Bild

entwirft von dem Bild, welches die nächst vorangehende Linse oder Linsenfläche erzeugt hat. Sofern nun mit dem Bilde Q nichts anderes geschieht als dieses, ist es einzig ein Zwischenbild in dem zusammengesetzten System

Fig. 255.



$S_1 + S_2$, wie jedes andere Zwischenbild auch. Eine besondere Bedeutung für den Thatbestand der Beobachtung dürfte dem Bildchen bei Q erst dann beigelegt werden, wenn bewiesen wäre, dass die Wirkungsweise des Gesamtsystemes im Verhältnisse zu dem ursprünglichen Objecte O in irgend einer Weise von ihm beeinflusst sei. Es lässt sich aber gerade das Gegentheil beweisen, denn die Wirkungsweise des Gesamtsystemes, d. h. der sichtbare Erfolg des ganzen Abbildungsvorganges, kann einzig und allein abhängen:

1. Von der Brennweite des Gesamtsystems beziehentlich von dem Vergrößerungsverhältniss, welches dieselbe für die einander conjugirten Punkte O und P herbeiführt.

2. Von dem Öffnungswinkel der von O aus aufgenommenen, das Bild P erzeugenden Strahlenkegel.

3. Von dem Grade der Verbesserung der sphärischen und chromatischen Abweichung des Gesamtsystemes für die conjugirten Punkte O und P .

Alle diese wirklichen Elemente des Abbildungsvorganges lassen sich aber vollständig bestimmen, ohne auf die Beschaffenheit des Zwischenbildchens Q oder auf die Verhältnisse seiner Wiederabbildung durch das System S_2 Bezug zu nehmen.

Bezeichnen f_1 und f_2 die Brennweiten der Objectivsysteme S_1 und S_2 (wobei für f_1 ebensogut die negative Brennweite einer Luftblase eingeführt werden kann) und sind x und x_1^* die Abstände von O und P von den beiden äusseren Brennebenen resp. Brennpunkten F_1 und F_2^* der Einzelsysteme und betrachtet man den halben Convergenzwinkel der das Bild P erzeugenden Strahlenkegel als gegeben durch die verhältnissmässig engste Linsenöffnung, welche der Voraussetzung nach auf der Seite des Systemes S_2 liegen soll, so lässt sich aus diesen Daten im Anschluss an die früheren Entwicklungen leicht die Brennweite f des Gesamtsystemes, die lineare Vergrößerung N des Bildes P im Verhältnisse zum Objecte O und endlich der halbe Öffnungswinkel u der vom Objecte O aus in das System eintretenden Strahlenkegel berechnen. Aus x und x_1^* bestimmt sich zunächst die Lage des Bildchens Q zu den beiden inneren Brennebenen resp. Brennpunkten F_1^* und F_2 und damit das Maass von x^* und x_1 , deren Summe das Δ unserer früheren Zusammensetzungsformel darstellt. Es ist nämlich

$$x \cdot x^* = - (f_1)^2 \quad \text{also} \quad x^* = - \frac{(f_1)^2}{x}$$

$$x_1 \cdot x_1^* = - (f_2)^2 \quad \text{also} \quad x_1 = - \frac{(f_2)^2}{x_1^*}$$

$$\Delta = x^* + x_1 = - \left(\frac{(f_1)^2}{x} + \frac{(f_2)^2}{x_1^*} \right)$$

$$f = - \frac{f_1 \cdot f_2}{\Delta}$$

und daraus

$$\begin{aligned} 1. \quad \frac{1}{f} &= - \frac{\Delta}{f_1 f_2} = \frac{\frac{(f_1)^2}{x} + \frac{(f_2)^2}{x_1^*}}{f_1 \cdot f_2} \\ &= \left(\frac{f_1}{f_2}\right) \cdot \frac{1}{x} + \left(\frac{f_2}{f_1}\right) \cdot \frac{1}{x_1^*} \end{aligned}$$

ferner im Uebergang von O zu Q zu P

$$\frac{y^*}{y} = \frac{f_1}{x} \quad \text{und} \quad \frac{y^{**}}{y^*} = \frac{x_1^*}{f_2}$$

also

$$2. \quad N = \frac{y^*}{y} \times \frac{y^{**}}{y^*} = \frac{f_1}{x} \times \frac{x_1^*}{f_2} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right) \cdot \frac{x_1^*}{x}$$

endlich

$$\frac{\sin u}{\sin v} = \frac{y^{**}}{y} = \left(\frac{f_1}{f_2}\right) \cdot \frac{x_1^*}{x}$$

also

$$3. \quad \sin u = \left(\frac{f_1}{f_2}\right) \cdot \frac{x_1^*}{x} \cdot \sin v$$

In diesen drei Endgleichungen kommt nun ausser den Entfernungen x und x_1^* und dem Convergenzwinkel v des abbildenden Strahlenkegels nur das Verhältniss der Brennweiten der beiden Systeme vor, dagegen nichts, was auf das System S_2 besonders Bezug hätte, und zwar weder dessen Brennweite f_2 einzeln, noch der Oeffnungswinkel w , mit welchem dasselbe in der vorderen Einstellungsebene Q wirksam wird. Die Erzeugung des Bildes P von dem Objecte O , welches den einzigen Thatbestand der Beobachtung bildet, ist also ganz und gar unabhängig von der Wirkungsweise des Objectivsystemes S_2 und ebenso unabhängig von den Ausmaassen des Zwischenbildes Q . Dieser Thatbestand würde auch dann unverändert bestehen bleiben, wenn man die Brennweite der beiden Systeme und den Divergenzwinkel w beliebig änderte, während das Verhältniss beider Brennweiten und die den Winkel v bestimmende lineare Oeffnung des letzten Systemes unverändert erhalten blieben.

In gleicher Weise ist zu ersehen, dass auch die Deutlichkeit und Schärfe des wirklich beobachteten Bildes völlig unabhängig bleibt von der Schärfe des Zwischenbildes Q . Erstere erfordert nichts weiter, als eine richtige Correction des Gesamtsystemes, welche bei beliebig grossen Abweichungen der Einzelsysteme bestehen kann, wenn nur diese sich gegenseitig ausgleichen. Und in der That fehlt bei der Ausführung solcher Beobachtungen jeder Anhaltspunkt, um die richtige Correction des Versuchsobjectives für sich genommen herbeizuführen, oder zu erkennen. Die einzige Richtschnur ist ja die Schärfe des letzten unmittel-

bar beobachteten Bildes bei P und diese ist erreicht, sobald das Gesamtsystem für die conjugirten Punkte O und P richtig verbessert ist.

Bei der Beobachtung der bei der gedachten Methode in Frage kommenden Bildchen steht sonach das, was man thatsächlich sieht oder nicht sieht, in keinerlei ursächlichem Zusammenhange mit den Eigenschaften des zu derselben benutzten Objectivsystemes oder mit den Ausmaassen und den Einzelheiten des angeblich beobachteten Bildchens. Es ist also unzulässig, die Wahrnehmungen bei derartigen Versuchen auszulegen als Wahrnehmungen über die optische Leistung des benutzten Objectivsystemes gegenüber den durch Rechnung ermittelten Maassverhältnissen der Bildchen. Eine solche Auslegung würde der fraglichen Beobachtungsmethode die offenbar widersinnige Eigenschaft zuschreiben, dass nach ihr die Wirksamkeit einer bestimmten Brennweite und eines bestimmten Oeffnungswinkels zu beobachten sei, ohne dass beide thatsächlich wirksam sein müssen, und dass sie die Sichtbarkeit oder Unsichtbarkeit gewisser Objecte festzustellen vermöge, ohne dass diese Objecte in den vorausgesetzten Ausmaassen und mit dem fraglichen Detail bei dem Versuche überhaupt vorhanden zu sein brauchen.

Die richtige Deutung der nach der in Rede stehenden Methode vollzogenen Beobachtungen ergibt sich sofort, wenn man die oben entwickelten Formeln zur Bestimmung der Elemente des Gesamtsystemes näher ins Auge fasst. Diesem gemäss hat man es — die sonstigen obwaltenden Verhältnisse in Anschlag gebracht — bei diesen Beobachtungen stets mit der Abbildung durch ein Linsensystem von sehr grosser Brennweite und sehr kleinem Oeffnungswinkel bei höchst geringer (oft unter 1 bleibender) Linearvergrösserung zu thun. Sei z. B., um bei dem Abbe'schen Beispiele zu bleiben, die Brennweite des das Bildchen erzeugenden Systemes $f_1 = 2$ mm, die des zu prüfenden $f_2 = 4$ mm, bei einer wirksamen Oeffnung von 6 mm im Durchmesser und einem Bildabstande $x_1^* = 180$ mm, was einen Convergenzwinkel v von annähernd 10° ergibt, befände sich ferner das Drahtnetz in einem Abstände $x = 120$ mm von der vorderen Brennebene des vorderen Systemes S_1 , so hätte das Gesamtsystem, dessen Wirkung man beobachtet, eine Brennweite $f = -65,5$ mm und ergäbe die lineare Vergrösserung $N = 0,75$ bei einem wirksamen Oeffnungswinkel $u = 0,75^\circ$. (Bei Luftblasen erhält man positive Brennweiten von derselben Grössenordnung, aber noch stärkere Verkleinerung und noch geringeren Oeffnungswinkel.) Derartige Beobachtungen sind also nichts anderes, als Versuche über die Sichtbarkeit verhältnissmässig grober Objecte mittelst schwacher Linsensysteme mit sehr kleinen Oeffnungswinkeln und es regulirt dabei die Abstufung der Entfernung x nach Maassgabe der Gleichung 3) unmittelbar den Oeffnungswinkel, mit dessen Hilfe die Abbildung geschieht, und führt auf diese Art das Detail des Objectes an die Grenze der Sichtbarkeit.

II. Ermittlung der Ausdehnung, Ebenung, Ebenmässigkeit und Färbung des Sehfeldes.

Ueber die Maassbestimmung der Ausdehnung, resp. des Durchmessers des Sehfeldes, welcher bei gleichem Objectivsysteme hauptsächlich von der Construction des Oculares abhängig ist, ist schon weiter oben das Erforderliche beigebracht worden. Will man ausserdem noch die Ausdehnung der virtuellen Bildfläche, d. h. des scheinbaren Gesichtsfeldes, kennen lernen, so braucht man nur das Objectfeld in der bei Bestimmung der Vergrösserung angegebenen Weise zu projeciren und die Grösse des Bilddurchmessers unmittelbar mittelst eines Maassstabes oder mittelst Zirkel und Maassstab zu messen. Nächst dem bliebe noch zu untersuchen, ob das Sehfeld in seiner vollen Ausdehnung oder nur theilweise und in welchen Theilen verwendbar ist. Das Maass der nutzbaren Ausdehnung steht nun aber — gleiche Construction des Oculares vorausgesetzt — vorzugsweise in Beziehung zu der Beschaffenheit der Objectivsysteme und hängt von den noch vorhandenen, mehr oder minder grossen Resten der in dem vorigen Abschnitt näher gekennzeichneten Abbildungsfehler und dem Mangel vollständiger optischer Symmetrie ab, welche je nach Umständen verschiedene Zonen der Objectivöffnung und damit des Sehfeldes verschieden beeinflussen können. Sind durch diese Factoren hervorgerufene Ungleichmässigkeiten vorhanden, so ist dies ein Fehler, der immer in mehr oder minder hohem Grade die Wirkung des betreffenden Instrumentes bei der Zeichnung des Bildes beeinträchtigt. Um sich von dem Vorhandensein etwaiger diesbezüglicher Ungleichmässigkeiten zu überzeugen und somit den nutzbaren Theil der ganzen Ausdehnung zu bestimmen, dient wieder sehr gut der schon mehrfach empfohlene Quer- oder Längsschnitt eines Nadelholzes, indem das Freisein von Farbenerscheinungen, sowie die Schärfe und Bestimmtheit der Einzelheiten in der Structur über die ganze Fläche des Gesichtsfeldes nur bei vollkommenen Systemen vorhanden ist, jeder Fehler in dieser Beziehung aber leicht erkennbar hervortritt. Freilich muss der Schnitt dann aber auch in grösserer Ausdehnung gleichmässig ausgeführt sein.

Von nicht minderer Wichtigkeit, als die wirklich nutzbare Ausdehnung, ist die möglichst vollständige Ebenung des Sehfeldes. Besitzt dasselbe eine merkliche Krümmung, welche sich vorzugsweise in den äusseren und äussersten Randpartieen geltend macht, so tritt für den vollen Ueberblick eines Präparates ein störender Uebelstand ein. Es ist dann, eine bestimmte, auf die Mitte des Objectes bezügliche Einstellung vorausgesetzt, gleichfalls nur der mittlere Theil des mikroskopischen Bildes für feinere Untersuchungen verwendbar, weil die tiefer gelegenen Randtheile desselben stets an Schärfe und Bestimmtheit ver-

lieren, und für den Fall, als sie ebenfalls mit Sicherheit durchforscht werden sollen, eine veränderte Einstellung fordern. Fällt nun dieser Umstand auch weniger bei solcher Beobachtung ins Gewicht, wo man überhaupt nur einen kleinen Theil des Objectes vorzugsweise in Betracht zu ziehen hat, und folglich denselben immer in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen kann, so tritt er doch um so empfindlicher bei einer grossen Anzahl solcher Fälle hervor, wo man sich eine mehr übersichtliche Anschauung grösserer Gewebmassen und der relativen Beschaffenheit und Lagerung ihrer constituirenden Bestandtheile verschaffen möchte.

Die Krümmung des Sehfeldes giebt sich am deutlichsten zu erkennen, wenn man ein vollständig ebenes Bild als Object benutzt und untersucht, ob dasselbe in allen seinen Theilen mit gleicher Deutlichkeit erscheint. Ich benutze am liebsten sogenannte mikroskopische Photographien mit Druckschrift, wie man sie häufig aus englischen Handlungen, hier und da auch in Deutschland erhält. Weniger sichere Resultate liefern dünne Pflanzenschnitte, weil man eben hier nicht immer eine vollständig ebene Fläche bei dieser Prüfungsweise herzustellen im Stande ist. In der Regel wird man — ich habe es bei allen von mir untersuchten Mikroskopen beobachtet — finden, dass die Randpartien des Bildes eine Annäherung des Tubus an das Object erfordern. Die Bildfläche richtet ihre erhabene Seite nach oben und es lässt sich durch das Maass der verlangten Aenderung in der Einstellung das Mehr oder Minder der Krümmung erschliessen.

- 230 Weit nachtheiliger als die Krümmung der Bildfläche wirkt die Verzerrung des Bildes in den Randtheilen des Sehfeldes, d. h. die in den Convergenzfehlern begründete ungleiche Vergrösserung und die in Folge orthoskopischer Fehler hervorgerufene Verzeichnung in dessen verschiedenen Theilen. Dieser Fehler sollte immer und unbedingt gehoben erscheinen. Alle neueren Mikroskope, die ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, sind in der That auch beinahe völlig frei davon und gewähren eine fast vollständig gleiche Vergrösserung über das ganze Gesichtsfeld. Wo ein Instrument einmal mit einem Fehler dieser Richtung behaftet erscheint, ohne dass eine Aenderung möglich ist, da muss man sich jedenfalls auf das Genaueste davon zu überzeugen suchen, welcher Theil des Sehfeldes zu verwerfen und welcher auch für die feinsten Untersuchungen, Messungen etc. noch unbedingt verwendbar ist. Als bestes Prüfungsmittel hierfür lässt sich das schon von Harting vorgeschlagene, in quadratische Felder getheilte Glasmikrometer empfehlen. Weniger gut eignen sich dazu andere, von manchen Seiten empfohlene mikroskopische Objecte, weil ihnen einestheils die nöthige Gleichförmigkeit fehlt, andernteils die statthabenden Verzerrungen und Verbiegungen der Umrisse sich nicht mit jenem Grade von Sicherheit beurtheilen lassen, der hierzu unbedingt erfordert wird. Ist die Vergrösserung über die ganze Ausdehnung des Sehfeldes eine vollkommen gleichmässige, wie bei den orthoskopischen Ocularen, so werden die Quadrate des Mikrometers

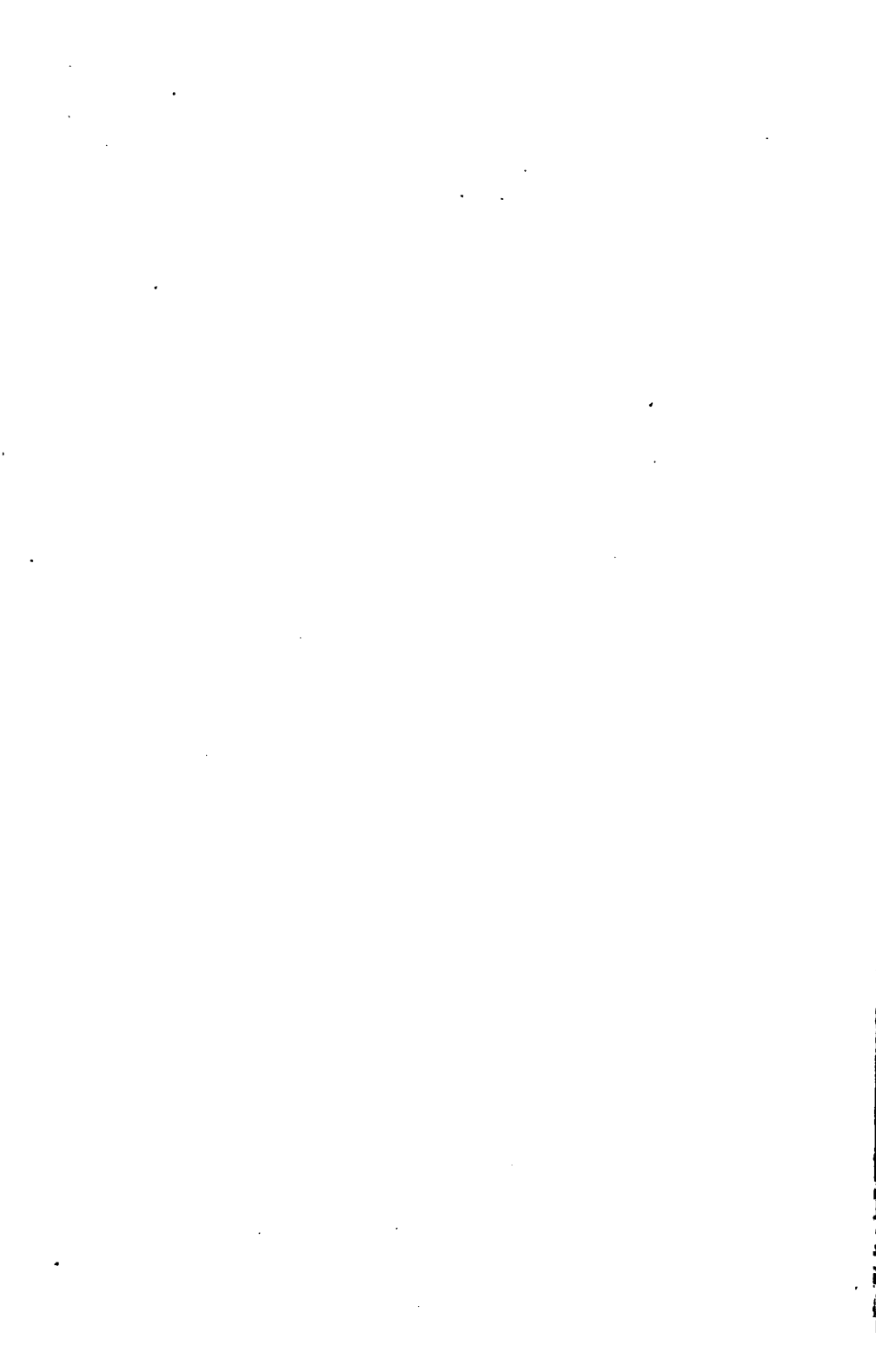


Fig. 1.

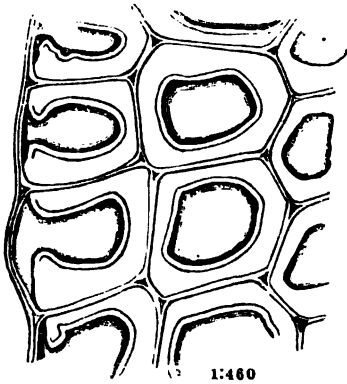


Fig. 3.

1:370

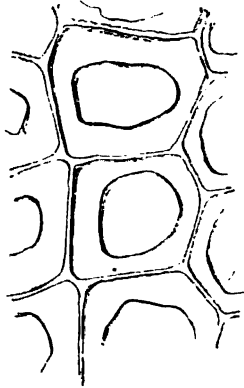


Fig. 2.

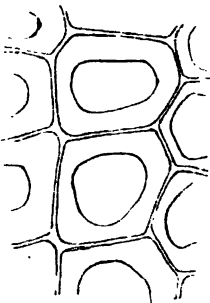


Fig. 4.



Fig. 5.

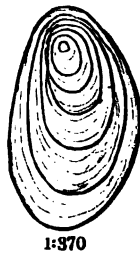


Fig. 6.

1:250



Fig. 7.

1:370



Fig. 8.

1:120

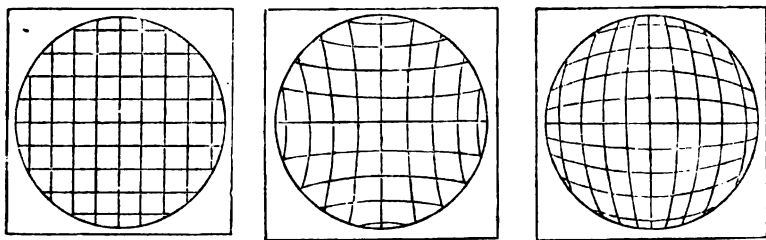


sämmtlich von geraden Linien begrenzt erscheinen, Fig. 256. Ist dagegen, wie es bei den vorkommenden Fällen in der Regel der Fall ist, die Vergrößerung des Bildes in den Randtheilen des Gesichtsfeldes eine stärkere als in der Mitte, so müssen die Quadrate von mehr oder minder stark nach auswärts gebogenen Linien eingefasst erscheinen, Fig. 257. Das Umgekehrte findet statt, wenn, was indessen kaum vorkommen dürfte, die Vergrößerung in der Mitte jene in den äusseren Theilen übertrifft (Fig. 258). Weniger in die Augen fallende, aber immerhin

Fig. 256.

Fig. 257.

Fig. 258.



genügend sichere Resultate gewährt auch ein gewöhnliches Glasmikrometer, wenn dessen Theilstriche nur die erforderliche Länge besitzen. Dieselben erscheinen im zweiten und letztern Falle nur in der Mitte des Sehfeldes ganz gerade, an den Randtheilen dagegen nach aussen oder innen concav.

Zur Prüfung der Färbung des Sehfeldes eignen sich vorzüg- 231
lich zarte Schnitte durch das Holz unserer Laub- und Nadelbäume, durch die dickwandigen Bastzellen der Gefässbündel mancher Palmen (Caryota etc.), sodann die Stärkemehlkörner aus der Frucht oder den Knollen der Kartoffel. Mittelst dieser Objecte ist man, wenn der Schnitt die erforderliche, äusserste Dünne besitzt, im Stande, auch die geringsten Unterschiede in den Schattirungen und in den Graden der Färbung des Gesichtsfeldes zu entdecken und deren Einfluss auf die Gegenstände einer jeweiligen Untersuchungsreihe zu ermitteln. Ich habe in den Figuren 1 bis 4 und 5 bis 8 der Tafel I. eine Stufenfolge wirklich beobachteter Färbungen des Sehfeldes bei verschiedenen Objectivsystemen dargestellt und werden dieselben dem weniger geübten Beobachter leicht genügende Anhaltspunkte gewähren.

Vierter Abschnitt.

Zur Kenntniss der neueren Mikroskope.

232 Nachdem wir in den vorhergehenden Abschnitten die mechanische und optische Einrichtung, sowie die optischen Eigenschaften und Vermögen des zusammengesetzten Mikroskopes kennen gelernt und uns mit den Methoden zur umfassenden Prüfung desselben vertraut gemacht haben, wenden wir uns in dem Folgenden einer andern Aufgabe zu. Es sollen nämlich in diesem Abschnitte, nachdem die Grundsätze, welche man bei der Beurtheilung eines zu wissenschaftlichen Zwecken bestimmten Mikroskopes zu beachten hat, kurz recapitulirt worden sind, dem Leser eine Reihe von Instrumenten aus den neueren (vorzugsweise deutschen) Werkstätten vorgeführt werden, von deren Leistungen ich mich selbst zu überzeugen Gelegenheit hatte, oder für welche ich mich auf zuverlässige Urtheile sachkundiger Mikroskopiker stützen kann. Obwohl mir von unseren bedeutendsten vaterländischen Optikern auf das Zu-vorkommendste deren neuesten Erzeugnisse zur Verfügung gestellt worden sind, wird man es doch begreiflich finden, dass ich nicht von den Mikroskopen aller, auch der kleineren und weniger bekannten deutschen Werkstätten habe Kenntniss nehmen können. Wenn ich daher über solche Mikroskope, die mir nicht bekannt sind, hinweggehe, so will ich dadurch keineswegs Veranlassung geben, in Bezug auf deren Leistungsfähigkeit einen Schluss zu ziehen. Ich wollte hier eben nur dasjenige auführen, wofür ich einstehen kann.

Wenn ferner bei der Beschreibung der neueren Mikroskope von den ausländischen Optikern nur wenige vertreten sind, so liegt der Grund darin, dass es mir für ein deutsches Werk geziemend erscheint, vorzugsweise und mit möglichster Vollständigkeit die Erzeugnisse deutscher Kunst zu berücksichtigen. Diese besondere Rücksichtnahme scheint mir

zudem um so mehr gerechtfertigt, als wir gegenwärtig durchaus keine Veranlassung haben, uns im Auslande nach Besserem umzusehen, als uns diejenigen Instrumente bieten, welche in der neueren Zeit aus den optischen Werkstätten unseres Vaterlandes hervorgegangen sind. Nachet und einige andere hervorragendere französische Optiker durfte ich nicht übergehen, weil ihre Mikroskope in unserem Vaterlande und den Nachbarländern deutscher Zunge eine gewisse Verbreitung besitzen und ich meinem Buche mit Rücksicht auf die theoretischen Abschnitte in dieser Richtung die Grenzen für dessen Leserkreis nicht zu enge ziehen durfte. Aus dem gleichen Grunde habe ich diesmal auch die Erzeugnisse der englischen und amerikanischen Werkstätten, von denen ich in neuerer Zeit mancherlei kennen gelernt habe, in entsprechend beschränktem Umfange berücksichtigt. Für unsere continentalen Verhältnisse steht zwar der Verbreitung der Instrumente dieser Werkstätten ihr ganz enormer Preis entgegen, so dass sie — obgleich gewisse mechanische Einrichtungen dieselben Manchem begehrenswerth erscheinen lassen — immer nur in einzelne Hände gelangen können; auch haben sie ihr eine Zeit lang behauptetes Uebergewicht an optischem Vermögen in der neueren Zeit verloren, da deren Objectivsysteme, soweit ihre Leistungen für wissenschaftliche Zwecke in Betracht kommen, durchaus Nichts vor vielen unserer deutschen Systeme voraus haben, und in der Lösung der schwierigen Probeobjecte meist erreicht, an freiem Objectabstande aber von manchen unserer Combinationen übertroffen werden.

Abgesehen von diesen Gründen wird ein Vergleich der fremdländischen Leistungen auch im Stande sein, den Werth der einheimischen Erzeugnisse in das rechte Licht zu setzen und schon deshalb die Kenntniss derselben vielen Lesern willkommen erscheinen.

Was die Grundsätze angeht, welche man im Auge zu halten hat, 233 wenn man sich die Frage beantworten will, wie ein zusammengesetztes Mikroskop eingerichtet sein und was es leisten soll, so liegt auf der Hand, dass ich mich hier auf diejenigen beschränken muss, welche eine mehr allgemeine Gültigkeit in Anspruch nehmen können. Die Verschiedenheit der Ziele, die man mittelst des Mikroskopes zu verfolgen beabsichtigt, muss hierbei natürlich in einer oder der anderen Weise Modificationen in den an dasselbe zu stellenden Anforderungen im Gefolge haben. Wer sich nur mit rein morphologischen Untersuchungen beschäftigt, braucht lange nicht jene optische Kraft in Anspruch zu nehmen, bedarf keiner so hohen mechanischen Vollendung des Apparates, wie derjenige, welcher sich die feinere Histologie der Pflanzen oder Thiere zum Felde seiner Forschungen erkoren hat.

Dem sei indessen, wie ihm wolle, bei der Wahl eines Mikroskopes steht in erster Linie immer der optische Apparat, Objectivsysteme, Oculare und Beleuchtungsvorrichtungen. Volle Klarheit und Farblosigkeit, Reinheit und Schärfe der einzelnen Linien und Begrenzungen des Bildes, hinreichendes Abbildungsvermögen, Ebnung, Ebenmässigkeit,

ausreichende helle Erleuchtung und passende Ausdehnung des Sehfeldes sind hier unbedingtes und Haupterforderniss, neben dem noch die Möglichkeit einer umfassenden Abwechslung in Art und Stärke der Beleuchtung vorzügliche Beachtung verdient. Wie man sich von jenen wichtigsten Seiten des optischen Vermögens, welche vorzugsweise auf der Construction der Objectivsysteme beruhen, unterrichtet, wurde in dem vorhergehenden Abschnitte in umfassender Weise dargelegt. Der Geübtere wird sich hierüber schon bei der Betrachtung eines einzigen passenden und ihm hinreichend bekannten Objectes auf den ersten Blick sein Urtheil bilden können. Ich selbst benutze in dieser Beziehung am liebsten einen recht dünnen, farblosen Querschnitt eines Nadelholzes, den ich Jedem empfehlen kann. Der weniger Geübte, oder mit dem Gebrauche des Mikroskopes noch gar nicht Vertraute wird, wenn ihm nicht ein Mikroskopiker mit Rath zur Seite steht, sich auf eine mehr umständliche Prüfung einlassen müssen, wobei ihm die oben beschriebenen Probeobjecte gute Dienste leisten können. Mehr in zweiter Linie steht die Vergrösserung. Für recht viele, ja fast für die meisten Untersuchungen wird eine Reihe von 50- bis 600maligen Linearvergrösserungen ausreichend sein. Einzelne Fälle machen allerdings auch stärkere Vergrösserungen nicht allein wünschenswerth, sondern nothwendig, und ich kann durchaus nicht dem Ausspruche einzelner Forscher beitreten, dass das, was bei 300- bis 400facher Vergrösserung nicht gesehen wird, überhaupt nicht gesehen werden kann. Diese starken Vergrösserungen müssen dann — wie dies aus den im Vorausgehenden dargelegten theoretischen Betrachtungen hervorgeht — aber auch, wenn sie mit Vortheil gebraucht werden sollen, ganz vortrefflich, und es dürfen namentlich nicht die übrigen guten Eigenschaften der betreffenden Objective zu Gunsten des Auflösungsvermögens hintangesetzt sein, wie das hier und da geschieht.

Bei der Beurtheilung der Vergrösserungen hat man vorzugsweise auch darauf zu sehen, ob dieselben mehr das Product der Objectivsysteme oder der Oculare sind. Ersteres ist im Allgemeinen vorzuziehen, indem — wie in dem vierten Buche unter „Verwendung des optischen Apparates“ ausführlicher dargelegt werden wird — solche höhere Vergrösserungen, welche man mittelst starker, eine ausreichend grosse numerische Apertur besitzender Objectivsysteme und schwächerer Oculare erzielt, für die Beobachtung schwieriger, gehörig hergerichteter Objecte denjenigen vorzuziehen sind, welche bei schwächeren Systemen mit dem abzubildenden Detail entsprechender (also abnorm grosser) Oeffnung durch starke Oculare erzielt werden müssen. Allerdings ist bei den stärkeren Objectivsystemen der Abstand von der Oberfläche des Deckglases ein geringerer, und es verlangen dieselben ein dünnes Deckglas. Ich kann aber hierin, wenn einmal höhere Vergrösserungen nützlich oder erfordert werden, durchaus keinen Nachtheil erkennen, und wird derselbe, wenn überhaupt als vorhanden zugegeben, durch den erreichten Vortheil weit über-

wogen. Im Allgemeinen wird bei der Wahl der Objectivsysteme in dieser Beziehung darauf zu sehen sein, dass man eine für seine Zwecke ausreichende Abstufung der Vergrösserungen erreicht. Vier bis fünf — darunter ein Immersionssystem — werden für die meisten Fälle genügen. Von ihnen mögen mit dem schwächsten, eine 3- bis 4fache Angularvergrösserung gewährenden Ocular das erste eine 20- bis 30fache, das zweite eine 80- bis 100fache, das dritte eine 200- bis 250fache, das vierte eine 300- bis 400fache Vergrösserung geben. Für die schwierigeren und schwierigsten Beobachtungen müssen hierzu noch ein oder zwei Immersionssysteme: ein fünftes mit einer 450- bis 550fachen und ein sechstes mit einer 600- bis 700fachen Vergrösserung hinzukommen. Mittelst dieser letzteren Systeme kann man dann bei Anwendung von mässig starken Ocularen noch sehr schöne und brauchbare 1200- bis 1500malige Vergrösserungen erreichen, die für einzelne Fälle immerhin nicht ohne entschiedenen Nutzen sein werden.

Was die mit den Objectivsystemen zu verbindenden Oculare betrifft, so muss auch von ihnen möglichste Vollendung verlangt werden. Sehr angenehm ist es, wenn dieselben ein grosses und ebenes Gesichtsfeld gewähren, was leider nicht immer der Fall ist. Uebermässig starke Oculare suche man zu umgehen. Hat man die erforderliche Anzahl von Objectivsystemen, so werden etwa 2 bis 4 vollkommen ausreichend sein von denen das schwächste, bei 150 bis 180 mm langem Rohre, die oben genannte, das stärkste höchstens eine 9- bis 12fache Angularvergrösserung ermöglicht.

Als Beleuchtungsapparat genügt es wohl für die meisten Untersuchungen, wenn ein allseitig beweglicher Plan- und Concavspiegel für durchgehendes, und eine 5 bis 9 cm im Durchmesser haltende Beleuchtungslinse für auffallendes Licht vorhanden sind. Als Blendungsvorrichtung verdienen dabei die verstellbaren, namentlich die nach dem Zeiss'schen Principe construirten Cylinderblendungen den unbedingten Vorzug vor allen anderen. Macht sich das Bedürfniss nach umfassenderen Vorrichtungen geltend, so ist der Abbe'sche Beleuchtungsapparat, welcher bei uns gegenwärtig von fast allen Werkstätten geliefert wird, allen anderen zusammengesetzteren nicht nur ebenbürtig, sondern vorzuziehen.

Uebt die mechanische Einrichtung auch im Grossen und Ganzen auf die Leistungsfähigkeit eines Mikroskopes weit weniger Einfluss aus, als der optische Apparat, so hat man doch auch auf sie sein Augenmerk zu richten, da durch eine möglichst vollkommene, aber dabei einfache, leicht handhabbare Ausführung derselben der Gang einer wissenschaftlichen Untersuchung nicht wenig gefördert wird.

Die Hauptpunkte, welche dabei zu beachten sind, betreffen die Festigkeit des Standes, die Einrichtung des Objecttisches und die Vorrichtungen zur Einstellung. Ersterer soll vor allen Dingen möglichst fest und sicher sein, um das Instrument vor etwaigen Unfällen zu bewahren

und erfordert daher namentlich einen hinreichend breiten und schweren Fuss, sowie einen nicht zu hohen Bau und nicht unmässig langes Rohr.

Der Tisch sei solide und stabil. Der unbewegliche, in keiner Weise federnde Objecttisch ist daher dem beweglichen unter allen Umständen vorzuziehen. Derselbe muss für alle vorzunehmenden Manipulationen sowie für eine freie Bewegung des Objectträgers ausreichenden Raum gewähren und vollkommen eben sein. So kleine Tische, wie man sie hier und da bei manchen Mikroskopen noch immer trifft, sind unbedingt zu verwerfen. Zu grosse Objecttische sind indessen auch nicht zu empfehlen, denn erstlich sind sie unbequem, und dann verlangen sie eine zu weite Entfernung vom Fusse, wenn sie den Einfall des Lichtes nicht beschränken sollen. Die Vorrichtung zur Einstellung, über deren Eigenschaften wir oben das Nöthige gesagt haben, sei womöglich eine zweifache, eine solche für die schnellere, grösseren Spielraum gewährende, und eine andere für die langsamere feine Bewegung des Rohres.

I. Mikroskope der deutschen Werkstätten.

Indem ich nun zur Beschreibung der mir bekannten Mikroskope übergehe, kann ich nicht umhin, hervorzuheben, dass ich bei neuesten Prüfungen, weil dieselben nach Ermittlung der Brennweite, des Correctionszustandes etc., sowie der numerischen Apertur keine neue Daten zur Beurtheilung liefern, von der Benutzung der Nöbert'schen Probeplatte als Mittel der directen Prüfung des Auflösungsvermögens abgesehen habe. Wenn ich dagegen neben den aus der numerischen Apertur berechneten Zahlen für die Grenzen des genannten Vermögens auch die entsprechenden Gruppen und natürlichen Probeobjecte angeführt habe, so geschah dies, weil ich glaubte, dadurch den Wünschen vieler Leser gerecht zu werden.

Ich werde bei meiner Aufzählung, da von einer eigentlich chronologischen Reihenfolge nicht die Rede sein kann, die Werkstätten deutscher Optiker einfach in alphabetischer Ordnung auführen.

- 234 L. Bénèche** in Berlin (früher Bénèche und Wasserlein). Bénèche war neben Kellner und Nöbert einer der ersten Optiker Deutschlands, welche, dem Beispiele Amici's und Oberhäuser's folgend, die Vergrösserung mehr in die Objectivsysteme als in die Oculare verlegten. Seit 1852 fertigte derselbe dieselben Nummern von Objectivsystemen wie Oberhäuser, den er sich überhaupt bei seinen Instrumenten zum Muster genommen, und es wurde mehrseitig günstig über deren Leistungsfähigkeit geurtheilt. Ein im Sommer 1856 von ihm erhaltenes grosses Mikroskop stand mit den damaligen von Oberhäuser etwa auf gleicher Stufe. Seitdem aber hat derselbe sich es fortwährend angelegen sein lassen, die Leistungen seiner Objectivsysteme zu erhöhen, wobei er namentlich (und hierfür gebührt das Verdienst vorzugsweise

meinem seligen Freunde Schacht, der Bénèche stets mit seinem Rathe zur Seite stand) auf die Bedürfnisse des praktischen Mikroskopikers Rücksicht genommen hat.

Bénèche liefert neben einigen kleineren, für unsere Zwecke nicht in Betracht kommenden, fünf verschiedene Stative. Das grosse Stativ A (Fig. 259) ruht auf zwei von dem Hufeisenfuss aufsteigenden Säulen in Charnier zum Umlegen. Der grosse, vierseitige Objecttisch ist um die

Fig. 259.



optische Achse drehbar und von ihm aus erhebt sich die Säule, welche an einem horizontalen Arme die Rohrhülse trägt.

Der Beleuchtungsapparat besteht aus dem, in einem Schlitze der mit dem Objecttisch fest verbundenen, bei senkrechter Stellung sich zwischen die Standsäulen legenden starken Platte vertical verschiebbaren, in der bekannten Weise horizontal beweglichen Spiegel (Hohl- und Planspiegel) und der Oberhäuser'schen Schlittencylinderblendung. Die grobe

Einstellung geschieht mittelst Schieben des Rohres in der Hülse, die feine mittelst Mikrometerschraube an der Säule. Wird das Stativ mit den sämtlichen Objectivsystemen und Ocularen, mit verstellbarem Ocularmikrometer, Zeichenapparat und Oberhäuser'scher Beleuchtungslinse von 90 mm Durchmesser auf besonderem Stative ausgestattet, so stellt sich sein Preis auf 750 Mark.

Das Stativ (*B*, Fig. 260) besitzt bei etwas kleineren Dimensionen in Bezug auf Beleuchtungsapparate, Objecttisch und Einstellungs-
 vorrichtung

Fig. 260.



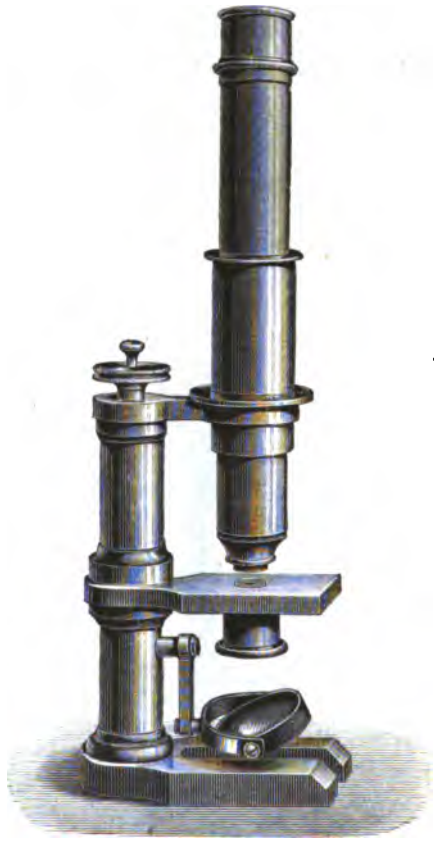
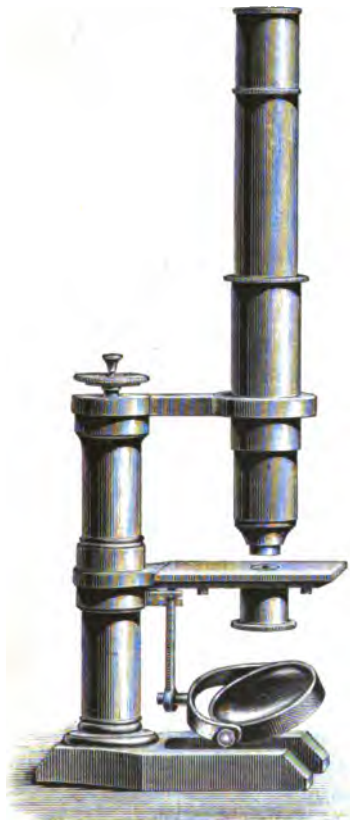
etwa dieselbe Einrichtung wie *A*, unterscheidet sich von demselben aber dadurch, dass es nur auf einer durch Gelenke zum Umlegen gebrochenen Säule ruht. Mit den Objectivsystemen 2, 3, 4, 7, 9 und 10 (Immersion und Correction), fünf Ocularen und einem Ocularmikrometer zum Einlegen versehen, beträgt sein Preis 300 Mark.

Das mittlere Stativ *C* (Fig. 261) wird von einer sich von dem Hufeisenfuss erhebenden, einfachen, soliden, runden Säule getragen. Es be-

sitzt einen hinreichend grossen, vierseitigen, nicht um die optische Achse drehbaren Objecttisch, die gleichen Einstellungs- und Vorrichtungen, wie die vorigen, Schlitten-Cylinderblendungsapparat und horizontal beweglichen

Fig. 261.

Fig. 262.



Hohl- und Planspiegel. Sein Preis wechselt je nach der Ausstattung. Mit den Objectivsystemen 4, 7 und 10 (Immersion und Correction) und den Ocularen 2 und 3¹⁾ beträgt er 210 Mark, mit 4, 7 und 10 (Immersion ohne Correction) und den gleichen Ocularen 180 Mark, mit 4, 7 u. 9 und den genannten Ocularen 165 Mark.

Ich habe mehrfach Gelegenheit gehabt, mich von der Brauchbarkeit dieses Statives zu überzeugen und kann es allen denen empfehlen, welche sich nicht eines der grösseren anschaffen und auf die Drehung des Tisches verzichten wollen.

¹⁾ Statt 2 und 3 können natürlich auch zwei andere Oculare etwa 1 und 3, 2 und 4 gewählt werden, ohne dass sich der Preis ändert.

Das kleine Mikroskop *D* (Fig. 262, a. v. S.) hat einen hufeisenförmigen Fuss, von dem sich die Säule erhebt, welche den seitlich verstellbaren Spiegel, den Objecttisch und an dem Arme den Körper trägt. Die Einstellung geschieht wie bei den grossen Stativen durch Verschiebung des Rohres und Mikrometerbewegung. Die Blendungsvorrichtung besteht auch hier aus Cylinderblendung, welche indessen nicht mittelst Schlitten, sondern durch einfache Schieben in einer an dem Tische angebrachten federnden Hülse gewechselt wird. Mit den Systemen 4, 7 und 9 und den Ocularen 1, 2 und 3 kommt das Mikroskop *D* auf 135 mit 4, 7, 8 und denselben Ocularen auf 120, mit 4, 7 und den Ocularen 2, 4 auf 90 Mark zu stehen. Dieses Mikroskop, im Verhältniss zu seinem optischen Apparate sehr billig, ist äusserst compendiös und namentlich auf Reisen recht bequem.

Ein Stativ *D* 1 (Fig. 263) besitzt Hufeisenfuss von Eisen, von dem sich ein geschweiffter Träger des Körpers erhebt, und festen, noch aus-

Fig. 263.



reichend grossen Tisch von Hartgummi. Der Spiegel ist horizontal allseitig beweglich und die Blendungsvorrichtung besteht aus einer Drehscheibe. Die Einstellung geschieht wie bei den voranstehend beschriebenen Instrumenten, jedoch befindet sich die Mikrometerschraube unterhalb der Säule. Mit der gleichen Ausstattung wie *D* stellt sich der Preis auf je 120, 105 und 75 Mark.

Bénèche liefert ausserdem noch kleinere Mikroskope zu 30 und 36 Mark, welche indessen für unsere Zwecke nicht in Betracht kommen können, da der optische Apparat für wissenschaftliche Untersuchungen selbstverständlich nicht berechnet und ausreichend ist.

Der optische Theil der Mikroskope von Bénèche war an allen Instrumenten, die ich näher prüfen konnte, im Ganzen gut construirt.

Wenn es früher bei Bénèche hier und da an Gleichmässigkeit in den Leistungen der gleichen Nummern von Objectivsystemen

fehlte, so glaube ich das seinen fortwährenden Aenderungen in Form und Abstand der einzelnen Linsen zuschreiben zu müssen, wodurch er die Lei-

stungsfähigkeit seiner Gläser zu erhöhen suchte. Gegenwärtig ist derselbe wohl zu festen Normen der Construction gelangt, denn die mir während der letzt verflossenen Jahre in die Hände gekommenen Objectivsysteme waren sämmtlich in ihren Leistungen einander so nahezu gleich, wie man es verlangen kann.

Die Objectivsysteme, welche Bénéche liefert, und welche in den mittleren und stärkeren Nummern für 0,15 mm Deckglasdicke justirt sind, umfassen 9 Trockensysteme: 1 à 12 Mark, 2 à 18 Mark, 3 à 21 Mark, 4 und 5 à 24 Mark, 6 bis 8 à 30 Mark, 9 à 45 Mark, und 3 Immersionssysteme, 10 je mit oder ohne Correction, à 60 und 90 Mark, 11 à 135 Mark, 12 à 225 Mark. Von ihnen haben mir aus neuester Zeit die gangbarsten Nummern 2, 4, 7, 9 und 10 zur Prüfung vorgelegen.

Das System 2 von 24 mm Brennweite und 0,13 numerischer Apertur (15° Oeffnungswinkel) zeichnet bei Vergrösserungen von 25, 30 u. 50 mit den Ocularen 1 bis 3¹⁾ und bei farblosem, ebenem Gesichtsfelde die entsprechenden Objecte scharf und klar.

Das System 4, Brennweite = 12,8 mm, numerische Apertur = 0,29 (34° Oeffnungswinkel), besteht die Abbe'schen Proben gut, vergrössert 60, 70, 100, 140 und 150 mal und gewährt ein recht scharfes und farbloses Bild organischer Objecte. An der Nobert'schen Platte löst es die vierte Gruppe vollständig, von den natürlichen Probeobjecten Nitzschia Brebissonii.

System 7 hat eine Brennweite von 4 mm, eine numerische Apertur von 0,73 (95° Oeffnungswinkel) und vergrössert 200, 240, 350, 450 mal. Es genügt den Abbe'schen Proben, und das Bild von organischen Gegenständen, das man mittelst desselben erhält, ist vollkommen farbenfrei und bestimmt gezeichnet. Von der Nobert'schen Platte löst es bei centraler Beleuchtung die VIII., bei schiefer die XII. Gruppe noch gut und bei günstigem Lichte treten mit den stärkeren Ocularen die Querstreifen der Nitzschia sigma W. Sm. bei centraler, diejenigen der Nitzschia linearis bei möglichst excentrischer Beleuchtung noch kenntlich hervor.

Das System 9 besitzt eine Brennweite von 2,5 mm und eine numerische Apertur von 0,89 (125° Oeffnungswinkel). Die Abbe'schen Proben besteht dasselbe noch gut und erscheint demgemäss das 350, 400, 560, 860 und 1100 mal vergrösserte Bild histologischer und anderer Objecte scharf und bestimmt gezeichnet. Das Auflösungsvermögen ist entsprechend der numerischen Apertur gesteigert und werden bei centraler Beleuchtung die IX. Gruppe der Nobert'schen Platte und die Querstreifen von Grammatophora oceanica Ehrbg. noch eben, bei schiefem Lichte

¹⁾ Die Vergrösserungen sind, da sie je nach der Brennweite etc. wechselnde werden, den Angaben der betreffenden Optiker entnommen und können natürlich nur einen ungefähren Anhalt gewähren.

die XIII. Gruppe der ersteren und die Querstreifen der Nitzschia vermicularis W. Sm. gut gelöst. Der freie Objectabstand ist bei der Deckglasdicke von 0,15 mm etwas klein.

Das Immersionssystem Nr. 10 (mit oder ohne Correction), welche die Abbe'schen Proben vollkommen besteht, zeigt bei einer Brennweite von 2 mm eine etwas unter dem normalen Minimum der Wasserimmersion bleibende numerische Apertur von 0,91 (Öffnungswinkel in Wasser 86°). Das Auflösungsvermögen ist demgemäss bei centraler Beleuchtung durch die IX. Gruppe der Nobert'schen Platte und die Querstreifen der Nitzschia paradoxa Gr., bei schiefer die XIII. Gruppe und die Querstreifen der Nitzschia tennis, welche deutlich und scharf gelöst erscheinen, begrenzt. Die Bilder histologischer Objecte sind sehr schön gezeichnet.

235 **Emil Boecker** in Wetzlar hat seine Werkstätte erst in neuester Zeit eröffnet. Derselbe liefert verschiedene Stative, von denen die grösseren von Nro. I. bis V. den Zeiss'schen, die kleineren von Nro. VI. bis VIII. den Leitz'schen Stativen nachgebildet und von vortrefflicher mechanischer Ausführung sind.

Die Preise der Stative ohne optischen Apparat betragen für Nr. I. 250 Mark, Nr. II. 190 Mark, Nr. III. 130 Mark, Nr. IV. 105 Mark, Nr. V. 80 Mark, Nr. VI. 60 Mark, Nr. VII. 45 Mark, Nr. VIII. 30 Mark, Nr. IX. 24 Mark. Die ersten vier sind zum Umlegen, es können jedoch auch V. und VI. hierfür eingerichtet werden und erhöht sich dann ihr Preis um beziehentlich 20 und 10 Mark.

Das Stativ Nro. I., ausgerüstet mit den Trockensystemen 1, 3, 5, 6, 7, 8, den Immersionssystemen 9 und 10, vier orthoskopischen Ocularen, beweglichem Objecttisch (nach Zeiss), Abbe'schem Beleuchtungsapparat, Polarisationsapparat sammt Gyps- und Glimmerplättchen, Revolver, Ocularmikrometer, Zeichenprisma, Beleuchtungslinse auf Stativ, Deckglaster, Compressorium etc. wird zu 950 Mark, dasselbe Stativ mit den Trockensystemen 3, 5, 7, den Immersionssystemen 9 und 10, drei gewöhnlichen Ocularen 0, II., III., V., Beleuchtungsapparat nach Abbe, Mikrometerocular, Polarisationsapparat, Zeichenprisma etc. zu 640 Mark berechnet.

Stativ II. mit den Objectivsystemen 3, 5, 7, 9 (Immersion), den Ocularen I., III., V., Abbe'schem Beleuchtungsapparat und Ocularmikrometer kostet 400 Mark, mit den Objectiven 1, 3, 8, 9 (Immersion), den Ocularen I., III., V. und Ocularmikrometer 350 Mark, mit den Objectiven 3, 6, 8, den Ocularen 0, III., V., Ocularmikrometer und Zeichenprisma 300 Mark.

Werden dem Mikroskope Nr. IV. die Objectivsysteme 1, 4, 7, 9 (Immersion), die Oculare I., III., V. und ein Mikrometerocular beigegeben, so kommt dasselbe auf 290 Mark zu stehen, während bei Ausstattung mit den Objectivsystemen 1, 3, 7, den Ocularen I., III., V., mit Ocularmikrometer und einfachem Polarisationsapparat der Preis 245 Mark beträgt.

Das feststehende Hufeisenstativ Nr. VI. wird mit den Objectivsystemen 1, 4, 7, 9 und den Ocularen I., III., zu 200 Mark, mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen I., III., zu 150 Mark berechnet.

Das mittlere Hufeisenstativ Nr. VI. (ähnlich Nr. III a. Leitz) erhält die Oculare I., III., sowie die Systeme 1, 4, 7, 9, oder 3, 6, 8, oder 1, 3, 7, oder 3, 7, und wird demzufolge zu 200, 150, 135 oder 110 Mark berechnet.

Dem kleinen Hufeisenstativ Nr. VII. werden nächst den Ocularen I. und III. die Objectivsysteme 3, 5, 7, oder 3, 7 beigegeben und sein Preis auf 105 und 90 Mark gestellt.

Das kleinste Hufeisenstativ Nr. VIII. (ähnlich Nr. IV. Leitz) wird mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen I., III. um 80 Mark abgegeben.

Boecker fertigt in neuester Zeit die Objectivsysteme Nr. 1 bis 7 selbst an, während er die stärkeren Systeme, sowie die Immersionsysteme von Seibert bezieht und seinen Stativen beigiebt.

Es haben mir die genannten Nummern sämmtlich vorgelegen und haben sich namentlich die Nummern 1 bis 4 der Abbe'schen Probe gegenüber bewährt, während die übrigen noch einiges zu wünschen liessen. Die Bilder organischer Objecte zeigten dementsprechend bei ersteren tadellose, bei der anderen noch brauchbare Zeichnung. Das auflösende Vermögen entsprach etwa den gleichnamigen Systemen von Leitz oder Zeiss mit gleicher numerischer Apertur. Die Brennweiten und numerischen Aperturen sind von Nr. 1 zu Nr. 7 folgende: 30,5 mm und 0,10 (12°); 24 mm und 0,16 (20°); 16 mm und 0,22 (25°); 13,5 mm und 0,33 (40°); 7,25 mm und 0,55 (66°); 3,6 mm und 0,81 (108°). Die Preise betragen für Nr. 1 bis 3 je 15 Mark, für Nr. 4 und 5 je 25 Mark, für Nr. 7 32 Mark.

Oculare liefert Boecker die gewöhnlichen Nr. 0 bis V zu 6 Mark, die orthoskopischen Nr. I bis IV zu 12 Mark und die periskopischen zu 15 Mark. Die letzteren sind nach dem neueren Princip von Gundlach construirt und gewähren, ohne die übliche Weite der Hülse der gewöhnlichen Oculare von Zeiss, Hartnack u. A. zu überschreiten, ein verhältnissmässig grosses Schfeld, wodurch sie für den Gebrauch nicht zu unterschätzende Vortheile bieten.

Engelbert und Hensoldt in Wetzlar, soweit mir bekannt, in dem 236 optischen Institute zu Wetzlar unter Kellner's Leitung ausgebildet, hatten sich früher die von diesem ausgehenden Mikroskope und Objectivsysteme zum Muster genommen und lieferten, soviel ich mich durch die Prüfung eines kleinen Mikroskopes mit sämmtlichen Objectivsystemen und Ocularen zu überzeugen Gelegenheit hatte, schon Anfang der 60er Jahre recht gute Instrumente. Seit jener Zeit bestrebten sich dieselben stetig fortzuschreiten und es haben mir die aus ihrer Werkstätte vorliegenden Erzeugnisse aus neuester Zeit die Ueberzeugung gewährt, dass ihre Bemühungen von gutem Erfolge begleitet waren.

Das grosse Mikroskop, Fig. 264 (a. f. S.) (Nr. 1 a. u. 1 b. des Preiszeichnisses) hat schweren vierseitigen Messingfuss. Der Träger des Mikroskopkörpers besteht in seinem unteren Theile aus einer niederen vierseitigen Säule mit dem Gelenke zum Umlegen und geht über diesem in

ein geschweiftes oberes Stück über. Der grosse vierseitige, mit Hartgummi belegte Objecttisch ist um die optische Achse drehbar. Der Doppelspiegel ist sowohl in senkrechter, wie in seitlicher Richtung beweglich und die Blendungsvorrichtung wird je nach Wunsch in Form einer mit acht — Doppelblendungen bildenden — Oeffnungen versehenen Drehscheibe, oder von Cylinderblendung mit Schlittenführung und mit oder

Fig. 264.



Fig. 265.



ohne Hebelstellung geliefert. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Schiebung des Rohres in der federnden Hülse, kann aber auch für Zahn und Trieb eingerichtet werden, die feine mittelst Mikrometerschraube über der Tubussäule (Prismenführung). Erhält das Instrument die Trockensysteme 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, die Immersionssysteme X., XI., XII., vier Oculare 0, 1, 2, 3, einen einfachen, eventuell der Drehscheibe eingefügten Condensator (mit abgeblendeter Mitte), ein Ocularmikrometer

zum Einschieben und Stellen für das Auge, einen Polarisations- und Zeichenapparat und Deckglastaster, so wird dasselbe zu 850 Mark berechnet. Mit den Trockensystemen 1, 6, 9, den Immersionssystemen X., XI., den obigen vier Ocularen und sonstigem gleichen Zubehör, aber ohne Polarisationsapparat, vermindert sich der Preis auf 530 Mark. (Einrichtung für Cylinderblendung erhöht letzteren um 10 oder 6 Mark, je nachdem dieselbe mit oder ohne Hebelvorrichtung geliefert wird.)

Das Stativ Nr. 2 (Fig. 265) ist ein Hufeisenstativ mit Rundsäule als Träger und Gelenk zur Neigung des Körpers. Der grosse vierseitige mit Hartgummi belegte Objecttisch ist um die optische Achse drehbar. Grobe Einstellung durch Schiebung, feine durch Mikrometerschraube wie bei 1. Der Beleuchtungsapparat stimmt mit dem von Nro. 1 überein, und kann die dort angegebenen Abänderungen erfahren. Mit den Trockensystemen 1, 2, 5, 8, dem Immersionssysteme XI., den Ocularen 1, 2, 3 und einem Ocularmikrometer (wie bei 1) ausgerüstet (2 a. der Preisliste) stellt sich der Preis auf 380 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 8, dem Immersionssystem X., den Ocularen 1 bis 3 und Ocularmikrometer, aber ohne Drehung um die optische Achse (2 b.) auf 300 Mark. Dieser Preis bleibt gleich, wenn das Stativ ohne Gelenk zur Neigung, aber mit Drehung um die optische Achse geliefert und mit den Trockensystemen 2, 6, 8, dem Immersionssysteme X. und den Ocularen 1 bis 3 ausgerüstet wird (2 c. der Preisliste).

Das feste mittlere Hufeisenstativ Nr. 3, Fig. 266 (a. f. S.), ist in seinem Träger dem älteren I. von Zeiss nachgebildet. Der feste vierseitige Objecttisch ist ausreichend gross und es befindet sich die Mikrometerschraube zur feinen Einstellung unterhalb seiner Fläche, nahe über dem Fusse. Der Doppelspiegel ist seitlich verstellbar und die Blendungsscheibe enthält neben sechs Diaphragmen einen einfachen, in der Mitte abgeblendeten Condensor. Werden die Trockensysteme 1, 3, 6, 8, die Oculare 1 bis 3 und ein Ocularmikrometer beigegeben, so beträgt der Preis 195 Mark.

Das Stativ Nr. 4 mit Hufeisenfuss und Rundsäule hat noch ausreichend grossen festen Objecttisch, seitlich beweglichen Spiegel und Blendscheibe. Die feine Einstellung geschieht mittelst Parallelogrammbewegung und ist die Schraube über der Tubussäule angebracht. Mit den Objectivsystemen 2, 5, 8 und den Ocularen 1, 2, 3 beträgt der Preis 170 Mark, mit den Systemen 2, 4, 8 und den Ocularen 1 und 2 oder 1 und 3 160 Mark.

Die Nummern 5, Fig. 267 (a. f. S.), und 6 bilden kleine Stative, ersteres mit Hufeisen, letzteres mit Rundfuss und etwas kleineren Ausmassen. Beide haben noch hinreichend räumlichen Tisch, seitlich verstellbaren Spiegel, Blendscheibe und feine Einstellung mittelst Mikrometerschraube über der Säule. Das erstere wird mit den Objectivsystemen 2, 5, 8 und den Ocularen 1 und 3 (1 und 2) zu 135 Mark, das letztere mit den Objectivsystemen 3 und 8 und den Ocularen 1 und 3 zu 100 Mark berechnet.

Das Rohr ist bei sämmtlichen Stativen ohne Auszug und besitzt eine Länge von 175 mm. Von den Objectivsystemen, deren Engelbert und

Fig. 266.

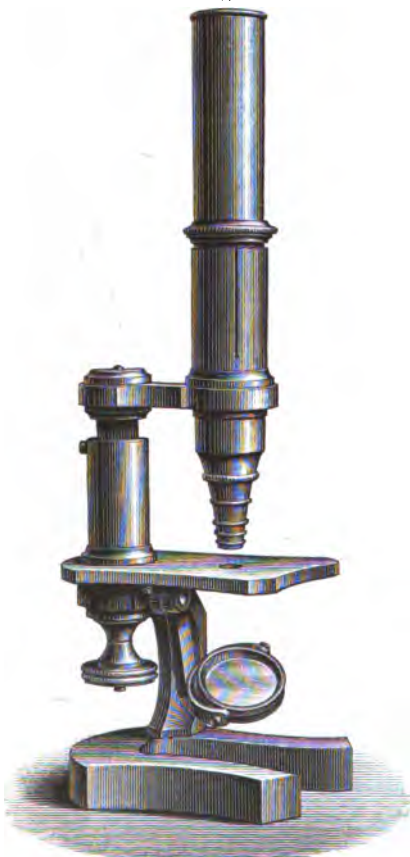
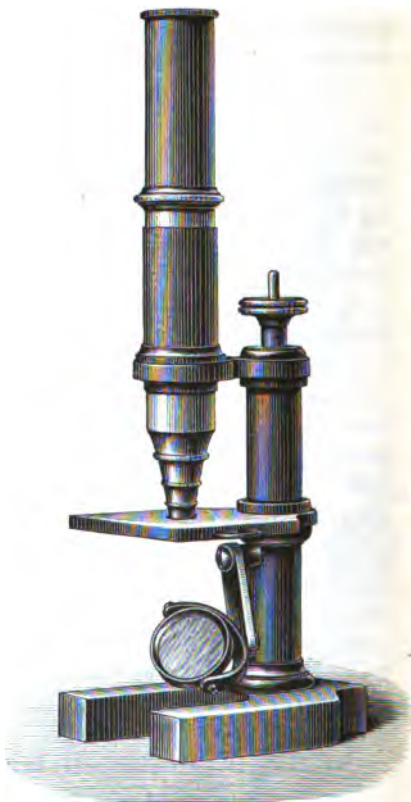


Fig. 267.



Hensoldt vierzehn Nummern fertigen, habe ich sämmtliche Trockensysteme 1 bis 10, sowie die beiden Immersionssysteme X. und XI. und zwar einzelne Nummern in mehreren Exemplaren älterer und neuester Construction kennen gelernt.

Nr. 1 mit einer Brennweite von 25,8 mm und einer numerischen Apertur von 0,15 (16° Oeffnungsw.) gewährt klar und scharf gezeichnete Bilder der entsprechenden Objecte und vergrößert 30, 40 und 60 mal.

System 2 (neuester Construction) hat eine Brennweite von 17,5 mm und eine numerische Apertur von 0,30 (35° Oeffnungswinkel). Die Abbe'sche Probe wird gut bestanden und erscheinen die entsprechenden Objecte sehr schön gezeichnet. Die auflösende Kraft reicht bis $0,9\mu$, 11 Streifen auf 10μ — Nitzschia Brebissonii —. Vergrößerungen = 40, 50, 85 und 120.

Bei System 3 mit einer Brennweite von 13 bis 14 mm ist die numerische Apertur nach den mir vorliegenden Exemplaren von 0,35 (40° Oeffnungswinkel) auf 0,45 (53° Oeffnungswinkel) und bei dem Exemplar neuester Construction auf 0,42 (50° Oeffnungswinkel) gebracht worden. Die Vergrösserungen betragen im Mittel 60, 80, 130 und 180. Gegen die Silberplatte verhielten sich die älteren nicht ganz correct, während das neuere der Probe genügte. Die entsprechenden histologischen Objecte liefern gute Bilder und das Auflösungsvermögen reicht bis $0,74 \mu$, 13 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* — für centrale, bis $0,68 \mu$, 14 Streifen auf 10μ — *Stauroneis Phoenicentron* — für excentrische Beleuchtung.

System 4 (älterer Construction) hat eine Brennweite von 11,5 mm, eine numerische Apertur von 0,42 (50° Oeffnungswinkel) und vergrössert 75, 100, 160 und 230 mal. Die Abbe'sche Probe wird bis gegen die äussere Zone bestanden, in dieser letzteren treten primäre Farben und Verschleierung ein. Die Bilder histologischer Objecte erscheinen noch scharf und bestimmt, wenig gelb gefärbt, während die Grenze des Auflösungsvermögens mit der der vorigen Nummer zusammenfällt.

System 5 neuester Construction besitzt bei einer Brennweite von 10 mm eine numerische Apertur von 0,50 (60° Oeffnungswinkel) und vergrössert 90, 120, 200 und 270 mal. Der Abbe'schen Probe genügt dasselbe und histologische Objecte werden scharf und klar, ohne Färbung gezeichnet. Für gerades Licht wird die Auflösungsgrenze bei $0,65 \mu$, 15 Streifen auf 10μ — *Stauroneis Phoenicentron* — erreicht, für schiefes liegt sie bei $0,55 \mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina* —.

Nr. 6 hat eine Brennweite von 7,8 mm, eine numerische Apertur von 0,65 (Oeffnungswinkel = 80°) und Vergrösserungen von 112, 160, 250 und 325. Abbe'sche Probe bis zur äussersten Randzone bestanden; Bilder organischer Objecte schön gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens wird je nach Verwendung centraler oder excentrischer Beleuchtung bei $0,55 \mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina* — und bei $0,42 \mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen von *Surirella gemma* — erreicht.

Das System 7 besitzt eine Brennweite von 5 mm, eine numerische Apertur von 0,80 (106° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 180, 230, 400 und 550. In der äussersten Randzone treten verwaschene Säume primärer Farben blau und gelb auf, die Objecte jedoch, welche nur die mittleren Zonen in Anspruch nehmen, sind noch scharf und klar gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichteinfalle $0,48 \mu$, 21 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, bei schiefem $0,34 \mu$, 29 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —.

Von System 8 habe ich drei verschiedene Exemplare, zwei älterer und eines neuerer Construction von 3,7, 3,9 und 3,6 mm Brennweite in Händen gehabt. Die numerische Apertur erreicht bei den beiden zuletzt erhalte-

nen Exemplaren 0,88 (124° Oeffnungswinkel) und werden von diesen die Abbe'schen Proben genügend bestanden. Histologische Objecte erscheinen klar und scharf gezeichnet und farblos. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für gerades Licht bei $0,45\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefes bei $0,33\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —. Die Vergrösserungen betragen 240, 340, 500 und 700.

System 9, dessen Brennweite und numerische Apertur = 3 mm und = 0,80 (106° Oeffnungswinkel), vergrössert 330, 480, 700 und 1000 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt ein genügendes Resultat und die Bilder sind gut gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Beleuchtung $0,48\mu$, 21 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, bei excentrischer $0,34\mu$, 28 bis 29 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —.

Nr. 10 neuester Construction mit einer Brennweite von 2,5 mm und einer numerischen Apertur von 0,88 (124° Oeffnungswinkel, vergrössert 490, 700, 1050 und 1500 mal und erweist sich der Abbe'schen Probe gegenüber, wie in Bezug auf die Bilder histologischer Objecte als ein vortreffliches System. An Auflösungsvermögen kommt es dem neuesten Nro. 8 gleich.

Die beiden Immersionssysteme mit Correctionsvorrichtung X. und XI. besitzen Brennweiten von je 2,45 und 1,6 mm und numerische Aperturen von 0,93 und 0,92 (90° Oeffnungswinkel in Wasser). Gegen die Abbe'sche Probe verhalten sich beide gleich vorzüglich und erscheint demgemäss das Bild organischer Structuren sehr klar und scharf gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei gerader Beleuchtung $0,43\mu$, 23 bis 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella gemma* — bei schiefer, $0,30\mu$, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* —. Die Vergrösserungen betragen für das erstere 490, 700, 1050 und 1500, für das andere 760, 1000, 1600 und 2400.

Der Preis der einzelnen Systeme berechnet sich folgendermaassen: Nr. 1 und 2 zu 15 Mark, Nr. 3 bis 5 zu 24 Mark, Nr. 6 zu 30 Mark, Nr. 7 zu 35 Mark, Nr. 8 zu 40 Mark, Nr. 9 zu 50 Mark, Nr. 10 zu 55 Mark, Nr. IX., X., XI. und XII. ohne Correction zu 50, 55, 110 und 135 Mark, mit Correction zu 65, 70, 125 und 150 Mark.

Die Oculare, den Kellner'schen ähnlich, haben wie diese ein grosses Gesichtsfeld und werden das Stück zu 6 Mark abgegeben.

237 Dr. E. Hartnack, Potsdam, Waisenstrasse 39 hatte in den fünfziger Jahren das in Paris, Place-Dauphine Nr. 19, etablirte optische Institut seines Oheims Georg Oberhäuser, bei dem er seit dem Ende der vierziger Jahre thätig und mit welchem er mehrere Jahre als Genosse vereinigt war, auf eigene Rechnung übernommen und führte dasselbe nicht nur mit dem alten, wohlverdienten Rufe fort, sondern hatte ihm durch seine rastlosen und mit dem schönsten Erfolge gekrönten Bemühungen in Bezug auf die Vervollkommnung der schwächeren sowohl, als namentlich auch der stärkeren Objectivsysteme ganz neue

Bahnen eröffnet. Seit 1870 hat derselbe seine optische Hauptwerkstätte nach Deutschland verlegt und vor einigen Jahren auch das Pariser Zweiginstitut an seinen langjährigen Mitarbeiter Prazmowski abgetreten.

Dr. Hartnack führt acht verschiedene Mikroskopgrössen, welche den höchst gesteigerten sowohl, als den geringsten Anforderungen genügen. Ich werde mich hier indessen auf die Beschreibung der gangbarsten Sorten beschränken.

Das grosse, bekannte und mit Recht von vielen Optikern nachgeahmte, in dem Preisverzeichnisse unter Nr. VII. aufgeführte Hufeisentativ, Fig. 268 ist eines der schönsten, solidesten und zweck-

Fig. 268.



mässigsten, die ich kenne. Es ist in vollem Sinne des Wortes ein Musterstativ. Leicht transportabel ist dasselbe allerdings nicht, wie es ebensowenig die grossen Instrumente anderer Form sind. Zum Reisebegleiter wird es daher nur in einzelnen Fällen dienen können. Da-

gegen ist es, seines sehr festen Standes, seiner mässigen Höhe von etwa 360 mm, überhaupt seines ganzen Baues halber ein Instrument für den Arbeitstisch des Mikroskopikers, welcher sich mit den schwierigeren Untersuchungen zu beschäftigen hat, wie er sich kaum ein vortrefflicheres wünschen kann. Mit grosser Solidität und Einfachheit der Construction vereinigt dasselbe eine solche Vollständigkeit des wirklich Nothwendigen, dass man bei keiner Arbeit von demselben im Stich gelassen, aber auch eben so wenig durch überflüssiges Schrauben und andere Anhängsel beengt wird.

Der solid gearbeitete und schwere hufeisenförmige Messingfuss trägt die vierseitige, mit ihm durch Schrauben fest verbundene, in der Mitte breit ausgeschnittene Säule, auf welcher entweder fest mit ihr verbunden oder in Charnier zur beliebigen Neigung der nach unten den vierseitigen, in den Säulenanschnitt sich einfügenden geschlitzten Spiegelträger enthaltende Körper ruht. Mit dieser Säule ist die horizontale Platte verbunden, welche den quadratischen 100 mm breiten, etwa 130 mm über dem Arbeitstisch stehenden, an den neueren Stativen mit einer dicken schwarzen Glastafel belegten Objecttisch trägt. Dieser lässt sich mittelst einer runden Scheibe, welche in einem entsprechenden Einschnitte jener Platte läuft, sammt dem Rohre um seine Achse drehen. Von dem hinteren geschweiften Ende des Objecttisches aus erhebt sich die Säule, in der die mittelst des an ihrem oberen Ende befindlichen Schraubenknopfes bewegliche Mikrometerschraube zur feinen Einstellung angebracht ist. Von ihr geht der breite Arm ab, welcher das mittelst Zahn und Trieb senkrecht bewegliche, ausziehbare Rohr trägt. Feine und grobe Einstellung sind auf diese Weise handlich und in solider Weise untergebracht und wirken in vollkommener entsprechender Weise. Der Spiegel hängt mittelst eines drehbaren Bügels an der Kurbel, deren horizontaler Arm sich mittelst der Stellschraube in dem Ausschnitte des Trägers in senkrechter Richtung verschieben und feststellen lässt. Auf diese Weise kann der Spiegel nicht nur allseitig bewegt, sondern auch höher und tiefer gestellt werden, um je nach Bedürfniss einen Lichtkegel von grösserem oder kleinerem Durchmesser auf das Object fallen zu lassen. Als Blendungsapparat dienen drei verschiedene Cylinderblendungen von je 4, 1,5 und 0,75 mm Weite. Diese werden in die Röhre eingesetzt, welche in der unten an dem Schlitten befestigten, federnden Hülse auf- und abgeschoben werden kann. Der Schlitten wird mittelst eines geränderten Knopfes in den schwalbenschwanzförmigen Einschnitt des Objecttisches geschoben, so dass man während der Beobachtung die Blendungen wechseln kann, ohne das Object berühren zu müssen.

Mit den Objectivsystemen 4, 7, 8 und 9 (ohne Correctionsvorrichtung etc.), den sämmtlichen Ocularen I. bis V., einem Ocularmikrometer und einer grossen Beleuchtungslinse auf eigenem Fuss ausgestattet, kostet dieses Mikroskop ohne Vorrichtung zum Umlegen 525 Mark. Nimmt

man aber die Systeme 2, 4, 5, 7 und das System 9 mit Verbesserungseinrichtung und zum Eintauchen, so steigt der Preis auf 600 Mark und weiter, entsprechend dem dazu verlangten optischen Apparate. Die Einrichtung zum Umlegen erhöht den Preis um 40 Mark.

Das mittlere Hufeisenstativ Nr. VII A des Preisverzeichnisses stimmt in seinem Bau und seinen einzelnen Theilen mit dem grossen fast vollständig überein. Was es vor diesem, dessen Vorzüge es bewahrt, auszeichnet, ist seine Compendiosität, indem alle Verhältnisse auf ein etwas kleineres Maass zurückgeführt sind. Seine Gesamthöhe beträgt ungefähr 330 mm. Die Fläche des quadratischen, 80 mm Seite haltenden, mit einer matten, geschwärzten Glastafel belegten Objecttisches liegt 117 mm über dem Arbeitstische und ist zwischen ihm und dem Fusse noch hinreichender Raum gelassen, um die freie Bewegung des Beleuchtungsapparates, der Polarisationsvorrichtung etc. zu gestatten. Mit gleicher Ausstattung wie die bei dem grossen Mikroskope verzeichneten beträgt der Preis 445 und 520 Mark und erhöht sich bei Einrichtung zum Umlegen um 24 Mark.

Fig. 269.



Das neue kleine Stativ, Fig. 269, in dem Preisverzeichnisse unter Nr. VIII aufgeführt, ist in seiner Art ebenso vortrefflich, wie die grösseren. Es ist ziemlich compendiös, leicht transportabel, ein geeigneter Reisebegleiter und bietet mit Ausnahme der Drehung um die optische Achse alle Vortheile der letzteren.

Der Fuss ist gleichfalls hufeisenförmig, nur kleiner, als bei den grossen Stativen. Von seinem hinteren Theile erhebt sich die Rundsäule, welche oberhalb des Objecttisches in das dreiseitige Prisma übergeht, über dem sich eine in ihrem unteren Theile dreiseitig ausgeschnittene, in ihrem oberen Theile zur Aufnahme einer starken Spiralfeder hohleylindrische Säule in senkrechter Richtung verschieben lässt. Diese Einrichtung dient der feinen Einstellung, welche mittelst des geränderten

Mutterknopfes über der Säule bewerkstelligt wird. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des Rohres in der an dem Querarm

befestigten, federnden Hülse. Der mit der unteren Säule fest verschraubte Objecttisch ist viereckig, 77 mm lang, 60 mm breit und steht 90 mm über der Fläche des Arbeitstisches. Der Spiegel ist mittelst seiner Kurbel an derselben Säule aufgehängt, in der Achse sowohl als ausserhalb der Achse beweglich. Der Blendungsapparat gleicht vollständig demjenigen der grossen Stative. Das ganze Instrument hat bei ausgezogenem Rohre eine Höhe von 300 mm.

Mit den Systemen 4, 7 und 8, drei Ocularen (nach Wahl), einer Beleuchtungslinse und einem Ocularglasmikrometer versehen, kostet dasselbe 220 Mark, zum Umlegen 232 Mark. Wenn statt 8 das System 9 zum Eintauchen genommen wird, 312 resp. 324 Mark. In letzterem Falle hat man dann aber auch ein Instrument, welches für alle Untersuchungen der Pflanzen- und Thierhistologie vollkommen ausreicht. Will man eine noch vollständigere Ausrüstung, so steigt der Preis um die Preise der weiter begebenen Objectivsysteme.

Fig. 270.

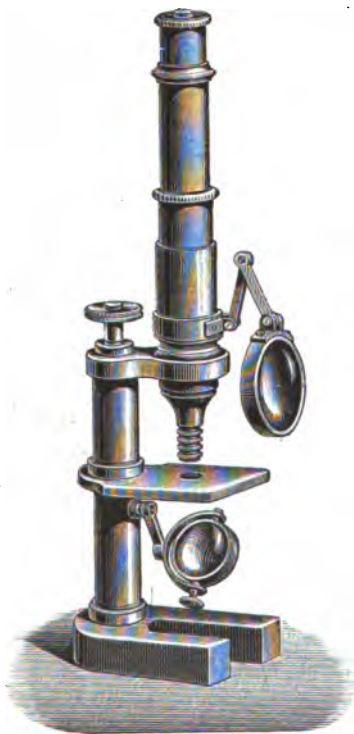


Fig. 271.



Das kleine Stativ, Nr. III. (Fig. 270) hat eine dem Nr. VII. ähnliche Form, ist aber kleiner und hat statt der Cylinderblenden eine drehbare Blendungsscheibe. Mit den Systemen 4 und 7, den Ocularen 2

und 3 (besser noch 2 und 4) und einer Beleuchtungslinse kostet dasselbe 124 Mark, wenn System 8 und Ocular 4 (zu 2 u. 3) hinzukommen 164 Mark.

Das kleine Stativ II. A. (Fig. 271) unterscheidet sich von dem vorausgehenden nur durch kleinere Dimensionen, vierseitigen Fuss und im oberen Theile dreikantige Säule. Mit der gleichen Ausrüstung wie bei jenem stellt sich der Preis auf 108 und 148 Mark.

Die fünf Oculare Hartnack's zeichnen sich durch ein gegen das frühere etwas vergrössertes Sehfeld aus. Das schwächste vergrössert das objective Bild etwa $3\frac{1}{3}$ mal, und ist das Verhältniss ihrer Vergrösserungskraft wie 1 : 1,15 : 1,5 : 2,7 : 3,3. Jedes derselben wird mit 8 Mark berechnet.

Objectivsysteme liefert Hartnack 28 verschiedene Nummern und zwar diejenigen älterer Construction mit kleinem Oeffnungswinkel und grossem Objectabstande Nr. 1, 2, 3 und 4 à 16 Mark, Nr. 5 à 24 Mark, Nr. 6 und 7 à 28 Mark, Nr. 8 à 32 Mark, Nr. 9 à 48 Mark; diejenigen neuerer Construction mit grosser numerischer Apertur Nr. 1 und 2 à 16 Mark, Nro. 3 u. 4 à 24 Mark, Nr. 5 à 28 Mark, Nr. 6 u. 7 à 32 Mark, Nr. 8 à 40 Mark, Nr. 9 à 60 Mark. Die zehn zum Eintauchen bestimmten und mit Verbesserungseinrichtung versehenen Systeme werden Nr. 9 à 120 Mark, Nr. 10 à 160 Mark, Nr. 11 à 200 Mark, Nr. 12 à 240 Mark, Nr. 13 à 280 Mark, Nr. 14 à 320 Mark, Nr. 15 à 360 Mark, Nr. 16 bis 18 à 400 Mark berechnet.

In der Vervollkommnung seiner Objective, namentlich auch in der Vergrösserung des Oeffnungswinkels hatte Hartnack schon vor zwanzig Jahren sehr bedeutende Fortschritte gemacht, seitdem hat er bei manchen Combinationen der Trockensysteme eine noch höhere numerische Apertur (allerdings unter Preisgabe des grösseren Objectabstandes) erstrebt und erreicht, so dass seine neueren Systeme dieser Art ein noch höheres Auflösungsvermögen zeigen, als die älteren von gleicher Nummer. Ausserdem aber besitzen dieselben meist auch eine ausreichende Verbesserung der Abweichungen und liefern ganz gute Bilder; auch die Lichtstärke ist sehr bedeutend, so dass noch die stärksten Oculare vertragen werden. Einzelne der schwächeren Systeme liefern dagegen etwas gelb gefärbte Bilder organischer Objecte, welche erst bei den mittleren und starken mehr beseitigt ist. Die Eintauchsysteme gehören in Bezug auf die Verbesserung der Abweichungen etc. mit zu dem Schönsten, was ich kenne.

Zur Prüfung haben mir aus neuester Zeit die Nummern 2, 4 bis 9 der Trockensysteme mit grossem Oeffnungswinkel, sowie 9, 10 und 14 der Eintauchsysteme vorgelegen.

System 2 mit einer Brennweite von 31 mm gewährt mit den Ocularen 1, 2 und 3 Vergrösserungen von 20, 30 und 40, zeichnet sich durch scharfe, farbenfreie Bilder aus und ist sehr geeignet zur Beobachtung undurchsichtiger Objecte sowohl, als solcher durchsichtiger Gegenstände, von denen man sich einen allgemeinen Ueberblick verschaffen will.

Das System 4 hat eine Brennweite von 10,6 mm, eine numerische Apertur von 0,42 (50° Oeffnungswinkel) und vergrössert mit den Ocularen 1 bis 4, 60, 70, 90 und 140 mal. Bei den Abbe'schen Proben treten in der äussersten Zone primäre Farben auf. Das Bild organischer Objecte ist jedoch bei etwas gelber Färbung der Substanz scharf und bestimmt gezeichnet, und es treten z. B. bei den stärkeren Ocularen die Ringe auf dem Stärkekorn, sowie die Streifen der willkürlichen Muskelfasern sehr bestimmt hervor. Das Auflösungsvermögen reicht bei geradem Lichte bis zu $0,72 \mu$, 13 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* — bei schiefem bis zu $0,65$, 14 bis 15 Streifen auf 10μ — *Stauroneis Phoenicentron*.

Von System 5 haben mir zwei Exemplare vorgelegen, ein drei- und ein vierfaches mit einer Brennweite von 5,8 mm, Vergrösserungen von 100, 125, 160, 240 (mit Ocular 1 bis 4) und numerischen Aperturen von je 0,76 (100° Oeffnungswinkel) und 0,79 ($104,5^\circ$ Oeffnungswinkel). In Bezug auf die Silberplatte verhielten sie sich ähnlich wie Nro. 4. Beide, namentlich aber die vierfache Combination, haben schon einen ziemlich geringen Abstand von der Deckglasoberfläche. Das Bild organischer Objecte ist scharf und klar, dagegen im Ganzen etwas gelb gefärbt und an den Begrenzungslinien nicht ganz ohne Farbensäume (blau). Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Beleuchtung bei der ersten Combination $0,50 \mu$ 20 Streifen auf 10μ , bei der anderen $0,48 \mu$, 21 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia sigma* — bei excentrischer einmal $0,36$, dann $0,34 \mu$, 28 bis 29 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia obtusa*.

Auch von System 7 haben mir zwei Combinationen genannter Art vorgelegen, mit Brennweiten von je 3,6 und 4 mm, $0,865$ (120° Oeffnungswinkel) und $0,97$ (152° Oeffnungswinkel) numerischer Apertur und im Mittel 200-, 240-, 300-, 450-, 600- und 750facher Vergrösserung. Der Abbe'schen Probe genügen beide bis auf die äussersten Randzonen und die Zeichnung histologischer Objecte ist farblos und bestimmt. Die dreifache Combination gleicht an Auflösungsvermögen den Systemen gleicher Nummer aus den letzten zwei Jahrzehnten, wo der hohe Oeffnungswinkel von 116 bis 120° schon erreicht war, und findet seine Grenze bei geradem Lichte mit $0,45 \mu$, 22 Streifen auf 10μ — Querstreifen von *Nitzschia paradoxa* —, bei schiefem mit $0,32 \mu$, 30 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia linearis*. Bei der zweiten Combination ist dagegen das Auflösungsvermögen sehr gesteigert und es sind noch Distanzen zugänglich von $0,42 \mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella gemma* — bei centraler, und von $0,28 \mu$, 34 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia vermicularis* bei excentrischer Beleuchtung. Der Abstand ist sehr klein und verlangt sie ein dünnes Deckglas von etwa 0,15 mm. Die Zeichnung zarter organischer Objecte ist rein und bestimmt, ohne merkbare Farbensäume.

Nr. 8, mit einer Brennweite von 2,66 mm und einer numerischen Apertur von $0,93$ (Oeffnungswinkel 150°) vergrössert 250, 300, 400,

600, 800 und 1000 mal. Es besteht die Abbe'sche Probe gut und gewährt von organischen Objecten scharf und klar gezeichnete Bilder, hat aber einen sehr kleinen Abstand und verlangt ein dünnes Deckglas von 0,15 mm. Das Auflösungsvermögen reicht bis $0,43 \mu$, etwa 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* — bei geradem, bis 0,30, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tennis* — bei schiefem Licht —.

Das stärkste Trockensystem 9 hat eine Brennweite von 2,3 mm, eine numerische Apertur von 0,98 (156° Oeffnungswinkel) und vergrößert 350, 400, 550, 860, 1100 und 1400 mal. Die Bilder organischer Objecte erscheinen bestimmt gezeichnet und die Probe an der Silberplatte ist bis zu den äusseren Zonen befriedigend. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt bei centrischer Beleuchtung zwischen 0,41 und $0,42 \mu$, 24 bis 25 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella gemma* —, bei excentrischer bei $0,28 \mu$, 35 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia curvula* noch eben sichtbar —.

Die beiden seit 1859 von Hartnack construirten Immersionssysteme 9 und 10, ebenso das einige Jahre später ausgegebene System Nr. 11 mit einer (nachträglich an in meinem Besitze befindlichen, in der ersten Auflage beschriebenen Exemplaren bestimmten) numerischen Apertur von 1,05 übertrafen schon damals alle mir bis dahin bekannten Systeme an Leistungsfähigkeit. Es ist in denselben eine Vereinigung aller Eigenschaften eines guten Objectivsystemes, wozu ich namentlich auch den Abstand der unteren Linse von der Deckglasoberfläche und damit die Zulässigkeit nicht zu dünner Deckgläschen rechne, in so hohem Grade erreicht, wie dies selten der Fall. Beide Abweichungen sind so vortrefflich verbessert und die Systeme sind so lichtstark, dass man damit noch sehr starke Oculare verbinden kann, ohne dass das Bild wesentlich leidet. Die Umrisse sowohl als die inneren Structurverhältnisse organischer Objecte erscheinen in voller Klarheit ausgeprägt, und dabei ist das Bild vollständig farbenfrei, ebenso ist das Auflösungsvermögen, entsprechend der numerischen Apertur, in hohem Grade entwickelt. Zwei aus neuester Zeit stammende Immersionssysteme Nr. 9 und 10 mit je 2,3 mm und 1,9 mm Brennweite und 1,05 numerischer Apertur (104° Oeffnungswinkel in Wasser) haben alle die geschilderten Eigenschaften bewahrt. Die Abbe'sche Probe wird in vollem Maasse bestanden und das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte $0,39 \mu$, 26 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia sigmoidea* —, bei schiefem $0,26 \mu$, 38 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia curvula* und der gröberen *Amphipleura pellucida*. Die Vergrößerungen betragen bei Nr. 9: 410, 480, 630, 950, 1300 und 1500, bei Nr. 10: 520, 600, 750, 1100, 1500 und 1800. Nr. 14 aus der gleichen Zeit hat eine Brennweite von 1 mm und eine numerische Apertur von 0,95 (90° Oeffnungswinkel in Wasser). In Bezug auf die Probe an der Silberplatte etc., wie auf die Zeichnung histologischer Objecte steht es den beiden voranstehenden völlig gleich, während das

Auflösungsvermögen bei centraler Beleuchtung bis zu $0,42\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella gemma* —, bei excentrischer bis zu $0,29\mu$, 34 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Nitzschia palea* — reicht.

238

B. Hasert zu Eisenach. Hasert beschäftigte sich, wie aus seinem Vortrage in der 30. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Karlsruhe hervorgeht (amtlicher Bericht Seite 212), schon seit 1847 mit der Construction von Objectivsystemen mit grossem Oeffnungswinkel (120°), welche ein für jene Zeit hervorragendes Auflösungsvermögen besaßen. Seine Objective und Mikroskope sind indessen früher wenig bekannt geworden, weil er bei der Construction seines optischen Apparates wenig Rücksicht auf die Bedürfnisse der praktischen Mikroskopiker genommen hat, sondern mehr auf ein hohes Auflösungsvermögen hinsteuerte, wie dies seine in den fünfziger Jahren gebauten starken Objectivsysteme beweisen, welche zu wissenschaftlicher Beobachtung schwer zu gebrauchen sind. Daraus sind denn auch die Beurtheilungen hervorgegangen, welche diesen Objectivsystemen von vielen Seiten (H. v. Mohl, Schacht) und auch von mir zu Theil geworden sind und welche wohl begründet waren. Neuerdings hat sich derselbe bemüht, diesen Anforderungen mehr gerecht zu werden, und namentlich auch die früher sehr stark hervortretende gelbe Färbung, welche durch das zu der vordersten Linse verwendete Glas oder durch eine zwischen derselben eingeschlossene Flüssigkeit verursacht wurde, zu vermeiden oder doch zu vermindern gesucht. Möchte er es sich nun nur auch noch angelegen sein lassen, seine Stative in mechanischer Beziehung besser auszustatten, als dies bisher der Fall war. Hasert liefert nach seinen neuesten Mittheilungen drei verschiedene Hufeisenstative, ein grosses, ein mittleres und ein kleines.

Das grosse Stativ, Fig. 272, hat einen vierseitigen, drehbaren Objectisch von 90 mm im Durchmesser. Zur Beleuchtung dient ein allseitig beweglicher Concavspiegel und eine concav-convexe, von Hasert „achromatischer Condensor“ genannte, Beleuchtungslinse, welche an einen Hohlcylinder geschraubt ist, der sich in einer an der Unterseite des Objectisches angebrachten federnden Hülse in der optischen Achse verschieben lässt und einen zur Seite drehbaren halbrunden Deckel besitzt, um mehr oder weniger Licht abzublenzen. Als Blendungsapparat dient ein die Blendungen aufnehmender Hohlcylinder, der, wenn die Beleuchtungslinse nicht gebraucht wird, in die federnde Hülse eingesetzt, sich höher und tiefer stellen lässt. Derselbe hat an der Seite eine halbrunde Oeffnung und kann unten durch einen Stopfen geschlossen werden, so dass bei schiefer Spiegelstellung alles von unten kommende, gerade einfallende Licht ausgeschlossen und nur seitliches zugelassen wird. Diese Einrichtung bietet für schwierigere Objecte in der That einige Vortheile und dürfte sich vielleicht für alle Stative mit beweglichen Cylinderblenden zur Nachahmung empfehlen.

Die grobe Einstellung geschieht mittelst Verschiebung des Rohres in der Hülse, die feine mittelst Mikrometerschraube, deren Knopf unter

der Säule angebracht ist. Der Preis beträgt bei Zugabe von drei Ocularen, einer Beleuchtungslinse für auffallendes Licht etc. 140 Mark.

Das mittlere Stativ (Fig. 273) hatte ich früher in Händen. Dasselbe besitzt einen runden, um die optische Achse drehbaren Objecttisch von

Fig. 272.

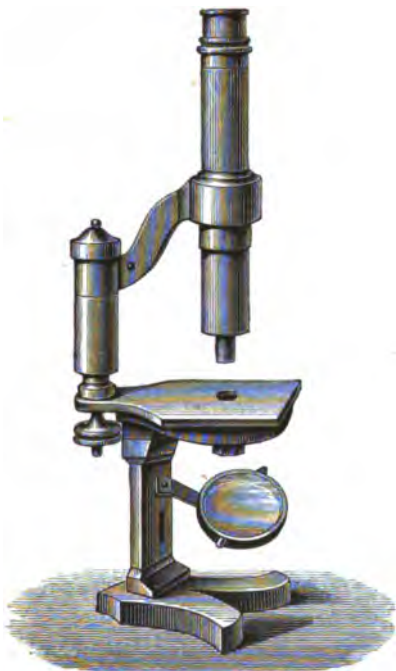


Fig. 273.



75 mm im Durchmesser. Beleuchtungs- und Einstellungsrichtungen sind im Wesentlichen dieselben wie bei dem grossen Stativ; es befindet sich aber der Knopf der Mikrometerschraube über der Säule.

Die ganze mechanische Ausführung ist etwas unansehnlich, worauf am Ende weniger ankommt; dagegen finde ich einiges daran zu tadeln. Erstlich ist die feine Einstellung nicht hinreichend solide ausgeführt, so dass immer eine kleine Verrückung des Bildes stattfindet, wenn man von derselben Gebrauch macht. Dann ist die Blendungsvorrichtung, wie sie sowohl für den alleinigen Gebrauch des Spiegels, als für dessen Verbindung mit der Beleuchtungslinse angewendet wird, nicht völlig ausreichend und könnte durch eine zweckmässigere ersetzt werden.

Mit drei Ocularen einer Beleuchtungslinse etc. kostet dasselbe 75 M.

Das kleine Stativ ist dem vorigen im Baue ähnlich, hat aber kleinere Dimensionen und entbehrt des drehbaren Objecttisches und des Condensors; mit zwei Ocularen und einer Beleuchtungslinse für undurchsichtige Gegenstände beträgt dessen Preis 48 Mark.

Von den drei Ocularen entspricht das schwächste etwa dem dritten, das mittlere etwa dem fünften Ocular von Oberhäuser und das dritte ist noch stärker. Alle haben insofern ein sehr beschränktes Sehfeld, als nur die Mitte ein hinreichend vollkommenes Bild liefert.

Objectivsysteme liefert Professor Hasert sieben verschiedene Nummern: fünf Trockensysteme, *A* $\frac{1}{16}$ " (engl.) zu 150 Mark, *B* $\frac{1}{14}$ " zu 120 Mark, *C* zu 60 Mark, *D* zu 40 Mark, *E* zu 24 Mark und zwei Immersionssysteme Nr. 1, $\frac{1}{16}$ " zu 180 bis 200 Mark und Nr. 2, $\frac{1}{14}$ " zu 150 bis 180 Mark.

Von diesen Objectiven habe ich nur die $\frac{1}{14}$ " zur Immersion mit Correction kennen gelernt und theile von den übrigen hier das mit, was Hasert selbst darüber berichtet. System *E* löst bei centrischer Beleuchtung die Querstreifen von Hipparchin Janira, erreicht also eine Streifendistanz von $0,9\mu$, 11 Streifen auf 10μ , der eine numerische Apertur von 0,30 (38° Öffnungswinkel) entspricht. *D* löst die Querstreifen von Pleurosigma attenuatum, $0,7\mu$, demnach numerische Apertur = 0,45 (53° Öffnungswinkel). Das System *C* erreicht mit der Lösung von Pleurosigma angulatum $0,50\mu$, entsprechend einer numerischen Apertur von 0,75 (97° Öffnungswinkel). System *B* $\frac{1}{14}$ ", und *A* $\frac{1}{16}$ " lösen bei schiefer Beleuchtung die Längstreifen der Surirella Gemma $0,30\mu$ und dürften sohin eine numerische Apertur von 0,90 (128° Öffnungswinkel) besitzen. Ihre Brennweiten dürften nach dem gleich Mitztheilenden wohl etwas unter der Hasert'schen Angabe zurückbleiben.

Das in vorigem Sommer construirte, mit $\frac{1}{14}$ " bezeichnete Immersionssystem Nr. 2 besitzt eine wirkliche Brennweite von 2,15 mm ($\frac{1}{11}$) und eine numerische Apertur von 0,975 (94° Öffnungswinkel in Wasser). Die Vergrößerungen betragen bei 160 mm Rohrlänge mit den fünf Zeiss'schen Ocularen: 360, 450, 620, 800 und 1150. Die Abbe'sche Probe wird befriedigend bestanden und es erscheinen bei noch immer etwas gelb gefärbtem Gesichtsfelde die Bilder histologischer Objecte klar und scharf gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht seine Grenze für centrales Licht bei $0,42\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der Surirella Gemma —, für schiefes, bei $0,28\mu$, 35 Streifen auf 10μ — Nitzschia tenuis und Frustalia saxonica —, mittelst monochromatischem blauem Sonnenlichte lassen sich bei Amphipleura pellucida eben noch die Querstreifen erkennen.

Das Immersionssystem Nr. 1 $\frac{1}{16}$ " soll nach den Angaben des Verfertigers an optischem Vermögen dem vorigen vollkommen gleich stehen.

Hieraus geht hervor, dass die Hasert'schen stärkeren Trockensysteme, Objectivsysteme, von einer in mechanischer Beziehung höchst einfachen und sonderbaren, fast nachlässigen Einrichtung, in Bezug auf das Auflösungsvermögen einen etwa gleichen Rang einnehmen wie die gleichstarken Nummern von Hartnack und anderen. Für solche Mikroskopiker, welche sich vorzugsweise mit dem Studium der Diatomeen befassen, sind dieselben gut zu gebrauchen und es haben dieselben da-

her auch von Schumann, Professor van Heurck u. A. eine sehr günstige Beurtheilung erfahren. In Bezug auf die Zeichnung histologischer Objecte leisten dieselben nach dem Urtheile des letztgenannten Forschers, wie nach den Erfahrungen, welche ich an dem oben beschriebenen Systeme gemacht habe, Besseres als die früher gefertigten.

Otto Himmler (vormals Himmler und Bartling), Berlin, S. W. 239 Simeonstrasse 27, hat erst in der neueren Zeit eine optische Werkstätte errichtet, deren Erzeugnisse schon mehrseitig Anerkennung gefunden und auch mir den Beweis geliefert haben, dass derselbe während seiner langjährigen Thätigkeit in ersten optischen Werkstätten den Grund gelegt hat für erfolggewährendes Streben. Die von ihm gefertigten

Fig. 274.



Mikroskope zeigen vorzugsweise drei Hauptformen, welche in einigen Modificationen unter mehreren Nummern auftreten.

Das grosse Mikroskop Nr. 1 (Fig. 274) ist ein Hufeisenstativ zum Umliegen und mit Drehung um die optische Achse. Die grobe Einstel-

444 Vierter Abschnitt. Zur Kenntniss der neueren Mikroskope.

lung geschieht mittelst Zahn und Trieb, die feine mittelst Mikrometerschraube über der Säule durch 'die neuerer Zeit vielfach verwendete Parallelogrammbewegung. Der Spiegel ist seitlich und nach vorn beweglich, aber nicht vertical verstellbar. Die Blendungsvorrichtung besteht aus mittelst einer Art Bajonettverschluss beweglicher Cylinderblendung mit vier Diaphragmen, wovon eines schlitzförmig für schiefe Beleuchtung. Die Ausstattung ist eine vollständige und besteht aus den Trockensystemen Nr. 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 mit Correction, dem Immersionssysteme 11 mit Correction, den Ocularen I bis IV, einem beweglichen Mikrometerocular, Revolvervorrichtung für fünf Systeme, Polarisationsapparat mit Theilkreis, Oberhäuser'schem Zeichenapparat, beweglichem Objecttisch, Condensor, um die Objecte auf dunkeltem Grunde zu zeigen und Beleuchtungslinse auf besonderem Stativ. Der Preis beträgt 669 Mark.

Mit den Trockensystemen 0, 3, 5, 7, 10 (mit Correction), den Ocularen I, II, IV, Ocularmikrometer zum Einschieben, Polarisationsapparat und Oberhäuser'schem Zeichenapparat stellt sich der Preis auf 435 Mark.

Fig. 275.



Etwas kleiner in seinen Dimensionen ist das Stativ Nr. II (Fig. 275), auf geschweiftem demjenigen des ältesten Zeiss'schen Statives nachgeahmten Träger ruhend und zum Ueberlegen eingerichtet. Der um die optische Achse drehbare Objecttisch ist rund und mit Kreistheilung und Schraubenvorrichtung zur genauen Centrirung versehen. Die Einstellungsrichtungen sind denen der Nr. I ähnlich, jedoch befindet sich der Kopf der Mikrometerschraube unter der Tubussäule. Der Beleuchtungsapparat besteht aus allseitig beweglichem Spiegel und Cylinderblendung mit Schlittenführung. Kommen zu diesem Stativ die Systeme

1, 3, 5, 8, 10 mit Correction, 11 mit Correction für Immersion, die Oculare I, II, IV, Ocularmikrometer zum Einschieben, Polarisationsapparat (wie oben), Revolvervorrichtung für vier Systeme, Oberhäuser'sches Zeichenprisma und Condensor, so beträgt der Preis 473 Mark. Besteht die Ausrüstung aus den Systemen 2, 5, 8, dem Immersionssysteme 11 mit Correction, den Ocularen I, II, III, Polarisationsapparat und einfachem Condensor, so vermindert sich der letztere auf 337 Mark, und wenn nur die Trockensysteme 2, 4, 6, 8 und die Oculare I, II, III beigegeben werden, auf 235 Mark.

Stativ Nr. III ist bei gleichen Maassverhältnissen dem vorigen ähnlich gebaut, hat aber festen, ausreichend grossen vierseitigen, nicht drehbaren, mit Hartgummi belegten Objecttisch, und grobe Einstellung durch Verschiebung des Rohres. Der Spiegel ist allseitig beweglich und die Cylinderblenden werden in ähnlicher Weise wie bei Stativ Nr. 1 gewechselt.

Werden die Trockensysteme 2, 4, 7, 9, das Immersionssystem 11 mit Correction, die Oculare I, II, IV, Ocularmikrometer zum Einschieben

Fig. 276.



und einfacher Condensor beigegeben, so kostet dieses Mikroskop 298 Mark, mit den Trockensystemen 3, 5, 8, 10 und den Ocularen I und III 224 Mark, mit den Systemen 1, 4, 8 und den Ocularen I und III 177 Mark.

Das feste mittlere Mikroskop Nro. IV (Fig. 276) besitzt bei etwas verkleinerten Dimensionen im Ganzen Einrichtung und Form des Nro. III und kommt bei Zugabe der Objectivsysteme 2, 5, 8, des Immersionssystemes 11 mit Correction, der Oculare I, II und IV, eines Ocularmikrometers zum Einschieben und einfachen Condensors auf 232 Mark, mit den Systemen 2, 5, 8, den Ocularen II, IV und Ocularmikrometer auf

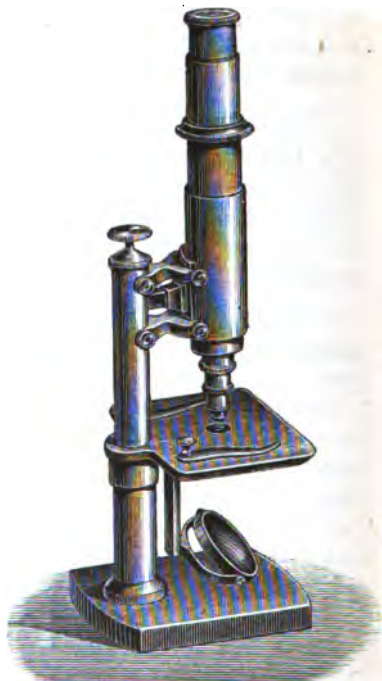
149 Mark, mit den Systemen 3 und 8 und den Ocularen I und III auf 123 Mark zu stehen.

Die beiden kleinen (Studir-) Mikroskope Nr. V und Va (Fig. 277 und 278) besitzen im Wesentlichen übereinstimmenden Bau; ersteres

Fig. 277.



Fig. 278.



mit Hufeisenfuss hat Gelenk zum Ueberlegen, letzteres mit vierseitigem Fuss hat feste Säule. An die Stelle der Cylinderblenden tritt bei ihnen die glockenförmige Drehscheibe, während die Einstellung die gleiche bleibt, wie bei den zuletzt beschriebenen Stativen. V mit den Objectivsystemen 2, 4 und 7, den Ocularen I und IV und Ocularmikrometer kostet 125 Mark, Va mit den Systemen 3 und 8 und den Ocularen I und III 100 Mark, mit den Systemen 1 und 5 und den genannten Ocularen 87 Mark.

Oculare fertigt Himmeler vier Nummern von je 48, 36, 24 und 18 mm Aequivalentbrennbreite zu 7 Mark. Von den 18 Objectivsystemen, von welchen die mittleren und starken auf etwa 0,2 mm Deckglasdicke justirt sind, werden berechnet: die Trockensysteme Nr. 0 zu 20 Mark, Nr. 1 bis 4 zu 15 Mark, Nr. 5 zu 18 Mark, Nr. 6 zu 24 Mark, Nr. 7 zu 27 Mark, Nr. 8 zu 30 Mark, Nr. 9 zu 36 Mark, 9a mit Correction zu 52 Mark, Nr. 10 zu 44 Mark, 10a mit Correction zu 60 Mark, die

Immersionssysteme Nr. 11 zu 54 Mark, mit Correction zu 70 Mark, Nr. 12 (1,28 mm) zu 90 Mark, Nr. 13 (1,02 mm) zu 110 Mark, Nr. 14 (0,77 mm) zu 160 Mark (Nr. 12 bis 14 mit Correction).

Aus eigener Anschauung sind mir die Nummern 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10a und 11a bekannt.

Nr. 2 mit einer Brennweite von 24 mm und einer numerischen Apertur von 0,20 (23° Oeffnungswinkel) besitzt gemäss der Abbe'schen Proben gute Correction und gewährt bei Vergrösserungen von 38, 54, 65 und 96 klare und scharfe Bilder der entsprechenden Objecte.

Nr. 3 besitzt eine Brennweite von 19 mm, eine numerische Apertur von 0,21 ($24,5^{\circ}$ Oeffnungswinkel) und vergrössert 47-, 62-, 76- und 115 mal. In seinen übrigen Eigenschaften steht es dem vorigen, da es die Abbe'sche Probe bis nahe an die äusserste Zone besteht, etwa gleich.

Nr. 4, dessen Brennweite 15,5 mm, dessen numerische Apertur 0,22 (25° Oeffnungswinkel) beträgt, vergrössert 60-, 70-, 90- und 130 mal. Es besteht die Abbe'schen Proben bis gegen die äusserste Randzone und gewährt bei einer Grenze des Auflösungsvermögens von etwa $1,3\mu$ Streifendistanz von 8 bis 9 Streifen auf 10μ und Lösung der *Navicula viridis* recht hübsche Bilder.

Nr. 5 mit einer Brennweite von 11 mm und einer numerischen Apertur von 0,37 (43° Oeffnungswinkel) genügt den Proben mit der Silberplatte und gewährt bei den Vergrösserungen: 72, 100, 125, 190 gut gezeichnete Bilder. Die Auflösungsgrenze liegt bei $0,7\mu$, 12 Streifen auf 10μ und löst es demgemäss die Querstreifen der *Synedra pulchella*.

Nr. 7, bei welchem die Brennweite = 5,3 mm, die numerische Apertur = 0,865 (Oeffnungswinkel = 120°) gefunden wurden, vergrössert 190-, 250-, 340- und 450 mal. Es giebt noch bis in die Nähe der äussersten Randzone ein gutes Resultat bei der Probe an der Silberplatte, zeigt darüber hinaus aber primäre Farben. Die Bilder histologischer Objecte erscheinen noch bestimmt gezeichnet. Bei centraler Beleuchtung liegt die Grenze der Auflösung bei $0,45\mu$, 22 Streifen auf 10μ , bei schiefem Lichteinfall bei $0,31\mu$, 30 Streifen auf 10μ , also im einen Falle bei *Nitzschia paradoxa*, im anderen bei *Nitzschia linearis* der natürlichen Probeobjecte.

Bei Nr. 8, Vergrösserungen = 240, 308, 430 und 600, ergab sich die Brennweite zu 3,9 mm, die numerische Apertur = 0,78 ($102,5^{\circ}$ Oeffnungswinkel). Gegen die Abbe'sche Probe verhält sich dasselbe gut, und giebt demnach scharf gezeichnete, klare Bilder. Bei centraler Beleuchtung ergibt die Auflösungsgrenze $0,49\mu$, 20 Streifen auf 10μ , bei schiefer $0,35\mu$, 28 Streifen auf 10μ , mittelst ersterer wird sonach *Nitzschia sigma*, mittelst letzterer *Nitzschia obtusa* gelöst.

System Nr. 9, dessen Vergrösserungen 370, 475, 600 und 890 betragen, hat eine Brennweite von 3 mm und eine numerische Apertur von 0,90 (128° Oeffnungswinkel). Die Probe an der Silberplatte besteht

es bis gegen die äusserste Randzone hin, Objecte, welche die mittleren Zonen in Anspruch nehmen, wie histologische Präparate etc., erscheinen daher scharf und bestimmt gezeichnet. Das Auflösungsvermögen ist ein der numerischen Apertur entsprechend hohes, und erreicht seine Grenze bei centraler Beleuchtung mit $0,44\mu$, 23 Streifen auf 10μ , demnach mit *Grammatophora oceanica*, bei excentrischer, wobei gemäss obigem Befunde etwas starke Färbung auftritt mit $0,30\mu$, 32 Streifen auf 10μ , also mit *Nitzschia vermicularis*.

Das Correctionssystem Nr. 10 a, mit einer Brennweite von 2,3 mm und einer numerischen Apertur von 0,91 (130° Öffnungswinkel), besteht die Abbe'sche Probe fast vollkommen und gewährt recht schöne Bilder. An Auflösungsvermögen kommt es der vorigen Nummer gleich, giebt aber das Detail klarer und farbenfreier. Seine Vergrösserungen betragen 410, 560, 700 und 1100.

Ein sehr schönes System liegt in dem 560-, 740-, 900- und 1300-fach vergrössernden Nr. 11 a für Immersion und Correction vor, dessen Brennweite bei einer numerischen Apertur von 1,0 (97° Öffnungswinkel in Wasser) 1,9 mm beträgt. Die Abbe'schen Proben werden vollkommen bestanden, und die Bilder der verschiedensten Objecte erscheinen sehr klar und bestimmt gezeichnet. Die Auflösung findet bei centraler Beleuchtung ihre Grenze an *Surirella Gemma* (Querstreifen), bei excentrischer an *Nitzschia curvula*, also bei je $0,41\mu$, 24 Streifen auf 10μ und $0,27\mu$, 36 Streifen auf 10μ .

240 J. Klönne und G. Müller, Berlin S., Prinzenstrasse Nr. 69, haben in neuester Zeit erst ihre optische Werkstätte errichtet. Dieselben führen eine grössere Anzahl von verschiedenen ausgestatteten Mikroskopformen, von denen hier namentlich fünf, von dem „grossen Mikroskope“ bis zu dem „Arbeitsmikroskope für Apotheker“, in Betracht kommen.

Das grösste Stativ Nr. 1 (Fig. 279) bildet ein solides Hufeisenstativ zum Umlegen mit grossem, mit Hartgummi belegtem, drehbarem Objectisch. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb, die feine durch über der Säule befindliche, mit getheilte Scheibe versehene Mikrometerschraube ausgeführt. Die centrirbaren Cylinderblendungen sind, wie bei dem Zeiss'schen grossen Stativ, an drehbaren Armen durch Zahn und Trieb senkrecht verstellbar und der Doppelspiegel ist sowohl senkrecht als an gegliederten Armen nach allen Seiten beweglich. Wird das Instrument mit den Objectivsystemen 4, 5, 6, 6 a, 7, 8, 9 (Immersion) und 10 (Immersion und Correction) und sechs Ocularen mit Condensor, Objectiv- und Ocularmikrometer und einigen anderen Zugaben (feuchte Kammer etc.) ausgestattet, so beträgt sein Preis 600 Mark und wenn statt der oben beschriebenen die gewöhnliche Blendungseinrichtung (Cylinderblenden und Schlitten) angebracht wird und die Theilung der Mikrometerschraube wegfällt, 560 Mark.

Etwas einfachere optische Ausstattung, vier Objectivsysteme 4, 5, 7

und 9 (Immersion) und vier Oculare erniedrigt den Preis beider Modificationen auf je 390 und 350 Mark.

Wird zum Wechseln der Objectivsysteme Bajonetverschluss gewünscht, so erhöht sich der Preis um 7 Mark.

Das grosse Stativ Nr. 2 — gleichfalls Hufeisenstativ — ruht auf einfacher geschweifter Säule, besitzt statt des drehbaren Tisches eine drehbare,

Fig. 279.



mit Gradtheilung versehene und zum Centriren eingerichtete Scheibe, an drehbarem Arme zum Herausschlagen in Schlitten laufende Cylinderblendungen und Mikrometerschraube ohne Kreistheilung. Werden demselben die Objectivsysteme 4, 5, 7 und 9 (Immersion) und vier Oculare nebst Objectiv- und Ocularmikrometer etc. beigegeben, so berechnet sich der Preis zu 280 Mark, mit den Objectivsystemen 1, 3 und 9 (Immersion) und drei Ocularen zu 240 Mark. Fällt die drehbare Scheibe für den Objecttisch weg und bleibt die Ausstattung sonst die gleiche, so kommt das Instrument auf je 250 und 200 Mark, ohne Einrichtung zum Umlegen, sowie zur groben Einstellung durch Zahn und Trieb mit Ocularmikrometer etc., den Objectivsystemen 4, 5, 6, 7 und 9 (Immersion) und vier Ocularen auf 230 Mark, mit den Objectivsystemen 1, 3 und 8 und zwei Ocularen auf 160 M. zu stehen.

Das mittlere Stativ, Fig. 280 (a. f. S.), bildet ein Hufeisenstativ zum Umlegen und mit Drehung um die optische Achse, besitzt grobe Einstellung durch Rohrschiebung, feine durch Mikrometerschraube mit Kreistheilung und Cylinderblenden in Schlitten. Werden demselben die Objectivsysteme 5, 7 und 9 (Immersion), drei Oculare, ein Ocularmikrometer etc. beigegeben, so stellt sich sein Preis auf 220 Mark, mit zwei Objectivsystemen 5, 7 und zwei Ocularen auf 160 Mark. Ohne Drehung des Objecttisches und Kreistheilung der Mikrometerschraube und mit Cylinderblenden an drehbarem Arme zum Hervorklappen vermindert sich der Preis um 40

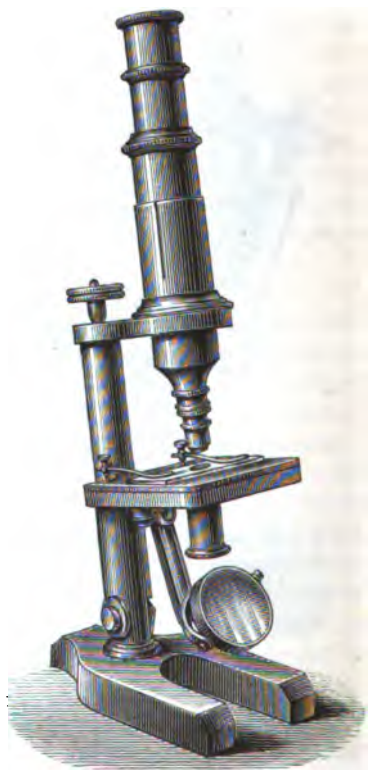
beziehentlich 25 Mark, und wenn auch die Einrichtung zum Umlegen wegfällt, um 50 resp. 45 Mark.

Das „Studentenmikroskop“ Stativ Nr. 4 mit eisernem Hufeisenfuss entspricht in der Einrichtung etwa den Stativen VII Zeiss, V Leitz, III Hartnack etc., und wird mit den Objectivsystemen 5 und 7, zwei Ocularen, einem Ocularmikrometer, feuchter Kammer etc. ausgestattet zu 100 Mark berechnet.

Das „Arbeitsmikroskop für Apotheker“, grössere Form, (Fig. 281) mit eisernem Hufeisenfuss, zum Umlegen eingerichtet und mit Cylinderblenden an hervorzuschlagendem Arme erhält die Objectivsysteme

Fig. 280.

Fig. 281.



1, 2, 3, zwei Oculare, ein Ocularmikrometer etc. und wird zu 100 Mark (oder entsprechend der gewünschten optischen Ausstattung) berechnet. Die kleinere Form, ein Stativ dem vorigen ähnlich, aber ohne Cylinderblenden und mit den Systemen 1 und 3 und zwei Ocularen ausgestattet kostet 70 Mark.

Oculare fertigen Kloenne und Müller sechs verschiedene Nummern mit der Aequivalentbrennweite von 70, 52, 38, 32, 23 und 16 Millimeter und berechnen die gewöhnlichen zu 6, die achromatischen zu 18 Mark. Objectivsysteme liefern dieselben, soweit sie hier in Betracht kommen, 14 Nummern mit folgenden in dem Preisverzeichnisse angegebenen Brennweiten und Oeffnungswinkeln zu den beigesetzten Preisen. Nr. 1: 15 mm, 24° 9 Mark, Nr. 2: 7,8 mm und 58° 15 Mark, Nr. 3: 3,8 mm 100° 24 Mark, Nr. 4: 24 mm 20° 14 Mark, Nr. 5: 16 mm 30° 14 Mark, Nr. 6: 7,9 mm 63° 22 Mark, Nr. 6a: 5,5 mm 100° 25 Mark, Nr. 7: 3,6 mm 130° 30 Mark, Nr. 8: 2,5 mm 150° 40 Mark, Nr. 9: 1,9 mm 155° 55 Mark, Nr. 9 Immersion und Nr. 9 Immersion und Correction: 1,9 mm 175° je 60 und 80 Mark, Nr. 10 Immersion und Nr. 10 Immersion und Correction: 1,5 mm 180° je 100 und 120 Mark.

Von diesen Systemen haben mir die Trockensysteme Nr. 4, 5, 7 und 9 und das Immersionssystem Nr. 9 mit Correction zur Prüfung vorgelegen.

Nr. 4 mit einer Brennweite von 22 mm und einer numerischen Apertur von 0,18 (21° Oeffnungswinkel) besteht die Abbe'sche Probe gut und die Zeichnung organischer Objecte erscheint klar und scharf.

Nr. 5 mit 14,4 mm Brennweite und 0,23 numerischer Apertur (27°) giebt zwar grüne und rothe Farbensäume bei schiefem Einfall des Lichtes, zeigt aber beim Uebergange von gerader zu schiefer Beleuchtung eine sehr grosse Einstellungsdifferenz und zeichnet demgemäss organische Objecte nicht ganz scharf und mit starken Farbensäumen.

Nr. 7 hat eine Brennweite von 3,9 mm und eine numerische Apertur von 0,86 ($118,5^{\circ}$). Die Abbe'sche Probe giebt schon nahe der Mitte blau und gelbe Farbensäume ohne scharfe Zeichnung; organische Objecte erscheinen matt gezeichnet und farbig.

Nr. 9 mit 2,2 mm Brennweite und 0,92 numerischer Apertur (134°) ist ein sehr gut gelungenes System, welches die Abbe'schen Proben fast vollkommen besteht und organische Objecte mit Klarheit und Schärfe zeichnet. Das Auflösungsvermögen ist der numerischen Apertur entsprechend verhältnissmässig hoch gesteigert und erscheinen die Streifungen der betreffenden Probeobjecte, *Nitzschia paradoxa* bei geradem, *Nitzschia tenuis* bei schiefem Lichte, schön und bestimmt.

Das Immersionssystem Nr. 9 hat eine Brennweite von 2 mm und eine numerische Apertur von 1,05 (104° in Wasser). Die Abbe'sche Probe zeigt schon nahe der Achse blau und gelbe Farbensäume, während äusserst schiefes Licht starke Nebel zeigt ohne die Möglichkeit scharfer Einstellung. Die Bilder organischer Objecte ermangeln der vollen Schärfe und erscheinen verschleiert. Das Auflösungsvermögen reicht bei centraler Beleuchtung bis zu *Nitzschia signoidea*, bei excentrischer bis *Nitzschia curvula*, deren Streifung schon schwer zu erkennen ist.

E. Leitz (früher Belthle, C. Kellner's Nachfolger) in Wetzlar. 241
Nach dem Tode des seiner Kunst und der Wissenschaft leider zu früh

entrissenen Gründers des Wetzlarer optischen Institutes, C. Kellner, dessen Mikroskope sowohl in Deutschland als auch in England, wenn auch nur vereinzelte, doch wohl verdiente Anerkennung gefunden hatten, leitete Belthle die Anstalt einige Zeit für Rechnung von Kellner's Wittwe. Die damals aus derselben hervorgegangenen Mikroskope standen nach dem Berichte von Professor Dr. Welker (Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte etc, Giessen 1856) denen Kellner's in optischer Beziehung ganz nahe und übertrafen dieselben in der mechanischen Arbeit. Später übernahm Belthle (kurze Zeit in Verbindung mit H. Rexroth) das Institut auf eigene Rechnung und lieferte Instrumente,

Fig. 282.



die den alten Ruf der Werkstätte bewährten, indem er es sich angelegen sein liess, die Gesamtleistungsfähigkeit seiner Objectivsysteme möglichst zu erhöhen. Nach dem Tode Belthle's übernahm der jetzige Inhaber — eine strebsame junge Kraft — die Leitung der Anstalt und führte sie Schritt um Schritt höherer Leistungsfähigkeit entgegen, so dass der frühere Rang unter den Schwesteranstalten erhalten blieb und ihre neuesten Erzeugnisse, sowohl Stative wie Objectivsystem u. s. w., mit zu den besseren gerechnet werden dürfen.

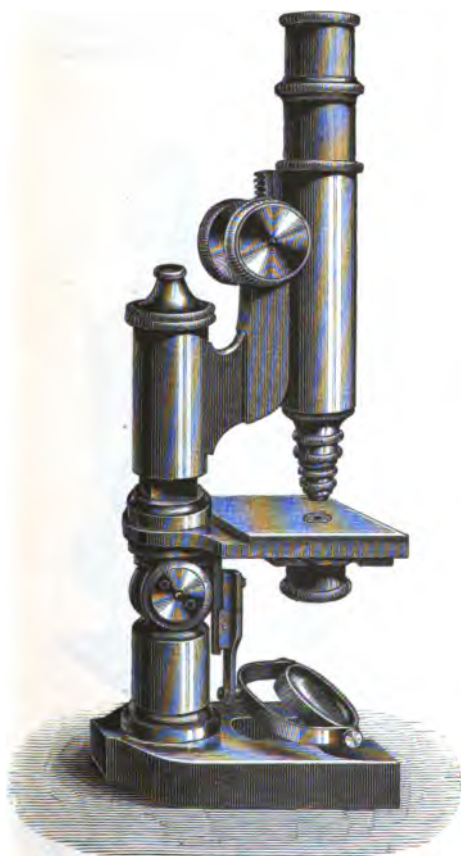
Leitz baut vier Gruppen von Mikroskopen, grosse, mittlere, kleine und kleinste mit acht verschiedenen Stativen, welche auch für sich abgebar sind.

Das grosse Stativ Nr. 1 (Fig. 282) ruht auf schwerem hufeisenförmigen Fusse, von welchem sich die breite dreiflügelige, an der Innenseite zur Aufnahme des Spiegelträgers ausgeschnittene Säule erhebt, die den im Gelenk zum Ueberlegen beweglichen Körper trägt. Der Objecttisch ist um die optische Achse drehbar, hinreichend

gross, 90 mm lang und fast ebenso breit, vollkommen fest und solid, mit Hartgummiplatte belegt. Die grobe Einstellung wird ähnlich wie bei dem Hartnack'schen grossen Stativ durch Zahn und Trieb, die feine durch Mikrometerschraube über der Tubussäule bewerkstelligt. Als Lichtquelle dient der mittelst einer auf dem Spiegelträger gleitenden Hülse sowohl in senkrechter Richtung als auch ausserhalb der optischen Achse bewegliche Doppelspiegel. Die Blendungsvorrichtung besteht aus Cylinderblenden von drei verschiedenen Weiten, welche mittelst Schlittens gewechselt, gehoben und gesenkt werden können.

Dieses Stativ ist sehr zweckmässig, dauerhaft und schön gebaut. Es besitzt einen festen Stand und ist in seinen Dimensionen höchst bequem

Fig. 283.



zum Arbeiten, indem die Höhe des Objecttisches von dem Arbeitstische nur 115 mm, die Höhe des ganzen Instrumentes, je nach der Rohrlänge, 310 bis 330 mm beträgt. Die Drehung des Tisches ist stetig und correct. Die grobe sowohl als feine Einstellung sind sehr sorgfältig gearbeitet und lassen nichts zu wünschen übrig. Der Preis stellt sich auf 240 Mark.

Mit den Trockensystemen 1, 4, 5, 6, 7, 8, den Immersionssystemen 9, 10, 11, 12, den orthoskopischen Ocularen I bis IV, einem Ocularglasmikrometer, Zeichenprisma und Polarisationsapparat ausgerüstet, kostet dieses Mikroskop 1000 Mark, mit den Trockensystemen 1, 4, 7, dem Immersionssystem 9 und den gewöhnlichen Ocularen 0, II, III, V, Ocularglasmikrometer und Zeichenapparat 440 Mark, mit den Objectivsystemen 2, 5, 7, 8 und den Ocularen 0, II und V 400 Mrk. (Nr. 1, 2 und 3 der Preisliste).

Das Stativ Ia (Fig. 283) besitzt einen Rundsäulenträger mit Gelenk zum Ueberlegen und etwas kleinere Ausmaasse als das vorhergehende, welchem es im Uebrigen ähnlich ist. Der Preis desselben beträgt 160 Mark, mit den Trockensystemen 3, 5, 7, dem Immersionssysteme 9, den gewöhnlichen Ocularen 0, III, V und einem Ocularmikro-

hergehende, welchem es im Uebrigen ähnlich ist. Der Preis desselben beträgt 160 Mark, mit den Trockensystemen 3, 5, 7, dem Immersionssysteme 9, den gewöhnlichen Ocularen 0, III, V und einem Ocularmikro-

meter ausgerüstet 340 Mark, mit gleicher Ausrüstung und festem Objecttische 320 Mark (Nr. 4 und 5 der Preisliste).

Das Stativ Nr. II (Fig. 284) ist nicht zum Ueberlegen eingerichtet, aber um die optische Achse drehbar. Die grobe Einstellung geschieht durch Schiebung des Rohres in der an horizontalem Arme befindlichen Hülse, die feine mittelst Mikrometerschraube über der Säule. Die Beleuchtungsvorrichtung besteht aus dem seitlich beweglichen Spiegel und Schlittencylinderblendung. Dieses zu einem Arbeitsmikroskop recht brauchbare Stativ kostet für sich 120 Mark, mit Beigabe der Trockensysteme 1, 4, 7, des Immersionssystemes 9, der Oculare 0, III, V und eines Ocularmikrometers 240 Mark, der Trockensysteme 3, 6, 8, Oculare 0, III, V und Ocularmikrometer 190 Mark, der Systeme 3, 7 und der Oculare I, III, V 150 Mark (Nr. 6 bis 8 der Preisliste).

Das mittlere Stativ tritt in zwei Formen, III a und III b (Fig. 285 und Fig. 286), auf, von denen die erstere bei etwas kleineren Dimensio-

Fig. 284.

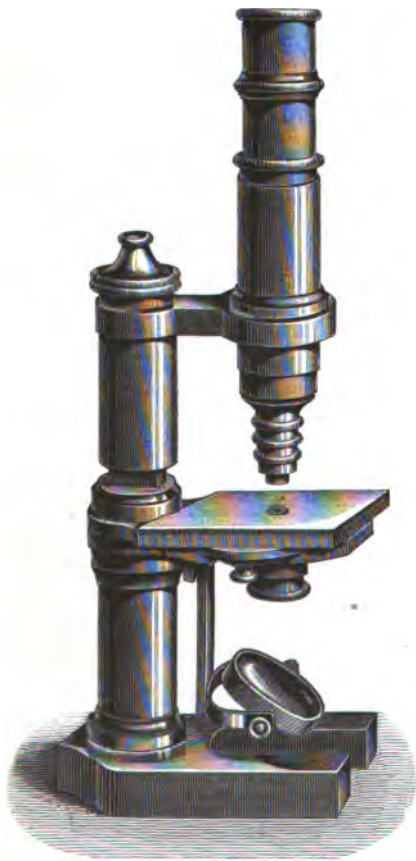
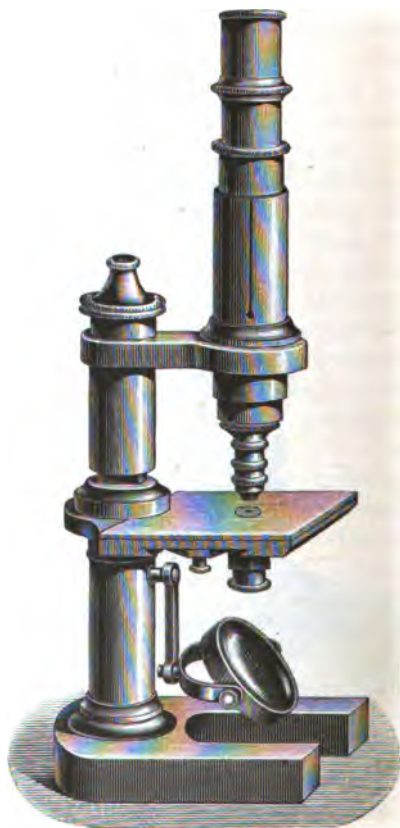


Fig. 285.



nen und mangelnder Drehung um die optische Achse dem Nr. II gleicht, die andere sich durch geschweiften Träger und Anbringung der Mikrometerschraube unter der Tubussäule unterscheidet. Für beide beträgt der Preis ohne optischen Apparat 60 Mark, mit den Trockensystemen 3, 5, 7, dem Immersionssystem 9 und den Ocularen I, III 200 Mark, mit den gleichen Ocularen und den Systemen 3, 6, 8 oder 3, 5, 7 oder 3, 7 je 150, 135, 110 Mark (Nr. 9 bis 12 der Preisliste).

Das für Laboratoriumszwecke noch ausreichende kleine Modell Nr. IV (Fig. 287) mit noch räumlichem festem Tische, seitlich verstellbarem Spiegel und Blendungsscheibe, welche auf Wunsch und gegen 6 Mark Preiserhöhung, auch durch einfache Cylinderblende zum Abnehmen ersetzt

Fig. 286.

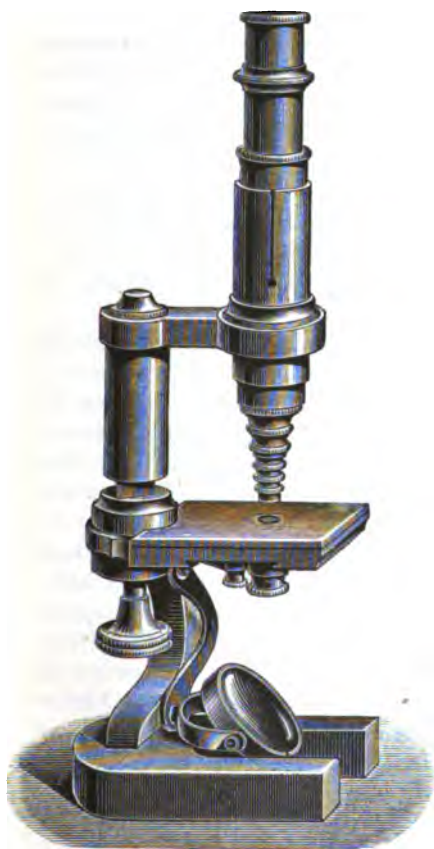
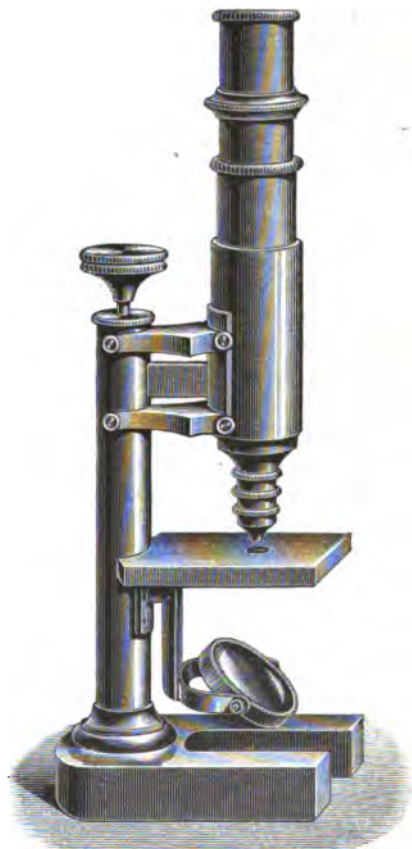


Fig. 287.



wird, hat die grobe Einstellung durch Verschiebung die feine durch die bekannte Parallelogrammbewegung über der Tubussäule und kostet

40 Mark, mit den Systemen 3, 5, 7 und den Ocularen I, III 105 Mark, mit denselben Ocularen und den Systemen 3 und 7 84 Mark (Nr. 13 und 14 der Preisliste).

Leitz liefert siebzehn verschiedene Objectivsysteme und zwar neun Trockensysteme mit den Nummern 1 bis 9, fünf Wasserimmersionssysteme mit den Nummern 8 bis 12 und drei Systeme für homogene Immersionen $\frac{1}{12}''$, $\frac{1}{16}''$ und $\frac{1}{20}''$. Von ihnen sind die mittleren und starken für eine Deckglasdicke von 0,16 bis 0,18 mm justirt, das Trockensystem 9, sowie die Immersionssysteme 9 bis 12 mit Correctionsvorrichtung nach Zeiss'schem Principe und Bezifferung für die Deckglasdicken 0,1 bis 0,2 mm versehen. Eine Anzahl Nummern hatte ich Gelegenheit während der letzten Jahre in mehreren Exemplaren durchzuprüfen, und ergaben dieselben in Bezug auf die Zeichnung nahezu gleiche Resultate, während die numerische Apertur etwas wechselte.

Das System Nr. 1 hat eine Brennweite von 32,8 mm und eine numerische Apertur von 0,11 (13° Öffnungsw.). Die Abbe'sche Probe zeigt gute Correction und die Bilder, welche man mittelst dieses Objectivsystemes erhält, sind scharf begrenzt und klar. (Die Vergrößerungen betragen 30, 34, 40, 50, 60 und 80.)

System 2 mit einer Brennweite von 24,7 mm und einer numerischen Apertur von 0,15 (16° Öffnungswinkel) gewährt Vergrößerungen von 55, 62, 75, 90, 100 und 130. Es besteht die Abbe'sche Probe vollkommen und die Zeichnung der entsprechenden Objecte ist tadellos.

Das System 3, von dem ich eine Anzahl aus früherer und neuerer Zeit zu prüfen Gelegenheit hatte, steht in Bezug auf Abbe's Probe und die Schönheit der Bilder dem vorangehenden gleich. Die Brennweite beträgt 15,5 mm, die numerische Apertur 0,26 (30° Öffnungswinkel) und die Vergrößerungen sind = 80, 90, 105, 120, 150 und 190. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt bei etwa $1,0 \mu$, 10 Streifen auf 10μ — *Nitzschia Brebissonii* und *scalaris*.

System 4, welches bei einer Brennweite von 10,6 mm und einer numerischen Apertur von 0,45 (54° Öffnungswinkel) 110-, 120-, 145-, 170-, 200- und 260 mal vergrößert, ist gleichfalls ein schönes Glas. Dasselbe genügt der Abbe'schen Probe in neueren Exemplaren befriedigend, und gewährt scharf und bestimmt gezeichnete, nur ganz wenig gelb gefärbte Bilder. Das auflösende Vermögen reicht bei geradem Lichte bis $0,7 \mu$, 14 Streifen auf 10μ — *Stauroneis Phönicea* —, bei schief einfallendem bis $0,6 \mu$ 16 Streifen auf 10μ — *Nitzschia hungarica*, *Grammatophora marina* —.

Nr. 5 hat eine Brennweite von 6,7 mm, eine numerische Apertur von 0,60 (75° Öffnungswinkel) und vergrößert 180-, 200-, 250-, 300-, 340- und 420 mal. Die Probe an der Silberplatte etc. besteht es gut und die Bilder histologischer Objecte lassen nichts zu wünschen übrig. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Beleuchtung $0,58 \mu$, 17 Streifen

auf 10μ — *Grammatophora marina* —, bei excentrischer $0,45\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —.

System 6, dessen Brennweite $5,2\text{ mm}$, dessen numerische Apertur $0,73$ (94° Oeffnungswinkel) beträgt, vergrössert 250-, 280-, 330-, 380-, 450- und 600 mal. Die Abbe'sche Probe besteht das Objectiv vollkommen, und die Bilder organischer Objecte erscheinen scharf und klar gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens erstreckt sich bei geradem Lichte bis $0,51\mu$, 20 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, bei schiefem bis $0,37\mu$, 27 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* —.

Von System 7 haben mir mehrere Exemplare vorgelegen, deren Brennweite — mit Ausnahme eines älteren von etwa $4,6\text{ mm}$ — zwischen $4,2$ bis $4,1\text{ mm}$ schwankte, während die numerische Apertur sich zwischen $0,79$ bis $0,86$ (104 bis $118,5^\circ$ Oeffnungswinkel) bewegte, und die Vergrösserungen im Mittel zu 340, 375, 450, 530, 620 und 800 angenommen werden können. Die Abbe'sche Probe bestanden dieselben bis auf eines, welches in der äussersten Randzone primäre Farben und Verschleierung des Bildes erkennen liess, gut und erschienen die Bilder histologischer Objecte klar und scharf. Das Auflösungsvermögen, welches für ein Exemplar bei $0,48\mu$, 21 Streifen auf 10μ für gerades, bei $0,34\mu$, 28 bis 29 Streifen auf 10μ für schiefes Licht seine Grenze fand, erreichte bei anderen je $0,46\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* — und $0,32\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

Auch von System 8 habe ich nebst mir früher bekannt gewordenen zwei neueste Exemplare zur Hand gehabt. Beide waren an Brennweite und numerischer Apertur einander nahezu gleich, und betrug erstere $2,7\text{ mm}$, letztere $0,87$ bis $0,88$ (122 bis 124° Oeffnungswinkel). Vergrösserungen = 520, 600, 660, 800, 940 und 1250. Die Probe an der Silberplatte ergab bis zur äussersten Randzone, in der schwache Verschleierung eintrat, gute Resultate, und wurden demgemäss organische Objecte noch bestimmt gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,45\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefes bei $0,31\mu$, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia vermicularis* —.

Das System 9, welches sowohl mit als ohne Correction geliefert wird, hat eine Brennweite von $2,3\text{ mm}$, eine numerische Apertur von $0,92$ (135° Oeffnungswinkel) und vergrössert 630-, 690-, 820-, 950-, 1140- und 1500 mal. Die Abbe'sche Probe liefert befriedigende Resultate, und die Zeichnung histologischer Objecte lässt an Klarheit und Schärfe nichts zu wünschen. Die Grenze der Auflösung wird für centrale Beleuchtung bei $0,43\mu$, 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefe bei $0,30\mu$, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* — erreicht.

Die Immersionslinse Nr. 10 besitzt bei einer Brennweite von $2,2\text{ mm}$ eine numerische Apertur von $1,10$ (111° Oeffnungswinkel in

Wasser) und Vergrösserungen, welche denen der vorhergehenden etwa gleichkommen. In Bezug auf die *Abbe'schen* Proben, sowie die Zeichnung der Bilder leistet dieses System Vorzügliches. Die Auflösungsgrenze liegt für gerades Licht bei $0,38\mu$, 26 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* und *Grammatophora macilenta* —, für schiefes bei $0,25$, 40 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* —.

System Nr. 11 für Immersion besitzt eine Brennweite von 1,8 mm und eine numerische Apertur von 1,05 (104° Oeffnungswinkel in Wasser). Die Vergrösserungen betragen 800, 900, 1050, 1250, 1450 und 1900. In Bezug auf die Verbesserung der Aberrationen etc. steht es den vorhergehenden gleich. Das Auflösungsvermögen ist wenig geringer, was sich nur bei excentrischer Beleuchtung geltend macht, indem nur etwas gröber gezeichnete Exemplare des *Amphipleura pellucida* bei weissem Lichte noch eben gelöst werden.

Das Immersionssystem Nr. 12, welches mir in einem Exemplare aus neuester Zeit vorgelegen hat, besitzt eine Brennweite von 1,05 mm und eine numerische Apertur von 1,15 (119° in Wasser), während die Vergrösserungen 1000, 1400, 2000, 2400, 2600 und 3000 betragen. Die *Abbe'sche* Probe ergab in der äussersten Randzone gelblich grüne und bläuliche Farbensäume, und die Bilder organischer Objecte erschienen bestimmt gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Beleuchtung noch eben *Nitzschia obtusa*, bei excentrischer *Amphipleura pellucida*.

Von den drei Nummern der Systeme für homogene Immersion habe ich $\frac{1}{12}$ " und $\frac{1}{16}$ " näher geprüft.

Ersteres hat eine Brennweite von 1,8 mm und eine numerische Apertur von 1,18 (114° in Oel), und gewährt etwa die gleichen Vergrösserungen wie die Wasserimmersion Nr. 10; letzteres vergrössert, bei einer Brennweite von 1,45 mm und 1,20 numerischer Apertur, etwa 900-, 1200-, 1500-, 1700-, 2000- und 2400 mal. Beide Systeme bestehen die *Abbe'schen* Proben in vollem Maasse, und liefern ausgezeichnet schöne Bilder organischer Objecte. Das Auflösungsvermögen ist für dieselben fast gleich, und erreicht bei geradem Lichte *Nitzschia obtusa*, bei schiefem zeigt es die feiner gestreifte kleine *Amphipleura pellucida* (42 Streifen auf 10μ) noch sehr schön.

- 242 **Sigmund Merz**, unter der Firma: G. und S. Merz in München, vormals Utzschneider und Fraunhofer. Aus dieser Werkstätte, deren Objectiv Schacht schon 1854 (Beiträge zur Anatomie und Physiologie) rühmend erwähnte, habe ich schon 1866 sämtliche Objectivsysteme und Stative kennen gelernt und konnte in Folge dessen mein Urtheil dahin abgeben, dass deren Erzeugnisse neben das Beste jener Zeit gestellt werden durften. Obwohl das Institut im Grossen andere Richtungen verfolgt, als die Verfertigung von Mikroskopen, so ist der jetzige Inhaber desselben in seinem Bestreben auch nach dieser Seite hin Gediegenes zu liefern doch nicht zurückgeblieben.

Die Stative haben ihre schon in der ersten Auflage, und zwar in einem Nachtrage beschriebene Gestalt bewahrt, und bilden drei Formen, das grosse Nr. 1, mittlere Nr. 2, und kleine Stativ Nr. 3.

Das grosse Hufeisenstativ (Fig. 288 I) wird in neuerer Zeit zum Ueberlegen eingerichtet. Es besitzt einen ausreichend grossen, festen, um die

Fig. 288.

I.

II.



optische Achse drehbaren Objecttisch, und grobe Einstellung durch Zahn und Trieb an der dreikantigen Stahlsäule, welche auch die feine Hebung und Senkung vermittelt der unter der Tischebene angebrachten Mikrometerschraube vermittelt. Der Doppelspiegel ist in senkrechter und horizontaler Richtung verstellbar, und die Blendungsvorrichtung besteht aus einer an einem Stäbchen höher und niedriger zu stellenden Drehscheibe. Wird dasselbe mit den Trockensystemen $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{6}$ ", $\frac{1}{12}$ ", den Immersionssystemen $\frac{1}{18}$ " und $\frac{1}{24}$ ", sechs Ocularen, einem Schraubmikrometer, Polarisationsapparat, Zeichenprisma und Compressorium ausgerüstet (Nr. 1 der Preisliste), so beträgt der Preis 720 Mark.

Das gleiche Stativ mit den Objectivsystemen $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{12}$ " und $\frac{1}{18}$ ", vier Ocularen und einem Ocularmikrometer (Nr. 2 der Preisliste) kostet 330 Mark.

Das mittlere Hufeisenstativ (Fig. 288 II) besitzt einen feststehenden, vierseitigen Objecttisch und eine zum Arbeiten bequeme Höhe. Die grobe

Einstellung geschieht mittelst Schiebung des Rohres, die feine durch Mikrometerbewegung wie bei Nr. 1. Der Doppelspiegel ist nur seitlich verstellbar, die Blendungsscheibe nicht zum Verschieben. Mit den Objectivsystemen $\frac{1}{3}$ " und $\frac{1}{12}$ ", und vier Ocularen (Nr. 3 der Preisliste) stellt sich der Preis auf 150 Mark. Wird das Stativ etwas einfacher und dazu die genannten Systeme mit drei Ocularen geliefert (Nr. 4), 120 Mark.

Stativ Nr. II wird auch in etwas abgeänderter Form (Modell Donders) mit grober Einstellung durch Zahn und Trieb und Einrichtung zum Gebrauche als einfaches Präparirmikroskop geliefert (Nr. 8 der Preisliste), und dann mit den Objectivsystemen $\frac{1}{3}$ " und $\frac{1}{12}$ ", vier Ocularen und einem Ocularmikrometer versehen zu 180 berechnet.

Das kleine Stativ erscheint für wissenschaftliche Zwecke nicht mehr ausreichend, und kann daher unberücksichtigt bleiben.

Die Objectivsysteme bilden drei Gruppen: die 1", $\frac{1}{2}$ " und $\frac{1}{3}$ " zu 24 Mark, dann $\frac{1}{6}$ ", $\frac{1}{9}$ " und $\frac{1}{12}$ " zu 48 Mark sind Trockensysteme, $\frac{1}{15}$ " und $\frac{1}{18}$ " zu 72 Mark können als Trocken- oder als Immersionsysteme geliefert werden, während $\frac{1}{31}$ " und $\frac{1}{24}$ " nur für Immersion bestimmt sind. Verbesserungseinrichtung erhöht den Preis um je 15 Mark.

Die Oculare 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3 und 4, deren Vergrößerungsverhältniss ihren respectiven Nummern entspricht, werden mit 10 Mark pro Stück berechnet.

Von den Objectivsystemen habe ich aus neuerer Zeit die auf den Hülsen mit den Aequivalentbrennweiten $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{9}$ ", $\frac{1}{12}$ ", $\frac{1}{18}$ " und $\frac{1}{24}$ " bezeichneten näher kennen gelernt, und mich davon überzeugt, dass der ihnen von Professor Merkel gemachte Vorwurf des Verwitterns der Linsen nicht, oder doch jetzt nicht mehr begründet ist.

$\frac{1}{3}$ " hat eine Brennweite von 13,5 mm, eine numerische Apertur von 0,20 (23° Öffnungswinkel) und Vergrößerungen von 60, 90 und 120 (Oculare 1, 2 und 3). Die Abbe'sche Probe besteht es gut, und zeichnet histologische Objecte scharf und klar ohne merkliche Färbung.

$\frac{1}{9}$ " ist in der That ein $\frac{1}{6}$ ", da seine Brennweite 4,6 mm beträgt, bei einer numerischen Apertur von 0,92 (134° Öffnungswinkel) und Vergrößerungen von 180, 270 und 360. Die Abbe'sche Probe ergibt bis zur äussersten Zone gutes Resultat, während in dieser verwaschene Säume und primäre Farben auftreten. Das Bild organischer Objecte erscheint gut gezeichnet, und der freie Objectabstand ist noch ausreichend gross. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,43\mu$, 23 Streifen auf 10μ — Querstreifen von *Surirella Gemma* —, für excentrische bei $0,30\mu$, 33 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* —.

Von dem $\frac{1}{12}$ " haben mir zwei Exemplare von etwa gleicher Brennweite 3,3 mm vorgelegen, das eine mit 0,92, das andere mit 0,95 numerischer Apertur (134 und 144° Öffnungswinkel). Ersteres genügte der Abbe'schen Probe bis zur äussersten Randzone, letzteres gab in dieser

kein scharfes Bild und primäre Farben. Die Bilder histologischer Objecte waren dort scharf und klar, hier etwas blasser und milchig gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreichte bei dem einen Systeme die bei dem vorigen angegebenen Maasse, und stieg bei dem andern auf je $0,42 \mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* — und $0,29 \mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea*.

Das Immersionssystem $\frac{1}{18}''$ besitzt eine Brennweite von 2,4 mm, eine numerische Apertur von 0,90 (89° Oeffnungswinkel in Wasser) und vergrössert 360-, 540-, 720- und 1440 mal. Die Abbe'sche Probe gewährt befriedigende Resultate, und erscheinen demgemäss histologische Objecte vortrefflich gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem wie schiefe Licht e etwa die gleichen Maasse wie das $\frac{1}{12}''$.

Das Immersionssystem $\frac{1}{14}''$ mit 1,2 mm Brennweite, 0,99 numerischer Apertur und 480-, 720-, 960-, 1440- und 1920-facher Vergrösserung verhält sich der Abbe'schen Probe und den organischen Objecten gegenüber gleich dem vorigen. Die Auflösungsgrenze ist dagegen etwas weiter hinausgerückt, und liegt für centrale Beleuchtung bei $0,41 \mu$ —, 25 Streifen auf 10μ , für excentrische bei $0,27 \mu$, 36 Streifen auf 10μ — *Nitzschia curvula*.

S. Plössl & Comp., IV. Goldegg-Gasse 6 in Wien. Der verstorbene 243 Plössl war der eigentliche Nestor der deutschen Mikroskopenverfertiger, denn obgleich Fraunhofer der erste war, welcher dem von Amici und Chevalier eingeschlagenen Wege folgte, so hat derselbe doch dem Mikroskope verhältnissmässig wenig Aufmerksamkeit geschenkt und seine Thätigkeit vorzugsweise dem Bau des Fernrohres zugewendet. Seine ersten Versuche zur Construction achromatischer Objective, die er gleichsam mit einem Geheimnisse umhüllte, machte Plössl unter dem Beirathe des in dem Gebiete der Naturwissenschaft hochverdienten Professors Jaquin. Dieselben waren nicht ohne den gewünschten Erfolg geblieben, und so hat Plössl schon seit 1830 Mikroskope geliefert, welche mit den damaligen französischen und Amici'schen den Vergleich aushalten konnten. Auch später noch hielt derselbe mit jenen Optikern Schritt, so dass H. von Mohl 1846 die Plössl'schen Mikroskope neben die von Amici stellen konnte. Selbst bis in sein hohes Alter hat Plössl nicht aufgehört, dem Fortschritte zu huldigen, wie namentlich auch der Umstand beweist, dass er 1852 neben Nobert zuerst in Deutschland die Verbesserungseinrichtung für sein stärkstes System einführte und sein grosses Stativ den neueren Anforderungen entsprechend umgestaltete.

In neuerer Zeit hat sich die von dem derzeitigen Inhaber, dem k. k. Hofoptiker-Mechaniker Wagner geleitete Werkstätte auch in dem Baue der Stative den Bedürfnissen der Mikroskopiker mehr anbequemt, so dass die aus ihr hervorgehenden Instrumente, sowohl was diese als die vollständige optische Ausstattung betrifft, allen Anforderungen Genüge zu leisten im Stande sind.

Plössl & Comp. construiren gegenwärtig zwei Serien elegant und solide gearbeiteter Stative, welche in drei Gruppen: grosse, mittlere und kleine zerfallen und von denen die eine sich dem allgemeinen continentalen Typus der Hufeisenstative anschliesst, während die andere die Plössl'schen Formen des Baues bewahrt.

Das grosse Hufeisenstativ (Fig. 289) ist zum Ueberlegen construirt. Es besitzt einen vierseitigen, soliden, grossen, mit schwarzem Glas be-

Fig. 289.

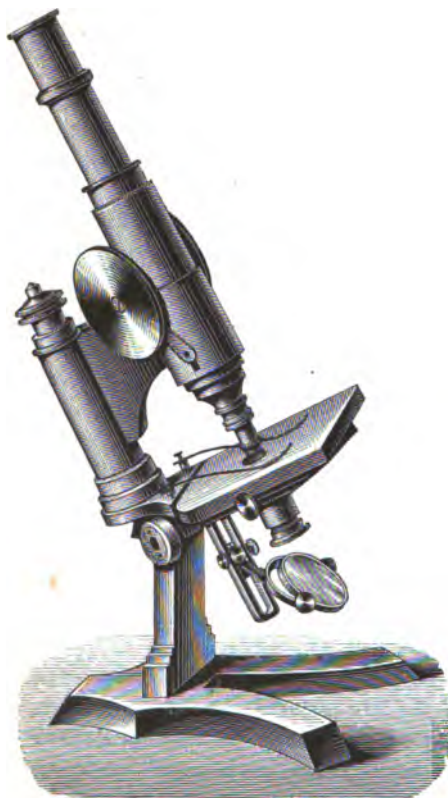
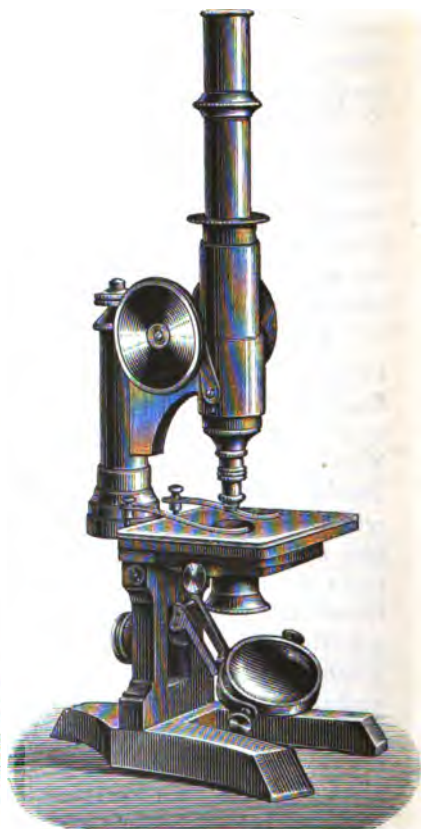


Fig. 290.



legen, um die optische Achse drehbaren Tisch, senkrecht und wagerecht verstellbaren Doppelspiegel und Cylinderblendenapparat mit Schlittenführung. Die grobe Einstellung geschieht mittelst der S. 290 beschriebenen Hebelvorrichtung, die feine ist einer Mikrometerschraube mit über der Säule liegendem Knopfe übertragen. Erhält dasselbe die Trockensysteme *B, D, F*, die Immersionssysteme *I* (ohne), *L* (mit Correction) fünf orthoskopische, ein aplanatisches und ein Vollglasocular, Polarisations- und

Zeichenapparat, Ocular- und Object-Glasmikrometer, grosse Beleuchtungslinse auf Stativ, Lupe, Compressorium, Präparirbesteck etc. beigegeben — Nr. 1 der Preisliste —, so stellt sich der Preis auf 1200 Mark (600 G. ö. W.).

Das mittlere Stativ (Fig. 290) weicht von dem vorigen bei etwas kleineren Ausmassen im Wesentlichen nicht viel ab. Mit den Trockensystemen *A, C, F*, dem Immersionssystem *J*, fünf orthoskopischen Ocularen, zwei Glasmikrometern, Beleuchtungslinse auf Stativ, Lupe und Präparirbesteck ausgerüstet — Nr. 2 der Preisliste — kostet dasselbe 700 Mark (350 G. ö. W.).

Das feste mittlere Stativ, von gleicher Grösse und ähnlichem Bau wie das vorige und mit Drehung des Tisches um die optische Axe entbehrt der Hebelvorrichtung zur groben Einstellung und hat dafür Schiebung des Rohres in ausgefütterter Hülse. Mit gleicher Ausrüstung wie Nr. 2 beträgt dessen Preis 640 Mark (320 G. ö. W.).

Fig. 291.



Fig. 292.



Das *k* eine Hufeisenstativ (Fig. 291) ist dem Stative VIII von Hartnack nachgebildet, hat aber wie die vorhergehenden den Tisch mit ge-

schwärzter Glasplatte belegt. Werden demselben die Trockensysteme *B*, *E*, das Immersionssystem *J* und die Oculare I, III und V beigegeben — Nr. 5 der Preisliste —, so kostet es 390 Mark (195 G. ö. W.), mit den drei Trockensystemen *B*, *D* und *F* und vier Ocularen 350 Mark (175 G. ö. W.). Die Einrichtung zum Ueberlegen erhöht den Preis um 30 Mark (15 G. ö. W.).

Das kleine Stativ (Fig. 292, a. v. S.) entspricht im Wesentlichen dem Stativ III von Hartnack und kostet mit den Objectivsystemen *B* und *E* und den Ocularen I, III und V — Nr. 7 der Preisliste — 220 Mark (110 G. ö. W.) mit dem System *E* und den Ocularen II und IV 180 Mark (90 G. ö. W.).

Ausser den genannten werden auch noch die älteren Plössl'schen Stative gefertigt und mit entsprechender Ausstattung das grosse zu 750 Mark (375 G. ö. W.), das mittlere zu 550 Mark (275 G. ö. W.), das kleine zu 360 Mark (180 G. ö. W.) berechnet.

Plössl und Comp. fertigen 12 Oculare: fünf gewöhnliche zu 12 Mark (6 G. ö. W.) und fünf orthoskopische zu 16 Mark (8 G. ö. W.) mit den Nummern I bis V, und den Vergrößerungsverhältnissen 1:1,2 : 1,5 : 2 : 2,5 ein Vollglasocular zu 16 Mark (8 G. ö. W.) etwa dreimal so stark wie Nr. I, und ein aplanatisches Ocular zu 24 Mark (12 G. ö. W.) etwa halb so stark wie Nr. I.

Die Objectivsysteme, welche in Blechbüchsen verschlossen abgegeben werden, und von denen mir sechs verschiedene vorgelegen haben, bilden 14 Nummern, darunter acht Trockensysteme und sechs Wasser-Immersionssysteme. Die stärkeren ohne Correctionsvorrichtung werden für 0,15 bis 0,20 Deckglasdicke berichtigt, und die Preise der einzelnen Nummern sind folgende: *A* (26 mm) 24 Mark (12 G), *B* (13 mm) 28 Mark (14 G), *C* (9 mm) 32 Mark (16 G), *D* (7 mm) 40 Mark (20 G), *E* (4,5 mm) 50 Mark (25 G), *F* (3 mm) 64 Mark (32 G), *G* (2,25 mm) 90 Mark (45 G), *H* mit Correction (1,8 mm) 150 Mark (75 G), *I* Immersion ohne Correction (1,8 mm) 100 Mark (50 G), *J* Immersion mit Correction (1,8 mm) 150 Mark (75 G), *K* Immersion mit Correction (1,5 mm) 210 Mark (105 G), *L* Immersion mit Correction (1,1 mm) 250 Mark (125 G), *M* Immersion mit Correction (0,75 mm) 300 Mark (150 G), *N* Immersion mit Correction (0,5 mm) 400 Mark (200 G.).

System *A* hat eine Brennweite von 31,3 mm, eine numerische Apertur von 0,12 mm (14° Oeffnungswinkel), und vergrößert 20-, 24-, 30-, 40- und 50 mal. Es besteht die Abbe'sche Probe gut und zeichnet die entsprechenden Objecte scharf.

C mit einer Brennweite von 11 mm, einer numerischen Apertur von 0,35 (42° Oeffnungswinkel) und Vergrößerungen von 80, 96, 120, 160 und 200 genügt der Abbe'schen Probe vollkommen, und zeichnet histologische Objecte klar und bestimmt. Das Auflösungsvermögen erreicht $0,83 \mu$ 12 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* —.

Das System *E* besitzt eine Brennweite von 4,5 mm, eine numerische Apertur von 0,82 (110° Oeffnungswinkel), und vergrössert 200-, 240-, 300-, 400- und 500 mal. Die Abbe'sche Probe besteht dasselbe gut und erscheint demgemäss das Bild histologischer Objecte untadelhaft gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Spiegelstellung $0,47\mu$, 21 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, bei excentrischer $0,33\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

System *G* besitzt eine Brennweite von 2,5 mm, eine numerische Apertur von 0,90 (128° Oeffnungswinkel) und es betragen dessen Vergrösserungen: 400, 480, 600, 800 und 1000. Die Abbe'sche Probe lässt in der äussersten Randzone etwas verwaschene Säume primärer Farben erkennen, die Zeichnung organischer Objecte aber ist, wenn auch etwas matt, noch ziemlich klar und scharf. Die Grenze des Auflösungsvermögens wird für gerades Licht bei $0,44\mu$, 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefes Licht bei $0,30\mu$, 33 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* — erreicht.

Das Immersionssystem *I* ohne Correction hat bei einer Brennweite von 1,85 mm eine numerische Apertur von 1,09 (110° Oeffnungswinkel in Wasser), und vergrössert 500-, 600-, 750-, 1000- und 1250 mal. Die Abbe'sche Probe ergiebt gute Resultate und die Bilder histologischer Objecte sind völlig tadellos. Das Auflösungsvermögen erreicht für centrale Beleuchtung $0,38\mu$, 26 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* und *Grammatophora macilenta* —, für excentrische $0,25\mu$ 40 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* —.

System *M*, Immersion mit Correction, mit einer Brennweite von 1 mm und einer numerischen Apertur von 0,98 (95° Oeffnungswinkel in Wasser) vergrössert 1000-, 1200-, 1500-, 2000- und 2500 mal. In Bezug auf die Abbe'sche Probe, wie auf die Zeichnungsschärfe steht es dem vorangehenden gleich, bleibt aber an Auflösungskraft zurück, da es bei gerader Beleuchtung nur $0,42\mu$, 24 Streifen auf 10μ — *Suriella Gemma* Querstreifen —, bei schiefer nur $0,28\mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea* — erreicht.

Carl Reichert in Wien (VIII Josefstadt, Laudongasse Nr. 40), 244 ein tüchtiger und höchst strebsamer Optiker, hat seine Ausbildung bei Hartnack und in dem Kellner'schen Institute in Wetzlar erhalten und erst seit einigen Jahren seine Werkstätte errichtet, deren Erzeugnisse sich, sowohl in Bezug auf Schönheit und Genauigkeit der mechanischen Arbeit, als auf die Leistungen des optischen Apparates denen älterer Werkstätten zur Seite stellen dürfen.

Die Stative sind sämmtlich nach dem Muster von E. Leitz gebaut und stehen ihren Vorbildern vollständig gleich. An dem Stativ II b, welches dem Ia von Leitz entspricht, ist die Schlittenvorrichtung zum Wechseln der Blendungen durch einen drehbaren Arm ersetzt.

Stativ I wird zu 240 Mark, zum Ueberlegen eingerichtet um 280 Mark abgegeben. Eine sehr vollständige optische Ausstattung besteht

aus den Trockensystemen 1 a, 2, 4, 6, 8 und 9 (mit Correction), den Immersionssystemen XI und XV und den Ocularen I, III, IV und Vollglas VI, Ocularmikrometer, Objectivmikrometer, Polarisations- und Zeichenapparat, beweglichem Objecttisch, Saccharimeter, Spectralocular mit Messapparat, Abbe's Beleuchtungsapparat, grosser Beleuchtungslinse auf Stativ, Revolvervorrichtung für drei Objectivsysteme, Mikrotom, Handloupe, Präparirmikroskop mit 10-, 20- und 30 facher Vergrösserung, mikroskopischem Besteck, Deckgläsern und Objectträgern. Der Preis beträgt 1600 Mark. Mit den Trockensystemen 1, 3, 6, 8, den Immersionssystemen X und XII, den Ocularen I, III, V, Zeichen- und Polarisationsapparat, Deckglastaster, Abbe's Beleuchtungsapparat und Ocularmikrometer ausgerüstet, stellt sich der Preis auf 800 Mark, mit den Trockensystemen 3, 6, 8, Immersionssystem XII, den Ocularen I, II, III, V, einfachem Polarisationsapparat, Condensor und Ocularmikrometer auf 600 Mark, mit den Systemen 3, 5, 7, Immersion XI, den Ocularen II, III, V, Condensor und Ocularmikrometer auf 500 Mark.

Stativ II (wie I, aber kleiner in den Dimensionen) kostet 160, zum Ueberlegen 180 Mark, mit den Trockensystemen 3, 6, 8, dem Immersionssystem XII, den Ocularen I, III, V, Condensor und Ocularmikrometer 480 Mark, mit den Trockensystemen 3, 6, 8, dem Immersionssystem XI, den Ocularen I, III, V, Condensor und Ocularmikrometer 440 M.

Stativ II b kommt für sich auf 150 Mark, mit den Trockensystemen 2, 4, 7, 9, Immersionssystem XII, den Ocularen I, III, V, und Mikrometerocular auf 490 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 5, 8, dem Immersionssysteme XI, den Ocularen I, III, V und Ocularmikrometer auf 400 Mark zu stehen.

Das Stativ II c, dem III von Leitz entsprechend, wird um 100 Mark, zum Ueberlegen eingerichtet um 116 Mark abgegeben. Bei gleicher Ausstattung wie II b vermindert sich der Preis um 50 resp. 34 Mark.

Für das mittlere Stativ III beträgt der Preis 80 Mark, zum Ueberlegen 92 Mark. Mit den Systemen 3, 6, 8, Immersion X (ohne Correction), den drei Ocularen I, III, V, und Ocularmikrometer berechnet sich derselbe zu 280 Mark, mit den Systemen 3, 7, Immersion IX und den Ocularen II, III, V zu 220 Mark, mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen II, III, V zu 200 Mark, mit den Systemen 3, 5, 7 und den Ocularen II, IV zu 180 Mark, endlich mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen II, IV 150 Mark.

Das kleine Stativ IV kostet 40 Mark, mit den Systemen 3, 6, 8 und den Ocularen II, IV 140 Mark, mit den Systemen 3, 7 und den Ocularen II, IV zu 100 Mark.

Ein Reisemikroskop, das sich zusammenlegen lässt und einen nur kleinen Raum einnimmt, wird mit dem System 3, 7 und dem Ocular I ausgestattet und in feinem Lederetui verpackt um 150 Mark abgegeben.

Die Objectivsysteme, von welchen die stärkeren auf eine Deckglasdicke von 0,16 bis 0,18 mm justirt sind, bilden in den Nummern

1 bis 9 Trockensysteme, in den Nummern IX, X, XI, XII, XV und XVIII Wasserimmersionssysteme, und sind zu ihnen in neuester Zeit noch vier (Nr. 19 bis 22) Systeme für homogene Immersion: $\frac{1}{15}''$, $\frac{1}{30}''$, und $\frac{1}{35}''$ hinzugekommen. Die Preise betragen für Nr. 1: 8 Mark, Nr. 1a, 2 und 3: 20 Mark, Nr. 4: 24 Mark, Nr. 5: 28 Mark, Nr. 6: 32 Mark, Nr. 7: 36 Mark, Nr. 8: 40 Mark, Nr. 9: 60 Mark, Nr. 9* (Correction¹): 80 Mark, Nr. IX (ohne Correction): 60 Mark, Nr. X: 100 Mark, Nr. XI: 120 Mark, Nr. XII: 160 Mark, Nr. XV: 240 Mark, Nr. XVIII: 360 Mark $\frac{1}{15}''$: 120 Mark, $\frac{1}{30}''$: 200 Mark, $\frac{1}{35}''$: 300 Mark, mit 1,20 bis 1,25 numerischer Apertur je 200, 300 und 400 Mark.

Oculare führt Reichert sechs gewöhnliche Nr. 0 bis V, vier orthoskopische Nr. I bis IV, sowie ein Vollglasocular Nr. VI und werden erstere mit 8, die anderen mit 16 Mark, das letztere mit 12 Mark berechnet.

Von den Objectivsystemen habe ich die grössere Anzahl genau kennen gelernt und hat ihre Prüfung folgende Resultate ergeben.

Nr. 2 mit einer Brennweite von 27,5 mm und einer numerischen Apertur von 0,15 (16° Oeffnungswinkel) vergrössert 30-, 45-, 55-, 60-, 80- und 100 mal, und liefert an der Silberplatte sowohl als an entsprechenden histologischen Objecten gute Bilder.

System 3 besitzt eine Brennweite von 15 mm, eine numerische Apertur von 0,26 (30° Oeffnungswinkel) und die Vergrösserungen betragen: 50, 70, 90, 100, 130 und 145. Die Abbe'sche Probe besteht es vortrefflich, und die Bilder organischer Objecte erscheinen sehr schön gezeichnet. Nitzschia Brebissanii mit 10 Streifen auf 10μ , also $1,0\mu$ Streifendistanz wird gut gelöst.

Das System 4, dessen Brennweite = 11 mm und dessen numerische Apertur = 0,35 (40° Oeffnungswinkel), vergrössert 70-, 100-, 120-, 180-, 200- und 240 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt in den äusseren Zonen primäre Farben und das noch bestimmt gezeichnete Bild des Pinus-schnittes zeigt ziemlich merkbare gelbe Färbung. Das Auflösungsvermögen erreicht $0,8\mu$, 12 Streifen auf 10μ — Synedra pulchella —.

Nr. 6 hat eine Brennweite von 5,3 mm und eine numerische Apertur von 0,74 (95° Oeffnungswinkel). Die Vergrösserungen betragen 180, 260, 300, 350, 450 und 500. Der Abbe'schen Probe wird Genüge geleistet (Säume gelbgrün und rothviolett), und die Bilder histologischer Objecte erscheinen bei kaum merklich gelber Färbung rein und scharf. Die Grenze der Auflösung liegt für gerades Licht bei etwa $0,50\mu$, 20 Streifen auf 10μ — Nitzschia sigma —, für schiefes bei $0,36\mu$, 28 Streifen auf 10μ — Nitzschia obtusa —.

Von System 7 haben mir zwei Exemplare vorgelegen, von denen das eine mit 7 schlechtweg, das andere mit 7 B bezeichnet war. Beide haben etwa gleiche Brennweite, 4 mm (3,98 und 4,02 mm), das erstere eine numerische Apertur von 0,82, das andere von 0,80 (110° und

¹) Die Correctionsfassung ist mit Bezifferung für Deckglasdicken von 0,1 bis 0,2 mm versehen.

106° Oeffnungswinkel). Vergrösserungen im Mittel = 300, 345, 370, 470, 580 und 700. Der Abbe'schen Probe genügten beide gleich gut und gaben sie demgemäss scharfe und klare, farblose Bilder. Das Auflösungsvermögen ist wenig verschieden, und erreicht für centrale Beleuchtung 0,47 bis 0,48 μ , 21 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia sigma* —, für excentrische 0,33 μ , 30 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia linearis* —.

Auch von System 8 waren zwei Exemplare vorhanden, 8 und 8 B. Die Brennweite betrug bei dem einen 2,8 mm, bei dem anderen 2,5 mm, die numerische Apertur 0,92 und 0,82 (135° und 110° Oeffnungswinkel). Die Vergrösserungen können als mittlere zu 320, 460, 510, 600, 800 und 1000 angenommen werden. Gegen die Silberplatte und die organischen Objecte verhalten sich beide wie die vorhergehenden Nr. 7. Die Auflösungsgrenze erreicht bei centraler und excentrischer Beleuchtung für 8 B die gleichen Zahlen, wie bei 7, für 8 je 0,43 μ , 22 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, und 0,30 μ , 33 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia vermicularis* —.

System 9 hat eine Brennweite von 2,17 mm, eine numerische Apertur von 0,95 (144° Oeffnungswinkel), und vergrössert 500-, 700-, 800-, 1000-, 1200- und 1400 mal. An der Silberplatte giebt es scharfe Grenzen mit grüngelben und rothvioletten Säumen, die Bilder organischer Objecte erscheinen scharf und bestimmt ohne Färbung. Das Auflösungsvermögen geht bei geradem Lichte bis zu 0,42 μ , 24 Streifen auf 10 μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* —, bei schiefem bis 0,29 μ , 34 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia palea* —.

Das Immersionssystem Nr. XI besitzt bei einer Brennweite von 1,75 mm eine numerische Apertur von 1,02 (100° Oeffnungswinkel in Wasser) und vergrössert 700-, 900-, 1200-, 1500-, 1800- und 2200 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt vorzügliche Resultate, und die Zeichnung histologischer Objecte ist scharf und klar ausgeprägt. Grenze des Auflösungsvermögens bei centraler Beleuchtung 0,40 μ , 25 Streifen auf 10 μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* bis *Nitzschia sigmoidea* —, bei excentrischer 0,265 μ , 36 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia curvula* und *Navicula rhomboides* var. *saxonica*.

Nr. XII für Immersion hat eine Brennweite von 1,3 mm, eine numerische Apertur von 0,95 (94° Oeffnungswinkel in Wasser) und Vergrösserungen von: 900, 1200, 1500, 1800, 2250 und 2800. In Bezug auf die Abbe'sche Probe und die Bilder histologischer Objecte steht es dem vorangehenden gleich, das Auflösungsvermögen ist aber etwas geringer: 0,42 μ , 24 Streifen auf 10 μ für gerades Licht und 0,29, 34 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia palea* — für schiefes.

In neuester Zeit werden die Immersionssysteme Nr. X, XI, XII und XV mit einer numerischen Apertur von 1,15 bis 1,17 und von 1,20 construirt und im ersten Falle zu 300, im anderen zu 400 Mark berechnet. Ich habe Nr. X, XI und XII mit je 2,2, 1,9 und 1,0 mm Brennweite näher geprüft, und dieselben in Bezug auf die Abbe'sche Probe wie

auf die Zeichnung organischer Objecte vortrefflich gefunden. Das Auflösungsvermögen ist der numerischen Apertur entsprechend gesteigert, so dass bei centrischer Beleuchtung *Nitzschia linearis*, bei schiefer *Amphipleura pellucida* gelöst werden.

Das $\frac{1}{15}$ " für homogene Immersion besitzt bei einer Brennweite von 1,6 mm eine numerische Apertur von 1,13 (96,5° Balsamwinkel). Die Vergrösserungen betragen 600, 800, 1000, 1300, 1650 und 2000. Die Abbe'sche Probe giebt vorzügliche Resultate, die feineren Structurverhältnisse histologischer Objecte erscheinen prachtvoll gezeichnet, und es können Deckgläser von über 0,2 mm noch recht gut verwendet werden. Das Auflösungsvermögen erreicht seine Grenze für centrische Beleuchtung bei $0,37\mu$, 28 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —, für excentrische bei 0,24 bis $0,25\mu$, 40 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* —.

Von dem $\frac{1}{30}$ " für homogene Immersion mit 1,3 mm Brennweite habe ich drei verschiedene Exemplare mit je 1,165, 1,20 bis 1,22 numerischer Apertur gesehen. Dasselbe kommt dem voranstehenden in Bezug auf seine Eigenschaften gleich, es rückt aber die Auflösungsgrenze etwas weiter hinaus, so dass die oben genannten Probeobjecte entschieden leichter gelöst werden, die Streifungen weit schärfer und deutlicher ausgesprochen erscheinen.

F. W. Schieck, Berlin, S. W. Halle'sche Strasse Nr. 14. Schieck 245 Sohn, welcher in den Werkstätten seines Vaters und Dr. E. Hartnack's ausgebildet ist und seit des ersteren Tode das optische Institut leitet, construirt nach dem mir im Herbst 1879 zugegangenen Preisverzeichnisse acht verschiedene Formen von Mikroskopen, welche in vier Gruppen zerfallen: Grösstes, grosses, mittleres und kleines („Studentenmikroskop“).

Dieselben weichen von den früheren, unbequemen hohen Stativen gänzlich ab, und schliessen sich im Wesentlichen in ihrem Baue den Hartnack'schen Modellen an, so dass sie eine für den praktischen Beobachter weit bequemere und handlichere Gestalt erlangt haben. Die Messingarbeit ist wie bei den älteren Stativen tadellos und elegant.

Das grösste Stativ A, Fig. 293 (a. f. S.), ist ein 42 cm hohes Hufeisenstativ, auf zwei Rundsäulen ruhend, mit Gelenk zum Ueberlegen, weitem, nicht ausziehbarem Rohr und um die optische Achse drehbarem, grossem, vierseitigem Objecttisch. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb, die feine durch über der Säule befindliche Mikrometerschraube bewirkt. Der Beleuchtungsapparat besteht aus nach den Seiten sowohl als nach vorn beweglichem Doppelspiegel und Cylinderblenden mit Schlittenvorrichtung. Das Stativ wird zu 360 Mark berechnet. Wird dasselbe mit den Trockensystemen 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, den Immersionsystemen 10, 12, fünf achromatischen, ein grosses Gesichtsfeld gewährenden Ocularen, einer grossen Beleuchtungslinse auf besonderem Stativ und einem Ocularglasmikrometer ausgestattet, (A a der Preisliste), so

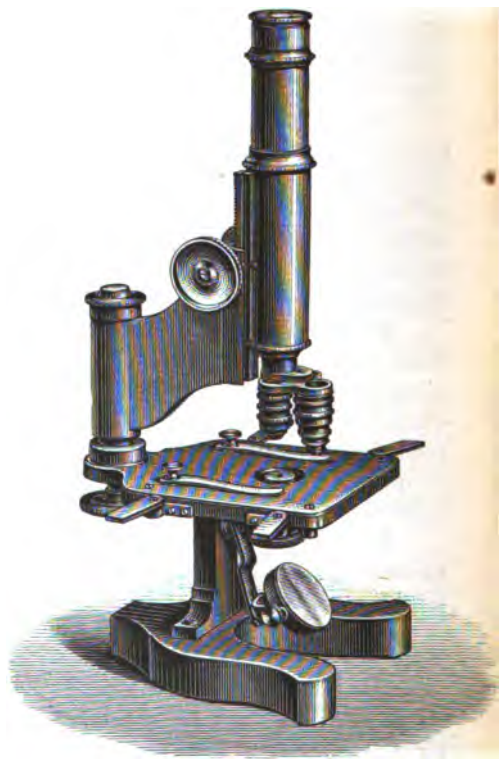
470 Vierter Abschnitt. Zur Kenntniss der neueren Mikroskope.

beträgt sein Preis 1000 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 4, 5, 7, 8, den Immersionssystemen 9, 10 und fünf achromatischen Ocularen (*A b* der Preisliste) 900 Mark.

Das grosse Stativ *B* ist dem vorigen im Baue gleich, hat aber etwas kleinere Ausmaasse und nur 40 cm Höhe. Für sich wird es zu 300 Mark berechnet, mit den Trockensystemen 1, 3, 4, 5, 7, 8, den Immersionssystemen 9, 10, vier Ocularen mit grossem Gesichtsfeld und

Fig. 293..

Fig. 294.



Beleuchtungslinse auf Stativ (*B a* der Preisliste) zu 800 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 4, 5, 7, 8, dem Immersionssystem 10 und vier Ocularen (*B b* der Preisliste) zu 750 Mark.

Das grosse Stativ *C* ist ein *B* ohne Gelenk zum Ueberlegen und kostet mit den Trockensystemen 1, 3, 4, 5, 7, 8, dem Immersionssystem 9 und vier Ocularen mit grossem Gesichtsfeld (*C a* der Preisliste) 600 Mark, mit den Trockensystemen 1, 4, 7, 8, dem Immersionssystem 9 und vier

Ocularen (*C b* der Preisliste) 540, während es ohne Ausrüstung zu 240 Mark berechnet wird.

Zu anatomischen Zwecken wird dieses Stativ um 5 cm niedriger gebaut und mit 14 cm langem, 11 cm breitem, durch Klappen noch weiter zu vergrößerndem Objecttische versehen (Fig. 294). Es theilt bei gleicher Ausstattung den Preis mit dem vorhergehenden.

Stativ *D* ist im Wesentlichen ein *C* mit engerem Rohre, welches im Durchmesser kleinere, ein weniger ausgedehntes Sehfeld gewährende Oculare aufzunehmen bestimmt ist. Dasselbe wird für sich mit 180 Mark, mit den Systemen 1, 3, 4, 5, 7, 9 (Immersion) und vier Ocularen (*D a* der Preisliste) zu 450 Mark, mit den Systemen 1, 4, 7, 9 (Immersion und vier Ocularen *D b*) zu 360 Mark, mit den Systemen 1, 4, 7, 8 und vier Ocularen zu 300 Mark berechnet.

Das mittlere, 31 cm hohe Hufeisenstativ *E* (Fig. 295) gleicht im Baue dem Modell VIII Hartnack's zum Ueberlegen, hat aber etwas grössere Ausmaasse und um die optische Achse drehbaren Objecttisch. Für sich kostet es 120 Mark, mit den Systemen 1, 3, 4, 5, 7, 9 (Immersion) und vier Ocularen (*E a*) 400 Mark, mit den Systemen 1, 3, 5, 7, 9 (Immersion) und vier Ocularen (*E b*) 365 Mark, mit den Trockensystemen 1, 3, 5, 7, 9 und vier Ocularen (*E c*) 300 Mark, mit den Trockensystemen 1, 4, 7, 8 und vier Ocularen 250 Mark.

Stativ *F* (Fig. 296, mit dem Schraubenmikrometer gezeichnet), 30 cm hoch, feststehend, entspricht dem festen Stativ VIII Hartnack's

Fig. 295.



Fig. 296.



vollständig und gilt von ihm das dort Gesagte. Sein Preis beträgt 75 Mark. Wird dasselbe mit drehbarem Tisch, oder mit doppelt so grossem Sehfeld, oder zum Ueberlegen gewünscht, so steigt der Preis in jedem einzelnen Falle um 30 Mark. Die optische Ausstattung wird sehr verschieden geliefert, jedoch befinden sich bei den verzeichneten Nummern stets drei Oculare und es ändern sich die Preise nach Anzahl und Nummern der Objective wie folgt: *Fa*: 1, 3, 5, 7 und 9 (Immersion) 300 Mark, *Fb*: 1, 3, 5, 7 und 9 240 Mark, *Fc*: 1, 3, 5, 7 und 8 225 Mark, *Fd*: 1, 4, 7 und 9 (Immersion) 270 Mark, *Fe*: 1, 4, 7 und 9 225 Mark, *Ff*: 1, 4, 7 und 8 210 Mark, *Fg*: 1, 3, 5 und 7 195 Mark, *Fh*: 4, 7 und 8 195 Mark, *Fi*: 3, 5 und 7 180 Mark, *Fk*: 1, 4 und 8 175 Mark, *Fl*: 1, 4 und 7 160 Mark, *Fm*: 4 und 8 156 Mark, *Fn*: 4 und 7 150 Mark, *Fo*: 3 und 5 135 Mark.

Stativ *G* ist dem vorigen genau gleich gebaut, hat aber statt Cylinderblenden eine Drehscheibe. Sein Preis beträgt 60 Mark. Mit zwei Ocularen und folgenden Objectivsystemen ausgestattet kosten: *Ga*: 1, 4, 7 und 8 180 Mark, *Gb*: 4, 7 und 8 170 Mark, *Gc*: 1, 3, 5 und 7 165 Mark, *Gd*: 3, 5 und 7 150 Mark, *Ge*: 1, 4 und 8 140 Mark, *Gf*: 1, 4 und 7 125 Mark, *Gg*: 4 und 7 115 Mark, *Kh*: 3 und 5 110 Mark.

Das kleine Stativ *H* („Studentenmikroskop“) entspricht dem Modell III Hartnack's und wird mit 48 Mark, zum Ueberlegen eingerichtet mit 55 Mark berechnet. Unter Beigabe von zwei Ocularen und nachgenannten Objectivsystemen wechselt sein Preis in folgender Weise: *Ha*: 1, 3, 5, 7 und 9 (Immersion) 225 Mark, *Hb*: 1, 3, 5, 7 und 9 180 Mark, *Hc*: 1, 4, 7 und 9 (Immersion) 200 Mark, *Hd*: 1, 4, 7 und 9 160 Mark, *He*: 1, 4, 7 und 8 150 Mark, *Hf*: 4, 7 und 8 140 Mark, *Hg*: 1, 4 und 8 120 Mark, *Kh*: 1, 3, 5 und 7 130 Mark, *Hi*: 4 und 8 110 Mark, *Hk*: 3, 5 und 7 120 Mark, *Hi*: 1, 4 und 7 100 Mark, *Hm*: 4 und 7 90 Mark, *Hi* 3 und 5 75 Mark.

Stativ *O* ist dem in der folgenden Nummer beschriebenen Modell VI von Seibert und Krafft gleich und für ein Reisemikroskop bestimmt. Mit zwei Ocularen und folgenden Objectivsystemen beträgt der Preis: für *Oa*: 1, 4, 7 und 8 200 Mark, für *Ob*: 1, 3, 5 und 7 180 Mark, für *Oc*: 1, 4 und 7 150 Mark.

Oculare construirt Schieck sechs einfache 0, 1, 2, 3, 4 und 5 zu 10 Mark und fünf achromatische zu 15 Mark das Stück. Die Objectivsysteme bilden achtzehn Nummern zu folgenden Preisen: die Trockensysteme Nr. 00 (101,6 mm) 20 Mark, Nr. 0 (76,2 mm) 18 Mark, Nr. 1 (50,8 mm) 15 Mark, Nr. 2 (25,4 mm) 18 Mark, Nr. 3 (19 mm) 25 Mark, Nr. 4 (12 mm) 30 Mark, Nr. 5 (6,3 mm) 35 Mark, Nr. 6 (5 mm) 42 Mark, Nr. 7 (4,2 mm) 45 Mark, Nr. 8 (3,2 mm) 50 Mark, Nr. 9 (2,5 mm) 60 Mark; die Immersionssysteme mit Correctionseinrichtung Nr. 9 (2,1 mm) 120 Mark, Nr. 10 (1,6 mm) 150 Mark, Nr. 11 (1,4 mm) 195 Mark, Nr. 12 (1,0 mm) 225 Mark, Nr. 13 (0,7 mm) 270 Mark, Nr. 14 (0,6 mm) 300 Mark, Nr. 15 (0,5 mm) 375 Mark.

Leider war es mir nicht vergönnt, die neuesten Objectivsysteme der altbekannten Werkstätte einer näheren Prüfung zu unterziehen, da Herr Schieck die zugesagte Vorlage derselben nicht zur Ausführung brachte. Ich muss mich daher in meinem Urtheile auf einige Systeme aus den 70er Jahren stützen, welche ich genauer prüfte und zum Theil besitze, werde dabei aber nach dem, was ich so zwischendurch gesehen und erfahren, wohl kaum weit von dem gegenwärtigen Stande abweichen.

System 1 hat eine Brennweite von 54 mm, eine numerische Apertur von 0,17 (20° Oeffnungswinkel) und vergrössert mit den drei schwächeren Ocularen 20-, 30- und 40 mal. Die Bilder organischer Objecte sind scharf, aber etwas gelb gefärbt.

Nr. 2 besitzt bei einer Brennweite von 27 mm eine numerische Apertur von 0,20 (23° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 40, 60 und 80. Gegen die Silberplatte verhält es sich in den mittleren Zonen gut und zeichnet entsprechende Objecte bei gleicher Färbung wie Nr. 1 scharf.

Das System 3 mit einer Brennweite von 20 mm und einer numerischen Apertur von 0,40 (47° Oeffnungswinkel) vergrössert mit den Ocularen 0 bis 3 70-, 105-, 140- und 210 mal. Die Abbe'sche Probe zeigt in den äusseren Zonen primäre Farben, und die Bilder des Pinus-schnittes und des Stärkekornes sind etwas gelb gefärbt. Das Auflösungsvermögen erreicht $0,74\mu$, 13 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* —.

System 4 hat eine Brennweite von 9 mm, eine numerische Apertur von 0,50 (60° Oeffnungswinkel) und vergrössert mit den sechs Ocularen: 90-, 135-, 180-, 270-, 360- und 540 mal. An der Silberplatte treten schon über den mittleren Zonen starke primäre Farbensäume und dann auch verschwommene Ränder auf. Histologische Objecte, welche die Randzonen nicht in Anspruch nehmen, erscheinen noch gut gezeichnet, aber gelb gefärbt. Das Auflösungsvermögen erreicht für gerades Licht $0,65\mu$, 16 Streifen auf 10μ — *Nitzschia hungarica* und *Grammatophora serpentina* —.

Das System 5, mit einer Brennweite von 5,8 mm und einer numerischen Apertur von 0,80 (106° Oeffnungswinkel), vergrössert 150-, 225-, 300-, 450-, 600- und 900 mal. Die Abbe'sche Probe wird nur bis zu den äusseren Zonen bestanden. Histologische Objecte entsprechender Art erscheinen noch scharf gezeichnet, aber matt und gelb gefärbt. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,48\mu$, 21 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, für excentrische bei $0,34\mu$, 29 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —.

System 7 besitzt eine Brennweite von 4,2 mm, eine numerische Apertur von 0,785 (104° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 275, 412, 550, 825, 1000, 1650. Die Abbe'sche Probe wird gut bestanden und die Zeichnung histologischer Objecte ist scharf und bestimmt. Das Auflösungsvermögen erreicht bei gerader Beleuchtung $0,49\mu$, 20 Streifen.

auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, bei schiefer $0,35\mu$, 28 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —.

Das Immersionssystem Nr. 9 mit Correction hat eine Brennweite von 2,3 mm, eine numerische Apertur von 1,05 (104° Oeffnungswinkel in Wasser) und vergrössert 500-, 750-, 1000-, 1500-, 2000- und 3000 mal. Die Abbe'sche Probe wird gut bestanden, und die Bilder histologischer Objecte erscheinen bei voller Farblosigkeit scharf und klar gezeichnet. Das Auflösungsvermögen reicht bei centraler Beleuchtung bis $0,39\mu$, 26 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* und *Grammatophora maci-*

Fig. 297.



246

lenta —, bei excentrischer $0,26\mu$, 38 Streifen auf 10μ — *Nitzschia curvula* und *Grammatophora subtilissima* —.

Nr. 10 für Immersion und Correction besitzt eine Brennweite von 1,7 mm, eine numerische Apertur 1,02 und Vergrösserungen von 600, 900, 1200, 1800, 2400 und 3600. Gegen die Abbe'sche Probe und die sonstigen Objecte verhält sich dieses System wie das vorige, während das auflösende Vermögen bei geradem Lichte nur wenig zurückbleibt — Querstreifen der *Surirella Gemma* —, 24 Streifen auf 10μ .

Franz Schmidt und Haensch in Berlin (S. Stallschreiberstrasse Nr. 4) liefern sieben verschiedene Mikroskope mit vier Gruppen von

Stativen: grossen, mittleren, kleinen und kleinsten, von denen uns hier nur die drei ersteren interessieren.

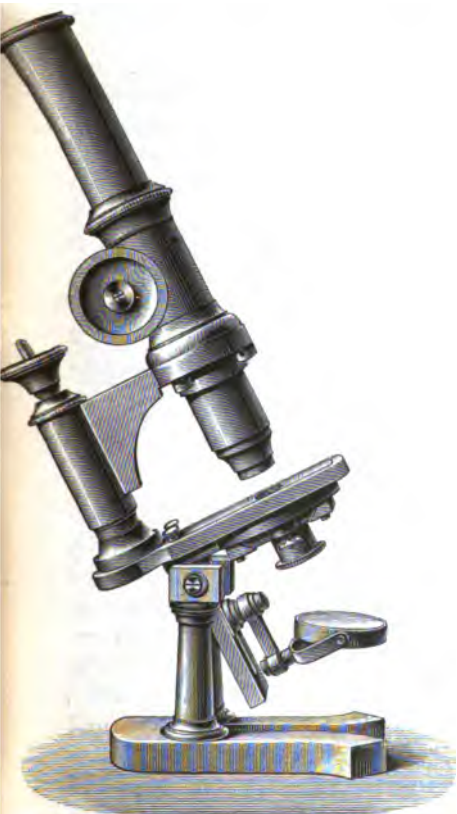
Das grosse Stativ (Nr. 10 der Preisliste, Fig. 297) ist ein grosses, 365 mm hohes, schweres Hufeisenstativ, auf zwei Säulen ruhend und zum Ueberlegen mit Gelenk versehen. Der grosse Objecttisch von 90 mm Seite im Quadrat ist um die optische Achse drehbar; die grobe Einstel-

lung durch Zahn und Trieb hinten an der Tubussäule, die feine durch Mikrometerschraube über dem Verbindungsstück zwischen Säule und Rohr. Die Beleuchtungsvorrichtung besteht aus vertical und horizontal beweglichem Doppelspiegel und Cylinderblendung in Schlitten, kann aber gegen eine Preiserhöhung durch den Abbe'schen Beleuchtungsapparat ersetzt werden. Mit den Trockensystemen 2, 4, 6, 8, dem Immersionssystem 10, den Ocularen 00, 0, 1, 2, 3 und einem Ocularmikrometer ausgerüstet beträgt der Preis 540 Mark.

Das mittlere, 315 mm hohe Stativ (Nr. 9 der Preisliste, Fig. 298) ist in seinem Unterbau dem vorigen ähnlich, besitzt gleiche Beleuchtungsvor-

Fig. 298.

Fig. 299.



richtung und Drehung des grossen Objecttisches um die optische Achse. Die grobe Einstellung durch Zahn und Trieb an dem Tubus, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule. Mit den Systemen 2, 4, 6 und 8, vier Ocularen und Ocularmikrometer kostet dasselbe 300 Mark.

Das etwas kleinere, mittlere, 285 mm hohe Stativ (Nr. 8 der Preisliste, Fig. 299) steht auf flachen Messingsäulen mit Gelenk zum Umlegen.

Der 70 mm Seite haltende viereckige Objecttisch ist um die optische Achse drehbar. Der Beleuchtungsapparat ist dem der vorhergehenden Modelle ähnlich, doch ohne verticale Verstellbarkeit des Spiegels. Zur groben Einstellung dient die Seite 290 beschriebene, mittelst des über dem horizontalen Arme sichtbaren Ringes in Thätigkeit zu setzende Vorrichtung zur stetigen Schiebung des Rohres in der Hülse, zur feinen Mikrometerbewegung über der Säule. Werden die Systeme 2, 4, 6, drei Oculare und ein Ocularmikrometer beigegeben, so berechnet sich der Preis auf 195 Mark.

Für das kleine Modell, Nr. 7, diente das Hartnack'sche kleine Stativ als Muster (Fig. 270, Seite 436), jedoch hat es statt Scheiben-, Cylinderblendung. Mit den Systemen 2, 4 und drei Ocularen kostet dasselbe 135 Mark.

Als Nr. 6 wird das gleiche Stativ mit Glockenblendung, den Systemen 2, 4 und zwei Ocularen abgegeben und zu 105 Mark berechnet.

Objectivsysteme fertigen Schmidt und Haensch neun Nummern, die Trockensysteme: 1 zu 12 Mark, 2 zu 18 Mark, 3 und 4 zu 30 Mark, 6 zu 36 Mark, 8 zu 48 Mark, und die Immersionssysteme mit Verbesserungseinrichtung: 10 zu 90 Mark, 11 (nominell $\frac{1}{16}''$) zu 150 Mark und 12 (nominell $\frac{1}{25}''$) zu 300 Mark. Auch die Systeme 4 bis 8 können Correctionsfassung erhalten und werden dann um 15 Mark im Preise erhöht.

Die fünf gewöhnlichen Oculare tragen die Bezeichnung 00, 0, 1, 2 und 3 und kosten 9 Mark, während orthoskopische zu 12 Mark berechnet werden.

System 1 mit 25 mm Brennweite und 0,17 numerischer Apertur (20° Öffnungswinkel), vergrößert 10-, 15-, 20-, 25- und 30 mal, eignet sich also für opake Gegenstände und Uebersichtspräparate.

Nr. 2 besitzt eine Brennweite von 13,3 mm, eine numerische Apertur von 0,34 (40° Öffnungswinkel), und Vergrößerungen von: 40, 60, 80, 100 und 120. Die Abbe'sche Probe ergibt gute Resultate, und erscheinen entsprechende Objecte schön gezeichnet. Das Auflösungsvermögen geht bis $0,8\mu$, 12 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* —.

Das System 3 hat eine Brennweite von 6,4 mm, eine numerische Apertur von 0,67 (84° Öffnungswinkel), und vergrößert 100-, 150-, 200-, 250- und 300 mal. Es genügt der Abbe'schen Probe und zeichnet klar und bestimmt. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte $0,54\mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina* —, bei schiebem $0,40\mu$, 25 Streifen auf 10μ — Querstreifen von *Surirella Gemma* —.

Von dem System 4 mit mittleren Vergrößerungen von: 200, 300, 400, 500 und 600 haben mir zwei Exemplare vorgelegen, ein älteres mit 4,6 mm Brennweite und 0,92 numerischer Apertur (134° Öffnungswinkel), und ein neueres von 4,0 mm Brennweite und 0,86 numerischer Apertur (120° Öffnungswinkel). Das erstere ergab an der Silberplatte

schon in den mittleren Zonen primäre Farben, in den äusseren verwaschene Säume ohne scharfe Contouren, das andere zeigte in der äusseren Zone gelbgrüne und rothviolette Säume mit scharfen Contouren, hier waren denn auch die histologischen Objecte klarer und schärfer gezeichnet als dort, wo neben Verschleierung zugleich gelbe Färbung auftrat. Ersteres erreicht bei verschleiertem Bilde seine Auflösungsgrenze für gerades Licht bei $0,43\mu$, 24 Streifen auf 10μ — *Surirella Gemma*, Querstreifen, für schiefes bei $0,30\mu$, 33 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* —, letzteres neben klarerer Zeichnung bei $0,46\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, und $0,32\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

System 6 mit einer Brennweite von 3 mm und einer numerischen Apertur von 0,89 (126° Öffnungswinkel) vergrössert 280-, 420-, 560-, 700- und 840 mal. Dasselbe genügt der Abbe'schen Probe bis zur äussersten Zone, wo primäre Farben auftreten, und zeichnet histologische Objecte bei nur schwach gelblicher Färbung noch scharf und klar. Die Grenze des auflösenden Vermögens liegt für centrale Beleuchtung bei etwa $0,44\mu$, 22 bis 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für excentrische bei $0,30\mu$, 33 Streifen auf 10μ — *Nitzschia vermicularis* —.

Nr. 8 mit Correctionsfassung besitzt bei einer Brennweite von 2,4 mm eine numerische Apertur von 0,96 (147° Öffnungswinkel) und vergrössert 350-, 525-, 700-, 875- und 1050 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt in den äussersten Randzonen schwache primäre Farben und erscheinen die Bilder histologischer Objecte bestimmt gezeichnet und fast ganz farblos. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte 42μ , 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* —, bei schiefem $0,29\mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea* —.

Das Immersionsystem 10 mit Verbesserungseinrichtung hat eine Brennweite von 2,1 mm, eine numerische Apertur von 1,05 (104° Öffnungswinkel in Wasser) und die Vergrösserungen betragen: 400, 600, 800, 1000 und 1200. Die Abbe'sche Probe liefert bis zu der äussersten Randzone gute Resultate und die Zeichnung histologischer Objecte ist klar und scharf. Die Auflösungsgrenze liegt für centralen Lichteinfall bei $0,39\mu$, 26 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidia* und *Grammatophora macilenta* —, für schiefes bei $0,26\mu$ 38 Streifen auf 10μ — *Grammatophora subtilissima* und gröber gestreifte *Amphipleura pelucida* —.

Seibert und Kraft (E. Gundlach's Nachfolger) in Wetzlar. 247 Die Werkstätte wurde in den 60 er Jahren gegründet und bestand unter des schon weiter unten gelegentlich erwähnten E. Gundlach Leitung zuerst in Berlin, dann in Charlottenburg bis Ende des Jahres 1872. Als der Gründer nach Amerika übersiedelte, wo er gegenwärtig noch als häufig genannter Optiker thätig ist, übernahmen die eben genannten Inhaber, von denen Seibert die optische Leitung inne hat, das Institut

und verlegten es im October 1873 nach Wetzlar. Die ersten Leistungen Gundlach's zählten seiner Zeit schon zu den besten und seine Nachfolger waren ernstlich bemüht, den guten Ruf derselben zu bewahren. Was mir im Laufe des letzten Jahrzehntes an Objectivsystemen etc. zu Gesichte gekommen ist, hielt sich stets auf der Höhe der Zeit.

Seibert und Krafft fertigen acht verschiedene Modelle, zwei grosse, drei mittlere, ein Reisestativ, ein kleines und ein kleinstes.

Das grosse Stativ Nr. 1 wird als binnoculares, stereoskopisches Mikroskop bezeichnet, aber auch mit einfachem Tubus construirt. Es ist, wie die übrigen Nummern bis 7, ein Hufeisenstativ, von dessen Fuss sich zwei, den Körper auf horizontaler, das Ueberlegen gestattender Achse tragende Säulen erheben. Der grosse, mittelst Schrauben horizontal bewegliche Objecttisch ist um die optische Achse drehbar. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb bewirkt, die feine ist in doppelter Art vorhanden und geschieht für die mittleren Vergrösserungen durch die bekannte Parallelogrammverschiebung („ohne Friction“), für die stärkeren durch sehr langsame Mikrometerbewegung. Der Doppelspiegel kann sowohl höher und tiefer gestellt, als seitlich bewegt werden und die in Schlitten laufende Cylinderblendung mit 5 Diaphragmen (eines schlitzförmig) und einer Centralblende kann in doppelter Weise — einmal mittelst Hebelvorrichtung — vertical bewegt werden. Neben diesem einfacheren Beleuchtungsapparat wird noch der Abbe'sche beigegeben. Die optische Ausstattung besteht aus den Trockensystemen 00, 0, I, II, IV, Vb, VIb, den Immersionssystemen VIIb, VIII, IX, X, den Systemen $\frac{1}{16}$ ", $\frac{1}{18}$ ", $\frac{1}{30}$ " für homogene Immersion, den Ocularen 0, I, II, III „periskopisch“, Revolvervorrichtung für fünf Objective, beweglichem Ocularmikrometer, Objectivmikrometer, Polarisationsapparat mit Theilkreis, Oberhäuser'schem Zeichenprisma, Beleuchtungslinse auf besonderem Fuss und Compressorium. Der Preis stellt sich auf 2500 Mark.

Nr. 2 (Fig. 300) ist gleichfalls ein grosses Hufeisenstativ. Der Körper ruht auf einer starken, flachen, geschweiften Säule mit Gelenk zum Ueberlegen. Der grosse, runde Objecttisch ist um die optische Achse drehbar, mit Gradtheilung und Stellschrauben zur genauen Centrirung versehen. Grobe und feine Einstellung werden durch die gleichen Vorrichtungen bewerkstelligt, wie die beiden ersten des Statives I. Die Beleuchtungsvorrichtungen sind ebenfalls dieselben wie dort, es gehören zu der Cylinderblendung jedoch nur vier Diaphragmen. Erhält das Stativ die Objectivsysteme 0, I, II, IV, Vb, VIb trocken, VIIb, VIII, IX Wasserimmersion, $\frac{1}{12}$ " homogene Immersion, vier Oculare 0, I, II und III (letztere periskopisch), beweglichen Ocularmikrometer, Polarisationsapparat mit Theilkreis, Oberhäuser'sches Zeichenprisma, grosse Beleuchtungslinse, Revolvervorrichtung für vier Systeme und beweglichen Objecttisch beigegeben, so beträgt dessen Preis 1140 Mark. Mit dem gleichen sonstigen Zubehör, und den Trockensystemen 0, I, II, IV, Va, IVb, den Immersionssystemen VIIb und VIII, kostet dasselbe 868 Mark, mit den Objec-

tivsystemen 0, I, II, V a, VII b, den Ocularen 0, I, III, Condensor mit drei Blenden, Polarisationsapparat mit Theilkreis, Oberhäuser'schem Zeichenprisma, beweglichem Ocularmikrometer und Revolvervorrichtung für vier Systeme 554 Mk., mit den Objectivsystemen I, II, IV, V a, VII b, den Ocularen 0, I und III (letzteres mit Mikrometer) 387 Mark.

Fig. 300.



Das mittlere Stativ Nr. 3 Fig. 301 (a. f. S.) ist dem vorigen ähnlich gebaut, hat aber etwas kleinere Dimensionen, an der Blendungsvorrichtung mit drei Diaphragmen nur einfache Verticalbewegung mittelst Schiebens und eine einfache Condensorlinse zum Ankleben an den Objectträger. Wird dasselbe mit den Trockensystemen I, II, IV, V b, VI b, dem Immersionssystem VIII und den Ocularen 0, I, III (mit Ocularmikrometer zum Einschieben) ausgestattet, so beträgt der Preis 460 Mark, mit den Objectiven I, II, IV, V a, VII b und den Ocularen 0, I und III (mit Mikrometer) 327 Mark.

Das mittlere Stativ Nr. 4 Fig. 302 (a. f. S.) zum Ueberlegen ist in seinen Ausmaassen etwa

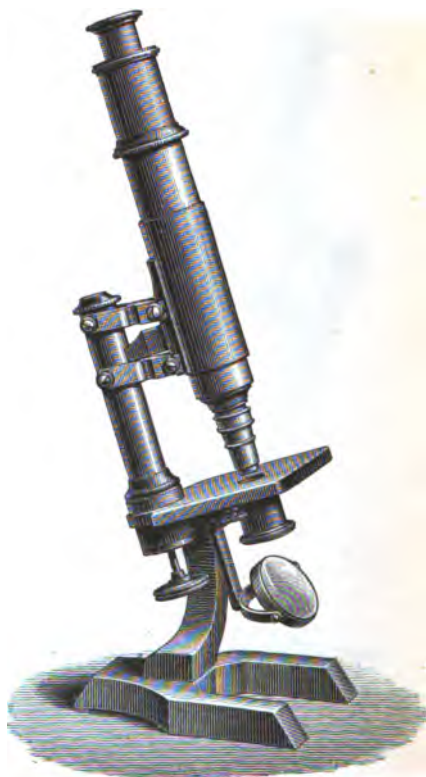
dem vorigen gleich. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Schiebung des Rohres, die feine mittelst Mikrometerbewegung wie bei den voranstehenden Instrumenten. Der vierseitige, ausreichend räumliche Tisch ist nicht um die optische Achse drehbar und der Beleuchtungsapparat besteht aus senkrecht und seitlich beweglichem Doppelspiegel nebst Cylinderblendung in Schlitten. Kommen hierzu die Trockensysteme I, II, IV, V a, das Immersionssystem VII b, die Oculare 0, I, III (mit Mikrometer zum Einschieben) und ein einfacher Condensor, so wird dasselbe mit 297 Mark berechnet, während es mit den Trockensystemen I, III, V a, dem Immersionssystem VII a, den Ocularen 0, I, III (wie oben) und einfachem Condensor auf 253 Mark zu stehen kommt.

Nr. 5 Fig. 303 (a. S. 481), dem obigen ähnlich, aber etwas kleiner und ohne Gelenk zum Ueberlegen, wird mit den Trockensystemen I, III, V a, dem Immersionssystem VII b, den Ocularen 0, I, III (mit Mikrometer zum

Einschieben) und einfacher halbkugelter Beleuchtungslinse ausgestattet zu 252 Mark berechnet. Mit den Objectiven I, III, V a, VII a, den Ocula-

Fig. 301.

Fig. 302.



ren 0, I, III und Ocularmikrometer kommt es auf 234 Mark, mit den Systemen II, V a, VII a und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 208 Mark, mit den Systemen I, III, V a und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 166 Mark, mit den Objectiven II und V a und den Ocularen I und III (mit Mikrometer) auf 148 Mark.

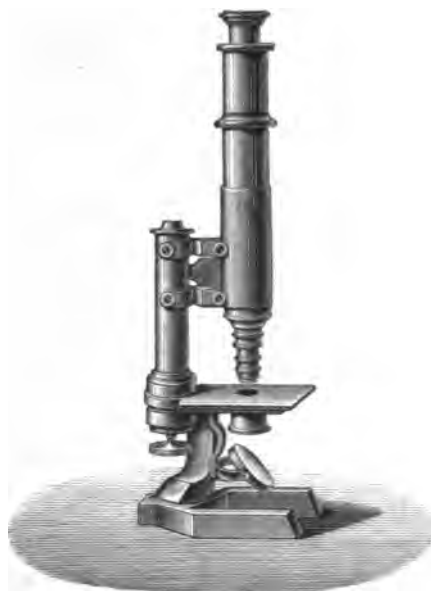
Das kleine Hufeisenstativ Nr. 7 (Fig. 304) hat eine Säule als Träger und ausreichend grossen Tisch, die grobe Einstellung geschieht mittelst Verschiebung des Rohres, die feine mittelst Mikrometerschraube über der Säule. Der Beleuchtungsapparat wird aus dem seitlich verstellbaren Doppelspiegel und Blendscheibe mit fünf Oeffnungen (auf Wunsch Cylinderblendung mit 10 Mark Preiserhöhung) gebildet. Erhält es die Objectivsysteme II, V a und die Oculare I und III (mit Mikrometer), so beträgt der Preis 120 Mark, ohne Mikrometer 115 Mark.

Die Oculare bilden sieben Nummern: die gewöhnlichen Nr. 0, I, II und III zu dem Preise von 7,50 Mark, die periskopischen Nr. 1 zu 18 Mark, Nr. 2 und Nr. 3 zu 15 Mark jedes.

Die Objectivsysteme, von denen die Nummern V bis VII mit *b*, sodann die Nummern VIII bis X Correctionsfassung haben, zerfallen in

Fig. 303.

Fig. 304.



drei Classen: Trockensysteme Nr. 00 bis VI *b*, Wasserimmersion Nr. VII *a* bis X und homogene Immersion $\frac{1}{12}$ ", $\frac{1}{16}$ ", $\frac{1}{20}$ ", und es kosten: 00 20 Mark, 0 21 Mark, I bis III 18 Mark, IV 27 Mark, V *a* 36 Mark, V *b* 48 Mark, VI *a* 60 Mark, VI *b* 75 Mark, VII *a* 60 Mark, VII *b* 75 Mark, VIII 120 Mark, IX 180 Mark, X 300 Mark, $\frac{1}{12}$ " 200 Mark, $\frac{1}{16}$ " 240 Mark, $\frac{1}{20}$ " 300 Mark.

Von den Objectivsystemen haben mir einige schon vor mehreren Jahren construirte, ausserdem aber eine Anzahl aus neuester Zeit vorgelegen.

System I besitzt eine Brennweite von 24 mm, eine numerische Apertur von 0,22 (25° Oeffnungswinkel) und vergrössert 30-, 45-, 68- und 90 mal. Die Abbe'sche Probe besteht es gut und zeichnet demgemäss klar und scharf.

System II aus der Mitte der 70er Jahre hat bei einer Brennweite von 16 mm eine numerische Apertur von 0,21 (24° Oeffnungswinkel) und vergrössert 45-, 70-, 100- und 140 mal. Gegen die Silberplatte und histologische Objecte verhält es sich wie das voranstehende.

Das System III mit einer Brennweite von 11 mm, einer numerischen Apertur von 0,35 (41° Oeffnungswinkel) und Vergrößerungen von 60, 100, 150 und 200 genügt der Abbe'schen Probe vollkommen und zeichnet histologische Objecte sehr schön. Das Auflösungsvermögen erreicht $0,8\mu$, 12 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* —.

Nr. V besitzt eine Brennweite von 4 mm, eine numerische Apertur von 0,86 (118° Oeffnungswinkel) und Vergrößerungen von 200, 300, 450 und 610. Die Abbe'sche Probe ergibt vorzügliche Resultate und die Bilder histologischer Objecte erscheinen klar und scharf gezeichnet und vollkommen farbenfrei. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,46\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für excentrische bei $0,32\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

Ein zweites, aus der Mitte der 70er Jahre stammendes, V mit Correctionsfassung kommt dem obigen fast ganz gleich, nur hatte es eine etwas kleinere numerische Apertur von 0,82 (110° Oeffnungswinkel).

System VI mit Correction, welches ich vor mehreren Jahren erhielt, hat eine Brennweite von 2,3 mm, eine numerische Apertur von 0,844 (115° Oeffnungswinkel) und vergrößert 300-, 450-, 600- und 950 mal. Die Abbe'sche Probe besteht es ebenso vorzüglich, als es histologische Objecte bestimmt und klar zeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht für gerades, wie für schiefes Licht etwa die gleichen Streifendistanzen und Streifenzahlen wie das vorhergehende.

Das Immersionssystem Nr. VII mit Correction besitzt bei einer Brennweite von 1,7 mm eine numerische Apertur von 1,00 ($97,5^\circ$ Oeffnungswinkel in Wasser) und vergrößert 460-, 690-, 1000- und 1375 mal. Der Abbe'schen Probe genügt dasselbe vollkommen und die Bilder histologischer Objecte erscheinen sehr schön gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht seine Grenze für gerades Licht bei $0,41\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* —, für schiefes bei $0,27\mu$, 36 Streifen auf 10μ — *Nitzschia curvula* und *Nav. rhomb. var. saxonica* (*Frustulia saxonica*) —.

System IX gleicher Art hat eine Brennweite von 0,83 mm, eine numerische Apertur von 0,95 (94° Oeffnungswinkel in Wasser) und Vergrößerungen von 950, 1430, 2170 und 2880. In seinen Eigenschaften kommt es den voranstehenden sehr nahe und zeigt nur bei schiefem Lichte ein etwas geringeres Auflösungsvermögen $0,29\mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea* —.

Die beiden Systeme für homogene Immersion, $\frac{1}{12}''$ und $\frac{1}{20}''$, haben eine Brennweite von je 2,3 mm und 1,35 mm, ersteres eine numerische Apertur von 1,14 ($97,3^\circ$ Balsamwinkel), letzteres von 1,13 ($96,5^\circ$ Balsamwinkel). Die Abbe'sche Probe bestehen beide vorzüglich und erweisen sich dieselben in Bezug auf freien Objectabstand, Tiefenperspective und Deckglasdicke (ersteres 0,3 mm, letzteres 0,2 mm), namentlich aber auf Lichtstärke und Schönheit der Bilder histologischer Objecte jeder Art,

als ganz vortreffliche Linsen. Das Auflösungsvermögen erreicht für centrisches Licht $0,37 \mu$, 27 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* —, bei excentrischer $0,24$ bis $0,25 \mu$, 40 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* —.

Paul Waechter, Berlin O., Grüner Weg Nr. 16, construirt vor- 248
zugsweise mittlere und kleine Mikroskope, von denen für unseren Zweck die Nummern 1 bis 3 in Betracht kommen.

Nr. 1 (Fig. 305) ist ein Hufeisenstativ auf Rundsäulenträger mit Gelenk zum Ueberlegen. Der ausreichend grosse vierseitige Objecttisch

Fig. 305.



ist um die optische Achse drehbar, die grobe Einstellung wird durch Verschiebung des ausziehbaren Rohres in der an horizontalem Träger befestigten Hülse, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule vermittelt. Der Beleuchtungsapparat besteht aus seitlich verstellbarem Doppelspiegel und Cylinderblendung mit Schlittenbewegung. Das Ganze ist, wie ich mich durch eigene Anschauung überzeugt habe, von eleganter und vorzüglicher Arbeit. Kommen zu dem Stative die Objectivsysteme 4, 7, 9, 11, letzteres für Immersion und mit Correctionsvorrichtung, drei Oculare und ein Ocularmikrometer, so beträgt der Preis 300 Mark, werden dagegen die Objectivsysteme 4, 7, 9, 10 und drei Oculare beigegeben, 240 Mark.

Stativ 2 ist dem vorigen gleich, besitzt aber einen feststehenden Objecttisch. Mit den Systemen 4, 7, 10, drei Ocularen und einem Ocularmikrometer ausgerüstet kostet es 160 Mark.

Das kleine Stativ Nr. 3, Fig. 306 (a. f. S.), besitzt einen gusseisernen bronzierten, hufeisenförmigen Fuss, auf welchem sich der geschweifte Trä-

ger erhebt, und hat einen noch ausreichend grossen vierseitigen Objectisch. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des mit Auszug versehenen Rohres, die feine durch die bekannte Parallelogrammbewegung mittelst Mikrometerschraube unter der Säule. Der Spiegel ist

Fig. 306.



seitlich verstellbar und die Cylinderblenden werden durch einfaches Verschieben gewechselt. Mit den Systemen 4, 7, 9 und drei Ocularen wird dasselbe zu 100 Mark berechnet.

Die Oculare 0, 1, 2 und 3 sind zu 6 Mark das Stück angesetzt, von den Objectivsystemen werden 1, 2 und 3 zusammen zu 18 Mark, Nr. 4 zu 12 Mark, Nr. 7 zu 21 Mark, Nr. 9 zu 27 Mark, Nr. 10 zu 60 Mark und das Corrections- und Immersions-system Nr. 11 zu 120 Mark berechnet.

Die Objectivsysteme haben mir in sämtlichen Nummern zur Prüfung vorgelegen und es hat diese folgende Resultate ergeben.

Die Combination 1 bis 3, von der auch Linse 1 einzeln, sowie auch Linse 1 und 2 zusammen benutzt werden können, besitzt

eine Brennweite von 10 mm, eine numerische Apertur von 0,19 (22° Oeffnungswinkel) und gewährt von entsprechenden Objecten ganz gute Bilder. Dieselbe ist vorzugsweise für die kleinsten Instrumente bestimmt und tritt bei den grösseren an deren Stelle das folgende System.

System 4 besitzt bei einer Brennweite von 14 mm eine numerische Apertur von nur 0,15 (16° Oeffnungswinkel). Die Abbe'sche Probe wurde gut bestanden und die Bilder entsprechender histologischer Objecte schön gezeichnet.

Nr. 7 hat eine Brennweite von 4,5 mm und eine numerische Apertur von 0,55 (67° Oeffnungswinkel) entspricht also annähernd dem System *D* v. Zeiss. Die Probe an der Silberplatte giebt vollkommen gute Resultate und das Bild histologischer Objecte erscheint scharf und be-

stimmt gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte $0,60\mu$, 16 Streifen auf 10μ — *Nitzschia hungarica* und *Grammatophora marina* —, bei schiefem $0,50\mu$, 20 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —.

Das System 9, welches mir vorgelegen, war für Immersion bestimmt (ohne Correction); seine Brennweite betrug 3,2 mm, seine numerische Apertur 0,96 (92° Oeffnungswinkel in Wasser). Die Abbe'sche Probe wurde bei einer über 0,20 hinausgehenden Deckglasdicke gut bestanden und die Bilder organischer Objecte erschienen scharf und bestimmt. Das Auflösungsvermögen reicht für centrale Beleuchtung bis $0,42\mu$, 24 Streifen auf 10μ — *Surirella gemma*, Querstreifen —, bei excentrischer bis $0,29\mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea* —.

Das Trockensystem 10 hat eine Brennweite von 2,6 mm und eine numerische Apertur von 0,90 (128° Oeffnungsw.) Der Probe an der Silberplatte wurde bis gegen die äussere Randzone genügt und es erscheinen die Bilder organischer Objecte, welche diese nicht oder nur wenig in Anspruch nehmen, noch gut gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für gerades Licht bei $0,44\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefes bei $0,30\mu$, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia vermicularis* —.

Das Immersionsystem Nr. 11 mit Correctionsvorrichtung besitzt bei einer Brennweite von 2,3 mm eine numerische Apertur von 1,0 (97° Oeffnungswinkel in Wasser) und verlangt sehr dünne Deckgläser, etwa 0,07 bis 0,08 mm, indem es sich zugleich gegen Dickenunterschiede stark empfindlich erweist. Die Abbe'sche Probe ergab bei secundären Farben noch eine merkliche Einstellungsdivergenz zwischen Mitte und Rand und histologische Objecte erscheinen zwar bestimmt, aber etwas blass gezeichnet, verlieren aber stark, sobald das Decksglas nur wenig zu dick ist. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centrischem Lichte $0,41\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella gemma* —, bei excentrischem $0,27\mu$, 36 Streifen auf 10μ — *Nitzschia curvula* noch eben bei recht gutem Lichte.

R. Wasserlein in Berlin (S. W. Bernburgerstrasse Nr. 34), welcher früher mit Benèche vereinigt war, hat seit Anfang der 60 er Jahre eine eigene Werkstätte gegründet. Anfänglich beschäftigte er sich mit der Anfertigung kleiner und billiger Mikroskope, später aber nahm er auch die Anfertigung grösserer und mittlerer Stative und ebenso stärkerer Objectivsysteme in Angriff. Seine Stative, soweit sie uns hier interessiren, zerfallen in grosse, mittlere und kleine.

Das grosse Stativ *A* I ist dem Modelle VIII zum Ueberlegen von Hartnack und *B* von Benèche nachgebildet und zwar in entsprechend grösseren Ausmaassen und mit Vorrichtung zum Centriren der Cylinderblenden und der beigegebenen Beleuchtungslinse. Die grobe Einstellung kann statt durch Verschiebung des Rohres auch in der Weise hergestellt werden, dass sie durch Zahn und Trieb bewirkt wird. Bei letzterer Einrichtung

und Ausstattung mit den Trockensystemen 2, 5, 7, 9, 10, dem Immersionssystem 11 *b*, drei Ocularen und einem Ocularmikrometer stellt sich der Preis auf 345 Mark, ohne Zahn und Trieb mit der genannten Beigabe auf 270 Mark, mit den Trockensystemen 2, 5, 7, 9, 10, drei Oculären und Ocularmikrometer auf 240 Mark.

Das mittlere Stativ *A* besitzt bei feststehendem Tisch und Blendungsvorrichtung ohne Centrirungsapparat etwas kleinere Dimensionen, ist aber sonst dem vorigen gleich. Mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, dem Immersionssystem 11 ohne Correction, drei Ocularen und Ocularmikrometer kostet dasselbe 180 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 10, drei Ocularen und Ocularmikrometer 165 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 9, drei Ocularen und Ocularmikrometer 150 Mark.

Das mittlere Stativ *A* 0 unterscheidet sich von *A* nur durch den Mangel des Gelenkes zum Ueberlegen. Mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, dem Immersionssystem 11 und drei Ocularen ausgerüstet beträgt dessen Preis 150 Mark, mit den Trockensystemen 4 *b*, 7, 10 und drei Ocularen 135 Mark, mit den Trockensystemen 4, 7, 9 und drei Ocularen 120 Mark.

Das kleine Stativ *a* 1 gleicht dem Stativ III von Hartnack. Erhält dasselbe die Objectivsysteme 4, 7, 10 und drei Oculare beigegeben, so kostet es 115 Mark, mit den Systemen 4, 7, 9 und zwei Ocularen 105 Mark, mit den Systemen 4, 7, 8 und drei Ocularen 100 Mark, mit den Systemen 4, 7, 8 und zwei Ocularen 90 Mark, mit den Systemen 4, 7 und zwei Ocularen 75 Mark. Wird Einrichtung zum Ueberlegen oder Cylinderblendungsapparat gewünscht, so erhöht sich der Preis um je 10 Mark.

Die Oculare tragen die Nummern 0, 1, 2, 3 und 4 und werden zu 6 Mark das Stück berechnet.

Objectivsysteme liefert Wasserle in zwölf Nummern: Nr. 1 (35 mm) zu 9 Mark, Nr. 2 (20 mm), Nr. 3 (10 mm) und Nr. 4 (9,5 mm) zu 12 Mark, Nr. 4 *b* (8 mm), Nr. 5 (6,4 mm), Nr. 6 (5,1 mm) zu 18 Mark, Nr. 7 (4,2 mm) zu 24 Mark, Nr. 9 (2,5 mm) zu 36 Mark, Nr. 10 (1,6 mm) zu 45 Mark, Nr. 11 (Immersion ohne Correction, 1,1 mm) zu 60 Mark und Nr. 11 *b* (Immersion mit Correction, 1,1 mm) zu 75 Mark. Von diesen habe ich die Nummern 2, 4 *b*, 6, 7, 9, 10 und 11 *b* näher zu prüfen Gelegenheit gehabt.

System 2 hat eine wirkliche Brennweite von 21,3 mm, eine numerische Apertur von 0,13 (15° Oeffnungswinkel) und vergrößert mit Ocular 1 50 mal. Die Abbe'sche Probe besteht dasselbe gut und es erscheinen die Bilder entsprechender Objecte scharf und bestimmt gezeichnet.

Nr. 4 *b* mit einer Brennweite von 13,3 mm und einer numerischen Apertur von 0,26 (30° Oeffnungswinkel) vergrößert mit Ocular 1 75 mal. Die Probe an der Silberplatte gewährt vollkommen gute Resultate und die Zeichnung histologischer Objecte ist bei voller Farblosigkeit klar und scharf. Das Auflösungsvermögen erreicht 1,0 μ , 10 Streifen auf 10 μ — Nitzschia Brebissonii —.

Das System 6 besitzt eine Brennweite von 6 mm, eine numerische Apertur 0,50 (60° Öffnungswinkel) und vergrössert mit Ocular 1 180 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt in der äussersten Zone primäre Farben und leichte Verschleierung, die Bilder histologischer Objecte werden aber noch gut gezeichnet. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte $0,65 \mu$ 15 Streifen auf 10μ — *Stauroneis Phoenicentron* —, bei schiefem $0,55 \mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* —.

System 7 hat eine Brennweite von 3,7 mm, eine numerische Apertur von 0,82 (110° Öffnungswinkel) und gibt mit Ocular 1 eine Vergrösserung von 300. Die Abbe'sche Probe gewährt ein gutes Resultat mit etwas breiten sec. Farbensäumen und die Zeichnung organischer Objecte erscheint farblos, scharf und klar. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,47 \mu$, 21 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, für schiefe bei $0,33 \mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

Nr. 9 zeigt bei einer Brennweite von 3 mm eine numerische Apertur von 0,86 (118° Öffnungswinkel) und vergrössert mit Ocular 1 400 mal. Der Abbe'schen Probe wird nur bis zur äusseren Randzone genügt und die Bilder solcher Objecte, welche diese nicht in vollem Maasse in Anspruch nehmen, erscheinen klar und bestimmt gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für gerade Beleuchtung bei $0,45 \mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, für schiefe bei $0,32 \mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

System 10 hat eine Brennweite von 2,3 mm, eine numerische Apertur von 0,84 (114° Öffnungswinkel) und vergrössert mit Ocular 1 500 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt ein gutes Resultat und die Bilder organischer Objecte erscheinen demgemäss gezeichnet. Das Auflösungsvermögen ist demjenigen des vorhergehenden annähernd gleich.

Das Immersionssystem Nr. 11 mit Correctionsvorrichtung, mit einer Brennweite von 2 mm und einer numerischen Apertur von 0,92 (90° Öffnungswinkel in Wasser) vergrössert mit Ocular 1 600 mal. Die Abbe'sche Probe besteht dasselbe und die Zeichnung histologischer Objecte ist farblos, klar und scharf. Das Auflösungsvermögen erreicht bei centrischem Lichte $0,43 \mu$, 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, bei excentrischem $0,30 \mu$, 32 Streifen auf 10μ — *Nitzschia tenuis* —.

Rudolph Winkel in Göttingen. Auf die Erzeugnisse der 250 Winkel'schen Werkstätte wurde zuerst von Professor Listing in Göttingen aufmerksam gemacht (Berichte der Göttinger gelehrten Gesellschaft), dann wurden sie mehrfach von Professor Merkel (Max Schulze's Archiv und Mikroskop) rühmend erwähnt und ich selbst konnte einer Reihe von Objectivsystemen aus dem Anfange der 70 er Jahre gleichfalls meine volle Anerkennung zollen (Max Schulze's Archiv).

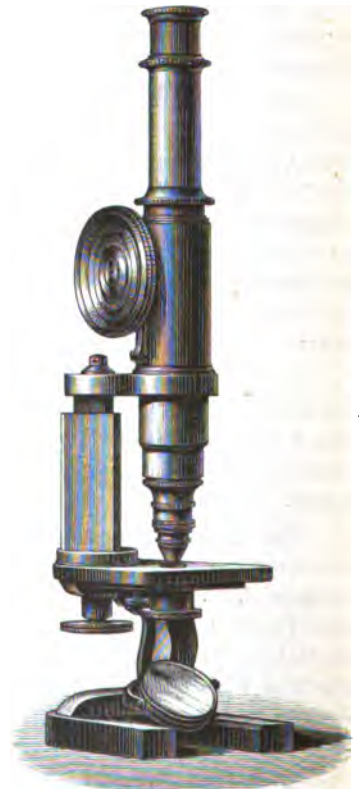
Die Stative, welche aus der Werkstätte hervorgehen und allen Anforderungen der praktischen Mikroskopiker gerecht zu werden suchen, sind Hufeisenstative und soweit ich dieselben kennen zu lernen Gelegenheit hatte, von vorzüglich schöner und solider Arbeit.

Das grosse mineralogische Stativ Nr. 1 a ist mit Gelenk zum Ueberlegen versehen und hat einen grossen, runden, mit Gradeintheilung und Nonius versehenen Objecttisch, welcher mit Stellschrauben am Tubus genau centrirt werden kann. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Zahn

Fig. 307.



Fig. 308.



und Trieb, die feine mittelst Mikrometerschraube, deren Kopf von 40 mm Durchmesser sich über der Säule befindet und am Umfange in 100 Theile getheilt ist, um noch Einstellungsunterschiede von etwa 2μ ablesen zu können. Der Beleuchtungsapparat besteht aus senkrecht und horizontal verstellbarem Doppelspiegel und Cylinderblendung mit Schlitten. Der

Preis beträgt 240 Mark und steigt dann in dem Verhältnisse der optischen und sonstigen Ausstattung, welche dem Besteller überlassen bleibt.

Das grosse Stativ Nr. 1 (Fig. 307) unterscheidet sich von dem vorhergehenden nur durch den Wegfall der für krystallographische und Polarisationsuntersuchungen bestimmten Winkelmessvorrichtungen und kostet 195 Mark.

Stativ 2 (Fig. 308) ist zum Ueberlegen construiert und besitzt einen grossen, vierseitigen Objecttisch. Die grobe Einstellung, welche bei richtiger Wahl der für die Reibungsflächen verwendeten Metalle grosse Sicherheit und Sanftheit der Bewegung verbürgt, ist von eigenartiger Einrichtung. In der festen (nicht federnden), auf der Rückseite mit einem Spalte versehenen Hülse ist eine zweite, sich ohne Spielraum, aber leicht bewegliche, das Rohr aufnehmende Verschiebungshülse genau eingepasst, in

Fig. 309.



welcher ein seine Führung in dem Spalte der äusseren Hülse findender Stahlzapfen sitzt. An diesem hängt eine Zugstange, welche am anderen Ende mit einem in der Einstellungsscheibe befestigten Zapfen in Verbindung steht und bei entsprechender Drehung der letzteren die Verschiebungshülse und das in ihr frei verstellbare Rohr hebt oder senkt. Das Rohr sammt seinem Auszuge sowie die Verschiebungshülse sind mit Millimetertheilungen und Nonius versehen. Die feine Einstellung wird durch Mikrometerschraube bewirkt, deren Knopf wie bei 1 a getheilt ist. Der Beleuchtungsapparat besteht aus vertical und horizontal verstellbarem Doppelspiegel und Cylinderblenden mit Schlitten. Der Preis beträgt 196 Mark und, wenn die Einrichtung zum Ueberlegen sowie die Theilungen an Rohr und Verschiebungshülse wegfallen, 144 M.

Das mittlere, feste, d. h. nicht zum Ueberlegen eingerichtete Stativ Nr. 3 (Fig. 309) besitzt einen runden, um die optische Achse drehbaren Objecttisch. Die grobe Einstellung geschieht durch

Verschiebung des Rohres, die feine durch Mikrometerschraube über der Säule. Der Doppelspiegel ist in senkrechter und wagerechter Richtung verstellbar, die Hülse der Cylinderblenden ist mittelst sogenannten Bajonettverschlusses unter dem Tische befestigt, so dass sie an dessen Drehung nicht Theil nehmen und bei Beobachtungen mit polarisirtem Lichte das Object etc. über dem feststehenden Polarisator gedreht werden kann. Der Preis beträgt 135 Mark und, wenn die Gradeintheilung des Tisches und die Centrirungsvorrichtung wegfällt, 100 Mark. Nr. 3 a der Preisliste.

Das Stativ Nr. 4 Fig. 310 ist in seinem Baue dem Stativ III b von Leitz ähnlich und kostet 96 Mark.

Das kleine Stativ Nr. 5 (Fig. 311) ist im Wesentlichen ein verkleinertes 3 a mit ausreichend grossem, 76 mm breitem Tisch und Cylinderblendungsapparat in Schlitten. Dasselbe kostet 75 Mark.

Fig. 310.

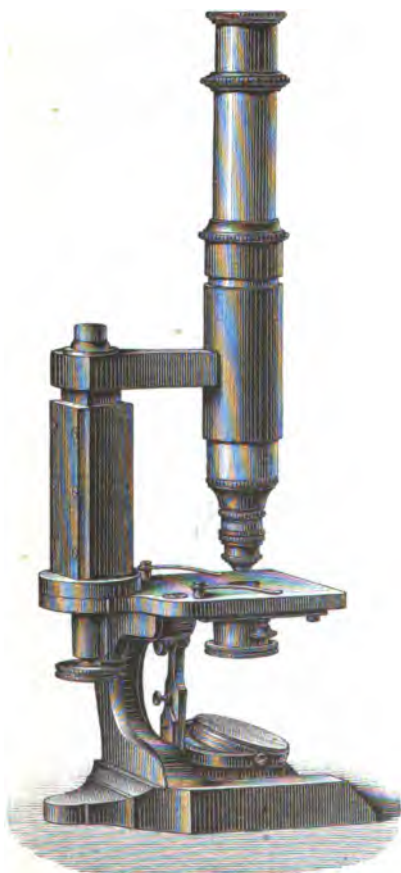
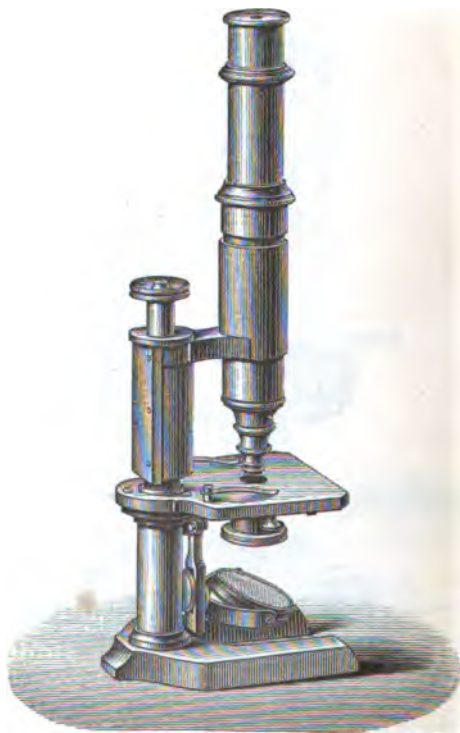
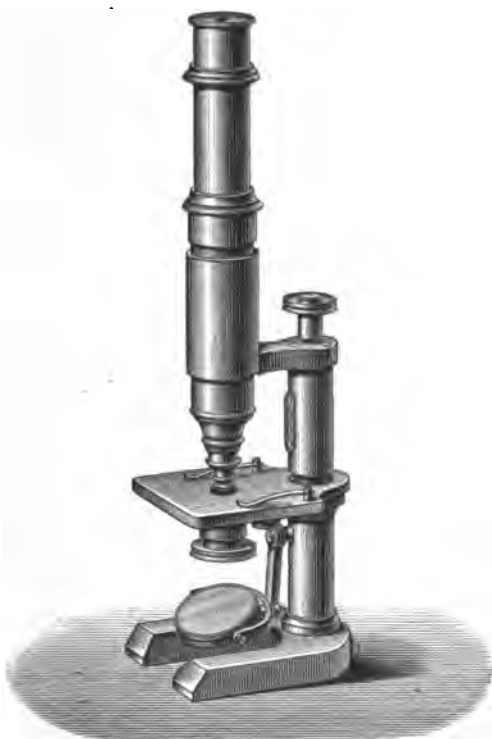


Fig. 311.



Das kleine Stativ Nr. 6 (Fig. 312) hat gleichfalls einen noch ausreichend räumlichen, vierseitigen Tisch, mit feiner Einstellung durch Mikrometerschraube über der Säule. Der Doppelspiegel ist seitlich verstellbar und die Hülse der Cylinderblenden ist mittelst eines mit federnder Verschiebungshülse versehenen Armes derart unter dem Tische

Fig. 312.



befestigt, dass sie bequem zur Seite gedreht werden kann. Der Preis stellt sich auf 45 Mark.

Oculare führt Winkel sechs: I, II, III, IV, V und VI, deren Vergrößerungszahlen sich verhalten wie 1 : 1,25 : 1,5 : 1,75 : 2,1 : 3 und von denen das Stück mit 8 Mark berechnet wird.

Die Objectivsysteme umfassen zwölf Nummern, zehn Trockensysteme und zwei Immersionssysteme. Die Preise betragen: Nr. 1 und 2 18 Mark, Nr. 3 21 Mark, Nr. 4 27 Mark, Nr. 5 und 6 30 Mark, Nr. 7 36 Mark, Nr. 8 45 Mark, Nr. 9 mit Correction 78 Mark, Nr. 10 mit Correction 90 Mark.

Nr. 1 hat eine Brennweite von 33 mm, eine numerische Apertur von 0,17 (20° Öffnungswinkel) und vergrößert 26-, 32-,

38-, 44-, 53- und 74 mal. Die Probe an der Silberplatte wird gut bestanden und die Bilder entsprechender Objecte erscheinen sehr schön gezeichnet.

System 2 besitzt bei einer Brennweite von 16,5 mm eine numerische Apertur von 0,29 (34° Öffnungswinkel) und Vergrößerungen von 54, 68, 82, 95, 110 und 160. Die Abbe'sche Probe giebt gute Resultate und die Zeichnung der Bilder histologischer Objecte erscheint scharf und klar. Das Auflösungsvermögen erreicht 1,0 bis 0,9 μ , 10 Streifen auf 10 μ — Nitzschia Brebissonii —.

Nr. 3 mit einer Brennweite von 11,5 mm und einer numerischen Apertur von 0,38 (45° Öffnungswinkel) vergrößert 80-, 100-, 120-, 140-, 168- und 235 mal. Die Abbe'sche Probe giebt nur bis gegen

die äusserste Randzone hin secundäre Farben mit scharfen Contouren, in diesen etwas verwaschene Säume gleicher Art, die Bilder organischer Objecte geeigneter Art sind scharf und bestimmt gezeichnet und nur wenig gelb gefärbt. Das Auflösungsvermögen erreicht $0,8\mu$, 12 Streifen auf 10μ — *Synedra pulchella* —.

System 4 besitzt eine Brennweite von 9 mm, eine numerische Apertur von 0,50 (60° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 105, 132, 158, 184, 220 und 308. An der Silberplatte erscheinen in der äussersten Randzone primäre Farben mit verwaschenen Säumen. Die Bilder organischer Objecte, welche diese nicht in Thätigkeit setzen, sind bei etwas gelber Färbung scharf und bestimmt gezeichnet und das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte $0,65\mu$, 16 Streifen auf 10μ — *Nitzschia hungarica* und *Grammatophora marina* —, bei schiefem $0,55\mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina* —.

Das System 5 hat eine Brennweite von 5,5 mm, eine numerische Apertur von 0,68 (85° Oeffnungswinkel) und vergrössert 175-, 220-, 260-, 300-, 370- und 520 mal. Die Abbe'sche Probe wird gut bestanden und es erscheint die Zeichnung histologischer Objecte scharf und klar. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,54\mu$, 18 Streifen auf 10μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina*, für excentrische bei $0,44\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* —.

System 6 mit einer Brennweite von 4,7 mm hat eine numerische Apertur von 0,76 (100° Oeffnungswinkel) und vergrössert 210-, 260-, 310-, 360-, 430- und 600 mal. Die Abbe'sche Probe lässt in der äussersten Randzone primäre Farben erkennen und es erscheinen die Bilder organischer Objecte bei gelblicher Färbung noch gut gezeichnet. Die Auflösungsgrenze liegt für centrisches Licht bei $0,50\mu$, 20 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigma* —, für excentrisches bei $0,36\mu$, 28 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —.

Nr. 7 besitzt eine Brennweite von 3,4 mm, eine numerische Apertur von 0,84 (114° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 285, 358, 430, 500, 600 und 840. Die Probe an der Silberplatte genügt vollständig und die Bilder histologischer Objecte erscheinen farblos, scharf und klar. Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichteinfalle $0,46\mu$, 22 Streifen auf 10μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica* —, bei schiefem $0,33\mu$, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

System 8 hat eine Brennweite von 2,8 mm, eine numerische Apertur von 0,94 (140° Oeffnungswinkel) und vergrössert 370-, 460-, 550-, 640-, 790- und 1100 mal. Dasselbe zeigt in der äussersten Randzone etwas verwaschene Säume secundärer Farben und zeichnet organische Objecte klar und bestimmt. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für centrale Beleuchtung bei $0,43\mu$, 23 Streifen auf 10μ — *Nitzschia*

paradoxa und *Grammatophora oceanica* —, für excentrische bei $0,30\mu$, 33 Streifen auf 10μ — *Nitzschia vermicularis* —.

Das Correctionssystem 9 mit einer Brennweite von 2,3 mm und einer numerischen Apertur von 0,955 (145° Oeffnungswinkel) vergrössert 450-, 560-, 670-, 780-, 840- und 1315 mal. Die Abbe'sche Probe zeigt nur in der äussersten Randzone primäre Farben mit Verschleierung der Contouren, während bis dahin sich ein ganz vollkommener Correctionszustand kundgibt. Die Bilder histologischer Objecte erscheinen demgemäss klar und bestimmt gezeichnet. Das Auflösungsvermögen reicht bei geradem Lichte bis $0,42\mu$, 24 Streifen auf 10μ — Querstreifen der *Surirella Gemma* —, bei schiefer bis $0,29\mu$, 34 Streifen auf 10μ — *Nitzschia palea* —.

System 10 mit Correction besitzt eine Brennweite von 1,9 mm, eine numerische Apertur von 0,97 (152° Oeffnungswinkel) und Vergrösserungen von 530, 660, 794, 926, 1112 und 1556. Gegen die Abbe'sche Probe wie gegen organische Objecte verhält es sich wie das vorhergehende, auch an auflösendem Vermögen kommt es demselben in Bezug auf die Zahlenverhältnisse gleich, zeigt aber die betreffenden Structuren noch etwas deutlicher.

Das Immersionssystem *B* ohne Correction mit einer Brennweite von 2,1 mm und einer numerischen Apertur von 1,00 ($97,5^\circ$ Oeffnungswinkel in Wasser) vergrössert 480-, 600-, 720-, 840-, 1000- und 1400 mal. Die Abbe'sche Probe ergibt befriedigende Resultate und das Bild histologischer Objecte erscheint klar und scharf gezeichnet. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt bei centraler Beleuchtung bei $0,41\mu$, 25 Streifen auf 10μ — Querstreifen von *Surirella Gemma* —, bei excentrischer bei $0,27\mu$, 36 Streifen auf 10μ — *Nitzschia curvula* und *Navicula rh. v. saxonica* —.

Das Immersionssystem *C* mit Correction hat eine Brennweite von 1,6 mm, eine numerische Apertur von 1,02 (100° Oeffnungswinkel in Wasser) und Vergrösserungen von 630, 780, 950, 1000, 1320 und 1850. Gegen die Abbe'sche Probe sowie in Bezug auf Zeichnung organischer Objecte verhält es sich wie die vorhergehende Nummer, der es auch an auflösender Kraft gleichkommt.

Dr. Carl Zeiss in Jena. Schon bei der Besprechung des einfachen 251 Mikroskopes hatte ich Veranlassung, Dr. Zeiss, welchem dieses Hilfsmittel der Forschung manche wichtige Verbesserungen verdankt, rühmend zu erwähnen. In gleicher Weise zielt sein Streben schon seit mehr als zwanzig Jahren dahin, Stative sowie Objectivsysteme für das zusammengesetzte Mikroskop zu construiren, welche allen Anforderungen des wissenschaftlichen Mikroskopikers zu entsprechen im Stande seien. In der ersten Auflage konnte ich bereits die Erzeugnisse der Jenaer Werkstätte dem Besten, was damals geleistet wurde, vollkommen zur Seite stellen. Seit dem letzten Jahrzehnt aber hat dieselbe unter der wissenschaftlichen Leitung von Professor Dr. Abbe und bei wesentlicher Vervollkommnung

der Arbeitsmethoden einen so grossartigen Aufschwung genommen, dass ich keinen Anstand nehme, dieselbe in Bezug auf die Gesamtheit ihrer Leistungen nach jeder Richtung hin an die Spitze zu stellen.

Dr. Zeiss berechnet Stative, Objectivsysteme und Oculare gesondert und überlässt es der Wahl des Bestellers, sich sein Instrument in jeder Beziehung nach Wahl auszustatten.

Von ersteren baut er in der neuesten Zeit elf Formen, Nr. I bis IV grosse, V bis VII mittlere, VIII, IX kleine und X und XI kleinste, von denen uns hier zunächst die Nummern I bis IX interessieren.

Das grosse Hufeisenstativ Nr. 1 (Fig. 313) ist ein wahres Musterstativ, welches den weitgehendsten Anforderungen zu entsprechen im Stande ist. Dasselbe besitzt bei mittlerem Auszuge des Tubus 330 mm Höhe und ist mit Gelenk zum Ueberlegen versehen. Der vierseitige, um die optische Achse drehbare Objecttisch von 90 mm Seite ist nach der Mitte zu glockenförmig ausgehöhlt, um für den Beleuchtungsapparat Platz zu gewinnen und bei möglichst schiefer Spiegelbeleuchtung nicht störend zu wirken. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Zahn und Trieb und zeichnet sich durch leichten und sicheren Gang aus, die feine wird mittelst Mikrometerschraube bewirkt, deren über der Säule befindlicher Knopf von 40 mm Durchmesser zum Zwecke von Tiefenmessungen in 100 Theile getheilt ist, während an der Rückseite des geschweiften Tubusträgers sich ein Ableserzeiger befindet. Der Beleuchtungsapparat ist ein zweifacher, nach Belieben und Bedürfniss zu wechselnder. Die gewöhnliche Vorrichtung besteht aus Doppelspiegel und Cylinderblenden. Ersterer kann in eine Coulissee des Trägers eingeschoben und in senkrechter Richtung sowohl als mittelst Doppelgelenkes seitlich und nach vorn aus der Achse bewegt werden; die Cylinderblenden sitzen an einem drehbaren Arm, welcher sich durch Zahn und Trieb heben und senken lässt, und sind mittelst zweier unter rechtem Winkel wirkender Schrauben genau centrirbar. An Stelle des Spiegels kann der auf S. 274 u. f. beschriebene Abbe'sche Beleuchtungsapparat eingesetzt werden und ermöglicht dann den weitesten Umfang der Beleuchtung nach Intensität und Art. Der Preis des vollständigen Stativs beträgt 300 Mark.

Mit einer sehr vollständigen Ausrüstung, A 1 der Preisliste, bestehend aus den Trockensystemen a^* , aa , BB_1 , C , D , E , F (mit Correction), den Immersionssystemen G , J (mit Correction), L , M , den Systemen $\frac{1}{12}$ " und $\frac{1}{13}$ " für homogene Immersion, den Ocularen 1 bis 5, Revolvervorrichtung, beweglichem Objecttisch, Polarisationsapparat, Goniometerocular, Spectralocular, Mikrometerocular, Zeichenapparat, bildumkehrendem Prisma, Beleuchtungslinse auf Stativ, Objectivmikrometer, Deckglastaster, Präparirmikroskop, Mikrotom, Compressorium, Lupenstativ mit zwei Brücke'schen Lupen kostet dasselbe 2980 Mark.

Mit den Trockensystemen a^* , aa , A , A , CDD , F (mit Correction), den Immersionssystemen H , K , M , dem System $\frac{1}{12}$ " für homogene

Fig. 313.



Immersion, fünf Ocularen, Revolvervorrichtung Polarisationsapparat, Spectralocular, Mikrometerocular, Zeichenprisma, Objectivmikrometer und Deckglastaster ausgestattet, Nr. *A* 2 der Preisliste, stellt sich der Preis auf 1910 Mark.

Das Stativ Nr. II Fig. 314, von 310 mm Höhe ist dem vorigen ähnlich, besitzt aber bei leichterem Bau etwas kleinere Ausmaasse und Schlittenführung für die Cylinderblenden. Sein Preis beträgt 250 Mark,

Fig. 314.



bei gleicher Ausrüstung wie das zuletzt beschriebene *A* 3 der Preisliste 1860 Mark, mit den Trockensystemen *a**, *aa*, *AA*, *C*, *D*, *E*, *F* (mit Correction), den Immersionssystemen *J* (mit Correction) und *L*, vier

Ocularen, Mikrometerocular, Spectralocular, Revolver, Polarisationsapparat, Zeichenprisma und Objectivmikrometer 1237 Mark.

Stativ III (Fig. 315) ist von etwas einfacherem Bau, aber von gleicher Grösse wie Nr. II. Dasselbe besitzt Einrichtung zum Ueberlegen und Drehung des Objecttisches um die optische Achse. Der Doppelspiegel ist allseitig verstellbar, wie bei den vorhergehenden abnehmbar und kann statt dessen der (hier im Preise nicht mit einbegriffene) Abbe'sche Beleuch-

Fig. 315.

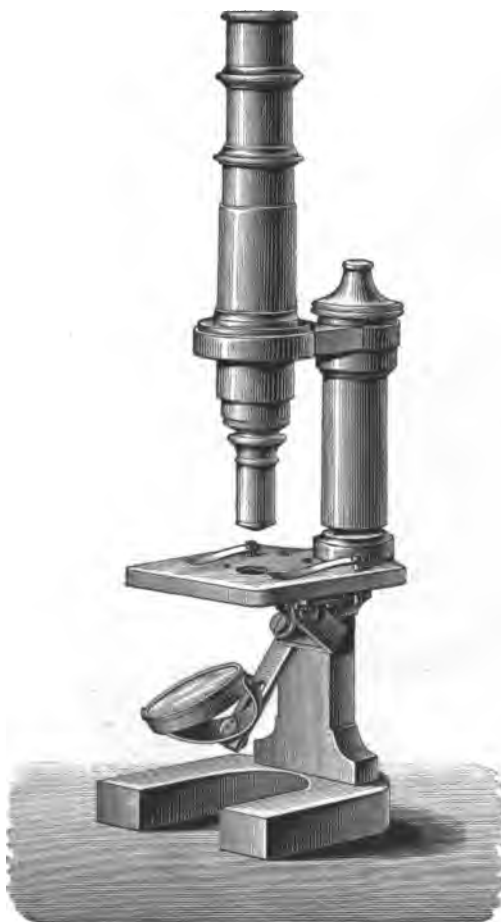


tungsapparat eingesetzt werden; die Cylinderblenden haben Schlittenbewegung; grobe Einstellung durch Schieben des Rohres. Der Preis beträgt 150 Mark, mit den Trockensystemen *a, a a, A, B B, D, F* (mit Correction),

den Immersionssystemen *H* und *L*, vier Ocularen, Abbe'schem Beleuchtungsapparat, Polarisationsapparat, Spectralocular, Mikrometerocular und Zeichenprisma 1014 Mark, mit den Trockensystemen *a**, *A*, *C*, *E*, dem Immersionssystem *J*, dem $\frac{1}{18}$ " für homogene Immersion, fünf Ocularen, dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat, Polarisationsapparat, Zeichenprisma und Ocular- und Netzmikrometer zum Einlegen 1023 Mark, mit den Trockensystemen *a*, *aa*, *BB*, *D*, *F*, dem Immersionssystem *L*, fünf Ocularen, Spectralocular und Ocularmikrometer zum Einlegen 739 Mark.

Stativ IV ist dem Baue nach im Wesentlichen ein II ohne Drehung um die optische Achse. Sein Preis beträgt 150 Mark, mit den Trockensystemen *a*, *aa*, *BB*, *D*, *F*, dem Immersionssystem *L*, fünf

Fig. 316.

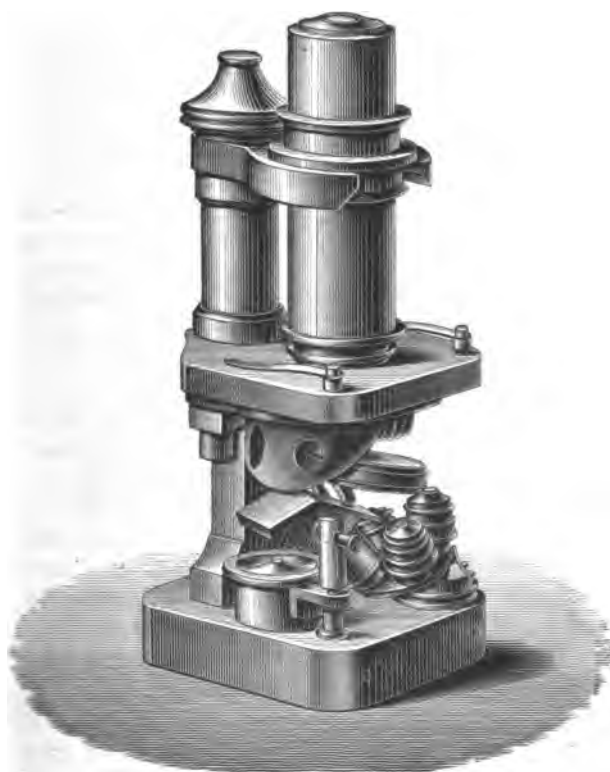


Ocularen, Spectralocular und Ocularmikrometer zum Einlegen, Abbe'schem Beleuchtungsapparat und Revolvervorrichtung 814 Mark.

Das mittlere Stativ V, Fig. 316, (das frühere I) ist von etwas einfacherem Baue wie die vorhergehenden. Der vierseitige Tisch ist feststehend und das Rohr ohne Auszug; der Doppelspiegel ist allseitig beweglich, abnehmbar und die Cylinderblenden, statt deren auch die Glockenblendung angebracht werden kann, haben Schlittenführung. Grobe Einstellung durch Schieben des Rohres. Dieses Stativ bildet ein höchst bequemes Arbeitsmikroskop und empfiehlt sich seines mässigen Preises halber — 75 Mark ohne Neigung —, 90 Mark mit Gelenk zum Ueberlegen — für weitere Kreise. Zum Ueberlegen eingerichtet und ausgerüstet

rockensystemen *aa*, *AA*, *CC*, *E*, dem Immersionssystem *J*, für homogene Immersion, vier Ocularen, dem Abbe'schen *gs*apparate, Zeichenprisma und Ocularmikrometer beträgt der lark, mit den Trockensystemen *aa*, *A*, *C*, *D*, *F*, dem Immer-*K*, vier Ocularen, Abbe'schem Beleuchtungsapparat, Zei- und Ocularmikrometer 612 Mark, mit den Systemen *aa*, *J* (mit Correction), drei Ocularen, Zeichenprisma und Ocular- 454 Mark. Ohne Einrichtung zum Ueberlegen und unter Trockensysteme *aa*, *AA*, *C*, *D*, *F* (mit Correction), von n, Polarisationsapparat und Goniometerocular kostet es mit den Systemen *aa*, *B*, *D*, *F*, vier Ocularen, Zeichenprisma und Ocularmikrometer 312 Mark, mit den Systemen *A*, *D*, *F*, drei Ocu-

Fig. 317.



laren und Zeichen-
prisma 267 Mark,
mit den Systemen
A, *C*, *E* und zwei
Ocularen 215 Mk.

Das Stativ VI (früher III c) ist ein nur 270 mm hohes, höchst compendiöses handliches Stativ mit Drehung des Objecttisches um die optische Achse und mit glockenförmiger Blendungs- scheibe. Der Preis beträgt 75 Mark, mit den Trocken- systemen *A*, *C*, *D*, *F*, dem Immer- sionssystem *K*, vier Ocularen, Zei- chenprisma und Ocularmikrometer 515 Mark.

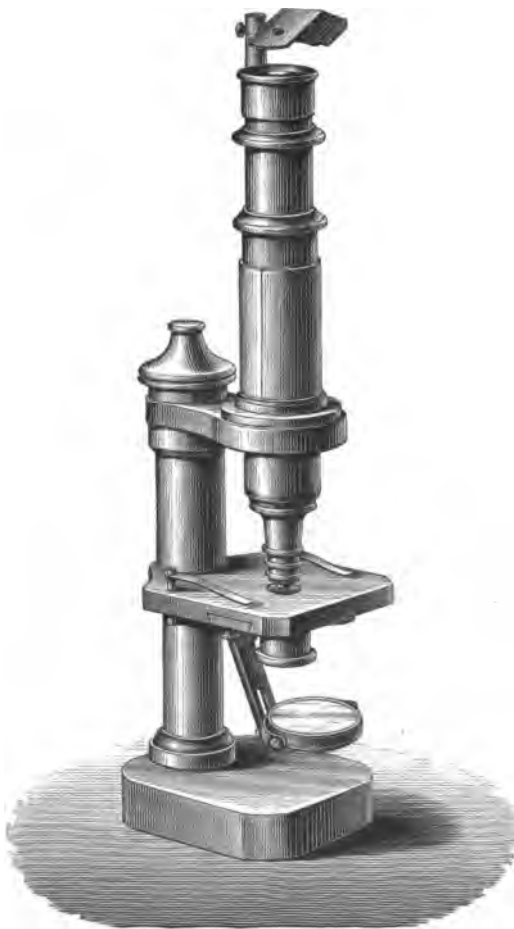
Das vorliegende Stativ wird zum Zwecke möglichst

bequemer Verpackung in einem verschliessbaren Schränkchen von 21 cm Höhe und 10×11 cm Grundfläche mit einigen Abänderungen versehen und dient dann als Reisemikroskop (Fig. 317). Es erhält einschiebbaren Tubus und abnehmbare, durch ein Präparirsystem von 15- bis 30facher

Vergrößerung ersetzbare Führungshülse. Das letztere sowie ein Ocular finden im Tubus Platz, während die an dem beigegebenen Revolver verbleibenden Objectivsysteme und das Zeichenprisma auf dem massiven vierseitigen Fusse aufgeschraubt werden. Dasselbe kostet mit drei Ocularen, aber ohne Objective, 180 Mark, mit den Objectivsystemen *A*, *C*, *E* und *J* 450 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *D* und *F* 366 Mark.

Das mittlere Stativ VII ist von kräftigem Bau, 280 mm hoch, hat einen ausreichend grossen vierseitigen Objecttisch von 72 mm Seite und Rohr ohne Auszug. Dasselbe wird entweder mit Cylinderblenden in Schlitten

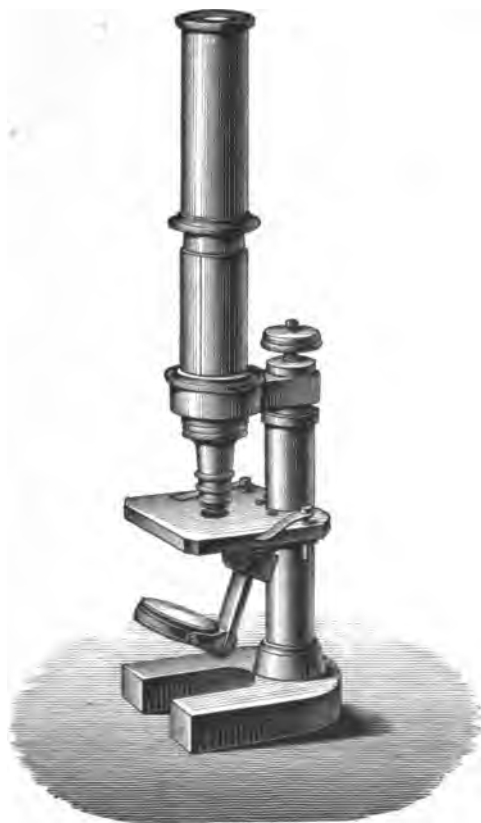
Fig 318.



ten VII *a* (Fig. 318 mit Zeichenprisma) oder mit glockenförmiger Blendscheibe VII *b* geliefert und bildet, da es in Betracht der Feinheit und Sicherheit der feinen Einstellung auch mit den stärksten Objectivsystemengebraucht werden kann, ein ebenso vorzügliches Instrument für Laboratorien, wie zu umfassenderen wissenschaftlichen Arbeiten. Der Preis beträgt je 65 (VII *a*) und 60 (VII *b*) Mark. VII *a* kommt mit den Systemen *a a*, *B*, *D*, *F* und drei Ocularen auf 269 Mark, mit den Systemen *A*, *D*, *F* und zwei Ocularen auf 229 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *E* und zwei Ocularen auf 205 Mark zu stehen, VII *b* mit den Systemen *a*, *B B*, *D D* und drei Ocularen auf 189 Mark, mit den Systemen *A A*, *D D* und drei Ocularen auf 165 Mark, endlich mit den Systemen *A*, *D* und zwei Ocularen auf 110 Mark.

Das kleine Stativ VIII (Fig. 319) (das ältere III *b*), 270 mm hoch, hat einen festen vierseitigen Tisch von 60 mm Seite, allseitig beweglichen Doppelspiegel und Glockenblende und kann gleichfalls noch mit stärkeren Systemen benutzt werden, so dass es sich bei seiner compen-

Fig. 319.



diösen Verpackung auch recht gut als Reisemikroskop eignet. Sein Preis beträgt 48 Mark, mit den Systemen *A*, *D*, *F* und zwei Ocularen 212 Mark, mit den Systemen *A*, *C*, *E* und zwei Ocularen 188 Mark, mit den Systemen *A A*, *D D* und drei Ocularen 153 Mark, mit den Systemen *A*, *D* und drei Ocularen (nebst der vorigen eine für Laboratorien etc. sehr empfehlenswerthe Combination) 135 Mark.

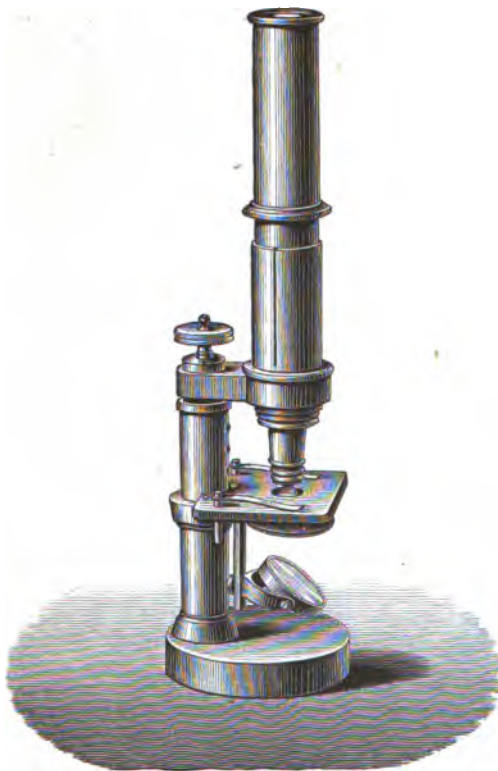
Nr. IX Fig. 320 (a. f. S.) (das ältere IV) ist ein kleines, 260 mm hohes Stativ mit rundem Fuss, nur seitlich aus der Achse beweglichem Doppelspiegel und Glockenblende, welches aber die feine Einstellung mittelst Mikrometerschraube über der Säule hat und noch recht wohl die Verwendung stärkerer Objectivsysteme gestattet. Dasselbe kostet 40 Mark, mit

den Systemen *a*, *C*, *E* und zwei Ocularen 168 Mark, mit den Systemen *A*, *D* und zwei Ocularen 120 Mark.

Der optische Apparat ist bei sämtlichen Mikroskopen ganz vorzüglich und gehören namentlich die Objectivsysteme, von denen mir seit langen Jahren ganze Reihen, wie jetzt wieder sämtliche neuesten Nummern und darunter auch solche für den langen englischen Tubus durch die Hände gegangen sind und von denen ich tagtäglich selbst Gebrauch mache, unbedingt dem ersten Range an. Dieselben vereinigen alle für wissenschaftliche Untersuchungen wünschenswerthen und nothwendigen Eigenschaften in so hohem Grade, und sind in ihren Lei-

stungen so durchgehend gleichmässig, wie ich dies nur selten wieder gefunden habe. Die Abbe'sche Probe liefert selbstverständlich so vorzügliche Resultate und die Zeichnung histologischer, wie der Probe-Objecte ist so farbenfrei, klar und scharf, dass ich auf diese Dinge bei

Fig. 320.



den einzelnen Nummern der von mir geprüften neuesten Systeme nicht mehr besonders zurückzukommen brauche. Wenn dagegen das Auflösungsvermögen der Trockensysteme — auch bei der zweiten Reihe — auf ein niedrigeres Maass beschränkt ist, als man es sonst findet, so geschieht dies mit Bewusstsein und im Anschluss an die Seite 325 u. f. dargelegten Grundsätze.

Die fünf Oculare, Nr. 1 bis 5, besitzen eine mittlere Aequivalentbrennweite von 48, 42, 30, 24 und 18 mm (bei den zu meinem Instrumente gehörigen bestimmte ich dieselbe zu: 50, 42,2, 33,5, 26,2 und 18,7 mm) und es wird jedes zu 7 Mark berechnet.

Objectivsysteme, welche auch einzeln und zwar in Messingbüchsen mit aufgeschraubten Deckeln abgegeben werden, liefert Dr. Zeiss vierundzwanzig Nummern. Von ihnen zerfallen die mittleren Trockensysteme von 16 bis 4 mm Brennweite in zwei Reihen; die einen, mit einfachen Buchstaben bezeichneten, für die gewöhnlichen histologischen Untersuchungen äusserst bequemen, mit kleinerer Oeffnung und grossem Arbeitsabstande, die anderen, durch Doppelbuchstaben unterschiedenen, mit grösserer numerischer Apertur und verhältnissmässig kleinerem, immerhin aber noch ausreichend grossem freiem Objectabstande und für die Beobachtung der feineren Details unübertrefflich. Sämmtliche Systeme mit fester Fassung sind für mittlere Deckglasdicken von 0,15 bis 0,20 mm corrigirt und findet sich bei den stärkeren von *CC* an,

diejenige Dicke, für welche die vollkommenste Correction besteht, seitlich an der Linsenfassung angegeben.¹⁾ Die Preise sind folgende für die Trockensysteme *a* (36 bis 24 mm) 12 Mark, *a** (30 bis 40 mm) 40 Mark, *aa* (32 mm) 27 Mark, *A* und *AA* (16 mm) 24 und 30 Mark, *B* und *BB* (10 mm) 30 und 42 Mark, *C* und *CC* (6,5 mm) 36 und 48 Mark, *D* und *DD* (4,2 mm) 42 und 54 Mark, *E* (2,8 mm) 66 Mark, *F* (1,8 mm) 84 Mark, *F* mit Correction 104 Mark, für die Immersionssysteme *G* (3 mm) 90 Mark, *G* mit Correction 115 Mark, *H* (2,3 mm) 110 Mark, *H* mit Correction 135 Mark, *I* (1,7 mm) 144 Mark, *I* mit Correction 164 Mark, *K* mit Correction (1,3 mm) 200 Mark, *L* (1,0 mm) mit Correction 270 Mark, *M* (0,75 mm) mit Correction 350 Mark, für die Systeme homogener Immersion $\frac{1}{8}''$ (3,0 mm) 240 Mark, $\frac{1}{12}''$ (2,0 mm) 320 Mark, $\frac{1}{18}''$ (1,3 mm) 400 Mark.

Das Objectiv *a* besteht aus einer einzelnen achromatischen Linse, welche je nach Wunsch in drei Brennweiten von je 36,32 oder 24 mm geliefert und so gefasst wird, dass bei ihrem Gebrauche das Rohr in seiner gewöhnlichen Höhe verbleibt. Diese Linsen sind für die Zeichnung von Uebersichtspräparaten bei schwacher Vergrößerung vortüglich und vergrößern mit den Ocularen 1- bis 4: 6- 10- 15- 24-, 12- 18- 27- 35- und 20- 30- 40- 55 mal.

*a** besteht aus zwei achromatischen Linsen, welche durch einen drehbaren Ring einander genähert, oder von einander entfernt werden können, wodurch das System veränderliche Brennweite und Vergrößerungen gewinnt. Bei meinem Exemplare beträgt erstere in der Stellung 10 : 28 mm, in der Stellung 0 : 36,5 mm und die Vergrößerungen schwanken zwischen 10 und 40.

Das System *aa* hat eine Brennweite von 32,4 mm, eine numerische Apertur von 0,17 (20° Oeffnungswinkel) und vergrößert 20, 27, 36, 52 und 70 mal.

System *A* hat eine Brennweite von 16,8 mm, eine numerische Apertur von 0,20 (24° Oeffnungswinkel) und vergrößert 40-, 55-, 75-, 105- und 140 mal. Das Auflösungsvermögen erreicht $1,4\mu$, 7 Streifen auf 10μ — *Navicula viridis* —. Durch Abschrauben der unteren Linse erhält man ein ganz brauchbares achromatisches Objectiv von ungefähr der doppelten Brennweite und halb so starker Vergrößerung. *AA* mit einer Brennweite von 17,1 mm, einer numerischen Apertur von 0,30 (35° Oeffnungswinkel) und etwa gleichen Vergrößerungen wie *A*, erreicht $0,9\mu$ — 11 Streifen auf 10μ — *Nitzschia Brebissonii* —.

¹⁾ Die Systeme *a*, *a**, *aa*, *A* bis *D*, sowie diejenigen mit Correctionsfassung können ohne wesentliche Beeinträchtigung für verschiedene Tubuslängen benutzt werden. Die Nummern *AA* bis *E*, sowie *G* und *H* dagegen sind für die übliche Tubuslänge der continentalen Stative (150 bis 170 mm) justirt. Für den langen englischen Tubus (250 mm) werden diese letzteren, ebenso auch die übrigen Nummern in der in England üblichen Fassung angefertigt und besonders berechnet.

Das System *B* besitzt eine Brennweite von 10,8 mm, eine numerische Apertur von 0,315 (37,5° Oeffnungswinkel) und Vergrößerungen von 70, 100, 135, 180 und 240. Die Auflösungsgrenze liegt bei 0,9 μ , 11 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia Brebissonii* —. *BB* für continentalen und englischen Tubus hat bei Brennweiten von je 11,1 und 10,6 mm eine numerische Apertur von 0,46 und 0,50 (55 und 60° Oeffnungswinkel) und erreicht als Auflösungsgrenze bei centrischer Beleuchtung 0,67 und 0,65 μ , 15 und 16 Streifen auf 10 μ — *Stauroneis Phoenicentron* und *Nitzschia hungarica* nebst *Grammatophora marina* —, bei schiefer 0,57 und 0,55 μ , 17 bis 18 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia amphioxys* und *Grammatophora serpentina* —.

Das System *C* hat eine Brennweite von 6,6 mm, eine numerische Apertur von 0,41 (48,5° Oeffnungswinkel) und vergrößert 110-, 145-, 195-, 260 und 370 mal. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt bei 0,74 μ , 13 Streifen auf 10 μ — *Synedra pulchella* —. *CC* für continentalen und englischen Tubus besitzt bei Brennweiten von je 6,7 und 6,1 mm, numerische Aperturen von je 0,68 und 0,72 (86° und 92° Oeffnungswinkel). Das Auflösungsvermögen erreicht bei geradem Lichte 0,54 und 0,52 μ , 18 bis 19 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia amphioxys*, bei schiefer 0,41 und 0,38 μ , 25 bis 26 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia sigmoidea* —.

System *D* für kurzen und langen Tubus mit Brennweiten von je 4,4 und 4,1 mm und numerischen Aperturen von 0,615 und 0,62 (76 und 77° Oeffnungswinkel) vergrößert (an ersterem) 175-, 235-, 320-, 440- und 600 mal. Die Auflösungsgrenze liegt für gerades Licht bei 0,56 μ , 17 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia hungarica* und *Grammatophora marina*, für schiefes bei 0,44 μ — 23 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia paradoxa* und *Grammatophora oceanica*. — System *DD* für continentalen und englischen Tubus hat je 4,15 und 4,3 mm Brennweite und numerische Aperturen von je 0,80 und 0,86 (106° und 118° Oeffnungswinkel). Das Auflösungsvermögen erreicht bei centraler Beleuchtung 0,48 und 0,46 μ , 21 und 22 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia sigma* und *Nitzschia paradoxa*, wie *Grammatophora oceanica*, bei schiefer 0,34 und 0,32 μ , 29 und 30 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia obtusa* und *linearis* —.

Ein System *E* für den kurzen und ein solches für den langen Tubus mit Correctionsvorrichtung schwanken in der Brennweite zwischen 2,82 und 3 mm und besitzen eine numerische Apertur von 0,83 (112° Oeffnungsw.) Das erstere vergrößert 260-, 350-, 480-, 660- und 900 mal. Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt für beide bei centrischem Lichte bei 0,47 μ , 21 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia sigma* — bei excentrischem bei 0,33 μ , 30 Streifen auf 10 μ — *Nitzschia linearis* —.

F mit und ohne Correctionsvorrichtung, beide mir vorgelegene für den kurzen Tubus bestimmt, haben Brennweiten von resp. 2,1 und 1,9 mm, numerische Aperturen von 0,82 und 0,83 (110° und 112° Oeffnungsw.) und es betragen die Vergrößerungen 410, 550, 750, 1020 und 1390. Das Auflösungsvermögen erreicht für gerades Licht 0,47 μ , 21 Streifen auf 10 μ

— *Nitzschia sigma* —, für schiefes 0,33, 30 Streifen auf 10μ — *Nitzschia linearis* —.

Das Immersionssystem *G* (früher 1.) hat mir in fester Fassung für den kurzen und mit Correctionsfassung für den 250mm-Tubus vorgelegen. Die Brennweite beträgt je 3,1 und 3,22 mm, die numerische Apertur 1,08 und 1,10 (108° und $111,5^\circ$ Öffnungsw. im Wasser) und die Vergrößerung für ersteres 250, 340, 450, 620 und 640. Die Auflösungsgrenze wird bei centraler Beleuchtung mit $0,38\mu$, 26 Streifen auf 10μ — *Nitzschia sigmoidea* und *Grammatophora macilenta* — bei excentrischer mit $0,25\mu$, 40 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* — erreicht.

H mit fester und Correctionsfassung für den continentalen Tubus zeigen 2,5 und 2,6 mm Brennweite mit numerischen Aperturen von 1,06 und 1,10 (106° und $111,5^\circ$ Öffnungswinkel im Wasser). Die Vergrößerungen sind = 320, 440, 590, 800 und 1100 und die Grenze des Auflösungsvermögens ergibt für gerade Beleuchtung 0,39 und $0,38\mu$, 26 Streifen auf 10μ , für schiefe je 0,26 und $0,25\mu$, 38 und 40 Streifen, so dass ersteres noch eben die gröberen Exemplare von *Amphipleura* löst.

I mit Correction hat eine Brennweite von 1,8 mm, eine numerische Apertur von 1,09 (110° Öffnungswinkel im Wasser) und vergrößert 440-, 590-, 800-, 1090- und 1500 mal, während das Auflösungsvermögen dem des Correctionssystemes *H* gleich kommt.

System *K* mit einer Brennweite von 1,28 mm, einer numerischen Apertur von 1,12 ($114,5^\circ$ Öffnungsw. im Wasser) und mit Vergrößerungen von 590, 790, 1060, 1450 und 1980 erreicht bei geradem Lichte $0,37\mu$, bei schiefem $0,245\mu$ und macht sich das etwas stärkere Auflösungsvermögen durch etwas schärfere Zeichnung der Streifungen etc. geltend.

Das System *L* mit einer Brennweite von 1,1 mm und einer numerischen Apertur von 1,10 ($111,5^\circ$ Öffnungswinkel im Wasser), vergrößert 760-, 1030-, 1380-, 1890- und 2580 mal und kommt an auflösender Kraft dem vorhergehenden etwa gleich.

M besitzt eine Brennweite von 0,83 mm, eine numerische Apertur von 1,02 (104° Öffnungswinkel im Wasser) und Vergrößerungen von 1010, 1360, 1840, 2520 und 3450. Die Auflösungsgrenze liegt für gerades Licht bei $0,40\mu$, 25 Streifen auf 10μ — *Surirella Gemma* Querstreifen —, für schiefes 0,265, 36 Streifen auf 10μ — *Nitzschia corvula*, und bei sehr hellem Lichte gröbere *Amphipleura pellucida* —.

Die drei Systeme für homogene Immersion, von denen das schwächste in der Regel nur für den langen englischen Tubus angefertigt wird, zeichnen sich bei verhältnissmässig grossem, selbst bei dem stärksten noch Deckgläser von gegen 0,20 mm Dicke zulassenden Objectabstande durch so bedeutende Lichtstärke und so vorzügliches Begrenzungsvermögen vor den Systemen für Wasserimmersion aus, dass sie noch die Verwendung von sehr starken Ocularen gestatten, ohne dass die Schönheit und Schärfe des Bildes eine wesentliche Einbusse erleidet.

Das hoch gesteigerte Auflösungsvermögen macht sich, soweit die gebräuchlichen Probeobjecte in Betracht kommen, darin geltend, dass auch die schwierigsten derselben weit schärfer und deutlicher gezeichnet erscheinen, als bei den Systemen mit geringerer, jedoch die betreffenden Streifendistanzen noch erreichender numerischer Apertur.

Jedem Exemplare werden die Immersionsflüssigkeiten für den ersten Gebrauch und ausserdem ein Probefläschchen mit Crownglasprisma beigegeben, so dass man die erstere stets auf Brechungsindex und Dispersion prüfen kann.

Das $\frac{1}{8}$ " , welches mir vorgelegen, hat eine Brennweite von 2,9 mm und eine numerische Apertur von 1,22 (108° Balsamwinkel), ein zweites in Jena von mir gesehenes Exemplar von 1,25 (113° Balsamwinkel). Die Grenze des Auflösungsvermögens liegt somit für centrale Beleuchtung bei $0,35 \mu$, 28 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* —, für schiefe bei $0,23 \mu$, 43 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* — leicht gelöst. — XVIII. Gruppe der Nöbert'schen Platte —. Ein drittes Exemplar mit 3,10 mm Brennweite geht bei einer numerischen Apertur von 1,40 fast bis an die Grenze der mit den zur Zeit zu Gebote stehenden Mitteln erreichbaren Leistungsfähigkeit. Die bekannten Probeobjecte bilden für schiefe Beleuchtung, bei welcher noch eine Distanz $0,195 \mu$ — 51 Streifen auf 10μ — erreicht wird, verhältnissmässig grobe Objecte, während für gerades Licht die Distanz $0,315 \mu$, 31 Streifen auf 10μ , also die Lösung von *Nitzschia linearis* etwa die Grenze bildet. Zur vollständigen Correction der Farbenabweichung wird unterhalb des Oculares eine planconcave Correctionslinse angebracht und erscheinen dabei die Bilder in tadelloser Schärfe und Klarheit gezeichnet.

Das $\frac{1}{12}$ " für kurzen Tubus mit einer Brennweite von 2,15 mm und einer numerischen Apertur von 1,25 (113° Balsamwinkel) vergrössert 390-, 520-, 700-, 950- und 1300 mal.

Das $\frac{1}{18}$ " , welches mir in je einem Exemplare für den englischen und continentalen Tubus vorgelegen hat, besitzt eine Brennweite von 1,31 und 1,32 mm, eine numerische Apertur von 1,27 (116° Balsamw.) und vergrössert an dem letzteren 590-, 790-, 1060-, 1450- und 1980 mal.

Das Auflösungsvermögen reicht bei beiden Nummern für centrale Beleuchtung $0,34 \mu$, 29 Streifen auf 10μ — *Nitzschia obtusa* — für schiefe $0,22 \mu$, 45 Streifen auf 10μ — *Amphipleura pellucida* leicht —. XIX. Gruppe der Nöbert'schen Platte.

II. Mikroskope ausländischer Werkstätten.

G. B. Amici, Professor und Director des Observatoriums zu Florenz. Sobald die ersten Versuche der beiden Chevalier in Paris zur Herstellung achromatischer Objectivsysteme für das Mikroskop und deren Erfolge bekannt wurden, wendete sich auch Amici seinen früheren,

zeitweise verlassenen Untersuchungen in dieser Richtung wieder zu und verlegte sich auf die Construction solcher Systeme. Seine Bestrebungen wurden von solchem Erfolge gekrönt, dass er schon 1827 ein aplanatisches Mikroskop vorlegen konnte, welches die Chevalier'schen wo nicht übertraf, doch mindestens erreichte. Von besonderem Vortheil für die Vervollkommnung der Amici'schen Mikroskope war der Umstand, dass Amici nicht nur praktisch und theoretisch gebildeter Optiker, sondern auch tüchtiger wissenschaftlicher Beobachter war und so die Bedürfnisse des ausübenden Mikroskopikers in vollem Maasse würdigen und denselben gerecht werden konnte. Es gingen deshalb auch aus seinen Händen seit 1827 bis zu seinem Tode Instrumente hervor, welche sich — in ihrem optischen Theile zum wenigsten — der vollkommensten Anerkennung der Forscher zu erfreuen hatten.

Seit dem 10. April 1863 ist der tüchtige Forscher und Optiker nicht mehr unter den Lebenden. Da sich indessen eine nicht geringe Zahl von Instrumenten noch heute in den Händen von Anatomen und Aerzten befindet, sich mithin wohl Gelegenheit bieten wird, ein solches zu erwerben, habe ich den Erzeugnissen Amici's einen Platz auch in dieser Auflage umsoweniger versagen zu dürfen geglaubt, als für diese Aufnahme auch Gründe der Pietät und des geschichtlichen Interesses sprechen.

Von den grösseren Instrumenten Amici's ist mir nur ein ganz vorzügliches älteres aus dem Ende der 40er Jahre bekannt, während ich von den neueren nur ein mittleres Mikroskop zu sehen und zu prüfen Gelegenheit hatte. Ich werde mich daher in dem Folgenden im Allgemeinen an die in der 1. Auflage schon aufgenommenen Mittheilungen von Dr. Lambl in Prag halten (Vierteljahresschrift für praktische Heilkunde etc. 1859, I. Reisebericht, S. 200 u. f.), der mit den Amici'schen Mikroskopen aufs Genaueste bekannt ist.

Amici construirte drei verschiedene Mikroskopformen, ein grosses, ein mittleres und ein Taschenmikroskop, von denen jedes eine ganz bestimmte optische Ausstattung erhält.

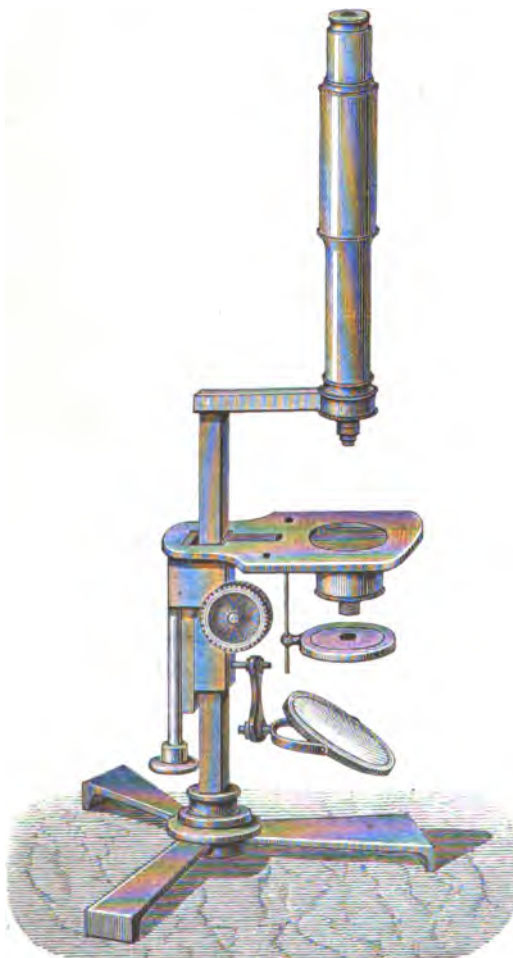
Das Stativ des grossen Mikroskopes Fig. 321 (a. f. S.) ist im Wesentlichen in seiner mechanischen Einrichtung noch den älteren gleich, und hat Amici nur den Beleuchtungsapparat dahin verändert, dass er an die Stelle des Spiegels das nach ihm benannte Prisma gesetzt hat, welches umfänglichen Wechsel der Beleuchtung gestattet, sowohl was die Richtung der Lichtstrahlen, als deren Intensität betrifft. Dasselbe wird mit sechs Objectivsystemen, Serie I bis VI, und zwei Ocularen ausgestattet, und es wechselt sein Preis je nach der Beigabe von Nebenapparaten von 600 bis 800 Franken (480 bis 645 Mark).

Die Serie I, welche mit den beiden Ocularen bei verkürzter (normaler) Rohrlänge Vergrösserungen von 78- und 100 mal liefert, dient sowohl für die Beobachtung mittelst durchgehenden, als mittelst auffal-

lenden Lichtes, welch letztere Beleuchtungsweise durch das Amici eigenthümliche Prisma bewirkt wird.

Serie II mit Vergrösserungen von 200 und 258 ist, wie die vorige, für beiderlei Beleuchtungsweisen, also sowohl zur Beobachtung durch-

Fig. 321.



sichtiger wie undurchsichtiger Gegenstände bestimmt. Zur Beleuchtung der letzteren dient, wenn sie grösser sind, das erwähnte Prisma, wenn sie dagegen klein sind, ein silberner Lieberkühn, der an das System unten angeschraubt wird.

Serie III mit Vergrösserungen von 420- und 541 mal, ist blos zur Beobachtung durchsichtiger Gegenstände ohne Deckglas bestimmt, verträgt indessen auch noch ein sehr dünnes Deckglas, ohne dass die Bilder wesentlich beeinträchtigt werden.

Serie IV mit Vergrösserungen von 433 und 577 ist nur für die Beobachtung durchsichtiger Gegenstände geeignet, welche mit einem Deckglase von 1,1 mm bedeckt sind. In engen Grenzen kann indessen diese Dicke wechseln, ohne dass die Schärfe und Klarheit der Bilder leidet.

Serie V ist zum Eintauchen in Wasser bestimmt und hat mit der vorhergehenden etwa gleiche Vergrösserungskraft. Dieselbe ist gleichfalls nur für die Beobachtung durchsichtiger, bedeckter Gegenstände eingerichtet, aber keineswegs an so enge Grenzen in der Deckglasdicke gebunden, wie jene, da hier die Wasserschicht die betreffenden Compensationen bewirkt.

Serie VI, mit Vergrößerungen von 866- und 1154 mal, ist zum Eintauchen in Oel eingerichtet, wozu man je nach Umständen ganz reines klares Mohnöl, Süssmandelöl, Anisöl, oder verschiedene Oelmischungen verwendet. Auch hier ist man, wie bei V, nicht an eine ganz bestimmte Dicke des Deckglases gebunden, und kann diese in noch weiteren Grenzen zwischen dem Abstände der unteren Linsen vom Objecte schwanken, als bei jener, da das Oel an Brechungsvermögen dem Material, aus welchem die untere Linse besteht, fast gleichkommt.

Das mittlere Mikroskop wird auf den Kasten aufgeschraubt. In seinen Einrichtungen für Einstellung und Beleuchtung bietet es so ziemlich das Gleiche, wie das grössere Mikroskop. Es gehören zu diesem Instrumente drei Objectivsysteme, von denen eines zum Eintauchen in Wasser dient, nebst zwei Ocularen und es beträgt dessen Preis 200 Franken (160 Mark), was im Verhältniss zu den Leistungen äusserst billig ist.

Von einem dieser Instrumente hatte ich in den sechziger Jahren Gelegenheit, die Objectivsysteme kennen zu lernen und eine Serie von in dem Besitze des Hrn. Professor Schiff befindlichen Immersionssystemen für Wasser, Glycerin und Oel sah ich 1874 in Florenz.

Das schwächste, welches an vergrößernder Kraft etwas über dem Systeme *A* von Zeiss zu stehen schien, gewährte ganz schöne und klare Bilder, jedoch waren dieselben nicht ganz ohne Farbe.

Das mittlere System, etwas stärker, als das System *D* von Zeiss, gewährte sehr scharfe, klare und dabei völlig farbenfreie Bilder von organischen Objecten, mit denen ich etwa diejenigen des genannten Systemes von Zeiss vergleichen möchte. Auf der Schale von *Pleurosigma attenuatum* wurden die Querstreifen bei direct auffallendem Lichte deutlich gesehen und bei schiefer Beleuchtung traten auch die Sechsecke des *Pleurosigma angulatum* bestimmt hervor.

Das stärkste System, welches etwa dem System 9 von Hartnack gleichkommt, ist zum Eintauchen in Wasser bestimmt. Die Sechsecke auf der Schale von *Pleurosigma angulatum* lassen sich bei centraler Beleuchtung schon erkennen, deren Zeichnung ist aber — wenn ich so sagen darf — etwas duftig, so dass sie nicht ganz so scharf hervortritt, wie bei dem Systeme 9 von Hartnack. Mittelst schief einfallenden Lichtes löst man sicher sämmtliche der schwierigeren Probeobjecte, denn die Querstreifen der *Grammatophora subtilissima*, die mir zur Zeit blos zur Verfügung stand, habe ich deutlich erkannt. In Bezug auf das Bild organischer Objecte erreichte das System die Hartnack'schen nicht ganz, dieselben erschienen mir etwas milchig, nicht ganz so klar, wie bei den letzteren, und obwohl die Grenzen im Sonstigen scharf gezogen erschienen, traten doch schmale, bläuliche Farbensäume hervor. Jedenfalls gehört indessen das System zu denen, welche die höchste optische Kraft repräsentiren und bei der Erforschung der feinsten Structurverhältnisse ihre vorzüglichen Dienste leisten.

Die 1874 kennen gelernten Systeme, die ich allerdings nicht vollständig und nach allen Richtungen prüfen konnte, bekundeten eine weitgehende auflösende Kraft, welcher eine über 1,00 hinausgehende numerische Apertur entspricht, einzelne derselben liessen dabei auch in Bezug auf die Klarheit und Schärfe des Bildes nichts zu wünschen übrig.

253 Nachet et fils in Paris (rue Saint-Séverin, 17). Von Nachet sind in früheren Jahren eine nicht unbedeutende Anzahl von Mikroskopen, namentlich auch der kleineren Form, in Deutschland verbreitet gewesen. Dieselben wurden von manchen Seiten den besseren deutschen Instrumenten stets gleich oder gar über dieselben gestellt. Namentlich fanden die während der 34. Naturforscherversammlung in Wien im Herbst 1856 ausgestellten Modelle grosse Anerkennung, wobei indessen zugleich constatirt wurde, dass der optische Apparat dem der besseren deutschen Mikroskope nicht überlegen sei. Das gleiche Verhältniss besteht nach dem, was mir bekannt geworden ist, auch gegenwärtig noch

Fig. 322.



und es bewährt die Werkstätte ihren alten Ruf auch in der neuesten Zeit noch immer.

Das neue grosse Stativ (Fig. 322) hat einen hufeisenförmigen Fuss, von dem aus sich die beiden senkrechten Säulen erheben, auf denen mittelst der horizontalen Achse der ganze Körper ruht, so dass das Mikroskop von der senkrechten bis zur horizontalen in jede beliebige Richtung gebracht werden kann und fest stehen bleibt. Der grosse, mit einer schwarzen Glastafel bedeckte Objecttisch ist um seine Achse drehbar und ausserdem ist noch ein besonderer Tisch beigelegt, der die geradlinige Bewegung des Gegenstandes in verschiedenen Richtungen

gestattet. Die Einstellungsrichtungen sind die ähnlichen, wie bei den grossen englischen Stativen. Die grobe Einstellung kann sowohl mittelst Verschiebung des Rohres in der Führungshülse als durch Zahn und Trieb, welcher die Führungshülse bewegt, bewerkstelligt werden. Die feine ist ebenfalls eine zweifache und wird mittelst zweier Mikrometerschrauben ausgeführt, von welchen die eine die Hebung und Senkung des Rohres bewirkt, die andere, an dem unteren Ende des Tubus angebrachte, eine Röhre bewegt, an deren unterem Ende die Objectivsysteme angeschraubt werden. Die letztere Einstellvorrichtung ist so construirt, dass sie bei einem Druck der Objective auf das Deckglas elastisch nachgibt. Der Spiegel ist mittelst eines gegliederten Armes nach vorn aus der Achse beweglich, und die versenkbaren Cylinderblenden können mittelst Schlittens gewechselt und durch eine Hebelvorrichtung in senkrechter Coulissee gehoben und gesenkt werden. Als weiteres Unterstützungsmittel für die Beleuchtung dient der Condensor, welcher in die gedachte Coulissee eingeführt werden kann. Er ist sowohl in horizontaler, als in senkrechter Richtung beweglich und mit Diaphragmen zur Abhaltung der Achsen- oder der Randstrahlen versehen, so dass eine möglichst vielseitige Beleuchtungsweise in Anwendung kommen kann.

Zu diesem Stative giebt N a c h e t die Trockensysteme 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und das Immersionssystem 9, wovon Nr. 6 bis 8 mit Verbesserungseinrichtung, ferner vier Oculare mit solcher Einrichtung, dass man ohne Verschraubung der Linsen ein Ocularmikrometer einlegen und dasselbe in die passende Entfernung vom Auge bringen kann. Weiter kommen noch als Nebenapparate hinzu: ein Goniometer, ein Polarisationsapparat, ein Quetscher, ein Amici'sches Prisma, eine grosse Beleuchtungslinse auf eigenem Fuss, ein Objectglasmikrometer, eine Sammlung von Dissectionsinstrumenten etc. Der Preis beträgt 1500 Franken, und kommt das Immersionssystem Nr. 11 hinzu, 1800 Franken.

Ein ähnliches Mikroskop zum Umlegen, das „grosse Modell Nr. 2“ Fig. 323 (a. f. S.) mit etwas vereinfachter Einrichtung, grober Einstellung durch Tubusverschiebung, mit den Trockensystemen 2, 3, 5, 6, 7 und dem Immersionssystem 9, drei Ocularen, Ocular- und Objectglasmikrometer, Zeichnungsapparat, Beleuchtungslinse etc. kostet 720 Franken.

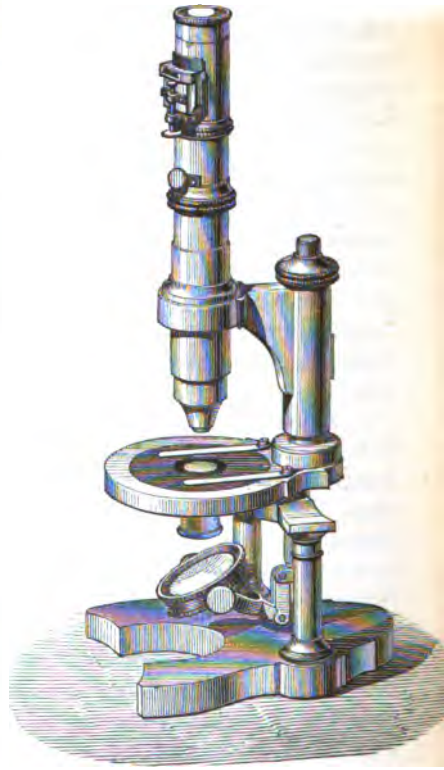
Das grosse, nicht neigbare Stativ, Fig. 324 (a. f. S.), besitzt im Wesentlichen dieselbe Einrichtung, wie das eben beschriebene, und unterscheidet sich nur durch die Blendungsvorrichtung, welche, statt des Schlittens mit Hebel, aus einer unter dem Objecttisch drehbaren Platte besteht, welche in einer Hülse die senkrecht verschiebbaren Cylinderblenden aufnimmt. Es bietet dieses somit alle Vortheile der grossen Stative und kostet mit den Objectivsystemen 3, 5, 6, 7, Immersion-9, drei Ocularen etc. 580 Franken.

Das mittlere feste Mikroskop Nr. 6 des Preisverzeichnisses besitzt ein zum Arbeitsmikroskop sehr bequemes und völlig ausreichendes Stativ mit drehbarem, grossem runden Tisch und einem optischen Apparat

von fünf Objectivsystemen 3, 5, 6, 7, Immersion 9, drei Ocularen und einem Ocularglasmikrometer. Der Preis stellt sich auf 460 Franken.

Fig. 323.

Fig. 324.



Das neue mittlere Modell (Fig. 325) auf einfacher Säule zum Ueberlegen mit Zahn und Trieb, aber ohne drehbaren Tisch, mit den Objectivsystemen 3, 5, 6, 7, Immersion 9 und drei Ocularen kostet 500 Franken.

Von kleineren Mikroskopen führt Nachet verschiedene, von denen ich namentlich die unter Nr. 8 und 10 in dem Preisverzeichnisse aufgeführten (Fig. 326 und 327, a. S. 514) hervorheben möchte. Dieselben gleichen, wie aus den Figuren zu ersehen ist, so ziemlich dem früher beschriebenen Mikroskope VIII von Hartnack und unterscheiden sich nur durch den Fuss, dann durch die Blendungsvorrichtung, welche bei dem einen aus hervorschlagbarer Cylinderblendung, bei dem andern aus einer drehbaren Scheibe mit drei verschieden weiten Oeffnungen besteht.

Mit den Objectivsystemen 3, 6, 7 drei Ocularen, einer kleinen Beleuchtungslinse und anderen Kleinigkeiten ausgerüstet, kostet Nr. 8, zum

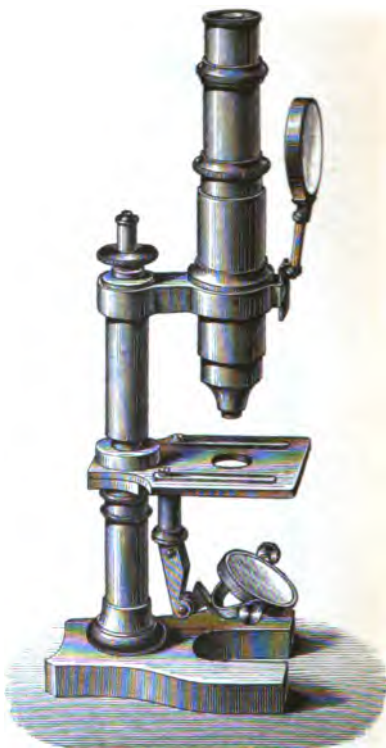
Fig. 325.



Ueberlegen eingerichtet, 260 Franken. Nr. 10 210 Franken und wenn letzteres nur die Objective 3, 6 und zwei Oculare beigegeben erhält, 160 Franken.

Objectivsysteme führt Nachet zwölf verschiedene Nummern, und zwar acht Trockensysteme und vier Immersionssysteme. Dieselben bilden folgende Reihe, in welcher Bezeichnung, Brennweite und Preis nach dem Nachet'schen Preisverzeichnisse angegeben sind.

Fig. 326.

Fig. 327.


1. Trockensysteme.

Nr. 1	—	75	mm	zu	25	Franken			
" 2	—	50	"	"	20	"			
" 3	—	25	"	"	20	"			
" 4	—	12,5	"	"	25	"			
" 5	—	6,5	"	"	30	"			
" 6	—	3,8	"	"	35	"	mit	Correction	70 Franken
" 7	—	2,8	"	"	40	"	"	"	80 "
" 8	—	2,3	"	"	60	"	"	"	100 "

2. Immersionssysteme.

Nr. 9	—	1,8	mm	zu	100	Franken,	mit	Correction	150 Franken
" 10	—	1,3	"				"	"	200 "
" 11	—	1,0	"				"	"	300 "
" 12	—	0,6	"				"	"	400 "

Ich habe Gelegenheit gehabt, mehrere Nachet'sche Mikroskope, darunter einige kleine und ein grosses zu 660 Franken, kennen zu lernen und zum Theil näher zu prüfen.

Die mechanische Arbeit an diesen Instrumenten verdient alles Lob, namentlich ist sein grösstes Stativ ein wahres Muster prächtigen Baues. Von den Objectivsystemen habe ich nur die Nummern 1, 3, 5 der gewöhnlichen Form, d. h. ohne Verbesserungseinrichtung aus dem Anfange der 70 er Jahre untersucht. Leider war es mir bisher nicht vergönnt, eines oder das andere der Systeme mit Verbesserungseinrichtung, oder der in neuester Zeit auch zum Eintauchen construirten Systeme zu sehen und zu prüfen. Da die von mir bei centraler Beleuchtung erlangten Resultate, mit denen anderer Mikroskopiker (v. Heurck) übereinstimmen, so geben sie wohl die Leistungen in der Höhe, welche die entsprechende der betreffenden Objectivsysteme ist.

System 1 (neu 3) mit einer Brennweite von 25 mm löst bei einer mit dem zweiten Ocular erhaltenen 130- bis 140 fachen Vergrösserung *Pinularia nobilis*, sowie die feiner gezeichneten Schüppchen von *Lepisma saccharinum* auf und gewährt ein scharfes und farbenfreies Bild von organischen Objecten.

System 3 (neu 5) mit einer Brennweite von 6 mm löst mit Ocular II bei einer etwas über 400 fachen Vergrösserung *Nitzschia hungarica* und *Pleurosigma attenuatum* deutlich, und gewährt von organischen Gegenständen gleichfalls ein scharfes, aber nicht ganz farbloses Bild.

System 5 (neu 7) mit einer Brennweite von 3 mm löst bei einer etwa 550 fachen Vergrösserung noch eben *Nitzschia paradoxa* und zeigt die sechseckige Felderung von *Nitzschia paradoxa* scharf und klar. Die Bilder organischer Objecte sind scharf gezeichnet und farblos.

Ein Immersionssystem Nr. 8, dessen Brennweite 1,6 mm betragen soll, wurde von Professor von Heurck näher geprüft und giebt derselbe an, dass er bei centraler Beleuchtung die achte Nobert'sche Gruppe, bei schiefem Lichte aber *Navicula rhomboides* typ. (*Vanheurckia viridula*) und unter Anwendung von monochromatischem Lichte noch *Amphipleura pellucida* löse, so dass dessen numerische Apertur jedenfalls über 1,00 hinausgeht. Auch Pelletan rühmt die Leistungen dieses Systemes in Bezug auf *Surirella Gemma* und Conte Castracano stellt dessen Unterscheidungsvermögen sehr hoch.

Die Oculare 1, 2 und 3 werden zu je 10 Franken berechnet. Die Nebenapparate erhält man von Nachet: soweit mir dieselben bekannt geworden sind, in sehr schöner Ausführung und verhältnissmässig billig, z. B. ein Mikrometerocular à 15 Franken, ein Objectmikrometer (1 mm = 100 Theile) à 8 Franken, Prisma zur Bildumkehrung à 25 Franken, Condensor für gerades Licht à 25 Franken, für schiefes Licht à 15 Franken, Amici's Prisma à 25 Franken, die Camera lucida, um auf horizontaler Fläche zu zeichnen, à 25 Franken, ein Goniometer à 25 Franken, Quetscher à 25 Franken, Polarisationsapparat à 40 Franken.

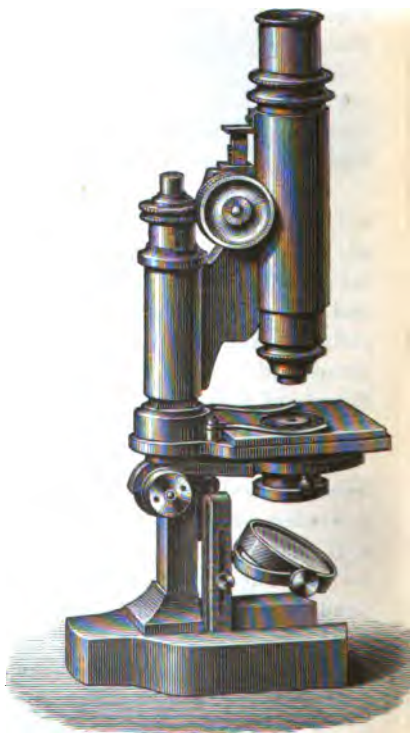
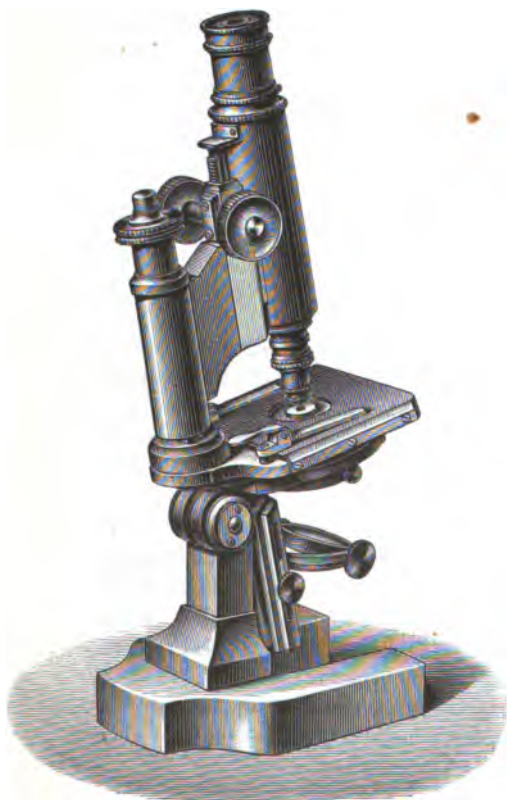
254 **Prazmowsky**, Paris, rue Bonaparte Nr. 1, war längere Jahre Theilhaber der Hartnack'schen Firma, steht aber jetzt, nachdem Hartnack seine Werkstätte nach Potsdam verlegt und sich von dem Pariser Geschäfte in den letzten Jahren vollständig getrennt hat, dem ehemaligen Oberhäuser'schen Institute allein vor. Die Stative sind dieselben geblieben, wie die der früheren Firma, ebenso tragen die Objectivsysteme dieselbe Nummer; auch die Preise der ersteren, wie der letzteren, sind denen der Hartnack'schen Werkstätte gleich. Nach allen Urtheilen, welche mir bekannt geworden sind, halten sich die Leistungen der Prazmowski'schen Werkstätte ganz auf der Höhe, welche sie während der Zeit des vereinten Wirkens der beiden hervorragenden Optiker erreicht hatten.

255 **M. C. Verick**, Rue de la Parchimenerie Nr. 2, ist ein Schüler Dr. Hartnack's und hat seine eigene Werkstätte erst seit Anfang der siebziger Jahre begründet.

Das grosse Stativ (Fig. 328) gleicht demjenigen Hartnack's, hat aber etwas massiveren Fuss und Säule. Ausserdem kann das Rohr, wie bei

Fig. 328.

Fig. 329.



den Nacet'schen grossen Instrumenten, ganz herausgenommen und auch durch Verschiebung bewegt werden; der Spiegel gestattet Schiefstellung nicht nur nach den Seiten, sondern auch nach vorn, so dass diese Bewegung schon eine wünschenswerthe Aenderung der Einfallrichtung des schiefen Lichtes gestattet. Mit den Objectivsystemen 0, 2, 3, 6, 7 und 10 (Wasserimmersion mit Correction), drei Ocularen, wovon eines mit Ocularmikrometer und grosser Beleuchtungslinse ausgerüstet, beträgt der Preis 750 Franken (600 Mark).

Das mittlere Stativ (Fig. 329) ist dem vorigen ähnlich gebaut, nur in etwas kleineren Raumverhältnissen. Erhält dasselbe die Objectivsysteme 0, 2, 6, 8, drei Oculare und eine Beleuchtungslinse beigegeben, so wird es zu 550 Franken (440 Mark) ohne Einstellung mit Zahn und Trieb zu 500 Franken (400 Mark) berechnet.

Ein in seinen Dimensionen noch etwas kleineres Stativ hat grobe Einstellung durch Rohrschiebung. Mit den Objectivsystemen 0, 2, 6 und 7 und drei Ocularen kostet dasselbe 390 Franken (282 Mark).

Fig. 330.

Fig. 331.



Das kleine Stativ (Fig. 330) zum Ueberlegen mit festem Objecttisch hat grobe Einstellung durch Verschiebung und einen allseitig beweglichen Spiegel, um das schiefe Licht in verschiedenen Richtungen auf das Object

leiten zu können. Erhält dasselbe die Objectivsysteme Nr. 2, 6, 7, und zwei Oculare beigegeben, so beträgt sein Preis 260 Franken (208 Mark).

Das kleine Stativ Nr. 5 hat einen runden Fuss und ist zum Ueberlegen zwischen zwei Säulen aufgehängt. Der Spiegel ist, wie bei den vorbergehenden allseitig beweglich. Mit dem Objectivsysteme Nr. 5 und einem Oculare beträgt sein Preis 110 Franken (88 Mark).

Das kleinste Stativ (Studentenmikroskop) (Fig. 331, a. v. S.) mit Objectiv Nr. 2 oder Nr. 6 und 1 Ocular wird zu 95 beziehentlich zu 105 Franken (76 bis 84 Mark) berechnet.

Verick liefert 15 Nummern von Objectivsystemen, welche nach dem Urtheile von Professor Dr. v. Heurck's, dem die Nr. 2, 3, 6, 7, 8, 9 und 10 vorgelegen haben, den Vergleich mit denjenigen anderer Werkstätten auszuhalten im Stande sind und wohl eine der Hartnack'schen ähnliche Construction besitzen. Der Preis für die Einzelnummern mit folgenden Brennweiten beträgt:

Nr. 00 — 62,5 mm 20 Franken, Nr. 0 — 50 mm 20 Franken, Nr. 1 — 25 mm 20 Franken, Nr. 2 — 12,5 mm 25 Franken, Nr. 3 und Nr. 4

Fig. 332.



— 6,5 mm 35 Franken, Nr. 6 — 4 mm 35 Franken, Nr. 7 alt und Nr. 7 neu — 2,5 mm, je 40 und 75 Franken, Nr. 8 — 2,5 mm 60 Franken, Nr. 8 2,5 mm 100 Franken, Nr. 9 — 1,2 mm, die Systeme für Immersion und Correction 1,28 mm, 150 Franken, Nr. 10 — 1,5 mm 200 Franken, Nr. 11 — 1,4 mm 250 Franken, Nr. 12 — 1,2 mm 500 Franken, Nr. 13 — 0,95 mm 350 Franken.

Arthur Chevalier, Paris, Palais-Royal 153, ist der Sohn und Nachfolger von Ch. Chevalier, welchem nebst Amici die Vervollkommnung des zusammengesetzten Mikroskopes in den dreissiger Jahren den damals ge-

nommenen höchst wichtigen und folgenreichen Aufschwung verdankt. Früher eine weltbekannte Werkstätte, war — in Folge eines Augenleidens des früheren Leiters — der Ruf in Bezug auf die Herstellung von Mikroskopen in den letzten dreissig Jahren bedeutend hinter demjenigen anderer Werkstätten zurückgeblieben. Erst dem Sohne war es vergönnt, den alten Ruf wieder herzustellen.

Das grosse, unter dem Namen „das Strauss'sche Mikroskop“ bekannte Stativ (Fig. 332) hat einen grossen, schweren Hufeisenfuss und ist zum Ueberlegen zwischen zwei geschweiften Säulen aufgehängt. Der Objecttisch besitzt den Tyrrell'schen Schlitten für Horizontalbewegung. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb, die feine durch über der Tubussäule befindliche Mikrometerschraube bewirkt. Der Spiegel ist senkrecht und seitlich verstellbar und die Blendungsvorrichtung besteht aus Cylinderblenden und Drehscheibe. Wird dasselbe mit den festen Systemen 1, 2, 3, 4, den Correctionssystemen 5, 6, 7, 8, 9, drei Ocularen und einer Reihe von Nebenapparaten ausgerüstet, so stellt sich sein Preis auf 1300 Franken (1240 Mark).

Ein sehr vollkommenes Stativ bildet das etwas kleinere Stativ (Fig. 333), welches dem vorigen im Baue ähnlich ist und grobe Ein-

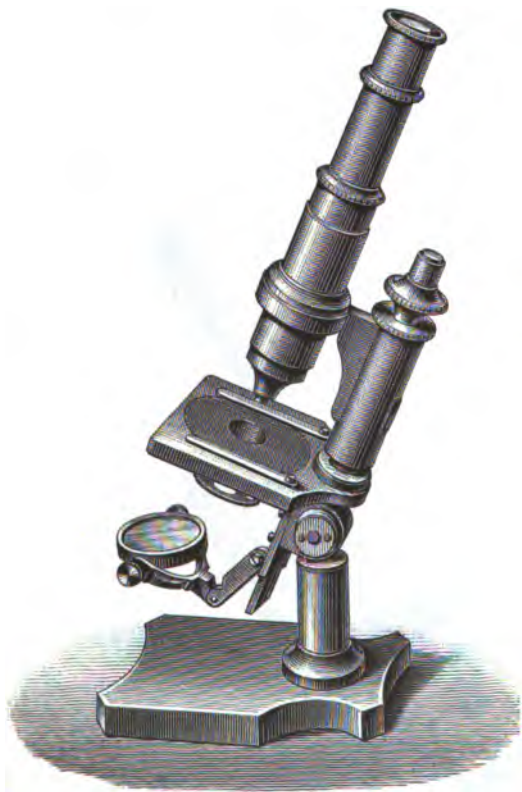
Fig. 333.



stellung mittelst Rohrschiebung besitzt. Der drehbare Objecttisch ist mit einer schwarzen Glasscheibe bedeckt. Der Spiegel ist an einem gegliederten, sich um den Träger drehenden Arm befestigt und gestattet auf diese Weise schiefes Licht von allen Seiten zu geben, während die Blendungsvorrichtung aus einer drehbaren durch Zahn und Trieb senkrecht beweglichen Scheibe besteht, in welcher sich die Blendungen, der Condensor und der Polarisator einsetzen lassen.

Eine vollständige Ausrüstung dieses Mikroskopes besteht aus den Trockensystemen 1, 2, 3, 5, 8, 9, dem Immersionssysteme 10, drei Ocularen und einer Anzahl sonstiger Beigaben und kostet es dann 680 Franken (544 Mark). Werden nur die Objectivsysteme 2, 3, 5, 6 und 8 und drei

Fig. 334.



Oculare geliefert (nebst den sonstigen Beigaben), so vermindert sich der Preis auf 500 Franken (400 Mark).

Das mittlere Stativ (Fig. 334) zum Ueberlegen und mit drehbarem Objecttisch wird in der Regel mit den Trockensystemen 2, 3, 5, 8, 9, dem Immersionssysteme 10, drei Ocularen, Objectivmikrometer und Mikrometerocular ausgerüstet und kostet 480 Franken (384 Mark).

Das kleine Stativ Nr. 6 des Verzeichnisses (Fig. 335) mit drehbarem Objecttische, erhält gewöhnlich vier Objective: 2, 3, 5, 8, drei Oculare und eine am Tische anzubringende Beleuchtungslinse beigegeben und kostet 350 Franken (280 Mark), während das kleine feste

Stativ Nr. 4 (Fig. 336) mit festem Objecttisch bei ähnlicher Ausstattung um 190 Franken (152 Mark) abgegeben wird.

Die Objectivsysteme Chevalier's bilden 19 Nummern, 13 Trockensysteme und 6 Immersionssysteme, deren Brennweiten und Preise hier folgen.

Fig. 335.

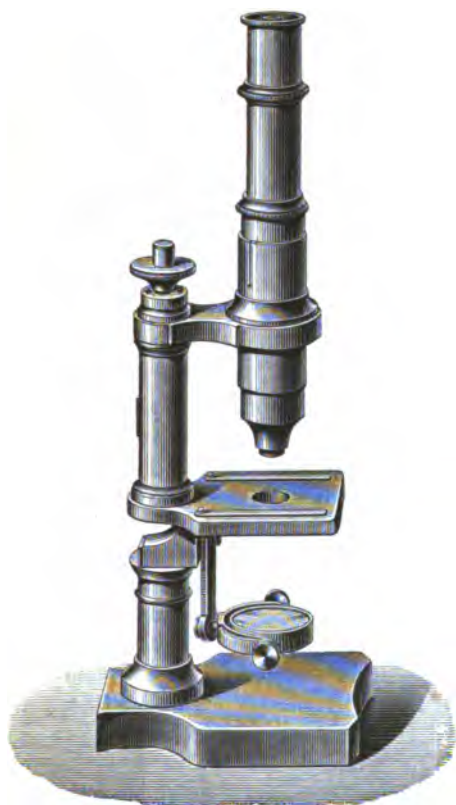


Fig. 336.



I. Trockensysteme:

Nr.	50	mm	25	Fr.	=	20	Mark
" 2	16	"	30	"	=	24	"
" 3	12	"	30	"	=	24	"
" 4	6,5	"	30	"	=	24	"
" 5	5	"	35	"	=	28	"
" 6	4	"	35	"	=	28	" mit Correction
" 7	3	"	40	"	=	32	" " " 75 " = 60 "
" 8	2,5	"	50	"	=	40	" " " 100 " = 80 "
" 9	2,0	"	80	"	=	64	" " " 125 " = 100 "

II. Immersionssysteme:

Nr. 8	2,5 mm	70	Fr. = 56	Mark, mit Correction	125	Fr. = 100	Mk.
" 9	2,0	" 100	" = 80	" " "	150	" = 120	"
" 10	1,5	" 150	" = 120	" " "	200	" = 160	"

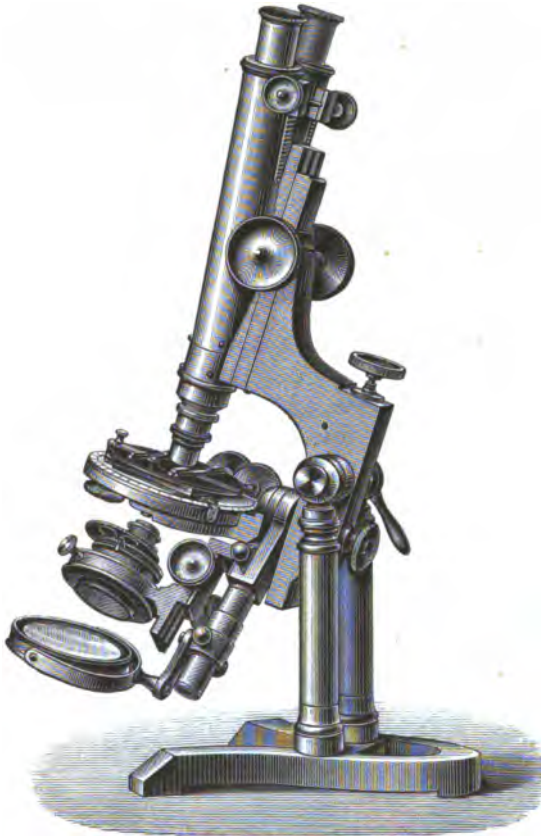
In Bezug auf ihre optische Leistung stehen die von Professor van Heurck näher geprüften Objectivsysteme etwa auf gleicher Höhe mit den entsprechenden Nummern anderer Werkstätten.

257 **Ross & Comp., London, New Bond Street 164,** ist wohl die am längsten bekannte, von Andrew Ross gegründete optische Werkstätte Englands, welche sich sowohl früher als in neuester Zeit unter Mr. Wenham's Leitung einen bedeutenden Ruf erworben hat. Bis zur jüngsten Zeit führten die genannten Optiker zwei verschiedene Reihen von Stativen, welche unter dem Namen Modell Ross und Modell Jackson bekannt waren. In neuester Zeit ist ein neues grosses Stativ — „Ross' Improved Microscope“ — hinzugekommen, welches eine zweckmässig vereinfachte Form von Zentmayer's sogenanntem „Centennial-Stand“ bildet und in vier verschiedenen Grössen (Nr. 4 ist für Studierende bestimmt und vereinfacht) mit einfachem Rohr und ohne Etuis zu dem Preise von 26 Pf. St. 5 sh (525 Mark), 21 Pf. St. (420 Mark), 15 Pf. St. 15 sh (315 Mark) und 8 Pf. St. 8 sh 6 d (168,5 Mark) abgegeben wird.

Da dieses Stativ (Fig. 337) wohl die früheren Modelle verdrängen dürfte und auch schon in Deutschland einige Verbreitung gefunden hat, beschränken wir uns hier auf die Beschreibung desselben und verweisen wegen der anderen Stativformen auf die betreffenden englischen Werke. Der Fuss besteht bei der neuesten verbesserten Form aus einem schweren hufeisenförmigen Messingstücke, von welchem aus sich zwei starke Rundsäulen erheben, welche den zum Ueberlegen eingerichteten Körper des Instrumentes tragen. Der letztere enthält an einem starken geschweiften ausgehöhlten Träger das Rohr, den Objecttisch und das Fussstück zur Aufnahme des Beleuchtungsapparates. Die feine Einstellung befindet sich in der Höhlung des Armes und besteht aus einem Hebel, welcher durch die darüber befindliche Schraube bewegt wird, und einer mit ihr in Verbindung stehenden Schieberstange, welche das Rohr hebt und senkt, so dass dessen Länge, die bei den sonst an englischen Stativen gebräuchliche Einrichtung bekanntlich etwas wechselt, ungeändert bleibt. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb bewirkt und soll äusserst sorgfältig gearbeitet sein, so dass sie selbst bei ziemlich starken Objectiven noch zur feinen Einstellung dienen kann. Der Objecttisch, welcher nach

den Angaben Mr. Wenham's gebaut ist und sich durch seine sehr geringe Dicke auszeichnet, ruht auf einem kreisförmigen Rahmen, welcher

Fig. 337.



an dem unteren Theile des geschweiften Armes mittelst eines in eine centrische Oeffnung passenden, durch einen an der hinteren Seite des letzteren befindlichen Schraubenknopf um seine horizontale Achse drehbaren Zapfens befestigt ist. Derselbe besteht aus einer geschwärzten, 2 mm dicken runden, zwei zum Einschieben des Objectes dienende Nuten tragenden Messingplatte und kann mittelst eines in eine doppelte Zahnstange greifenden Getriebes vor — und rückwärts und vermöge einer eigenen Einrichtung seitlich bewegt werden. Diese Bewegungen werden nemlich mittelst zweier Schraubenknöpfe ausgeführt, welche zu einander concentrisch sind, indem die Achse des einen, welcher auf das Getriebe wirkt, von einer Stahlwelle durchsetzt wird, die in der Schraube endigt, deren Knopf zur seitlichen Bewegung dient. Die Unterlage des beschrieb-

benen eigentlichen Tisches bildet eine zweite kreisförmige, in einem Rahmen drehbare, mit Kreistheilung versehene Platte, welche zur Winkelmessung und mit einer weiteren entsprechenden Theilung versehen auch als „Finder“ dienen kann.

Mittelst des oben erwähnten, mit dem Rahmenezapfen in Verbindung stehenden Schraubenknopfes kann der Objecttisch um seine horizontale Achse gedreht, also bei schiefer Beleuchtung, den Schlitten nach unten, ganz umgekehrt und in jeder Stellung festgestellt werden.

Der Träger des aus dem an einem besonderen Stück befestigten, abnehmbaren, senkrecht verstellbaren, sogenannten „substage“ und dem an gegliederten Armen befindlichen, nach Wegnahme des „substage“ als alleiniger Beleuchtungsapparat dienenden gleichfalls senkrecht verschiebbaren Doppelspiegel bestehenden Beleuchtungsapparates ist seitlich aus der Achse drehbar und lässt mittelst einer Gradtheilung den jeweiligen Neigungswinkel ablesen und so den Grad der Excentricität des Beleuchtungskegels feststellen. Die Röhre des „substage“ ist drehbar und kann mittelst zweier Schrauben centrirt, sowie mittelst einer dritten in jeder Stellung festgestellt werden. In der Regel besitzt dieses Stativ (wie die grösseren englischen Instrumente überhaupt) den Bino-ocular-tubus von Wenham, es kann aber auch mit nur einem Tubus versehen werden.

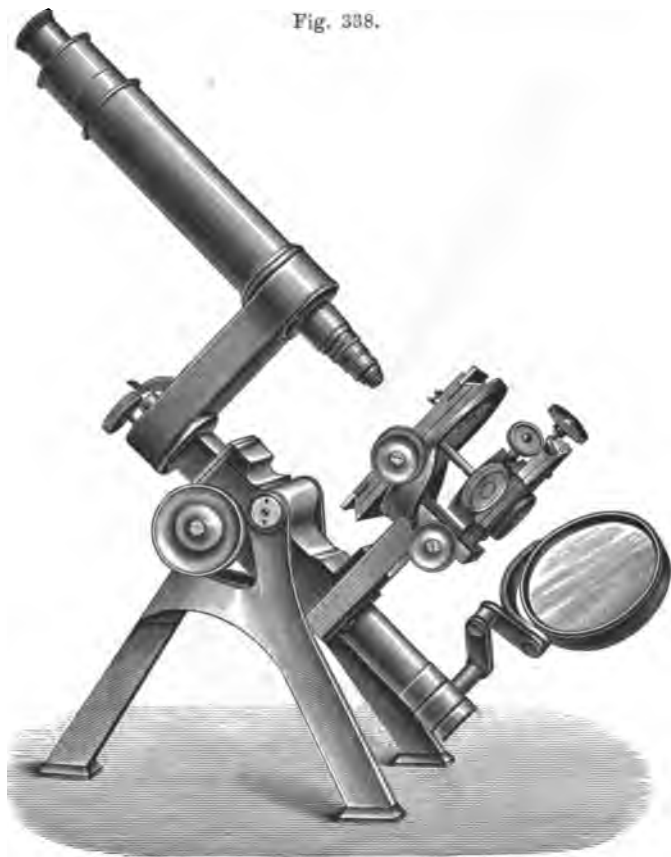
Ross und Comp. liefern vier Oculare *A*, *B*, *C* und *D*, deren Vergrösserungsverhältnisse sich etwa durch 1:1,5:2:3,5 ausdrücken lassen, ferner zwanzig Objectivsysteme, von denen Brennweite, Oeffnungswinkel, numerische Apertur und Preis hier folgen:

*4	Zoll	9° Oeffnungswinkel	—	numerische Apertur	1Pf.St.	11sh	6d
*3	"	10°	"	—	"	2	" 2 —"
3	"	12°	"	0,10	"	3	" 3 —"
*2	"	12°	"	—	"	2	" 2 —"
2	"	15°	"	0,13	"	3	" 3 —"
*1½	"	15°	"	—	"	2	" 2 —"
1½	"	20°	"	0,18	"	3	" 3 —"
*1	"	15°	"	0,13	"	2	" 2 —"
1	"	25°	"	0,22	"	3	" 10 —"
2/3	"	35°	"	0,30	"	3	" 10 —"
1/2	"	45°	"	0,38	"	4	" 4 —"
1/2	"	80°	"	0,64	"	5	" 5 —"
3/10	"	60°	"	0,50	"	4	" 10 —"
3/10	"	90°	"	0,70	"	5	" 10 —"
1/5	"	85°	"	0,67	"	5	" 5 —"
1/5	"	120°	"	0,86	"	6	" 6 —"
1/7	"	130°	"	0,90	"	7	" 7 —"
1/10	"	140°	"	0,94	"	9	" 9 —"
1/15	"	150°	"	0,96	"	12	" 12 —"
1/25	"	160°	"	0,98	"	21	" —"

Ich selbst habe neuere Systeme von Ross, von denen $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{25}$ mit zu wechselnder Vorderlinse sowohl als Trockensysteme wie als Immersionssysteme gebraucht werden können, nicht kennen gelernt, dieselben werden aber von Professor von Heurck u. A. sehr gerühmt.

Powell & Lealand, London Euston-Road, 170. Die Stative dieser Werkstätte haben grosse Aehnlichkeit mit dem älteren (Modell Ross) von Ross & Comp., besitzen aber statt des festen, einen zusammenlegbaren Dreifuss. Das grosse Stativ (Fig. 338) mit getheiltem Auszuge des Rohres hat einen festen, verhältnissmässig dünnen, drehbaren runden

Fig. 338.



Objecttisch mit Gradeintheilung und Schlittenbewegung zur Objectverschiebung, die zugleich durch die Bezifferung der beweglichen Platte als Finder dienen kann. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb, die feine durch Hebelbewegung bewirkt und es ist deren Schrauben-

kopf mit Gradeintheilung zu Dickenmessungen versehen. Der Träger des Beleuchtungssystems, der Blendungsvorrichtung etc. („substage“) kann mittelst Zahn und Trieb höher und tiefer gestellt und sowohl seitlich, als um seine Achse bewegt werden, während der senkrecht verschiebbare Spiegel an einem gegliederten Arme befestigt ist. Mit zwei Ocularen und einfachem Tubus beträgt der Preis dieses Statives 38 Pf. St. (760 Mark), kommt der Binocularapparat dazu, so steigt derselbe auf 46 Pf. St. 10 sh (930), beziehentlich 41 Pf. St. 33 sh (823 Mark).

Das mittlere, im Wesentlichen ähnlich gebaute nur etwas vereinfachte Stativ wird mit einfachem Rohre zu etwa 530 Mark abgegeben. Das zu den mittleren Stativen zu stellende, sogenannte Reisestativ (Fig. 339), welches ich Gelegenheit hatte, näher kennen zu lernen, ist dem grösseren

Fig. 339.



im Ganzen ähnlich, doch einfacher gebaut und hat einen vierseitigen Objecttisch, welcher Schlittenbewegung zur Verschiebung des Objectes

besitzt. Der Beleuchtungsapparat gleicht dem der grösseren Modelle. Mit einfachem Rohre und zwei Ocularen stellt sich der Preis auf 18 Pf. St. 10 sh (370 Mark).

Die Oculare tragen die Nummern 1 bis 5 und es vergrössern dieselben etwa in folgendem Verhältnisse: 1 : 1,5 : 2 : 4 : 6.

Objectivsysteme fertigen Powell & Lealand 18 bis 20 Nummern, von denen diejenigen von $\frac{1}{2}$ " Brennweite an mit Correctionsfassung und die stärkeren mit zu wechselnder Vorderlinse versehen sind, um dieselben je nach Bedürfniss als Trocken- oder Immersionssystem gebrauchen zu können. Dieselben bilden nach ihrer Brennweite folgende Abstufungen:

4	Zoll	90	Oeffnungswinkel	—	numerische Apertur	1 Pf. St.	10 sh
3	"	120	"	—	"	2	15 "
2	"	140	"	—	"	2	15 "
$1\frac{1}{2}$	"	200	"	0,18	"	3	— "
1	"	300	"	0,25	"	3	3 "
$\frac{2}{3}$	"	320	"	0,27	"	3	10 "
$\frac{1}{2}$	"	700	"	0,57	"	5	— "
$\frac{1}{2}$	"	400	"	0,34	"	4	4 "
$\frac{4}{10}$	"	800	"	0,64	"	5	5 "
$\frac{1}{4}$	"	950	"	0,74	"	5	5 "
$\frac{1}{4}$	"	1300	"	0,90	"	7	7 "
$\frac{1}{4}^1$	"	1400	"	0,94	"	9	9 "
$\frac{1}{4}^2$	"	1450	(in Wasser)	1,27	"	"	"
$\frac{1}{5}$	"	1000	Oeffnungswinkel	0,76	"	6	6 "
$\frac{1}{8}^1$	"	1400	"	0,94	"	9	9 "
$\frac{1}{8}^2$	"	1450	(in Wasser)	1,27	"	"	"
$\frac{1}{12}$	"	1450	Oeffnungswinkel	0,95	"	12	12 "
$\frac{1}{16}$	"	1750	"	0,99	"	16	16 "
$\frac{1}{16}^2$	"	1450	(in Wasser)	1,27	"	"	"
$\frac{1}{25}$	"	1600	Oeffnungswinkel	0,98	"	21	— "
$\frac{1}{50}$	"	1500	"	0,96	"	31	10 "

Systeme für homogene Immersion.

$\frac{1}{8}$	Zoll	1160	Balsamwinkel,	1,29	numerische Apertur	9 Pf. St.	9 sh
$\frac{1}{10}$	"	1140	"	1,27	"	12	— "
$\frac{1}{12}$	"	1140	"	1,27	"	14	— "
$\frac{1}{16}$	"	1100	"	1,25	"	18	— "
$\frac{1}{25}$	"	1100	"	1,25	"	25	— "

In neuester Zeit haben Powell und Lealand ein $\frac{1}{12}$ " für homogene Immersion mit drei zu wechselnden Vorderlinsen construiert. Mit der ersten

¹⁾ „New formula.“

²⁾ Neueste Immersionssysteme.

mehr als halbkugeligen Linse beträgt die numerische Apertur 1,43 und der Objectabstand nahezu gleich 0,2 mm, mit der zweiten nahezu halbkugeligen sinkt die numerische Apertur auf 1,28 und der Objectabstand steigt auf 0,4 mm, mit der dritten wird die numerische Apertur = 1,00 und der Objectabstand erreicht 0,6 mm.

Ich habe Gelegenheit gehabt, die Systeme $\frac{1}{2}''$, $\frac{1}{4}''$, $\frac{1}{8}''$ new formula und $\frac{1}{16}''$ näher zu prüfen und gebe im Folgenden die erhaltenen Resultate:

$\frac{1}{2}''$ hat eine Brennweite von 9,3 mm und je nach der Stellung der Correctionsschraube eine numerische Apertur von 0,54 bis 0,55 (65° bis 67° Oeffnungswinkel). Die Abbe'sche Probe zeigt in der mittleren Zone zwischen Rand und Mitte secundäre, in der äusseren Zone stark primäre Farben, Orange und Blau. Das Bild des Pinusschnittes ist scharf, aber ziemlich stark gelb gefärbt. Bei centraler Beleuchtung wird *Nitzschia hungarica*, bei schieferm *Nitzschia paradoxa* gut gelöst.

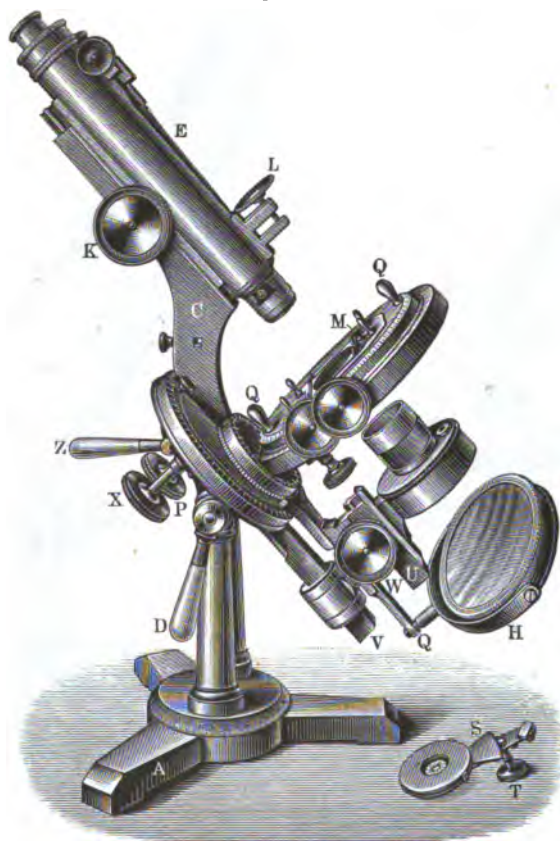
$\frac{1}{4}''$ mit einer Brennweite von 5,6 mm und einer numerischen Apertur von 0,75 bis 0,77 (97° bis 100° Oeffnungswinkel) verhält sich gegen die Abbe'sche Probe wie $\frac{1}{2}''$. Der Pinusschnitt ist wenig gelb gefärbt und scharf gezeichnet, bei geradem Lichte wird *Nitzschia sigma* noch eben, bei schieferm Lichte *Nitzschia obtusa* ebenso gelöst. Von der $\frac{1}{8}''$ new formula habe ich zwei Exemplare geprüft, welche sich nahezu gleich standen. Die Brennweite wechselt je nach der Stellung der Correctionsschraube von 3,27 bis 2,4 mm, während die mittlere numerische Apertur für den Gebrauch als Trockensystem 0,94 (140°) mit der anderen Vorderlinse, d. h. als Immersionssystem 1,10 ($111,5^{\circ}$ im Wasser) betrug. Die Abbe'sche Probe wird ausgezeichnet bestanden und die Bilder organischer Objecte sind sehr klar und scharf gezeichnet, doch ist der Abstand beim Gebrauch als Trockensystem sehr klein und unbequem. Die Lösung entspricht der numerischen Apertur und wird bei centraler Beleuchtung von dem Trockensysteme *Surirella gemma* (Querstreifen), von dem Immersionssysteme *Grammatophora macilenta* (in Monobrom-Naphtalin), bei schiefer Beleuchtung je *Nitzschia obtusa* (Mbr.-Napht.) und *Amphipleura pellucida* (Mbr.-Napht.) gelöst.

$\frac{1}{16}''$ hat eine mittlere Brennweite von 1,35 mm und eine numerische Apertur von 0,97 (152°) als Trockensystem, von 1,14 (118° im Wasser) als Immersionssystem. Die Abbe'sche Probe ergiebt gute Resultate und die Zeichnung organischer Objecte ist scharf und bestimmt, der Objectabstand aber bei Benutzung als Trockensystem sehr klein und nur ganz dünne (etwa 0,08 mm dicke) Deckgläser gestattend. Als Trockensystem löst das System bei geradem Lichte die Querstreifen von *Surirella gemma* sehr schön, bei schieferm *Nitzschia tenuis* noch eben. Als Immersionssystem werden *Nitzschia obtusa* bei der einen, *Amphipleura pellucida* mit feiner Streifung, 42 Streifen auf 10μ , bei der anderen Beleuchtungsweise erreicht.

R. & J. Beek, London, Cornhill E. C. 68, sind die Nachfolger der 259
altbekannten optischen Werkstätte J. Beck & Smith.

Das grosse neueste Stativ (Fig. 340) ist ein Modell Jackson mit rundem in drei Arme auslaufendem solidem Fusse, von welchem sich zwei in eine runde um ihre Achse drehbare und mit Gradtheilung versehene Scheibe eingesetzten, den zum Ueberlegen eingerichteten Körper tragende Säulen erheben. Der Tubus wird je nach Wunsch einfach oder doppelt geliefert und ist in letzterem Falle mit der Wenham'schen Binocular-

Fig. 340.

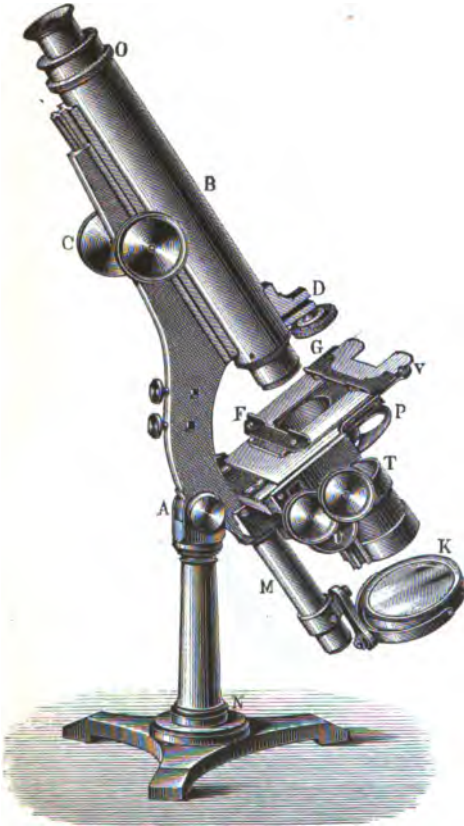


einrichtung versehen. Der mittelst eines Zapfens in einem entsprechenden Lager eingefügte Objecttisch, welcher eine sehr weite Oeffnung für Anwendung schiefen Lichtes besitzt, ist rund, mit Gradeintheilung versehen, um seine horizontale und senkrechte Achse drehbar und besitzt die Tyrell'sche Schlittenvorrichtung zur Verschiebung des Objectes. Unterhalb des Tisches befindet sich die eigenartige sogenannte „Irisblende“.

Das Beleuchtungssystem, Polarisator etc. werden von einem senkrecht verstellbaren, genau centrirten, mit der neuerdings in Amerika und England vielfach in Aufnahme gekommenen Drehung um seine horizontale Achse versehenen Messingcylinder aufgenommen und der Spiegel ist an einem der Achse gleichlaufenden Träger aufgehängt, sowohl in senkrechter Richtung, als seitlich beweglich. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Zahn und Trieb, die feine, welche sich an der Vorderseite des Tubus

Fig. 341.

Fig. 342.



befindet und mit einem in Grade getheilten Schraubenknopf zu Dickenmessungen versehen ist, hebt und senkt die in dem Tubus verschiebbaren Röhren, in welche die Objectivsysteme eingeschraubt sind. Der Preis dieses Statives mit einfachem Rohre beträgt 560 Mark, mit Binoculareinrichtung 700 Mark.

Zwei andere Stative „Small best“ (Fig. 341) gleichen im Bau dem voranstehenden, werden aber nur von einer Säule getragen und entbehrendes um die horizontale Achse drehbaren Objectisches, welcher indessen

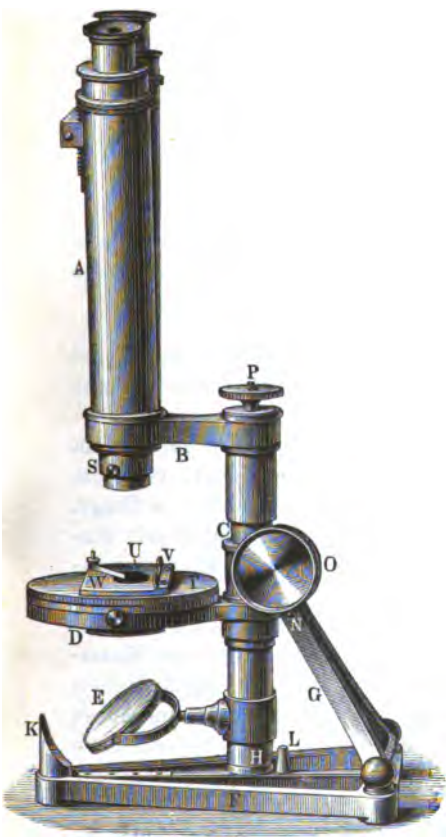
auf Verlangen um mässige Preiserhöhung beigelegt wird. Der Preis dieser Modelle wechselt von 24 bis 30 Pf. St. (480 bis 860 Mark).

Die „Studentenmikroskope“ von Beck (Fig. 342) besitzen einen soliden einfachen Bau, vierseitigen Objecttisch, doppelte Einstellung und vereinfachten Beleuchtungsapparat mit allseitig verstellbarem Spiegel. Dieselben sind theils zu den mittleren, theils zu den kleinen Stativen zu zählen und schwanken je nach ihrer Ausstattung und Grösse in ihren Preisen von 22 bis 49 Pf. St. (etwa 450 bis 1000 Mark).

Zu den kleinen und kleineren Mikroskopen zählen das „Popular“ (Fig. 343) „National“ und „Oeconomie“ (Fig. 344), von denen die ersteren

Fig. 343.

Fig. 344.



mit 1" und $\frac{1}{4}$ " Objectiv und 2 Ocularen 11 Pf. St. (220 Mark, das letztere je nach Ausstattung 5 bis 10 Pf. St. (100 bis 200 Mark) kosten.

Die Oculare sind mit den Nummern 1 bis 3 bezeichnet und haben ein Vergrösserungsverhältniss von 1 : 2 : 4 etwa.

Die 14 Objectivsysteme erster Classe sind von $\frac{4}{10}$ " an mit Correctionsfassung versehen und bilden folgende Reihe:

4	Zoll	90° Oeffnungswinkel,	0,07	numerische Apertur,	2 Pf. St.	2 sh,
3	"	120°	"	0,1	"	3 " 17 "
2	"	180°	"	0,15	"	3 " 17 "
1 $\frac{1}{2}$	"	230°	"	0,20	"	3 " 17 "
$\frac{2}{3}$	"	320°	"	0,27	"	3 " 10 "
$\frac{4}{10}$	"	550°	"	0,38	"	5 " 15 "
$\frac{4}{10}$	"	900°	"	0,70	"	8 " — "
$\frac{1}{4}$	"	750°	"	0,60	"	5 " 15 "
$\frac{1}{5}$	"	850°	"	0,67	"	5 " 15 "
$\frac{1}{5}$	"	1000°	"	0,76	"	7 " — "
$\frac{1}{8}$	"	1200°	"	0,86	"	9 " 5 "
$\frac{1}{10}$	"	(Imm.) 1600°	"	0,98	"	6 " 18 "
$\frac{1}{20}$	"	1400°	"	0,93	"	17 " 10 "
$\frac{1}{20}$	"	(Imm.), 1400°	"	0,93	"	15 " 15 "
$\frac{1}{40}$	"	1400°	"	0,93	"	23 " — "

Die Objectivsysteme von Beck werden sehr gerühmt und kann ich von den mir bekannten $1\frac{1}{2}$ " und $\frac{2}{3}$ " nur sagen, dass sie in jeder Beziehung eine sehr tüchtige Arbeit bekunden.

260 M. James Swift, London, University Street, Tattenham Court Road W. C., liefert eine Reihe verschiedener Stative, von denen wir nur einige betrachten wollen.

Das grosse, sogenannte Repräsentationsstativ (Fig. 345), ist im Wesentlichen dem älteren grossen Modell Ross nachgebildet, von dem es sich nur durch die Form des Fusses und einige nebensächliche Dinge, sowie durch seinen geringeren Preis — 30 Pf. St. (600 Mark) mit einfachem Rohr und zwei Ocularen; 38 Pf. St. (760 Mark) mit Binoculareinrichtung nach Wenhams — unterscheidet.

Das neue Jackson-Lister- oder Schwanenhalsstativ „Best Challenge Mikroskope“ Fig. 346 (a. S. 534) besitzt etwas kleinere Maassverhältnisse als das vorhergehende, kommt ihm aber an Vollständigkeit und Vollkommenheit des Baues gleich. Der runde, dünne, um seine Achse drehbare, mit Vorrichtung zum Verschieben des Objectes versehene Objecttisch ist ausreichend gross und solide und für Anwendung sehr schief einfallenden Lichtes bequem.

Ein unter dem Tisch angebrachter wegnehmbarer Hohlcylinder ist zur Aufnahme der verschiedenen Beleuchtungsapparate bestimmt und enthält eine drehbare Blendungsscheibe. Der Spiegel ist allseitig verstellbar. Die grobe Einstellung wird durch Zahn und Trieb, die feine in ähnlicher Weise wie bei dem Mikroskope von Beck bewirkt und ist der am unteren Ende des Rohres zur Seite angebrachte Schraubenknopf mit

Gradtheilung versehen. Mit zwei Ocularen *A* und *B* beträgt sein Preis 31 Pf.St. 10 sh (630 Mark). Die einfacheren Formen Challenge

Fig. 345.



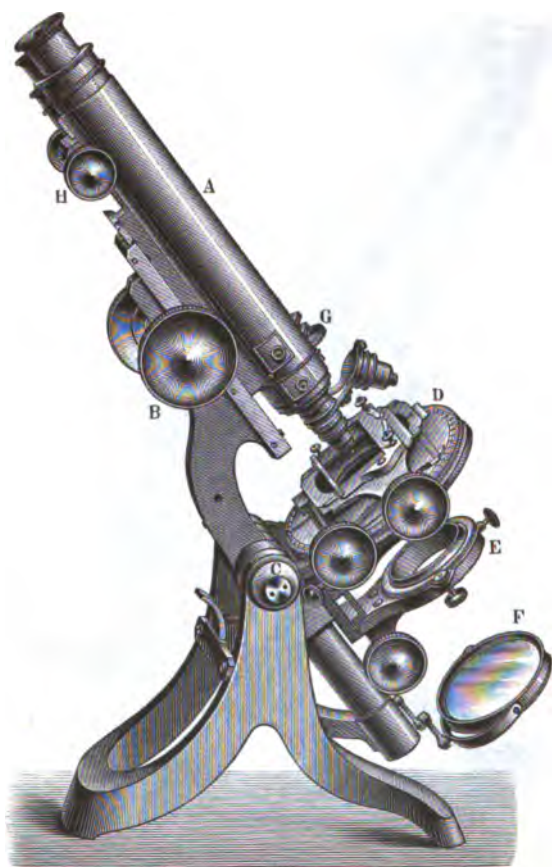
A und *B* mit zwei Ocularen und zwei Objectivsystemen, 1" und $\frac{1}{4}$ " (90°), werden mit einfachem Rohr, ersteres zu 260 Mark, letzteres zu 360 Mark berechnet.

Ausser diesen grösseren liefert Swift noch eine Anzahl kleinere und billigere Stative für Studienzwecke, von denen das „University Mikroskope“, Fig. 347 (a. S. 535), mit 1" und $\frac{1}{4}$ " (90°) und den Ocularen *A* oder *B* zu 8 Pf.St. 16 sh (etwa 180 Mark) und das „College Mikroskope“, Fig. 348 (a. S. 336), mit 1" und $\frac{1}{4}$ " und zwei Ocularen zu 8 Pf.St. 2 sh (etwa 160 Mark) zu nennen sind.

Die Oculare sind mit *A*, *B*, *C*, *D*, *E* und *F* bezeichnet und besitzen die Vergrösserungsverhältnisse 1 : 1,5 : 2 : 3 : 4 : 5,6.

Swift fertigt zwei Serien von Objectivsystemen, die eine mit kleinerer, die andere mit grösserer Oeffnung. Brennweite, numerische Apertur und Preise sind die folgenden:

Fig. 346.



Erste Serie mit grossem Oeffnungswinkel.

4	Zoll	9°	Oeffnungswinkel	0,07	numer.	Apert.	1 Pf. St.	2 sh — d
3	"	12°	"	0,10	"	"	1 "	13 " — "
2	"	15°	"	0,13	"	"	1 "	13 " — "
1 1/2	"	20°	"	0,17	"	"	1 "	13 " — "
1	"	25°	"	0,21	"	"	1 "	13 " — "
1	"	27°	"	0,23	"	"	2 "	— " — "
2/3	"	30°	"	0,25	"	"	1 "	13 " — "
2/8	"	35°	"	0,30	"	"	2 "	— " — "

$\frac{1}{2}^*$	Zoll	90°	Oeffnungswinkel	0,70	numer.	Apert.	4 Pf. St.	— sh — d
$\frac{4}{10}^*$	"	90°	"	0,70	"	"	4	" 10 — "
$\frac{1}{4}$	"	90°	"	0,70	"	"	2	" 6 — "
$\frac{1}{4}^*$	"	100°	"	0,76	"	"	3	" 17 — "
$\frac{1}{4}^*$	"	130°	"	0,90	"	"	4	" 10 — "
$\frac{1}{5}^*$	"	100°	"	0,76	"	"	3	" 17 — "
$\frac{1}{5}^*$	"	150°	"	0,96	"	"	7	" — — "
$\frac{1}{8}^*$	"	140°	"	0,93	"	"	5	" — — "
$\frac{1}{10}^*$	"	150°	} Immersionsw.	0,96	"	"	5	" — — "
$\frac{1}{15}^*$	"	170°		0,996	"	"	7	" 10 — "

Fig. 347.



*) Die mit * bezeichneten Systeme sind mit Correctionsvorrichtung versehen.

Zweite Serie mit kleinem Oeffnungswinkel.

3 Zoll	10° Oeffnungswinkel,	0,08	numerische Apertur,	1 Pf. St.	— sh
2 "	13°	"	0,11	"	1 " — "
1 "	18°	"	0,15	"	1 " — "
$\frac{1}{2}$ "	40°	"	0,34	"	1 " 10 "
$\frac{1}{3}$ "	60°	"	0,50	"	1 " 10 "
$\frac{1}{6}$ "	70°	"	0,57	"	1 " 10 "
$\frac{1}{6}$ "	100°	"	0,76	"	2 " — "
$\frac{1}{8}$ "	100°	"	0,76	"	3 " — "

Correctionsvorrichtung erhöht den Preis um 5 sh.

Fig. 348.



Ich habe von den verzeichneten Systemen nur zwei von $\frac{1}{4}$ " und $\frac{1}{6}$ " ohne Correction genau prüfen können, während von anderer Seite auch die übrigen Nummern sehr günstig beurtheilt werden.

$\frac{1}{4}$ " hat eine Brennweite von 5,1 mm ($\frac{1}{3}$ ") und eine numerische Apertur von 0,75 (97°). Die Abbe'sche Probe ergibt in der äussersten Randzone violette und gelbgrüne Farbensäume und das Bild organischer Objecte erscheint farblos und scharf gezeichnet. Bei centraler Beleuchtung wird Nitzschia sigma noch eben, bei schiefer Nitzschia obtusa ebenso gelöst.

$\frac{1}{6}$ " besitzt bei einer Brennweite von 3,8 mm eine numerische Apertur von 0,80 (106°) und verhält sich gegen die Abbe'sche Probe wie die vorige Nummer. Das Bild organischer Objecte ist sehr schön gezeichnet, während das Auflösungsvermögen bei geradem Lichte die

Fig. 349.

Querstreifen von Nitzschia sigma, bei schiefer diejenigen von Nitzschia obtusa deutlich sichtbar macht.



M. Henry Cronch, 261

London, Barbican E. C., fertigt eine Reihe von Stativen, welche eine recht solide und elegante Ausführung besitzen.

Das grosse Stativ (Fig. 349) ist zum Ueberlegen zwischen zwei mit dem schweren Fuss ein Stück bildende Säulen aufgehängt. Der runde, um seine Achse drehbare Objecttisch ist mit einer Gradeintheilung und Einrichtung zur genauen Centrirung, sowie mit Schlittenbewegung zur Verschiebung des Objectes versehen. Die feine Einstellung ist in ähnlicher Weise wie bei den Beck'schen Stativen angebracht. Die grobe geschieht mittelst Zahn und Trieb. Der Träger

für Beleuchtungssysteme, Polarisator etc. ist senkrecht und seitlich verstellbar und kann bei schiefer Beleuchtung ganz zur Seite geschoben werden. Der Spiegel ist gleichfalls senkrecht und seitlich beweglich.

Mit einfachem Tubus beträgt der Preis 25 Pf. St. (500 Mark), mit Bino-
culareinrichtung 29 Pf. St. 10 sh (590 Mark).

Das Stativ Nr. 2 ist dem vorigen ähnlich, aber etwas einfacher
und kleiner und wird zu 16 bis 20 Pf. St. (320 bis 400 Mark) berechnet.

Stativ Nr. 3 besitzt einen noch etwas einfacheren Bau und der um
seine Achse drehbare mit Gradeintheilung und Centrirungsvorrichtung
versehene Objecttisch besitzt die Nachet nachgeahmte Einrichtung
zur Objectverschiebung, bei der sich über eine geschliffene Glasplatte
eine zweite mittelst einfacher Verschiebung hinführen lässt. Der Träger
des Beleuchtungsapparates, wie der Spiegel, sind denen der grossen

Fig. 350.



Stative ähnlich einge-
richtet, ebenso theilt er
mit diesen die Art der
Einstellung. Der Preis
beträgt je 14 Pf. St. und
16 Pf. St. 10 sh (280 und
330 Mark, je nachdem
es mit einfachem oder
doppeltem Tubus ver-
sehen ist.

Das Studenten-
mikroskop (Fig. 350),
welches vielfach empfoh-
len wird, hat einen dreh-
baren Objecttisch mit
der obigen Einrichtung
zum Verschieben der
Objecte. Der Beleuch-
tungsapparat besteht aus
verstellbarem Spiegel
und unter dem Tisch
angebrachter drehbarer
Blendungsscheibe. Mit
den Ocularen 1 und 2,
zwei Objectivsystemen
zu je 1" (25°) und 1/4"
(110°) beträgt sein Preis
bei Monoculareinrich-
tung 10 Pf. St. 15 sh
(215 Mark).

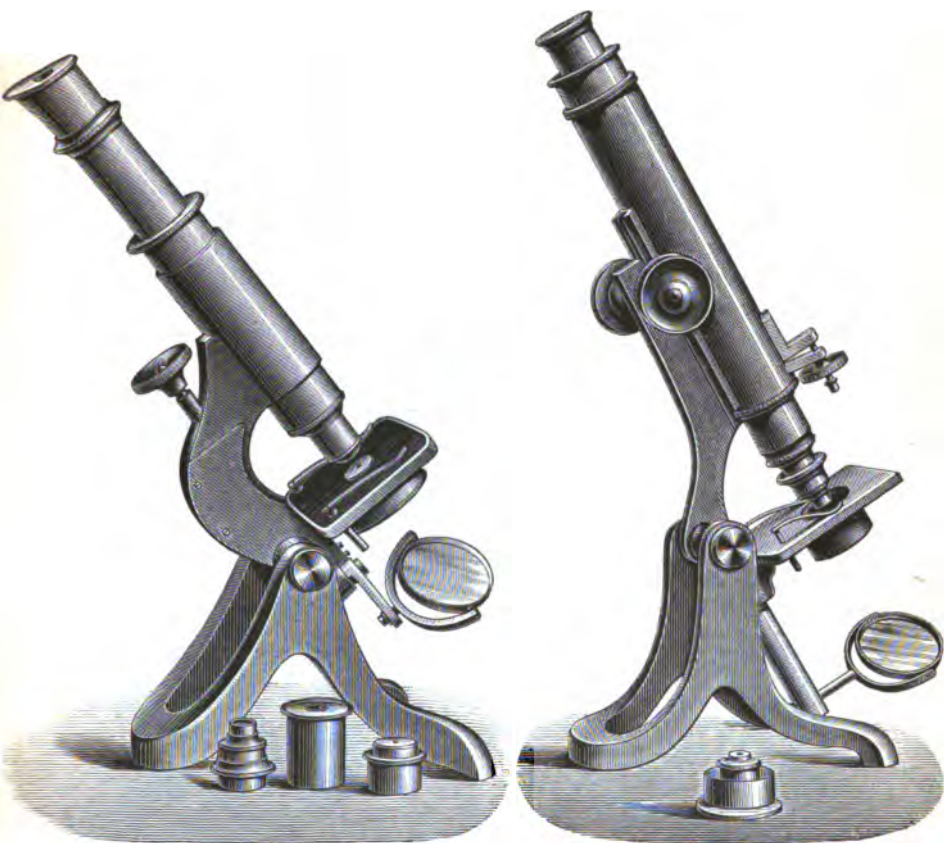
Das Histologenmikroskop (Fig. 351) hat grobe Einstellung durch
Rohrschiebung und feine Einstellung der auf S. 294 beschriebenen Form
und Tisch mit eingelegter Glasplatte (grobe Einstellung durch Zahn
und Trieb wird auf Verlangen angebracht). Sein Preis beträgt mit zwei

Ocularen und zwei Objectiven von 1" und $\frac{1}{4}$ " oder $\frac{1}{6}$ " 5 Pf. St. 5 sh, beziehentlich 6 Pf. St. 6 sh (105 beziehentlich 126 Mark).

Das „New Educational Microscope“ (Fig. 352) für Studierende und mikroskopische Institute wird mit einem Ocular und zwei Objectiv-

Fig. 351.

Fig. 352.



systemen von 1" und $\frac{1}{4}$ " ausgestattet und kostet 6 Pf. St. 6 sh (126 Mark), ohne feine Einstellung für schwächere Vergrößerungen bis etwa 100 fach 3 Pf. St. 12 sh (72 Mark).

Die drei Oculare Crouch's, Nr. 1, 2 und 3 bezeichnet, zeigen das Vergrößerungsverhältniss 1 : 1,5 : 2.

Von Objectivsystemen, welche von mehreren Seiten gelobt werden und folgende Reihe bilden, werden vierundzwanzig verschiedene Nummern geliefert.

Erste Serie mit grosser Oeffnung.

4	Zoll	9 ⁰	Oeffngsw.	0,07	num.	Ap.	1 Pf.St.	2 sh 6 d	(22,80 Mark)
3	"	12 ⁰	"	0,10	"	"	1	13 " — "	(33 ")
2	"	15 ⁰	"	0,13	"	"	1	13 " — "	(33 ")
1 1/2	"	20 ⁰	"	0,17	"	"	1	13 " — "	(33 ")
1	"	25 ⁰	"	0,21	"	"	1	13 " — "	(33 ")
2/3	"	30 ⁰	"	0,25	"	"	1	13 " — "	(33 ")
1/2	"	40 ⁰	"	0,35	"	"	2	9 " 6 "	(49,50 ")
1/4 *1)	"	140 ⁰	"	0,93	"	"	3	17 " 6 "	(77,50 ")
1/5 *	"	150 ⁰	"	0,96	"	"	4	4 " 4 "	(84 ")
1/10 *	"	160 ⁰	"	0,98	"	"	4	10 " — "	(90 ")
1/12 *	"	trocken od. Imm.	160 ⁰	Oeffnw.	11	num.	Ap.	4 Pf.St. 17 sh 6 d	(97,50 Mark)
1/15 *	"	trocken	160 ⁰	Oeffnungsw.	11	num.	Apert.	8 Pf.St. 8 sh — d	(168 Mark)
1/20 *	"	"	160 ⁰	"	11	"	"	9 Pf.St. 9 sh. — d	(190 Mark)

Zweite Serie mit kleiner Oeffnung.

3	Zoll	10 ⁰	Oeffnungsw.	0,08	num.	Apertur	1 Pf.St.	— sh	(20 Mark)
2	"	12 ⁰	"	0,10	"	"	1	" — "	(20 ")
1	"	16 ⁰	"	0,14	"	"	1	" — "	(20 ")
1/4	"	60 ⁰	"	0,50	"	"	1	13 " (33	")
1/4	"	105 ⁰	"	0,80	"	"	2	2 " (42	")
1/3	"	110 ⁰	"	0,82	"	"	2	2 " (42	")
1/6	"	110 ⁰	"	0,82	"	"	2	2 " (42	")
1/8	"	110 ⁰	"	0,82	"	"	2	10 " (50	")
1/10	"	120 ⁰	"	0,86	"	"	2	15 " (55	")
1/15	"	120 ⁰	"	0,86	"	"	4	10 " (90	")

Correction erhöht den Preis um 6 sh.

1) Die mit * bezeichneten Systeme haben Correctionsschrauben.

Von amerikanischen Werkstätten sind diejenigen von Tolles, Spencer, Wales, Zentmayer und der Bausch & Lomb Comp. als die bedeutendsten der älteren zu erwähnen, während in neuester Zeit auch unser Landsmann E. Gundlach sich durch seine Leistungen bekannt gemacht hat.

R. B. Tolles, Boston — Agent **Charles Stodder, Boston, Rialto 262 Room 27** — fertigt eine Anzahl von Stativen, welche als grösstes Stativ *A* (Fig. 353), grosses Stativ *B*, grosses Stativ *C* und als Studentenmikroskop bezeichnet werden. Dieselben nähern sich in ihrer Form theils dem Modell Jackson-Lister von Ross, theils dem grossen Stativ Becks — „Tolles Blackham-Stand“ (wie nachgewiesen, vor

Fig. 353.



Fig. 354.



dem Beck'schen Stativ construirt) — und stehen im Preise so hoch, *A* bis *C* 1400 bis 1000 Mark —, dass sie für uns wohl kaum in Be-

tracht kommen können. Selbst das mit doppelter Einstellung und „Substage“ versehene Studentenmikroskop (Fig. 354) kostet mit einem Ocular, 1" und $\frac{1}{4}$ " Objectiv nicht weniger als 390 Mark, in einfacherer Form mit Rohrschiebung und Eisenfuss, einem Ocular und 1" und $\frac{1}{4}$ " Objectiv zweiter Classe 216 Mk. Auch die Tolles'schen Objectivsysteme haben, obwohl einen verhältnissmässig geringeren, doch noch einen im Vergleich zu den unserigen und selbst den englischen Objectiven sehr hohen Preis.

Ihre Leistungsfähigkeit soll eine sehr hohe sein, doch wird dieselbe nach dem, was ich an einem anderen hochgerühmten amerikanischen Objectivsysteme gesehen, wohl diejenige unserer besseren Objectivsysteme mit grossem Oeffnungswinkel wohl kaum in irgend einer Beziehung übertreffen.

Von den zwei Serien mit kleiner und grosser Oeffnung, mögen hier nur die letzteren, in welcher von $\frac{1}{2}$ " (mit grosser Oeffnung) an die Verbesserungseinrichtung zur Anwendung kommt, vollständig erwähnt werden.

4 Zoll mit veränderlichem Linsenabstand auf 3 Zoll zu bringen	150 Mark
2 " je nach Oeffnung	85 bis 90 "
$1\frac{1}{2}$ " und 1 Zoll zusammen	106 "
1 " 14° Oeffnungsw. 0,12 numerische Apertur . .	42,5 "
1 " 25° " 0,21 " " . .	96 "
1 " 30° " 0,25 " " . .	128 "
$\frac{3}{4}$ " new formula	128 "
$\frac{1}{2}$ " 25 — 40° — 0,21 bis 0,35 numerische Apertur .	96 "
$\frac{1}{2}$ " 60° bis 80° Oeffnungsw. 0,5 bis 0,64 num. Apert.	170 "
$\frac{4}{10}$ " 99° " 110° " 0,76 " 0,82 " .	192 "
$\frac{4}{10}$ " 135° " 140° " 0,92 " 0,93 " .	267 "
$\frac{1}{4}$ " 40° bis 70° Oeffnungsw. (ohne Corr.) 0,35 bis 0,57 n. A.	96 "
$\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{5}$ Zoll 120° bis 130° Oeffnungsw. 0,86 bis 0,90 n. Ap.	192 "
$\frac{1}{4}$ " $\frac{1}{5}$ " 130° " 150° "	233 "
$\frac{1}{4}$ " $\frac{1}{5}$ " 180° (?) Oeffnungsw. 1,00 numer. Apertur	390 "
$\frac{1}{6}$ Zoll 180° (?) Oeffnungswinkel 1,00 numerische Apertur	300 "
$\frac{1}{8}$ " 170° " 0,99 " " .	340 "
$\frac{1}{10}$ " 180° " 1,00 " " .	360 "
$\frac{1}{12}$ " 140° " 0,93 " " .	340 "
$\frac{1}{12}$ " 160° " 0,98 " " .	410 "
$\frac{1}{12}$ " 180° " 1,00 " " .	475 "
$\frac{1}{15}$ " 160° " 0,98 " " .	475 "
$\frac{1}{15}$ " 180° " 1,00 " " .	520 "
$\frac{1}{20}$ " 180° " 1,00 " " .	760 "
$\frac{1}{25}$ " 180° " 1,00 " " .	755 "
$\frac{1}{50}$ " } Oeffnung und Preis nach Vereinbarung;	
$\frac{1}{75}$ " }	
$\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{10}$ Zoll für homogene Immersion mit über 1,0 numerischer Apertur je	175 Mark.

Die Objectivsysteme zweiter Classe besitzen kleinere Oeffnungen und sind verhältnissmässig billiger. So kostet z. B. $\frac{1}{10}''$ mit 100 bis 135^o etwa 210 Mark, $\frac{1}{12}''$ mit 120^o etwa 230 Mark, $\frac{1}{15}''$ mit 120^o 275 Mark, $\frac{1}{20}''$ mit 140^o 340 Mark.

Ch. Spencer, Brüder und Söhne, Geneva (New-York) wurde zu- 263
erst am Ende der 40er Jahre bekannt und fertigte schon 1852 ein $\frac{1}{12}''$ mit 174^o Oeffnungswinkel, was bis dahin eine noch nicht erreichte Leistung war. Nach dem, was mir von der Werkstätte bekannt geworden ist, hat sie den alten Ruf bis in die neueste Zeit bewährt und namentlich erreichen deren Objectivsysteme eine hohe Vollkommenheit.

Ich habe Gelegenheit gehabt eines der viel besprochenen und gerühmten $\frac{1}{10}''$, welches je nach verschiedener Stellung der Corrections- schraube sowohl als Trockensystem, wie mit Wasser- und Glycerin- immersion benutzt werden kann, näher zu prüfen. Die numerische Apertur erreichte bei der Correction als Trockensystem nahezu 1,00, bei der Immersion in Wasser oder Glycerin 1,14 (es wurde das vorgeschriebene Glycerin mit 1,378 Brechungsindex benutzt). Als Trockensystem ragte dasselbe bei einem äusserst geringen Objectabstand (Deckglas = 0,15 mm) über unsere besseren Systeme nur in der Auflösung hervor, während letztere bessere Bilder liefern. Seine beste Wirkung zeigte dasselbe sowohl was die Abbe'sche Probe und die Zeichnung organischer Objecte, als was das Auflösungsvermögen betrifft, bei dem Gebrauche als Wasser- immersionssystem, während die Leistungen bei Glycerinimmersion etwas zurückstehende waren (Professor van Heurck erlangte bei dem in seinem Besitze befindlichen Exemplar das entgegengesetzte Resultat). An Auflösungsvermögen kommen demselben die neueren Wasserimmer- sionssysteme von Reichert und Leitz mit 1,15 und höherer nume- rischer Apertur vollständig gleich, übertreffen dasselbe beziehungsweise noch um etwas.

Das $\frac{1}{8}''$, welches gleichfalls als Trockensystem und als Immersions- system gebraucht werden kann, hat von den Professoren L. H. Smith und H. van Heurck grosses Lob erfahren. Ebenso werden andere Systeme als vorzüglich bezeichnet.

Leider ist es mir nicht möglich gewesen, Näheres über Stative und Objectivsysteme Spencer's zu erfahren. Von Objectiven soll derselbe zwei Serien mit grosser und kleiner Oeffnung fertigen und stehen letz- tere verhältnissmässig niedrig im Preise. So z. B. kostet nach Professor van Heurck das 1'' etwa 25 Mark, das $\frac{1}{4}''$ und $\frac{1}{6}''$ mit Corrections- vorrichtung und die Längstreifen von Surirella Gemma zeigend (also wohl mit einer numerischen Apertur von mindestens 0,86 bis 0,90) 85 Mark.

Joseph Zentmayer, Philadelphia, South, Fourth Street 147, hat 264
seine Werkstätte im Jahre 1853 gegründet und es nehmen Stative und

Objectivsysteme desselben nach dem Berichte über die Weltausstellung zu Philadelphia einen hohen Rang ein.

Das grösste Mikroskop hat den viel genannten „Centennial Stand“ (Fig. 355) der, wie wir gesehen, unter hier und da zweckmässigen

Fig. 355.



Abänderungen mannigfache Nachbildung erfahren hat. Derselbe hat, wie alle englischen und amerikanischen Stativ, etwas colossale Dimensionen und misst in der Höhe nicht weniger als 19'' engl., etwa 48 cm. Der neigbare Körper ruht auf zwei von einer dem soliden Dreifuss eingefügten, drehbaren und mit Gradeintheilung versehenen Scheibe aufsteigenden runden Säulen. Grobe und feine Einstellung sind dieselben wie bei dem Ross'schen Stativ und es finden sich in Bezug auf Objecttisch, „substage“ etc. etwa dieselben (aus der Figur leicht ersichtlichen Einrichtungen, wie sie bei dem letzteren, welches, wie gesagt, eine Abänderung des Centennial Stand bildet, beschrieben worden sind. Wird dieses Mikroskop

mit dem Diatomeentisch, mit vollständigem Beleuchtungsapparat, Polarisationsapparat, Lieberkühn, Mikrometern, Zeichenprisma, Compressorium und einer Anzahl anderer Nebenapparate, fünf Ocularen und den Objectivsystemen 5", 4", 3" (120°), 1½" (220°), ⅜" (320°), ¼" (800°), ⅓" (850°) und ⅓" 120° (das letztere, sowie ¼" mit Correctionsvorrichtung) ausgestattet, so beträgt sein Preis mit Etuis 765 Dollar oder 3315 Mark, während derselbe sich bei weniger Nebenapparaten, mit fünf Ocularen und den Objectivsystemen 1½" — ⅜" — und ⅓" (120° und Correction) auf 490 Dollar oder 2124 Mark stellt. Das Stativ allein mit fünf oder drei Ocularen kostet 300 und 250 Dollar oder 1300 Mark und 1084 Mark.

Das mittlere Mikroskop (wenn man so sagen darf) besitzt den zum Ueberlegen eingerichteten Army Hospital Stand (New Model), welcher dem vorigen ähnlich gebaut, aber nur 16" engl., oder 40 cm hoch ist

Fig. 356.



und auf einer feststehenden (d. h. nicht auf einer drehbaren Scheibe angebrachten) Säule ruht.

Wird das Stativ mit einfachem Rohre (Monocular) geliefert und mit den Objectiven ⅜" und ⅓" (90°), mit vier Ocularen, Zeichenprisma und Objectischmikrometer ausgestattet, so wird es mit Etuis zu 155 Dollar oder 672 Mk. berechnet, während dasselbe Stativ allein mit zwei Ocularen und Etuis 110 Dol. oder 476 Mk. kostet.

Das kleine Stativ: der zum Neigen eingerichtete „Histological Stand“ (Fig. 356), dessen Körper auf einem conischen, ausgeschnittenen Träger ruht, wird mit grober Einstellung durch Rohrschiebung oder durch Zahn und Trieb versehen, während die feine Einstellung der-

jenigen der eben beschriebenen Instrumente gleicht. Beleuchtungsapparat und Spiegel sind an einem um die horizontale Achse drehbaren Träger befestigt und der Objecttisch, welcher bei senkrechter Stellung des Instrumentes immer 3" oder 7,5 cm über der Fläche des Arbeitstisches liegt, ist feststehend. Werden demselben die Objectivsysteme $\frac{8}{10}$ " (24°) und $\frac{1}{3}$ " (75°) und ein Ocular *A* oder *B* beigegeben und erhält es grobe Einstellung durch Schiebung, so beträgt der Preis 50 Dollar oder 217 Mark, während derselbe bei grober Einstellung durch Zahn und Trieb auf 58 Dollar oder 252 Mark steigt. Das Stativ allein mit einem Ocular wird, je nachdem es die eine oder die andere grobe Einstellung erhält, mit 32 beziehentlich 40 Dollar oder 139 bez. 174 Mark berechnet.

Objectivsysteme fertigt Zentmayer 13 Nummern:

3, 4 und 5 Zoll mit einander verbunden	65	Mark
2 Zoll 12° Oeffnungswinkel 0,10 numerische Apertur	35	"
1 $\frac{1}{2}$ " 23° " 0,20 " "	65	"
$\frac{8}{10}$ " 26° " 0,22 " "	65	"
$\frac{6}{10}$ " 32° " 0,26 " "	78	"
$\frac{4}{10}$ " 60° " 0,50 " "	95	"
$\frac{4}{10}$ " 80° " (mit Correction) 0,64 num. Apert.	130	"
$\frac{1}{5}$ " 75° " 0,60 " "	55	"
$\frac{1}{5}$ " 90° " 0,70 " "	78	"
$\frac{1}{5}$ " 120° " (mit Correction) 0,86 " "	148	"
$\frac{1}{10}$ " 140° " (ohne Correction) 0,93 " "	86	"

265 **William Wales**, Fort Lee N. J., scheint nur Objectivsysteme anzufertigen (ich habe wenigstens über Wales'sche Stativ nichts erfahren können), welche in den Vereinigten Staaten eines grossen Rufes geniessen und von denen ein $\frac{1}{15}$ " als Trocken- und Immersionssystem zu benutzen, von Professor H. van Heurck grosses Lob erfahren hat. Wie es scheint, werden die Wales'schen Systeme durch Zentmayer vertrieben, da sie derselbe in seinem Preisverzeichnisse auführt.

Dieselben bilden von 4" bis zu $\frac{1}{25}$ " eine Reihe von 15 Nummern, deren Brennweite, Oeffnung und Preis wir hier folgen lassen.

4 Zoll 9° Oeffnungswinkel 0,08 numerische Apertur	52	Mark
8 " 12° " 0,10 " "	74	"
1 $\frac{1}{2}$ " 23° " 0,20 " "	74	"
1 " 23° " 0,20 " "	74	"
$\frac{2}{3}$ " 30° " 0,25 " "	74	"
$\frac{4}{10}$ " 75° " (mit Correction) 0,60 num. Ap.	130	"
$\frac{4}{10}$ " 95° " " " 0,74 " "	152	"
$\frac{4}{10}$ " 115° " " " 0,85 " "	173	"
$\frac{1}{4}$ " 100° " " " 0,76 " "	108	"
$\frac{1}{5}$ " 135° " " " 0,92 " "	152	"
$\frac{1}{5}$ " 170° " (Immersion) 0,99 " "	173	"

$\frac{1}{10}$ Zoll	135°	Oeffnungsw. (ohne Correction	0,92	num. Ap.	108	"
$\frac{1}{10}$ "	170°	" (Immersion)	0,99	" "	195	"
$\frac{1}{15}$ "	170°	" (Imm. u. Corr.)	0,99	" "	282	"
$\frac{1}{25}$ "	160°	" " "	0,98	" "	433	"

Bausch & Lomb Optical Company New-York, Maiden Lane 37, 266
liefern eine grössere Reihe von Stativen und mehreren Serien von Objectiv-

systemen und zwar zu verhältnissmässig billigen Preisen.

Das grösste Mikroskop (Fig. 357) wird als „Professional Microscope“ bezeichnet. Das Stativ nähert sich in seiner Gestalt dem Stativ von Beck. Dasselbe hat die auf S. 294 beschriebene feine Einstellung. Der um die horizontale Achse bewegliche, grosse vierseitige, bei, der erforderlichen Festigkeit verhältnissmässig dünne Objecttisch, besteht aus einem Metallring und runder Glaseinlage mit in rechtwinklig aufeinander stehenden Richtungen beweglichen Objectträgern. Der Träger des Gesamtbelenchtungsapparates — „substage“ und Spiegel — ist gleichfalls um die horizontale Achse drehbar. Wird dasselbe mit drei Ocularen, *B*, *C* und *D* (letzteres



mit Ocularmikrometer), mit vier Objectiven: 2" (120°), $\frac{3}{4}$ " (270°), $\frac{1}{5}$ " (110°) und $\frac{1}{8}$ " (Immersion und Correction) und halbkugeligem Immersions-Condensator ausgerüstet, so beträgt sein Preis 200 Dollar oder 866 Mark.

Die Studenten-Mikroskope, von denen wir das grösste (Nr. 560 des Preisverzeichnisses) und ein kleineres Stativ (Nr. 530 des Preisverzeichnisses) in den Fig. 358 u. 359 (a. f. S.) wiedergeben, haben sämmtlich ähnliche Gestalt, wie gleiche Art der oben angegebenen feinen Einstellung

und unterscheiden sich einestheils in der Grösse, anderentheils durch die zusammengesetztere oder einfachere Construction des Objecttisches und des

Fig. 358.



Beleuchtungsapparates. Das grösste dieser Stative, ausgerüstet mit drei Ocularen *A*, *B* und *C* (letzte mit Mikrometer) und drei Objectiven: 2" (12°), $\frac{3}{4}$ " (27°), $\frac{1}{6}$ " (165°), wird zu 90 Dollar oder 390 Mark berechnet. Das mittlere mit beweglichem, wie die beiden kleinen mit festem Objecttisch, werden mit zwei Ocularen *A* und *C* (letzteres mit Mikrometer) und zwei Objectivsystemen: $\frac{3}{4}$ " (27°) und $\frac{1}{5}$ " (110°) versehen, kosten je 70, 60 und 50 Dollar oder 304, 260 und 216 Mark.

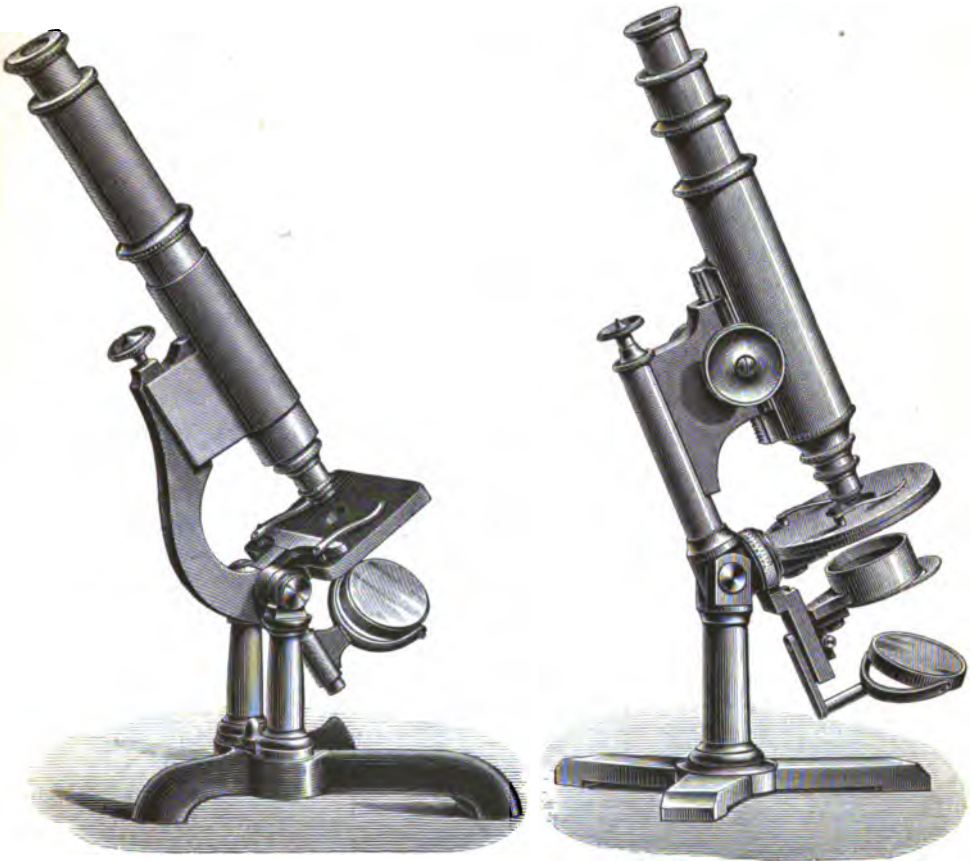
Das den vorausgehenden in der Form nahezu gleiche Untersuchungsmikroskop (Nr. 525) hat grobe und feine Einstellung wie die vorhergehenden, aus Eisen gebildeten Träger und Fuss. Demselben werden ein Ocular *B* und zwei Objective 1" (20°) und $\frac{1}{4}$ " (100°) beigegeben und es beträgt sein Preis 45 Dollar oder 195 Mark.

Das Mikroskop für Aerzte wird in zwei Nummern geliefert, deren Stative gleichgebaut sind und sich nur durch die Einrichtung des Object-

tisches unterscheiden. Ihre Ausstattung besteht aus zwei Ocularen *A* und *C* (letzteres mit Mikrometer) nebst zwei Objectiven $\frac{3}{4}$ " (27°) und

Fig. 359.

Fig. 360.



$\frac{1}{5}$ " (110°) und der Preis stellt sich auf 65 und 60 Dollar, 282 und 260 Mark.

Ein in neuerer Zeit erst construirtes, von den letzteren in der äusseren Form abweichendes, etwas grösseres Stativ (Fig. 360) wird als Mikroskop für Forscher („Investigator Microscope“) bezeichnet und besitzt einen um senkrechter und horizontaler Achse drehbaren Objecttisch, sowie den „swinging substage“. Der Preis ist mir bis jetzt nicht bekannt geworden¹⁾.

¹⁾ Diesem Stativ ist das neueste „Professional“ ähnlich gebaut, hat aber vollkommeneren Objecttisch und Beleuchtungsapparat und ruht mit zwei Säulen auf einer dem Dreifuss aufgesetzten drehbaren Scheibe.

Die Objectivsysteme bilden folgende vier Serien:

1. Students Series.

4 Zoll	6° Oeffnungswinkel	—	numerische Apertur	26 Mark
2 "	12°	"	0,10	26 "
1 "	20°	"	0,17	26 "
$\frac{3}{4}$ "	27°	"	0,24	35 "
$\frac{1}{2}$ "	40°	"	0,34	39 "
$\frac{4}{10}$ "	55°	"	0,46	48 "
$\frac{3}{10}$ "	75°	"	0,60	56 "
$\frac{1}{4}$ "	100°	"	0,76	60 "
$\frac{1}{5}$ "	110°	"	0,82	65 "
$\frac{1}{8}$ "	120°	"	0,86	78 "

2. Professional Series.

4 Zoll	10° Oeffnungswinkel	0,08	numerische Apertur	56 Mark
2 "	15°	"	0,13	56 "
1 "	36°	"	0,31	65 "
$\frac{3}{4}$ "	35°	"	0,30	60 "
$\frac{1}{2}$ "	60°	"	0,50	65 "
$\frac{1}{4}$ "	110°	"	0,82	70 "
$\frac{1}{6}$ "	165°	(Immersion)	0,99 num. Ap.	87 "
$\frac{1}{6}$ "	165°	(Imm. u. Corr.)	0,99 " "	100 "
$\frac{1}{8}$ "	170°	(Immersion)	0,996 " "	95 "
$\frac{1}{8}$ "	170°	(Imm. u. Corr.)	0,996 " "	108 "
$\frac{1}{12}$ "	175°	"	0,999 " "	130 "
$\frac{1}{16}$ "	175°	"	0,999 " "	152 "

Erste Classe.

4 Zoll	12° Oeffnungswinkel	0,10	numerische Apertur	65 Mark
2 "	20°	"	0,17	78 "
1 "	42°	"	0,35	95 "
$\frac{1}{2}$ "	85°	"	0,67	108 "
$\frac{4}{10}$ "	110°	"	0,82	122 "
$\frac{1}{6}$ "	180°	(Imm. u. Corr.)	1,00 num. Ap.	152 "
$\frac{1}{8}$ "	180°	"	1,00 " "	182 "
$\frac{1}{10}$ "	180°	"	1,00 " "	200 "
$\frac{1}{12}$ "	180°	"	1,00 " "	216 "
$\frac{1}{16}$ "	180°	"	1,00 " "	325 "

System mit Gundlachs Verbesserungseinrichtung.

Student Series.

$\frac{3}{10}$	Zoll	75°	Oeffnungswinkel,	0,60	numerische	Apertur	34	Mark
$\frac{1}{4}$	"	105°	"	0,79	"	"	78	"
$\frac{1}{3}$	"	112°	"	0,83	"	"	86	"
$\frac{1}{6}$	"	115°	"	0,84	"	"	96	"
$\frac{1}{3}$	"	120°	"	0,86	"	"	104	"

Professional Series.

$\frac{1}{3}$	Zoll	120°	Oeffnungsw.	0,86	numerische	Apertur	108	Mark
$\frac{1}{6}$	"	170°	" (Imm.)	0,966	"	"	122	"
$\frac{1}{8}$	"	170°	" "	0,996	"	"	143	"

Erste Classe.

$\frac{4}{10}$	Zoll	115°	Oeffnungswinkel	0,84	numerische	Apertur	152	Mark
----------------	------	------	-----------------	------	------------	---------	-----	------

Systeme dieser Serien mit kurzen Brennweiten werden gleichfalls angefertigt. Ich kenne aber zur Zeit den Preis derselben nicht.

E. Gundlach, Rochester N. S. A., früher in Berlin, dann Mitglied der Bausch und Lomb Optical Company zeichnete sich schon nach Begründung seiner ersten Werkstätte durch hervorragende Leistungen aus. Ich hatte weder Gelegenheit seit seiner Auswanderung etwas von ihm zu sehen, noch eingehendere Urtheile über seine Leistungen kennen zu lernen. Was indessen so gelegentlich von demselben berichtet wird, lässt im Anschlusse an seine früheren Arbeiten erwarten, dass diese meist günstigen Mittheilungen nicht unbegründet sein dürften. Einer von ihm erfundenen neuen Verbesserungseinrichtung haben wir schon gedacht. In neuester Zeit hat er sich auch mit der Anfertigung von Systemen für homogene Immersion befasst und wird von einem $\frac{1}{3}$ " berichtet, dass er demselben eine numerische Apertur von 1,43 (140° in der Immersionsflüssigkeit von $n = 1,52$) gegeben habe. Auch ein neuestes Stativ: „Colleg Microscope“, dessen Beschreibung mir erst während der Revision des Druckes bekannt geworden ist, besitzt eine sehr zweckmässige Einrichtung.

W. H. Bulloch, Chicago, Clark Street Nr. 126, liefern eine Anzahl grosser, mittlerer und kleinerer Stative, welche theils denen von Zentmayer, theils denen von H. Crouch in London ähnlich gebaut sind, ferner Objectivsysteme aus den Werkstätten von Tolles, Wales, Gundlach, Spencer & Sohn etc.

Von dem ersteren wird das grösste Stativ „A₁“ mit einfachem Rohre und drei Ocularen zu 250 Dollar, 1080 Mark, das Stativ „A“ mit zwei,

beziehentlich drei Ocularen zu 175 Dollar, 760 Mark, *B* mit zwei Ocularen zu 95 Dollar, 412 Mark, *C* und *D* mit zwei Ocularen zu 75 Dollar, 325 Mark, *E* und *F* (Crouch-Modell und Eisenfuss) mit zwei Ocularen zu 57 und 45 Dollar, 247 und 195 Mark berechnet. Die Objectivsysteme haben bei Bulloch den gleichen Preis wie bei den betreffenden Firmen selbst.

Die gewöhnlichen Oculare *A* $1\frac{1}{2}''$, *B* $1''$, *C* $\frac{3}{4}''$, *D* $\frac{1}{2}''$ werden pro Stück zu 3 Dollar oder 13 Mark, die periskopischen *A* zu 11 Dollar, 48 Mark, *B* zu 10 Dollar, 43 Mark, *C* und *D*, sowie stärkere zu 9 Dollar oder 37 Mark berechnet.

Die verschiedenen Combinationen von in der Preisliste aufgeführten Mikroskopen werden je nach Stativ und optischer Ausstattung berechnet.

- 269 In der vorstehenden Aufzählung einer Reihe unserer vorzüglichsten neueren Mikroskope hoffe ich dem Leser hinreichende Anhaltspunkte gegeben zu haben, die ihm bei der Auswahl eines Instrumentes dienen können. Eines weiteren Rathes in dieser Beziehung kann ich mich daher enthalten. Nur zweierlei will ich zum Schlusse nicht unberührt lassen. Erstlich möchte ich Jedem, der sich zu einem ernsteren Studium der Histologie wendet und dieselbe etwa zu seinem Lebensberufe zu wählen entschlossen ist, empfehlen, sich von vorn herein ein in mechanischer Beziehung vollendetes Instrument anzuschaffen, damit er sich nicht später zu einem Wechsel veranlasst und zu pecuniärem Verluste gezwungen sieht. Der optische Apparat, der im Anfange weniger umfangreich zu sein braucht, kann später je nach Bedürfniss vervollständigt werden. Dann warne ich vor Anschaffung der mittelst Zeitungsannoncen angepriesenen Instrumente, die durch ihren anscheinend äusserst geringen Preis etwas Verlockendes haben. Ich habe solche, selbst von Leuten, deren Beruf es ist, die Wissenschaft und ihre Jünger zu fördern, empfohlene kleine Mikroskope geprüft und mich überzeugt, dass dieselben zu wissenschaftlichen Untersuchungen ganz unbrauchbar sind. Ebenso hüte man sich, etwa für den Schulgebrauch, vor den hie und da angepriesenen sogenannten „Salon- und Schulmikroskopen“, welche strengeren Anforderungen nie genügen können. Das für solche Instrumente ausgegebene Geld ist immer verloren. Wer einmal das wirkliche Bedürfniss hat, sich ein Mikroskop anzuschaffen, der wende sich, falls ihm nicht ein praktischer Mikroskopiker rathend zur Seite steht, nur an eine der bekannten und bewährten Firmen.
-

Fünfter Abschnitt.

Mikroskope zu besonderen Zwecken.

Zu den Mikroskopen, welche nicht sowohl der wissenschaftlichen Forschung im Allgemeinen, als nur einzelnen Zwecken, namentlich auch denen des Unterrichts, dienen, gehören: das sogenannte multoculare, stereoskopische, bildumkehrende, umgekehrte (chemische), photographische Mikroskop, das Bild- (Sonnen- und Hydrooxygengas-) Mikroskop und das Polarisationsmikroskop.

Obwohl allen diesen Instrumenten überall eine nur sehr begrenzte Verwendbarkeit, selbst zu Zwecken der Demonstration, eigen ist, dürfen wir dieselben hier doch nicht ganz übergehen und wollen ihnen eine kurze Betrachtung widmen.

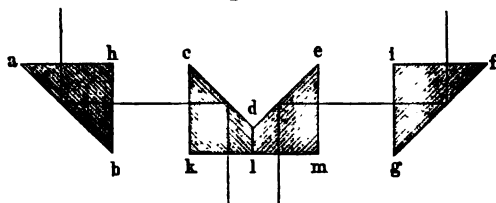
Multoculares und stereoskopisches Mikroskop. — Die mult- 270
ocularen, sowie die stereoskopischen Mikroskope beruhen im Grunde alle auf dem Principe der Theilung der von dem Objectivsysteme ausgehenden Strahlenbüschel in zwei oder mehrere Theile, von welchen jeder einzelne durch eine gesonderte Röhre einem anderen Oculare zugeführt und wodurch das mikroskopische Bild in entsprechender Weise vervielfältigt wird.

Die Spaltung der objectiven Strahlenbündel kann nun aber auf doppeltem Wege erreicht werden, entweder mittelst der, durch die Brechung in Prismen veranlassten, Ablenkung nach verschiedenen Seiten, oder durch die, an den Grenzwänden von entsprechend gestalteten Prismen erfolgende, vollständige Zurückwerfung.

Das letztere Mittel ist das am längsten angewendete, und zwar war es der nordamerikanische Gelehrte, Professor Riddell, welcher zuerst mit Erfolg diesen Weg betrat. Nach ihm wurden manche Verbesserungen der ursprünglichen Einrichtung vorgenommen, von denen wir übrigens nur einige kurz erwähnen wollen.

Nach der Methode Riddell's werden entweder vier rechtwinklige Prismen abh , $cdeklm$ und ifg (Fig. 361) oder zwei rautenförmige $abcd$

Fig. 361.



und $efgl$ (Fig. 362) oder endlich zwei rechtwinklige Prismen (Fig. 363) in entsprechender Weise mit einander verbunden, um die beabsichtigte Theilung der Strahlenbündel zu erreichen. In welcher Weise hierbei der gewünschte Erfolg erzielt wird, geht unmittelbar aus der Betrachtung

Fig. 362.

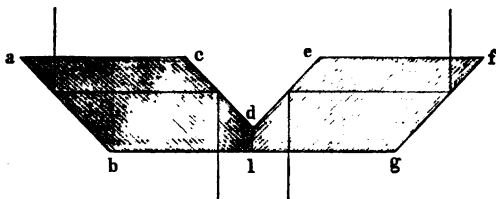


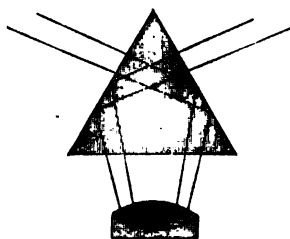
Fig. 363.



der voranstehenden Figuren hervor und bedarf keiner weiteren Erläuterung. Ebenso leuchtet ein, dass in den beiden ersten Fällen die Richtung in den Theilen der Strahlenbündel mit der ursprünglichen Richtung gleichlaufend ist, während im letzteren Falle die Theilbündel divergirend austreten.

Nachet hat die Einrichtung für die Spaltung der Strahlenbündel insofern sehr vereinfacht, als er nur ein einziges gleichseitiges Prisma (Fig. 364) anwendet. Die beiden neuen Strahlenbündel sind aber in

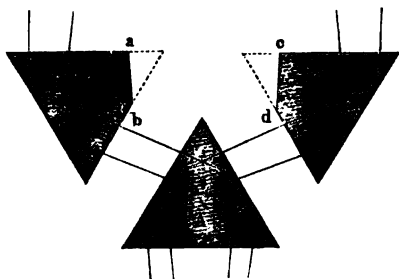
Fig. 364.



diesem Falle immer sehr stark divergirend und es bedürfen die entsprechenden Röhren des Mikroskopkörpers einer stark geneigten Stellung. Will man diese vermeiden, so kann es leicht dadurch geschehen, dass man zu beiden Seiten des ersten Prismas A auf dem Wege der beiden Strahlenbündel zwei weitere Prismen B und C (Fig. 365) einschaltet, welche diesen die gewünschte Richtung ertheilen. Werden die beiden letzten

Prismen so angeordnet, dass ihre Reflexionsebene mit jener des ersten Prismas einen Winkel von 90° bildet, dann wird zugleich eine vollständige Umkehrung des mikroskopischen Bildes bewirkt, so dass dieses nun seiner Lage nach vollkommen dem Objecte entspricht.

Fig. 365.



In neuerer Zeit sind mehrere Prismenanordnungen ersonnen worden, welche eine ziemlich grosse Annäherung an die letzte brechende Fläche des Objectivsystemes gestatten und so eine auch für stärkere Objective geeignete Wirkung vermitteln sollen. Wenham bringt über dem Objectivsystem ein kleines trapezoidförmiges Prisma *A* (Fig. 366) an, welches nur über die halbe Objectivöffnung reicht und so der einen Hälfte *S* der aus letzterer austretenden Strahlen den gewöhnlichen Gang durch das senkrechte Rohr gestattet, während die andere Hälfte *S*₁, nach ihrem Eintritt in das Prisma an dessen linker und rechter Fläche je einmal zurückgeworfen, senkrecht zur oberen Fläche austritt, in ein geneigtes zweites Rohr gelangt und so auf ihrem Wege die ungestört durchgehenden Strahlenbündel kreuzt. Um diese Kreuzung zu vermeiden, hat Nachet zwei Prismen *A* und *B* angewendet, welche den aus der Fig. 367 ersichtlichen gewünschten Strahlengang ergeben.

Wenn die Prismen gut gearbeitet sind, so ist der Lichtverlust, welcher sich durch die Zurückwerfungen ergibt, ein sehr geringer, so

Fig. 366.

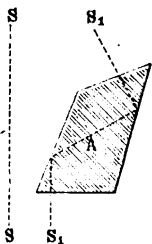
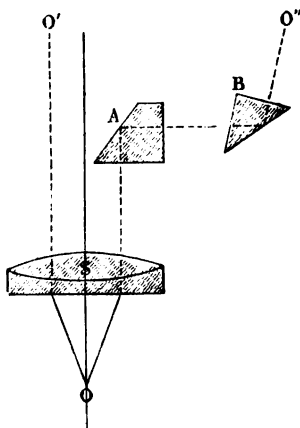


Fig. 367.



dass die Helligkeit der von jeder Strahlenhälfte entworfenen Bilder eine annähernd gleiche bleibt.

Powell & Lealand benutzen in neuester Zeit zur Strahlentheilung die theilweise Brechung und Zurückwerfung, welche hervorgerufen wird, wenn die Lichtstrahlen unter bestimmten Einfallswinkeln auf die Prismenflächen treffen. Sie verbinden ein trapezoidförmiges und ein ungleich dreiseitiges Prisma in der in Figur 368 dargestellten Weise mit einander, welche nahe an die obere Fläche des Objectivsystemes zu liegen kommen. Von den aus dem letzteren austretenden Strahlen SS geht, wie aus der Figur ersichtlich ist, ein (und zwar der grössere) Theil S_1S_1 nach zweifacher Brechung durch das linksseitige Prisma hindurch und gelangt in das senkrecht stehende Rohr (vergl. Fig. 373), während ein anderer Theil S_2S_2 an dessen unterer Fläche zurückgeworfen, in das rechtsseitige Prisma geführt, an dessen hinterer (rechtsseitiger) Fläche senkrecht zu dessen oberer Fläche zurückgeworfen und nach seinem Austritt in geneigter, die Richtung des durchgelassenen Strahlenbündels kreuzender Richtung in das schiefstehende Rohr gelangt.

Fig. 368.

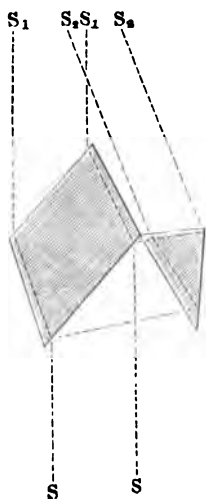
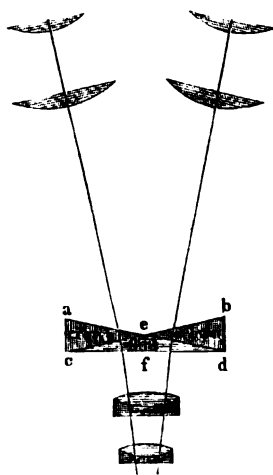


Fig. 369.



Die Theilung der Strahlenbündel mittelst der durch Brechung hervorgerufenen Ablenkung wurde zuerst und unabhängig von den Bestrebungen Riddell's von **Wenham** versucht. Derselbe verwendete hierzu eine Verbindung von einem Flintglasprisma mit zwei Crownglasprismen in der aus der Fig. 369 ersichtlichen Weise. Hierdurch wurde erreicht, dass neben der erzielten Vervielfältigung des Bildes zugleich der Achromatismus der neuen Bilder bewahrt blieb. Da mittelst dieses letzteren Verfahrens die neuen Strahlenbündel nur zu einer verhältnissmässig geringen Divergenz gebracht werden können, welche einerseits von dem brechenden Winkel der Prismen, andererseits von dem Brechungsindex

der benutzten Glassorten abhängt, so eignet sich dieselbe mehr für die stereoskopischen, als für die multocularen Mikroskope.

Soll das ursprüngliche Strahlenbündel in mehr als zwei, etwa in drei oder vier neue Strahlenbündel zerlegt werden, so wird eine entsprechende Vervielfältigung der spiegelnden oder brechenden Flächen verlangt, was sich, wie die von N a c h e t angefertigten tri- und quadri-ocularen Mikroskope beweisen, in gewissem Maasse immer ausführen lässt.

Multoculares Mikroskop. Ueber die mechanische Einrichtung der zur Beobachtung von Seiten mehrerer Personen bestimmten multocularen Mikroskope will ich mich hier um so weniger verbreiten, als sie nach dem Vorausgehenden und mittelst der beigegebenen Abbildungen derartiger Instrumente von N a c h e t leicht erschlossen werden kann. Es bleibt nur zu erwähnen, dass die Oculare in der Mikroskopröhre in irgend einer Weise verschiebbar sein müssen, um für jeden der einzelnen Beobachter eine genaue Einstellung des Bildes zu ermöglichen.

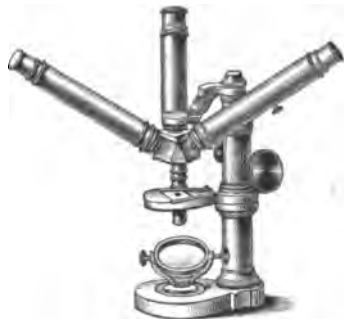
Das binoculare (Fig. 370) und ebenso das trioculare (Fig. 371) Mikroskop von N a c h e t werden, mit den Objectivsystemen Nr. 2, 3 und 5 ausgerüstet, zu 300 Franken (240 Mark) berechnet. Ausserdem liefert N a c h e t noch einen sogenannten binocularen Apparat, welcher an dem gewöhnlichen Mikroskope angebracht und wodurch dieses in ein binoculares umgewandelt werden kann. Die gewöhnliche Röhre muss hierbei entfernt und durch eine andere ersetzt werden, Fig. 372 (a. f. S.), mit welcher eine zweite fest verbunden werden kann, die mit ihrem unteren Ende in das Kästchen mit den Prismen eingesetzt ist. Diese Vorrichtung wird mit 80 Franken (64 Mark) berechnet.

Die multocularen Mikroskope stehen den gewöhnlichen Mikroskopen in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit natürlich bedeutend nach. Erst-

Fig. 370.



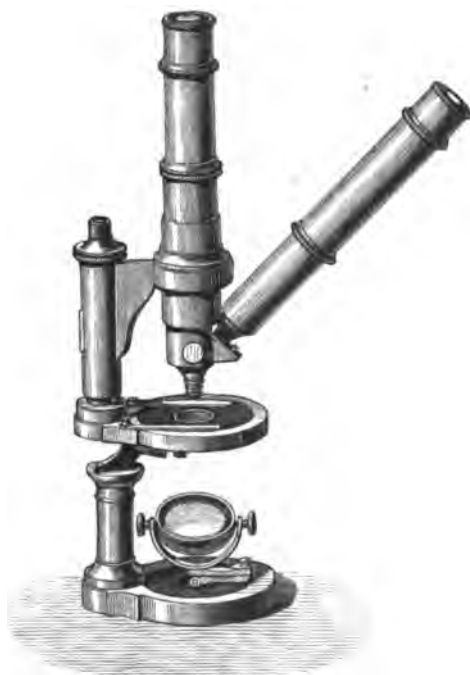
Fig. 371.



lich geht, wie leicht einzusehen, durch die Vervielfältigung der brechenden Mittel, sowie durch die Theilung der das Luftbild construirenden

Strahlenbündel eine grosse Menge von Licht verloren, so dass nur verhältnissmässig schwache Objectivsysteme zur Beobachtung verwendet

Fig. 372.



werden können. Dann aber leidet, wie ich mich durch eigene Beobachtung zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe, das Bild bedeutend an Schärfe und Reinheit. Als Demonstrationsinstrument ist übrigens der Werth dieser Art von Mikroskopen vielfach überschätzt worden. Für den Unterricht in der Histologie, und dieser wird bei den mikroskopischen Demonstrationen immer den verhältnissmässig grössten Umfang einnehmen, sind dieselben ziemlich werthlos. Nur für die Erzielung von Uebersichtsansichten ganzer Gewebmassen und für manche morphologische Entwicklungszustände mögen dieselben von einigem Werthe sein.

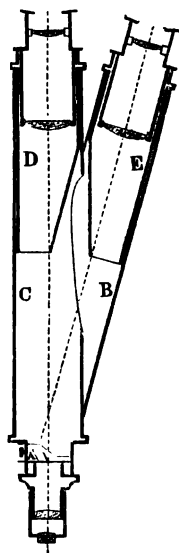
- 272 Das stereoskopische Mikroskop habe ich vor Jahren schon in der früher von Nabet gefertigten und später auch in der in England gebräuchlichen Form kennen zu lernen Gelegenheit gehabt. Ich könnte aber nicht sagen, dass dessen Wirkung mir von besonderem Werthe erschienen wäre, wie auch andere Mikroskopiker sich zur Zeit von den gerühmten Wirkungen noch nicht hatten überzeugen können. Von anderer Seite scheint man dagegen für die Entwicklungsgeschichte des thierischen Embryo etc. einigen Werth auf die Erzeugung körperlicher Bilder zu legen. Auch für die Entwicklungsgeschichte in der Morphologie der Gewächse dürfte das Instrument vielleicht nicht ohne Bedeutung sein. Jedenfalls leiden die bisher bekannten stereoskopischen Mikroskope, bei deren Einrichtung die Verdoppelung des Bildes und die für die stereoskopische Wirkung erforderliche Differenzirung der abbildenden Strahlenkegel durch Halbierung dieser letzteren an derselben Stelle — die zur Erzielung vollkommener Wirkung da liegen muss, wo diese Strahlenkegel einen gemeinsamen Querschnitt besitzen, also etwa ganz dicht an oder in der Oeffnung des Objectivsystemes (Stephenson) — vereinigt erschie-

nen, an dem Umstande, dass man mit Ausnahme des Stephenson'schen Binoculares und bis zu einer gewissen Grenze auch der neueren Powell- und Lealand'schen und neuesten Nacet'schen Binoculare immer auf schwache Vergrößerungen beschränkt ist. Dies beruht darauf, dass bei stärkeren Vergrößerungen die verlangte Stellung der Prismen, deren Ort aus mechanischen Gründen von der Oeffnung des Objectivsystemes oft um mehrere Vielfache seiner Brennweite entfernt bleiben muss, nicht erreicht werden kann. Die geringe Verbreitung, welche das stereoskopische Mikroskop in den Kreisen deutscher Forscher gefunden hat, beruht neben dem eben genannten Umstande sicher auch mit darin, dass man bei den am meisten verbreiteten Formen auf den langen, uns ungewohnten und unbequemen englischen Tubus angewiesen ist und dass das Stephenson'sche Binocular eine eigenartige, für den gewöhnlichen Gebrauch nicht geeignete Construction des Tubus und der Objectivfassungen erfordert, wenn seine

Fig. 373.



Fig. 374.



Vorzüge zur Geltung kommen sollen. Wie den gedachten Uebelständen abgeholfen werden kann, werden wir in dem nachfolgenden Buche sehen, wo auch auf die Eigenart des stereoskopischen Sehens etwas näher eingegangen werden soll.

Die englischen Mikroskope sind meist mit dem Binoculartubus versehen und geben wir, um einen Einblick in deren Bau zu gewähren, eine Abbildung eines Beck'schen Binoculares Fig. 373 (a. v. S.) nebst Längsschnitt Fig. 374 (a. v. S.). Von Nachet wird das stereoskopische Mikroskop (Fig. 375), welches, wie das binoculare, nur schwächere Objectivsysteme verträgt, mit den Systemen Nr. 2, 3 und 5 etc. ausgerüstet, um den Preis von 400 Franken (318 bis 321 Mark) geliefert. Andere unserer continentalen Optiker fertigen dasselbe, soweit meine Erfahrungen reichen, nicht.

Fig. 375.

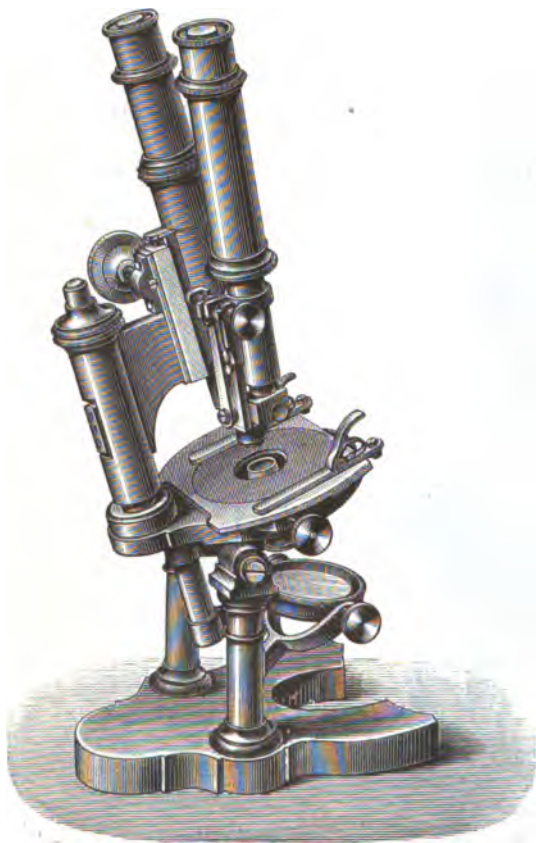
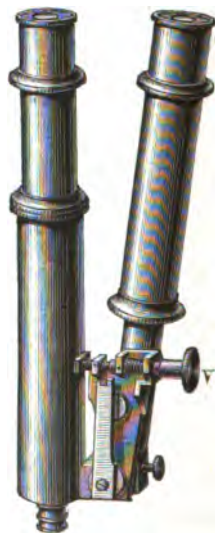


Fig. 376.



Nachet liefert auch eine Einrichtung zur Umwandlung des gewöhnlichen Mikroskopes in ein stereoskopisches (Fig. 376). Dieselbe ist nach

dem S. 351 beschriebenen Principe construiert mit besonderen Ocularen, sowie mit einer eigenthümlichen, durch die Schraube *V* in Bewegung zu setzende Einstellvorrichtung für die Entfernung der Augen versehen, welche dem zweiten reflectirenden Prisma nur eine halb so grosse Neigung ertheilt, wie dem Ocularrohre und auf diese Weise die von hier reflectirten Strahlenbündel bei den verschiedenen Stellungen des letzteren stets in der Achse des Oculares hält. Zur Erzielung orthoskopischer Wirkung, bei welcher die Tiefenausmessung in der dem Objecte entsprechenden Weise gesehen wird, dient die in der Fig. 367 gezeichnete Stellung des unteren Prismas, während dasselbe, wenn es sich um die Darstellung pseudoskopischer Wirkung mit umgekehrter Tiefenausmessung handelt, mittelst der Schraube am unteren Ende des schiefen Tubus über die linke Hälfte der Objectivöffnung geschoben wird. Der Apparat soll nach verschiedenen Urtheilen auch bei stärkeren Objectiven eine sehr gute Wirkung äussern (Preis: 120 Mark).

Bildmikroskop. — Das Bildmikroskop (Sonnen- und Hydro- 273 oxygengasmikroskop) ist hier und da zur Demonstration empfohlen worden. Indessen hat sich herausgestellt, dass die Erwartungen, welche man in dieser Beziehung von dem Instrumente hegte, dessen Anwendung ausserdem eine beschränkte (Sonnenmikroskop), oder mit mancherlei zeitraubenden und nicht gerade angenehmen Vorbereitungen (Gasmikroskop) verbundene ist, keineswegs erfüllt wurden. Dasselbe mag sich für manche Objecte, kleine Thierchen u. a., ganz gut zur Demonstration eignen, so lange dieselben keiner irgend erheblichen Objectivvergrösserung bedürfen, um genau in ihren Einzelheiten erkannt zu werden. Sobald es aber gilt, feinere Verhältnisse solcher Organismen zur Anschauung zu bringen, hat die Sache bei der gewöhnlichen Construction dieses Instrumentes ihr Ende erreicht und ist auch die kolossalste Vergrösserung nicht mehr im Stande, die mangelnde Schärfe und Klarheit des Bildes nur einigermaassen zu ersetzen. Für Demonstrationen in der Gewebelehre der Pflanzen und Thiere ist das Sonnenmikroskop und noch mehr das Gasmikroskop fast vollkommen unbrauchbar, und selbst gröbere Injectionspräparate verlieren die nothwendige Schärfe.

Sollen aber diese Uebelstände beseitigt werden, wie es bei einem vorzüglichen Bildmikroskope von Dr. Hugo Schröder der Fall ist, so verlangen der Beleuchtungsapparat, die Einstellvorrichtungen, sowie die Objectivsysteme eine so vollkommene und abweichende Construction, dass der Preis sich angemessen steigert (das Schröder'sche Bildmikroskop kostet 3000 Mark) und nur sehr reich dotirten Instituten die Anschaffung gestattet.

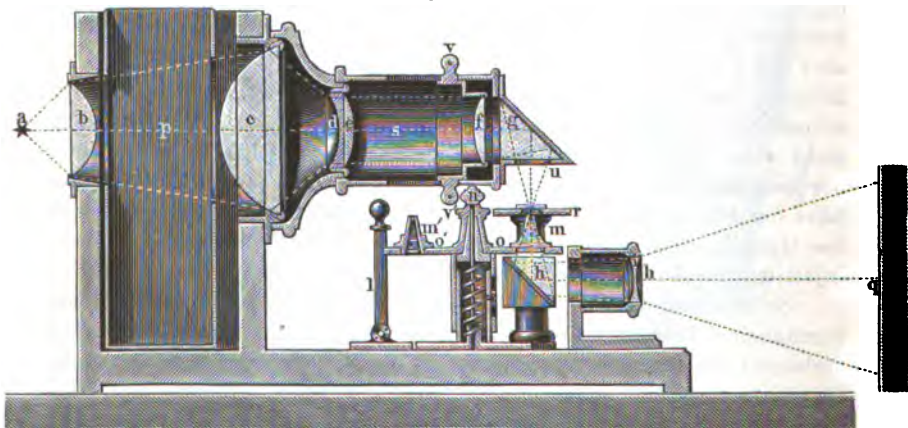
Beim Bildmikroskope wird das von dem Objectivsysteme entworfene Bild auf einem weissen oder durchsichtigen Schirme aufgefangen, der in einem dunklen Raume, z. B. in einem durch Läden verschlossenen Zimmer, in einer bedeutenden, 3 bis 6 Meter betragenden Entfernung hinter dem ersteren aufgestellt wird. Die Beleuchtung des Gegenstandes geschieht

entweder mittelst Sonnenlichtes oder mittelst künstlichen (Drummond'schen Kalk- oder elektrischen) Lichtes. Im ersteren Falle befindet sich vor einem geschlossenen Laden des Beobachtungsraumes ein ebener, an horizontaler Achse drehbarer und in verschiedenen Winkeln neigbarer Spiegel, welcher die Sonnenstrahlen durch eine Oeffnung nach der Beleuchtungslinse reflectirt. Von dieser letzteren aus gelangt der Lichtkegel durch eine geschwärzte Röhre oder ein Röhrensystem auf den mittelst einer passenden Vorrichtung (Objecttisch etc.) festgehaltenen Gegenstand, von welchem das Objectiv das Bild zu entwerfen hat. Dieses letztere besteht entweder aus einer einfachen achromatischen Doppellinse oder aus einem Doublet, oder es bildet ein vollkommenes Objectivsystem, wie es bei dem zusammengesetzten Mikroskope in Anwendung ist. Bei Verwendung von elektrischem oder Drummond'schem Kalklichte wird dieses unmittelbar nach dem Beleuchtungsapparat geleitet.

Was die optische und mechanische Einrichtung betrifft, von denen die letztere vorzugsweise die Regulirung des Beleuchtungsapparates zu übernehmen, dann die Einstellung des Objectes zu vermitteln und den Ausschluss alles unnöthigen Lichtes zu gestatten hat, so mögen diese — um den Leser das in seiner Art mustergültige Instrument vorzuführen — an dem Schröder'schen Bildmikroskope erörtert werden.

Der Beleuchtungsapparat, welcher das Licht des weissglühenden Kalkkegels bei *a* (Fig. 377) aufnimmt, besteht aus mehreren Theilen.

Fig. 377.



b und *c* sind zwei Planconvexlinsen aus Crown Glas, zwischen denen sich die zur Ausscheidung der den Beobachtungsobjecten schädlichen Wärmestrahlen dienende Aluminiumzelle *p* befindet. Das durch diese Linsen concentrirte Licht gelangt nach den mittelst Canadabalsam verkitteten Linsen *d* und *e*, von denen die erstere aus leichtem Crown-, die letztere aus schwerem Flintglas besteht, so dass beide eine stark übercorrigirte Linsenverbindung

vorstellen, welche das Beleuchtungssystem aplanatisirt und zugleich die convergenten Strahlen parallel macht. Diese nun werden mittelst der in der Achse verschiebbaren Sammellinse f auf das auf seiner Hypothenuse versilberte Crownglasprisma g concentrirt und von diesem senkrecht abwärts auf das auf dem Tische r liegende Object geworfen. Die Objectivsysteme m, m' , von denen sechs mit verhältnissmässig grosser freier Oeffnung vorhanden und durch Auslösung des Hebels l leicht wechselbar auf dem Revolverschieber $o o'$ angebracht sind, entwerfen in einiger Entfernung ein Luftbild, welches durch das gleichfalls auf seiner Hypothenuse versilberte Prisma h um 90° abgelenkt wird. Ehe jedoch das Luftbild zur Darstellung gelangt, werden die Strahlen durch den als negatives Ocular dienenden Aplanaten i, k auf die Projectionsebene q geworfen, wo das Bild des Objectes entsteht. Die Feineinstellung geschieht mittelst der Mikrometerschraube n , während mittelst der Köpfe v, v' die Sammellinse f so lange verschoben werden kann, bis das Gesichtsfeld gleichmässig beleuchtet ist. In das parallele Lichtbündel s und unter dem Systeme können Palarisationsapparate und bei u Gypsplättchen eingeschaltet werden.

Die Vergrösserung, welche bei dem Bildmikroskope bis ins Ungeheuerliche gesteigert werden kann, hängt von den Entfernungen ab, welche einerseits der Gegenstand, andererseits der Schirm von den Brennpunkten der Objectivsysteme haben. Man erhält dieselbe, wenn man mit ersterer in letztere dividirt; sie kann aber auch mittelst eines Glasmikrometers direct gemessen werden.

Das Scioptikon. Während dem gewöhnlichen Bildmikroskope 274 nur eine eingeschränkte Verwendung auch zu Demonstrationszwecken zugesprochen werden kann, eignet sich das auf gleicher Grundlage beruhende Scioptikon (Max Fritz, Görlitz 100 bis 135 Mark, A. Krüss in Hamburg 65 bis 75 Mark) zu letzteren vorzüglich, da als Objecte für dasselbe nicht die mikroskopischen Präparate selbst (oder wenigstens nur in beschränktem Umfange), sondern Glasphotogramme¹⁾ derselben benutzt werden und die Vergrösserung durch schwache Systeme (photographische Objective) bewirkt wird.

Der kurzen Beschreibung dieses Instrumentes nach seinen zwei Gebrauchsrichtungen sei hinzugefügt, dass seine Leistungen volle Anerkennung verdienen.

Zur Linken, Fig. 378 (a. f. S.), befindet sich das photographische Objectiv mit den Linsen ab, cd und dem Trieb e , der zum feineren Einstellen des Bildes dient.

Eine Schraubenvorrichtung verbindet bei fg das Objectiv mit dem vorderen Blechkasten mit Holzfassung hh' , welcher behufs Einstellung des Bildes vor- und zurückgeschoben werden kann.

¹⁾ Vorzüglich geeignet für diese Zwecke sind die Glasphotogramme von Dr. L. Koch für Botanik und von Professor Dr. Kossmann für Zoologie, vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Verlag von Max Fritz.

m n, vorn und hinten an der Unterseite des Apparates, sind kleine Blechstücke, welche in zwei Schrauben an der Oberseite des Verpackungskastens passen und zum festen Aufstellen dienen, *o* ist ein Draht, der zum Halten des hölzernen Schiebers dient (in der Figur nicht angegeben), in

Fig. 378.



welchen die Bilder eingeschoben werden. Diese werden mit Hilfe der Concentrationslinsen *p q*, welche in einer Kapsel sitzen, die sich auseinandernehmen lässt und öfters mit weichem Leder zu reinigen sind, durch die dahinter befindlichen Flammen kräftig erleuchtet.

Hinter den Linsen befindet sich der Brennerkasten *G G*. Derselbe endigt oben in einen Schornstein, den man, um stärkeren Luftzug zu erzeugen, weiter ausziehen kann und ist bei *G G* mit Hartglasplatten verschlossen, die ein- und ausgehoben werden können und um das Rauchen der Lampe zu verhüten, fest anliegen müssen.

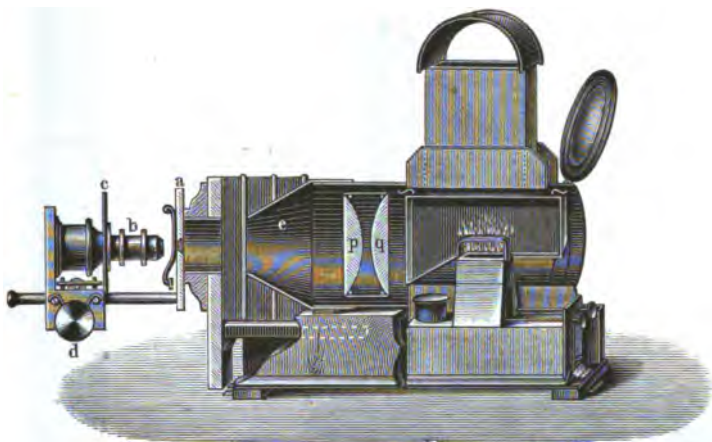
Die Lampe besteht aus dem Petroleumkasten *S*, der durch *t* gefüllt wird, und dem Dothalter *u v*. Dieser führt zwei flache, breite Dochte, welche mit Hilfe von *ww* gedreht werden. Die Lampe lässt sich leicht bei *x* ausheben und wieder einsetzen.

H ist ein Silberreflector, der das Licht der Lampe erheblich verstärkt.

Um mit dem Scioptikon mikroskopische Objecte geeigneter Art statt der Photogramme an der Wand zu demonstrieren, wird das gewöhnliche Objectiv von dem vorderen verschiebbaren Holzkasten losgeschraubt und durch den mikroskopischen Ansatz ersetzt, wie Fig. 379 zeigt. Das Ob-

ject wird auf dem Tische *a* mittelst Federklemmen befestigt und das Objectiv *b*, hinter welchem zur Abhaltung des Seitenlichtes eine grosse

Fig. 379.



schwarze Scheibe *c* sich befindet, mittelst des Triebes *d* eingestellt. Als Objectiv wird am zweckmässigsten ein solches von 25 bis 30 mm Brennweite benutzt. Um das von den Beleuchtungslinsen *p q* etwa nach den Seiten hin ausstrahlende Licht abzuschliessen, wird der schwarze Metallkegel *e* darüber gesteckt, welcher das Licht nur an seinem abgestumpften Ende auf das Object fallen lässt.

Die Bilder der Objecte erscheinen, wenn man eine Grösse des Bildkreises von 50 cm nicht überschreitet, vollkommen scharf und hell genug, um 8 bis 10 Personen gleichzeitig mit allen Details sichtbar zu sein.

Demonstrationsmikroskop. Das Demonstrationsmikroskop, 275 welches in neuester Zeit von Klönne und Müller in Berlin angekündigt wird, Fig. 380 (a. f. S.), besitzt einen um die Säule des Mikroskopes centrisch drehbaren Objecttisch, auf welchem je acht durch Federklammern festgehaltene Objectträger Platz finden und nach und nach in das Sehfeld gebracht werden können.

Eine andere zu gleichen Zwecken bestimmte Einrichtung hat Lobb seinem Demonstrationsmikroskope gegeben, indem er den um eine Säule centrisch drehbaren Objecttisch auf besonderem Stative anbrachte und dasselbe so aufstellte, dass die einmal eingestellten Objecte beim Umdrehen stets wieder in das Gesichtsfeld kommen.

Das Handmikroskop, zu Demonstrationen im Hörsaal und beim Unterrichte bestimmt, wird in freier Hand gegen das Tageslicht oder eine künstliche Lichtquelle gehalten. Es bedarf keines Spiegels, besitzt aber hier und da, wie bei der Nacet'schen Form, eine Sammellinse vor dem Objecttische in der optischen Achse. Die Einstellung wird entweder allein durch Verschiebung des Rohres, oder die grobe durch diese und

die feine durch Verschiebung des Oculares bewirkt, woraus ersichtlich, dass an dem Instrumente nur mässige Objectivvergrößerungen verwendbar

Fig. 380.

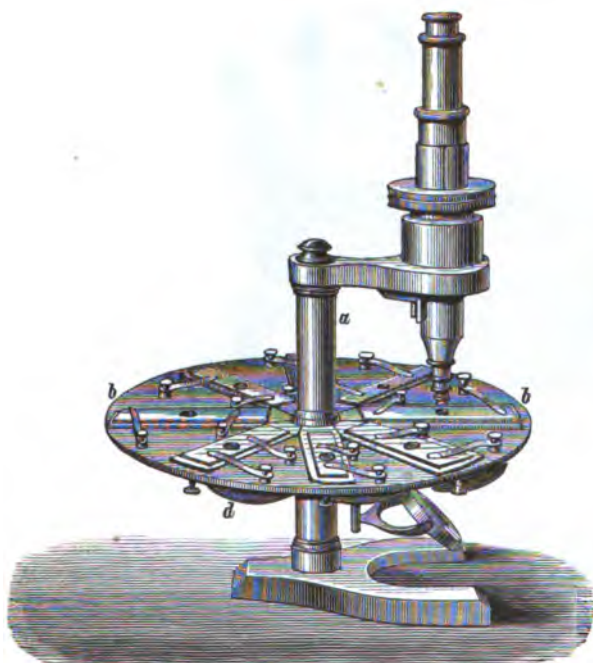
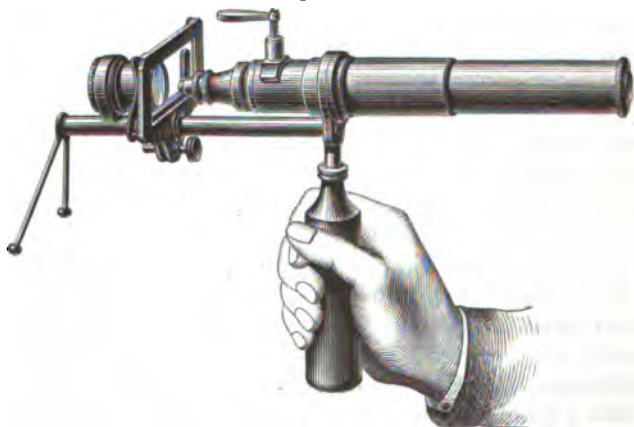


Fig. 381.



sind. Das Handmikroskop wird in verschiedenen Formen angefertigt und mögen die einheimischen durch die beigegebenen Abbildungen eines Winkel'schen Instrumentes (Fig. 381) dieser Art erläutert werden.

Fig. 382.



Nachet'sche Handmikroskop (Fig. 382), welches auch mitsonderen Vorrichtung als Standmikroskop benutzt werden eine recht praktische Einrichtung. Das Object wird mit Kautschuk belegten Federklammer vor dem Objecttische und an diesen angedrückt, so dass dasselbe bei jeder Dicke des in gleicher Entfernung von dem einmal eingestellten Object zu stehen kommt und höchstens der feinen Einstellung bemittelt Mikrometerschraube am Objecttische bewirkt wird, grobe durch Rohrverschiebung geschieht.

Umkehrendes Mikroskop. — Das bildumkehrende Mikroskop ist einzig und allein den Zwecken der Herrichtung mikro- 276 Objecte und soll das einfache Mikroskop ersetzen, das bei Gebrauch immer das Auge etwas anstrengt.

den mir bekannten Optikern sind es vorzugsweise Plössl, und Nachet, welche derartige Mikroskope anfertigen, bei Bildaufrichtung mittelst eines geeigneten Oculares oder Pristmes Buch) bewirkt wird. Da es leicht möglich ist, ein jedes zusammengesetzte Mikroskop durch Anwendung der genannten Hilfsmittel in ein Präparirmikroskop umzuwandeln, kann ich hier über diese Art von Instrumenten, welche von obigen Optikern zu den Preisen von 100 bis 200 Mark geliefert werden, hinweggehen.

Umgekehrtes Mikroskop. — Das umgekehrte Mikroskop, 277 welches soviel mir bekannt nur bei Nachet verzeichnet ist, ist in den von dieser Werkstatt gebauten Formen theils ausschliesslich für chemische Zwecke, theils für solche morphologisch-physiologische und entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen bestimmt, bei welchen das Object innerhalb gewisser Gase, in einer feuchten Atmosphäre, in Flüssigkeiten von einer bestimmten Temperatur, sowie unter einem bestimmten Luftdruck beobachtet werden soll, und mag in dieser Beziehung recht gute Dienste leisten und manche Annehmlichkeiten besitzen. Der Hauptvorteil, den dasselbe für chemisch-mikroskopische Arbeiten gewährt, bleibt der, dass es bei Anwendung von solchen Reagentien, die leicht verdunsten und deren Dämpfe schädlich auf die Objectivsysteme etc. einwirken würden, diese letzteren vor dem Verderben schützt, während es für die anderen oben erwähnten Beobachtungen eine bequemere und wohl auch sicherere Handhabung der gedachten Hilfsmittel der Untersuchung gewährt. Wer sich viel mit derartigen, in gewissem Maasse beschränkten, mikrochemischen Arbeiten zu beschäftigen hat, mag seinem Bedürfnisse durch die Anschaffung eines solchen Mikroskopes genügen, ebenso wird es für reichlich ausgestattete Institute eine willkommene Zugabe bilden. Für den Histologen im weiteren Sinne wird es mehr einen Luxusartikel bilden, als ein wirkliches Bedürfniss befriedigen. Erstlich wird dieser auch bei etwas gefährvollen Reagentien durch Anwendung hinreichend grosser Deckgläschen und durch sonstige Vorsichtsmaassregeln seine Gläser etc. zu schützen und bei den einschlägigen Untersuchungen für die entspre-

chenden Vorrichtungen und Hilfsmittel Rath zu schaffen wissen. Dann lässt ihn das Instrument wegen der Mängel, welche durch das in die Bahn der Lichtkegel eingeschobene Prisma veranlasst werden, doch bei allen sehr zarten und schwierigen Structurverhältnissen, welche starke Objectivsysteme erfordern, mehr oder weniger im Stich.

Das Princip, welches beim Bau dieses Mikroskopes befolgt wird, um den von dem Objecte ausgehenden Strahlen die erforderliche Richtung zu geben, geht aus der Figur 383 hervor. Man sieht daraus, wie die

Fig. 383.

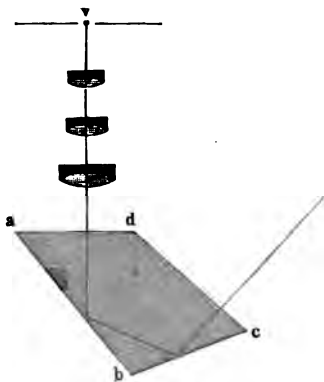
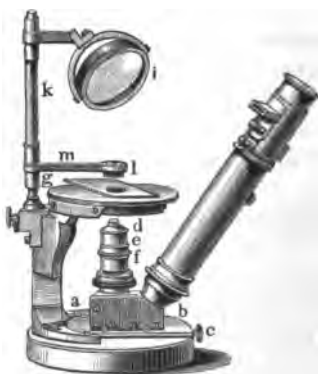


Fig. 384.



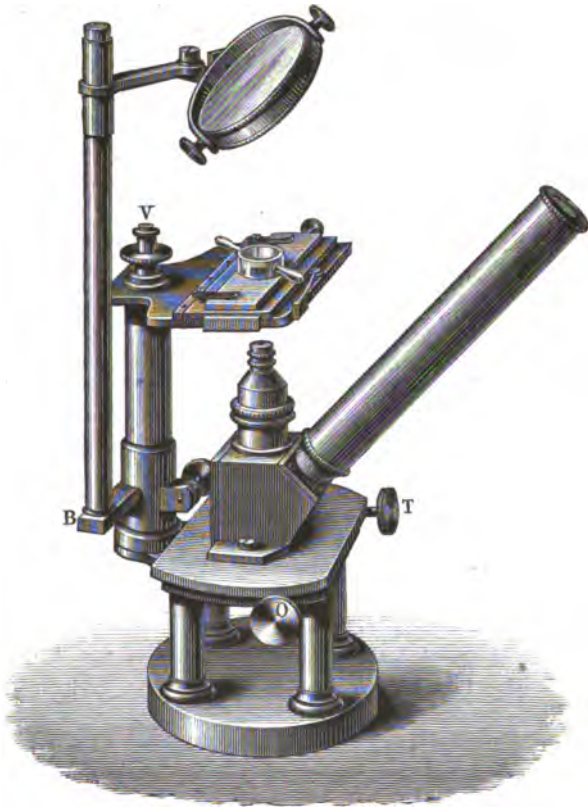
Lichtstrahlen in dem Prisma *a b c d* eine doppelte Zurückwerfung erleiden und dadurch in eine solche Richtung gebracht werden, dass der Kopf bei der Beobachtung eine bequeme Lage haben kann und den Händen für die verschiedenen Manipulationen auf dem Objecttische die nöthige Freiheit bewahrt bleibt.

Der Körper des chemischen Mikroskopes *b* (Fig. 384) ruht auf einem runden Fusse und kann auf einem Schlitten *a* zwischen zwei Leisten vor- und rückwärts bewegt, oder auch ganz entfernt werden. Der Objecttisch *g* ist feststehend und kann eine lange zweite Platte aufnehmen, welche über den Tisch hinüberraagt, die Objectträger aufnimmt und nöthigenfalls durch eine Spirituslampe erwärmt werden kann. Die grobe Einstellung geschieht mittelst Verschiebung einer das Objectivsystem tragenden kleinen Röhre *e*, die feine mittelst einer Schraube *f* unterhalb dieser Röhre. Zur Beleuchtung dient ein an der über dem Körper emporragenden Stange *k* beweglich befestigter Spiegel *i* und zur Modificirung der Lichtstärke eine gleichfalls verschiebbare deckelförmige Blende *m*, *l*.

Nachet liefert dieses Mikroskop mit den Objectivsystemen Nr. 2, 3, 5 und 6, mit einem Ocular, einem Ocularmikrometer, einem Gonio- meter und verschiedenen Nebendingen ausgerüstet um den Preis von 350 Franken (280 Mark).

Das neue umgekehrte Mikroskop (Fig. 385) für anatomisch-physiologisch- und entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen besitzt einen grossen vierseitigen Objecttisch. Dieser trägt schmalere Kupferplat-

Fig. 385.



ten mit einer kleinen runden zur Aufnahme von Kautschukschläuchen doppelt tubulirten Glasschale, deren Boden mit einem runden, durch ein mittelst Canadabalsam aufge kittetes Deckglas verschlossenes Loch versehen ist. Auf das Deckglas kommt das Object zu liegen, während die Schale mittelst einer ebenen mit Glycerin oder dergleichen bestrichenen Glasplatte luftdicht verschlossen werden kann. Der die Objectivsysteme aufnehmende Körper des Mikroskopes kann mittelst zweier Schrauben *O* und *T* nach zwei horizontalen Richtungen bewegt werden, um das Object in das Sehfeld zu bringen. Die grobe Einstellung wird durch Bewegung der die Objectivsysteme tragenden Röhre, die feine durch Bewegung des Objecttisches mittelst der Mikrometerschraube *V* bewirkt. Das Instrument wird mit einem achromatischen Condensor, Spiegel nebst Linse

für schiefe Beleuchtung, drei Objectiven: 3, 6, 7 und zwei Ocularen versehen zu 500 Franken oder 400 Mark berechnet.

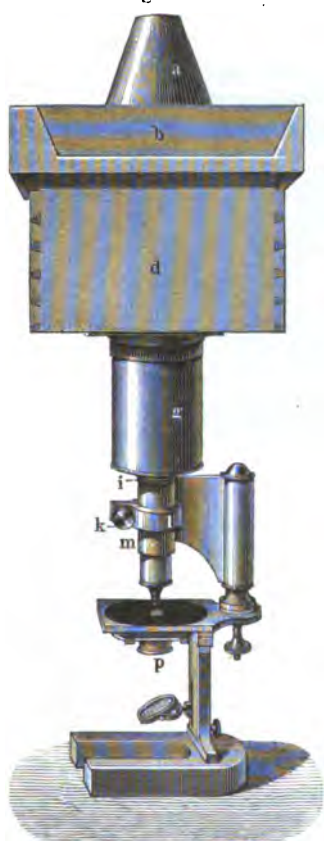
278 **Das photographische Mikroskop.** — Der mikroskopischen Photographie ist in der letzten Zeit von vielen Seiten ein nicht geringer Werth beigelegt worden. Obgleich ich im Ganzen diesen Ansichten nicht beitreten, namentlich aber der Photographie als Ersatzmittel der mikroskopischen Handzeichnung einen grossen Werth nicht einräumen kann, so zeigen doch die schönen Arbeiten von Professor Gerlach in Erlangen u. A., dass für einzelne Seiten der mikroskopischen Technik die Photographie nicht ohne Bedeutung ist.

In der ursprünglich von Professor Gerlach verwendeten Gestalt bildet das photographische Mikroskop nicht einen für sich bestehenden Apparat, sondern es wird dasselbe an dem Rohre des mit hinreichend starkem Stativ versehenen Arbeitsmikroskopes angebracht. Man hat indessen von Seiten einzelner Optiker auch besonders für die photographische Aufnahme eingerichtete Instrumente gebaut. So führte schon Hartnack in seinem früheren Preiscourante das heliographische Mikroskop nach Bertsch auf, und es liefern Seibert & Krafft in Wetzlar, Franz Schmidt und Haensch in Berlin sowie Nachet theils einfachere, theils zusammengesetztere Instrumente dieser Art. In Bezug auf die zusammengesetzteren Apparate müssen wir indessen auf die ausführlicheren Specialwerke z. B. auf: „Die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung“ von Dr. A. Moitessier, übersetzt von Professor Dr. B. Benecke Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn, verweisen, da wir uns hier nur mit den Apparaten ersterer Art beschäftigen können.

Der photographische Aufsatz (Fig. 386), wie er von Professor Gerlach angewendet wird, besteht nach der auf Seite 30 u. f. des Schriftchens „Die Photographie als Hilfsmittel der mikroskopischen Forschung“ gegebenen Beschreibung aus einer hölzernen Röhre *g* und einem hölzernen viereckigen Kasten *d*, der an seinem oberen Ende eine Vorrichtung *b* besitzt, welche gestattet, die lichtempfindliche Platte ohne Zutritt von Tageslicht einzusetzen. Ersterer besitzt einen Durchmesser von 72, ein Lumen von 64 Millimeter und eine Länge von je 11 bis 26 Centimeter. An dem unteren Ende derselben befindet sich ein nach innen gerichteter hölzerner Vorsprung, welcher in der Mitte ein rundes Loch hat, dessen Durchmesser um 3 Millimeter grösser ist, als jener der Mikroskopröhre. Dieser Vorsprung ist mit einer 1 Millimeter starken messingenen Platte *h* belegt, die eine dem hölzernen Vorsprunge entsprechende centrale Oeffnung besitzt. An dem Umfange dieser Oeffnung erhebt sich von der Messingplatte aus ein 1 Millimeter breiter, 8 Millimeter hoher messingener Fortsatz, der nach oben gerichtet ist und an seiner inneren Seite eine Schraubenmutter besitzt, welche mit dem Schraubengewinde eines an dem oberen Ende der Mikroskopröhre *m* angebrachten Metallringes *i* übereinstimmt. Letzterer, welcher eine Breite von 5 mm und eine Höhe

von 10 mm hat, wird an dem oberen Ende des Mikroskoprohres, oder wo dieses, wie bei den Instrumenten von Hartnack u. A., einen Auszug

Fig. 386.



besitzt, unterhalb dieses letzteren angelöthet. Er trägt an seiner Aussen-seite das erwähnte Schraubengewinde, welches der Mikroskopröhre um 4 mm näher liegt als seine Breite beträgt, und dessen Höhe 8 mm misst. Dadurch kann das Rohr des photographischen Aufsatzes an die Mikroskopröhre angeschraubt werden, und zwar so, dass es hinreichend fest auf dem Vorsprunge des Ringes ruht.

Das obere Ende des Holzrohres ist ebenfalls von einem Messingring *f* umgeben, der, 20 mm hoch, in seiner oberen Hälfte aussen ein Schraubengewinde besitzt, um den Kasten *d* mit dem Holzrohre in feste Verbindung zu bringen.

Der viereckige hölzerne Kasten besitzt eine Höhe von 140, eine Länge von 185 und eine Breite von 175 mm. Die Bodenwand desselben hat eine centrale runde, 76 mm im Durchmesser haltende Oeffnung. In diese ist ein an seiner inneren Seite mit einer Schraubenmutter versehener Messingring *e* eingefügt, in welchen das obere Ende des Holzrohres eingeschraubt wird. Nach oben endigt der Kasten in einen Vorsprung *c* mit

20 mm dicken Wänden, welche sich gegen das Ende hin verjüngen, so dass dadurch eine obeliskenförmige Vertiefung entsteht. In diese letztere kann dann sowohl die sogenannte Visirscheibe *b*, als auch der Holzrahmen eingesetzt werden, in welchem sich die vor Licht geschützte empfindliche Glasplatte befindet.

Die Visirscheibe besteht aus einem Holzrahmen, welcher durch zwei Charniergelenke an die eine Wand des Kastens befestigt ist, so dass er beim Einsetzen der sogenannten Cassette aufgeklappt, beim Einstellen aber zugeklappt werden kann. Der Holzrahmen wird mit durchscheinendem, sogenanntem Paus- oder Pflanzenpapier überzogen, auf welchem das Bild des aufzunehmenden Objectes erscheint, dem man durch genaue Einstellung mittelst der Mikrometerschraube des Mikroskopes den möglichsten Grad von Schärfe geben muss.

Die Cassette (Fig. 387) wird von einem, dem der Visirscheibe an Grösse genau gleichen Holzrahmen gebildet, und ist bei der Anfertigung

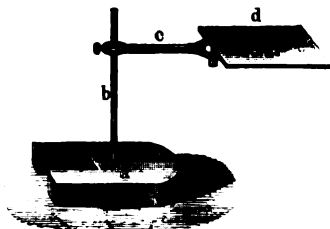
Fig. 387.



derselben vor Allem darauf zu sehen, dass die präparierte Seite der lichtempfindlichen Glasplatte genau in dieselbe Ebene zu liegen kommt, in welcher sich bei der Einstellung das durchscheinende Papier der Visirscheibe befindet. Die hintere Wand der Cassette bildet ein durch Charniergelenke mit dem Holzrahmen in Verbindung stehender Deckel *b*, der zum Einbringen der Glasplatte aufgeklappt und durch eine Klammer *c* geschlossen erhalten wird. Die vordere Wand besteht aus dem eigentlichen Schieber *d*, welcher während der Lichtexposition aufgezogen wird, sonst aber immer eingeschoben bleibt. Zwischen Deckel und Schieber befindet sich die Glasplatte, mit der präparierten Seite gegen den Schieber gewendet und auf vier an den Ecken des Rahmens angebrachten Vorsprüngen *v, v* ruhend. Die Cassette muss so gearbeitet sein, dass die präparierte Glasplatte sowohl ausser als während der Expositionszeit vollkommen gegen von aussen kommendes Licht geschützt ist.

Um den Lichtzutritt zu dem Apparate zu regeln, dient die auf einem eigenen Stative befindliche Klappe (Fig. 388). Auf einem soliden,

Fig. 388.



schweren Fusse *a* erhebt sich ein 120 bis 150 mm hoher Metallstab *b*, von dem ein mittelst einer Hülse verschiebbarer, durch eine Schraube festzustellender, 60 bis 70 mm langer Stab *c* in horizontaler Richtung abgeht. An dem freien Ende dieser letzteren befindet sich eine Klemmschraube, zwischen der in horizontaler Richtung ein 60 mm langes, 45 mm breites, leichtes,

schwarzes Brettchen *d* oder dergleichen befestigt ist, welches, nach der Einstellung und bis die präparirte Glasplatte eingesetzt ist, zwischen Spiegel und Beleuchtungslinse eingeschoben den Lichtzutritt zu dem optischen Apparate verhindert.

Zur Verdunklung der Visirscheibe während der Einstellung gebraucht man zunächst eine etwa 1 m langes, 80 cm breites schwarzes Tuch von dichtem Sammet, mit welchem der Kopf des Einstellenden und der Kasten verhängt wird. Dann aber ist noch ein auf die Visirscheibe zu setzender abgestumpfter, innen geschwärzter Hohlkegel (Fig. 386, *a*) nöthig, welcher alles Seitenlicht abhält und in dessen oberem Ende zweckmässig eine Sammellinse als Lupe angebracht wird, um durch die Vergrösserung des Bildes auf der Visirscheibe eine vollkommen scharfe Einstellung möglich zu machen.

Für Aufnahmen bei sehr schwachen, 2- bis 10maligen Vergrösserungen hat Prof. Gerlach noch einen eigenen Apparat construirt und empfohlen, auf dessen Beschreibung ich hier wohl verzichten darf, da derjenige, welcher die mikroskopische Photographie im Grösseren zu betreiben sich veranlasst sieht, der kleinen, vortrefflichen Schrift Gerlach's doch nicht entzählen kann.

In neuester Zeit hat Prof. Gerlach den photographischen Aufsatz, welcher durch den vermöge seiner Schwere ausgeübten Druck auf das Mikroskop die feine Einstellung bis zur äussersten Schärfe beeinträchtigt, wesentlich abgeändert und verbessert. Derselbe ist jetzt an einem eigenen Stativ befestigt, an welchem er mittelst eines Getriebes auf- und abgeschoben werden kann, und wird mittelst einer genau anschliessenden nur den nöthigen Raum zur leichten Bewegung lassenden Hülse über den Mikroskopkörper gestülpt. Die früheren verschieden langen Holzzöhrn sind dadurch ersetzt, dass an der Camera eine Zugvorrichtung angebracht ist, welche dem Balg der Ziehharmonika gleicht, so dass man bequem bei verschiedenen Vergrösserungen aufzunehmen im Stande ist.

Der Mechaniker Gebhardt in Erlangen fertigt diesen Apparat, welchen übrigens jeder geschickte Mechaniker nach den obigen Angaben leicht anzufertigen im Stande sein dürfte, um den Preis von 49½ Mark, E. Leitz in Wetzlar für 60 Mark und mit Beigabe von System 3 und den Ocularen I., II. und III. für 120 Mark.

Der mikro-photographische Apparat, Fig. 389 (a. f. S.), von 279 Seibert und Krafft in Wetzlar für 90 mm Bildgrösse bildet eine recht zweckmässige Abänderung des ursprünglich von Dr. O. Reichardt erdachten Apparates (Reichardt & Stürenberg, Lehrbuch der mikroskopischen Photographie, Leipzig 1868).

Auf dem grossen und schweren Hufeisenfusse erhebt sich eine starke hohle Messingsäule, an welcher der untere Rahmen der Camera befestigt ist, während deren oberer Theil mit einer innerhalb der Säule durch Trieb beweglichen Zahnstange in Verbindung steht. Die Camera besteht aus

einem vierseitigen Kasten von etwa 110 mm im Quadrat, an welchem sich der mit dem unteren an der Säule befestigten Rahmen abschliessende zur Verlängerung der ersteren dienende Balg befindet. Der Boden dieses

Fig. 389.



Rahmens besitzt ein etwa 50 mm im Durchmesser haltendes rundes Loch, um welches ein Sack befestigt ist, der zur vollständigen Abhaltung allen fremden Lichtes mittelst einer Gummischnur das Rohr des Mikroskopes fest umfasst. Der obere Kasten ist zur Aufnahme der Cassette bestimmt und hat zu diesem Zwecke einen Falz, in welchen diese eingeschoben wird.

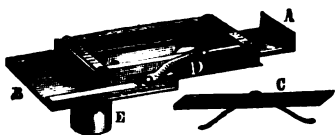
Die Cassette und die Einstellvorrichtung für das Bild sind im Wesentlichen dieselben, wie bei dem Gerlach'schen Aufsatze, nur sind die vier Ecken zum Auflegen der Glasplatte nicht aus Holz, sondern zum Behufe leichterer Reinigung aus Glas gearbeitet. Die Visirscheibe befindet sich ausserdem nicht in einem besonderen Rahmen, sondern wird, um den gleichen Abstand derselben und der empfindlichen Platte von den bilderzeugenden Linsen zu wahren, einfach

auf die vier Glasecken aufgelegt. Da die mattgeschliffene Glasplatte zu grob ist, als dass feine Linien scharf darauf eingestellt werden können, so wurde dieselbe durch eine Jodsilberplatte ersetzt, welche der photographirende Mikroskopiker nach gegebener Vorschrift leicht selbst anfertigen und erneuern kann.

280 Zwei bequeme Apparate hat Dr. Benecke in dem oben erwähnten Werke von Moitessier beschrieben, von denen der eine für schwächere, der andere für stärkere directe Vergrösserung bestimmt ist.

Bei dem ersteren besteht der ganze photographische Apparat aus einer kleinen zur Aufnahme von zwei Bildern bestimmten Cassette, welche die empfindliche Platte aufnimmt und an Stelle des Oculares auf dem Mikroskoprohre befestigt wird. Dieselbe bildet ein hölzernes oder messing-

Fig. 390.



genes Kästchen (Fig. 390), welches für eine 9 cm lange und 4 cm breite Glasplatte Raum hat, die von hinten durch die an der lichtdicht schliessenden federnde Thür *C* fest gegen vier Elfenbein- (oder Glas-) füßchen angedrückt wird. Vorn wird die Cas-

sette durch zwei leichtgehende Messingschieber *A* geschlossen, mittelst deren man nach einander die eine und die andere Hälfte der Glasplatte verdecken, oder dem Lichte aussetzen kann. Die Cassette ist in einer Schlittenvorrichtung auf einer Messingplatte *B* leicht verschiebbar, welche in der Mitte von einer der Weite des Mikroskoprohres entsprechenden kreisförmigen Oeffnung durchbohrt und unterhalb derselben mit einem 4 bis 5 cm langen, genau in den Tu-

Fig. 391.



bus passenden Ansatzrohre *E* versehen ist. Eine an der Platte *B* angebrachte Feder *D* trägt an ihrem Ende einen Stift, der in zwei in der Cassette angebrachte Löcher passt und bewirkt, dass jedesmal genau die Mitte einer Plattenhälfte genau über den Tubus zu stehen kommt und das Bild aufnimmt.

Die Fig. 391 zeigt die Verbindung des kleinen Apparates mit dem Mikroskope und einen vollständigen aus Spiegel *J*, zwei Linsen *D* und *E* und Schirm *H* (zum Lichtabschluss) bestehenden Beleuchtungsap-

parat, von denen das erstere auf einer mit dem Tische durch Klammern verbundenen Holztafel unverrückbar aufgestellt, der letztere auf einer von dieser ausgehenden horizontalen verschiebbaren Leiste *B* angebracht ist. Bei Verwendung dieses Apparates hat man durch geeignete Veran- staltungen Sorge dafür zu treffen, dass das Mikroskoprohr genügend

feststeht und dasselbe nach geschieder Einstellung nicht etwa durch das Gewicht der Cassette herabgedrückt wird und jene verloren geht.

Die genaue Einstellung des Bildes kann bei der Kleinheit unter zweckentsprechender, der bei dem vorhergehenden Apparat beschriebenen ähnlicher Veranstaltung, mittelst einer stark vergrößernden Brücke'schen Lupe oder auch durch ein besonders dazu eingerichtetes Ocular (l. c. Seite 50) vorgenommen werden.

Der zweite Apparat (Fig. 392) besitzt eine der bei dem Seibert'schen Instrumente beschriebene ähnliche Camera, welche durch drei

Fig. 392.



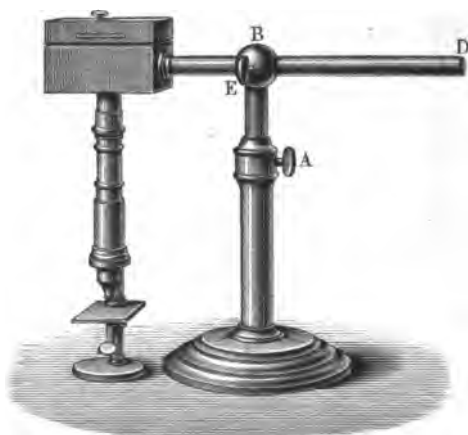
senkrechte auf einem niedrigen festen Tischchen befestigte Säulen *AA* getragen wird und durch ein Ansatzrohr lichtdicht mit dem Tubus des auf dem Tischchen unverrückbar aufgestellten Mikroskopes verbunden ist. Um die in Folge der weiten Entfernung der Einstellschraube bei stark verlängerter Camera hervorgerufene Unbequemlichkeit und die oben berührten Eigenschaften der matten Glastafel zu umgehen, geschieht hier die Einstellung des Bildes mittelst einer mit sehr weissem Papier überzogenen Tafel durch Beobachtung des hierauf projectirten Bildes von unten her. Zu diesem Zwecke ist an dem oberen 20 cm hohen Ansätze *B* der Camera die Thür *C* angebracht, deren Oeffnung nebst dem Kopfe bei geringer Lichtstärke mit einem schwarzen Tuche verhängt werden muss.

Eine einfache und wie mir scheint recht zweckmässige Verbindung der photographischen Camera mit dem

ganzen Linsensystem des Mikroskopes — Objectivsystem und Ocular — ist in neuester Zeit von Hauer (Grundzüge der Mikrophotographie von Max Hauer. Leipzig, Otto Wigand) vorgeschlagen worden. Die Camera wird dabei senkrecht und horizontal verschiebbar auf einem Holz- oder Metallstativ angebracht, dessen Einrichtung nebst seiner Verbindungsweise mit ersterer aus der beigegebenen Fig. 393 leicht ersichtlich ist, und mittelst eines an ihrem unteren mit einer entsprechenden kreisförmigen Oeffnung versehenen Boden befestigten, dem Umfange des Ocularrandes angepassten Ansatzrohres mit dem Mikroskope verbunden. Um

lichtdichten Verschluss an der Verbindung herzustellen, wird ein starkes und breites Kautschukband über die Verbindungsstelle geschoben.

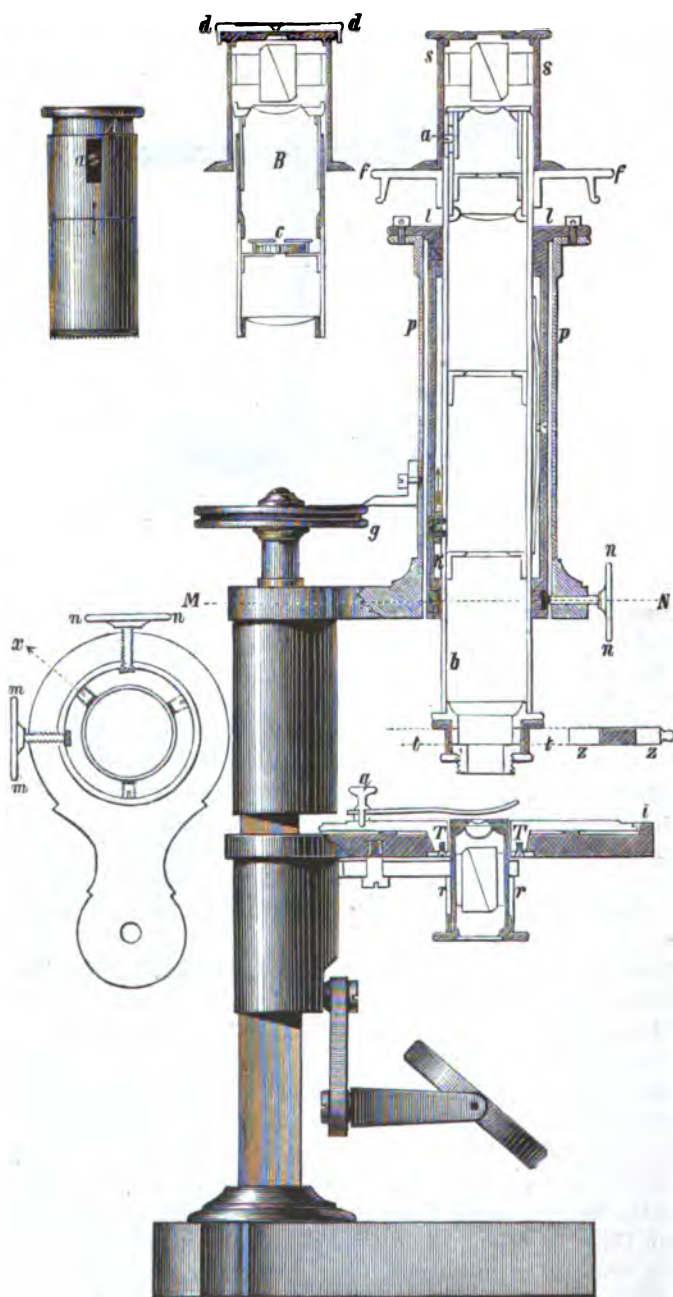
Fig. 393.



Das „mineralogische“ Mikroskop. Seit den von Professor 282 Rosenbusch ausgegangenen ersten Anregungen („Ein neues Mikroskop für mineralogische und petrographische Untersuchungen“, Jahrb. für Mineralogie 1876) haben sich unsere Optiker allseitig bemüht, den gewöhnlich in Gebrauch befindlichen grösseren und mittleren Stativen unter der obigen Bezeichnung für die berührten besonderen Zwecke eine passende Einrichtung zu geben, welche im Wesentlichen auf die Gewährung der — neben den Vorrichtungen zur Messung von Kantenwinkeln, Längen und Dicken — erforderlichen Mittel zur genauen Bestimmung der Lage und Neigungswinkel der optischen Achsen doppeltbrechender Krystalle mittelst polarisirten Lichtes sowohl, als mittelst stauroskopischer Beobachtung hinausgeht.

Das mineralogische Mikroskop von Rosenbusch, Fig. 394 (a. f. S.), wie es in neuerer Zeit von Fues in Berlin geliefert wird, hat einen um seine Achse drehbaren in 360° getheilten Objecttisch, welcher ausserdem einen aus zwei senkrecht zu einander stehenden Scalen bestehenden Indicator besitzt. Unter dem Objecttische ist der Polarisator *rr* eingefügt, der, um seine Drehung ablesen zu können, auf seiner Metallhülse eine Theilung mit Index trägt und über dem Nicol mit der gewöhnlichen Condensorlinse von 12 mm Brennweite eine zweite von 8 mm Brennweite verbunden hat, um durch Erzeugung von möglichst convergentem Lichte mit dem Objectivsysteme allein die Achsenbilder in sehr dünnen Mineralschliffen beobachten zu können. Der Analysator *ss* ist über dem Ocular angebracht und seine Fassung hat am unteren Ende einen scharf aus-

Fig. 394.



laufenden Ring mit eingeschnittener Scala, welcher sich beim Ueberstülpen über das Ocular auf einen tellerförmigen Ansatz *f* des Mikroskoprohres fest auflegt und an einem dem letzteren eingeritzten Index die vorgenommene Drehung desselben ablesen lässt. Stehen die Theilungen von Polarisator und Analysator, welche aus Prazmowski'schen Prismen bestehen, mit ihrem Nullpunkte auf den festen zugehörigen Indexstrichen, dann ist der Hauptschnitt des ersteren von hinten nach vorn, der des letzteren von rechts nach links gerichtet und es kreuzen sich die Polarisations Ebenen.

Von den drei Ocularen ist das stärkere mit einem Ocularmikrometer versehen, das zweite bildet ein Stauroskopocular und das dritte besitzt ein rechtwinkliges Fadenkreuz. Um dieses letztere in paralleler Stellung mit den Polarisations Ebenen festzustellen, besitzt das Ocular aussen an der Fassung einen in der Verlängerung des einen Armes liegenden Schraubenzapfen *a*, welcher in einen entsprechenden Schlitz des Tubus einfällt.

Das in Fig. 394 *B* besonders abgebildete Stauroskopocular wandelt das Mikroskop in ein Mikrostauroskop um. Dasselbe hat in der Blendungsöffnung bei *c* eine Calderon'sche, sehr genaue stauroskopische Messung gestattende Kalkspath-Doppelplatte eingefügt, deren Zusammensetzungsebene mit dem von vorn nach hinten gerichteten Arme des Ocularkreuzes parallel verläuft, sobald der erwähnte Zapfen *a* in den Schlitz einfällt. Die Ocularlinse ist in der von Amici angewendeten Weise verschiebbar, während der erwähnte in einem Schlitz der äusseren Hülse laufende Zapfen die Führung übernimmt. Beim Gebrauch des Stauroskopoculares wird dem Analysator das enge Diaphragma *d* aufgesetzt, damit der Beobachter genau in der Achse des Instrumentes, also parallel zu ihrer Zusammensetzungsebene auf die Platte blickt.

Zur Untersuchung schwach doppelt brechender Krystalle in homogen gefärbtem Gesichtsfelde dient die Klein'sche circularpolarisierende 3,75 mm dicke Quarzplatte *z*, welche durch einen Schlitz in das Rohr eingeschoben werden kann, während dieser beim Nichtgebrauche durch einen an einem Zapfen sitzenden drehbaren Ring geschlossen ist.

Die grobe Einstellung geschieht mittelst Rohrschiebung, die feine mittelst einer Mikrometerschraube von 0,5 mm Ganghöhe. Der Umfang des flachen Schraubenkopfes ist zum Zwecke der Dickenmessung und der Bestimmung des Brechungsindex durchsichtiger Platten in 500 Theile getheilt, so dass noch 1μ Höhendifferenz abgelesen werden kann.

Zur Gewährleistung sicherer Winkelbestimmung bedarf die Centrirung des optischen Apparates auf die Mitte des Objecttisches einer besonders hohen Genauigkeit. Dieselbe wird hier dadurch ausgeführt, dass der das Objectivsystem tragende Tubus *b* in einen cylindrischen Mantel *p* eingefügt ist und mittelst einer etwas weiteren Röhre nur am oberen Ende einen festen Anschluss an das äussere Rohr findet. Die Stellung des unteren, gleichsam frei hängenden Endes des Tubus wird durch die beiden senkrecht gegeneinander wirkenden Schrauben *m* und *M* (Nebenfigur) und diesen

entgegen wirkende Sperrfedern geregelt, so dass die Verlängerung der optischen Achse genau durch den Mittelpunkt des Objecttisches geführt werden kann.

Eine etwas abweichende Einrichtung besitzt das „grosse mineralogische Mikroskop“, bei dem die Objectivsysteme an einer horizontalen Revolverscheibe durch Zwischenstücke so angebracht sind, dass sie beim Gebrauch annähernd auf das Object eingestellt erscheinen. Die Centrirung geschieht hier am Objecttische, der zugleich als Schraubenmikrometer dient, durch rechtwinklig gegen einander wirkende Schrauben.

Die grobe Einstellung durch Verschiebung des Rohres ist aufgegeben, dagegen ist der Objecttisch sammt Beleuchtungsapparat an dem senk-

Fig. 395.

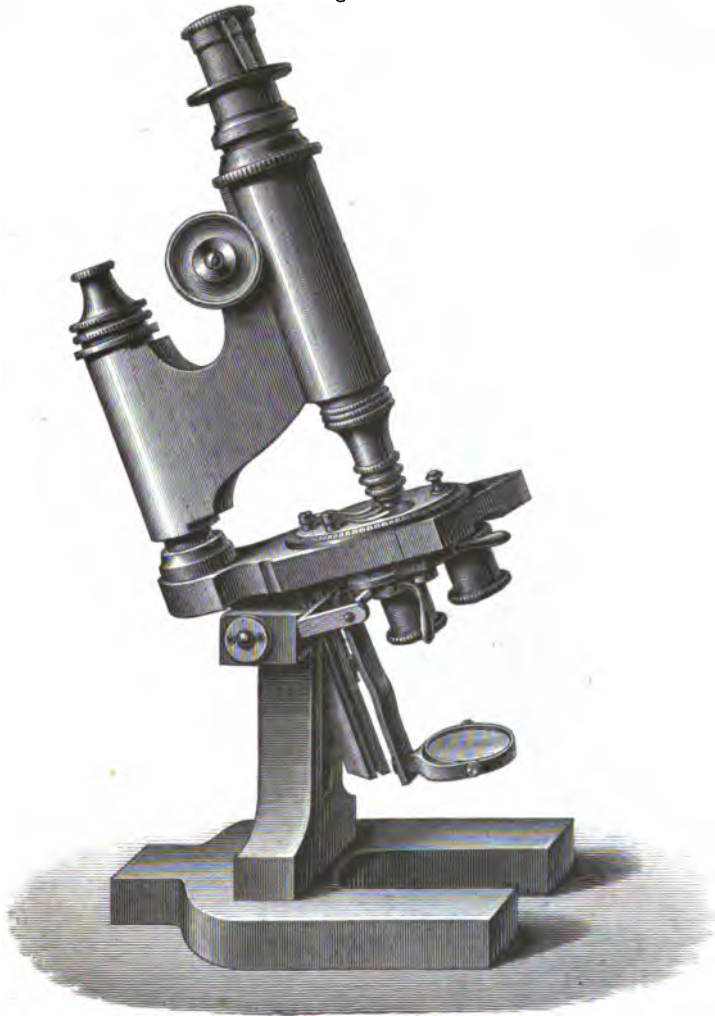


rechten Stahlprisma um etwa 15 mm verschiebbar und kann in der erforderlichen Höhe mittelst einer Klemmschraube festgestellt werden.

Von den „mineralogischen Mikroskopen“, wie sie unter Anpassung an ihre gebräuchlichen Stative und unter Zugrundelegung des Rosenbusch'schen Constructionstypus von mehreren optischen Werkstätten, z. B. Dr. Hartnack, Dr. Zeiss, Winkel, Leitz, Reichert, E. Boecker u. A. construirt werden, mögen die Figuren 394 und 395 dem Leser ein Bild geben. Die einzelnen unterscheiden sich nur durch nicht wesentliche in dem Baue der betreffenden Stative bedingte Einzelheiten von einander und von dem vorher beschriebenen Mikroskope. So bringt Hartnack (Fig. 394) zur Herstellung des Stauromikroskopes die Kobell'sche Kalkspathplatte zwischen Ocular und Analysator an, wozu der Raum durch Auflegen einer erhöhenden Zwischenplatte auf den Tubusvorsprung dient. Dann lässt er bei dem Polarisator die — auch in der That nicht erforderliche — Theilung weg, und giebt ihm die ent-

sprechende feste Stellung durch Einfallen eines Zapfens in der Fassung des Nicols in einen entsprechenden Schlitz in der Hülse, in welcher jener verschiebbar ist. Bei dem Zeiss'schen Instrumente (Fig. 395) wird die

Fig. 396.



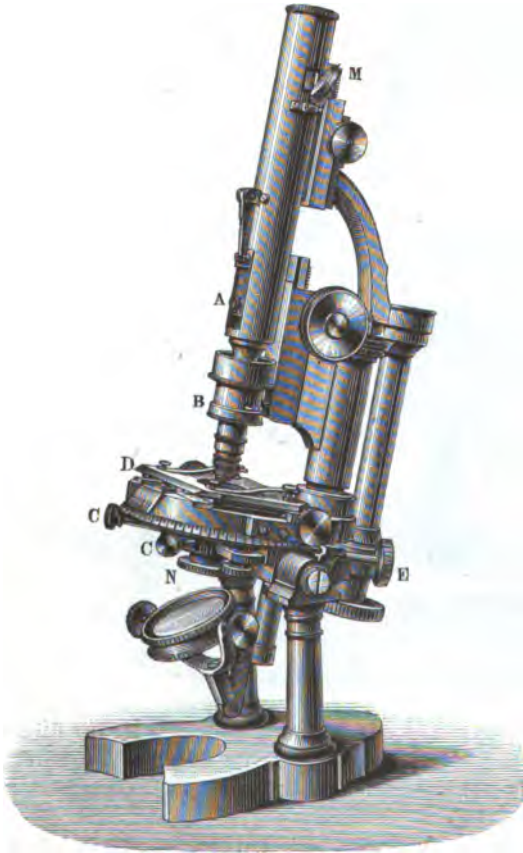
Centrirung am Tische vollzogen und zur Drehung des Polarisators dient ein Hebel, während leichtes Einspringen einer Feder in eine Vertiefung der Fassung die Stellung des Hauptschnittes von vorn nach hinten oder von rechts nach links anzeigt.

Uebrigens kann nach Rosenbusch's und Fues' Principien leicht jedes grössere oder mittlere Stativ mit Cylinderblenden oder dem Abbe'-

schen Beleuchtungsapparat in ein mineralogisches Mikroskop umgewandelt werden. So habe ich z. B. mein grosses Stativ Zeiss mittelst des goniometrischen Oculares und eines in dem Oculare angebrachten Diamantkreuzes mit einem dem Rosenbusch-Fues'schen ähnlichen, die Einlage der Kalkspathplatte gestattenden Analysator versehen lassen, während die circularpolarisirende Quarzplatte in ein über dem Objectivsysteme angebrachtes Zwischenstück eingelegt und die Winkelmessung durch eine besondere, verhältnissmässig dünne, mit Kreistheilung und Drehung um die optische Achse versehene, durch drei an geeigneten Stellen des Mikroskopobjecttisches angreifende Schrauben centrirbare Tischplatte vermittelt wird.

284 Eine von dem beschriebenen abweichenden Bau besitzt das mineralogische Mikroskop von Nabet (Fig. 397). Dasselbe sucht nämlich die

Fig. 397.



Unzuträglichkeiten zu beseitigen, welche durch die Centrirung der optischen Achse auf die Mitte des drehbaren Objecttisches, sowohl beim Wechseln der Objective durch wiederholt nöthige neue Centrirung, als durch die Schwierigkeit genauester Centrirung überhaupt herbeigeführt werden. Zu diesem Zwecke ist der gesammte optische Apparat derart in zwei Theile zerlegt, dass der Polarisator, sowie der Analysator sammt dem Ocular unbeweglich bleiben, während der Objecttisch sammt dem kurzen Rohre *D* mit dem Objectivsysteme — wie es bei dem gebräuchlichen drehbaren Objecttisch der Fall ist — sich um die Achse drehen. Durch diese Einrichtung wird ein einmal mit dem Schnittpunkte des Ocularkreuzes in Uebereinstimmung

gebrachter Punkt des Objectes stets in diesem erhalten und die erhaltenen Drehungswerthe sind möglichst genau und zuverlässig. Die einzige Abweichung, welche sich geltend machen kann, beruht darin, dass die optische Achse von Ocular und Objectivsystem nicht immer ganz genau zusammenfallen. Aber dieser Fehler ist so klein, dass er praktisch nicht in Betracht kommt.

Das Instrument besitzt im Wesentlichen die zu den besonderen Zwecken erforderlichen Einrichtungen und Apparate, hat aber einen mit dem feststehenden Theile des Statives verbundenen zweiten Träger mit (bei den verschiedenen Modellen) durch Getriebe oder Schiebung beweglichem Tubus, in welchem der abnehmbare Analysator *A* und das Ocular mit Fadenkreuz eingefügt werden und der so mit dem das Objectiv tragenden Tubus centrisch verbunden ist, dass er an dessen Drehung nicht Theil nimmt. An diesem Tubus kann mittelst Bajonettverbindung ein Conus eingesetzt werden, welcher die für die oben erwähnte Beobachtung der Achsenbilder dünner Krystallplatten erforderlichen Convergenzlinsen trägt, während bei dem grösseren Stative ein kleiner Spiegel *M* angebracht ist, der dazu dient, um durch entsprechende Fensterchen im Tubus und Ocularfassung hindurch bei verdunkeltem Gesichtsfelde des Fadenkreuz zu beleuchten. Die circularpolarisirende Quarzplatte, Gypsplättchen etc. können in einen Schlitz dicht über dem Objectivsysteme eingefügt werden.

Das Polarisationsmikroskop. — Das Polarisationsmikroskop, welches für krystallographische Untersuchungen von hoher Bedeutung ist, kann dem Histologen weniger für die Erforschung des optischen Verhaltens der Elementarorgane als desjenigen ganzer Gewebe dienen und ist in dieser Beziehung seit längerer Zeit von Professor Valentin in Bern mit grossem Erfolge benutzt worden. 285

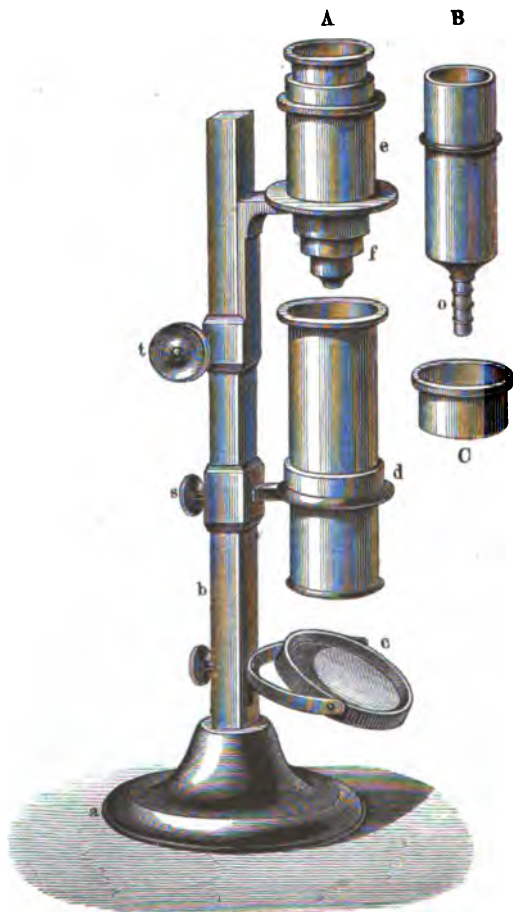
Dieses Instrument unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Polarisationsapparate wesentlich dadurch, dass die von dem Polarisator ausgehenden Lichtstrahlen zwei Linsensätze zu durchlaufen haben, ehe sie zu dem Analysator gelangen. Von diesen Linsensätzen kommen die „Convergenzlinsen“ zwischen den Polarisator und das Object, die „Mikroskoplinsen“ aber zwischen das letztere und den Analysator.

Ueber die Wirkungsweise dieser Linsensysteme kann ich mich hier nicht weiter auslassen und verweise daher denjenigen, welcher sich dafür interessirt, auf den betreffenden Aufsatz von Professor Reusch in „Amtlicher Bericht der 34. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Carlsruhe, Seite 160 u. f.“, sowie auf das bekannte Werk von Valentin, Seite 87 u. f.

Das erste vollständige Polarisationsmikroskop wurde 1830 von Amici gebaut und ist in Harting's „Mikroskop“, Seite 849 u. f. beschrieben. Unter den neueren derartigen Instrumenten nimmt das Nörrembergische Polarisationsmikroskop einen ersten Rang ein.

Ich habe ein solches Mikroskop damals neuester Construction (Fig. 398 A), welches aus der Werkstatt von J. Wilh. Albert in Frankfurt a. M. hervorgegangen ist, vor mehreren Jahren in Händen gehabt und mich von seiner Brauchbarkeit für die oben erwähnten Untersuchungen überzeugt, so dass ich es allen denen empfehlen kann, welche dessen bedürfen. Das Stativ besteht aus einem grossen und schweren runden Fusse *a*, von dem sich die vierkantige Messingsäule *b* erhebt,

Fig. 398.



welche den Beleuchtungsapparat, die Linsensätze und den polarisirenden Apparat aufnimmt. Der Beleuchtungsapparat wird aus dem ebenen Spiegel *e* und einer Beleuchtungslinse gebildet, welche in den unteren Theil der an der Säule *b* verschiebbaren und mittelst der Schraube *s* festzustellenden Röhre *d* eingesetzt ist. Ueber der Beleuchtungslinse steht der

e Nicol und über diesem werden die in eine besondere Röhre konvergenzlin-
sen eingeschoben, auf deren vordere, mit ihrer
Achse nach oben gewendete der zu beobachtende Gegenstand
gebracht wird. In der mittelst des Triebes *t* an der Stativsäule hö-
her stellbaren und somit eine genaue Einstellung gestattenden

Fig. 399.



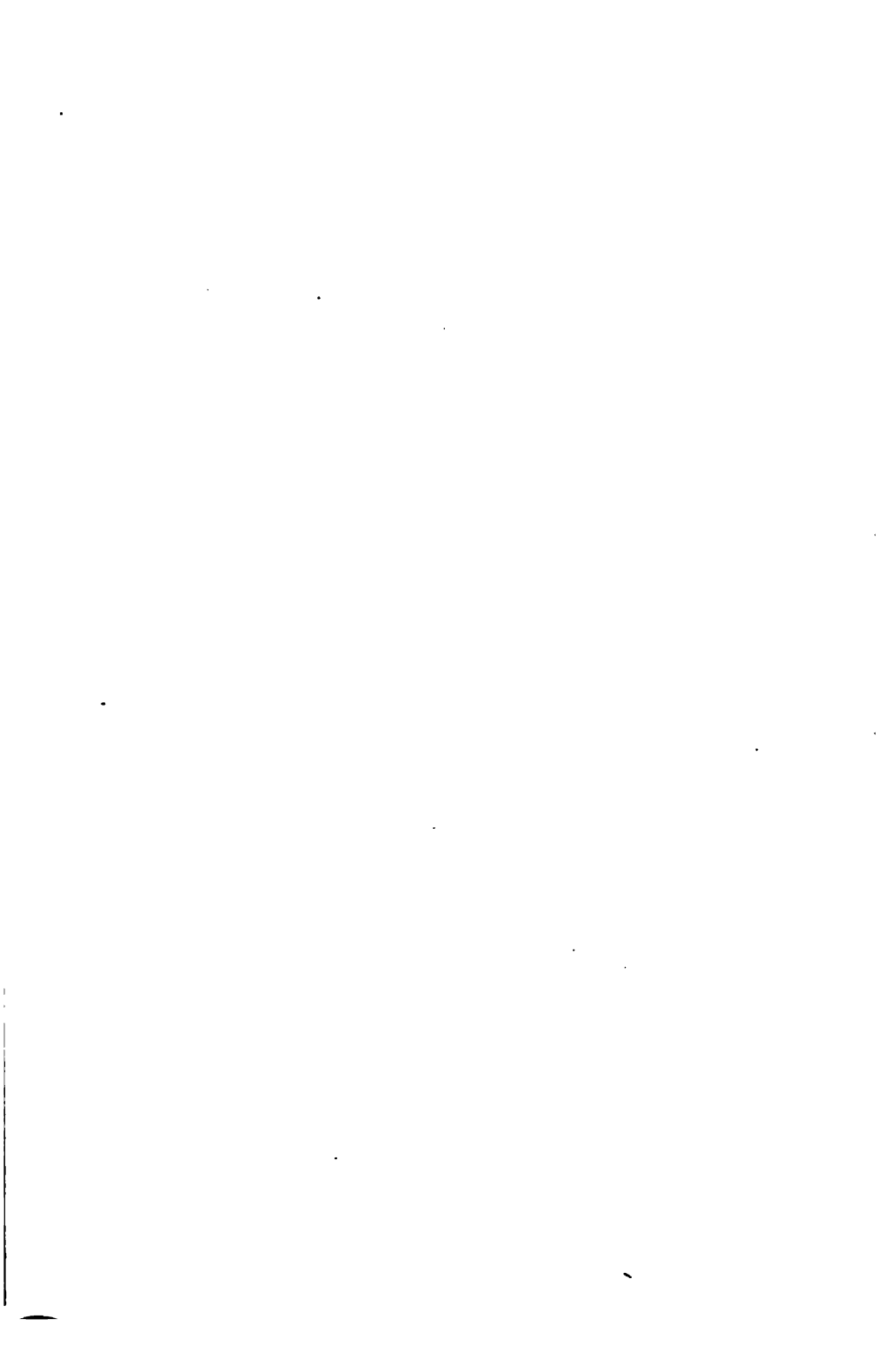
Röhre *e* werden unten die Mikro-
skoplin-
sen *f* und oben über dem
Oculare das über einem getheilten
Kreisringe um seine Achse dreh-
bare analysirende Nicol'sche
Prisma eingesetzt.

Für die Beobachtung von klei-
nen Krystallen, Stärkekörnern
und dergleichen ist dem Instru-
mente ein besonderes Rohr
(Fig. 398 B) beigegeben, welches
ein schwaches Objectivsystem *o*
trägt und statt der Mikroskoplin-
sen in den unteren Theil der
Röhre *e* eingeschoben werden
kann. Für solche Fälle dient
auch der Objecttisch *C*, welcher
an die Stelle der Convergenzlin-
sen zu treten hat.

In neuester Zeit fertigt auch
Reichert in Wien das Nörrn-
berg'sche Polarisationsmikro-
skop mit grossem Sehfelde in
der in beistehender Fig. 399 ab-
gebildeten Form an, bei welcher
der Analysator über dem mikro-
skopischen Apparate an einer

verschiebbaren und durch eine Schraube feststellbaren Stange ange-
bracht ist.

Auf die Beschreibung der zusammengesetzteren, speciellen krystallo-
graphischen Untersuchungen dienenden Apparate, wie des Grot'schen
Universalapparates etc., müssen wir hier verzichten, da sie unseren
Zwecken ferner liegen.



DRITTES BUCH.

HILFSMITTEL

ZUR

MIKROSKOPISCHEN BEOBACHTUNG.



Erster Abschnitt.

Nebenapparate des Mikroskopes.

Erstes Capitel.

Optische Nebenapparate.

I. Vorrichtungen zur Bildaufrichtung und Erzeugung körperlicher Bilder.

Bildumkehrendes Ocular. — Das bildumkehrende Ocular 286 stimmt bei der meist üblichen Form in seinem Baue ganz mit dem bei dem Fernrohre angewendeten terrestrischen Ocular überein. Es besteht aus vier Linsen, welche in einer gemeinsamen Röhre derart fest mit einander verbunden sind, dass die beiden unteren Linsen ihre ebenen Flächen nach unten kehren, die beiden oberen einem Huyghens'schen Oculare entsprechen. Vor der untersten Linse entsteht hier innerhalb deren Brennweite das von dem Objectiv entworfene reelle Bild und wird, nachdem die Strahlen die beiden mittleren Linsen, von denen die dritte dem Collectiv eines gewöhnlichen Huyghens'schen Oculares entspricht, durchlaufen haben, zu dem zweiten Bilde umgewandelt, welches zu dem ersten eine umgekehrte, mit jener des wirklichen Objectes übereinstimmende Lage hat. Durch die oberste Linse endlich wird dieses aufgerichtete reelle Bild betrachtet und wie bei dem gewöhnlichen Ocular vergrößert. Von den Blendungen wird die erste da angebracht, wo die durch die vorderste Linse gegangenen Strahlen die optische Achse schneiden, während die zweite ihren Platz dort erhält, wo das zweite Bild entsteht.

Dieses bildaufrichtende Ocular, welches mit dem sogenannten Erector der Engländer übereinstimmt, lässt sich leicht bei allen Mikroskopen

anbringen, welche ein ausziehbares Rohr besitzen, und zeigt die Fig. 400 die Verbindung eines solchen mit einem Hartnack'schen Mikroskope.

Fig. 400.



A ist die verschiebbare innere Röhre, welche an ihrem unteren mit einer Schraubenmutter versehenen Ende den bildumkehrenden Apparat *C* aufnimmt, während das obere Ende ein passendes Huyghens'sches Ocular *B* trägt. Den Wechsel der Vergrößerungen bei ein und derselben Objectivvergrößerung erzielt man durch Verschiebung des inneren Rohres *A*.

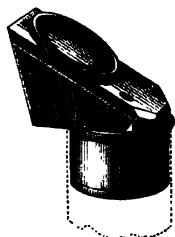
Will man ein etwas ausgedehnteres Sehfeld erlangen, was bei Präparationen oft von grossem Vortheile ist, so kann man die Vorrichtung in der von Harting angegebenen Weise modificiren, indem man das bildaufrichtende Ocular aus einem Huyghens'schen Ocular als unterem, und einem Ramsden'schen als oberem Theile zusammensetzt. Um bei dieser Einrichtung einen Wechsel in den Vergrößerungen zu erzielen, werden beide Oculare so gefasst, dass sie gegeneinander verschiebbar sind. Wird dann das obere Ocular von dem unteren weiter entfernt, so nimmt die Vergrößerung in entsprechendem Verhältnisse zu und es wird diese letztere verringert, wenn die Entfernung zwischen beiden Ocularen ein kleineres Maass erreicht. Auch das früher beschriebene Hilfsmikroskop lässt sich als bildumkehrendes Ocular benutzen. Nur muss man dann, um den Tubus nicht zu sehr zu verlängern, an demselben ein Objectivsystem von kürzerer Brennweite — je nachdem von 15 bis 25 mm — verwenden.

Die Bilder, welche man mittelst dieser Vorrichtungen erzielt, entbehren zwar der vollen Schärfe, welche sie unter gewöhnlichen Umständen besitzen würden; allein dieser Umstand wirkt bei dem Zwecke, den man hier zu erreichen hat, kaum irgend störend ein. Nach meiner eigenen Erfahrung wenigstens lassen sich alle Präparationen unter einem derart eingerichteten zusammengesetzten Mikroskope recht gut vornehmen. Einen Vortheil, der nicht ohne Annehmlichkeit ist, hat dagegen diese Einrichtung vor anderen voraus. Man verliert nämlich nicht allein nichts am Focalabstande, sondern es wird eher noch etwas gewonnen, so dass man selbst mit 100- bis 120 facher Vergrößerung arbeiten kann, ohne dass dabei die Länge des Rohres für die erforderlichen Manipulationen störend wirkt.

Bildumkehrendes Prisma. — Nachet's bildumkehrendes Prisma, welches nach einer Idee von Amici ausgeführt ist, bietet eines der vortrefflichsten Hilfsmittel zur Aufrichtung des Bildes dar. Mittelst eines unten an der Fassung angebrachten Ringes kann dasselbe leicht jedem Oculare übergestülpt und somit jedem Mikroskope angepasst

werden. Ich habe mehrfach Gelegenheit gehabt, mich von der Brauchbarkeit dieser kleinen, von Nachet um 20 Mark (25 Franken) zu erhaltenden Vorrichtung zu überzeugen, und kann sie allen denen empfehlen, welche ihr Compositum zum Präpariren bei aufrechtem Bilde benutzen wollen oder müssen. Das einzige, was bei der älteren Construction aus-

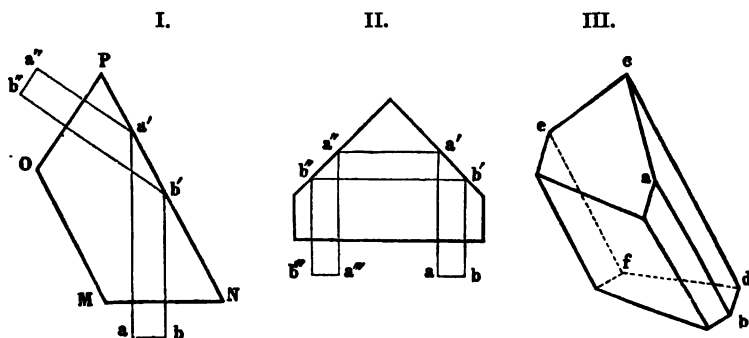
Fig. 401.



zusetzen blieb, war der Umstand, dass das Gesichtsfeld nicht unbeträchtlich beschränkt wurde. In neuester Zeit hat Nachet das Prisma indessen fest mit einem Oculare verbunden (Fig. 402), wodurch dieser Uebelstand aufgehoben ist. An Schärfe und Deutlichkeit büssen die mikroskopischen Bilder gar nichts ein, so dass sie sich, mittelst des Prismas gesehen, ebenso darstellen, wie unter den gewöhnlichen Umständen.

Die Wirkungsweise dieser Vorrichtung wird sich aus dem beigegebenen Schema (Fig. I bis III) leicht erkennen lassen. *MNOP* stellt den Durchschnitt des Prismas dar; *MN* ist die dem Oculare, *PO* die dem Auge des Beobachters zugewendete Fläche, welche beide unter einem Winkel von 58° gegen einander geneigt sind, so dass sich die optische Achse um etwa 30° gegen die Senkrechte neigt und der Kopf eine bequemere Stellung annehmen kann. Stellt nun *ab* den Längendurchmesser des mikroskopischen Bildes dar, so ist leicht ersichtlich, wie dieses durch einfache Spiegelung an den hinteren Flächen *abcd* und *cdef* (Fig. 402 III) nach dieser Richtung hin in eine umgekehrte Lage *a''b''* (Fig. 402 I) gebracht wird. Die zweite zur vollen

Fig. 402.



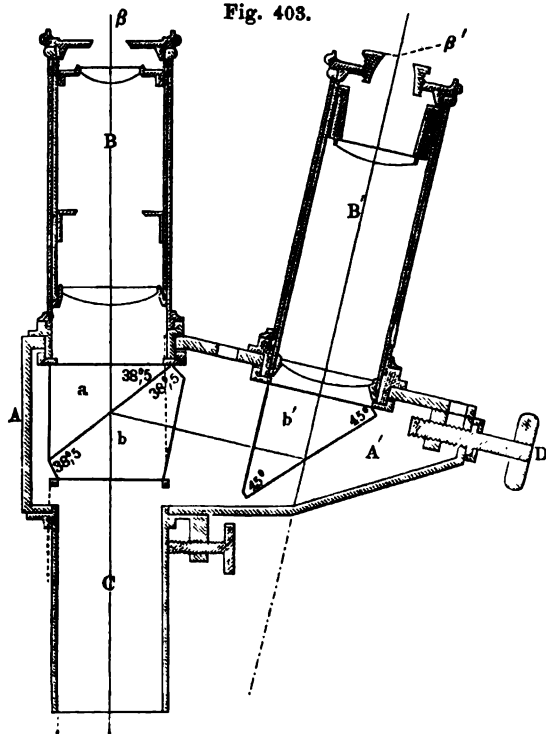
Aufrichtung noch nothwendige Umkehrung in dem Querdurchmesser wird durch doppelte Reflexion an den beiden oben bezeichneten unter einem Winkel von $81\frac{1}{2}^\circ$ zusammenstossenden Flächen bewirkt, indem die von *a* und *b* ausfahrenden Strahlen die Wege *a, a', a'', a'''* und *b, b', b'', b'''* in Fig. 402 II beschreiben.

Das stereoskopische Ocular. Abbe's stereoskopisches 288
Ocular. Um die oben bei dem gebräuchlichen stereoskopischen Mikro-

skope hervorgehobenen Mängel zu beseitigen und einen für jeden Tubus und auch für die stärksten Vergrößerungen geeigneten stereoskopischen Apparat herzustellen, hat Professor Abbe einen von dem bisherigen abweichenden Weg des Baues verfolgt. Er hat die Verdoppelung des mikroskopischen Bildes durch eine gleichmässige an kein bestimmtes Niveau gebundene Spaltung aller aus dem Objectivsysteme austretenden Strahlen herbeigeführt und die der stereoskopischen Wirkung dienende Halbierung nach der Spaltung in den aus den früheren theoretischen Betrachtungen bekannten, von den einzelnen Ocularen oberhalb der Augenlinse entworfenen reellen Bildern der Objectivöffnung, d. h. in der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes vorgenommen. Dieser Weg, welcher in gleicher Weise für die Construction eines Binoculartubus wie eines stereoskopischen Oculars verwerthet werden kann, ist nun auf Anregung von Professor Selenka in Erlangen für das letztere eingeschlagen worden und so ist das vorliegende, nicht allein dem besonderen Zwecke stereoskopischer Bilderzeugung dienende Ocular entstanden, welches in der Werkstätte von Dr. Carl Zeiss in Jena um den Preis von 150 Mark in vorzüglich schöner Ausführung angefertigt wird.

Der Körper des in Fig. 403 im Durchschnitt dargestellten Apparates wird von einem allseitig geschlossenen Messinggehäuse *AA* gebildet,

Fig. 403.



welches im Inneren eine Verbindung von drei Crownglasprismen a, b, b' enthält, während die Deckplatte das feststehende Ocular B , sowie das auf einem verschiebbaren Schlitten befindliche Ocular B' trägt und die Bodenplatte die Hülse C besitzt, vermittelt deren sich das Ganze wie ein gewöhnliches Ocular in das Rohr des Mikroskopes einschieben lässt. Die beiden Prismen a und b sind derart zu einem festen Stück verbunden, dass sie zusammen eine dicke Planplatte vorstellen, deren Zusammenhang jedoch durch eine mittelst geeigneter Zwischenlagen hervorgebrachte, etwa 0,01 mm dicke, unter einem Winkel von $38,5^\circ$ gegen die Achse geneigte Luftschicht unterbrochen ist. Die von dem Objectivsysteme kommenden Strahlenkegel erleiden an dieser Luftschicht eine Zerlegung in einen durchgelassenen und einen zurückgeworfenen Theil, von denen der erstere das Doppelprisma a, b ohne Ablenkung durchläuft und das Bild des Objectes in dem senkrechten Ocular B entwickelt, der andere — den in der Abbildung angegebenen Winkeln entsprechend — in senkrechtem Durchtritt durch die Seitenfläche des Prismas b um 13° gegen die Horizontale geneigt austritt und durch totale Zurückwerfung an der Hypothenusenfläche des gleichschenkelig rechtwinkligen Prismas b' um 90° abgelenkt in das mit seiner Achse um 13° gegen die Achse des Mikroskopes geneigte Ocular B' gelangt.

Die beschriebene Spaltung der Strahlen durch eine in ein dichteres Medium eingefügte verschwindend dünne Luftschicht, welche in der Hauptsache wie eine parallellflächige Glasplatte wirkt, besitzt wesentliche Vorzüge. Erstlich kann die Dicke der zurückwerfenden Schicht hierbei beliebig vermindert und dadurch die Entstehung von Doppelbildern auch bei convergirenden oder divergirenden Strahlenbüscheln ganz verhütet werden. Zweitens erlangt der zurückgeworfene Strahl, da hier der Uebergang von Glas zu Luft bis auf wenige Grade an den Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung (ungefähr 41° für Crownglas) herangeführt werden kann, eine beträchtlich grössere Lichtstärke, als er bei der Zurückwerfung von Luft zu Glas unter ähnlichem Einfallswinkel erreichen würde.

Unter den angegebenen Verhältnissen erreicht die Lichtstärke des zurückgeworfenen Strahles nahezu $\frac{1}{3}$, diejenige des durchgetretenen reichlich $\frac{2}{3}$ des ungetheilten Lichtes und es erscheint demgemäss das Sehfeld des senkrechten Oculars B , wenn beide mit demselben Auge betrachtet werden, sichtlich heller, als dasjenige des geneigten B' . Dieser Umstand bedingt indessen für den in Rede stehenden Apparat nicht nur keinen Mangel, sondern einen entschiedenen Vortheil. Denn zur Erzielung einer guten stereoskopischen Wirkung ist bekanntlich ein möglichst vollkommenes und klares Bild ausreichend, während das andere merklich weniger vollkommen sein darf, und es ist zu erwarten, dass das Gleiche auch auf Unterschiede der Helligkeit in gleicher Weise Anwendung finden darf. Dazu kommt noch, dass bei derselben Person in Folge des ausnahmslos ungleichen Gebrauches immer das weniger gebrauchte Auge,

dessen Sehschärfe stets geringer ist, als diejenige des anderen, eine stärkere Lichtempfindlichkeit besitzt als dieses, und dass dementsprechend das in der That lichtschwächere Bild des seitlichen Oculars mit dem ungeübten Auge betrachtet subjectiv oft heller erscheint, als das andere mit dem geübten Auge gesehene. Die ungleichmässige Zerlegung des Lichtes bei der theilweisen Zurückwerfung wird demnach sogar für die Ausgleichung jener physiologischen Verschiedenheit von Wichtigkeit, sobald der Beobachter das seitliche Ocular stets mit dem ungeübten Auge benutzt.

Auch die Bildschärfe erleidet bei der beschriebenen Prismenstellung keine Einbusse, indem von der dünnen Luftschicht abgesehen alle Grenzflächen unter senkrechtem Einfall der Achsenstrahlen durchlaufen werden, so dass die Prismen in beiden Strahlengruppen wie senkrecht zur Achse eingeschaltete Planplatten wirken und keinerlei seitliche Verschiebungen oder astigmatische Wirkungen herbeiführen. Sind die Prismen aus wasserhellem Crownglas gut gearbeitet und alle Flächen — namentlich auch die sehr empfindlichen Grenzflächen der zurückwerfenden Schicht — genau ausgeführt, so ist der absolute Lichtverlust höchst gering, beide Bilder bewahren ihre volle Schärfe und das axiale Bild ist seiner Helligkeit nach kaum von demjenigen eines einfachen Oculares zu unterscheiden.

Die Anpassung des Ocularabstandes an den Augenabstand des Beobachters geschieht mittelst der Schraube D , welche das Ocular B' sammt dem an seiner Fassung befestigten Prisma b' parallel verschiebt, und es kann weiter durch gleichmässiges Ausziehen der in ihren Hülsen verschiebbaren Oculare noch auf eine abnorm grosse Augenweite eingestellt, sowie durch ungleichmässiges Ausziehen die häufig vorhandene Verschiedenheit in der Sehweite beider Augen ausgeglichen werden.

Die beiden Oculare bilden gewöhnliche zweigliedrige Systeme, besitzen jedoch eine verschiedene Zusammensetzung, indem das Ocular B ein gewöhnliches Huyghens'sches Ocular von 45 mm Brennweite, das Ocular B' aber eine dem Ramsden'schen Oculare ähnliche Linsenverbindung von gleicher Brennweite vorstellt.

Diese Einrichtung wurde durch die drei Bedingungen vorgeschrieben, an welche unter den hier in Frage kommenden Verhältnissen die vollständige und sichere Verschmelzung bei dem binocularen Sehen geknüpft ist. Diese Bedingungen fordern: dass, erstens beide Bilder mit derselben Einstellung des Objectivsystemes scharf erscheinen, zweitens beide unter gleichem Schwinkel, d. h. unter gleicher Vergrösserung, gesehen werden, und drittens die Augenpunkte beider Oculare — die Kreuzungstellen der austretenden Strahlenkegel — wenigstens sehr annähernd gleichen Abstand von dem Vereinigungspunkte der Ocularachsen besitzen, oder dass die Verbindungslinie $\beta\beta'$ der beiden Augenpunkte mit den Ocularachsen ein gleichschenkliges Dreieck bilde, damit in der Ebene des Vereinigungspunktes gleich vergrösserte Bilder auftreten und die Sehachsen beider Augen zur Verbindungslinie symmetrisch bleiben. Die erste Be-

dingung verlangt einen beiderseits gleichen Abstand zwischen dem reellen Objectivbild und dem Objectivsystem, wenn auf der einen Achse der geradlinige Weg, auf der anderen der doppelt gebrochene Weg des zweimal zurückgeworfenen Strahles veranschlagt wird. Die Oculare müssen also, damit die beiderseits sichtbaren Bilder derselben Ebene des Objectes zugeordnet seien, auf Punkte der betreffenden Achsen eingestellt werden, deren geradliniger Abstand von dem Vereinigungspunkte dieser Achsen beträchtlich verschieden ist, so dass z. B. in unserem Falle dieser Unterschied 33 mm Luftweg ausmacht, um welchen der Einstellungspunkt des seitlichen Oculares jenem Punkte näher liegen muss. Die zweite Bedingung erfordert ferner, da die reellen Objectivbilder der ersten zufolge offenbar gleiche Vergrößerung erlangen werden, um diese gleiche Vergrößerung zu erhalten, gleiche Aequivalentbrennweite der beiden Oculare, während die dritte nothwendig macht, dass trotz des ungleichen Abstandes der Einstellungsebenen und der gleichen Brennweite die Augenpunkte der Oculare, d. h. die Austrittspupillen des Mikroskopes, wieder gleichen Abstand von jenem Vereinigungspunkte erhalten.

Die Halbierung der abbildenden Strahlenkegel zum Zwecke des stereoskopischen Sehens wird durch halbseitige Ablendung der bekanntlich über den Ocularen auftretenden Austrittspupillen β und β' des Mikroskopes, welche die Durchgangsfläche aller je aus einem Oculare austretenden Strahlenbüschel bilden, bewirkt, und es dienen hierzu besondere Oculardeckel, wie ein solcher in der Abbildung über dem Oculare B' im Durchschnitte dargestellt ist. Jeder Deckel trägt eine Blendung mit halbkreisförmiger Oeffnung, deren geradlinige Kante genau in der optischen Achse des Oculares liegt und welche mittelst des in der Zeichnung angedeuteten Gewindes höher oder tiefer eingestellt werden kann, um die Ablendung genau in der Ebene der Austrittspupille auszuführen und damit eine vollständig gleichmässige Halbierung der Strahlenkegel von allen Punkten des Sehfeldes zu erhalten. Die Regulirung der Ebene der Blenden erfolgt für eine bestimmte Höhe des Mikroskoprohres ein- für allemal, indem man diejenige Stellung aufsucht, bei welcher das Oeffnungsbild keine Parallaxe gegen die Kante der Blendungsöffnung zeigt, d. h. beim Bewegen des Auges fest an dieser Kante haften bleibt.

Für jedes der beiden Oculare ist ein derartiger Deckel mit justirbarer Halbblende und zudem ein gewöhnlicher Oculardeckel — über Ocular B — beigegeben und es werden dieselben mittelst eines kurzen Conus einfach auf die ersteren aufgesteckt. Das einfache Umdrehen der mit Halbblenden versehenen Deckel gestattet beim stereoskopischen Sehen nach Belieben orthoskopische oder pseudoskopische Wirkung hervorzurufen.

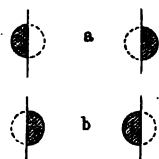
Die Halbierung der abbildenden Strahlenkegel ist für das stereoskopische Sehen, wie schon berührt, von hoher Wichtigkeit. Denn obgleich das Doppelocular schon an und für sich der körperlichen Auffassung vielfach zu statten kommt, so steht doch die Ausprägung, Sicherheit und Beständigkeit der Eindrücke bei dieser Art des Gebrauchs im Allgemeinen

weit hinter einer eigentlichen stereoskopischen Wirkung zurück. Zu einer Wahrnehmung der Körperlichkeit mit dem Eindrucke voller sinnlicher Unmittelbarkeit gehört eine wirkliche Differenzirung der beiden Netzhautbilder in der Beleuchtung und in der Perspective der Projection, die sich in ungleicher parallaktischer Verschiebung der hintereinanderliegenden Schichten kenntlich macht und eine sichere Grundlage für die räumliche Deutung des Gesehenen gewährt. Bei dem mikroskopischen Sehen können aber die Bedingungen für eine solche Differenzirung nur durch Halbierung der von dem Objecte ausgehenden Strahlenkegel, oder, allgemeiner ausgedrückt, durch gleichzeitiges Abbilden des Objectes mittelst Strahlen, welche gegen seine Ebenen ungleich geneigt sind, erfüllt werden.

Da nun, wie aus Früherem bekannt, die Austrittspupillen der beiden Oculare der Austrittspupille (Oeffnung) des Objectivsystemes zugeordnet sind und in derselben alle von den verschiedenen Punkten des Objectfeldes ausgehenden Strahlen einen gemeinschaftlichen Querschnitt besitzen, so muss eine symmetrische Halbierung beider Bilder durch halbseitiges Verdecken derselben in allen Stücken ganz dieselbe Wirkung auf die zum Auge gelangenden Strahlenbüschel ausüben, wie eine Theilung dieser Büschel bei ihrem Austritte aus dem Objectivsysteme.

Diese symmetrische Halbierung lässt sich bei dem vorliegenden Apparat in zweifacher Weise ausführen, indem entweder die beiden inneren oder die beiden äusseren Hälften der kreisförmigen Oeffnungsbilder verdeckt werden können. Im ersteren Falle sind die beiden wirksam bleibenden Halböffnungen in der unter *a*, Fig. 404, im anderen in der unter *b*

Fig. 404.



dargestellten Weise einander gegenübergestellt, und es erscheint die Austrittspupille des Mikroskopes in zwei Halbpupillen auseinander gezogen, nur dass sie dort in ihrer natürlichen, hier in umgekehrter Stellung wirksam werden. Es ist nun ganz allgemein zu erwarten, dass — durch welche optische Mittel auch die Abbildung selbst und die Halbierung der Strahlenkegel bewirkt sein mag — die Verschiedenheit beider Bilder in Bezug auf Beleuchtung, wie auf parallak-

tische Verschiebung hintereinander liegender Schichten bei der ersten Anordnung stets den natürlichen Raumverhältnissen der Objecte, bei der zweiten einer Umkehrung der Tiefenausmessungen entsprechen muss. Diese Regel ergibt ein allgemeingültiges Kennzeichen für die Beurtheilung der stereoskopischen Wirkung — orthoskopisch oder pseudoskopisch — bei jeder Art von Binoculareinrichtung und macht alles allein davon abhängig, ob die beiden Pupillen des Beobachters mit ihren äusseren oder mit ihren inneren Hälften in Anspruch genommen werden.

Die beschriebene Methode der Halbierung der abbildenden Strahlenkegel wirkt bei schwachen wie bei starken Objectivsystemen und bei jeder Form der Linsenfassung gleich vollkommen. Sind nämlich die Blenden in der Ebene der Austrittspupille angebracht — was immer

mit genügender Genauigkeit zu bewirken ist, sobald die Einrichtung getroffen ist, dass der Oculardeckel höher oder tiefer eingestellt und der bei beträchtlichem Abstände des Oculares von dem Objectivsysteme merklich verschiedenen Höhenlage genannter Ebenen gefolgt werden kann —, dann werden die von dem Rande des Gesichtsfeldes ausgehenden Strahlenkegel in derselben Weise halbt, wie die in der Achse verlaufenden.

Dem gegenüber geht bei dieser Einrichtung durch die Abblendung die Hälfte der von dem Objectivsysteme dem Bilde zugeführten Lichtmenge verloren; allein für geringe Vergrößerungen, auf welche die Anwendung der seitherigen stereoskopischen Mikroskope beschränkt war, macht sich dieser Verlust kaum merkbar, indem selbst trübe Tagesbeleuchtung noch reichlich ausreichende Helligkeit gewährt. Die Sache stellt sich aber in Wirklichkeit wesentlich günstiger, weil zur Erreichung vollkommen stereoskopischer Wirkung keineswegs die Halbierung beider Oeffnungsbilder erforderlich ist, sondern dazu schon die halbseitige Abblendung eines einzigen und zwar die des seitlichen lichtschwächeren Oculars B' völlig genügend erscheint, wobei die dem Schema a entsprechende Stellung die der orthoskopischen, die dem Schema b entsprechende die der pseudoskopischen Wirkung entsprechende Tiefenperspective ergibt.

Der letzterwähnten Thatsache entsprechend kann die in der Abbildung wiedergegebene Anordnung des Doppeloculares — wobei das Ocular B' einen Deckel mit Halbblende, das Ocular B einen gewöhnlichen, die Stellung des Auges einigermaßen bestimmenden Oculardeckel erhält — als die normale angesehen werden. Dabei wird aber der durch die Art der Strahlenhalbierung bedingte Lichtverlust auf etwa $\frac{1}{6}$ der gesamten Lichtmenge zurückgeführt und kommt praktisch selbst da nicht in Betracht, wo eine erhebliche Einbusse an Helligkeit einen ernstlichen Nachtheil bringen würde. Wie dem gedachten Lichtverluste da entgegengewirkt werden kann, wo eine gleichzeitige Abblendung beider Oculare wünschenswerth oder erforderlich wird, das werden wir in dem nächsten Buche besprechen.

Ausser den beschriebenen sind noch die Doppeloculare von Tolles und Dr. Hartnack in Gebrauch gekommen, deren Einrichtung wir kurz darlegen wollen, um dem kundigen Leser zu überlassen, den Schluss daraus zu ziehen, inwieweit sie an das Abbe'sche heranreichen können, oder gegen dasselbe zurückstehen müssen.

Bei dem für den langen englischen Tubus berechneten Tolles'schen Doppeloculare, Fig. 405 (a. f. S.), ist die gleichzeitige Verdoppelung und Differenzirung des Bildes mittelst des — einen demjenigen des terrestrischen Fernrochoculares gleichen Strahlengang herbeiführenden — Hilfsobjectives A in die Ebene des reellen Oeffnungsbildes über dem mit ihm (zu einem aufrichtenden Ocular) verbundenen Ocular B gebracht und geschieht mittelst des entsprechend der Brennweite des angewendeten Objectivsystemes in seinem Abstände von B veränderlichen gleichseitig

dreiseitigen Prisma C , von welchem aus nach gänzlicher Zurückwerfung die sich kreuzenden Strahlen unter rechtwinkligem Einfall nach den seitlichen Prismen DD' geführt und durch eine zweite vollständige Zurückwerfung an deren Hinterflächen in die über ihnen befindlichen starken Oculare O, O' geleitet werden. Die Entfernung der Oculare — deren Hülsen mit den oberen Prismen DD' fest verbunden sind — kann den Augenweiten der Beobachter entsprechend mittelst eines Getriebes regulirt werden.

Wir ersehen aus dieser Beschreibung, dass das in Frage kommende Doppelocular, welches ein grosses Gesichtsfeld besitzen und mit schwachen und mittleren Vergrößerungen vorzüglich wirken soll, entweder eine sehr erhebliche Verlängerung des Tubus im Gefolge hat, oder wenn diese Unbequemlichkeit vermieden werden soll, die optische Wirkung der meisten Objectivsysteme bedeutend stört, weil dieselben in diesem Falle auf einen weit kürzeren Bildabstand als beim gewöhnlichen Gebrauche, also mit wesentlich verändertem Strahlengange in Anspruch genommen werden.

290 Bei dem älteren Hartnack'schen Doppelocular (Fig. 406), welches mittelst der Röhre a in das Mikroskoprohr eingeschoben wird, wird die

Fig. 405.

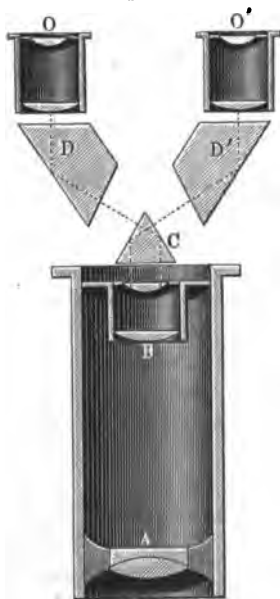
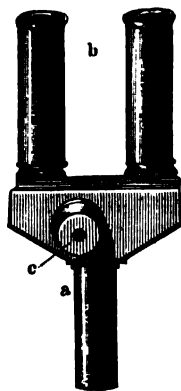


Fig. 406.



Verdoppelung des Bildes und die Halbierung der Strahlenkegel auf dem Wege der abbildenden Strahlenkegel zwischen dem Objectivsysteme und dem Orte des reellen Objectivbildes vorgenommen. Es dient dazu die in Fig. 361 dargestellte Ridell'sche Prismenanordnung a, b, c, d und

es sind die beiden Oculare mit den beiden Prismen *c* und *d*, welche die zweimal vollständig zurückgeworfenen Strahlen parallel zur Mikroskopachse nach oben leiten, fest verbunden. Die Einstellung der Oculare für die Augenweite geschieht mittelst einer durch den Schraubenknopf *c* beweglichen Einstellvorrichtung. In neuerer Zeit hat Dr. Hartnack ein etwas zusammengesetzteres bei kleinem Gesichtsfelde schöne Bilder lieferndes Doppelocular construiert, welches soviel ich ermitteln konnte mit dem Tolles'schen im Principe übereinkommt, indem über einem in dem unteren Rohre befindlichen, als Ocular wirkenden Linsensystem ein Prisma das Bild in zwei aufgerichtete Bilder zerlegt, die durch zwei nach unten convergirende, mittelst Zahn und Trieb in ihrer Längsachse verschiebbare, gewöhnliche Oculare betrachtet werden.

Der von H. Goltsch neuerdings vorgeschlagene stereoskopische 291 Apparat (Carl's Repertorium 1879, Seite 653, und Zeitschrift für Mikroskopie II, Seite 166) sucht die Erfüllung der oben bei dem Abbe'schen Doppelocular besprochenen Bedingungen durch Anwendung von teleskopischen mit den Bild und Strahlenkegel theilenden Prismen verbundenen Ocularen zu erreichen. Dies ist nun zwar ohne Zweifel möglich; allein um derartige Oculare verwenden zu können, müssten die Objectivsysteme für ihren vorderen Hauptbrennpunkt sphärisch und chromatisch corrigirt sein, was bei unseren auf einer Bildweite von etwa 180 mm adjustirten Mikroskopobjectiven nicht der Fall ist. Verwendet man aber die letzteren — wie Goltsch vorschlägt — bei einem so ganz abweichenden Strahlengange, so werden die Bilder schlecht ausfallen, falls man nicht dem Objectivsysteme noch eine Dispersiv-Correctionslinse zufügt, um bei der Einstellung auf den gewöhnlichen aplanatischen Focus parallel austretende Strahlen zu erhalten. Die gedachte Vorrichtung wird daher unter den obwaltenden Umständen kaum zu einer praktischen Verwendung gelangen.

II. Beleuchtungsapparate.

Was zunächst die Hilfsmittel zur Beleuchtung durchsichtiger Gegenstände 292 betrifft, so wird man, wie ich oben schon erwähnt habe, bei der Vollkommenheit, in welcher gegenwärtig die optischen Haupttheile und namentlich die Objectivsysteme des Mikroskopes hergestellt werden, nur in einzelnen Fällen und bei besonderen Veranstaltungen (photographischen Aufnahmen u. dergl.), namentlich aber, wenn es sich darum handelt, in bequemster Weise die verschiedenen Beleuchtungsarten nacheinander verwenden zu können (s. S. 267 u. f.), einer vollkommeneren Beleuchtungsvorrichtung bedürfen, als sie der allseitig bewegliche, doppelte Spiegel gewährt. Und selbst dann erfordert es, wie ich mich aus eigener Anschauung und Erfahrung hinlänglich überzeugt habe, keineswegs so kostbarer und zusammengesetzter und dabei ihrem Zwecke oft wenig ent-

sprechender und in ihrer Verwendung meist beschränkter Apparate, wie sie namentlich von manchen englischen Mikrographen so warm empfohlen werden. Wir reichen unter allen Verhältnissen mit weit weniger kostspieligen und einfacheren Apparaten aus, und man wird es mir daher auch gern gestatten, dass ich nicht weiter auf jene complicirten Vorrichtungen eingehe und mich — soweit dieselben nicht schon in dem Früheren (Buch II., Abschnitt II., Seite 274) betrachtet worden sind — auf die Beschreibung der letzteren beschränke.

293 Wollaston's Beleuchtungslinse. — Der einfachste Beleuchtungsapparat besteht in der schon von Wollaston an seinem einfachen Mikroskope angebrachten, am besten halbkugelförmigen, planconvexen Beleuchtungslinse, welche selbst für die neuesten Objectivsysteme für homogene Immersion mit sehr hoher numerischer Apertur ausreichend erscheint, um mittelst des aus der Achse gebrachten Spiegels möglichst schiefe Beleuchtung zu erzielen.

Der Durchmesser einer derartigen Linse braucht je nach dem Durchmesser der Objectivöffnung 12 bis 18 mm kaum zu übersteigen und es kann dieselbe einfach mittelst eines Tropfen Wassers, Glycerins oder dergleichen unten an den Objectträger angeklebt, oder, in einen passenden flachen Messingring gefasst (um die stärkst geneigten Strahlen nicht abzuschneiden), in die Tischöffnung eingesetzt, durch dieselben Mittel mit ihm verbunden werden.

Man kann diese Linse in Verbindung mit entsprechenden Blendungen auch für centrische sowie zur Erzielung allseitig schiefer Beleuchtung und zur Erzeugung positiver Bilder in dunklem Gesichtsfelde verwenden und es kann dieselbe zu diesem Zweck an allen Mikroskopen, welche mit Cylinderblendungen versehen sind, leicht und ohne bedeutende Kosten angebracht werden. Man lässt sie nämlich in einen der federnden Hülse des Schlittens genau eingeschliffenen Messingcylinder *a* (Fig. 407) so einsetzen, dass sie mittelst einer Verschraubung nach Belieben entfernt werden kann, und erreicht auf diese Weise eine hinrei-

Fig. 407.

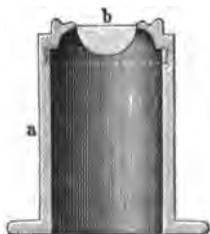


Fig. 408.



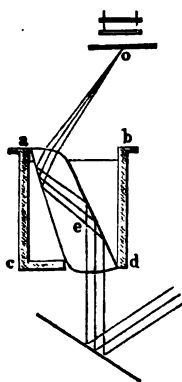
chend umfängliche Beweglichkeit in senkrechter Richtung und genau in der optischen Achse. Die Blendungen zur Abhaltung der Randstrahlen sowohl als der Mittelstrahlen, welche immer am besten über der Linse (Fig. 408) angebracht werden, sind schlüsselförmig und haben

einen geraden Rand, welcher über den oben etwas eingeschnittenen Rand der Fassung greift, so dass sie bei möglichst genauer Centrirung leicht gewechselt werden können. Als Blendungen erster Art genügt dieselbe Anzahl mit den gleichen Oeffnungen, wie sie oben bei den Hartnack'schen Cylinderblendungen beschrieben sind. Zur Abhaltung der Mittelstrahlen reichen gleichfalls drei Blendungen vollständig aus, von denen die kleinste einen Durchmesser von 1,5 bis 2, die mittlere von etwa 3, die grösste von 5 bis 6 mm besitzt.

Dujardin's Beleuchtungsapparat. — Der Dujardin'sche Beleuchtungsapparat, welcher wohl zu den zusammengesetzteren englischen und amerikanischen Beleuchtungsvorrichtungen die Anregung gegeben haben dürfte und von Hartnack geliefert wird, ist von der oben beschriebenen Einrichtung nicht wesentlich verschieden, indem bei demselben nur die planconvexe Linse durch ein achromatisches Objectivsystem ersetzt ist. Dagegen fehlt ihm, in der Gestalt, wie er mir bekannt ist, die vollkommene Blendungsvorrichtung, indem nur eine die Randstrahlen abhaltende Blendung unterhalb des Objectivsystems angebracht ist, während eine zweite Blendung vor dem das Licht reflectirenden Planspiegel oder dem von Dujardin empfohlenen Prisma aufgestellt wird.

Nachet's Prisma für schiefe Beleuchtung. — Obwohl diese Vorrichtung (Fig. 409) für alle solche Instrumente, welche einen seitlich

Fig. 409.



verstellbaren Spiegel besitzen, vollständig überflüssig ist, muss ich ihrer hier doch im Interesse derjenigen gedenken, deren Stativen diese Bewegung des Spiegels abgeht oder an denen sie in Folge ihres ganzen Baues nicht noch nachträglich angebracht werden kann.

Die Neigung des von dem Spiegel reflectirten Strahlenbündels wird bei diesem äusserst sinnreichen Apparate durch eine zweimalige Zurückwerfung, verbunden mit einer an der Vorderfläche stattfindenden Brechung, erreicht und beträgt zwischen 30 bis 40°. Indem nämlich die von dem ebenen Spiegel kommenden Strahlen durch die untere Fläche des Prismas *e* hindurchgehen, werden sie zuerst von der rechtsgelegenen

Fläche aus nach der linken und dann von dieser aus nach der oberen Fläche reflectirt. An dieser letzteren, welche etwas gewölbt ist, erleiden die Strahlen noch eine Brechung und werden dann in einer den Winkeln des Prismas und der Wölbung der Vorderfläche entsprechenden mehr oder minder schiefen Richtung gegen das Object geworfen.

Die Fassung *abcd* des Prismas ist derart, dass sie statt des Blendungsträgers in den Schlitten des Blendungsapparates der grösseren Stative gebracht werden kann. Der kleine Apparat wird von Nachet um 15 Franken, von Zeiss in Jena um etwa denselben Preis geliefert.

So zweckmässig die beschriebene Vorrichtung auch für alle jene Instrumente erscheint, bei denen der aus der Achse verschiebbare Spiegel, oder auch der drehbare Objecttisch fehlt, so wenig ist sie geeignet, diese gänzlich zu ersetzen. Erstlich ist man, wie aus dem Obigen erhellt, in dem Grade des schiefen Lichteinfalles sehr beschränkt und dann ist die Beleuchtung selbst weit weniger intensiv, als man es wünschen muss.

296 Von den zahlreichen in neuester Zeit in England und Amerika zum Zwecke der Ausnutzung möglichst schiefen Lichtes erdachten Beleuchtungsapparaten möge hier seiner Einfachheit und leichten Verwendbarkeit halber nur der Wenham'sche erwähnt werden. Derselbe besteht aus einer halbkreisförmigen Glasscheibe, welche in der Fig. 410 von der Seite und im Durchschnitt gezeichnet ist. Der Halbmesser beträgt etwa 6 mm, die Schnittfläche wie der Umfang sind polirt, letzterer ausserdem nach einem Halbmesser von etwa 2,5 mm sphärisch geschliffen, während die beiden flachen Seiten entweder mittelst der Fassung, oder durch

Fig. 410.



einen passenden Ueberzug lichtundurchlassend gemacht sind. Der kleine Apparat kann entweder mittelst geeigneter Fassung in der Tischöffnung eingefügt, oder unmittelbar mit dem Objectträger vereinigt werden, indem in beiden Fällen der ununterbrochene Zusammenhang zwischen letz-

terem und ersterem durch einen Tropfen einer passenden Flüssigkeit vermittelt wird. Bei geneigter Spiegelstellung giebt derselbe einen intensiven Streifen schiefen Lichtes jeder gewünschten Neigung und soll, wenn dieser senkrecht gegen feine Streifungen gerichtet wird, deren Auflösung in hohem Maasse erleichtern.

297 **Abbe's Beleuchtungsapparat.** Dieser Beleuchtungsapparat, welcher Seite 274 u. f. ausführlich beschrieben worden ist und über dessen Wirkungsweise und weitgehende, die an eine vollkommene derartige Vorrichtung überhaupt zu stellenden Ansprüche durchaus befriedigende Verwendungsfähigkeit wir an der gleichen Stelle gesprochen haben, wird in vorzüglicher Ausführung von Dr. Carl Zeiss in Jena um den Preis von 55 Mark geliefert, hat aber auch bereits vielfältige Nachahmung gefunden, und findet sich unter anderem in dem Preisverzeichnisse von Boecker (50 Mark), Seibert und Krafft (54 Mark), Reichert (60 Mark) aufgeführt.

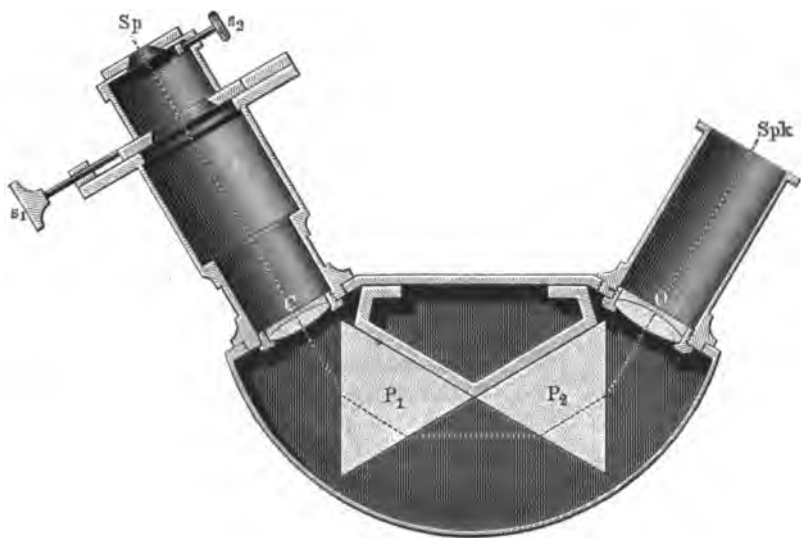
Soll beim Gebrauche des Abbe'schen Beleuchtungsapparates mit polarisirtem Lichte beobachtet werden, so braucht nur der in der später zu beschreibenden Weise gefasste Polarisator an die Stelle einer Blende in den Träger eingesetzt zu werden.

Arbeiten mit sehr schwachen Vergrösserungen und nur wenig ausgedehnter Lichtquelle erfordert, dass man, um eine gleichförmige und ausreichende Beleuchtung des Sehfeldes zu erreichen, den Spiegel mit einem Stück weissen Papiere oder Cartons überdeckt. Wird mit Lam-

penlicht beobachtet, so ist es zweckmässig, in gerader Linie zwischen Flamme und Spiegel eine möglichst grosse Sammellinse, und zwar am einfachsten eine mit mässig blau gefärbtem Wasser gefüllte grosse Glaskugel — sogenannte Schusterkugel — einzufügen, um die Leuchtkraft der kleinen Flamme auf deren grössere Oberfläche zu übertragen, was erreicht ist, wenn die Spitze des so hergestellten Lichtkegels den Spiegel trifft und dessen Fläche vollständig erhellt.

Hartnack's Beleuchtungsapparat für homogenes farbiges 298 Licht (Fig. 411). Dieser nur an grösseren Stativen, und zwar in der Vorrichtung für die Cylinderblenden anzubringende Apparat, welcher für einzelne Beobachtungen namentlich auch für solche, welche sich auf die Theorie der Bilderzeugung beziehen, vortheilhafte Verwendung finden kann, ist bei gewöhnlichem Tageslicht nur für schwächere Vergrösserungen verwendbar, während im anderen Falle directes Sonnenlicht verwendet wer-

Fig. 411.

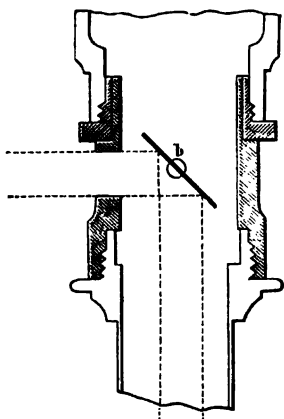


den muss. Derselbe besteht aus 1. dem Spalte Sp , welcher, um die verlangte Farbe in das Sehfeld zu führen, mittelst der Schraube S_1 und zweier Spannfedern in einem Schlitten verschoben und durch die zweite Schraube S_2 erweitert und verengert werden kann, 2. dem vor dem Spaltrohr angebrachten achromatischen Collimator C , 3. den zwei aus schwerem, stark zerstreuem Flintglas geschliffenen, gleichseitigen, mit den einander zugewandten Flächen um etwa 120° gegeneinander geneigten Prismen P_1 und P_2 und dem vor dem zweiten Rohre stehenden ebenfalls achromatischen Projectionsojective O , dessen Brennweite so regu-

lirt ist, dass das reelle Spectrum *Spk* etwa in der Objectebene des Mikroskopes entworfen wird. Bei Verwendung von Sonnenlicht bedarf man eines Heliostaten, oder einer ähnlichen, einfacheren Vorrichtung, wie sie zum Beispiel leicht aus einem in gewöhnlicher Weise gefassten, etwa in eine Korkscheibe befestigten und auf einen beweglichen Lupenträger aufzusteckenden ebenen Mikroskopspiegel hergestellt werden und mittelst der man dem Laufe der Sonne folgen kann.

- 299 Ueber die Vorrichtungen für Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes ist schon früher S. 277 u. f. gesprochen worden und soll die Erzeugung positiver Bilder auf dunklem Grunde später näher erörtert werden. Hier mögen nur noch einige in neuerer Zeit zu besonderen Zwecken — namentlich zur Beobachtung feiner Streifungen von Diatomeen und dergleichen — mittelst mittleren und stärkeren Vergrößerungen ersonnene Vorrichtungen Erwähnung finden, welche unter den Namen „Verticaler Illuminator“, „Innerer Illuminator“, „Opak-Illuminator“ bekannt sind, und deren Wesen darin besteht, dass von

Fig. 412.



oben her Lichtstrahlen in das Objectivsystem geworfen werden, welches dieselben auf dem Object concentrirt. In seiner einfachsten Gestalt wie ihn R. & J. Beck anfertigen, besteht dieser Apparat aus einem kurzen Rohre als Zwischenstück zwischen Tubus und Objectivsystem (Fig. 412), welches an der Seite eine Oeffnung besitzt, während im Inneren ein um eine horizontale Achse *b* drehbares dünnes Deckglas als Reflector dient. Powell und Lealand bringen an die Stelle des letzteren einen kleinen Spiegel oder ein rechtwinkliges Prisma, welche über die eine Hälfte der Objectivöffnung ragt, während die andere für die abbildenden Strahlenbüschel frei bleibt. Tolles fügt bei schwächeren Objectivsystemen seitlich über der Frontlinse,

bei stärkeren seitlich über der Duplex-Front in der Fassung ein kleines Parallelepiped mit einer um 45° geneigten Endfläche ein, welches durch eine Schraube nach Bedürfniss in etwas geneigte Stellung gebracht und durch Verschiebung in seiner Stellung zu der Objectivöffnung geregelt werden kann.

III. Polarisationsapparate.

- 300 Die Bedeutung des polarisirten Lichtes, auf das wir in einem späteren Abschnitte ausführlicher zurückkommen werden, für die Untersuchung organischer Gewebe ist erst in der neueren Zeit gehörig gewür-

digst worden. Es rühren daher die Versuche zur Herstellung polarisirender Apparate, welche in Verbindung mit dem Mikroskope gebraucht werden sollen und können, erst aus den letzten Jahrzehnten her.

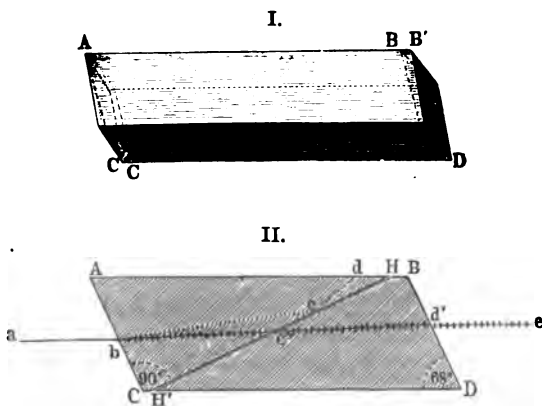
Die Grundbedingung der Einrichtung mikroskopischer Polarisationsvorrichtungen beruht darauf, dass die vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahlen polarisirt werden, ehe sie auf den zu beobachtenden Gegenstand treffen, und dass sie dann durch ein weiteres Polarisationsmittel hindurchgehen müssen, ehe sie von dem Auge des Beobachters aufgenommen werden. Man bedarf also bei unserem in Rede stehenden Apparate zunächst eines Polarisators, der seine Stellung zwischen dem Spiegel und dem Gegenstande erhält, und dann eines Analysators, der zwischen den letzteren und das Auge zu stehen kommt.

Obwohl es verschiedene Polarisationsmittel giebt (Spiegel, Glasplatten 301sätze und dergleichen), so hat man sich doch bei dem Polarisationsapparate für das Mikroskop allgemein für die Anwendung der Prismen aus Kalkspath entschieden, da eben nach gemachten Erfahrungen nur mittelst ihres Gebrauchs die möglichst vollkommene Wirkung erreicht werden kann.

Von derartigen Prismen, welche Strahlenkegel von mindestens 18 bis 20° auf das Object gelangen lassen müssen und deren Wirkungsweise wir in dem V. Abschnitte näher betrachten werden, kommen — da das Foucault'sche Prisma eine zu kleine Oeffnung besitzt — nur das schon länger bekannte Nicol'sche und das neuerer Zeit construirte Hartnack-Prazmowski'sche Prisma zur Anwendung.

Das erstere wird auf folgende Weise hergestellt. Man schleift zunächst in dem natürlichen Kalkspathrhomboeder $AB'DC'$ (Fig. 413 I.),

Fig. 413.



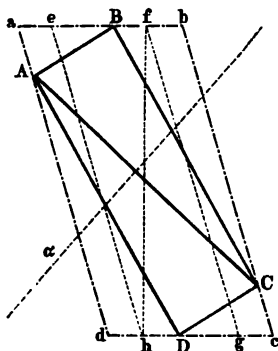
dessen Hauptschnittsebene durch die Kanten AB' und $C'D$ geht, mit welchen die durch $B'D$ und AC' gehenden Endflächen einen Winkel von 71° bilden, neue Endflächen BD und AC an, welche mit jenen Kan-

ten nur einen Winkel von 68° bilden, so dass die in Fig. 413 II. dargestellte Durchschnittsebene $ABDC$ entsteht. Das so erhaltene Prisma wird nun senkrecht zur Ebene $ABDC$ und zugleich senkrecht zu den neuen Endflächen AC und BD nach HH' durchsägt, dann erhalten beide Stücke, nachdem sie polirt sind, mittelst Verkittung durch Canada-balsam ihre Wiedervereinigung, um als Ganzes von Kork umschlossen in eine Messinghülse gefasst zu werden.

Der Durchmesser der langen Diagonale der schiefen Endflächen des derart hergestellten „Nicol'schen“ Prismas verhält sich zu dessen Länge wie $1:3$ und es ist leicht ersichtlich, dass wenn jener und damit das brauchbare Sehfeld nicht zu klein ausfallen soll, das Prisma sehr gross und damit auch sehr theuer werden muss. Ausserdem machen sich bei der starken Neigung der Lichtstrahlen gegen die Ein- und Austrittsfläche Fehler in der Ausführung, welche bei der empfindlichen Substanz des isländischen Doppelspathes unvermeidlich sind, durch beträchtliche Bildstörungen geltend, und endlich wird durch den schiefen Einfall in Folge von Zurückwerfung die Lichtstärke merklich vermindert.

Diesen Uebelständen hilft die von Hartnack & Prazmowski erfundene Construction (Carl's Repertorium Bd. I, Seite 325 und Bd. II, S. 317), welche unter dem oben genannten Namen bekannt ist, ab, indem sie es möglich macht, bei gleicher Dicke eines gewöhnlichen Nicol das Prisma zu verkürzen, die Eintritts- und Austrittsfläche nahezu senkrecht zu der Richtung der Lichtstrahlen zu legen und zugleich den Oeffnungswinkel zu vergrössern. Zu dem Ende wird an dem Rhomboëder $abcd$, welches das Nicol'sche Prisma $efgh$ geben würde, die Schnittfläche AC , welche die beiden Hälften trennt, senkrecht zur Krystallachse α geführt (Fig. 414), dann werden die beiden Endflächen AB und

Fig. 414.



CD senkrecht zur Achse des Mikroskopes angeschliffen und endlich als Verkittungsmittel Leinöl ($n = 1,485$) oder Copaivabalsam ($n = 1,507$) verwendet. Hierdurch wird der Winkel, welchen die Endflächen mit der Schnittfläche bilden, im einen Falle $= 73,5^\circ$, im anderen $76,5^\circ$, während sich der Oeffnungswinkel auf 35° erweitert und die Länge auf 34 mm beziehentlich 37 mm zurückgeführt wird.

Der Polarisator (Fig. 415) nimmt nach dem Obigen seinen, ein- für allemal bestimmten Platz zwischen Lichtquelle und Object an der unteren Seite des Object-

tisches ein, und kann, wo dieser vorhanden ist, in der einfachsten Weise mit dem Apparate für die Cylinderblenden verbunden werden. In Bezug auf die Stellung des Analysators innerhalb des optischen Gesamtapparates hat man dagegen verschiedene Wege

eingeschlagen. Man bringt denselben nach dem Vorgange Chevalier's, unmittelbar über, dem Objectivsysteme, nach Harting nahe unter, nach Talbot über dem Ocular, nach Professor Abbe innerhalb des Oculares und zwar, um den abgelenkten (ausserordentlichen) Strahl bei seinem Austritt aus der Augenlinse möglichst weit von der Achse oder dem Augenpunkte abzulenken und ein nicht zu grosses Prisma verwenden zu müssen, möglichst weit von der Augenlinse dicht über der Blending an.

Die Stellung des Analysators über dem Objective wurde früher mehrseitig, namentlich auch von Hartnack befolgt. In Bezug auf die Ausdehnung des Sehfeldes gewährt diese Anordnungsweise insofern guten Erfolg, als dasselbe in keiner Weise beschränkt wird und bequem überblickt werden kann. Der Lichtverlust, sowie die nicht ganz vollständige Verdunkelung, welche diese Stellung herbeiführt, fallen, obwohl sie immerhin einen Mangel bilden, keineswegs so stark ins Gewicht, dass sie die Beobachtung merklich zu beeinflussen vermöchte. Dagegen bewirkt die Einschaltung eines so massigen Körpers wie das polarisirende Prisma in den Strahlengang eine Beeinträchtigung der Bildschärfe, die für feinere Untersuchungen von entschiedenem Nachtheil werden kann. Man braucht nur das Bild des Pinusschnittes, sowohl in hellem, als in dunkeltem Sehfeld, bei dieser und den folgenden Anordnungsweisen zu vergleichen, um sich von dieser augenfälligen Thatsache sofort zu überzeugen.

Der von Harting eingeschlagene Mittelweg, wobei der Analysator, aus einem Nicol von möglichst grossem Durchmesser bestehend, unmittelbar unter dem Ocular angebracht wird, scheint mir nicht recht zweckmässig, indem das Sehfeld für schwächere Oculare bei Anwendung des gewöhnlichen Nicol'schen Prismas, wenn es nicht abnorm gross ist, an Ausdehnung nichts gewinnt und der Beobachter, wenn von dem Optiker bei dem Bau der Oculare nicht von vornherein auf diese Anordnungsweise Rücksicht genommen worden ist, auf ein einzelnes polarisirendes Ocular beschränkt bleibt.

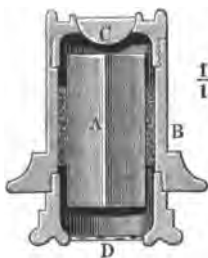
Die letztere Beschränkung bleibt zwar auch bei der Abbe'schen Einrichtung bestehen; dagegen lässt dieselbe bei dem grossen Prazmowski'schen Prisma das ganze Sehfeld uneingeschränkt und mit voller Bildschärfe übersehen, so dass man bei parallelen Polarisationssebenen (hellem Gesichtsfeld) die der Beobachtung unterworfenen Präparate, ebenso gut durchmustern kann, wie wenn man ein gewöhnliches Ocular einsetzt, dann gewährt sie gekreuzten Polarisationssebenen eine sehr gleichmässige und volle Verdunkelung. Ich selbst bediene mich aus diesen Gründen und der bequemen Handhabung halber, solange es sich nicht um Winkelbestimmungen handelt — zu denen derselbe indessen auch eingerichtet werden kann — ausschliesslich des Abbe'schen Analysators.

Die Tabolt'sche Anordnungsweise ist insofern von einigen Mikrophographen als weniger zweckmässig befunden worden, als dabei, wenn das Prisma nicht eine entsprechende Grösse hat, das Sehfeld in nicht unbedeutendem Maasse beschränkt wird, was bei manchen Untersuchun-

gen allerdings störend wirken kann. Dagegen bietet sie manche Vortheile. Erstlich erzielt man bei gekreuzter Stellung der beiden Prismen, welche doch wohl die am meisten gebrauchte ist, eine sehr vollständige Verdunkelung des Sehfeldes und kann in Folge dessen noch sehr bestimmt schwächer polarisirende Körper erkennen, indem der Contrast zwischen den leuchtenden Theilen des Gegenstandes und seiner Umgebung ein weit grösserer ist, als bei einer nur unvollkommenen Verdunkelung. Dann fällt die Umdrehung des Analysators sehr leicht und endlich kann man bis zu gewissen Grenzen der Vergrösserung mit den Ocularen wechseln, nach Wegnahme derselben das helle Gesichtsfeld durchsuchen, um kleine Gegenstände in die Mitte desselben zu bringen. Dem oben erwähnten Nachtheile, der überhaupt mehr bei starken Ocularvergrösserungen fühlbar wird, die ohnehin bei dieser Stellung der Prismen keine hinreichend klare Bilder für die feinsten Untersuchungen im polarisirten Lichte gewähren, entgeht man ausserdem leicht, wenn das analysirende Prisma mit einem solchen Ocular verbunden wird, bei dem, wie z. B. bei dem Plössl'schen aplanatischen Ocular, der Abstand des Auges von der oberen Linse schon an und für sich ein grösserer ist. Dann ist man aber allerdings in dem Gebrauch der Ocularvergrösserungen beschränkt, was doch hier und da etwas stört.

303 Die Fassung der Prismen muss sich nach dem Bau der Stative richten. Wo diese mit einem Oberhauser'schen Blendungsapparate versehen sind, wird der Polarisator *A* (Fig. 415) nebst halbkugeligler Beleuchtungslinse *C* einfach in einen hier und da unten mittelst eines abschraubbaren Glasdeckels *D* geschlossenen Messingcylinder *B* gefasst (Fig. 416), welcher in die Hülse des ersteren eingeschliffen und darin in

Fig. 415.



senkrechter Richtung beweglich ist, im anderen Falle wird er in eine weitere Tischöffnung mittelst vorspringendem Ringe eingesetzt und beim Nichtgebrauche jene mittelst einer Scheibe geschlossen, welche eine concentrische der gebräuchlichen Tischöffnung entsprechende Oeffnung besitzt. Zur Verbindung mit dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat wird die Fassung so eingerichtet, dass sie in den Blendungsträger eingelegt werden und in entsprechenden kreisförmigen Vertiefungen die später zu besprechenden verzögernden Plättchen, sowie über diesen die erforderlichen Scheibenblendungen aufnehmen kann. Der Analysator, für die Stellung über dem Objectivsystem bestimmt (Fig. 416), ist so eingerichtet, dass er mittelst eines Gewindes in das untere Ende des Mikroskoprohres eingeschraubt werden kann, während ein zweites Gewinde die Objectivsysteme aufnimmt. Das Nicol'sche Prisma, in Kork eingelassen, sitzt in einer Messingröhre, welche in der äusseren Röhre gleitet und mittelst zweier Arme, die sich in einem der letzteren eingeschnittenen Schlitz bewegen, um etwas mehr als 90° gedreht werden

kann, um bei parallelen und gekreuzten Polarisationssebenen beobachten zu können. Wo der Objecttisch drehbar ist, wie bei den grossen Stativen,

Fig. 416.



Fig. 417.



kann diese letztere Vorrichtung fehlen und dann die Drehung dem rotirenden Tische übertragen werden. Allein auch in diesem Falle sollte sie nicht beseitigt werden, da man die Drehung des Tisches in der Regel benutzen wird, um dem Objecte die geeignete Lage zu geben, und dann die in der Stellung des Analysators erforderliche Correction mittelst derselben ausgeführt werden muss. Soll das analysirende Prisma über das Ocular gestülpt werden, so giebt man der Fassung die Form wie in

Fig. 418.

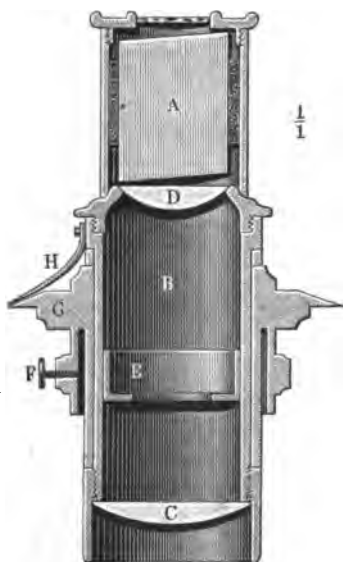


Fig. 417, so dass sich der weitere Mantel, unter dem Prisma *P* an dem Oculardeckel Führung nehmend, über diesem dreht.

Wenn der über dem Ocular aufgesetzte Analysator mit Kreistheilung und Fadenkreuz versehen werden soll, um Winkelmessungen — z. B. bei circularpolarisirenden Substanzen — auszuführen, wird das Prisma mit dem Oculare verbunden. Eine derartige Einrichtung besitzen z. B. die Analysatoren von Dr. Hartnack, Leitz, Reichert, Seibert und Krafft u. A. Bei dem gewöhnlichen Hartnack'schen Analysator (Fig. 418) dreht sich das fest mit dem Ocular *B* verbundene Nicol *A* in einer äusseren Hülse *G*, welche mit dem inneren längeren Theile in das Rohr des Mikroskopes eingeschoben und mittelst der Schraube *F*

festgestellt wird. Der ringförmige Vorsprung dieser Hülse ist am Rande abgeschrägt und mit einer Kreistheilung versehen, über welcher der

Zeiger *H* beim Drehen hingeleitet. Wird das Prisma mit einem Fadenkreuz-Ocular vereinigt, so wird die bei dem mineralogischen Mikroskop schon besprochene Einrichtung gewählt.

Die Einrichtung des Abbe'schen Analysator-Oculares, in welchem das grosse Prazmowski'sche Prisma *P* die Stelle über der Blendung *B*

Fig. 419.

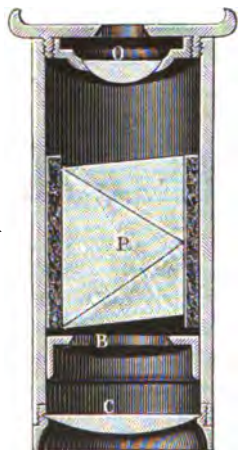


Fig. 420.



einnimmt, ist hinreichend aus der beistehenden Figur ersichtlich. Dasselbe kann mit dem bei dem Goniometer-Ocular zu besprechenden und abgebildeten Aufsätze verbunden werden und erhält dann einen Zeiger mit Strichmarke aufgeschraubt, um die durchlaufene Drehungsgrösse genau ablesen zu können.

304 Für manche Fälle der Untersuchung in polarisirtem Lichte ist es wünschenswerth, den polarisirten Lichtstrahl, ehe er zu dem Gegenstande gelangt, durch ein dünnes Plättchen aus einem doppelt brechenden Mittel, z. B. aus Gyps oder Glimmer, treten zu lassen und dadurch Farbenerscheinungen hervorzurufen, welche über die Lage der Achsen, die Art der Doppelbrechung etc. Aufschluss zu geben im Stande sind. Um aber hierbei die betreffenden Erscheinungen, Farbenfolge u. dergl., auf welche wir in einem späteren Abschnitte ausführlicher zurückkommen werden, möglichst vollständig und genau verfolgen zu können, ist es erforderlich, dass man diese Plättchen in der horizontalen Ebene umdrehen und ihnen eine bestimmte Lage in Bezug auf die Polarisations Ebenen der Prismen geben könne. Man thut daher gut, dieselben in geeigneter Weise so zu fassen oder fassen zu lassen, dass sie lose über die Beleuchtungslinse oder noch besser wie bei *b* der Figur 420 und bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate zwischen diese oder das Beleuchtungssystem und den Nicol des Polarisators gelegt und umgedreht werden können. Hat man dann einmal die Lage bestimmt, in welcher ein Plättchen die lebhaftesten Farben giebt, wenn die beiden Nicols gekreuzt sind, in welcher also dessen

Schwingungsebene diejenigen der Prismen unter einem Winkel von 45° schneidet, so bezeichnet man die mit dieser Schwingungsebene zusammenfallenden Durchmesser an seinen Endpunkten durch Marken, um dem ersteren jedesmal beim Einlegen sogleich die richtige Stellung geben zu können.

In der Regel wird man mit zwei Gypsplättchen, von welchen das eine Roth erster Ordnung, das andere das sehr empfindliche Uebergangsviolett oder Hellblauviolett dritter Ordnung giebt, und einem Glimmerplättchen, welches dem Gesichtsfelde eine graublaue Färbung ertheilt, ausreichen. Für manche Fälle wird es indessen wünschenswerth, einen grösseren Spielraum in der Färbung oder Erhellung des Sehfeldes zu haben. Eine Reihe von vier Gypsplättchen von Roth erster bis vierter Ordnung, sodann eben so viele Glimmerplättchen, von denen das dünnste das Gesichtsfeld nur schwach erhellt, das dickste eine merkliche Erhellung, aber noch keine bestimmte Färbung hervorruft, sollen dann aber nach den Erfahrungen von H. v. Mohl vollkommen genügen. Die meisten optischen Werkstätten, sowie Dr. Steeg und Reuter in Homburg liefern eine solche Sammlung von 8 Plättchen um den Preis von 8 bis 12 Mark.

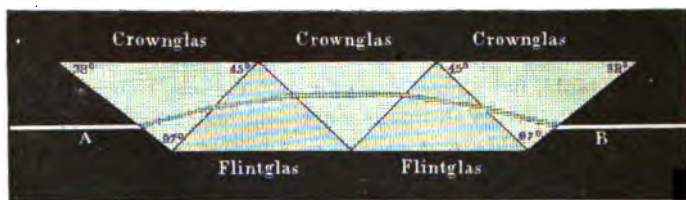
IV. Das Spectralocular.

Das Spectralocular besteht im Wesentlichen aus drei Theilen: aus einer 305 zur Zerlegung des in der Richtung der Mikroskopachse einfallenden Lichtes, d. h. zur Erzeugung des Spectrums dienenden Prismenverbindung, aus zwei zu einem Ocular verbundenen Linsen und dem zwischen diesem angebrachten Spalt, welcher dazu dient, den einfallenden Strahlenkegel zu verschmälern und damit möglichst wenig gegen die Eintrittsfläche der Prismen geneigt Lichtstrahlen zu vermitteln. Bei den vollständigeren Instrumenten wird nebst einem geeigneten Messapparate noch ein kleines, rechtwinkliges Prisma, das Vergleichsprisma, unter dem Spalte angebracht, welches von der Seite her auf dasselbe treffende Lichtstrahlen nach oben reflectirt und neben dem Hauptspectrum ein zweites, das Vergleichsspectrum erzeugt.

Die Prismenverbindung, welche in dieser Art zuerst von Amici angewendet wurde, bildet ein sogenanntes geradesichtiges Prisma. Dasselbe besteht in ihrer ursprünglichen Gestalt aus zwei Crownglasprismen, welche ein mittleres Flintglasprisma von 90° einschliessen. Später haben Janssen (Compt. rend. hebdom. des sc. de l'acad. des sciences 1862, p. 576) und S. Merz (Carl's Repertorium für Experimentalphysik etc. Bd. 5, S. 390), um eine grössere Dispersion zu erzielen, zwei Flintglasprismen von 90° mit drei Crownglasprismen verbunden. Die drei inneren Prismen (Fig. 421 a. f. S.), von denen das dritte mittlere aus Crownglas, die beiden anliegenden aus Flintglas bestehen, schliessen dabei einen Winkel von 90° ein, während die beiden ungleichseitigen äusseren (das

erste und fünfte) aus Crownglas mit der Horizontalen einen Winkel von 97° bilden. Bei beiden Prismenverbindungen erhalten die mittleren

Fig. 421.



— etwa der Fraunhofer'schen Linie *E* entsprechenden — austretenden Strahlen *B* genau die Richtung der eintretenden *A*, während die Dispersion in möglichst hohem Grade beibehalten wird.

Die zur genauen Lagenbestimmung der Absorptionsbanden in dem ununterbrochenen (continuirlichen) Spectrum — welches bei mikrospectroskopischen Beobachtungen vorzugsweise in Betracht kommt —, oder auch der Lichtlinien in dem unterbrochenen (discontinuirlichen) Spectrum — zu dessen Erzeugung das Spectralocular ebenso gut wie jeder andere Spectralapparat verwendet werden kann — ist in der Regel eine eigene Messvorrichtung vorhanden, welche wir bei den betreffenden Instrumenten der einzelnen Werkstätten näher kennen lernen werden.

Das Spectralocular wird wie ein gewöhnliches Ocular in das Mikroskoprohr eingesetzt und kann bei Präparaten, welche eine grosse Ausdehnung besitzen, ohne Objectivsysteme benutzt werden, während man im anderen Falle schwache Objectivsysteme von möglichst grosser Oeffnung verwendet.

306 Browning's Spectralocular. Den ältesten Mikrospectralapparat bildet wohl das durch seine bedeutende Höhe — etwa 160 mm ohne Ansatzrohr — etwas unbequeme Spectralocular von Browning (Fig. 422 und Fig. 423), welches dieser Optiker nach Prof. Sorby's und seinen eigenen Ideen construirt hat (Browning, Spectrum apparatus for the microscope 1870) und welches in einer der ursprünglichen nähern oder vollkommen ähnlichen Ausführung, und zwar mit und ohne Messapparat von Seibert & Krafft, Leitz, Schmidt & Haensch, Engelbert & Hensoldt, Schieck, Reichert u. A. um den Preis von 90 bis 160 Mark geliefert wird.

In dem Rohre *A* lässt sich das die Prismenverbindung und eine achromatische Linse *L* enthaltende Rohr *B* mittelst des Triebes *D* derart verschieben, dass der Spalt *E* sich im Brennpunkte der Linse befindet und die Lichtstrahlen nach ihrem Durchgange durch dieselbe parallel auf die Prismen fallen. Die Verkürzung und Verlängerung sowie die Verengung und Erweiterung des Spaltes wird mittelst der Schrauben *d* und *H* (Fig. 423) bewirkt. Erstere bewegt die Deckplatte *e* gegen eine zweite, feste Platte, letztere die Deckplatte *b* nach vorne gegen die Platte *a*, wäh-

rend beide Platten beim Zurückdrehen der betreffenden Schrauben mittelst der beiden aus der Figur ersichtlichen Stahlfedern in entsprechendem

Fig. 422.

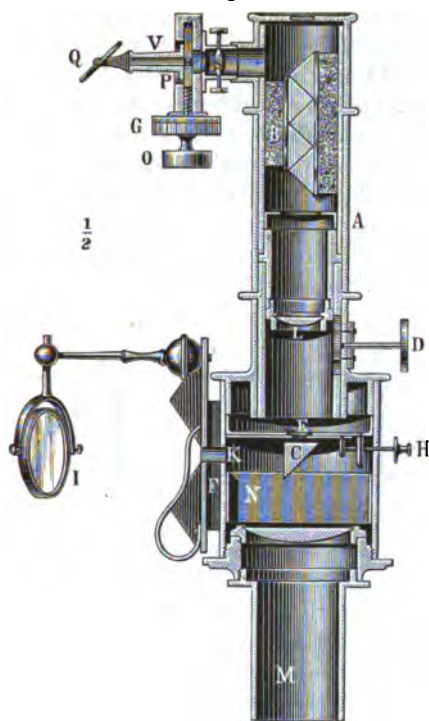
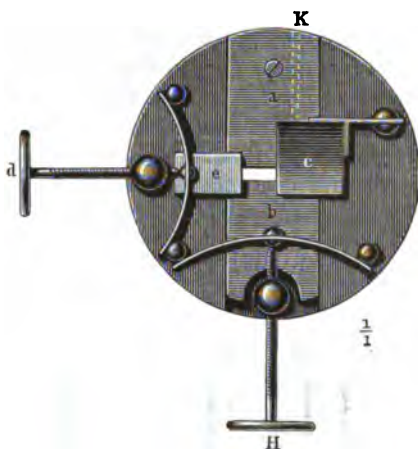


Fig. 423.



Maasse zurückgeführt werden. Das Vergleichsprisma *c* verdeckt theilweise den Spalt und es wird ihm von dem seitlichen Spiegel *I* mittelst des durch einen Schieber *N* verschliessbaren, in der Platte *F* angebrachten Spaltes *K* das erforderliche Licht zugeführt. Auf der Platte *F* können

mittelst der Einkerbungen am Rande und zweier Federklammern Flüssigkeiten in Gläschen oder dergleichen befestigt werden.

Beim Gebrauch stellt man das Mikroskop in der gewöhnlichen Weise auf das Object ein, alsdann entfernt man das Rohr *B*, steckt das Rohr *M* gleich dem Objectar auf und erweitert den Spalt so weit, dass man das Bild des Objectes deutlich sieht, endlich bringt man das Rohr *B* an seinen Ort und regulirt dessen Stellung, sowie die Weite des Spaltes derart, dass man ein scharf begrenztes Spectrum erhält.

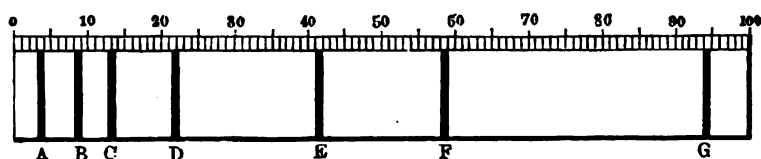
Der Messapparat ist seitlich an dem Rohre *A* angebracht und enthält eine auf einem undurchsichtigen Glasplättchen *P* befindliche, durchsichtige Figur — z. B. eine feine Linie, ein Kreuz oder einen kleinen Rhombus —, welche von dem *P* gegenüberstehenden, verstellbaren Spiegel *Q* kommende mittelst des Röhrchens *V* ihr zugeführte Lichtstrahlen in das Rohr *A* und damit auf die Austrittsfläche der Prismenverbindung treten lässt und dort unter Vermittlung der verschiebbaren convexen Linse *S* scharf abgebildet wird. Die abgebildete Lichtmarke wird nun zugleich mit dem Spectrum gesehen und kann mittelst der Mikro-

meterschraube *O* über demselben verschoben werden, während die Grösse der Verschiebung auf der Trommel *G* abgelesen wird.

Zur genauen Bestimmung der Lage etwa zu beobachtender Absorptionsbänder muss die Trommel *G* mit den Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums in Beziehung gebracht werden. Dies geschieht dadurch, dass man gedämpftes Sonnenlicht oder möglichst helles Tageslicht von unten in den Apparat einfallen lässt, die Lichtmarke nach und nach auf die stärkeren Fraunhofer'schen Linien einstellt, die entsprechenden Umdrehungsgrössen der Mikrometertrommel notirt und die so erhaltenen Zahlen auf einen aus 100 gleichen Theilen bestehenden Maassstab aufträgt, Fig. 424.

In neuester Zeit hat Sorby die Einrichtung geändert (Journal of the Royal microscopical society II, 1879, Seite 81) und sollen dadurch

Fig. 424.



als wesentliche Vortheile erzielt worden sein: geringere Grösse (Hälfte der früheren) des Apparates, grosse Dispersion, vorzügliche Definition und grosses Sehfeld.

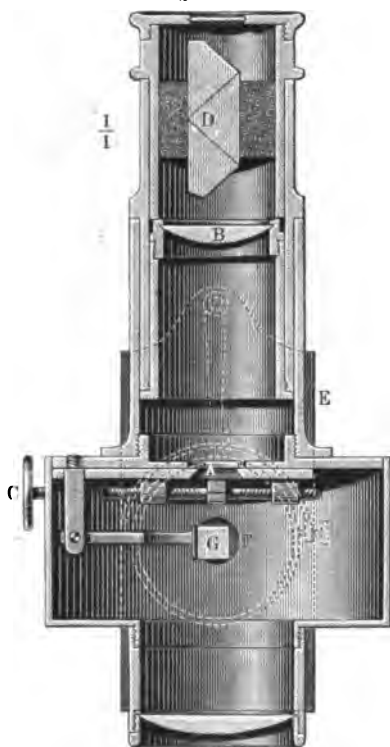
Bei dem neuen Instrumente befindet sich die achromatische Linse (*L* der Fig. 422) zur Einstellung des Spaltes nicht mehr unter, sondern über den Prismen, während eine Cylinderlinse unter denselben das aus dem Spalt austretende Licht sammelt, auch für die äussersten Enden des Spectrums eine bedeutende Helligkeit gewährt und Veränderungen am Spalt etc. unnöthig macht. Zugleich zeigt die gedachte Linse ohne weitere Einstellung eine sich über das ganze Spectrum erstreckende Scala und erleichtert wesentlich die Ablesung der Wellenlängen in jedem Theil des letzteren. Das Vergleichsprisma steht senkrecht zur Richtung des Spaltes und gestattet beide Spectren zugleich scharf einzustellen.

307

Hartnack's Spectralocular (Fig. 425) ist ohne Ansatzrohr etwa 80 mm hoch und besteht aus einem schwachen Ocular, über dessen Augenlinse *B* ein in besonderer Fassung befindliches dreifaches, sogenanntes Amici'sches Prisma *D* eingesetzt werden kann, während der Spalt *A* an der Stelle der Blendung angebracht ist. Der letztere besteht hier aus zwei beweglichen Platten, so dass er mittelst der auf beiden Seiten vom Mittelpunkte mit entgegengesetzten Windungen versehenen Schraube *C* symmetrisch zur Achse verengert oder — zur Einstellung der Objecte nach Wegnahme des Prismas — erweitert werden kann. Diese symmetrische Bewegung der „Spaltbocken“, welche bewirkt, dass die Mitte des Spaltes ihren Ort nicht ändert, wenn dieser weiter oder enger gestellt

wird, ist der bei dem Browning'schen Apparat verwendeten vorzuziehen und erscheint überall da als unerlässliches Erforderniss, wo eine

Fig. 425.



Scala in Anwendung kommt und diese nicht bei jeder Veränderung des Spaltes neu berichtigt werden soll. Das Vergleichsprisma *G* erhält sein Licht von dem verstellbaren (in der Figur durch punktirte Linien angedeuteten) Spiegel durch die Oeffnung *F* in der vierseitigen Platte *E* (deren Rand ist in der Figur sichtbar), welche zugleich dazu dient, um mittelst Federklammern etwa der Vergleichung zu unterwerfende, in passende Gefässe eingeschlossene Flüssigkeiten aufzunehmen.

Das Merz'sche Spectral-308

ocular stimmt in seiner Einrichtung wesentlich mit dem voranstehenden überein. Es enthält jedoch das weiter oben beschriebene fünffache Prisma und eine von der eben beschriebenen etwas abweichende von Merz erfundene, recht sinnreiche, aus der Fig. 426 ersichtliche Vorrichtung, zur symmetrischen Bewegung

der beiden Gravesend'schen Schneiden dienend. Das Vergleichsprisma wird mittelst eines drehbaren geränderten Ringes, welcher zugleich eine

Fig. 426.



seitliche Oeffnung öffnet und schliesst, unter den Spalt gebracht oder entfernt. Als Messapparat empfiehlt Merz die Anwendung von farblosen in die Oeffnung des Objectisches einzulegende, oder vor der dem Vergleichsprisma das seitliche Licht zuführende Oeffnung anzubringende Didymglasplatten, welche in der Nähe der *D*-Linie zwei starke, nahe bei den Linien *E* und *F* zwei schwächere Absorptionsstreifen ergeben und so eine annähernde Lagenbestimmung der Absorptionsbanden gestatten, keineswegs aber zu genauen Messungen dienen können.

309 **Abbe's Spectralocular** (Fig. 127 und 128), welches von der Zeiss'schen Werkstätte geliefert wird, bildet einen wesentlichen Fort-

Fig. 427.

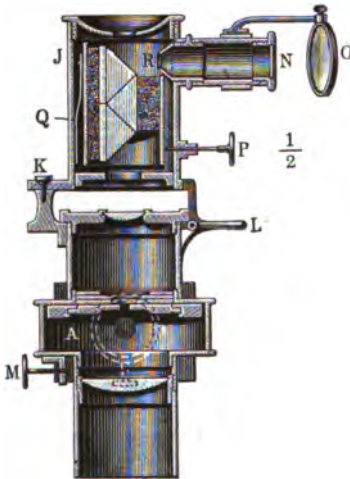
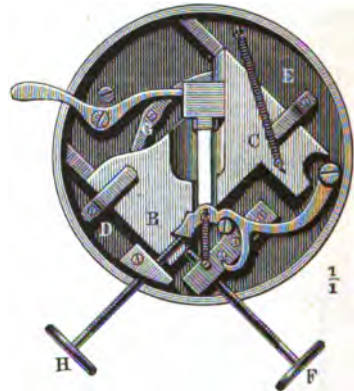


Fig. 428.



schrift auf diesem Gebiete und zeichnet sich bei handlicher Form — dasselbe hat ohne Ansatzrohr eine Höhe von 80 mm — durch wesentliche Verbesserungen der Construction aus.

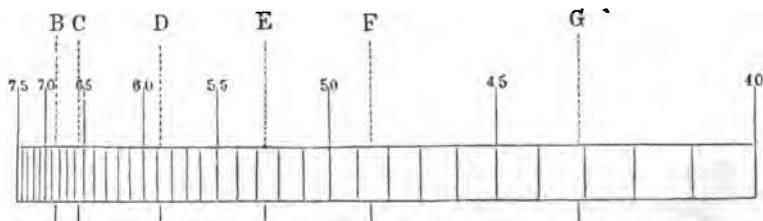
Das durch grosse Dispersion ausgezeichnete Amici'sche Prisma befindet sich in der Hülse *I*, welche um den excentrischen Zapfen *K* drehbar ist und durch die Sperrklinke *L* über dem Ocular festgehalten wird, während sie nach Niederdrücken der letzteren zur Seite gedreht werden kann, um das Ocular frei zu machen.

Der Spalt wie das Vergleichsprisma sind der zwischen den beiden Ocularlinsen angebrachten Trommel *A* in der in der Figur 427 dargestellten Weise eingefügt. Der erstere ist der Merz'schen Spaltvorrichtung nachgebildet und besteht aus den beiden durch den Hebelarm *G* mit einander verbundenen Metallplatten *B* und *C*, welche zur Erweiterung oder Verengerung des Spaltes in einer der von Merz (siehe oben) erfundenen ähnlichen Weise durch die Schraube *F* zwischen den Schienen *D* und *E* symmetrisch bewegt werden können, während die auf den mit Spannfedern versehenen rechtsseitigen Hebelarm wirkende Schraube *H* die Länge regulirt.

Das Vergleichsprisma, welches sein Licht durch eine in der Trommel angebrachte Oeffnung (in der Figur 427 unter dem Spalt sichtbar) von einem seitlichen Spiegel (in der Figur durch punktirte Linien angedeutet) erhält, ist mit dem rechtsseitig über *G* (Fig. 428) befindlichen Hebelarm verbunden und kann mittelst desselben vor die eine Spalthälfte geführt und wieder weggeschlagen werden.

Der Messapparat von neuer Construction, welcher eine absolut und allgemein gültige Lagenbestimmung von Lichtlinien im unterbrochenen oder von Absorptionsbanden im ununterbrochenen Spectrum durch unmittelbare Angabe der entsprechenden Wellenlänge ermöglicht, ist in der an der Hülse *I* befestigten, seitlichen Röhre untergebracht. Derselbe besteht aus der auf der Platte *N* befindlichen mikrometrischen Scala (Fig. 429 auf 100 mm vergrößert), welche mittelst des

Fig. 429.



auf einem Ringe verschiebbaren Spiegels *O* beleuchtet, durch das Objectiv *R* auf das Spectrum projicirt wird und durch ihre Theilung und Bezifferung die Wellenlänge in jeder Stelle des Spectrums (nach Angström) in Theilen des Mikron abzulesen gestattet. Die Theilung dieser Scala geht bis zu den Einheiten der zweiten Decimalstelle und kann durch Schätzung noch die dritte Stelle bestimmt werden. Die Einstellung der Scala muss, nachdem ihr Parallelismus mit dem Spectrum durch Drehen ihrer Fassung herbeigeführt ist, mittelst der Schraube *P* und der ihr entgegenwirkenden Feder *Q* so vorgenommen werden, dass die Fraunhofer'sche Linie *D* auf 0,589 trifft.

Zur scharfen Einstellung des Spectrums und der Scala ist einerseits das Augenglas unterhalb der Hülse *I*, andererseits das Objectiv *O* in dem Scalenrohre verschiebbar und müssen beide so gestellt werden, dass die Fraunhofer'schen Linien mit der Scala zugleich deutlich erscheinen und bei einer Bewegung des Auges keine seitliche Verschiebung gegen deren Theilstriche erkennen lassen.

Zum bequemen Aufzeichnen der mit dem Spectralocular gemachten Beobachtungen werden lithographirte Blätter geliefert, welche die Scala auf die Länge von 100 mm vergrößert je zehnmals aufgetragen enthalten.

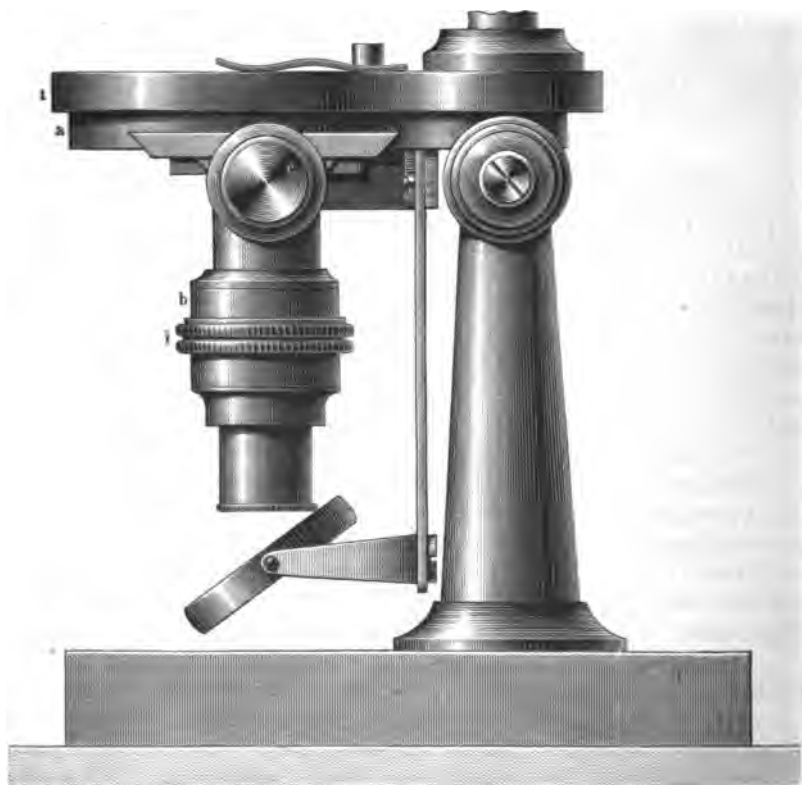
V. Der Spectropolarisator.

Rolett's Spectropolarisator. Schon im Jahre 1871 wies Valen- 310
tin (Beiträge zur Mikroskopie III. Max Schulze's Archiv für mikro-
skop. Anat. Bd VII) darauf hin, wie die Müller'schen Streifen, welche
man erhält, wenn durch ein Gypsplättchen geleitetes polarisirtes Licht
mittelst eines Spectralapparates zerlegt wird, verwendet werden können,

um die doppeltbrechenden Eigenschaften mikroskopischer Objecte zu untersuchen. Die von Valentin empfohlene Combination, wobei das Spectralocular über den Analysator zu stehen kommt, konnte indessen in dieser Richtung nur Unvollkommenes leisten, während die von Professor Rollet erdachte Einrichtung, welche ich als Spectropolarisator bezeichnen will, zu einem gewichtigen Hilfsmittel der mikroskopischen Forschung werden dürfte.

Der Apparat kann in der Form, wie er von Schmidt & Haensch in Berlin ausgeführt wird, nur unter dem Objektische solcher Mikroskope angebracht werden, Fig. 430, bei denen der Raum zwischen Fuss

Fig. 430.

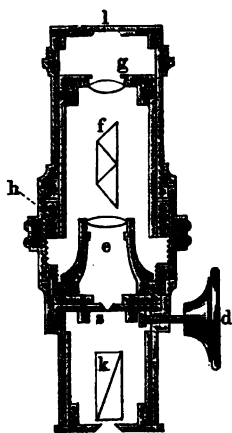


und Tisch ausreichend gross ist und wird er zu dem Ende in einer mit grossem ovalen Loche versehenen, mittelst Schlittenvorrichtung und seitlicher Mikrometerschraube *c* in horizontaler Ebene beweglichen Metallplatte *a* befestigt. Derselbe besteht aus folgenden Theilen, Fig. 431:

1. dem Spalt *s*, welcher mittelst der Schraube *d* — ohne symmetrische Bewegung der Spaltbecken — enger und weiter gestellt werden

kann, 2. der Collimatorlinse e , 3. dem Prismensystem mit gerader Durchsicht f , 4. der Projectionslinse von kurzer Brennweite g , 5. dem Gypsplättchen — am besten von Roth I. Ordnung — l und 6. dem Hartnack-Prismowski'schen Prisma k unterhalb des Spaltes.

Fig. 431.



Die Dispersion des Prismensystemes f ist so gewählt, dass bei mittlerer Vergrößerung das kleine in der Objectebene entworfene Spectrum vom rothen bis zum violetten Ende vollständig übersehen werden kann und die Fraunhofer'schen Hauptlinien deutlich wahrnehmbar erscheinen. Spalt und Collimatorlinse wie Prismensystem und Objectiv sind je zusammen in einer besonderen Röhre gefasst und es kann die obere Röhre mittelst einer der Objectivcorrectionschraube ähnlichen Vorrichtung — bei welcher ein in der den Spalt und die Collimatorlinse enthaltenden Röhre festliegender, um seine Achse drehbarer Ring mit Gewinde i (Fig. 430) in eine

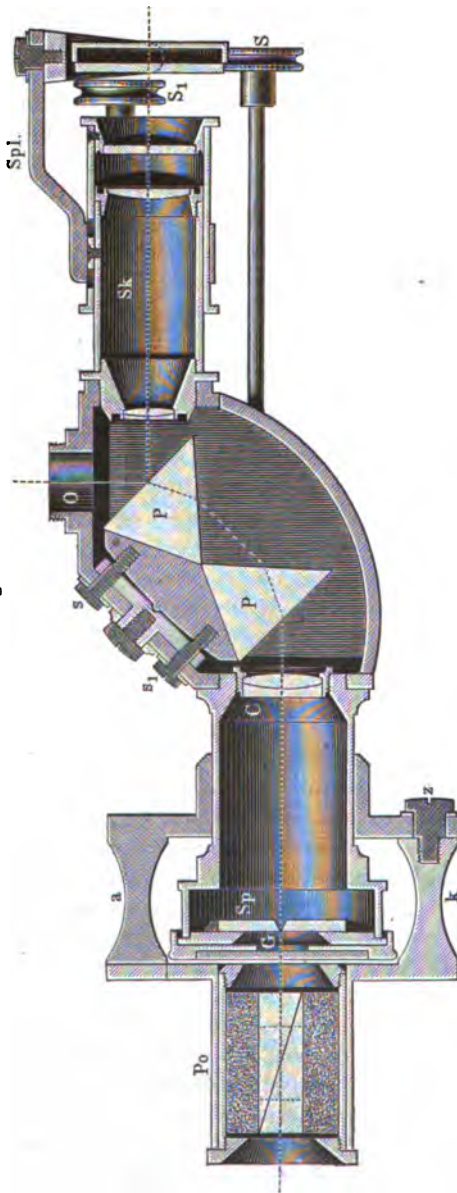
das Prismensystem und Projectionsobjectiv tragenden Röhre eingeschnittene Mutterschraube h (Fig. 431) greift — um eine, mittelst Theilung am Ring und Marke an der äusseren Röhre ablesbare Grösse in senkrechter Richtung verschoben werden. Hierdurch kann das Objectiv g in eine Stellung gebracht werden, welche bei verschiedener Dicke der Objectträger für die scharfe Projection des Spectrums in der Objectebene erforderlich wird. Die Grösse der seitlichen durch die Mikrometerschraube c bewirkten Verschiebung, deren Bedeutung wir bei Beschreibung der betreffenden Beobachtungsmethode näher kennen lernen werden, wird an der Trommel dieser Schraube abgelesen.

Der Analysator des Polarisationsapparates — der mit Theilkreis versehen sein kann — wird in der üblichen Weise eingesetzt. Entfernt man den Analysator, den einfach in die untere Röhre eingeschoben und somit abnehmbaren Polarisator und das Gypsplättchen und benutzt das geradsichtige Prisma sammt Objectiv allein, so erhält man ein Spectromikroskop, welches dazu geeignet ist, organische Structurelemente, Inhaltsbestandtheile der Zellen etc. auf ihr Verhalten in monochromatischem Lichte und zwar sowohl in bestimmten einzelnen, als in den gesamten Regionen des Spectrums zu untersuchen.

Abbe's Spectropolarisator (Fig. 432 a. f. S.). Auf meine An- 311
regung hin und unter Berücksichtigung der von mir geäußerten Wünsche bezüglich der Einrichtung und der an die Leistungsfähigkeit eines möglichst vollkommenen derartigen Apparates zu stellenden Forderungen hat Professor Abbe eine Abänderung des Spectropolarisators erdacht, welche in der Zeiss'schen Werkstätte für mich ausgeführt wurde und für die Folge (ohne Anpassungsvorrichtung für fremde Stative) zu

dem Preise von etwa 180 Mark unter die ständigen Nebenapparate aufgenommen werden wird. Der Apparat wird dem grossen Zeiss'schen Stativ Nr. 1 an der Zahnstange für den weiter oben S. 273 beschriebenen

Fig. 432.



Blendungsträger und wie dieser letztere in senkrechter Richtung beweglich derart angebracht, dass dessen Achse — Polarisator nebst Spaltrohr nach rechts, Scalenrohr mit Spiegeln nach links gewendet — parallel zur vorderen Tischkante steht; er kann aber auch und zwar in gleicher Achsenrichtung mittelst entsprechend abgeänderter Anpassungsmechanik an jedem grösseren Stativ eingefügt werden. Der aus einem Prazmowski'schen Prisma bestehende Polarisator *Po* ist mittelst der Kurbel *k* um den Zapfen *z* drehbar und an dem Arme *a* einklappend zum Vor- und Zurückschlagen eingerichtet, so dass man ihn vor den Spalt bringen oder diesen frei lassen, also sowohl in polarisiertem, als in gewöhnlichem Lichte, d. h. mit einfachem Spectrum arbeiten kann. Die in einem auf das Spaltrohr aufsteckbaren Ringe einzulegenden verzögernden Gypsplättchen *G* werden dicht hinter dem Polarisator eingeschaltet und ist ihnen damit eine Stellung angewiesen, die nicht allein ein leichtes Wechseln gestattet, sondern

auch derjenigen über dem Prismensystem und dem Objectiv (Rolett) gegenüber theoretisch vortheilhafter erscheint. Die Spaltvorrichtung *Sp* ist die bei dem Zeiss'schen Spectralocular ausführlich besprochene. Der Collimator *C* besteht aus einer achromatischen Doppellinse, während das Prismensystem — in ähnlicher Anordnung, wie bei dem S. 603 beschriebenen Hartnack'schen Beleuchtungsapparate — von zwei aus noch vollständig weissem Flintglas hergestellten, also keine merkliche Verdunklung des Blau herbeiführenden an einem drehbaren Stücke befestigten Prismen P_1 *P* gebildet wird. Zur Entwerfung des Spectrums in der Objectebene können je nach Bedürfniss schwächere oder stärkere Mikroskopobjective — bis zu etwa 6 mm Brennweite herab — dienen, welche dem Prismengehäuse bei *O* aufgeschraubt werden. Für Messungszwecke dient die bei dem Zeiss'schen Spectralocular bereits besprochene, genau ebenso, wie dort eingerichtete und zu handhabende Angström'sche Scala *Sk*, deren Einstellung in Bezug auf den Focus — unter Verwendung eines Objectives von 15 bis 16 mm Brennweite (A. Zeiss) am Apparate, eines solchen von 10 bis 6 mm am Mikroskope — ein- für allemal erfolgt, indem man sie so justirt, dass ihre Theilstriche und die Fraunhofer'schen Linien gleichzeitig vollkommen scharf erscheinen. Im Falle eine Berichtigung in Bezug auf die richtige Angabe der Wellenlänge erforderlich werden sollte, wird diese dadurch bewirkt, dass man von den beiden seitlichen in den Prismenträger greifenden Schraubchen *s* und *s*₁ in dem Deckel des Prismengehäuses vorsichtig die eine etwas lüftet, die andere entsprechend anzieht, bis die *D*-Linie möglichst genau 0,589 anzeigt. Die Einstellung des Spectrums auf die Objectebene wird in dem vorliegenden Falle, d. h. für das Zeiss'sche Stativ Nr. I durch die senkrechte Bewegung an der Zahnstange herbeigeführt, während die beiden Schrauben hinter dem Scalenrohre die horizontale Verschiebung in dem Sehfelde und zwar *S* diejenige in der Richtung von rechts nach links, *S*₁ diejenige in der Richtung von hinten nach vorne und umgekehrt vermitteln und so einerseits die genaue Centrirung, wie die Durchföhrung des Spectrums unter dem eingestellten Objecte ermöglichen.

Um den Apparat nicht allzusehr zu belasten, wird das zur Darstellung des Spectrums dienende Licht (Sonnen-, Tages- oder Lampenlicht) mittelst eines auf besonderem niederem Stative seitlich von dem Spaltrohre aufzustellenden, allseitig beweglichen Spiegelchens in die Achse des letzteren geworfen.

Der Abbe'sche Spectropolarisator besitzt zwar, wie aus dem Voranstehenden hervorgeht, eine etwas verwickeltere und schwerfälligere Einrichtung als derjenige von Rollet; dagegen aber hat er diesem gegenüber einige hoch anzuschlagende Vorthelle aufzuweisen.

Erstens verlangt derselbe kein besonders dazu construirtes oder geeignetes Stativ mit abnorm hoch stehendem Objecttisch, sondern kann mittelst einer geeigneten Anpassungsvorrichtung jedem grösseren Mikro-

skope eingefügt und zugleich — wenigstens in der Anpassung an das grosse Zeiss'sche Stativ — unter dem Tische zurückgeschlagen werden, so dass man im Stande ist, den Abbe'schen Beleuchtungsapparat einzuschalten und abwechselnd bei gewöhnlicher Beleuchtung oder in einfach polarisirtem Lichte beobachten kann, ohne den Apparat von dem Instrument zu entfernen.

Zweitens gestattet derselbe sowohl bei Beobachtungen mit polarisirtem Lichte als bei solchen mit einfachem Spectrum einen weit umfänglicheren — er kann z. B. den Engelmann'schen (Bad. Zeitung 1882, Nr. 26), sowie den Hartnack'schen Apparat (Seite 603) ersetzen — Gebrauch, wofür namentlich der Umstand von wesentlicher Bedeutung wird, dass man bei der Entwerfung des Spectrums nicht auf eine ganz bestimmte Projectionlinse beschränkt ist, sondern beliebig schwächere oder stärkere Objectivsysteme verwenden kann.

Drittens giebt die Scala unmittelbar die Wellenlängen an, für welche in irgend einem Farbenbezirke des Spectrums die Auslöschung, beziehentlich die Wiederherstellung der ausgelöschten Farbe durch ein doppelt blendendes Object erfolgt und erspart somit jede Rechnung.

Viertens ist, und zwar trotz der Verwendung von noch vollkommen weissem Flintglase, die durch das angewendete Prismensystem erreichte Dispersion eine etwa doppelt so grosse als diejenige bei einem geradsichtigen Prisma, so dass man beim Beobachten mit stärkeren Objectivsystemen — indem man entsprechend stärkere zur Projection gebraucht — ein weit lichtstärkeres Spectrum zu erzielen im Stande ist, als es möglich wird, wenn man mittelst eines geradsichtigen Prismas ein Spectrum von gleicher Grösse und gleichem Grade der Farbenreinheit entwirft.

5. Vorrichtungen zum Nachzeichnen.

312 Es giebt wohl kaum einen anderen der mikroskopischen Nebenapparate, welcher in so vielfachen Abänderungen angefertigt und von den Mikroskopikern benutzt wird, wie die Vorrichtungen zum Nachzeichnen (Camera lucida). An jeden derartigen Apparat ist als erste Forderung diejenige zu stellen, dass er auch bei starken Objectivsystemen keinen oder doch keinen merklichen Lichtverlust im mikroskopischen Bilde herbeiführe und dass man bei gleich mässiger Schärfe das ganze Sehfeld übersehen könne, während es zugleich wünschenswerth erscheint, dass die Zeichenfläche eine horizontale sei. Da es bei dem Gebrauche der Camera lucida in der That fast mehr auf Gewohnheit und Uebung, als auf die Eigenthümlichkeit des Baues ankommt, so erfüllen sie alle, wenn auch in mehr oder minder hohem Grade, ihren Zweck. Indessen zeigen sich doch, was die Bequemlichkeit und Sicherheit betrifft, mit der man den Umrissen eines Objectes folgen kann, nicht unerheb-

liche Abweichungen bei den verschiedenen Apparaten. Ich werde daher im Verlaufe der Beschreibung der mir näher bekannt gewordenen derartigen Apparate Gelegenheit nehmen, auf einzelne, mir als besonders zweckmässig gebaut erscheinende hinzuweisen und namentlich diejenigen hervorzuheben suchen, welche sich für den im Gebrauch weniger Geübten als empfehlenswerth erweisen.

Wollaston's Camera lucida. — Eine der am frühesten bei den 313 Mikroskopikern in Gebrauch gekommenen Zeichnungsvorrichtungen ist die in England noch vielfach gebrauchte Camera lucida von Wollaston (Fig. 433 und 434). Dieselbe beruht auf dem Principe der totalen Zu-

Fig. 433.

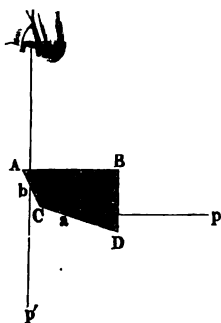


Fig. 434.



rückwerfung und besteht im Wesentlichen aus einem vierseitigen Prisma $ABCD$, dessen Seiten AB und BD unter einem Winkel von 90° zusammentreffen, während die beiden anderen Seiten AC und CD einen Flächenwinkel von 135° bilden. Gelangt nun ein Strahlenbündel p rechtwinklig nach der Fläche BD , so geht es ungebrochen hindurch und trifft auf die Fläche CD . Hier wird es in a , dann zum zweitenmale an der Fläche AC in b vollständig zurückgeworfen und gelangt in der Richtung bp' in das über der horizontalen Fläche AB befindliche Auge, so dass es scheint, als ob der leuchtende Punkt sich in p' befände.

Kommt die Fläche BD vor das Ocular eines Mikroskopes zu stehen, so wird das mikroskopische Bild auf einer zur Ebene des Objecttisches senkrechten Ebene projecirt. Da nun das Auge zugleich an der Kante bei A vorbeisieht, so erblickt der Beobachter auf einem in derselben Ebene befindlichen Blatte Papier oder dergleichen die Bleistiftspitze über dem projecirten Bilde und kann dessen Umrisse mit Leichtigkeit nachziehen.

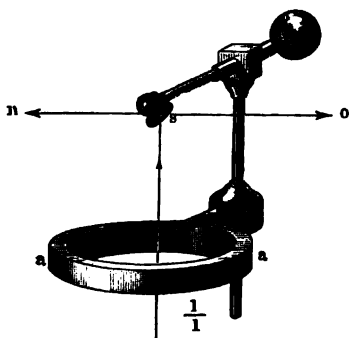
Beim Gebrauch dieses Apparates, den ich indessen nur bei Instrumenten aus englischen Werkstätten gefunden habe (Ross, Beck u. A.), ist man sonach genöthigt, das Mikroskop in eine geneigte oder horizontale Lage zu bringen, oder wo dies nicht angeht, die Camera mit einem sogenannten gebrochenen Oculare zu verbinden.

Das reflectirende Prisma wird in ein viereckiges Kästchen *abcd* (Fig. 434) gefasst und in diesem nur an der vorderen die Kante *A* aufnehmenden Seite eine kleine Oeffnung für das Auge gelassen. Die Stellung des Prismas selbst kann mittelst zweier Schrauben so regulirt werden, dass das ganze Sehfeld übersehbar erscheint und das projecirte Bild horizontal auf die Zeichenfläche fällt. Zur Befestigung an dem Mikroskope dient die Messinghülse hinter dem Kästchen, welche über das Ocular geschoben wird.

Um das Nachzeichnen, welches immer einige Schwierigkeit hat, zu erleichtern, sind an der Unterseite der Fassung die beiden Linsen *m* und *n* angebracht. Dieselben sind bestimmt, zu bewirken, dass die Strahlen, welche von dem mikroskopischen Bilde kommen, und jene, welche von dem Papier und dem Bleistift ausgehen, unter gleichen Winkeln divergiren und so Bild und Bleistiftspitze gleich deutlich gesehen werden.

- 314 **Sömmering's Spiegel.** — Auf ganz ähnliche Weise wie die eben besprochene Vorrichtung wirkt der Sömmering'sche Spiegel (Fig. 435),

Fig. 435.



welcher aus einem ovalen Metallspiegel von 4 mm Länge und 2 mm Breite besteht. Wird derselbe unter einem Winkel von 45° vor dem gebrochenen Oculare befestigt, so erblickt man, wie bei der Wollaston'schen Camera lucida, das Bild auf der Fläche des Arbeitstisches projecirt und sieht an dessen Rand vorbei Zeichenfläche und Stift. Um den kleinen Spiegel mit dem Rohre des gebrochenen Oculars zu verbinden, ist es mittelst zweier drehbaren Metallstäbchen an dem federnden Ringe *a* in der Art befestigt, dass es beim Gebrauche genau in die optische Achse gebracht werden kann.

Im Allgemeinen erreicht man zwar mit dem Sömmering'schen Spiegel dasselbe Ziel, wie mit dem Prisma, es verliert jedoch das Bild weit mehr an Lichtstärke, da bekanntlich von einer metallenen Oberfläche ein grosser Theil der auffallenden Lichtstrahlen verschluckt wird, während bei jenem der auf diese Weise herbeigeführte Verlust weit geringer ausfällt.

- 315 **Dr. Beale's Zeichenapparat** („Neutral-Tint-Glas-Reflector“) besteht aus einer dunkel gefärbten (Neutraltinte), doch noch hinreichend durchsichtigen dünnen Glasplatte, welche wie das Sömmering'sche Spiegelchen unter 45° gegen die Achse des Mikroskopes geneigt ist und in ganz gleicher Weise wie dieses wirkt, nur dass man statt dort an der reflectirenden Fläche vorbei, hier durch dieselbe hindurchsieht.

- 316 **Der kleine Zeichenapparat von Winkel** (Fig. 436) besteht aus einem kleinen rechtwinkligen, durch einen vorliegenden Ring geschützten,

mit dem Ocular 2 fest verbundenen Prisma P , dessen Fassung um den seitlichen Stift s drehbar und mittelst einspringender Feder f centrirtbar

Fig. 436.



ist, während dieselbe mittelst des horizontalen Stiftes s_1 beliebig geneigt werden kann. Das Prisma projicirt das mikroskopische Bild auf eine unter einen Winkel von 45° zu neigende Zeichenfläche, während man an demselben vorbei den Zeichenstift unmittelbar sieht. Das kleine, handliche Instrumentchen kommt in seiner Wirkung mit den voranstehenden überein, leistet jedoch in Folge der vollständigen Reflexion an der Hypothenuse Besseres als dieser und wird zu 24 Mark (mit Zeichenbrett zu 27 Mark) berechnet.

Oberhäuser's Zeichenprisma. — Die 317

Oberhäuser'sche Zeichenvorrichtung (Fig. 437) beruht auf demselben Principe, wie die unter Nr. 312. Sie besteht aus einem gebrochenen Oculare, mit welchem das kleine rechtwinklige,

von einem Ringe umgebene Glasprisma f derart verbunden ist, dass dessen eine Kathete parallel zur Oberfläche der Ocularlinse, die andere aber parallel zur Zeichenfläche steht.

Das gebrochene Ocular besteht aus zwei rechtwinklig miteinander verbundenen innen geschwärzten Röhren A und B . In der Bahn der

Fig. 437.



von dem Objectiv ausgehenden Strahlenbündel befindet sich das grössere rechtwinklige Prisma d und in dem vorderen Ende der Röhre B ein gewöhnliches Ocular c .

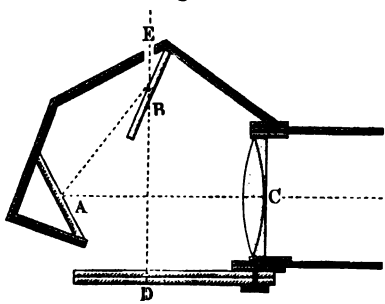
Die von dem mikroskopischen Bilde ausfahrenden Strahlenbündel werden gemäss dieser Einrichtung an der Hypotenusenfläche des Prismas d vollständig zurückgeworfen und treten dann in das Ocular so ein, dass

sie ein in senkrechter Ebene projecirtes Bild erzeugen. Durch das zweite vor dem Ocular befindliche Prisma f erleiden dieselben dann eine zweite totale Zurückwerfung, und das mikroskopische Bild wird auf die horizontale Ebene des Tisches projecirt. Während man nun an dem kleinen Prisma vorbeisieht, das einen geringeren Durchmesser besitzt, als die normale Oeffnung der Pupille, erblickt man zugleich mit und über dem Bilde die Spitze des Zeichenstiftes und kann mit Leichtigkeit dem Umriss folgen. Die Nachzeichnung wird hier sehr erleichtert, wenn man die Beleuchtung der Zeichenfläche so regulirt, dass sie mit derjenigen des Sehfeldes möglichst übereinstimmt.

Diese Vorrichtung, welche Hartnack, Zeiss, sowie fast sämtliche optische Werkstätten um den Preis von 35 bis 40 Mark liefern, bildet, da sie im Ganzen einen nur geringen Lichtverlust nach sich zieht und an jeder Stelle des Sehfeldes gleich gut zeichnen lässt, was bekanntlich nicht von allen Zeichenapparaten gesagt werden kann, ein recht geeignetes Hilfsmittel zum mikroskopischen Zeichnen und dürfte namentlich auch dem weniger Geübten zu empfehlen sein. Das Einzige, was sie zu wünschen übrig lässt, ist der Umstand, dass das Sehfeld etwas beschränkt erscheint und dass das Ocular ein- für allemal fest mit dem Zeichenprisma verbunden ist. Man kann daher für je ein Objectivsystem nur bei einer Vergrößerung zeichnen, was hier und da insofern lästig wird, als man in manchen Fällen gern bei einer ganz bestimmten oder doch bei der Vergrößerung zeichnen möchte, unter der man eine bestimmte Thatsache beobachtet hat.

318 Dr. J. G. Hofmann's Camera lucida wurde in neuerer Zeit erfunden und von Professor van Heurck beschrieben (Annales de la Société Belge de Microscopie 1878 — 1879, Bulletin & p. LXVI). Dieselbe besteht, wie aus Figur 438 ersichtlich ist, aus einem die Stelle des

Fig. 438.



Oculares vertretenden Linsensystem C , dann aus zwei Spiegeln A und B , von denen der auf der Rückseite versilberte, etwa 1 cm grosse erstere das Bild schief aufwärts gegen die Achse des Mikroskopes reflectirt, während der andere, etwas höher gelegene, aus einem durchsichtigen Glasplättchen gebildete, dasselbe im entgegengesetzten Sinne nach oben projecirt. Das

über der in der Fassung angebrachten kleinen kreisrunden Oeffnung E befindliche Auge sieht nun zugleich das zweifach gespiegelte Bild und durch das dünne Glastäfelchen (B) hindurch die Spitze des Zeichenstiftes, dessen leichtere Sichtbarkeit für sehr Fernsichtige durch zwei — einzeln oder zusammen zu verwendende — unterseits an einem hori-

zontalen Arme angebrachten, schwachen Convexlinsen D vermittelt werden soll. In der beschriebenen Einrichtung ist der Apparat nur für horizontale Stellung des Mikroskopes geeignet; will man ihn dagegen bei senkrechter Stellung verwenden, so muss er mit einem gebrochenen ein reflectirendes Prisma enthaltenden Rohre verbunden werden. In diesem Falle wird noch ein aus zwei planconvexen in zwei ineinander verschiebbaren Messinghülsen gefassten Linsen bestehender Hilfsapparat beigegeben, welcher sich in den kurzen Arm des gebrochenen Rohres einschieben lässt und dazu dienen soll, die Vergrösserung in drei verschiedenen Graden (jenachdem man je eine der Linsen oder beide verwendet) zu verringern. Professor van Heurck lobt diese Instrumente sehr und hebt namentlich hervor, dass man mittelst desselben die Bleistiftspitze deutlicher sehe, als mit irgend einer anderen Camera. Dagegen hebt Professor Cramer (Botanisches Centralblatt 1881, Nr. 39) mehrere Nachtheile hervor, deren Vorhandensein sich aus der theoretischen Betrachtung der Construction ergibt. Erstlich erscheint bei zweifacher Spiegelung rechts und links in dem sonst aufrechten Bilde vertauscht und zweitens muss bei mehrfacher Zurückwerfung sowohl die Lichtstärke wie die Schärfe des Bildes eine nicht unerhebliche Einbusse erleiden.

Die im Vorausgehenden beschriebenen Apparate haben sämmtlich das mit einander gemein, dass man das mikroskopische Bild mittelst zweifacher — theilweiser oder vollständiger — Zurückwerfung durch Spiegel oder Prismen über der Zeichenfläche projicirt, diese selbst dagegen sowie den Zeichenstift unmittelbar erblickt. Durch diese Einrichtung verliert das erstere natürlich immer, sei es mehr, sei es weniger, an Lichtstärke, was namentlich bei den stärkeren Vergrösserungen etwas störend wirkt. Anders gestaltet sich dies bei den nachfolgend beschriebenen Vorrichtungen, bei denen man das Sehfeld des Mikroskopes mit dem Auge unmittelbar übersieht, also das Bild betrachtet, und über diesem dann Zeichenfläche und Stift in gleicher Weise und durch die gleichen Mittel wie vorher projicirt erblickte.

Nachet's und Nobert's Zeichenprisma. — Eine der zweckmässigsten und bequemsten Vorrichtungen dieser Art, mittelst deren man bei senkrecht stehendem Mikroskope auf wenig geneigter Fläche zeichnen kann, ist die von Nachet in höchst sinnreicher Weise ausgeführte, ursprünglich von Nobert erdachte und in etwas anderer Form ausgeführte Camera lucida, welche man in neuester verbesserter Form um den mässigen Preis von 24 Mark (30 Franken) vom ersteren Optiker beziehen kann, und welche auch Bénèche, Franz Schmidt & Haensch, Reichert u. A. um etwa den gleichen Preis liefern. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus zwei Prismen, Fig. 439 (a. f. S.), dem rhombischen Prisma $abcd$, an dessen vorderer, über das Ocular zu stehen kommender Fläche das zweite und kleinere, dreiseitige, rechtwinklige Prisma efg derart aufgekittet ist, dass es die eine Kathete

dem Ocular zukehrt. Die aus den letzteren tretenden Lichtstrahlen S treffen nun senkrecht auf diese ihm zugekehrte Kathetenfläche und gehen unter einem nur geringen Lichtverluste, den sie an der Fläche fg durch Reflexion erleiden, ungebrochen nach dem Auge. Die von der Zeichenfläche und dem Stifte kommenden Lichtstrahlen werden dagegen zuerst an der Fläche bd bei s' und dann an der Fläche ac bei s'' zurückgeworfen und treten in gleicher Richtung mit den aus dem Mikroskope kommenden Strahlen in das Auge s''' , so dass man die Zeichenfläche und die Spitze des Stiftes über dem mikroskopischen Bilde projicirt erblickt. Die beiden Prismen sind in ein messingenes Kästchen gefasst (Fig. 440),

Fig. 440.

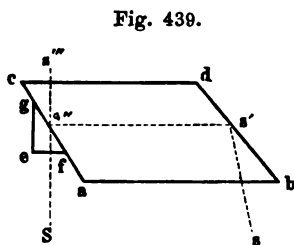
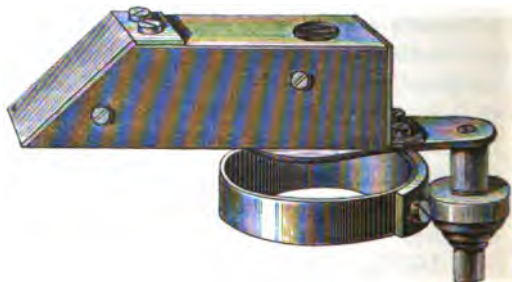


Fig. 439.



welches entsprechend dem Prisma efg in der oberen und unteren Decke je eine runde Oeffnung hat, während die letztere den hinteren Theil des grösseren Prismas frei lässt. Mittelst eines Stiftes dreht sich das Kästchen in einem Fortsatze des federnden Ringes, der über das Rohr geschoben wird, so dass man es beliebig zur Seite schieben kann und das Ocular frei hat. An der vorderen Seite des Kästchens sind ausserdem kleine Schrauben angebracht, mittelst deren man den beiden Prismen, falls sich dies wünschenswerth zeigen sollte, eine etwas veränderte Stellung geben kann.

Ich habe diesen Zeichenapparat — aus verschiedenen Werkstätten — kennen gelernt, und kann ihn nur empfehlen, finde jedoch an demselben nur das zu tadeln, dass man einen verhältnissmässig kleinen Theil des Sehfeldes zugleich mit dem Stifte übersieht, kann aber natürlich nicht wissen, ob dieser Fehler vielleicht bei den von Nachet selbst gefertigten Apparaten gar nicht in dem Maasse vorhanden ist, wie bei dem Exemplare, das mir zu Gebote stand.

320 **Camera lucida nach Doyère und Milne-Edwards.** Diese Zeichenvorrichtung (Fig. 441), welche von Hartnack in Paris schon seit Jahren geliefert wird, ist handlich und bequem gebaut, während das Sehfeld ganz übersehen werden kann und der Lichtverlust so unbedeutend ist, dass ihre Anwendung auch bei hohen Vergrösserungen und den stärkeren Ocularen nicht behindert wird. Die kleine Vorrichtung besteht aus zwei dreiseitigen, rechtwinkligen Prismen, von denen das kleinere, a ,

sich über dem Oculare befindet, während das grössere, *b*, die erste Spiegelung des Zeichenstiftes übernimmt. Da das über dem Ocular befind-

Fig. 441.

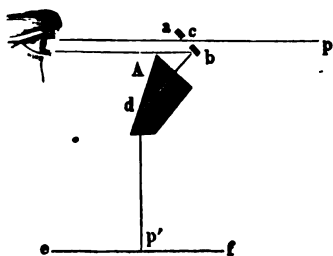


liche Prisma nur eine sehr kleine Oberfläche hat, so sieht man an demselben vorbei direct in das Mikroskop und dort das Bild des betreffenden Objectes, während durch die doppelte Spiegelung mittelst der Prismen *a* und *b* die Zeichenfläche, welche, um Verzeichnung zu verhüten, um etwa $22\frac{1}{2}^{\circ}$ gegen die

Horizontale geneigt sein muss und die Spitze des Stiftes über jenem projectirt erscheinen. — Hartnack hat diese Camera lucida mit 28 Mark verzeichnet, während andere Werkstätten dieselbe um 30 bis 36 Mark liefern.

Amici's Zeichenprisma. — Das Zeichnungsprisma von Amici (Fig. 442) verlangt wieder das gebrochene Ocular, um auf horizontaler

Fig. 442.



Fläche zeichnen zu können. Das Metallspiegelchen *ab* ist in der Mitte durchbohrt, so dass man durch dessen Oeffnung *c* in das Mikroskop sieht. Vor diesem Spiegelchen, jedoch so, dass dessen oberer Rand etwas über den unteren Rand des ersteren hinüber greift, ist das Prisma *A* angebracht. Die von Papier und Zeichenstift ausgehenden Strahlen werden nun zunächst an der Vorderfläche *d* des

Prismas reflectirt und treten nach der Oberfläche des Spiegelchens aus, von wo sie, zum zweiten Male zurückgeworfen, in horizontaler Richtung und zugleich mit den aus dem Mikroskope kommenden Strahlen in das Auge gelangen, so dass man das Papier und den Zeichenstift auf das Gesichtsfeld projectirt erblickt.

Chevalier's Camera lucida (Fig. 443). Diese Vorrichtung, deren Preis 24 Mark (30 Franken) beträgt, ist nach dem Principe des vorher-

Fig. 443.



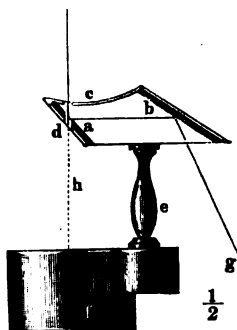
gehenden Apparates construiert, indem dasselbe unmittelbar auf das aufrechtstehende Mikroskop angewendet wurde. Das reflectirende Prisma ist in dem Messingrahmen (rechts) eingeschlossen, das durchbohrte Spiegelchen aber auf dem kleinen Hohlcyliner (links) in der optischen Achse über dem Ocular angebracht.

323 Der kleine Zeichenapparat von Seibert und Krafft (Fig. 444)

besteht aus den zwei Spiegeln a und b , welche an der Innenseite eines unten offenen Gehäuses angebracht sind.

Fig. 444.

Fig. 444.



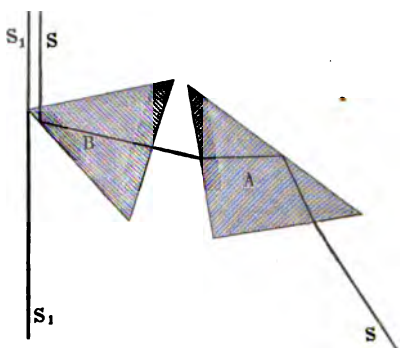
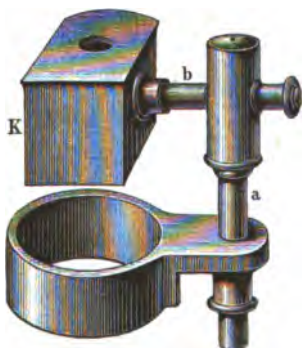
In der Mitte des ersteren ist auf einer kreisrunden mit der Mikroskopachse concentrischen Stelle der Beleg weggekratzt und über dieser in der Fassung eine ähnliche kleine Oeffnung angebracht. Das Gehäuse ruht auf dem Säulchen *e*, welches mit dem auf das Mikroskoprohr aufzusteckenden Ringe *f* verbunden ist. Der Strahlengang ist aus der Figur ersichtlich und es geht daraus hervor, dass die Zeichenfläche wie bei den vorhergehenden eine geneigte sein muss. Der Preis beträgt 18 Mark.

324

Zeiss' Camera lucida mit zwei Prismen (Fig. 445) ist von mir schon

1869 beschrieben und empfohlen worden. Dieselbe besteht aus einem rechtwinkligen Prisma A , welches mittelst Reflexion an seiner Hypo-

Fig. 445.

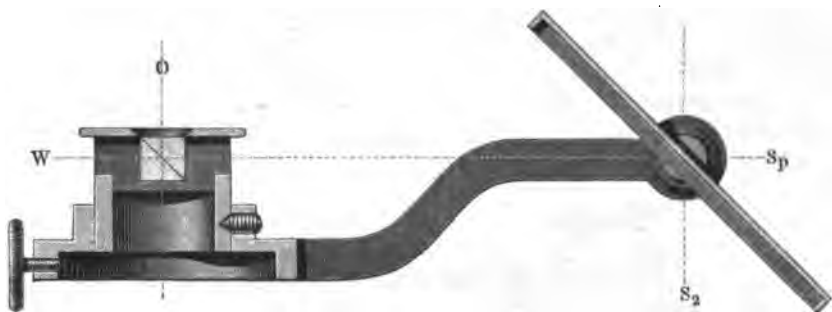


thenusenfläche die von Zeichenfläche und Stift kommenden Strahlen S nach dem über das Ocular zu stehen kommenden zweiten gleichseitigen, unter einem Winkel von 27° gegen das erstere geneigten Prisma B sendet, von dessen Vorderfläche dieselben zum zweitenmale zurückgeworfen und endlich parallel der Mikroskopachse nach oben gelenkt werden. Die Camera wird beim Gebrauche etwas geneigt und das Prisma B so gerichtet, dass seine vordere, durch die kreisrunde Oeffnung in dem Deckel des Kästchens K sichtbare Kante gerade die Austrittspupille des Mikroskopes halbirt und man das mikroskopische Bild, wie das Bild von Zeichenfläche und Stift zugleich deutlich und scharf sieht. Diese Stellung wird dadurch möglich gemacht, dass das Kästchen mittelst des Stiftes a

gehoben und gesenkt und in der Horizontalen gedreht, mittelst des Stiftes *b* vor- und rückwärts verschoben und beliebig geneigt werden kann. Das Papier kommt auf eine um etwa 18° bis 24° geneigte Fläche zu liegen, welche entweder seitlich oder nach vorn von dem Mikroskop aufgestellt werden kann. Diese Camera lässt bei voller Bildschärfe das ganze Sehfeld des Oculares übersehen, während die Bleistiftspitze vollkommen scharf erscheint, so dass auch feinere Einzelheiten selbst bei starken Vergrößerungen leicht nachgezeichnet werden können. Der Preis beträgt 21 Mark.

Abbe's Camera lucida (Fig. 446), welche in neuester Zeit von 325 Zeiss angefertigt wird, übertrifft die voranstehende noch darin, dass

Fig. 446.



bei deutlicher Sichtbarkeit des Zeichenstiftes und gleichmässiger Bildschärfe über das ganze Sehfeld des Oculares, auch beim Gebrauch der stärksten Objectivsysteme gar kein Lichtverlust im mikroskopischen Bild auftritt und auf horizontaler Fläche gezeichnet werden kann. Die Einrichtung ist folgende: Ein in der mittelst des Schraubchens (links) auf dem Oculardeckel aufzuklemmenden und durch zwei weitere Schraubchens zu centrirenden Fassung befestigter kleiner Glaswürfel *W* (Fig. 446) besteht aus zwei zusammengekitteten Prismen, deren eines eine versilberte Hypothenusenfläche mit in die Versilberung eingekratztem kreisrundem Loch besitzt, während der seitliche Arm in einer 70 mm betragenden Entfernung von der Mikroskopachse den drehbaren Spiegel *Sp* trägt. Die Fassung des Würfels *A* ist dabei so regulirt, dass das kleine Loch von selbst genau in die Ebene der Austrittspupille des Oculares Nr. 2 Zeiss' fällt, man also durch dasselbe das in keiner Weise gestörte mikroskopische Bild in voller Schärfe sieht, während die von dem Zeichenstift her reflectirten, durch eine vierseitige Oeffnung der Fassung auf den Würfel treffenden Strahlen in gleicher Richtung in das Auge (bei *O*) gelangen. Bei dem Gebrauche hat man nichts weiter zu thun, als den Spiegel so zu drehen, dass der Kreis des Sehfeldes dicht neben den Fuss des Mikroskopes projectirt wird. Trägt man noch Sorge für nahezu gleiche Beleuchtung von Sehfeld und Zeichenfläche, was durch zwei in neuester

Zeit zwischen Würfel und Spiegel angebrachte drehbare Rauchglasplättchen verschiedener Schattirung leicht bewerkstelligt werden kann, so lassen sich auch die feinsten Einzelheiten mit voller Genauigkeit nachzeichnen und ich kenne zur Zeit keinen Zeichenapparat, welcher dem genannten an Brauchbarkeit und Leichtigkeit der Behandlung gleich käme. Vielleicht könnte man in der Beschränkung auf ein bestimmtes Ocular einen Mangel finden; allein dieser Mangel wird durch die übrigen Eigenschaften und namentlich auch dadurch ausgeglichen, dass der Apparat bei jedesmaligem Gebrauche ohne jede weitere Berichtigung sofort vollkommen functionirt.

In neuerer Zeit sind mehrere Zeichenapparate construirt worden, welche den Zweck haben, ausgedehnte anatomische Objecte bei sehr schwachen Vergrösserungen oder in natürlicher Grösse zu zeichnen. Von diesen haben sich diejenigen von Winkel und Dr. Hartnack mehrfachen Beifall erworben und wollen wir dieselben hier kurz beschreiben.

326 Der grosse Winkel'sche Zeichenapparat (Fig. 447) trägt auf schwerem geschwärzten Eisenfuss eine im oberen Theile hohle Messing-

Fig. 447.

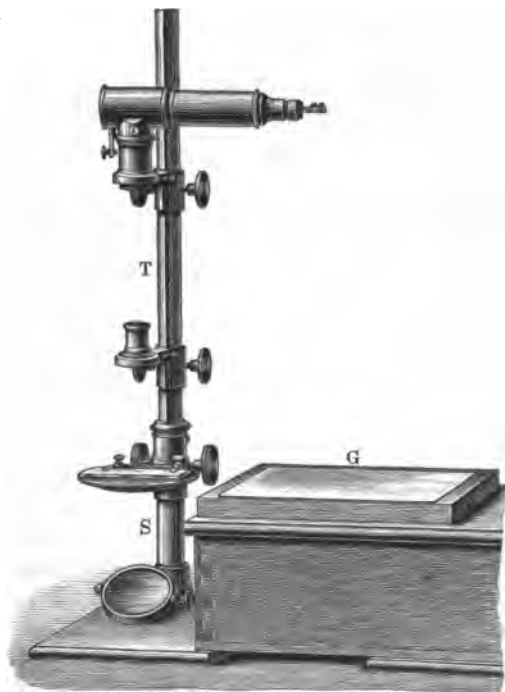


säule *A*, an welcher der ebene, auf der einen Seite eine weisse Emailplatte besitzende nach zwei Richtungen bewegliche Spiegel *S* und der Objecttisch *T* befestigt sind. Ein in dem Hohlraume der Säule senkrecht verschiebbarer, mittelst der hinten sichtbaren Schraube festzustellender

Messingstab trägt an seinem einen Querarme den Lupenhalter *L* mit dem darüber befindlichen kleinen rechtwinkligen, durch einen durchbohrten Ring geschützten Prisma *P*, während an dem zweiten eine Verlängerung aufgeschoben und dieser ein zweites Prisma angeschraubt werden kann, um Objecte in natürlicher Grösse zu zeichnen. Die beigegebenen sechs achromatischen Lupen mit grossem Sehfelde gewähren Vergrösserungen von je 3, 4, 5, 6, 9, 11,5 und 15. Die Zeichenfläche muss eine um 45° geneigte sein. Ich habe den Apparat, dessen Preis 70 Mark beträgt, mehrfach versucht und stellte mich derselbe durch seine Leistungen sowohl beim Gebrauche schwacher Vergrösserungen, als namentlich auch beim Zeichnen von grösseren Gegenständen in natürlicher Grösse vollkommen zufrieden.

Dr. Hartnack's grosser Zeichenapparat (Embryograph) besteht 327 im Wesentlichen aus einer Verbindung der Oberhäuser'schen Camera lucida mit in senkrechter Richtung beweglichem Objectivträger und beweglichem Objecttische. Auf dem (die verschiebbare Hälfte des Kastenbodens bildenden) Fussbrett ist die runde Metallsäule *S* (Fig. 448) auf-

Fig. 448.



geschraubt, welche nahe an ihrem Fuss den Spiegel und darüber an einer durch Zahn und Trieb verschiebbaren Hülse den in einem — für die schwächsten Vergrösserungen zur vollen Ausnutzung des Sehfeldes als Objecttisch zu verwendenden — Ring eingeschraubten Objecttisch trägt, dessen höchste Stellung durch einen die Aufwärtsbewegung der Hülse hemmenden Kranz der Säule *S* bestimmt wird. In der Säule ist mittelst einer Stellschraube die prismatische, in Millimeter getheilte Zahnstange *T* festgeklemmt, auf welcher durch Trieb der Objectiv- und Prismenträger auf- und ab-

wärts bewegt werden können. Als Zeichenfläche dient eine matte, in einem Holzrahmen eingelassene Glastafel, welche auf den 18 cm langen,

22,5 cm breiten und 9,5 cm hohen das auseinandergenommene Instrument aufnehmenden Kasten in passender Höhe angebracht ist.

Die — bei einem brauchbaren Sehfelde von 32 bis 3 mm — von 4 bis 70 reichenden Vergrößerungen werden durch zwei Objectivsysteme — ein schwächeres Nr. 0 und ein stärkeres Nr. 1 — und dem wechselnden Abstand zwischen Objectiv und Ocular der Camera lucida hervor gebracht, während die genaue Einstellung des Objectes mittelst des verschiebbaren Objecttisches vorgenommen werden muss.

Zweites Capitel.

Mechanische Nebenapparate.

I. Apparate zur mikroskopischen Grössenbestimmung.

1. Die Schraubenmikrometer.

328 Schraubenmikrometer fertigen von den deutschen Optikern, soweit mir bekannt, nur Plössl, Schieck, Merz, Zeiss, Schmidt und Haensch und Boecker, und zwar, wie natürlich, nur um einen verhältnissmässig hohen Preis.

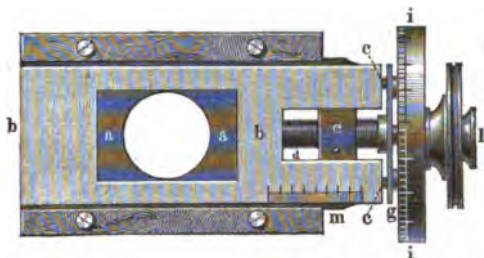
Da nun ein so hoher Grad der Genauigkeit bei der Messung, wie sie das Schraubenmikrometer liefern muss, wenn es von vollendeter Arbeit ist, nur für höchst seltene Fälle wirklich nothwendig erscheint und in der Regel die einfacheren und wohlfeileren, mit der nöthigen Vorsicht verwendet einen genügenden Grad von Genauigkeit gewährenden mikroskopischen Messapparate vollkommen ausreichen, so ist die Beigabe eines Schraubenmikrometers zu einem Mikroskope für die meisten Mikroskopiker mehr eine Sache des Luxus, als der Nothwendigkeit. Wer sich indessen häufiger mit den allerfeinsten mikroskopischen Grössenbestimmungen zu befassen hat, und wer etwa die in einem späteren Abschnitte geschilderten, eine bedeutende Genauigkeit gewährenden Messungsmethoden zu unbequem finden sollte, der wird das Schraubenmikrometer nicht entbehren und sich sonach der Ausgabe für dasselbe nicht entschlagen können.

329 Objecttischschraubenmikrometer. — Das Objecttischschraubenmikrometer (Fig. 449 I und II, Ansicht von oben und im Durchschnitt) in der Form wie es von Schieck und Plössl geliefert wird, besteht aus zwei Platten, einer auf den Objecttisch festzuschraubenden unteren, *aa*, mit einer runden Oeffnung, und einer den Objectträger aufnehmenden oberen, *bb*, mit einem rechteckigen Ausschnitte, welche sich zwischen den zu beiden Seiten der unteren Platte festgeschraubten

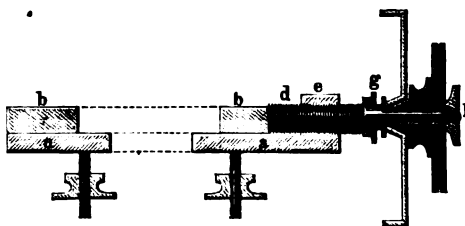
schwalbenschwanzförmigen Leisten bewegt. Die Verschiebung der an ihren Rändern schief abgeschnittenen oberen Platte geschieht mittelst der aufs Genaueste und Sorgfältigste geschnittenen Mikrometerschraube *d*,

Fig. 449.

I.



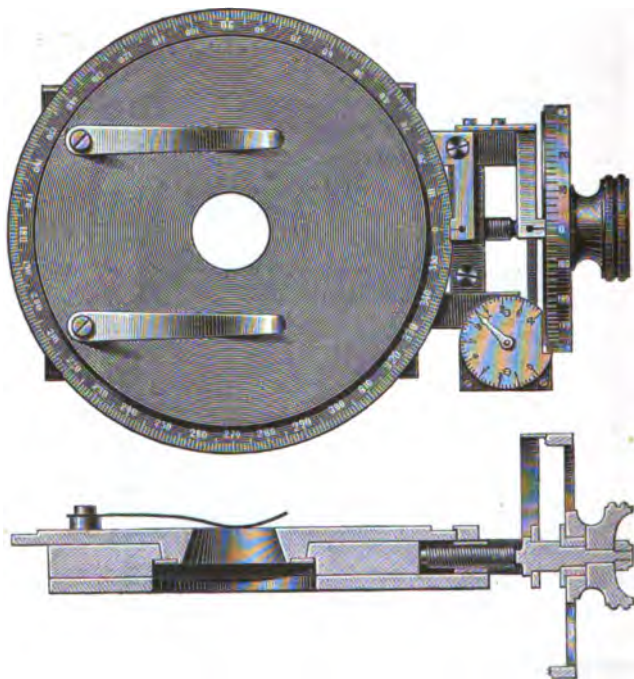
II.



welche in einer in das mit der unteren Platte festverbundene Querstück *e* eingeschnittenen Mutter geht. Beim Anziehen der Mikrometerschraube stemmt sich nämlich das Ende derselben gegen die obere Platte und schiebt dieselbe nach vorwärts, während sie beim Losdrehen der Schraube durch die an dieser befestigte, mit Spiralfedern versehene und durch zwei Schraubchen mit jener fest verbundene viereckige Platte *g* zurückgezogen wird. Die Trommel *i* ist in 100 Theile getheilt und mittelst eines Nonius können noch 10tel Bruchtheile abgelesen werden. Dieselbe ist nicht fest mit der Mikrometerschraube verbunden, sondern kann mittelst Rückwärtsdrehen des Schraubenknopfes *l*, dessen Mutter an die Mikrometerschraube greift, gelöst werden, so dass man im Stande ist, ihren Nullpunkt mit demjenigen der Theilung auf der Platte *m* in Uebereinstimmung zu bringen, auf welcher die ganzen Umdrehungen der Schraube abgelesen werden. Zieht man die Schraubenmutter *l* wieder an, so dreht sich die Trommel mit der Schraube und giebt Hunderttheile, und mit Beihilfe des Nonius Tausendtheile der Umdrehung an. Es ist nun leicht begreiflich, wie, wenn die Höhe eines Schraubenganges z. B. $\frac{1}{10}$ mm beträgt, mittelst der Trommel Tausendstel, und bei Anwendung des Nonius Zehntausendstel des Millimeters angegeben werden können.

Das zu 120 Mark berechnete Objectschraubenmikrometer von Zeiss (Fig. 450 I. und II., Aufsicht und Durchschnitt) von vorzüglicher Aus-

Fig. 450.



führung, sowie das demselben nachgebildete von Boecker (Preis 100 Mark) zeichnen sich durch eine auf denselben angebrachte Drehscheibe aus, welche zur genauen Einstellung auf die Ocularfaden dient, und besitzen ausserdem eine sinnreiche, durch Schraube ohne Ende vermittelte Registrirung der ganzen Schraubenumdrehungen, welche mittelst Zeigers auf der getheilten kleinen Scheibe (rechts unten in der Figur) abgelesen werden. Schmidt und Haensch verbinden das Schraubenmikrometer mit ihrem weiter unten näher zu besprechenden beweglichen Objecttisch.

Das Schraubenmikrometer hat in neuester Zeit durch den verstorbenen Nobert eine erhebliche — meines Wissens bis jetzt noch nicht nachgeahmte — Verbesserung erfahren, indem ihm derselbe eine solche Einrichtung gab, dass die Drehung der Schraube nicht mittelst der Hand, sondern mittelst eines eigenen Apparates bewirkt wird, der, mit Ausnahme des zur Drehung erforderlichen, allen anderen Druck ausschliesst.

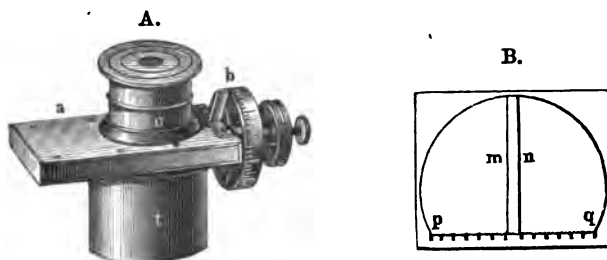
330 Ueber den Gebrauch und die Prüfung dieser Art des Schraubenmikrometers werden wir in einem späteren Capitäl ausführlicher zu reden haben. Hier sei nur noch bemerkt, dass, um mittelst desselben messen zu können, das Ocular mit einem über das Diaphragma ausgespannten feinen Faden

oder noch besser mit einem Fadenkreuz versehen sein muss, welche mit den Rändern des zu messenden Objectes in Berührung gebracht werden können. Die Optiker, welche Schraubenmikrometer liefern, versehen in der Regel eines ihrer Oculare mit einem solchen feinen Faden oder Fadenkreuz. Man kann sich denselben indessen auch nach der von Dr. Welcker (Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte etc. S. 31 u. f.) angegebenen Methode leicht selbst beschaffen. Zu dem Ende benetzt man die Stellen des Blendungsrandes, von welchen aus der Faden die Blendung durchziehen soll, mit einem Tröpfchen Canadabalsam, und führt dann den Knopf einer Stecknadel von diesem Punkte aus zu dem gegenüberliegenden Endpunkte des Durchmessers. Auf diese Weise erhält man einen vortrefflichen Faden, dessen Dicke man ganz in seiner Gewalt hat, und welcher an Gleichmässigkeit und Dauerhaftigkeit einem Spinnwebfaden nicht im mindesten nachsteht. Ich habe, theils zum Zwecke von Messungen, theils um bestimmte Stellen eines Objectes oder kleine Objecte für Andere leichter auffindbar zu machen, mehrere meiner Oculare mit solchen Fäden und Fadenkreuzen versehen, und kann die Trefflichkeit der Welcker'schen Methode somit aus Erfahrung bestätigen. Die Fäden gelingen so leicht und werden so vollendet schön, dass man sich dieselben nicht vollkommener wünschen kann.

Ocularschraubenmikrometer. Das Ocularschraubenmikrometer 331 steht, was die Genauigkeit betrifft, wie wir später sehen werden, noch über dem Objecttischschraubenmikrometer. Dieses Uebergewicht rührt vorzugsweise daher, dass man dazu dickere Schrauben mit weniger Windungen auf die gleiche Länge anwenden kann, welche sich mit weit grösserer Sicherheit und Genauigkeit herstellen lassen als jene feinen Schrauben, wie sie für das letztere erfordert werden. Ferner sind die Fehler, welche man etwa beim Einstellen begeht, weit geringer, weil sie nur das durch das Ocular vergrösserte Bild treffen, während dieselben bei dem Objectschraubenmikrometer in ihrer vollen Grösse hervortreten. Die Mängel, welche dem Ocularschraubenmikrometer in dieser Einrichtung dem vorher beschriebenen gegenüber anhaften, bestehen darin, dass die aus den theoretischen Betrachtungen bekannte ungleichartige Beschaffenheit des Ocularfeldes Messungsdifferenzen hervorbringt, und dass die ganze Einrichtung, wie sie gewöhnlich an dem oberen Theile des Mikroskoprohres angebracht wird, sofern das Stativ nicht ein sehr solide und stark gebautes ist, nicht den Grad der Stabilität besitzt, wie sie für feine Messungen erforderlich erscheint. Ausserdem hat es mit jedem Ocularmikrometer die Unbequemlichkeit gemein, dass seine Theilung nicht einen absoluten, sondern nur einen relativen Werth besitzt, der für jedes Objectivsystem und jede Rohrlänge erst genau bestimmt werden muss. Trägt man sich indessen die gefundenen Werthe ein- für allemal in ein Täfelchen ein, so ist man bei allen späteren Messungen dieser Mühe überhoben, und es bleibt nur noch eine unbedeutende Rechnung auszuführen, um das wirkliche mikrometrische Maass zu erhalten.

- 332 Das Ocularschraubenmikrometer in der älteren Form, wie sie in England noch gebräuchlich ist (Fig. 451 *A* und *B*), besteht aus einem

Fig. 451.



Ramsden'schen Ocular, in welchem zwei feine Fäden ausgespannt sind, von denen der eine, *m*, feststeht, der andere, *n*, aber quer über das Sehfeld bewegt werden kann. Beide sind in dem rechteckigen flachen Kästchen *a* eingeschlossen, und der eine Faden wird durch eine Mikrometerschraube hin und her bewegt, die, wie bei dem vorhergehenden Mikrometer, mit einer getheilten Trommel *b* versehen ist, um Bruchtheile der ganzen Umdrehungen ablesen zu können. Die ganzen Umdrehungen werden an einem Maassstabe *p q* abgelesen, der aus einem rechtwinklig auf den beiden Fäden stehenden Messingstreifen besteht und dessen Rand kleine, sägezahnartige Einschnitte enthält. Von diesen entspricht je einer einer vollen Umdrehung und ist zur leichteren Uebersicht immer der fünfte durch seine Tiefe besonders kenntlich gemacht.

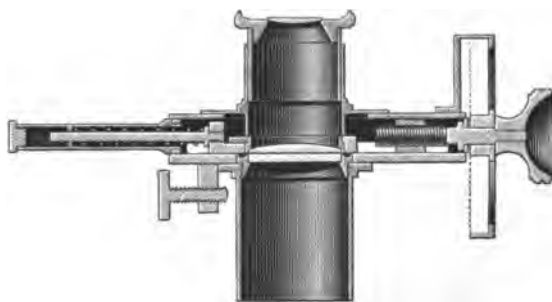
- 333 In neuerer Zeit (Max Schultze's Archiv für mikroskopische Anatomie, Heft I, Seite 79 u. f.) hat das Ocularschraubenmikrometer durch H. v. Mohl eine wesentliche Umgestaltung und Verbesserung erfahren, so dass es alle bisher bekannten Messinstrumente an Leistungsfähigkeit weit übertrifft, wenn es gilt, die Grösse ganz kleiner Objecte, die Entfernung feiner Streifen etc. zu bestimmen. Die ganze Einrichtung ist indessen so zusammengesetzt, und in Folge hiervon so theuer, dass sie wohl kaum eine weite Verbreitung finden wird, zumal ihre Verwendbarkeit in ziemlich enge Grenzen eingeschlossen ist. Das von v. Mohl benutzte Ocularschraubenmikrometer besteht im Wesentlichen aus einem Fraunhofer'schen Schraubenmikrometer, dessen Schraube Umgänge von etwa $\frac{1}{4}$ '' Höhe besitzt und welches an einem besonders hierfür gebauten Stativ angebracht ist. Letzteres wird von einer $1\frac{1}{2}$ Zoll dicken, nach oben schwach verjüngten Säule gebildet, welche am oberen Ende eine horizontal abstehende, 3 Linien dicke, in der Mitte mit einer Oeffnung versehene Platte trägt. In dieser Oeffnung ist von unten her die Mikroskopröhre unbeweglich eingeschraubt und über derselben das Schraubenmikrometer angebracht. Auf letzterem befindet sich das durch dasselbe zu bewegendes Ocular in eine kurze Röhre eingesteckt, welche von einem beweglichen Schieber getragen wird, der mittelst einer steil-

ansteigenden Schraube zwischen zwei schwalbenschwanzförmigen Leisten parallel mit der Mikrometerschraube über die bewegliche Platte des Mikrometers hingeführt werden kann. Das Ocular ist sonach in doppelter Weise über dem Mikroskop verschiebbar, einmal mittelst der beweglichen oberen Platte des Mikrometers, wodurch dasselbe zur Grössenbestimmung über das von dem Objectivsystem entworfene Bild hingeführt wird, und dann mittelst des erstgenannten sogenannten Ocularschiebers, wodurch dasselbe mittelst geeignet an Schieber und Leisten angebrachter Marken leicht in die Achse des Mikroskopes gebracht werden kann. Mittelst dieser Einrichtung bezweckte H. v. Mohl die Beobachtung stets in der Achse des Oculares ausführen zu können und diejenigen Differenzen auszuschliessen, welche auf der vorhergehenden Seite berührt worden sind. Objecttisch und Beleuchtungsapparat sind von dem Mikroskoprohr gesondert an einer Messingstange befestigt, welche mittelst zweier kurzen Arme an der das Rohr tragenden Säule parallel zu deren Achse festgeschraubt wird. Die Einstellung muss bei dieser Einrichtung natürlich durch Bewegung des Objectes gegen das Objectivsystem bewirkt werden und befindet sich die durch einen Trieb vermittelte grobe an der Stange, während die feine an dem Objecttische angebracht ist.

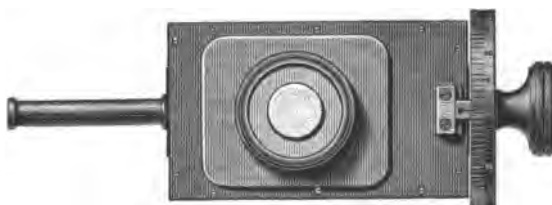
Das Zeiss'sche Ocularschraubenmikrometer (Fig. 452 I., II., 334 Aufsicht und Durchschnitt) kann mit den grösseren Stativen recht wohl

Fig. 452.

I.



II.

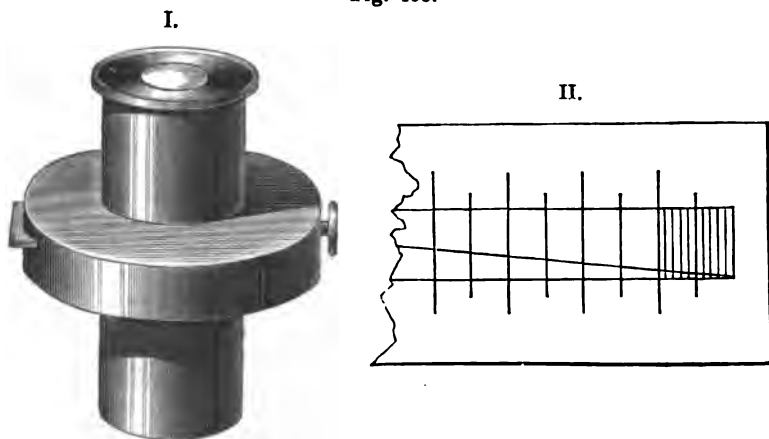


ohne merkbare Unsicherheit der Messung verwendet werden und bietet in der Art seiner Construction volle Gewähr für hohe Genauigkeit. Bei

demselben ist das Mohl'sche Princip der Verschiebung über dem Luftbild und der Skala in Anwendung gebracht und zugleich die hierdurch bewirkte optische Excentricität ausgeschlossen. Das Ramsden'sche Ocular wird als Ganzes von der Schraube über das Bild fortgeführt und trägt das Kreuz sowie den über die Scala gleitenden Indexstrich auf der unteren ebenen Fläche der Vorderlinse eingravirt. Diese gleitet nun in einer Entfernung von etwa 0,1 mm über die nach oben gekehrte ebene Fläche einer zweiten Linse, welche in dem festen Gehäuse sitzt und die bezifferte Scala mit verlängertem Mittel-(Null-)Strich auf der genannten Fläche eingravirt enthält, so dass Kreuz und Scala sich fast in der gleichen Ebene befinden. Diese Linse hat eine Brennweite von ungefähr 17 mm, so dass ihr unterer Brennpunkt bei der üblichen Tubuslänge annähernd in die Oeffnung des Objectives im Tubus fällt und die Hauptstrahlen der nach den verschiedenen Bildpunkten zielenden Strahlenbündel vor dem beweglichen Ocular parallel gemacht werden, wie wenn der Divergenzmittelpunkt derselben — die Objectivöffnung — in unendlicher Entfernung läge (telecentrischer Strahlengang). In Folge dessen verhält sich während der Beobachtung bei jeder Stellung des Oculares der jeweilig beobachtete — anvisirte — Punkt des Sehfeldes gerade so, wie bei der gewöhnlichen Einrichtung die Mitte des Sehfeldes, das heisst alle Strahlenkegel sind dem axialen Strahlenkegel gleichartig und die Verschiebung des Oculares bringt keine Excentricität in optischer Beziehung hervor. Der Preis dieses Mikrometers beträgt 60 Mark.

335 **Oberhäuser's Ocularmikrometer** (Fig. 453 I. und II.). — Dieses Mikrometer besteht im Wesentlichen aus einem in die Blendung des Oculares eingelegten beweglichen Glasmikrometer. Die Mikrometerscala

Fig. 453.



(Fig. 453 II.) bildet ein Rechteck von 1 mm Breite und 10 mm Länge, und enthält 100 Intervalle, welche von der Diagonale des Rechteckes so durch-

schnitten werden, dass direct $\frac{1}{100}$ des Millimeters angegeben sind. Da die Scala nun durch die Ocularlinse genau 10 mal vergrößert wird, kann man bei einer 100 maligen Vergrößerung Zehntausendtheile des Millimeters ablesen. Die Scala selbst ist in einen Messingstreifen gekittet, der mittelst einer Schraube vor- und rückwärts geschoben werden kann. Es ist somit möglich, die Theilung auf eine gewisse Strecke quer durch das Sehfeld zu führen, und da sich zugleich der ganze Apparat im Mikroskoprohre leicht drehen lässt, so kann man das Mikrometer bequem in die zur Messung nothwendige Stellung gegen das Object bringen, ohne dass man dieses zu berühren braucht. Damit die Theilung der Scala mit vollkommener Schärfe gesehen wird, ist die Ocularlinse zur genauen Einstellung in eine über dem eigentlichen Ocularrohre senkrecht verschiebbare geschlitzte Hülse gefasst, deren Bewegung durch einen Stift begrenzt wird. Das Mikrometer leistet für alle Fälle, wo man entweder isolirte kleine Gegenstände, oder sehr zarte, durchsichtige Objecte der Messung zu unterwerfen hat, sehr gute Dienste und steht dem Objectischraubenmikrometer an Genauigkeit der Resultate kaum nach. Dabei ist es um mehr als die Hälfte billiger als jenes, denn man erhält dasselbe von E. Hartnack um 40 Mark (50 Franken). Der Werth der mikrometrischen Theilung muss, wie bei jedem Ocularmikrometer, so auch hier für die verschiedenen Objectivsysteme bestimmt und zu späterem Gebrauche in eine Tafel eingetragen werden.

Der Nachtheil, welcher dieser wie jeder ins Ocular eingelegten Mikrometertheilung anhaftet, besteht darin, dass man bei minder durchsichtigen Objecten, oder wo mancherlei Gegenstände durch- und übereinander liegen, nur noch schwer im Stande ist, die Theilstriche mit der gehörigen Sicherheit zu unterscheiden.

2. G l a s m i k r o m e t e r.

Von Glasmikrometern giebt es zwei Arten, indem dieselben eingerichtet sind, um entweder als Object zu dienen, oder um in das Ocular eingelegt zu werden.

Objectmikrometer. Das Objectglasmikrometer dient im Allgemeinen mehr dazu, um die Vergrößerungszahlen der Mikroskope und den wahren Werth der Theilung der Ocularmikrometer zu bestimmen, als um auf directem Wege die wirkliche Grösse eines Gegenstandes zu ermitteln. Es ist vor allen Dingen nothwendig, dass dessen Theilung auf die allersorgfältigste Weise ausgeführt ist, und hat man sich vor seiner Anwendung jedenfalls hiervon zu überzeugen, und etwaige Fehler kennen zu lernen, um dieselben bei nachfolgendem Gebrauch durch angebrachte Correction eliminiren zu können. Was die Theilung selbst betrifft, so ist, da das metrische Maass nun doch einmal und zwar mit Recht vollen Eingang bei wissenschaftlichen Zahlenangaben gefunden hat, im Allgemeinen als

am passendsten das Millimeter als Einheit zu wählen. In der Regel wird es vollständig genügen, wenn das letztere in 100 Theile getheilt ist, indem noch feinere Theilungen von z. B. $\frac{1}{400}$ mm kaum von Nutzen sein dürften. Bei der Ausführung der Scala ist vor allen Dingen darauf zu sehen, dass die einzelnen Diamantstriche möglichst rein ausfallen und eine Dicke von etwa $\frac{1}{1500}$ mm nicht übersteigen, da dieselben sonst bei stärkeren Vergrösserungen nicht mehr als Linien gesehen werden, was für genaue Messung doch unbedingt nothwendig ist. Um bei der Zählung für das Auge die erforderlichen Anhaltspunkte zu gewinnen, und um Verwirrungen vorzubeugen, müssen je 10 und je 5 Theile durch einen längeren Strich ausgezeichnet werden, wie dies bei den gewöhnlichen Maassstäben im Gebrauch ist (Fig. 454, 0,4 mm 100mal vergrössert).

Fig. 454.



In der Regel führen die Optiker ihre Objectglasmikrometer, welche zu 9 bis 12 Mark berechnet werden, auf runden Plättchen aus, geben denselben zum Schutze gegen Zerbrechen eine Messingfassung und bewahren sie mittelst eines Deckplättchens vor Schmutz. Es genügt jedoch, wenn die Theilung auf einem dünnen Deckglase

ausgeführt und dieses — die Theilung nach unten, auf einer rechteckigen, reinen, vollkommen ebenen Glasplatte von etwa 20 mm Breite, 40 bis 50 mm Länge und 2 bis 3 mm Dicke aufgekittet wird, indem dieselbe dann hinreichend vor dem Zerbrechen gesichert ist.

- 337 **Ocularmikrometer.** Das Ocularglasmikrometer bedarf natürlich einer weit weniger feinen Theilung, als das Objectmikrometer, und es genügt vollkommen, wenn 6 mm in 60, oder 10 mm in 100 Theile getheilt werden. Feinere Theilungen sind nicht allein überflüssig, sondern eher unbequem. Die einzelnen Striche müssen, damit sie mit Bestimmtheit und in der nöthigen Schärfe über dem Bilde des Gegenstandes gesehen werden können, weit stärker sein als bei dem Objectmikrometer, da sie nur 5 bis 20 mal vergrössert werden. Die Breite derselben darf aber auch wieder nicht ein gewisses Maass überschreiten, weil dadurch die Einstellung auf den Rand des Objectes erschwert und die Messung ungenau wird. Die Grenzen der Strichbreite werden etwa zwischen $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{300}$ mm liegen müssen. Die Glasplatte muss hier kreisförmig sein und sollte die Dicke von 2 mm nicht überschreiten, dagegen auch nicht unter 1 mm herabgehen. Genauigkeit der Theilung, die aber hier weit leichter zu erreichen ist, wie bei der vorigen Mikrometerart, bleibt unbedingtes Erforderniss, ebenso die Reinheit und Gleichmässigkeit der Theilstriche. In Bezug auf die Lage des Mikrometers im Ocular ist noch hervorzuheben, dass die Theilung stets dem Objecte zugewendet sein muss, um die doppelte Reflexion an der hinteren Fläche und damit die Verdoppelung der Theilstriche zu vermeiden.

Die Verbindung mit dem Oculare kann in verschiedener Weise aus-

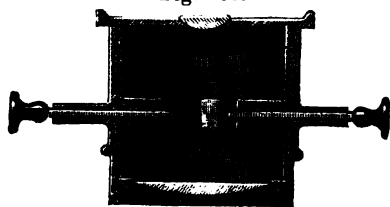
geführt werden. In mancher Beziehung bieten lose Mikrometer, welche einfach in das Ocular eingelegt werden, manche Annehmlichkeiten. Erstlich lassen sich dieselben leicht reinigen und dann bleibt man nicht auf ein einzelnes — gewöhnlich schwaches — Ocular beschränkt, sondern kann auch — was z. B. bei Zählungen u. dergl. recht bequem ist — zu stärkeren Ocularen greifen. Fest mit dem Oculare verbundene Mikrometer sollten stets durch Verschraubung der Fassung zur Reinigung freigelegt werden können. Die neueren „Mikrometerocular“, deren Preis zwischen 12 bis 15 Mark schwankt, werden meist in dieser Weise gefasst und die Ocularlinse ausserdem auf eine in der Ocularhülse verschiebbare Röhre aufgeschraubt, um die Theilung für verschiedene Augen genau einstellen zu können. Eine weitere zweckmässige Einrichtung dieses Apparates besteht darin, dass das Mikrometer selbst mittelst einer Schraube horizontal verschiebbar ist, um einen bestimmten Theilstrich mit dem Anfangspunkte der Messung im Bilde genau zusammenfallen lassen zu können.

Die Aufbewahrung von losen Mikrometerplättchen, welche man um den Preis von 4 bis 6 Mark erhält, in einem passenden, inwendig mit Sammet ausgekleidetem Etui schützt ausreichend vor grober Beschmutzung. Sollte sich aber trotzdem eine störende Bestäubung etc. einstellen, so lässt sich die Reinigung, wie ich mich überzeugt habe, auf ganz vorzügliche Weise durch die von Place (Ueber die Prüfung der Glasmikrometer etc. Berlin 1860) empfohlene Manipulation ausführen. Man übergiesst nämlich die Glasplatte oder vielmehr die Scala mit einigen Tropfen Collodium, bis diese Flüssigkeit etwa 1 mm hoch steht. Sobald sich dann der Aether vollkommen verflüchtigt hat, was nach 10 bis 15 Minuten der Fall ist, und die Collodiumdecke zu einem papierdünnen Häutchen znsammengetrocknet erscheint, lässt sich dieselbe leicht am Rande mittelst eines feinen Messerchens loslösen und springt hierauf von selbst ab, oder kann mittelst der Pincette abgezogen werden. Die Theilung tritt nach dieser Operation mit wundervoller Klarheit hervor und erleidet auch durch öftere Reinigung nicht den mindesten Schaden, was allerdings bei anderen Reinigungsmethoden mittelst Reibens etc. der Fall ist.

3. Das Spitzenocular.

Das **Spitzenocular** (Fig. 455), dessen Preis etwa 15 bis 20 Mark 338 beträgt, kann, wie wir später sehen werden, unter Umständen recht

Fig. 455.



gute Dienste für die mikroskopische Messung leisten, bietet sich aber namentlich als ein vorzügliches Hilfsmittel bei Zählungen von Streifen, Punkten, Fasern u. dergl. dar. Dasselbe besteht aus einem einfachen Ocular, in welches genau diametral

von den entgegengesetzten Seiten her zwei Schrauben hineinragen, die in feinen Spitzen endigen, und mittelst Umdrehung der links und rechts befindlichen Schraubenknöpfe einander genähert oder von einander entfernt werden können. Zur Ausführung von Messungen und Zählungen hat man neben dem Spitzenocular ausserdem ein Objectglasmikrometer nöthig. Die Messungen selbst sind dann für die meisten Fälle, in denen sie mittelst dieses Apparates überhaupt vorgenommen werden dürfen, sehr bequem auszuführen und besitzen hinreichende Genauigkeit. Die Fehler, welche durch die Beugung der Lichtstrahlen an den feinen Spitzen verursacht werden, sind meiner Ansicht nach kaum von irgend einem Einflusse, jedenfalls aber nicht von der Bedeutung, die man ihnen von manchen Seiten zugeschrieben hat.

4. Das „teleskopische“ Objectivsystem.

- 339 Um die Fehlerquellen bei der mikroskopischen Messung zu beseitigen, welche bei Objectivsystemen mit endlicher Brennweite aus wechselnder Lage der Objectebene und der Messungsebene hervorgehen, hat Professor Abbe die Verwendung von eigenartig construirten, dem Typus des astronomischen Fernrohrs entsprechenden Objectivsystemen empfohlen, welche er als „teleskopische“ bezeichnet. Dieselben sind aus zwei getrennten Linsen oder Linsensystemen (im letzteren Fall ist das System ein viergliedriges) zusammengesetzt, deren einander zugekehrten Brennpunkte zusammenfallen. Auf diese Weise wird der Seite 69 betrachtete telecentrische Strahlengang sowohl nach der Objectseite, als nach der Bildseite hin herbeigeführt und das Objectiv erhält unendlich grosse Brennweite und unendlich entfernte Brennpunkte, so dass die in das Objectivsystem von den einzelnen Objectpunkten aus eintretenden Hauptstrahlen und die nach den zugeordneten Bildpunkten hin austretenden Hauptstrahlen der Achse parallel verlaufen und alle Objecte in einer beliebig zu bestimmenden aber constanten Vergrösserung abgebildet werden und letztere sowohl von dem Objectabstande, wie von dem Bildabstande — also auch von der Rohrlänge — unabhängig bleibt. Derartige Objectivsysteme, welche einen bedeutend grösseren Spielraum in der zulässigen Bildvergrösserung und den mikrometrisch zu bestimmenden Ausmassen gestatten, als diejenigen nach dem üblichen Typus, sind vorerst in der Zeiss'schen Werkstätte nur probeweise ausgeführt worden, verdienen aber für Messungszwecke eine weitere Verbreitung.

5. Das Goniometer.

- 340 Das Goniometer findet nur eine beschränkte Anwendung bei den histologischen und physiologisch chemischen Untersuchungen, um die Winkel mikroskopischer Krystalle zu messen. Selbst hier kann es aber in der Regel entbehrt werden, wenn man sich auf andere Weise über

die betreffende chemische Verbindung die nothwendigen Aufschlüsse zu verschaffen im Stande ist. Ausserdem wird man bei der mikroskopischen Winkelmessung in den meisten Fällen nur selten zu einer solchen Sicherheit gelangen können, wie dies bei anderen derartigen Messungen der Fall ist, indem es nicht möglich ist, polyedrische Krystalle mit ihren geneigten Flächen immer in diejenige Lage zu bringen, die zur sicheren Winkelbestimmung erfordert wird. Dies wird nun bei dünnen und ebenen Plättchen und für eine Lage derselben gelingen, und daher auch nur bei solchen mit genügender Sicherheit der betreffende Winkel bestimmt werden können. Aus diesen Gründen werde ich mich hier denn auch nicht auf die mancherlei Abänderungen, die man an dem Instrumente vorgenommen hat, einlassen, sondern auf die Beschreibung des einfacheren Schmidt'schen (Carl Schmidt, Untersuchungsmethoden der Excrete und Säfte, 1846, Seite 19), wie des Leeson'schen und des Zeiss'schen Goniometers beschränken, das mir für unsere Zwecke ausreichend erscheint.

Schmidt's Goniometer (Fig. 456). Die Kreisscheibe *A*, deren Umfang in 360° getheilt ist, von denen jeder wieder eine Dritteltheilung

Fig. 456.



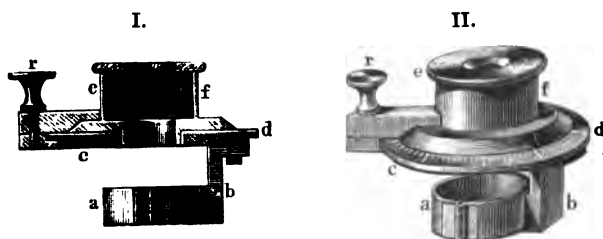
besitzt, steht entweder mit dem Mikroskoprohre in fester Verbindung, oder kann an demselben durch den Ring *B* in passender Entfernung von dem oberen Rande des Oculares *C* festgestellt werden. An dem Ocular, das zu diesem Zwecke mit einem genau centrirten Fadenkreuze versehen sein muss, befindet sich der Nonius *E*, über welchem zur bequemeren und genaueren Ablesung eine planconvexe Linse *F*

angebracht ist. Rückt man nun den zu messenden Krystallwinkel mit der betreffenden Ecke in den Schnittpunkt des Fadenkreuzes, bringt den einen der Fäden in genaue Uebereinstimmung mit dessen einer Kante, und dreht dann das Ocular so weit, bis derselbe Faden mit der zweiten Kante genau zusammenfällt, so giebt die Differenz der in beiden Stellungen gemachten Ablesungen die Grösse des durchlaufenen Winkels an, der dem Krystallwinkel entspricht. Nach Schmidt's eigener Angabe soll der mögliche Fehler, wenn das Goniometer genau gearbeitet ist, nicht viel über 20 Sekunden hinausgehen.

Leeson's Goniometer (Fig. 457 I. und II. a. f. S.) gründet sich auf die doppelte Brechung in Kalkspath oder Quarz und gestattet auch bei sehr kleinen mikroskopischen Krystallen die Winkel noch mit grosser Genauigkeit zu messen. Der Apparat wird mittelst des durch eine Schraube zu öffnenden und zu schliessenden Ringes *ab* auf den Tubus des Mikroskopes unverrückbar aufgeklemmt. Ueber diesem Ringe ist die in ganze Grade getheilte Kreisscheibe *cd* befestigt, in welchem sich die mit einer abge- schrägten Platte fest verbundene Hülse *ef* concentrisch drehen lässt. Diese

selbst (welche in der von mir benutzten Boecker'schen Form auch zur Aufnahme des Analysators für den Polarisationsapparat dient) erhält das

Fig. 457.



durch einen in entsprechendem seitlichem Schlitz einfallenden Zapfen fixirte, schwach doppelt brechende achromatische Quarzprisma eingesetzt, durch welches die Bilder des zu messenden Winkels nur theilweise von einander getrennt werden. Ein in der schrägen Fläche der drehbaren Platte eingravirter Indexstrich dient zur Ablesung der Drehung, wobei noch Bruchtheile des Grades ziemlich sicher geschätzt werden können.

- 343 Das Goniometerocular von Dr. Zeiss besteht aus einem Theilkreise, welcher mittelst dreier Schraubchen auf dem Mikroskoprohre festgeklemmt und centrirt werden kann, und einem in dessen Hülse sich drehenden Ocular mit Glasplatte, die ein System mittelst der verschiebbaren Augenlinse einzustellendes System paralleler Linien eingravirt hat. Zur Messung eines Winkels hat man zunächst das Liniensystem parallel zu dem einen seiner Schenkel zu stellen, mittelst des an dem Ocular befindlichen Zeigers die entsprechende Gradzahl abzulesen, dann weiter zu drehen, bis das Liniensystem zum zweiten Schenkel parallel wird, und die zweite Ablesung vorzunehmen. Der Unterschied der beiden Ablesungen giebt nun die Drehungsgrösse in Graden und damit die Grösse des Winkels an. Da das Liniensystem die Parallelstellung mit den betreffenden Krystallkanten leicht und sicher auszuführen gestattet, so fällt die Messung mittelst dieses einfachen und verhältnissmässig billigen (der Preis beträgt 30 Mark und der Theilkreis kann ausserdem auch für den Analysator des Polarisationsapparates verwendet werden) Apparates für die meisten Zwecke hinreichend genau aus.

6. Der bewegliche Objecttisch.

- 344 Der bewegliche Objecttisch, welcher sich vorzugsweise zur genauen Einstellung für bestimmte Messungsmethoden, bei Zählungen etc. als zweckdienlich erweist, jedoch auch in manchen anderen Fällen, z. B. bei Durchsuchung aus Einzelindividuen bestehender oder sehr ausgebreiteter Präparate eine nicht zu gering anzuschlagende Bequemlichkeit

besitzt, wurde schon frühzeitig und zwar im vorigen Jahrhundert angewendet. Manche Instrumente von Fraunhofer und Amici besitzen gleichfalls einen nach zwei rechtwinklig aufeinanderstehenden Richtungen beweglichen Objecttisch, Oberhäuser fügte seinen grösseren Instrumenten auf Wunsch einen solchen zu, während N a c h e t seine grossen Instrumente schon vor langen Jahren mit dem „Tyrell'schen Schlitten“ versah und in England und Amerika die gedachte Bewegung keinem grösseren und mittleren Instrumente fehlte.

In Deutschland hat der Apparat, da er in der That für die grössere Anzahl wissenschaftlicher Arbeiten entbehrlich ist und eine nicht gerade wohlfeile Zugabe bildet, bis zur neueren Zeit und mit Ausnahme des älteren grösseren Schieck'schen Statives wenig Eingang gefunden. Erst in den letzteren Jahren wird derselbe in verschiedenen nach Belieben mit dem Stative zu verbindenden Formen von einigen optischen Werkstätten ausgeführt und zu Preisen von 50 bis über 100 Mark berechnet.

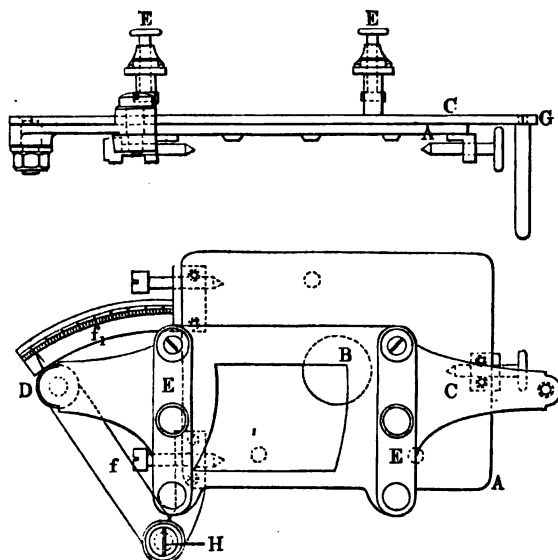
Der bewegliche Objecttisch in der Form, wie er früher von einigen deutschen optischen Werkstätten geliefert wurde, war im Wesentlichen dem von Harting (Mikroskop Bd. 3, Seite 358) ausführlich beschriebenen Oberhäuser'schen nachgebildet. Da diese Vorrichtung aber eine ziemliche Höhe der Messingtrommel, etwa 15 bis 20 mm, bedingt, so lässt sich die Beleuchtung der Objecte nicht in der gewünschten Weise reguliren und sind namentlich stärkere Vergrösserungen nicht gut verwendbar. Aus diesem Grunde haben sich unsere Optiker in neuester Zeit bei der Construction mehr den in England und Amerika üblichen „dünnen“ Tischen zum Muster genommen. Es sind mir indessen nur wenige bewegliche Objecttische deutscher Werkstätten bekannt geworden, welche auch höheren Anforderungen genügen und zur Verwendung bei wissenschaftlichen Arbeiten geeignet erscheinen, während mehrere zu anderen Zwecken (Fleischbeschauen u. dgl.) passende Formen sich im Verkehre befinden.

Der bewegliche Objecttisch von Schmidt und Haensch ist 345 unter Benutzung einer Idee von H. Goltzsch construirt und wird in zwei verschiedenen mittelst einer federnden Vorrichtung auf den Mikroskoptisch aufsetzbaren Formen geliefert, welche nach Dr. E. Kayser vermöge ihrer geringen Dicke genügende Ausnutzung der optischen Leistungsfähigkeit des Mikroskopes — auch bei stärkeren Vergrösserungen — gestatten und absolute Gewähr dafür bieten, dass kein Theil des zu beobachtenden Objectes übersehen werden kann, während sie zugleich — wie die sogenannten Moltwoodfinder — zum bequemen Wiederfinden bestimmter Stellen des Präparates dienen.

Der einfachere Tisch (Fig. 458 a. f. S.) besteht aus der feststehenden Platte *A*, welche mit einer über die Objecttischöffnung zu stehen kommenden kreisförmigen Durchbohrung *B* und der beweglichen in *D* drehbaren, zwei Federklammern *E*, *E* tragenden Platte *C*, welche eine

vierseitige grössere Oeffnung besitzt. Mit der festen Tischplatte ist der Kreisausschnitt $f_1 f' H$ verbunden, welcher bei f' eine Theilung hat und

Fig. 458.



dessen bei D durch eine Charnierscheibe mit der beweglichen Platte C verbundene Zeiger sich um H dreht. Mittelst der um D ausführbaren Hebelbewegung kann nun das Präparat seiner ganzen Breite nach unter dem Objectivsystem hinweggeführt werden, während die Bewegung der Länge nach durch allmälige Verschiebung des Zeigers f auf der Scala f' vermittelt wird. Es ist nun leicht einzusehen, wie durch die Verbindung beider Bewegungen jeder Punkt des zu beobachtenden Objectes einmal in das Sehfeld kommen muss und eine systematisch genaue Ablesung erfolgen kann.

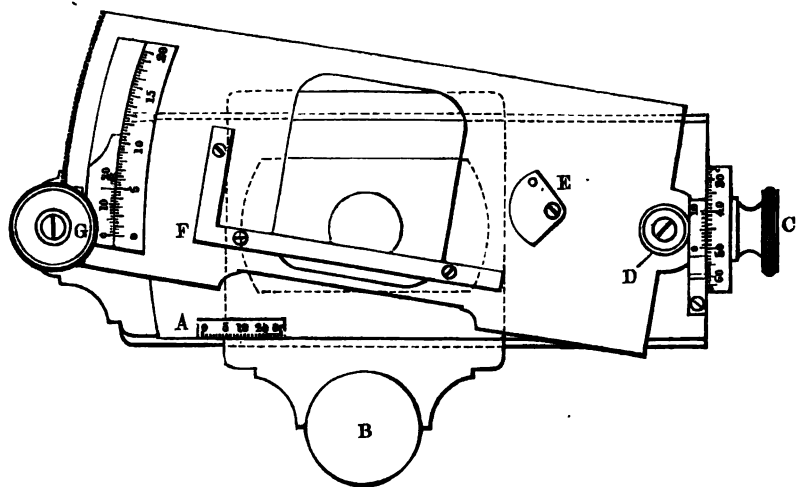
Um die Vorrichtung als Moltwood'schen Finder zu benutzen, braucht man sich nur die betreffende Zeigerstellung zu notiren, das Object dann bei späterem Aufsuchen der gewünschten Stelle in seiner durch die Federklammern fixirten Lage unter das Mikroskop zu bringen, den Zeiger f auf die notirte Ziffer zu stellen und mittelst Drehung um D das erstere der Breite nach durch das Sehfeld zu führen.

Der zusammengesetzte Tisch, Fig. 459, welcher auch als Schraubenmikrometer verwendet werden kann, besteht im Wesentlichen ebenfalls aus der Platte A und einer zweiten über dieser beweglichen Platte. Erstere wird mittelst Schwalbenschwanzes im Mikroskoptisch B durch die mit Trommel versehene Mikrometerschraube C , in dessen Längsachse in der Art verschoben, dass jeder ganze Schraubenumgang (0,25 mm) an der Scala bei A , jeder Bruchtheil der Umdrehung aber an der in 100 Theile

getheilten, mittelst eines Nonius noch Zehntel dieser Theilung angeben-
den Trommel abgelesen wird.

Die bewegliche Platte besitzt zur Feststellung des Präparates die
excentrische Scheibe *E* und den Anschlag *F* und wird mittelst des Trie-

Fig. 459.



bes bei *G* um die Charnierschraube *D* gedreht, wobei an der ein kleines
Ringstück bildenden Scala mit Hilfe eines Nonius noch eine Bogenminute
unmittelbar abgelesen werden kann. Wie die wünschenswerthen Bewe-
gungen mittelst dieses Apparates sich ausführen lassen, bedarf wohl eben-
sowenig einer weiteren Erörterung, wie dessen Verwendung als Finder.
Da bei diesem Tische auch der dem einfachen Tisch noch anhaftende
Mangel, dass die Drehung um *D* dort eine etwas excentrische ist, be-
seitigt erscheint, so gewährt derselbe wohl einen der vollkommensten
beweglichen Objecttische der neueren Zeit.

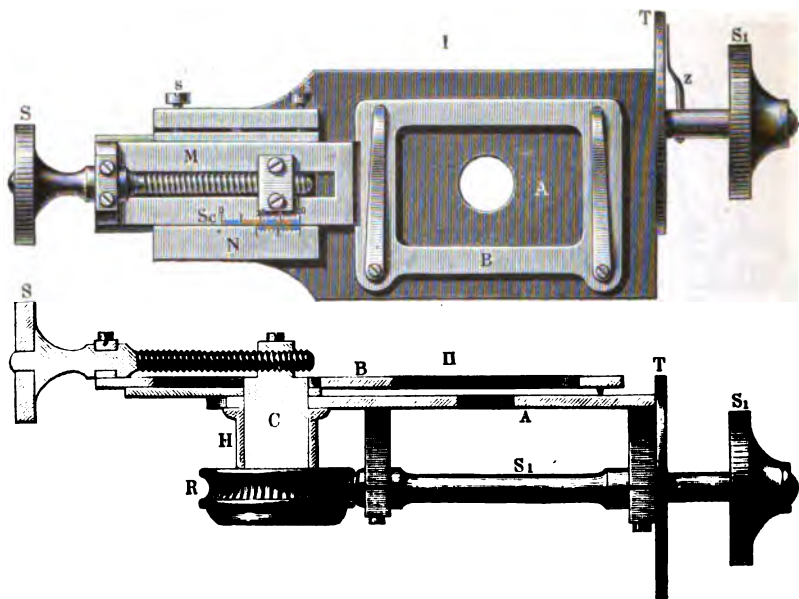
Der Preis ist mir nicht bekannt gegeben worden, soll aber, nach
Dr. E. Kaiser, ein verhältnissmässig billiger sein.

C. Boecker's beweglicher Objecttisch [Fig. 460 I. u. II. (a. f. S.), 346
Aufsicht und Durchschnitt-Seitenansicht], welcher bei mässiger Dicke
eine verhältnissmässig einfache, aber sinnreiche Einrichtung besitzt, ge-
nügt vermöge der Sicherheit und Stetigkeit seiner beiden Bewegungen
den Eingangs erwähnten Zwecken vollständig, leistet bei Durchsuehung
eines beliebigen Präparates die gleiche Gewähr wie der vorhergehende
und kann ebenso als „Finder“ dienen.

Derselbe besteht aus der festen unteren, mit einer der Oeffnung des
Objecttisches entsprechenden kreisförmigen Oeffnung versehenen, mittelst
Klemmschrauben an dem letzteren festzuschraubenden Platte *A* und der
oberen, eine vierseitige 40 mm lange, 30 mm breite Oeffnung besitzen-

den, beweglichen Platte *B*, welche sowohl in der Längs- als in der Querachse des Objectfeldes verschoben werden kann. Erstere Bewe-

Fig. 460.



gung wird durch die Schraube *S* bewirkt, welche den an mittlerem rechteckigem Führungstück und in schwalbenschwanzförmigen Coulissen laufenden, mit der Platte *B* aus einem Stück bestehenden Schlitten *M* verschiebt, dessen stetige Bewegung durch eine mittelst der Stellschraubchen *s s* bewegliche schmale Leiste (oben) gesichert wird, die dazu dient, um die Reibung verstärken oder vermindern zu können. Die Querbewegung, bei welcher die Reibung zwischen den beiden Platten dadurch vermindert ist, dass die obere auf zwei ihr eingesenkten Reibungsrollchen läuft, geschieht mittelst der Schraube *S₁*, welche an dem 25 mm Durchmesser besitzenden, in die scheibenförmige Erweiterung eines mit der Platte *B* fest verbundenen, in der an der Platte *A* befestigten Hülse *H* sich drehenden Messingcylinders *C* eingeschnittenen Zahnrad *R* angreift und letzteren sammt der oberen Platte dreht. Da nun der Hebelarm von dem Drehpunkte bis zur Mitte der optischen Achse im Verhältniss zu dem Durchmesser des Objectfeldes sehr gross und somit der von ihm beschriebene kleine Bogen sehr flach ist, so wird die Bewegung quer über das Sehfeld nicht als kreisförmige empfunden, sondern erscheint als geradlinig. Zur Feststellung des einmal inne gehaltenen Ortes eines später wieder aufzufindenden Präparatentheiles dienen folgende Vorrichtungen. Erstlich befindet sich auf dem Schlitten eine Millimetertheilung *Sc*, auf der ent-

sprechenden Schlittenschiene ein Nonius N zur Ablesung der Längsverschiebung, dann ist mit der Schraube S_1 ein Zeiger z verbunden, welcher über die feststehende in Grade getheilte Scheibe T gleitet und die Grösse der Querbewegung bis zu $0,1^0$ genau abzulesen gestattet. Notirt man die erhaltenen Zahlen auf Millimeterscala und Theilscheibe, so hat man den Ort eines beliebigen Punktes in dem beobachteten Präparate ein für allemal fest. Zur Fixirung des Objectträgers in bestimmter Lage dienen einerseits die Stifte der Federklammern, andererseits eine rechts von dem Schlitten angebrachte Marke.

Der Preis des Apparates beträgt 50 Mark.

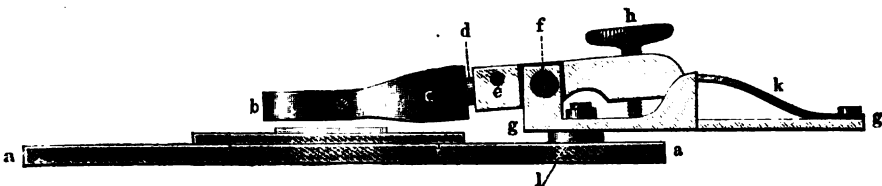
II. Vorrichtungen zur Anwendung von Druck, Wärme, elektrischen Strömen etc.

1. Der mikrotomische Quetscher oder das Compressorium.

Der mikrotomische Quetscher dient dazu, um zarte Objecte, deren innere Structur nur dann in genügender Weise aufgeheilt werden kann, wenn sie durch allmälige Quetschung ausgedehnt und somit durchsichtiger gemacht werden, einem allseitig gleichmässig wirkenden, in beliebigem Grade allmählig gesteigerten Drucke auszusetzen. Derselbe wird von sämmtlichen optischen Werkstätten in bald einfacherer, bald zusammengesetzterer Ausführung geliefert und beschränken wir uns hier auf die Beschreibung einiger einfacher von einander abweichender Constructionsformen.

Schacht's Quetscher. Eine der einfacheren und zugleich zweck- 347 mässigeren Vorrichtungen dieser Art ist der nach den Angaben Schacht's von Zeiss in Jena ausgeführte Quetscher, Fig. 461, welcher um den

Fig. 461.

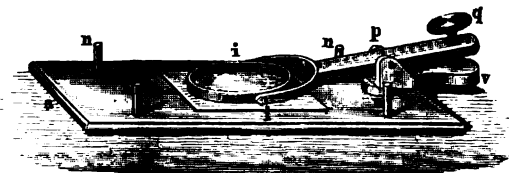


Preis von 18 Mark in sauberem Etui geliefert wird. Derselbe zeichnet sich namentlich dadurch aus, dass man ihn auf das Object anwenden kann, wie man es vorher zur Beobachtung aufgelegt hatte, also dieses nicht erst auf eine besondere Objecttafel und unter besonderes Deckglas zu bringen braucht. Er besteht aus der vierseitigen, in der Mitte mit einer grossen runden Oeffnung versehenen, den Objectträger aufnehmenden

Messingplatte *aa*, und dem nach der Innenseite sich conisch verjüngenden, centriscch durchbohrten Messingring *b*, von dem der Druck auf das Deckgläschen ausgeübt wird. Letzterer hängt zwischen zwei in dessen Durchmesser sich gegenüberstehenden Stiften in dem Bügel *c*, der sich mittelst des in dem Hebel *ee* steckenden Zapfens *d* um seine horizontale Achse drehen kann, so dass ihm eine möglichst allseitige Beweglichkeit gesichert ist, und seine ebene Unterfläche unter allen Umständen der Oberfläche des Deckglases parallel bleibt. Der Hebel *ee* dreht sich bei *f* auf dem in horizontaler Lage festgehaltenen Lager *gg* und wird durch die schief stehende in diesem sich drehende Schraube *h* am hinteren Ende gesenkt und mittelst der starken stählernen Feder *k* beim Zurückdrehen jener gehoben. Wird die Schraube *h* gelockert, so drückt der Ring gegen die Deckplatte, und umgekehrt entfernt er sich von derselben, sobald man die erstere anzieht. Der ganze obere Theil der Vorrichtung dreht sich ausserdem in horizontaler Ebene um den in der Platte *aa* feststehenden Stift *l* und kann somit leicht über dem Object zur Seite gedreht werden.

- 348 **Schieck's Compressorium** (Fig. 462). Eine ähnliche Einrichtung besitzt auch das einfachere, mit 15 Mark berechnete Compressorium von Schieck (Schieck liefert ausserdem noch Compressorien verschiedener

Fig. 462.



Construction bis zu dem Preise von 30 Mark), nur geht dem Bügel *ii* die Drehung in seiner Längsachse ab und ist dem Druckringe eine runde Glastafel *o* fest eingefügt, was den allseitigen Parallelismus der Deckplatte ausschliesst und in der Behandlung und Beobachtung des Objectes mancherlei Unbequemlichkeiten nach sich zieht. Die vier Stifte *nnnn* sollen dazu dienen, um den Quetscher umkehren und das Object von zwei Seiten beobachten zu können, ein Vortheil, der nur für solche Gegenstände in Wirklichkeit vorhanden ist, welche mittelst schwächerer Objectivsysteme untersucht werden können.

Winkel's Compressorium bildet eine zweckmässig vereinfachte Modification des vorigen ohne Umkehrung zu gestatten. Dieselbe genügt für die meisten Fälle vollkommen ihrer Bestimmung und wird mit 12 Mark berechnet.

- 349 **Schmidt's Quetscher**. Noch unbequemer als der letztgenannte sind jene Quetscher, welche wie der neben abgebildete von Franz Schmidt und Haensch eine solche Einrichtung besitzen, dass Object-

träger und Deckplatte integrierende Bestandtheile des Apparates ausmachen. Dieses Compressorium, dessen Preis 15 Mark beträgt, sowie das
Fig. 463.



Oberhäuser'sche, welches eine Abänderung des Schieck'schen bildet und zu 16 Mark notirt ist, sind indessen so construiert, dass man die Glasplatten entfernen und andere einsetzen kann.

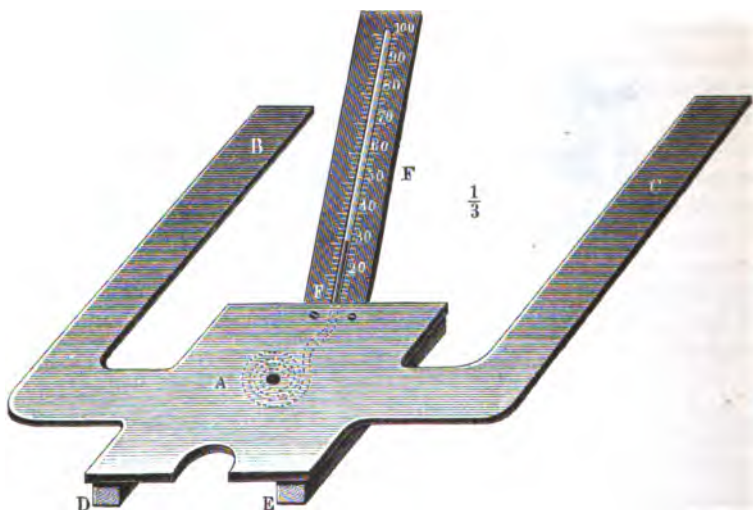
Der dem eben beschriebenen ähnlich gebaute, zu dem Preise von 12 Mark verzeichnete Quetscher mit Doppelhebel von Wasserlein gestattet das Präparat, wie man es zu gewöhnlichen Beobachtungen eingedeckt hat, aufzunehmen und dasselbe von beiden Seiten zu betrachten, verlangt aber in Folge der weiten Oeffnung sehr grosse Deckgläser von über 20 mm Durchmesser.

2. Der heizbare Objecttisch.

Max Schultze's Objecttisch. Schon ziemlich früh ist das Bedürf- 350
niss erkannt worden, manche mikroskopische Objecte während der Beobachtung einer erhöhten Temperatur auszusetzen und wurden mancherlei Vorrichtungen zu diesem Zwecke verwendet. Keine derselben indessen, mochten sie nun einen complicirteren Bau besitzen, wie z. B. die Chevalier'sche Vorrichtung an dessen umgekehrtem Mikroskope, oder von der einfachsten Natur sein, wie die von Schacht (Mikroskop S. 79) empfohlenen kleinen Wachskerzchen, konnte ihren Zweck vollkommen erfüllen, weil es keine ermöglichte, den angewendeten Temperaturgrad auch nur annähernd zu bestimmen. Professor Max Schultze erst ist es gelungen, eine Vorrichtung zu construiren, welche gestattet, das Object während der Beobachtung jeder beliebigen messbaren, sowohl zu- und abnehmenden, als auf einem bestimmten Grade zu erhaltenden Temperatur auszusetzen. Diese Vorrichtung, von ihrem Erfinder „heizbarer Objecttisch“ genannt, ist dazu bestimmt, auf den Objecttisch des Mikroskopes aufgelegt zu werden, welcher dadurch um etwa 10 mm erhöht wird. Hierdurch geht zwar für die stärkeren Objective viel Licht verloren, allein dieser Verlust lässt sich bei den grösseren Stativen durch Verschieben des Spiegels, bei anderen durch Anwendung der früher beschriebenen Beleuchtungslinse leicht ausgleichen.

Der Apparat Fig. 464 besteht aus einer Messingplatte von 1 bis 2 mm Dicke, deren mittlerer Theil *A* in Grösse und Form mit dem gewöhn-

Fig. 464.



lichen Objecttisch des gebrauchten Mikroskopes in Uebereinstimmung steht. Von diesem Theile aus gehen nach beiden Seiten etwa 30 mm breite Arme *B* und *C* aus, welche nach kurzem Verlaufe in rechtem Winkel nach vorn umbiegen und dann noch eine Länge von 170 bis 200 mm besitzen. Diese Arme sind dazu bestimmt, die ihnen von kleinen Spirituslampen mitgetheilte Wärme nach dem mittleren Theile zu leiten, der, wenn jene sich unter den beiden Enden befinden und eine nur kleine Flamme entwickeln, eine Temperatur von etwa 35 bis 40° C. annimmt. Der mittlere Theil besitzt nur eine kleine Oeffnung, welche als Blendung wirkt und bei der Befestigung des Apparates immer genau centrirt werden muss. An der Unterseite der Messingplatte sind zu beiden Seiten der Oeffnung zwei von vorn nach hinten laufende, vierkantige Holzleisten *D* und *E* befestigt, mittelst deren sie auf dem Objecttische ruht, und durch welche eine Mittheilung der Wärme an diesen, sowie eine Berührung des zu dem heizbaren Tische gehörenden Thermometers mit demselben verhindert wird. Das letztere besteht aus einem spiralförmig gewundenen Quecksilberbehälter von zwei Windungen, von dem aus sich die an einer dem Tische angeschraubten, schief aufsteigenden, messingenen, nach Celsius getheilten Scala anliegende Thermometerröhre *F* erhebt. Der Quecksilberbehälter liegt der Messingplatte womöglich mit abgeplatteter Fläche genau an, um deren Temperatur schnell anzunehmen. Ein niedriges Kästchen aus Messingblech schützt denselben einerseits vor Verletzungen, andererseits bewahrt es ihn vor Abkühlung und erwärmt ihn, die Temperatur des Tisches annehmend, auch noch von der anderen Seite. In der

Mitte des Kästchens ist eine conische, innen geschwärzte Blending eingesetzt, deren Oeffnung etwa denselben Durchmesser hat, wie die Cylinderblenden.

Zur Befestigung des heizbaren Objecttisches kann man sich entweder der für die Federklammern bestimmten Oeffnungen des gewöhnlichen Objecttisches bedienen, oder auch zwei Klemmschrauben benutzen, welche passend in entsprechende Vertiefungen der Messingplatte eingelassen werden.

Der beschriebene heizbare Objecttisch leidet an dem Uebelstande, dass das Object durch die mit dem Tubus in Verbindung stehende Fassung des benutzten Objectivsystemes eine um so merkbarere Abkühlung erfährt, als die Brennweite sich verkürzt. Derselbe hat daher mehrfache Abänderungen erfahren. Eines der einfacheren Mittel, um den beregten Fehler wenigstens in gewissem Maasse zu beseitigen, besteht darin, dass man über dem Objectivsystem ein etwa 30 mm hohes Zwischenstück von Elfenbein einschaltet. Eine gründliche Abhilfe wird aber nur durch veränderte Constructionen geschaffen. Solche sind denn auch von verschiedenen Forschern, wie von Stricker, Sachs, Schklarewski, Ranvier, Senarmont u. A., in Vorschlag gebracht worden, von denen wir nur zwei einfachere, ihren Zweck vollständig erfüllende, hier näher betrachten wollen.

Der heizbare Objecttisch von Ranvier (Fig. 465) besteht aus 351 einem viereckigen Doppelkasten AB , in dessen frei gelassenen Hohlraum

Fig. 465.

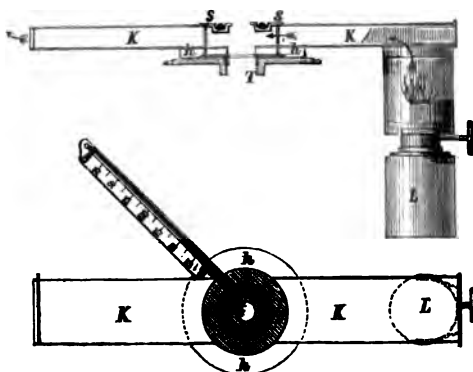


das Präparat eingelegt werden kann, während in die in Boden- und Deckplatte befindlichen runden Oeffnungen D und C Diaphragmen und Objectivsystem eingeführt werden können. Die Erwärmung geschieht mittelst durch eine Spirituslampe erwärmten Wassers, welches durch die Röhre bei A zuströmt, durch die untere bei B in abgekühltem Zustande in das Erwärmungsgefäß abgeführt wird. Das Thermometer T ist an der Seite des Kastens eingelassen, und damit die Temperatur des Objectes constant bleibt, wird der Zwischenraum zwischen der Fassung des Objectivsystemes und der Wand der Oeffnung D mit Watte ausgestopft.

Der Senarmont'sche heizbare Objecttisch (Fig. 466 a. f. S.), 352 welcher von R. Fuess in Berlin geliefert wird, bildet ein Parallelepiped K aus dünnem Blech, welches an dem einen Ende offen ist, am anderen, geschlossenen auf einem kreisförmigen Ausschnitte der Bodenfläche einen von einer Glimmerplatte umspannten, walzenförmigen Ansatz besitzt, unter den eine Spirituslampe gesetzt wird. Auf der Mitte des Blech-

kastens ist eine Platte *s* mit centraler kreisförmiger Oeffnung und ringförmiger das ebenso gestaltete auf einem seitlichen Fortsatze ruhende

Fig. 466.



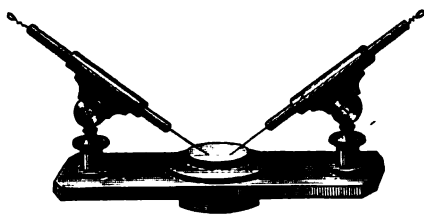
Thermometer aufnehmen- der Vertiefung aufgesetzt. Die durch die in dem Fortsatz eingeführte Flamme erwärmte Luft des Metallkastens erwärmt die Platte *s* und damit gleichzeitig Object und Thermometer, während die Ableitung auf dem Mikroskoptisch durch Auflegen eines Ringes *h* von Hartgummi unter die durchbohrte Mitte des Apparates verhindert wird.

3. Der elektrische Objectträger.

Nicht weniger wichtig als die erhöhte Temperatur ist die Anwendung elektrischer Ströme auf manche mikroskopische Objecte. Namentlich hat dieses physikalische Reagenz in der neuesten Zeit eine hohe, wenn auch hier und da überschätzte Bedeutung gewonnen, und es wird wohl kaum einen Mikroskopiker geben, der, sich mit der feineren Histologie der Pflanzen und Thiere beschäftigend, dessen Anwendung versäumen dürfte.

353 Plössl's Entlader. Eine der ältesten Vorrichtungen (Fig. 467) für die Durchleitung des elektrischen Stromes durch mikroskopische Präparate

Fig. 467.



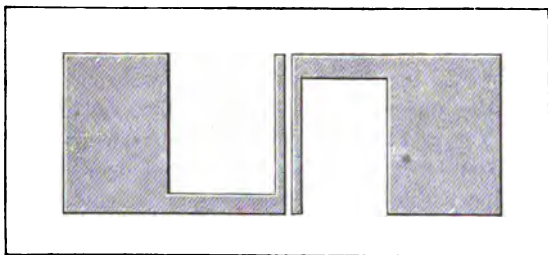
ist der von Plössl construirte, dem gewöhnlichen Entlader ähnliche mikroskopische Electricitätsentlader, welcher auf den Objecttisch gestellt werden kann, und um den Preis von 10 Mark geliefert wird. Der Gebrauch dieses Instrumentchens hat indessen manche Unzuträglichkeiten. Es schliesst

vermöge seiner Construction die Bedeckung der Objecte und die Anwendung von starken Objectiven fast vollständig aus, ist aber für umfänglichere unbedeckt zu beobachtende Objecte, grössere Infusorien, Rädertiere und dergleichen, recht zweckmässig.

354 Schacht's und Kühne's Vorrichtungen. Um diesem Uebelstande zu entgehen und in Folge des Mangels eines geeigneten und auch

für stärkere Vergrößerungen bequem zu gebrauchenden Apparates haben sich manche Mikroskopiker mit höchst einfachen Vorrichtungen beholfen. So kittete Schacht einfach zwei unter das Deckglas reichende Platindrähte auf den Objectträger und verband sie mit den Poldrähten des elektrischen Apparates. Kühne befestigt zwei in der nebengezeichneten (Fig. 468) Weise geformte Platinbleche mittelst Siegellacks auf den Objectträger und beschwert dieselben mit Bleiklötzchen, die mittelst feiner geglähter und schraubenförmig gewundener Eisendrahtstücke mit den Poldrähten verbunden werden. Andere nehmen Objectträger als Spiegelglas

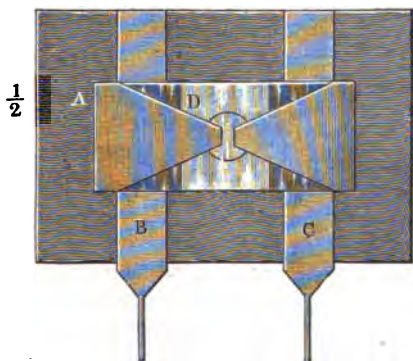
Fig. 468.



und entfernen den Metallbeleg in der Mitte bis auf zwei schmale sich gegenüberstehende Streifen etc. Alle diese Behelfsvorrichtungen lassen den Beobachter aber immer mehr oder weniger empfindlich im Stiche, und machen demselben handliche, vollkommen dem Zweck entsprechende Apparate wünschenswerth. Solche sind denn auch in verschiedener Form ersonnen und construirt worden, jenachdem der eine Forscher die eine, der andere wieder andere Eigenschaften bevorzugte.

Brücke's Vorrichtung (Fig. 469) wird aus einer in der Mitte mit einer Oeffnung versehenen Holzplatte *A* gebildet. An den Seiten

Fig. 469.

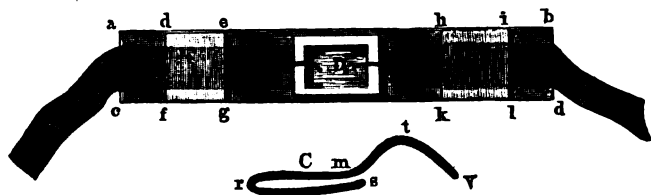


der Oeffnung sind zwei Kupferstreifen *B B* eingelassen, welche mit den Poldrähten des elektrischen Apparates verbunden werden, während über denselben ein Objectträger *D* eingelassen ist, der an beiden Enden unter- und oberseits in der aus der Figur ersichtlichen Weise derart mit Stanniol beklebt wird, dass die oberseitigen spitzen Enden des Metallbeleges etwa 5 mm von einander abstehen, um zwischen sich das Object aufzunehmen.

Harting's elektrischer Objectträger. Einen recht einfachen elektrischen Objectträger, der mit geringer Modification in der Biegung der Entladungsdrahte auch leicht für bedeckte Objecte ver-

wendet werden kann, hat Harting (Mikroskop Seite 470) empfohlen. Derselbe besteht aus einem Glasstreifen *abcd* von etwa 100 bis 120 mm Länge und 30 mm Breite, auf welchem zwei etwas schmä-

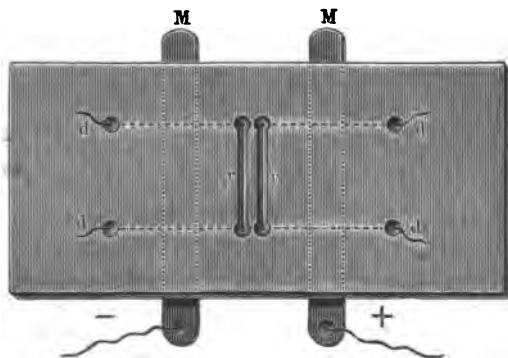
Fig. 470.



lere Stanniolstreifen *A* und *B* so aufgeklebt sind, dass zwischen ihnen ein Raum von etwa 25 bis 30 mm frei bleibt, während sie das Glas an beiden Enden etwas überragen. Ueber die Stanniolstreifen sind zwei Glasplättchen *defg* und *hiki* (dicke Deckplättchen) mittelst Harz so befestigt, dass die ersteren vollständig isolirt bleiben, wenn die Federklammern des Objecttisches den letzteren aufliegen. Die losen Entladungsdrähte *n* und *p* bestehen aus geglühtem Kupferdraht, oder besser aus Platindraht, und sind in der bei *C* gezeichneten Weise gebogen. Diese Drähte werden auf die Stanniolstreifen aufgelegt und können einander beliebig genähert werden, müssen aber, wenn sie für bedeckte Objecte dienen sollen, an ihren Enden horizontal umgebogen und möglichst dünn sein. Die freien, über den Objectträger herabhängenden Enden des Stanniolstreifens werden mit den Poldrähften des Elektrizitätsträgers verbunden. Die Mängel, welche dieser Vorrichtung ankleben, beruhen darin, dass der Objectträger vermöge seiner Länge leicht überkippt, dass die Verbindung mit den Poldrähften eine nicht hinreichend stabile ist, und dass die gebogenen Entladungsdrähte einerseits die freie Bewegung der Hände beeinträchtigen, andererseits zu leicht der Verschiebung, der Berührung mit den Händen etc. ausgesetzt sind, was bei der Beobachtung immer störend und unbequem ist.

357

Fig. 471.

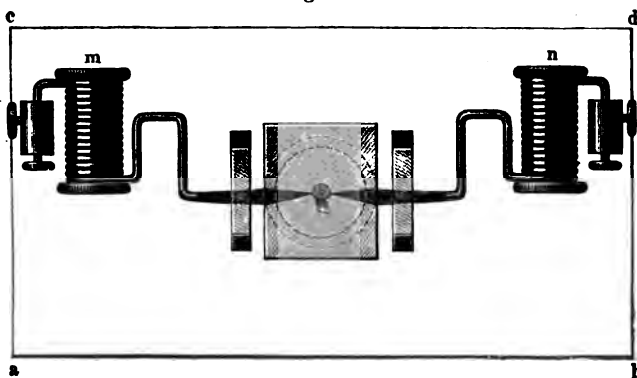


Der elektrische Objectträger von Jen-drassik und Mexey (Fig. 471, ist einfach und handlich und dürfte wohl weitere Verbreitung finden. Derselbe besteht aus einem Objectträger, welcher in der Mitte seiner Längsachse zwei 3- bis 3,5 mm von einander entfernte Rinnen *rr* eingeschliffen erhält. An den Enden dieser Rinnen

sowie zu beiden Seiten des Objectträgers sind kleine Löcher eingebohrt und durch diese in der in der Figur angedeuteten Weise erstere ganz ausfüllende Platindrähte, *ddd*, gezogen, welche zwei auf der Unterseite des Objectträgers befindliche, mit den Poldrähren in Verbindung stehende Metallstreifen, *MM*, berühren.

Elektrischer Objectträger von Dippel (Fig. 472). Um den bei der Harting'schen Vorrichtung berührten, allen den beschriebenen Apparaten mehr oder weniger anhaftenden Uebelständen zu entgehen, habe ich mir folgenden elektrischen Objectträger angefertigt, den ein Jeder mit Leichtigkeit und mit geringem Kostenaufwand nachmachen kann.

Fig. 472.

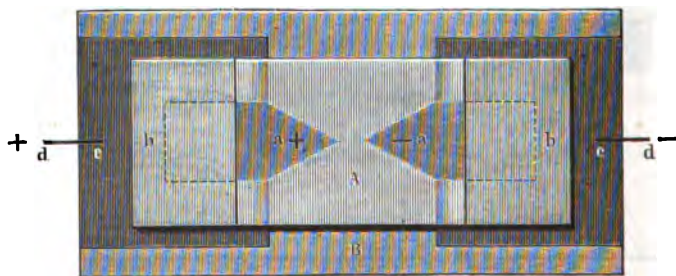


Die Grundlage bildet eine nicht zu dünne Spiegelglasplatte *abcd*, deren Grösse mit der des benutzten Objecttisches genau übereinstimmt. Zu beiden Seiten sind die kleinen Drahtrollen *m* und *n* aufgekittet, welche aus überspannenen, auf kleine Glasröhren oder Glasstäbe gewundenen dünnen Kupferdrähten bestehen. Die nach innen gewendeten Enden dieser Drähte sind der leichteren Beweglichkeit halber in horizontaler Ebene rechteckig gebogen und nach vorn dünn ausgeschlagen oder werden durch angelöthete Platinstreifen gebildet, so dass sie leicht unter das Deckglas geführt werden können und dieses nicht zu weit über die Oberfläche des Objectträgers emporheben, damit auch für stärkere Objective die genaue Einstellung nicht behindert wird. Um diesen Enden hinreichende Stabilität zu geben, und sie in eine dem zu beobachtenden Objecte und der gewählten Stromrichtung entsprechenden Stellung und Entfernung von einander bringen und darin festhalten zu können, sind sie unter zwei aus kleinen Glasstückchen bestehenden Rähmchen weggeführt, in denen sie sich etwas schwer verschieben lassen. Will man das Object nicht auf die grössere Platte übertragen, sondern auf dem vorher benutzten Objectträger lassen, so braucht man nur die beiden Glasleisten in eine der Länge des letzteren entsprechende Entfernung zu bringen und die Biegung der Drähte so zu gestalten, dass sie sich fest auf den Objectiv-

träger und ihre platten Enden flach unter das Deckglas legen. Zur Verbindung der freien Enden mit den Poldrähren des Electricitätserrers können entweder einfache Oesen, oder noch besser kleine, um niedrigen Preis zu beschaffende Klemmschrauben dienen. Zur Befestigung auf dem Tische des Mikroskopes können die beiden, gewöhnlich beigegebenen Federklammern benutzt werden, welche hinreichende Beweglichkeit lassen, um das Object in die Mitte des Sehfeldes zu bringen. Will man den Objectträger indessen mit seiner hinteren Seite beweglich in den Falz einer dicken Messingplatte einlassen, so kann man an diese zwei Stifte festschrauben und dieselben in die für die Federklammern bestimmten Löcher einstecken.

359 Stroebel's elektrische Objectträger (Fig. 473). In neuester Zeit hat O. Stroebel eine recht zweckmässige einfache Vorrichtung vor-

Fig. 473.



geschlagen. Dieselbe besteht aus einem Objectträger A (derselbe kann von beliebigem Format sein), an dessen beiden Enden auf Ober- und Unterseite gleichweit übergreifende Kappen-Stanniolplättchen bb aufgesteckt werden, unter die man zwei mit schmälern oder breiteren Spitzen versehene bewegliche Stanniolstreifen aa einschaltet. Der so hergerichtete Objectträger kommt auf eine grössere Glasplatte B so zu liegen, dass die Stanniolkappen mit den auf diese Platte geklebten Stanniolplättchen cc in Berührung sind, welche ihrerseits durch die daran befestigten Kupferdrähte dd mit der Electricitätsquelle in Verbindung stehen.

4. Die feuchte Kammer und die Gaskammer.

360 Die feuchte Kammer, welche die Verdunstung der Zusatzflüssigkeiten zu verhindern bestimmt ist und für eine grosse Anzahl — namentlich auch entwicklungsgeschichtlicher — Untersuchungen ein wichtiges und unentbehrliches Hilfsmittel bildet, wurde von Recklingshausen erdacht und zuerst angewendet. In ihrer ursprünglichen Gestalt besteht dieselbe aus einem etwa 50 mm weiten Glasringe, dessen unterer Rand abgeschliffen ist, um genau auf dem Objectträger aufzusitzen. Ueber den Glasring ist ein weites Kautschukrohr festgebunden, dessen oberer Theil über die

Mikroskopröhre gezogen und an dieser mittelst einer Gummischnur festgehalten wird. Als Objectträger, welchem der geschliffene Rand des

Fig. 474.

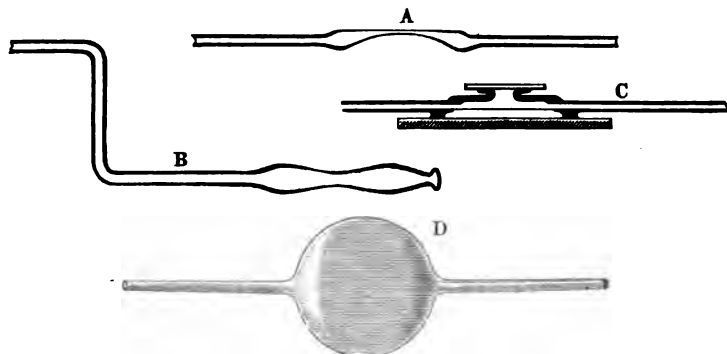


Glasringes aufsitzt, dient eine etwa 70 mm lange und 60 mm breite Platte aus geschliffenem Glas. In etwas einfacherer Gestalt kann man sich nach Prof. M. Schultze die feuchte Kammer aus dem abgesprengten unteren Theil eines Lampencylinders herstellen. Der Rand des weiteren Theiles wird dann abgeschliffen und den oberen engeren Theil füttert man zweckmässig mit Tuch oder weichem Leder aus, damit er dem Rohre des Mikroskopes möglichst anschliesst, ohne dessen senkrechte Bewegung zu hindern oder derselben zu folgen. Obwohl

diese letztere Einrichtung der feuchten Kammer an Beweglichkeit etwas eingebüsst hat, so hindert sie doch die Verschiebung des Objectes nicht wesentlich; sie bietet aber den Vortheil, dass man einen freien Einblick in das Innere der Vorrichtung hat. Um den inneren Raum fortdauernd mit Wasserdunst erfüllt zu halten, legt man an der inneren Fläche des Ringes oder des Cylinders einen ungefähr drei Vierteltheile des Umfanges einnehmenden Streifen Fliesspapier, den man mit Wasser benetzt hat.

Die ursprüngliche Form der feuchten Kammer ist im Laufe der Jahre mehrfach abgeändert und namentlich für kleinere unter starken Vergrösserungen zu beobachtende Objecte in höchst zweckmässiger Weise vereinfacht worden. Eine einfache Vorrichtung bildet die sogenannte Geissler'sche, von Recklinghausen und Klebs ersonnene, in

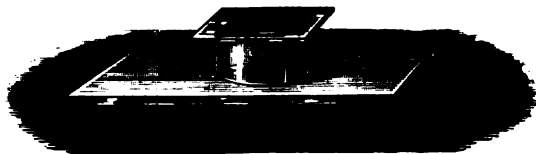
Fig. 475.



mehreren Formen (Fig. 475 A bis D) ausgeführte feuchte Kammer. Dieselbe besteht in einfachster Gestalt aus dünnen Glasröhrchen, in deren

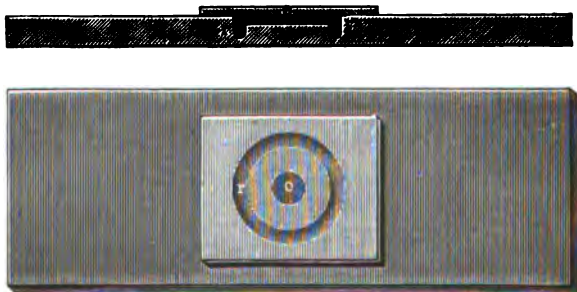
Mitte eine kleine rundliche Kapsel von capillarer Weite und mit parallelen Wänden (oben und unten) angebracht ist. Auch mit Hilfe von Objectträgern lassen sich einfache und zweckmässige Vorrichtungen verschiedener Form herstellen. Nach Böttcher wird einem Objectträger ein wenige Millimeter hoher Glasring aufgekittet (Fig. 476), dessen

Fig. 476.



Weite der Grösse der zu verwendenden Deckgläser entsprechen muss und die feuchte Atmosphäre durch einige an den inneren Rand des Ringes gebrachte Wassertropfen hergestellt. Das Präparat wird in einen auf dem Deckglase befindlichen Wassertropfen gebracht und unter Umkehrung des ersteren, dessen Rand — um den Verschluss luftdicht zu machen — noch mit Glycerin oder einem weichen Fette bestrichen werden kann, in dem feuchten Raume gleichsam aufgehängt. Eine andere, recht zweckmässige Abänderung (Fig. 477), welche von den Handlungen mikroskopischer Utensilien fast allgemein geliefert wird,

Fig. 477.



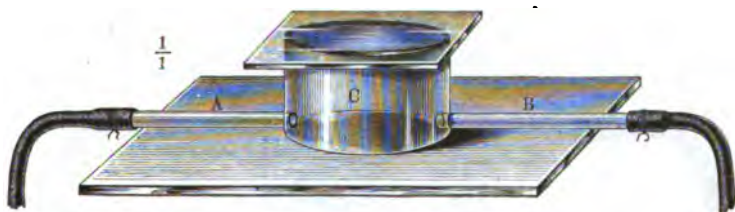
besteht darin, dass einem dicken Objectträger eine runde oder vierseitige Vertiefung und an deren Umfang eine schmale Rinne *rr* eingeschliffen wird. Letztere wird mit Wasser gefüllt, während das an dem Deckglase in einem Wassertropfen befindliche Präparat *o* in den mittleren Hohlraum zu liegen kommt. In noch einfacherer Weise kann man sich zu jeder Zeit eine feuchte Kammer dadurch herstellen, dass man vierseitige oder runde Stückchen ungeleimter Pappe oder dicken Cartons (Löschcarton) mittelst eines Durchschlages mit einer passenden mittleren Oeffnung versieht. Legt man derartige Pappstückchen, nachdem sie hinreichend angefeuchtet worden sind, auf einen Objectträger und hängt das

Präparat unter vorsichtigem Aufdrücken des Deckglases in der beschriebenen Weise in dem Hohlraum auf, so erhält sich die feuchte Atmosphäre, namentlich wenn man die Pappe von Zeit zu Zeit von aussen benetzt, tagelang unverändert.

Die **Gaskammer** tritt wie die vorbeschriebene unter verschiedenen 362 Gestalten auf. Im Wesentlichen besteht sie aus einem aus Metall oder Glas gebildeten, luftdichten Hohlraum, mit je einer (oder zwei) Zuleitungs- und einer Ableitungsröhre, von welchen die erstere mit einem das entsprechende Gas erzeugenden Apparate oder einem Gasometer in Verbindung gebracht werden kann. Da alle die verschiedenen Formen schliesslich auf ein und denselben Grundtypus hinauskommen, können wir uns hier auf die Beschreibung einiger der einfacheren Vorrichtungen beschränken und bezüglich zusammengesetzterer Apparate, wie z. B. des Rollet'schen Gaswechslers etc., auf die betreffende Specialliteratur verweisen.

Die **Böttcher'sche Gaskammer** (Fig. 478) ist ähnlich gebaut, wie 363 die gleichnamige feuchte Kammer; es erhält aber der Glasring *C* zwei seit-

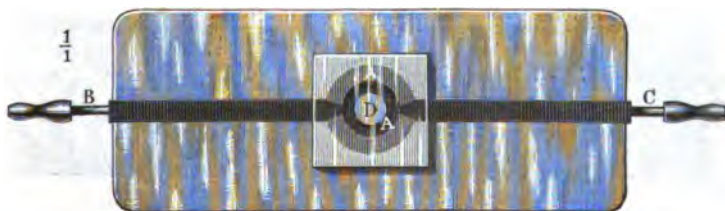
Fig. 478.



liche Oeffnungen, um zwei auf den Objectträger gekittete Glasröhren *A* und *B* darin einzulassen, welche ihrerseits mit Kautschukschläuchen in Verbindung stehen, von denen der eine das Gas zu der anderen wegführt.

Die **Strecker'sche Gaskammer** ist folgendermaassen gebaut: 364 Einer dicken Spiegelglasplatte (Fig. 479) ist, wie bei der früher beschriebenen feuchten Kammer, eine Vertiefung mit Rinne *A* eingeschliffen und

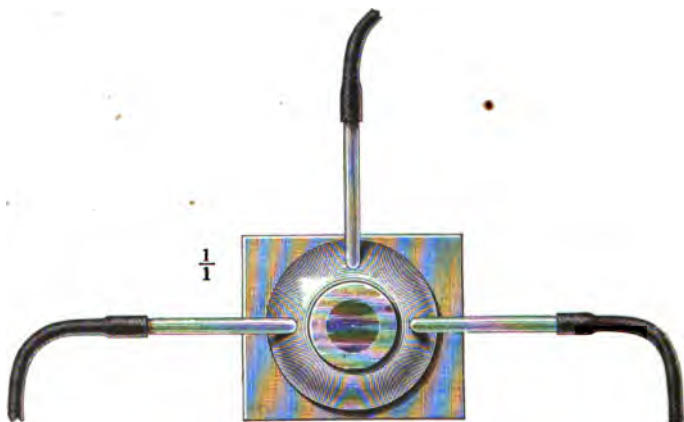
Fig. 479.



um dieselbe ein sie umgebender Glasring von entsprechender Höhe aufgekittet. An zwei gegenüberstehenden Stellen des letzteren, sowie in der

Längsachse der Platte sind Halbrinnen eingeschliffen und diesen bis in die Rinne *A* reichende Glas- oder Metallröhrchen *B* und *C* eingekittet, von denen das eine mit einem nach dem Gasreservoir gehenden Kautschukschlauche in Verbindung gebracht wird. Das Object wird bei der feuchten Kammer in dem mittleren Hohlraume *D* aufgehängt und durch Bestreichen der Deckglasränder mit einer der oben genannten Substanzen dafür Sorge getragen, dass ein luftdichter Verschluss hergestellt wird. Sind zwei Zuleitungsröhrn vorhanden, wie bei der aus einem kleinen Uhrschildchen durch Abschleifen hergestellten Lancaster'schen Gaskammer (Fig. 480) und sind die Kautschukschläuche ausserdem mit

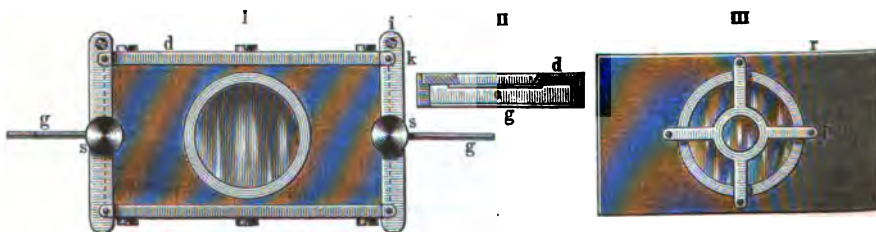
Fig. 480.



Quetschhähnen versehen, so kann man nach Belieben und in rascher Folge unter dem Einflusse verschiedener Gasarten beobachten.

365 Eine etwas complicirte, aber sehr zweckmässige Vorrichtung bildet die **Pringsheim'sche Gaskammer** (Fig. 481 I bis III). Dieselbe besteht aus einem niedrigen Metallkästchen, dessen Boden von einer

Fig. 481.



starken, eingekitteten Glasplatte *g* (II.) gebildet wird, während sein Deckel *d* eine mittlere kreisförmige Oeffnung besitzt, zu deren Ver-

schluss von unten ein Deckglas angekittet werden kann. Der Deckel kann, nachdem man das Präparat mittelst eines Wassertropfens an dem Deckglase aufgehängt und die Fugen mit einem Gemische aus Wachs und Vaseline verschmiert hat, mittelst der bei *i* drehbaren Arme *k* und der Schrauben *s, s* fest angedrückt werden. Das Gas wird durch die Röhren *g, g* (I.) zu- und abgeleitet.

Soll die Kammer zu photochemischen Beobachtungen verwendet werden, bei welchen oft eine zu hohe Temperatur herbeigeführt wird, so verwendet man statt des gewöhnlichen Deckels einen solchen (Fig. 481 III), bei dem von einem mittleren Metall- (Platin-) Ring aus, innerhalb dessen das Präparat wie oben aufgehängt wird, vier ins Kreuz gestellte Metallarme *p* über das Glas hinweggreifen. Der Metalldeckel wird mit Eis bedeckt und das Kästchen damit gefüllt, wobei durch Leitung die Wärme des Wassertropfens nach dem Eise hingeführt und das Object bei niedriger Temperatur erhalten wird.

F e d e r k l a m m e r n.

Die **Federklammern** bilden für manche Fälle, namentlich dann, **366** wenn man das zusammengesetzte Mikroskop zum Präpariren oder in geneigter Stellung benutzt, eine ganz erwünschte Zugabe zu dem Stative. Ich hätte es kaum für nothwendig gehalten, dieselben hier besonders zu erwähnen, wenn sie nicht in den meisten Fällen ganz unpraktisch eingerichtet wären. Zunächst dürfen dieselben niemals fest mit dem Objectische verbunden, sondern sie müssen zum Einstecken eingerichtet sein, damit sie nach Belieben und leicht entfernt und wieder angebracht werden können. Dann ist, wenn sie ihrem Zwecke hinreichend entsprechen sollen, nothwendig, dass dieselben aus Stahl oder Nickel, und nicht, wie es noch vielseitig geschieht, aus Messing angefertigt werden, weil dieses nie hinreichend stark federt, um bei vorzunehmender Präparation u. dgl. den nothwendigen Halt zu gewähren.

Zweiter Abschnitt.

Apparate und Hilfsmittel zur Herstellung der mikroskopischen Präparate.

Wir haben es hier zunächst mit den Apparaten und Hilfsmitteln zu thun, mittelst deren man den zu untersuchenden Gegenständen diejenige Form und Beschaffenheit giebt, welche sie zur mikroskopischen Beobachtung geeignet macht, und es reihen sich hieran dann jene Utensilien, welche bei der Beobachtung selbst und zu deren Unterstützung mehr oder minder häufige Anwendung finden.

Erstes Capitel.

Instrumente und Apparate.

I. Instrumente zum Schneiden, Schleifen u. s. w.

Da es sich bei der vorbereitenden Präparation hauptsächlich um die Darstellung sehr feiner Durchschnitte handelt, so nehmen unter den hierher gehörigen Apparaten die schneidenden Instrumente den ersten Platz ein.

367 Rasirmesser und deren Instandhaltung¹⁾. Die mannigfachste Benutzung sowie die sicherste Handhabung unter allen schneidenden Instrumenten gestatten die Rasirmesser, weshalb der Mikroskopiker mit einem passenden Vorrath derselben versehen sein muss. Man sollte

¹⁾ Ganz vortreffliche Rasirmesser erhält man bei Gebrüder Dittmar in Heilbronn; namentlich sind die mit aus sogenanntem „India Steel“ verfertigten Klingen versehenen Sorten zu Mk. 3,50 und Mk. 4,50 zu empfehlen. Auch die Dittmar'schen Streichrieme haben sich sehr gut bewährt.

deren immer einige von verschiedener Beschaffenheit besitzen, denn während sich zur Darstellung feiner Schnitte aus thierischen Geweben sowie aus grosszelligen saftigen Pflanzentheilen nur solche mit leichter hohlgeschliffener Klinge eignen, kann man für Hölzer, Samenschalen und dergleichen härtere Gegenstände keine anderen als solche mit schwererer, möglichst ebener, nicht zu dünner Klinge gebrauchen. Da nun nicht jede Klinge den passenden Härtegrad besitzt, den ihre Verwendung zu unseren Zwecken erheischt, so muss man eben unter einer grösseren Anzahl von Messern die geeigneten sich auswählen, was gerade nicht immer leicht ist und nicht unbedeutende erste Anschaffungskosten erheischt. Wo man daher Gelegenheit hat, da verschaffe man sich alte, von den Barbierern zurückgelegte Messer, unter denen man ein und das andere passende aussuchen und um mässigen Preis erstehen kann.

Die Hauptsache bleibt für die Folge die, dass man sein Rasirmesser, wenn es einmal passend gewählt ist, in gutem Zustande und bei scharfer Schneide erhält, was man immer selber zu besorgen haben wird, da der Schleifer namentlich in Beziehung auf die Politur der letzteren den Mikroskopiker nie so recht befriedigen kann. Ganz stumpfe, dickschneidige oder gar schartig gewordene Messer muss man sich allerdings erst von dem Messerschmied oder Instrumentenmacher schleifen lassen, um hierauf zur Herstellung einer tadellosen Schneide zu schreiten.

Zur Erzielung einer guten, hinreichend ebenen und vollkommen polirten Schneide gehört aber eine gewisse Fertigkeit, sowie die Beobachtung mancher Vorsichtsmaassregeln, weshalb es nicht am unrechten Platze sein dürfte, diesen Punkt hier etwas eingehender zu behandeln.

Zunächst bearbeitet man seine Klinge auf dem Abziehesteine, indem man von einem etwas gröberen zu einem feineren übergeht. Zu dem ersten Schleifen sind die weissen französischen Steine mit etwas gröberem Korn sehr geeignet, während zu dem feinsten Schliche die grauen oder blauen Wassersteine benutzt werden müssen. Zur Benetzung der Steine nehme man Wasser, niemals Oel, denn wenn man mittelst des letzteren eine feinere Schneide zu erlangen glaubt, so beruht dies lediglich auf Vorurtheil. Ferner sehe man darauf, dass der Schleifstein immer eine vollständig ebene Fläche bildet. Ist derselbe durch längeren Gebrauch in der Mitte etwas hohl geworden, so lasse man sich denselben, wo man Gelegenheit dazu hat, wieder ebenen, oder thue dies selbst auf einer ebenen gusseisernen Platte, wobei man als Schleifmittel zuerst Silbersand und dann fein geschlämmten Tripel anwendet.

Beim Schleifen selbst halte man das Messer stets ganz flach, d. h. so, dass Rücken und Schneide gleichzeitig den Stein berühren, und ziehe es mit der Schneide voran und unter stetem Wechseln der Seiten auf dem Steine hin und her. Während der ersten Arbeit darf man einen mässigen Druck ausüben, später aber muss man denselben möglichst vermeiden; ferner achte man darauf, dass das Messer in entsprechender diagonalen Richtung, das Heft stets voran, über den Stein geführt wird, weil dadurch

die Schneide weit gleichmässiger ausfällt. Hat man auf diese Weise eine scharfe Schneide hervorgebracht, so schreitet man zu der eigentlichen Politur derselben, um die kleinen, wie man sich mittelst des Betrachtens durch die Lupe überzeugen kann, stets noch vorhandenen Scharten zu beseitigen, welche auf den Schnitt immer insofern nachtheilig wirken, als sie auf ihm Streifen hervorrufen, die bei der Beobachtung mancherlei Störungen und Täuschungen bewirken können. Zur Politur eignet sich kein Verfahren besser, als das von Hugo v. Mohl empfohlene. Auf eine matt und eben geschliffene Spiegelplatte, etwa von der Grösse der Abziehsteine, streiche man mit Wasser zu einem dicken Rahme angerührten Wiener Kalk, und führe darauf, in ähnlicher Weise wie beim Abziehen, aber in kreisförmigen Zügen das Messer hin und her. Durch in kürzeren Pausen wiederholtes Betrachten der Schneide überzeugt man sich von dem Fortschritte der Arbeit. Als vollendet kann man dieselbe betrachten, wenn die Schneide unter der Lupe eine ununterbrochene glänzende Linie bildet.

Will man nach dieser Behandlung noch etwas Weiteres thun, so kann man das Messer auch noch einigemal, den Rücken der Klinge voran und in diagonalen Richtung über den Streichriemen führen. Der letztere ist ausserdem unentbehrlich, um nach kürzerem Gebrauche der Schneide des Messers wieder eine untadelhafte Politur zu geben. Da diese schon nach wenigen Schnitten, namentlich bei härteren Gegenständen, immer etwas verliert, so sollte man es sich zur Regel machen, schon nach kurzem Gebrauch des Messers den Streichriemen wieder in Anwendung zu bringen.

Als Streichriemen eignet sich am besten ein weiches Leder, welches mit der Haarseite nach oben auf eine passend gepolsterte Unterlage von Holz befestigt ist, und welches man mit einer Mischung von feinem geschlämtem Eisenoxyd (Englischroth) und Fett, am besten Olivenöl, bestreicht. Da indessen das im Handel vorkommende Eisenoxyd lange nicht fein genug ist, so thut man am besten, sich dasselbe eigenhändig zu bereiten. Vortrefflich ist das nach der von C. Gerstenberger neuerdings empfohlenen Vogel'schen Vorschrift dargestellte Eisenoxyd, weshalb ich dieselbe hier wiedergebe. „Man löst schwefelsaures Eisenoxyd in heissem Wasser und schlägt die reine, filtrirte Lösung mit einer concentrirten Lösung von Oxalsäure nieder. Der gelbe Niederschlag wird abfiltrirt, auf dem Filter getrocknet und in einem Löffel oder Tiegel von Eisen stark ausgeglüht. Die Oxalsäure zerfällt dabei in Kohlenoxyd und Kohlensäure, welche verfliegen, das Eisenoxyd aber bleibt in einer Feinheit zurück, wie man es auf anderem Wege schwer erhalten wird.“

Zum raschen Instandsetzen etwas stark angegriffener Schneide habe ich in neuerer Zeit häufig den vierseitigen Streichriemen von Zimmer benutzt und recht geeignet gefunden. Derselbe ist an der einen Seite, 4, mit einem feinen Smirgelsteine belegt, und gestattet somit eine rasche Schärfung des Messers, wenn es etwa während des Schneidens kleine Schäden erlitten hat, ohne dass man nach dem Abziehsteine zu greifen braucht.

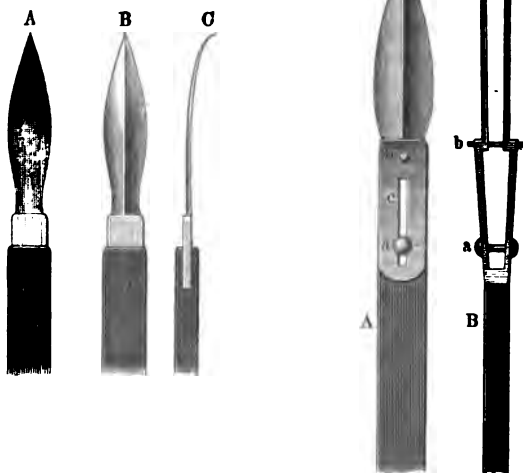
Vermeidet man durch etwas Vorsicht bei Benutzung dieser Seite das Entstehen eines Grates, so erhält die Schneide dann durch Benutzung der übrigen Seiten 3, 2 und 1 schnell eine untadelhafte Politur. Der Preis beträgt je nach der Grösse 4 bis 5 Mark.

Scalpelle. Für einzelne Fälle, namentlich zur Anfertigung von Schnitten thierischer Gewebe, leistet neben dem Rasirmesser das Scalpell ebenfalls recht gute Dienste. Zweckmässig hat man von demselben mehrere mit verschieden geformten Klingen. Als sehr brauchbar für feine oberflächliche Schnittchen weicher thierischer Gewebe empfiehlt Harting ein lancettförmiges, gebogenes Messerchen (Fig. 482 A, B, C), dessen Klinge auf der hohlen Seite ganz eben, auf der erhabenen dagegen in der Mitte verdickt ist. 368

Valentin's Doppelmesser (Fig. 483) sammt seinen verschiedenen Abänderungen von Welcker, Harting und englischen Mikroskopikern ist in Folge der nach und nach durchgebildeten neueren Präparationsmethoden mehr und mehr aus dem Gebrauche gekommen und dürfte allen- 369

Fig. 483.

Fig. 482.



falls nur noch bei der Anfertigung von Schnitten frischer thierischer Gewebe Anwendung finden, obgleich es auch hier bei geschickter Hand durch das Rasirmesser hinter sich gelassen wird.

Mikrotome. Zur Anfertigung sehr dünner Durchschnitte von härteren Geweben, Pflanzenstengeln, Holzstückchen u. dergl., hat man schon seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts eigene, unter dem Namen Mikrotome bekannte Instrumente construiert. Dieselben hatten sich bis vor etwas über einem Jahrzehnte indessen einer sehr geringen Verbreitung zu erfreuen, da sie einerseits bei vollkommener Ausführung einen 370

Preis besaßen, der nicht selten den eines mittleren recht guten Mikroskopes erreichte, oder gar übertraf, andererseits aber bei den vor jener Zeit noch wenig ausgebildeten Erhärtungs- und Einbettungsmethoden ihre Benutzung eine so eingeschränkte war, und sie für den praktischen Mikroskopiker verhältnissmässig so Unvollkommenes leisteten, dass sich derselbe immer wieder zu den früher genannten einfachen Instrumenten zu wenden veranlasst sehen musste.

Wo man allerdings Schnitte von grösserer Ausdehnung und doch gleichmässiger Dicke zu erhalten wünschte, was bei dem Schneiden aus freier Hand nie vollständig zu erreichen ist, und für solche, die verkäufliche Präparate einer besonderen Art anfertigten, da leistete das Mikrotom auch schon damals seine Dienste.

Seitdem die erwähnten vorbereitenden Methoden zu einer grösseren Vollkommenheit gelangt sind, und man gelernt hat, das Protoplasma und die Plasmakörper in der Form, wie sie in lebendem Zustande auftreten, zu fixiren, seitdem in Folge dessen die Anfertigung von Schnitten aus ganz frischem Material mehr und mehr in den Hintergrund getreten ist, hat das Mikrotom an Bedeutung gewonnen und ist namentlich für alle solche Untersuchungen, die ununterbrochene Folgen von gleich-dicken Schnitten ohne sehr grosse Dünne erfordern (für alle Untersuchungen von feinerem Detail sind Schnitte aus freier Hand immer noch vorzuziehen), zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel der Forschung geworden. Man hat demgemäss denn auch seiner Construction höhere Aufmerksamkeit zugewendet und eine grosse Anzahl von Formen hergestellt, die sich noch fortwährend vermehren, theilweise aber auch von anderen, als ihrem Erfinder, kaum in Gebrauch genommen werden. Alle diese verschiedenen Schneidemaschinen sind im Wesentlichen zwei Grundformen nachgebildet und werden wir uns auf die Betrachtung nur einiger der daraus hervorgegangenen zu allgemeinerem Gebrauch gelangten Mikrotome beschränken.

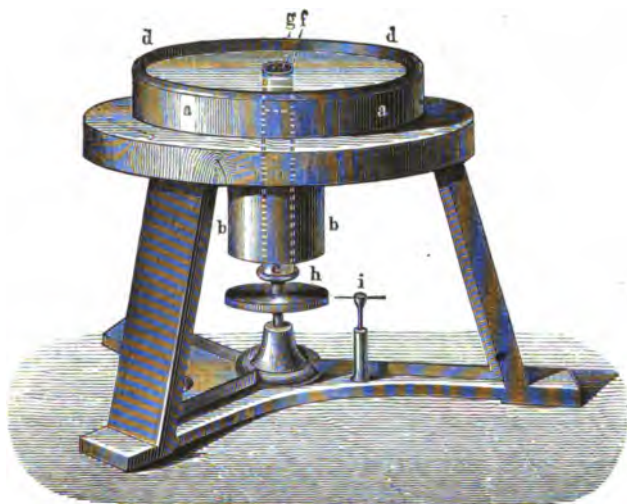
Als Ausgangspunkt der einen Formenreihe ist das Oschatz'sche Mikrotom mit Hebung des Objectes durch Mikrometerschraube und freier Führung des Messers, als der der anderen das Rivet'sche Mikrotom mit Hebung des Objectes durch Verschiebung auf schiefer Ebene und Feststellung des Messers in gleicher Höhe anzusehen. Zu ersteren gehören unter anderen die Mikrotome von Welcker, Ranvier, Beetz, Schiefferdecker, Gudden, zu letzteren diejenigen von Brand, Leyser, Weigert, Long, Fritsch und Spengel, während das Zeiss'sche und Boecker'sche grosse Mikrotom eine Verbindung beider Constructionstypen vorstellen.

371 Das Mikrotom von Professor Welcker (Fig. 484) wird vom Maschinenmeister J. Daudt sowie in der mechanischen Werkstätte von C. Staudinger in Giessen ausgeführt.

„Ein tellerförmiges Stück *aa* von 12 cm Durchmesser ist an seiner unteren Fläche mit einem Zapfen *bb* von etwa 4 cm Durchmesser unbe-

weglich verbunden. Beide Theile sind centrisc durchbohrt und es besitzt die Oeffnung derselben einen Durchmesser von $1\frac{1}{2}$ cm. Auf die obere Fläche des Tellers ist eine Glasplatte *c* festgekittet, deren Unterseite geschwärzt ist und deren Mitte eine dem Tellerloche entsprechende Oeffnung besitzt. Die Glasplatte wird von dem oberen Rande *dd* des Tellers um 1 cm überragt. Eine Glasröhre *ef* von etwas geringerer

Fig. 484.



Stärke, als die Oeffnung des Tellers, wird nun in den Zapfen eingeführt und bis zur oberen Oeffnung des Tellers herausgeschoben; das betreffende Stück der Glasröhre hat man vorher mit einem leinölgetränkten Papiere in der Art umwickelt, dass die Glasröhre hinreichend festsitzt, doch aber, am unteren, aus dem Zapfen handbreit hervorragenden Ende gefasst und umgedreht, in zartem Gange auf- und niedergeschoben werden kann. Das obere Ende *f* der Glasröhre dient zur Fassung des zu durchschneidenden Gegenstandes, welcher je nach seiner Gewalt in einem durchbohrten oder aufgespaltenen Korke *g* seine Befestigung findet. Nachdem man dem Korke eine solche Stellung gegeben hat, dass er sammt dem Objecte etwa eine Linie hoch aus der Glasröhre, und ein noch Geringeres über die Oberfläche des Tellers hervorragt, wird das ganze Instrument innerhalb eines Loches, welches man in eine Tischplatte eingesechnitten hat (oder in einer anderen passenden Weise) befestigt.“

Zum Schneiden, welches je nach Bedürfniss unter Wasser geschehen kann, dient ein Messer mit planconcaver, mittelst zweier abschraubarer Handgriffe geneigt über die Glasplatte zu führender Klinge. Nach Führung jedes Schnittes wird das Object durch eine drehende Bewegung der an ihrem unteren Ende gefassten Glasröhre um ein Minimum

gehoben, und man hat es ganz in seiner Gewalt, Lamellen von verschiedener Feinheit zu erzielen.

Das ganze in Gusseisen ausgeführte Instrument kostet bei dem oben genannten Verfertiger Daudt sammt Messer 11,5 Mark. Jede einzelne Klinge 1,5 Mark.

Zur mikrometrischen Verschiebung des Objectes wird das Welcker'sche Mikrotom auf einen eisernen Dreifuss gesetzt und daselbst mittelst zweier kleiner Reiber befestigt, oder es ist, wie bei dem Staudinger'schen Mikrotom, fest mit einem schweren Stativ verbunden. Auf die Mitte des Dreifussbodens, genau unterhalb der Glasröhre, ist das Muttergewinde einer sich in senkrechter Richtung bewegenden Schraube eingeschnitten, durch deren Umdrehung die Glasröhre nach Belieben aufwärts gehoben wird. Ein Schraubenumgang hebt um 1 mm, und der scheibenförmige Kopf *h* der Schraube ist an seinem Rande in 50 Abtheilungen getheilt, so dass mit Benutzung eines Index *i* Rückungen um $\frac{1}{50}$ mm mit Sicherheit, unter Benutzung halber Abtheilungen sogar Rückungen um $\frac{1}{100}$ mm ausführbar sind.

Das Instrument besitzt in dieser Form mit seinem Dreifusse ein so beträchtliches Gewicht, dass dasselbe ohne festgeschraubt zu werden bei dem Gebrauche vollkommen ruhig steht, und dürfte, obwohl es in neuerer Zeit wenig mehr gebraucht zu werden scheint, doch eine grössere Beachtung verdienen und manchen neueren Formen ähnlicher Art vorzuziehen sein, zumal auch sein Preis: mit Messer 20,5 Mark — ein verhältnissmässig billiger ist.

372 Das Ranvier'sche Mikrotom hat durch Gudden und Loewe einige wesentliche Verbesserungen erfahren. In seiner einfacheren Ge-

Fig. 485.



Fig. 486.



stalt (Fig. 485) wird es mit der linken Hand festgehalten und das Messer, indem es an der oberen Platte Führung nimmt, mit der rechten frei geführt. Loewe hat demselben einen Halter (Fig. 486) mit den Hals des

Mikrotomcylinders umfassendem abnehmbarem Klemmring *R* und einer diesem gegenüberstehenden Schraubenzwinge *S* hinzugefügt, um dasselbe an dem Arbeitstische festzuschrauben und beide Hände frei zu bekommen. Das Object wird in einen inneren mit Boden versehenen Cylinder eingebettet und dieser mittelst der Mikrometerschraube *M* gehoben.

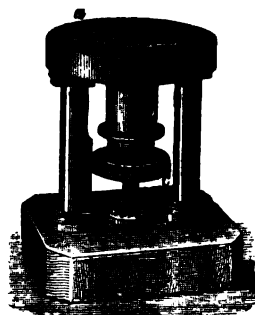
Dieses Mikrotom kann natürlich in verschiedenen Grössen ausgeführt werden. Reichert in Wien verzeichnet deren drei mit 20, 30 und 40 mm weitem inneren Cylinder zu den Preisen von 20, 24 und 28 Mark, den Halter zu 10 Mark, während Thamm in Berlin, Katsch in Berlin und Rainer in Wien dasselbe mit Halter zu 45, 55 und 75 Mark, das zugehörige schwere, mit beiden Händen zu führende Messer, Fig. 487, je nach der Grösse mit 5, 10, 25 und 50 Mark berechnen ¹⁾.

Fig. 487.



Eine dem Oschatz'schen Mikrotom nahestehende, allerdings den **373** Anforderungen der Neuzeit angepasste Form unseres Schneideapparates

Fig. 488.



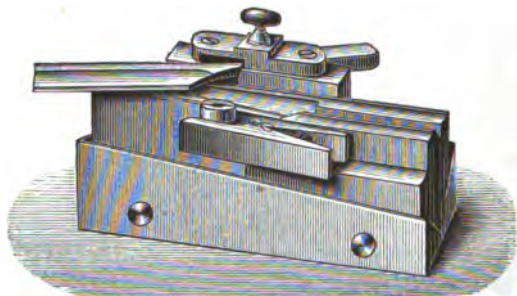
bildet das Mikrotom, welches schon seit zehn Jahren von Zeiss (Nr. 104 des Preisverzeichnisses von 1880) und später auch von Leitz u. A. geliefert wurde (Fig. 488). Dasselbe ist zum Aufstellen auf den Arbeitstisch bestimmt und besitzt einen schweren vierseitigen Messingfuss, von welchem sich die beiden die mit Glas eingelegte in der Mitte durchbohrte Führungsplatte *a* tragenden Säulen erheben. Das Object wird, wie bei dem vorhergehenden, eingebettet und durch die in den Fuss eingelassene, mit in 100 Theile getheiltem Schraubenkopfe *c* und seitlichem (an der einen Säule befestigtem)

Index versehene Mikrometerschraube von etwa 1 mm Ganghöhe gehoben, während das Messer mit freier Hand geführt wird (man kann das letztere auch in der bei dem Welcker'schen Mikrotom erwähnten Form verwenden).

¹⁾ Zu den grösseren Messern passende Abziehriemen liefert Zimmer in Berlin zu dem Preise von 5 Mark und bedarf man deren zwei, von denen der eine mit einem unpräparirten, der andere mit der bekannten rothen Abziehpasta bestrichenen Leder überzogen ist.

- 374 Das **Rivet'sche Mikrotom** (Fig. 489) besteht in seiner ursprünglichen Form aus einem 160 mm langen, 60 mm hohen und eben so breiten Holzklotze, zu dessen beiden Seiten sich zwei parallel verlaufende keilförmige Ausschnitte befinden, so dass die Breite des oberen mittleren Theiles noch 13 mm beträgt. Der vordere Ausschnitt in der Figur bildet eine schiefe Ebene von 1 : 100 Steigung, der hintere verläuft horizontal, während links auf dem mittleren Theile des Klotzes eine mit der

Fig. 489.



schiefen Ebene parallel verlaufende Scala von 100 mm Länge angebracht ist, so dass jeder Theilstrich eine Steigung von 0,1 mm anzeigt. In diesem Ausschnitt kann nun ein genau eingepasster mit einem Querschnitt als Index versehener Holzkeil verschoben werden, an welchem eine mit einer Spiralfeder versehene Klammer angebracht ist, um in derselben das Object einzuzwängen. In dem hinteren, horizontalen Ausschnitt wird ein dicker die Mittelleiste des Klotzes um die Dicke des Messerrückens überragender Holzkeil hin- und hergeschoben, welcher oben einen sorgfältig gearbeiteten Ausschnitt besitzt, in dem der starke Stiel des Messers in für das Schneiden günstigster Lage mittelst einer Messingschraube unverrückbar festgeschraubt werden kann. Das Messer hat eine 55 mm lange, 16 mm breite unterseits ebene, oberseits tief hohlgeschliffene Schneide, welches mit dem 80 mm langen, 12 mm breiten, wie der Messerrücken 5 mm dicken Stiele einen Winkel von 15° bildet.

Das Schneiden geschieht, nachdem man das Object, je nach der gewünschten Dicke auf einen ganzen oder zwischen zwei entsprechende Theilstriche eingestellt hat, dadurch, dass man den das Messer tragenden Keil durch einen kurzen Zug nach sich hinführt.

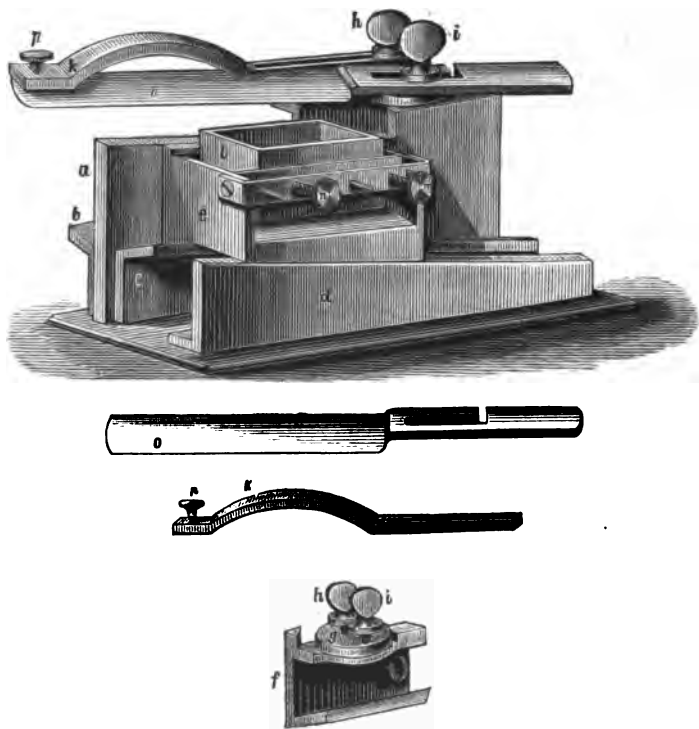
Soll dieses Instrument, welches um den billigen Preis von 20 resp. 24 Mark, soviel ich weiss, nur noch von E. Kayser's Institut in Berlin und von Verik in Paris geliefert wird, fortdauernd seine Schuldigkeit thun, so muss die Arbeit sowie die Auswahl des Holzes eine höchst sorgfältige sein und der Aufbewahrung die genügende Sorgfalt zugewendet werden.

Um den Uebelständen zu entgehen, welche durch die Holzconstruction hervorgerufen werden können, hat Mechaniker Leyser auf Anre-

gung von Professor Kossmann und Dr. Brandt das Instrument in Messing und Hartguss ausgeführt und zugleich einige Veränderungen angebracht. Diese bestehen darin, dass die Klemme vorn eine in einem kurzen Schlitz vor- und rückwärts bewegliche Schraube mit Schraubenmutter erhielt, ferner zur etwa wünschenswerthen Abschwächung der Spiralfeder durch diese eine ebenfalls mit Mutter versehene Schraube mitten hindurchgeführt und die Innenfläche der Backen mit Riefen versehen wurde. Später erhielt das Messer von 70 mm Länge und 15 mm Breite einen geschlitzten Stiel, durch welchen die Stellschraube durchgeführt wird, und wurde auch die Länge des Apparates, da sich die frühere als unbequem erwies, auf das Doppelte vergrößert. Der Preis beträgt, soviel mir bekannt, 48 Mark.

Das Mikrotom von Fritsch (Fig. 490), welches von dem Mechaniker Windler in Berlin geliefert wird, zeichnet sich durch an dem

Fig. 490.

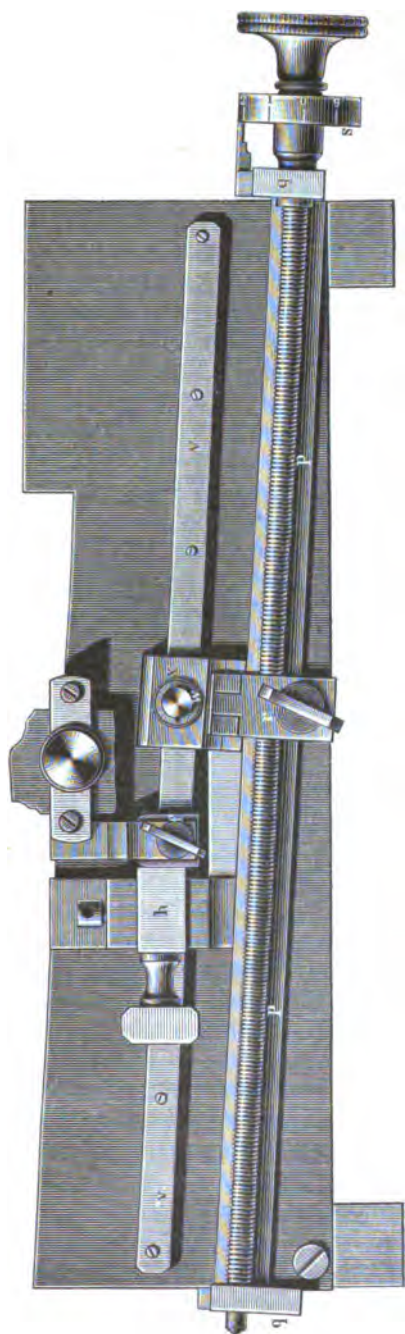


Objecthalter, wie an der Messerführung angebrachte Veränderungen aus. An Stelle der Klammervorrichtung ist ein auf der vorderen geneigten Schiene gleitender Messingschlitten *e* getreten, dessen unterer Theil mit Blei ausgegossen ist und auf dessen horizontalem Boden sich mittelst der Klemmschrauben *n* festzustellende Metallkästchen *l* verschiedener Grösse

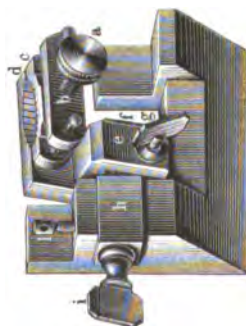
einsetzen lassen, in welche das Object durch ein passendes Mittel eingebettet wird. Die Ablesung mittelst Nonius gestattet noch Höhenunterschiede von 0,01 mm einzustellen. Das Messer *o* ruht auf der hinteren Schiene mittelst eines Schlittens *f*, welcher auf seiner oberen Fläche die excentrische Scheibe *g* trägt. Durch Drehung der letzteren lässt sich das erstere, welches unter einer Klemmschraube *i* eingefügt wird, in jede beliebige Stellung bringen und dann durch Anziehen der Klemmschraube und der axialen Schraube *h* der Scheibe befestigen. Um das Ausweichen des vorderen, federnden Theiles der Messerklinge bei stärkerem Widerstande im Objecte möglichst zu verhindern, wird ein Metallbügel mit geschlitztem Schwanztheile unter die Schraube *h* geschoben, während der vordere Theil sich im Bogen gegen das Messer legt. Ist nun das Messer in der entsprechenden Stellung festgestellt, so legt sich die den vorderen Theil des Bügels durchsetzende Stellschraube *k* beim Anziehen auf die Klinge, und stemmt sich deren Ausweichen nach oben mit der ganzen Kraft des Metallbügels entgegen, während zugleich der Schwerpunkt weiter nach vorn verlegt und ein festes Anlegen des Messers an die senkrechte Platte befördert wird.

- 376 **Dr. Spengel's Mikrotom.** Diese Abänderung des Rivet'schen Mikrotoms (Fig. 491) zeichnet sich durch mehrere wesentliche Verbesserungen aus, welche sich auf die Beweglichkeit des Objecthalters und die Stellung des Messers zur Schnittfläche beziehen. Der erstere (Fig. 491 II.) ist zwar in der Form der Klammer beibehalten, hat aber Bewegung nach zwei aufeinander senkrechten Richtungen erhalten. Durch eine Druckschraube *a*, deren Mutter *b* durch zwei Stifte mit dem festen Theile der etwas verkleinerten Klammer verbunden ist, wird der auf den beiden Stiften verschiebbare Backentheile *c* dem festen Backen *d* genähert und dadurch sichere Befestigung des Objectes erzielt. Die Klammer selbst ist mittelst eines senkrechten Armes *e* an einer zur Mittelplatte des Mikrotoms senkrecht stehenden Achse angebracht, deren Lager ein etwa winkelförmiger Klotz *f* bildet, welcher seinerseits mit einer zweiten zur Mittelplatte parallelen Achse in Verbindung steht, deren Lager durch einen mit dem Schlitten vereinigten Klotz *h* hergestellt ist. Mittelst der Achse *e* kann die Klammer in ziemlich weiten Grenzen nach der einen Richtung bewegt und durch die Klemmschraube *g* festgestellt werden, während deren Bewegung in der auf der ersten senkrechten Richtung durch die zweite Achse vermittelt und die Fixirung in der gewünschten Stellung durch die Klemmschraube *i* bewirkt wird. Auf diese Weise kann man dem Objecte in den genannten beiden Richtungen jede beliebige Neigung gegen die Horizontale geben und diese nach jeder Richtung hin nach Bedürfniss und unabhängig von der anderen corrigiren. Zum Zwecke bequemer Reinigung von Klammer und Schlitten ist der Klotz *h* mit dem letzteren derart beweglich verbunden, dass er nach Lösung der stählernen Druckschraube *l* abgenommen werden kann. Die Stellung der Messerklinge gegen die Schnittfläche wird einerseits

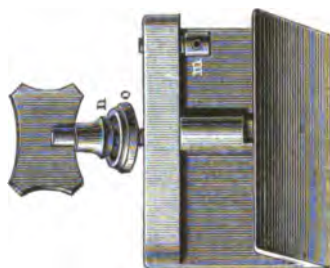
Fig. 491 I.



II.



III.



durch die Druckschraube *m* (Fig. 491 III.), andererseits dadurch regulirt dass die untere Fläche *n* der Klemmschraube die Gestalt eines Kugelabschnittes erhalten hat, welcher in eine entsprechende Pfanne der zwischen Messerstiel und Schraube eingeschalteten Platte *o* passt und sich in jeder beliebigen Stellung in dieser feststellen lässt. Durch diese Construction des Messerschlittens wird verhindert, einmal dass sich das freie Ende des Messers, welches durch die Schraube *m* nach Bedürfniss gehoben werden kann, tiefer neigt als das feste, und dann dass der Messerrücken unter einem grösseren Druck über die Schnittfläche nachschleift, was bei horizontaler Lage der Klinge immer der Fall ist, dagegen ausgeschlossen bleibt, wenn die Schneide etwas tiefer steht, als der Rücken.

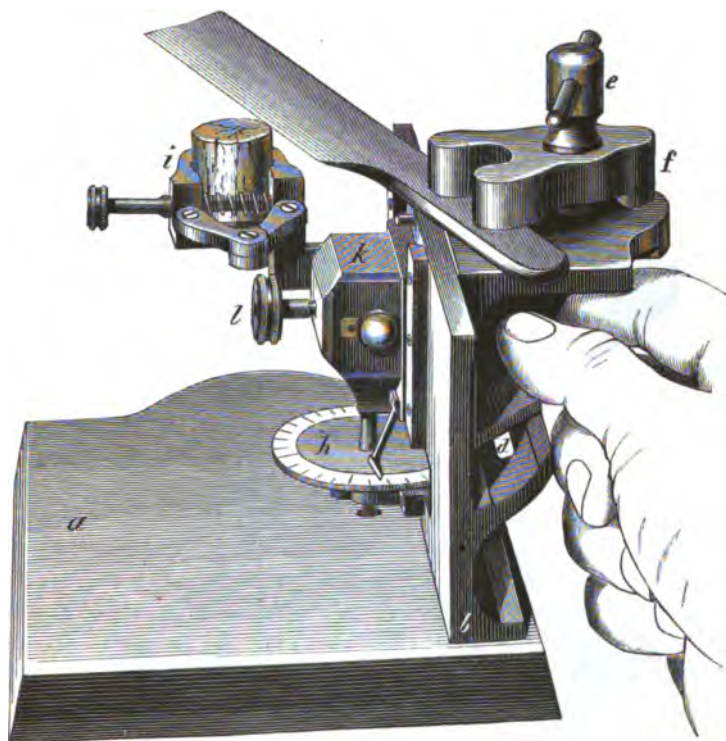
Bei dem vollkommeneren Modelle, welches unsere Abbildung darstellt, wird die Verschiebung des Objectschlittens mittelst Mikrometerschraube bewirkt, indem eine zur Seite der aufsteigenden Schiene angebrachte, 1 mm Ganghöhe besitzende Schraube ohne Ende *p* eine mit jenem verbundene Mutterschraube *r* derart bewegt, dass bei einer Drehung von *p* um einen Theilstrich der Trommel *s* die Verschiebung des Schlittens $\frac{1}{10}$ mm, die Hebung des Objectes aber, da die Länge der schiefen Ebene = 20 cm, $\frac{1}{300}$ mm beträgt. Um an jedem beliebigen Punkte der Länge mit dem Schneiden beginnen zu können, ist die Mutter *r* derart in zwei Stücke zerlegt, dass dieselbe gelöst und, nachdem die grobe Einstellung des Schlittens mittelst Schiebung geschehen ist, wieder angezogen werden kann.

Der Preis des Instrumentes beträgt in dieser Form mit Kasten und Messer 152 bis 156 Mark, in der Form ohne Mikrometerbewegung 75 bis 79 Mark.

377 Das grosse Mikrotom von Dr. Zeiss (Fig. 493). Dieses Mikrotom, welches seit Anfang 1880 geliefert wurde, hat in der letzten Zeit mehrere Veränderungen erfahren, die zugleich wesentliche Verbesserungen darstellen, so dass es in seiner neuesten Gestalt allen Anforderungen zu genügen im Stande sein dürfte. Auf der grossen, gusseisernen Fussplatte *a*, welche auf Wunsch mit Blei ausgegossen geliefert wird, erhebt sich die darauf festgeschraubte starke Messingplatte *b*, welche rechts die gehobelte, mit einem Schlitz *d* versehene horizontale Schiene trägt, auf welcher sich der mittelst einer Kopfschraube vor dem Herabgleiten gesicherte Messerschlitten bewegt. Die Befestigung des Messers, dessen Stiel mit der Schneide einen sehr stumpfen Winkel bildet und das mit Rücksicht darauf construirt ist, dass es leicht abgezogen werden kann, wird auf dem Träger mittelst der verstellbaren Klaue *f* und der Schraube *e* befestigt und es ist durch unterhalb der Klaue an dem Schlitten befestigte Stellschrauben die Klinge gegen die Schnittfläche in der gewünschten Weise neigbar. An der linken Seite der Platte *b* befindet sich der in zwei senkrechten Schienen laufende Höhengschlitten, an welchem der die Klammer *i* tragende Klotz *k* derart befestigt ist, dass er und damit auch die Klammer mittelst zweier zu einander senkrechter,

einzelnen durch Schrauben feststellbarer Zapfen in gleicher Weise in zwei zu einander senkrechten Richtungen geneigt werden kann, wie bei dem Spengel'schen Mikrotome. Die Bewegung des Höhengschlittens wird durch

Fig. 492.



die Mikrometerschraube *h* mit in 30 Grade getheilter Trommel bewirkt. Da nun die volle Umdrehung der Schraube den Schlitten um 0,3 mm hebt, so ergiebt ein Grad der Trommel 0,03 mm Hebung und es wird leicht möglich, durch Schätzung noch senkrechte Verschiebungen des Objectes um 0,01 mm und weniger vorzunehmen.

Auf Wunsch wird zu dem Mikrotom auch ein Gefrierapparat geliefert. Derselbe besteht aus einem dünnwandigen Metallkästchen, welches auf einem zur Verhinderung der Wärmezuleitung von der Masse des Mikrotoms her durch eine Filzlage von letzterem getrennten Träger mit Zapfen an Stelle der Klammer eingesetzt wird und in welches mittelst eines zur Seite des Mikrotomes aufgestellten Spritzapparates mit kleinem Gummibalseg zerstäubter Aether eingeblasen wird. Das auf die Deckplatte des Kästchens aufgelegte Object wird auf diese Weise zum Gefrieren und Anfrieren gebracht, so dass eine weitere Befestigung behufs des Schneidens nicht erforderlich wird.

Der Preis des Mikrotomes beträgt 110 Mark, während derjenige des Gefrierapparates sich auf 12 bis 15 Mark berechnet.

378 **E. Boecker's neues grosses Mikrotom** (Fig. 493). Dieses Mikrotom soll die Möglichkeit gewähren, sehr dünne Schnitte zu machen,

Fig. 493.



ohne dabei ein Zerreißen oder Quetschen der Gewebe herbeizuführen. Zu dem Ende hat das Messer durch doppelte Schlittenführung eine der beim Schneiden mit freier Hand ähnliche Bewegung, eine solide Befestigungsweise und eine zur Führungsrichtung des einen Schlittens S_1 sehr steile Neigung erhalten. Die feste Platte a ruht auf einem schweren rechteckigen Fusse und zwei von diesem aufsteigenden verhältnissmässig starken Rundsäulen dd und enthält die Hülse h , in welcher der das zu schneidende, zwischen Kork befestigte oder eingeschmolzene Object aufnehmende Cylinder r mittelst der mit Kreistheilung b und Index versehenen Mikrometerschraube bewegt wird. Auf der Platte a bewegt sich der untere Schlitten S mittelst eines an der Hülse h Führung erhaltenden Schlitzes in einer zur Längsachse aa der Platte senkrechten Richtung, während der obere Schlitten S' über dem unteren — in einer diesem eingeschnittenen Coulissee — durch den Griff g in gleicher Richtung mit aa verscho-

ben werden kann. Da dieser Schlitten einen schiefen, gleichfalls an der Hülse *h* Führung erhaltenden Ausschnitt besitzt, so bewirkt seine Verschiebung zugleich die des unteren Schlittens nach seitlicher Richtung hin und das Messer vollführt eine entsprechende diagonale Bewegung gegen die Schnittfläche. Das Messer *m* kann in der gewünschten Neigung gegen die Längsachse des oberen Schlittens an zwei Stellen befestigt werden, einmal an seinem Griffe auf dem mittelst der Schraube *f* in jeder beliebigen Richtung festzuklemmenden Winkel *k* durch die Flügelschraube *f'* und dann vorn mittelst der Flügelmutter *n*. Um für härtere und zartere Objecte das entsprechende Messer zur Hand zu haben, werden dem Mikrotom zwei Stück beigegeben, welche zu ihren Auflageflächen so geschliffen sind, dass Druck auf die Fläche des Präparates ausser der Schneide vermieden wird. Ein anschraubbares Heft dient zum bequemen Abziehen. Will man aus freier Hand schneiden, so benutzt man eine beigelegte Glasplatte, welche leicht auf dem oberen Schlitten befestigt werden kann. Ich selbst habe das Mikrotom, dessen Preis 80 Mark beträgt, noch nicht näher geprüft, da aber Herrn Boecker dessen Bruder Heinrich Boecker als sachkundiger Berather in diesen Dingen zur Seite steht, so dürfte dasselbe wohl den an ein derartiges Instrument zu stellenden Anforderungen genügen.

Scheeren. Von den kleinen Scheeren, die zur Anfertigung mancher Präparate mit Vortheil gebraucht werden können, hat man zwei Arten. Die eine Art gleicht ganz der gewöhnlichen anatomischen Scheere mit geraden Schenkeln, die andere, sogenannte Cooper'sche, besitzt über die Fläche gebogene Klingen. 379

Das Schleifen der Scheeren kann man gleichfalls selber besorgen. Es geschieht, indem man die Schenkel derselben auf dem Steine hin- und herzieht, und dabei darauf achtet, dass immer dieselbe Richtung eingehalten wird, d. h. dass sich die Längsachse des Steines und die des Schenkels stets unter demselben Winkel schneiden.

Stahlpincetten. Von Stahlpincetten braucht man in der Regel für feinere Präparationen nur zwei, eine solche mit feinen und eine solche mit breiteren Spitzen, die am besten auf der Innenseite nicht feilenartig gekerbt, sondern ganz glatt sind, indem sie auch so schon für die kleinen Objecte hinreichend Halt gewähren, dagegen diesen weniger Schaden zufügen, als im anderen Falle. Messingpincetten, wie man sie hier und da den Mikroskopen beigegeben findet, taugen durchaus nichts; ebenso sind die sogenannten Schieberpincetten nicht zu empfehlen; für manche Zwecke eignet sich dagegen eine Pincette mit gekrümmten Spitzen recht gut, namentlich wenn man kleine Objecte aus dem Wasser flacher Schalen nehmen will. 380

Apparate zur Herstellung von Knochenschliffen u. dergl. 381
Zur Präparation von harten Substanzen, wie von Knochen, Samenschalen u. dergl., bedarf man einer kleinen Uhrfedersäge, einiger feiner Feilen und mehrerer Schleifsteine.

Die erstere erhält man in jeder Werkzeughandlung unter dem Namen „Laubsäge“. Sie besteht aus einem stählernen Bügel mit Griff, an welchen das Blatt mittelst beweglicher Stahlbacken festgeschraubt wird. Derartige Blätter, die um einen sehr mässigen Preis zu haben sind, kann man mehrere von verschiedener Feinheit vorrätig haben, obwohl man in den meisten Fällen mit den etwas gröberen am besten zum Ziele kommt. Um die Abnutzung der rauh gehämmerten Innenseiten der Stahlbacken zu verhindern, empfiehlt Reinicke zwischen diese und das Sägeblatt ein Stückchen Kupferblech mit einzuschrauben. Solche Kupferplättchen kann man sich nöthigenfalls selber verfertigen, indem man eine kleine Kupfermünze auf einem Ambosse zu dünnem Blech schlägt und mit der Scheere passende Stückchen abschneidet.

Von den Feilen, die am besten flach sind, muss man mehrere besitzen, welche einen verschieden feinen Hieb haben. Man kann dieselben indessen, wenn man im Besitze geeigneter Schleifsteine ist, ganz entbehren, da die meisten Substanzen bei gehöriger Handhabung das Schleifen noch besser oder mindestens ebensogut ertragen, wie die Bearbeitung mittelst der Feile.

Als Schleifstein eignet sich für die erste Bearbeitung am besten ein drehbarer Stein, weil dadurch die Arbeit ausserordentlich gefördert wird. Ein solcher ist jetzt fast in jeder Stadt um billigen Preis in den Werkzeug- und Instrumentenhandlungen zu erstehen. Man wählt am zweckmässigsten einen solchen von etwa 15 cm Durchmesser und feinem, hartem Korne. Der Stein ruht in einem kleinen gusseisernen Troge, den man erforderlichen Falls an einen Tisch anschrauben kann. Man dreht ihn entweder mittelst der linken Hand an der daran befindlichen Kurbel oder bringt an der letzteren eine kleine Tretvorrichtung an, wenn man beide Hände frei zu haben wünscht.

Ausser diesem Steine gebraucht man noch einen harten Abziehstein, wozu sich am besten die sogenannten Arkansassteine eignen, welche seit Jahren in den Handel gebracht worden sind. Ebenso geeignet sind auch Steine aus verkieselten Hölzern. Ich selbst habe mir vor Jahren einen solchen zurecht schleifen lassen und gebrauche denselben mit Vortheil. Die Abziehsteine, welche man zur Schärfung seiner Messer gebraucht, sollte man nie für diese Arbeiten benutzen, da man sie immer mehr oder weniger verdirbt; sie eignen sich dazu ausserdem auch schon deshalb schlecht, weil sie zu weich sind und zu viel Schmutz absetzen.

382 Präparirnadeln. Eines der für die feineren Präparationen wichtigsten Werkzeuge des Mikroskopikers bilden die Präparirnadeln. Man benutzt solche von verschiedener Form, die einen mit gerader, die anderen mit gebogener feiner Spitze, oder mit einer kleinen messerartigen Schneide (Fig. 494). Zu den ersteren lassen sich ganz gut feine englische Näh-nadeln verwenden, welche man in einem Hefte befestigt. Die messerartigen muss man dagegen von dem Instrumentenmacher beziehen. Als Heft sind die gewöhnlichen Häkelnadelhalter ganz gut zu gebrauchen, bei

denen die Nadel mittelst einer Schraube festgehalten wird. Bequemer jedoch, als diese, deren Schraube beim Arbeiten oftmals hinderlich werden kann, sind solche Nadelhalter, deren Stiele am Ende einen metallenen kreuzförmig gespaltenen Ansatz besitzen (Fig. 495 a), in dem die eingesteckten Nadeln mittelst einer übergeschraubten Kappe festgehalten werden (Fig. 495 b). Man kann sich derartige Halter auch leicht selber fertigen. Zu dem Ende lässt man sich von dem Drechsler aus Linden- oder Cedernholz runde, den Stahlfederhaltern ähnliche Stäbchen drehen und befestigt die Nadeln darin auf folgende Weise. Man treibt die

Fig. 494.

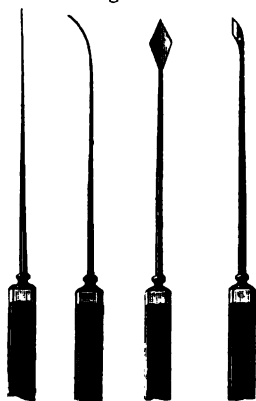
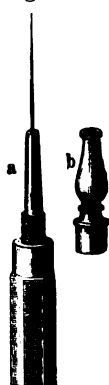


Fig. 495.



Spitze der mittelst eines kleinen Handschraubstockes oder einer flachen Drahtzange festgehaltenen Nadel etwa $\frac{1}{2}$ Zoll tief in das weiche Holz, bricht dann das Oesenende ab und schleift das Bruchende etwas zu. Hierauf zieht man die Nadel wieder aus dem Stäbchen und treibt sie mit dem dickeren Ende in das vorher durch die Spitze gemachte Loch, bis sie vollständig festsitzt. Das der Nadel zugewendete Ende des Stäbchens kann schliesslich nach Erforderniss mehr oder weniger zugeschnitten werden. Vor allem hat man bei der Befestigung der Nadeln in dem Hefte darauf zu sehen, dass die Spitze nicht zu weit heraussteht, weil sie sonst zu leicht federt. Dieselbe muss stets frei von Rost und hinreichend scharf erhalten werden, was man durch Schleifen auf dem Abziehsteine unter beständigem Umdrehen der Nadel leicht und vollkommen gut bewerkstelligen kann. Um dabei eine möglichst feine und reine Spitze zu erhalten, ist es zweckmässig, dieselbe während des Schleifens öfter unter der Lupe zu betrachten.

Schraubstöcke. Ein kleiner Handschraubstock dient 383
zweckmässig zum Festhalten solcher Gegenstände, die man mit der Hand nicht mehr leicht fassen kann, um davon zarte Durchschnitte zu gewinnen. Kleine, etwa injicirte Holzstückchen, nicht zu kleine harte Samen u. dergl. lassen sich damit recht gut festhalten. Dann eignet er sich auch zum Einklemmen solcher Objecte, welche zum Behufe der Anferti-

gung feiner Schnitte zwischen Hollundermark- oder Korkplättchen gelegt werden müssen, wovon später das Ausführlichere.

Bei der Bearbeitung sehr harter Gegenstände leistet ausserdem ein grösserer Schraubstock, der an den Tisch festgeschraubt wird, vortreffliche Dienste.

384 **Pinzel, Glasstäbe etc.** Einige feine und wohl gespitzte Haarpinzel dienen theils dazu, um die feinen Schnittchen von den Messerklingen aufzunehmen und an ihren Bestimmungsort zu bringen, theils finden sie bei der später zu besprechenden Auspinselung der Präparate Anwendung. Ferner bedarf man einiger stärkerer Pinzel zur Wegnahme überschüssiger Flüssigkeitsmengen. Zur Aufnahme von Schnitten u. dergl. aus Flüssigkeiten eignen sich die von H. Boecker, Thum u. A. angezeigten Präparirschaukelchen aus dünnem Platinblech ganz vortrefflich.

Glasstäbe, die man sich am Ende rund zugeschmolzen hat, werden benutzt, um kleine Mengen von Wasser oder chemischen Reagentien auf die Objectträger zu übertragen. Ausserdem bedarf man noch einiger anderer Glasgeräte und Porcellangefässe. Dahin gehören einige Glasglocken zum Abhalten des Staubes von fertigen Präparaten, eine Anzahl von Uhrschildchen oder Glasschildchen mit Deckel, theils um etwa darin fertige Schnitte unter Chlorcalcium, Glycerin, Alkohol etc. aufzuheben, theils um solche Schnitte der Einwirkung gewisser chemischer Mittel zu unterwerfen. Einige Kochröhren dienen vorzugsweise zum Aussüssen mancher Präparate, zum Digeriren kleinerer Gegenstände in Wasser, Weingeist u. dergl., zum Kochen von Pflanzentheilen in den später genannten Reactions- und Macerationsmitteln. Kleine — neben anderen auch ganz kleine sogenannte mikrochemische — Abdampfschalen, ebenso einige kleine Porcellantiegel lassen sich ebenso wohl bei den chemischen Reactionen, als bei der Vorbereitung der Objecte: Maceration, Einäscherung u. dergl. verwenden, und eignen sich namentlich die ersteren hierzu oft weit besser als Uhrgläschen. Zwei bis drei grössere flache Porcellangefässe, am einfachsten weisse Untertassen, nehmen die einen das bei der Beobachtung nöthige Wasser, die anderen die schon benutzten Objectgläser und Deckgläschen auf, um sie feucht zu erhalten und später leichter und vollständiger reinigen zu können. Endlich bedarf man sehr häufig einer kleinen Spritzflasche, wie man deren in jedem chemischen Laboratorium hat.

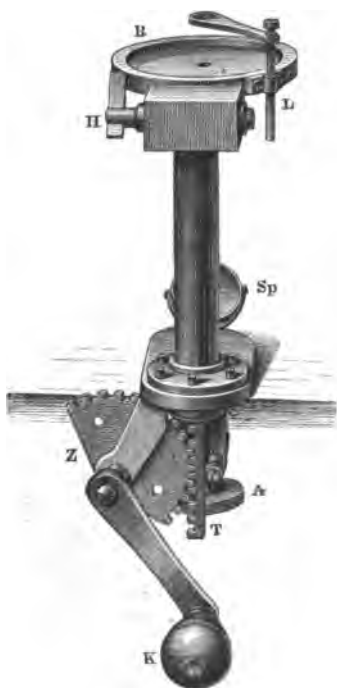
Eine grössere Spirituslampe, am besten aus Glas, wird vorzüglich bei den mikrochemischen Arbeiten sowie bei der Maceration benutzt. Zwei kleinere wird derjenige gebrauchen, welcher den oben beschriebenen heizbaren Objecttisch benutzt.

Um die Uhrschildchen, Kochröhren, Abdampfschälchen und Tiegelchen aufzunehmen, in denen man Präparate der Einwirkung der Wärme aussetzen will, bedarf man zweier Halter, eines solchen für kleine Abdampfschalen mit rundem Ring und eines anderen zum Festhalten der Reagenzcyylinder. Auch ein kleiner Dreifuss aus Messing mit Drahtnetz und mit

verschieden weiten Ringen wird in dieser Beziehung gute Dienste leisten und ist namentlich zu manchen Zwecken fast unentbehrlich.

II. Evacuirungs- und Injectionsapparate.

Luftpumpe. Zum Austreiben der Luft aus solchen Präparaten, wo oft kein anderes Mittel helfen will, ebenso zu der später zu besprechenden Injection von Pflanzentheilen etc. leistet eine kleine Luftpumpe ausgezeichnete Dienste. Dr. Zeiss hat zu diesen Zwecken schon vor einem Jahrzehnte eine recht zweckmässige, von mir in Max Schultze's Archiv (Bd. V, 1869) beschriebene Luftpumpe gebaut und deren Einrichtung in neuerer Zeit vervollkommenet. Dieselbe kann mittelst der Schraube *A* (Fig. 496) an den Arbeitstisch festgeschraubt werden. Das Präparat kommt in der Mitte durchbohrten, unten mittelst einer aufgekitteten und ausserdem noch durch eine angeschraubte Platte festgehaltenen, oben mittelst einer an den Rändern mit Fett bestrichenen, aufzulegenden Glasplatte beim Evacuiren luftdicht geschlossenen Recipienten *R* zu liegen, und kann während der letzteren Operation durch den Spiegel (*Sp*) beleuchtet und mittelst einer auf verschiebbarem Träger *L* ruhenden Lupe beobachtet werden. Der Steuerhahn *H* wird durch den linksseitigen Hebel mit der einen Hand regiert, während der Kolben mittelst des



durch eine Kurbel *K* zu bewegendes Zahnradsegmentes *Z* und der Zahnstange *T* auf- und abbewegt wird. Die Entleerung des Recipienten geschieht in der gleichen Weise wie bei der gewöhnlichen Luftpumpe und bedarf wohl keiner näheren Erläuterung; nur möge bemerkt werden, dass man, um diese möglichst vollkommen zu erzielen, bei den paar letzten Zügen den Recipienten nicht sogleich mit dem Stiefel in Verbindung setzt, wenn der Kolben seine höchste Stellung erreicht hat, sondern erst dann, wenn er schon wieder um 2 bis 4 cm herabgezogen ist. Soll nach beendigter Arbeit wieder Luft in den Recipienten gelassen werden, so bringe man denselben, während der Kolben tief gestellt ist, nur ganz allmählig mit dem Stiefel in Verbindung. Die Abnahme der oberen Deckplatte

geschieht, um die Beschmutzung derselben durch das am Rande aufgestrichene Fett zu verhindern, dadurch, dass man bei der eben bezeichneten Stellung des Steuerhahnes der ersteren ein paar Finger auflegt und den Kolben langsam in die Höhe schiebt, so dass sie der Luftdruck abhebt.

Geht der Kolben nach längerem Gebrauche etwas zu leicht, so nimmt man ihn heraus, steckt ihn in Wasser von 40 bis 50° C. und bestreicht ihn dann mit etwas reinem Talg oder Olivenöl, wobei darauf zu achten ist, dass man kein Uebermaass dieser Substanzen anwendet,

Fig. 498.

weil dadurch beim Gebrauch die feinen Luftwege sich leicht verstopfen könnten und die Pumpe für den Augenblick unbrauchbar gemacht werden würde.

Man bedarf indessen nicht immer dieses allerdings von weniger Uebelständen begleiteten und bei dem Wegfall der bei einfacheren Instrumenten in Anwendung kommenden Ventile sicherer wirkenden aber auch kostspieligeren Apparates (75 Mark), sondern kann sich auch vielfach mit einer einfacheren Luftpumpe zum Preise von 12 bis 18 Mark behelfen.

Ich selbst habe, bevor ich die ältere Form der Zeiss'schen Luftpumpe besass, eine solche in der von Schacht angewendeten Form (Fig. 497) vielfach mit gutem Erfolge benutzt. Es ist dies eine Ventilluftpumpe mit etwa 15 cm langem Stiefel, an dessen unteres Ende die glockenförmigen Recipienten angeschraubt werden, deren man einige von verschiedener Grösse besitzen muss. Einige Kolbenstösse sind in der Regel hinreichend, um die Luft aus einem Präparate, das im Wasser liegt, zu entfernen, so dass es in dem letzteren zu Boden sinkt. Zur Injection bedarf es gewöhnlich eines etwas länger andauernden Auspumpens.

Noch einfacher und weniger kostspielig ist die von Unger in seiner Anatomie und Physiologie der Pflanzen empfohlene kleine Injectionspumpe (Fig. 498), die man sich mit wenig Mühe und um geringen Preis

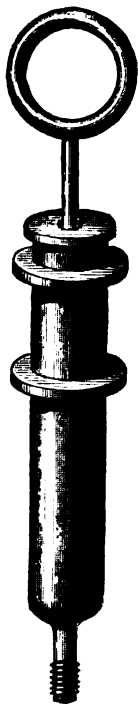
Fig. 497.



selbst anfertigen kann, die indessen auch den genannten Zwecken nicht in so vollkommenem Maasse entspricht, wie das andere Instrumentchen. Dieselbe besteht aus einer 25 bis 30 cm langen, 20 bis 25 mm weiten, unten zugeschmolzenen Glasröhre, in der sich ein luftdicht schliessender, mit einem nach oben sich öffnenden Ventil versehener Kolben auf- und abbewegen lässt.

Injectionenapparate. In der thierischen Histologie werden die Injectionenapparate vielfach in Gebrauch genommen. Die ausgedehnteste Verwendung findet unter diesen Vorrichtungen die Injectionsspritze (Fig. 499), welche man je nach Grösse und weiteren Zugaben um 10 bis

Fig 499.



20 Mark erhält. Wer sich vielfach mit Injectionen thierischer Präparate befasst, muss davon mindestens zwei von verschiedenem Inhalt und mit einer nicht zu kleinen Anzahl verschieden — 2 mm bis einige Bruchtheile des Millimeters — weiten Canülen besitzen, da sich kleine Spritzen ebensowenig zur Injection grösserer Gefässe als eine grosse zur Ausfüllung der zartesten und feinsten Blutbahnen eignet. Man muss das Instrument in der Regel vom Instrumentenmacher beziehen, da zur Aushilfe oder zum Ersatz der eigentlichen Spritze bestimmte einfachere Apparate doch nur höchst selten ihrem Zweck entsprechen. Ich beschränke mich daher hier auf dessen Erwähnung und Abbildung, ohne mich auf eine nähere Beschreibung seiner Einrichtung und Behandlung einzulassen, welche füglich in einem der folgenden Abschnitte ihren Platz finden kann.

Wo ein gleichmässiger und nicht zu starker, langsam wirkender Druck zur Injection feiner Organe erfordert wird, da reicht die Injectionsspritze nicht mehr aus und es müssen Injectionenapparate mit constantem, regulirbarem Druck zur Anwendung kommen.

Einen einfachen derartigen Apparat, Fig. 500 (a. f. S.), kann man sich aus einer zur Aufnahme der Injectionsmasse bestimmten nicht zu engen graduirten

Trichterröhre herstellen, welche von einem passenden Stativ *a* getragen und mit einem Kautschukschlauch *c* verbunden wird, der an seinem anderen Ende eine für die Canülen passende Metallröhre *d* mit Hahn befestigt enthält.

Die vollkommeneren Vorrichtungen dieser Art beruhen auf der Verwendung des Druckes einer durch Quecksilber abgesperrten Luftsäule, wie es bei dem in Fig. 501 (a. f. S.) dargestellten Toldt'schen Apparate der Fall ist. Derselbe besteht aus der mit einer oben von besonderem Stativ *h, f* gehaltenen, graduirten Trichterröhre *d* in Verbindung stehenden, am Boden mit einer verschliessbaren Ausflussöffnung *g* versehenen, theil-

weise mit Quecksilber gefüllten Flasche *B*, welche mittelst zweier knieförmig gebogenen, durch eine Kautschukröhre verbundenen Glasröhre *cb*, mit der die Injectionsmasse enthaltenden Flasche *A* in Verbindung steht. Der Ausfluss der Injectionsflüssigkeit wird durch die knieförmig gebogene bis nahe auf den Boden der Flasche *A* reichende Glasröhre vermittelt, welche ihrerseits durch den Kautschukschlauch *i* mit der Canüle *k* verbunden ist. Die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre *d* bestimmt die Stärke

Fig. 500.

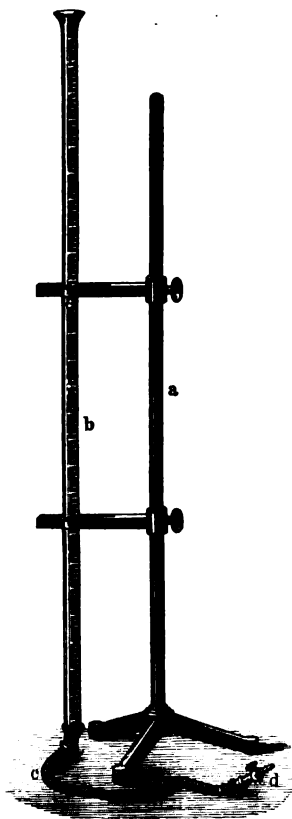


Fig. 501.



des Drucks und es kann derselbe durch Nachgiessen neuen Quecksilbers bei *e* auf annähernd gleicher Höhe erhalten werden.

Noch vollkommener wie der vorgenannte erfüllt der Apparat für kleinen Druck von Ludwig (Fig. 502) die Bedingungen für die erforderliche Gleichmässigkeit und die Möglichkeit der Regulirung der Stärke des Druckes. Im Principe stimmt er mit dem vorigen überein, unterscheidet sich aber dadurch, dass die Druckstärke durch die senkrechte Verschiebbarkeit des das Quecksilber enthaltenden Gefässes *Hg* an dem dasselbe tragenden Stativ mittelst Schraubenkurbel regulirt und mittelst

eines neben der die comprimirte Luft enthaltenden Flasche angebrachten Manometers gemessen werden kann. Ausser den genannten sind noch eine Reihe anderer namentlich für höheren Druck und die Erwärmung nicht kaltflüssig verwendbarer Injectionsmassen berechneter, zum Theil

Fig. 502.



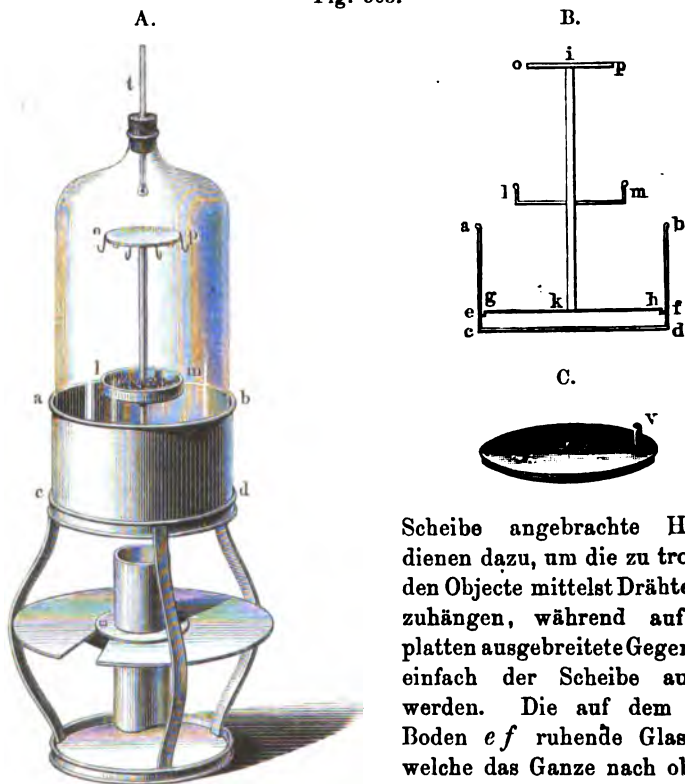
ziemlich complicirter Apparate erdacht und ausgeführt worden, die wir — da sie meist ganz besonderen Zwecken dienen sollen — nicht näher berücksichtigen können und für deren Kenntniss wir auf die Specialliteratur verweisen müssen.

III. Trockenapparat.

Einen weiteren, für den Histologen wünschenswerthen Apparat 387 dürfte der von Harting (Mikroskop Seite 383) empfohlene Trockenapparat (Fig. 503, a. f. S.) bilden, der nicht allein den Staub von den zu trocknenden Objecten abhält, sondern auch die Regulirung der anzuwendenden Wärmegrade gestattet. *abcd* ist ein runder, oben offener Behälter aus Eisenblech, der zwei Böden *cd* und *ef* besitzt, von denen der letztere bloss auf einem Vorsprunge liegt und entfernt werden kann, und deren Zwischenraum mit Sand gefüllt wird. Auf dem oberen Boden liegt der runde Fuss *gh* (Fig. 503 B) auf, in dessen Mitte sich die

Säule *ik* erhebt. An letzterer ist etwa im ersten Drittheil ihrer Höhe das runde Kästchen *lm* befestigt, welches mit Chlorcalcium gefüllt wird, während deren Spitze die runde Scheibe *op* trägt. Ein paar an dieser

Fig. 503.



Scheibe angebrachte Haken dienen dazu, um die zu trocknenden Objecte mittelst Drähten aufzuhängen, während auf Glasplatten ausgebreitete Gegenstände einfach der Scheibe aufgelegt werden. Die auf dem oberen Boden *ef* ruhende Glasglocke, welche das Ganze nach oben bedeckt, nimmt in ihrem Halse das

Thermometer *t* auf. Der untere aus Messing bestehende Boden ruht entweder auf einem fest damit verbundenen Fussstück oder wird auf einem Dreifuss befestigt. Als Wärmequelle dient eine Argand'sche Lampe oder noch besser eine kleine Steinöllampe, wie man sie jetzt häufig als Nachtlampe benutzt.

IV. Objectträger und Deckgläser.

388 Die Objectträger, welche dem zur Beobachtung hergerichteten Gegenstände als Unterlage dienen, müssen aus möglichst reinem, blasenfreiem Glase bestehen. Sehr gut eignen sich zur Herstellung derselben Abfälle von Spiegelglas, welche man sich leicht um geringe Kosten in grosser Menge verschaffen kann. Auch das in neuerer Zeit hierzu ver-

wendete reine Salinglas ist dem gewöhnlichen Glase weit vorzuziehen. Das Glas darf nicht zu dünn sein, weil es sonst leicht zerbrechlich ist; ebenso soll es aber auch nicht über 2 mm Dicke haben. Ob seine Farbe rein weiss ist, oder einen Stich ins Grüne oder Blaugrüne hat, kommt nicht sehr in Betracht.

Zwei der wesentlichsten Eigenschaften der Objectträger machen Form und Grösse aus. Es kommen bei Bestimmung derselben mancherlei Gründe in Betracht, die sowohl für die unmittelbar bei der Beobachtung benutzten Gläschen, als bei denen, welche zur Aufbewahrung von Präparaten bestimmt sind, Geltung haben. Zunächst soll der Objectträger eine Grösse und Form haben, die es ermöglichen, nicht gar zu kleine Präparate darauf mit Bequemlichkeit unterbringen und mit einem passenden nicht zu kleinen Gläschen bedecken zu können. Dann muss er es gestatten, alle diejenigen Operationen auf ihm ohne Beengung auszuführen, welche unter dem einfachen oder zusammengesetzten Mikroskope vorgenommen werden müssen, um entweder das Object vollständig zur Beobachtung vorzubereiten, oder um ihm im Laufe der Untersuchung möglichst viele Seiten abgewinnen zu können. Er darf aus diesen Gründen namentlich nicht zu schmal sein. Ferner ist darauf zu sehen, dass der Objectträger mit Leichtigkeit und Bequemlichkeit unter dem Mikroskope gehandhabt, namentlich ohne Beengung und ohne Gefahr des Ueberkippens auf dem Objecttische bewegt werden kann. In dieser Beziehung ist namentlich das Hervorragen über den Rand des nicht zu kleinen Objecttisches zu vermeiden, also für die Länge des Glastäfelchens ein entsprechendes Maass zu wählen. Endlich ist eine möglichst geringe Zerbrechlichkeit und eine solche Form erwünscht, welche den Objectträger bequem und gefällig in die Präparatensammlung einordnen lässt und dabei gestattet, neben dem Präparate die nothwendigen Bezeichnungen anzubringen. Das Verhältniss zwischen Länge und Breite wird durch die letzteren Erwägungen namentlich bestimmt.

Als unter allen Umständen unbequem und wenig zweckmässig sind die unverhältnissmässig langen und schmalen Objectträger zu erklären, wie sie früher fast allgemein angewendet wurden und wie sie noch gegenwärtig unter der Bezeichnung „englisches Format“ ausgegeben und von manchen Seiten verwendet werden. Namentlich sind dieselben bei der eigentlichen Beobachtung unbequem zu gebrauchen. Ich habe diese Form daher schon seit nahezu 30 Jahren verlassen und mich für Objectträger von 45 mm Länge und 30 mm Breite entschieden, eine Grösse, die auch von H. v. Mohl empfohlen worden ist. Der Objectträger vereinigt bei dieser Grösse und Form alle Eigenschaften, welche man von ihm fordern kann, und werden sich nur wenige Präparate finden, zu deren Aufbewahrung er zu klein erschiene. Selbst in Betreff des Schönheitsgefühles muss ich dieser Form den Preis zuerkennen, und ist es mir kaum begreiflich, wie man aus Gründen der Eleganz Objectträger empfehlen kann, bei denen das Verhältniss der Breite zur Länge gleich 1 : 3 ist.

Das von dem Giessener Tauschverein vorgeschlagene Format besitzt eine Länge auf 48 mm und eine Breite von 28 mm. Ich halte übrigens die etwas grössere Breite von 30 mm und die oben angegebene Länge noch für passender. Wer sich indessen mit dem genannten Vereine in Verkehr setzen will, der wird sich an das von ihm bestimmte Maass halten müssen.

Für manche dickere Gegenstände, die man unter Wasser oder anderen Flüssigkeiten zu beobachten wünscht, eignen sich Objectträger mit concavem Ausschliff. Dieselben werden jetzt allgemein von den Präparatenhandlungen und von den Optikern geliefert, sind aber immer etwas theuer. Man kann sich ähnliche Objectträger selbst anfertigen, wenn man in der Mitte der gewöhnlich gebrauchten einen kreisförmigen Wall von irgend einem Lack, von Wachs oder Kitt anbringt.

Die von einzelnen Mikrographen empfohlenen Glaströge etc. zum Präpariren mancher Gegenstände sind für die allermeisten Fälle ganz und gar entbehrlich, und bilden mehr einen Luxusapparat, als ein nothwendiges Hilfsmittel.

389 Deckgläser. Zum Bedecken der unter Wasser oder anderen Flüssigkeiten zu beobachtenden Objecte verwendet man kleine quadratische oder rechteckige Täfelchen aus dünnem, blasenfreiem und ebenem Glase, welche — wie die Objectträger verschiedener Form und aus verschiedenen Glassorten — in verschiedener Grösse und Dicke um einen verhältnissmässig geringen Preis von den Optikern oder auch von den jetzt ziemlich zahlreich vorhandenen mikroskopischen Instituten [Boecker in Wetzlar, H. Vogel in Giessen, Hartig, Stender, Schneider, Thum u. A. in Leipzig, E. Kaiser, Getschmann, Klönne und Müller in Berlin, Rodig in Hamburg, Möller in Wedel (Holstein) etc.] bezogen werden können.

Es ist gut, wenn man Deckgläser von verschiedener Dicke vorrätig hat, um damit je nach Bedürfniss wechseln zu können. Für die schwächeren Objectivsysteme eignen sich solche von 0,3 bis 0,25 mm, während man bei den stärkeren und stärksten in der Regel zu noch dünneren von etwa 0,2 bis 0,1 mm greifen muss.

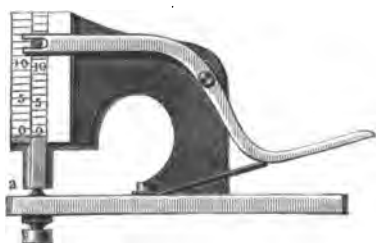
Was die Grösse der zu verwendenden Deckgläschen betrifft, so ist eine solche von 15 bis 18 mm Seite im Quadrat bei der Beobachtung entschieden einer kleineren vorzuziehen. Kleinere Gläschen von 10 bis 12 mm im Quadrat können dagegen oft recht gut bei der Aufbewahrung von Präparaten gebraucht werden, und es haben dieselben vor den grösseren sogar den Vorzug, dass der luftdichte Verschluss bei ihnen weit leichter gelingt, als bei jenen. Für stärkere Objectivsysteme mit breitem Rande und kurzem Focalabstand haben dieselben dagegen den Nachtheil, dass man, namentlich wenn das Präparat nicht ganz in der Mitte liegt, auf den Wall von Lack oder Firniss aufstösst und oft das Objectiv nicht in dem erforderlichen Maasse dem Gegenstande zu nähern vermag, so dass sich für zartere, stärkere Vergrösserungen verlangende Präparate

unter allen Umständen die erstgenannte Grösse der Deckgläschen empfehlen dürfte.

Deckglasmesser. Für alle Objectivsysteme mit grosser numerischer Apertur von etwa 6 bis 7 mm Brennweite an, welche keine Correctionfassung besitzen, ist es erforderlich, die Dicke des Deckglases zu ermitteln, weil dieselben nur bei einer bestimmten Stärke desselben, bei welcher sie justirt worden sind, das vollkommenste Bild gewähren. Aber auch bei den Correctionssystemen bildet es eine nicht zu unterschätzende, manchen Zeitverlust ersparende Bequemlichkeit, wenn die Deckglasdicke der zu beobachtenden — etwa getauschten — Dauerpräparate angegeben ist, oder wenn man sich während der Beobachtung von derjenigen der anzuwendenden Gläser sofort Kenntniss verschaffen kann. Diesen Zwecken dienen die in dem letzten Jahrzehnte ersonnenen sogenannten „Deckglastaster“. Als sehr zweckmässig kann ich das hierneben abgebildete (Fig. 504) von Zeiss in Jena erfundene und

Fig. 505.

Fig. 504.



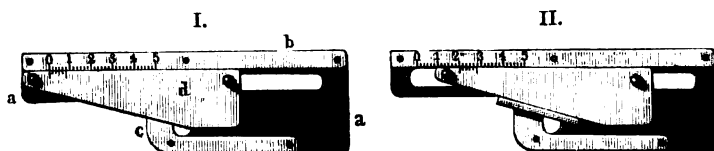
um den Preis von 9 Mark (nebst Etui) abzulassende Instrumentchen empfehlen. Man schiebt bei der Messung das Deckgläschen bei *a* ein, wodurch der durch eine mittelst Feder regulirte Hebelvorrichtung verschiebbare Nonius um dessen Dicke gehoben wird. Das Maass liest man mit Hilfe seiner und der festen Scala ab, wobei leicht noch Bruchtheile des Zehntelmillimeters zu schätzen sind.

Eine etwas weniger einfache, aber bequeme und sehr genaue Messungen ergebende Einrichtung, wie sie E. Leitz, Zeiss, Reichert und E. Boecker zu 10 bis 12 Mark liefern (Fig. 505), besteht aus einer in 100 Grade getheilten Kreisscheibe *b* und der Säule *a*, in deren Mitte sich eine mit Zeiger verbundene unter die Platte *b* hinab und durch den Bügel gehende, zur Regulirung des Druckes (Vermeidung von Bruch) mittelst einer gezahnten (bei *c*), in eine feststehende Verzahnung der Schraubenspindel greifenden federnden Hülse arretirbare Schraube

dreht. Zum Messen der Dicke eines Deckglases D wird diese zwischen das untere Ende dieser Schraube und den am unteren Arme des Bügels nach oben vorragenden Stahlknopf gebracht und die vorher emporgedrehte Schraube zurückgedreht, bis sie das Deckglas berührt. Der Abstand des Zeigers von dem Nullpunkt (nach links herum abgelesen) giebt dann die Dicke an, welche, da eine volle Umdrehung 0,5 mm beträgt, direct bis auf 0,005 mm abgelesen werden kann.

Der Deckglastaster von Schönmann beruht auf dem Principe der schiefen Ebene. Auf einer Messingplatte a (Fig. 506) ist an der grösseren

Fig. 506.



Längsseite die 7,5 mm lange, mit einer in halbe Millimeter getheilte Skala versehene Schiene b befestigt, während sich an der kürzeren ein nach vorne gebogenes, an seinem kurzen Schenkel schief abgeschnittenes Messingstück c befindet. Zwischen diesen beiden Stücken lässt sich in einem Schlitze der Platte a der mit Nonius versehene Keil d mittelst zweier Knöpfe vor- und rückwärts schieben und es steht, wenn dessen schiefe Fläche die schiefe Kante des Messingstückes c berührt, der Nullpunkt des Nonius auf dem Nullpunkte der Skala. Soll nun ein Deckglas gemessen werden, so schiebt man den Keil soweit zurück, dass sich ersteres leicht zwischen die beiden schiefen Kanten legen lässt und geht dann ruhig und sanft wieder soweit vor, bis sich Hemmung der Bewegung im Gefühle der Hand kundgiebt. Der Abstand der beiden Nullpunkte (Fig. 506 II.) giebt nun die Dicke derart, dass die Hauptstriche der Skala ganze, die kleinen Striche zehntel, der Nonius aber hundertstel Millimeter anzeigen. Der Preis des Apparates, welcher von Warmbrunn, Quilitz & Co. in Berlin bezogen werden kann, beträgt 13,50 Mk.

Zweites Capitel.

Zusatzflüssigkeiten und Reagentien.

I. Zusatzflüssigkeiten.

Unter Zusatzflüssigkeiten hat man alle jene Flüssigkeiten zu verstehen, welche bei der mikroskopischen Beobachtung selbst zur Einhüllung des Objectes dienen. Je nach den Zwecken, welche man zu erreichen beabsichtigt, wird die anzuwendende Zusatzflüssigkeit eine andere sein müssen, und muss eine bestimmte Entscheidung für eine solche von vorausgegangenen Versuchen oder von den genauesten Erwägungen über die Beschaffenheit des zu untersuchenden Gegenstandes abhängen. Am häufigsten finden wässrige Flüssigkeiten, fette und flüchtige Oele sowie flüssige Harze Verwendung. 391

Wasser. Die bis jetzt am meisten in Gebrauch gewesene Zusatzflüssigkeit ist das Wasser. Es ist in dieser Beziehung von vielen Seiten vorgeschlagen worden, nur destillirtes Wasser zu verwenden. Häufig reicht man indessen auch mit einem reinen und klaren Bach- oder Brunnenwasser aus und in einzelnen Fällen ist dieses sogar dem destillirten Wasser vorzuziehen, weil es weniger verändernd auf die Objecte wirkt als ganz reines, säure- und salzfreies Wasser. Wo man nicht leicht grössere Mengen destillirten Wassers haben kann, da verschafft man sich dieselben leicht während des Winters. Sammelt man zu dieser Jahreszeit auf dem freien Felde Schnee, lässt diesen aufthauen, und filtrirt, so erhält man ein dem destillirten in Nichts nachstehendes Wasser, welches sich in gut und luftdicht schliessenden Flaschen lange Zeit aufheben lässt, ohne zu verderben. Im Sommer thut im Freien aufgefangenes und filtrirtes Regenwasser dieselben Dienste. Brunnenwasser, welches etwa zu reich an Kalksalzen sein sollte, kann man durch Abkochen verbessern. 392

Das Wasser ist indessen nicht für alle Fälle eine geeignete Zusatzflüssigkeit, indem es auf eine ganze Reihe zarterer pflanzlicher und namentlich auf fast alle thierischen Gewebe, sowie auf die Inhaltsbestandtheile der dieselben zusammensetzenden Zellen, die beide aus leicht löslichen und diffundirenden Krystalloid- und der Duffusion nur in geringem

Maasse fähigen Kolloidsubstanzen (Graham) gebildet werden, mehr oder minder starke Einwirkungen äussert. Von den meisten, aus härterem Gewebe und Gewebetheilen bestehenden Präparaten aus der Pflanzenhistologie wird es indessen gut vertragen. Dasselbe gilt für eine kleinere Reihe von thierischen Geweben, auf welche später zurückzukommen ist.

393 Indifferente wässrige Flüssigkeit. Für zarte in der Entwicklung begriffene Pflanzengewebe habe ich nach meinen Erfahrungen bis jetzt als nicht eingreifende höchst verdünnte Gummilösung, ebenso Kochsalz-, Zucker- und Eiweisslösung meistens vollkommen ausreichend gefunden. Die Untersuchungen in der thierischen Entwicklungsgeschichte und Gewebelehre erfordern dagegen, wie uns die neuesten Forschungen auf diesen Gebieten belehren, eine noch weit sorgfältigere Beachtung der jeweiligen Zusatzflüssigkeit. Hier müsste eigentlich der von Harting schon früher und dann auch von Anderen ausgesprochene Grundsatz in Anwendung kommen, dass man jedes lebend oder doch in unverändertem Zustande zu beobachtende Gewebe möglichst in derselben Flüssigkeit untersuchen solle, von welcher das lebende Gewebe umspült und durchtränkt wird oder doch nur eine solche Zusatzflüssigkeit verwenden möge, welche sowohl nach Art, als nach Menge ihrer Bestandtheile jener gleichkomme. Allein die strenge Durchführung dieses Grundsatzes, der bei den besonderen Untersuchungsmethoden Berücksichtigung finden soll, findet in der Ausübung gar mancherlei Hindernisse. Und so muss es sich denn der Mikroskopiker angelegen sein lassen, in den genannten Fällen möglichst indifferente, d. h. die Gewebe und deren Bestandtheile möglichst wenig oder gar nicht verändernde Zusatzflüssigkeiten anzuwenden und für jeden einzelnen Fall eben diejenige herauszufinden, welche keine, oder doch nur eine geringe Einwirkung auf das Object übt. Man hat von solchen indifferenten Zusatzflüssigkeiten in neuester Zeit Glaskörperflüssigkeit, Blutserum, Fruchtwasser, ebenso Eiweisslösung, sowie höchst verdünnte 1- bis 1½ procentige Salz- und Zuckerlösungen empfohlen und verwendet, wobei dem Mikroskopiker in Bezug auf die Bewahrung solcher bekanntlich leicht verderbenden Flüssigkeiten der Umstand zu statten kommt, dass thierische Flüssigkeiten leicht und lange Zeit hindurch vor Zersetzung bewahrt werden können, wenn man denselben ein Stückchen Kampher, etwas Chloralhydrat oder einige Naphtalinsplittchen zugiebt, oder dieselben mit einigen Tropfen Carbolsäure, mit Jodtinctur oder einer Auflösung von Jod in Jodwasserstoffsäure versetzt. Allein auch diese Flüssigkeiten, welche in ihrem Gehalte an oben genannten Substanzgruppen verschieden sind, erfüllen nicht überall und in gleichem Maasse die zu stellenden Anforderungen und muss man in Bezug auf ihre Auswahl und Concentration mit Vorsicht zu Werke gehen. Als eine alle anderen der genannten übertreffende, der allgemeinsten Anwendung fähige Zusatzflüssigkeit ist von Professor Max Schultze das Fruchtwasser von jungen Wiederkäuer-Embryonen erkannt und empfohlen worden. Dasselbe lässt sich durch Zusatz von Jodtinctur, Jod in Sub-

stanz oder Jodwasserstoffsäure vor Fäulniss bewahren und selbst monate- bis jahrelang aufbewahren. Um das richtige Maass des zuzusetzenden Jodpräparates zu treffen, dient als Anhaltspunkt entweder die Färbung oder der Geruch. Sobald die Flüssigkeit, von Schultze „Jodserum“ genannt, die Farbe eines normalen Urines angenommen hat und der Geruch nach Jod sich geltend zu machen beginnt, ist von den Jodpräparaten die genügende Menge vorhanden.

In grösseren Städten hat man leicht Gelegenheit, zureichende Mengen von Fruchtwasser der Wiederkäuer zu erhalten; in kleineren Orten geht dies aber weniger an. Hier wird man sich meistens mit künstlich bereitetem Jodserum behelfen müssen. Beachtet man dabei genau die Mengen von Wasser, Eiweiss, Salzen etc., welche an der Zusammensetzung des Fruchtwassers Theil nehmen, so lässt sich leicht eine geeignete Flüssigkeit herstellen und in derselben Weise vor Verderbniss bewahren, wie es eben angegeben wurde. Ich selbst habe mich mehrfach bei einzelnen, mit meinen Arbeiten über Zellstructur und Zellbildung correspondirenden Untersuchungen aus der thierischen Histologie solcher Mischungen bedient und war von der Brauchbarkeit vollständig befriedigt. Die von mir verwendete Mischung besteht je nach Umständen aus 1000 Gran destillirtem Wasser, 25 bis 100 Gran flüssigem Hühnereiweiss und 5 bis 10 Gran Kochsalz mit dem erforderlichen Zusatz von Jod.

Für solche Objecte, namentlich vegetabilische, deren Inhaltskörper (Proteinkörner u. dergl.) durch Wasser oder wässrige Zusatzflüssigkeit Veränderungen und Umbildungen erleiden und ihr Aussehen ganz und gar verändern, kann mit Vortheil ein reines — nicht ranziges — fettes Oel (Olivöl, Mandelöl, Ricinusöl) als Umhüllungs- (und auch als Aufbewahrungs-) flüssigkeit verwendet werden.

Aufhellende Flüssigkeiten. Manche Gegenstände besitzen, wenn man dieselben unter Wasser oder unter einer der genannten wässrigen Flüssigkeiten beobachtet, eine zu geringe Durchsichtigkeit, um ihre Structurverhältnisse mit hinreichender Klarheit erkennen zu lassen und man umgibt sie mit einem Mittel, welches das Licht stärker bricht, als jene. Andere Objecte verlangen auch bei ausreichender Durchsichtigkeit zum deutlichen Sichtbarmachen feinerer Einzelheiten ihrer Structur (siehe S. 396) eine Zusatzflüssigkeit, welche in ihrem Brechungsvermögen bedeutend mehr abweicht als die genannten, und zwar eine solche, deren Brechungsindex bedeutend darunter bleibt (Luft) oder weit darüber hinausgeht. 394

Für Objecte, welche von Wasser mehr oder minder durchdrungen erscheinen, eignet sich als Zusatzflüssigkeit vor allen anderen das Glycerin, welches einen Brechungsexponenten von 1,475 besitzt, während jener des Wassers gleich 1,336 ist. Je nach Bedürfniss kann das Glycerin noch mit Wasser verdünnt werden, wodurch der Brechungsexponent im Verhältniss zu dem Mischungsverhältnisse herabgedrückt wird. So ist z. B. derjenige einer Mischung aus gleichen Theilen Glycerin und destil-

lirtem Wasser gleich 1,40. Für trockene Gegenstände oder solche, welchen ohne Nachtheil ihr Wasser entzogen werden kann, verwendet man fette oder flüchtige Oele, oder auch Lösungen von Harzen, jenachdem das Object eine Zusatzflüssigkeit von grösserer oder geringerer Brechkraft verlangt.

Von den flüchtigen Oelen und anderen stark brechenden Flüssigkeiten sind es vorzugsweise Terpentinöl, Citronenöl, Nelkenöl, und Anisöl, Cassiaöl, Phenyl-Senföl, Monobrom-Naphtalin mit Brechungs-exponenten von 1,476, 1,527, 1,57, 1,64, 1,655 und 1,658, welche man bisher als Zusatzflüssigkeiten benutzt hat, von denen das Nelkenöl mit den aufhellenden Eigenschaften noch einige andere verbindet, die ihm eine ausgedehnte Anwendung für den Mikroskopiker sichern.

II. R e a g e n t i e n .

395 Die mikrochemischen Reagentien, deren Zahl sich in der neuesten Zeit nicht unbedeutend vermehrt hat, dienen zu mancherlei Zwecken, und haben im Allgemeinen in der Praxis des Mikroskopikers einen verhältnissmässig viel weiteren Wirkungskreis als in dem Laboratorium des Chemikers. Zunächst dienen dieselben dazu, um über die chemische Beschaffenheit und Zusammensetzung einzelner Inhaltspartieen organischer sowohl als anorganischer Natur, sowie gewisser Gewebe und Gewebetheile Aufschluss zu geben, und nur soweit ist ihre Anwendung eine der im Laboratorium gepflogenen ähnliche. Dann aber werden sie auch vorzugsweise gebraucht, um ganze Gewebe in einen für die Beobachtung und die Präparation geeigneten Zustand zu bringen, um miteinander innig verbundene Elementarorgane durch ihre Einwirkung theils wirklich von einander zu trennen, theils für das beobachtende Auge insofern von einander zu scheiden, als sie durch ihre verschiedenen Eingriffe in deren physikalische und chemische Constitution ein verschiedenes Verhalten gegen das Licht hervorrufen und dieselben gesondert hervortreten lassen. Man könnte insofern von chemischen Reagentien im engeren Sinne und sodann von präparativen und morphologischen Reagentien sprechen. In Bezug auf die letzteren sind in der neueren Zeit die Methoden in weitem Umfange und hoher Vollkommenheit ausgebildet und ist ihre Anwendung in Folge dessen eine sehr umfang- und erfolgreiche geworden. Eine strenge Scheidung in diese verschiedenen Gruppen lässt sich indessen nicht durchführen, indem ein und dasselbe Reagens bald in der einen, bald in der anderen Weise wirkt, bald beide Einwirkungsweisen zugleich in sich vereinigt. Wir werden dieselben daher nach chemischer Reihenfolge betrachten.

1. S a l z b i l d n e r.

Jod. Das Jod wird in Substanz hauptsächlich nur als Präservativ 396 bei den oben erwähnten thierischen Zusatzflüssigkeiten benutzt. Da, wo man indessen seine allmälige Einwirkung auf gewisse Körper studiren will, wie z. B. bei Stärkemehluntersuchungen, kann man dasselbe auch in kleinen Splitterchen der Zusatzflüssigkeit, resp. dem Wasser beifügen, von welchem das Object umgeben ist. Weit ausgedehnter ist seine Anwendung — namentlich in der Pflanzenhistologie — in Form von alkoholischer oder wässeriger Lösung.

Die alkoholische Jodlösung, auch Jodtinctur genannt, bereitet man am besten von solcher Stärke, dass noch etwas Jod im Ueberschuss vorhanden ist. Dieselbe lässt sich dann leicht bis zu beliebigem Grade verdünnen, wobei immer etwas Jod ausgeschieden wird.

Die wässerige Jodlösung wird am besten als eine Composition von Jod und Jodkalium bereitet, weil sich ersteres in reinem Wasser nur in sehr geringer Menge (1 in 700 Theilen) löst. Man stellt dieselbe dar, indem man zuerst 3 Gran Jodkalium in einer Unze destillirten Wassers löst und dann dieser Lösung 1 Gran metallisches Jod zusetzt. Statt dieser Bereitungsweise ist auch eine vorgängige Lösung des Jodes in Glycerin und darauf folgender Wasserzusatz zu empfehlen, namentlich auch deshalb, weil die Jodglycerinlösung für sich, z. B. bei Untersuchungen über Klebermehl etc. mannigfacher Anwendung fähig ist.

Die verschiedenen Jodpräparate dienen sowohl zur Sichtbarmachung sehr durchsichtiger Elementarorgane, indem sie denselben eine mehr oder minder hohe gelbe bis gelbbraune Färbung ertheilen, als auch zum Nachweise verschiedener chemischer Verbindungen. Für Stärkemehl, dem das Jod eine blaue, violette, bis schwarzblaue Färbung ertheilt, ist es das beste Reagenz, das wir bis jetzt besitzen, und dürfte sich zu dessen Nachweis, namentlich auch wenn es mit Proteinkörpern zusammen vorkommt, vorzugsweise das Jodglycerin eignen, weil es die letzteren wenig oder nicht angreift und seine Einwirkung eine sehr allmälige ist. Reine Cellulose wird entweder durch Jod allein oder durch dieses in Verbindung mit verdünnter Schwefelsäure ebenfalls blau gefärbt. Als Reagenz auf Eiweisskörper hat das Jod viel an Bedeutung verloren, seitdem man bessere Reagentien für dieselben kennt. Die durch dasselbe hervorgerufene gelbe Färbung ist nämlich hier durchaus nicht völlig entscheidend, da es dieselbe auch anders constituirten Körpern ertheilt.

Chlorzinkjodlösung. Ein für den Pflanzenhistologen sehr 397 wichtiges Reagenz bildet das Jod in Verbindung mit Chlorzink als sogenannte Chlorzinkjodlösung. Diese Lösung wurde zuerst von Professor Schultze in Rostock als Reagenz auf Zellstoff, später von Sanio in verdünnter Form auch für den Nachweis des Gerbstoffes,

den sie röthlich bis violett färbt, empfohlen, und wird nach des ersteren Vorschrift folgendermaassen bereitet. Man löst granulirtes reines Zink in Salzsäure auf und dampft die Lösung unter Berührung mit metallischem Zink bis zur Syrupsdicke ein. In dieser Flüssigkeit löst man Jodkalium bis zur Sättigung, setzt metallisches Jod zu und verdünnt erforderlichen Falles mit Wasser. Eine genauere Vorschrift hat Radlkofer gegeben. Dieselbe lautet: Eine bei gewöhnlicher Temperatur bereitete Auflösung von Zink in Salzsäure wird bei einer, den Siedepunkt des Wassers nicht übersteigenden Temperatur zu einem, mit vielem Wasser sich nicht trübenden Syrup von dem specifischen Gewichte 2,0 eingedampft und dieser hierauf bis zu einem specifischen Gewichte von 1,8 mit Wasser verdünnt, wozu auf 100 Theile der Chlorzinklösung 12 Theile Wasser erforderlich sind. In 100 Theilen dieser Flüssigkeit löst man bei gelinder Wärme 6 Theile Jodkalium und soviel Jod, als dieselbe aufzunehmen vermag. Die Chlorzinkjodlösung hat nun die Consistenz von concentrirter Schwefelsäure, ist vollkommen klar und besitzt eine hell gelbbraune Farbe. Zum Gebrauch kann man sich mehrere Verdünnungsstufen anfertigen, da die Wirkung eine nach dem Grade der Concentration verschiedene ist.

2. Mineralsäuren.

Unter den Mineralsäuren sind es vorzugsweise die Schwefelsäure, schweflige Säure, Salpetersäure, Salzsäure, Chromsäure, Phosphorsäure und Osmiumsäure (Ueberosmiumsäure), welche bei den vegetabilischen und thierischen Gewebeuntersuchungen eine ausgedehntere Anwendung finden.

398 **Schwefelsäure.** Die Schwefelsäure wird sowohl concentrirt als in verschiedenen Verdünnungsgraden angewendet. Als concentrirte Schwefelsäure benutzt man das gereinigte erste Schwefelsäurehydrat der Officinen von 1,83 specifischem Gewicht. Dieselbe dient namentlich in der Pflanzenhistologie bei den Untersuchungen des Pollens und der Sporen, sodann als Aufquellungsmittel der Zellstoffhüllen und in Verbindung mit Kalibichromat (doppelchromsaures Kali) zur Maceration. In der thierischen Gewebelehre wird sie vorzugsweise als Isolationsmittel bei den Untersuchungen der hornigen Gebilde (Haare, Nägel, verhornte Oberhaut etc.) von Nutzen.

Von den verschiedenen Verdünnungsgraden finden die niedrigeren, d. h. die die grössten Säuremengen enthaltenden vorzugsweise in der Pflanzenhistologie Anwendung, und zwar sowohl als Aufquellungsmittel für die Zellstoffhüllen wie auch in Verbindung mit Jod als Reagenz auf Zellstoff und in Verbindung mit Zuckerlösung zum Nachweis eiweisshaltiger Substanzen. Zu diesen Zwecken hält man sich am besten verschiedene Mischungen, und zwar von je 100 Theilen Säure auf 60 bis 20 Theile Wasser (Schacht empfiehlt im Allgemeinen 3 Theile Säure auf 1 Theil

Wasser) bereit. Die höheren und höchsten Verdünnungsgrade werden dagegen häufig bei Untersuchungen in der thierischen Gewebelehre benutzt. So z. B. dienen nach Max Schultze Verdünnungen von etwa 2 bis 10 Theilen Säure auf 500 Theile Wasser zur Aufhellung und Erhärtung der Bindegewebe, sowie der Stützsubstanzen in den Centralorganen des Nervensystems, der Netzgerüste der Lymphdrüsen etc.

Schweflige Säure wird nach Klebs in der Thierhistologie als geringer Zusatz zu einer 5procentigen Zuckerlösung (1 Tropfen gesättigter Lösung der ersteren auf etwa 1 ccm der letzteren) zur Ablösung der Epithelien und zur Aufhellung der Bindegewebe ohne Quellung angewendet.

Salpetersäure. Die Salpetersäure wird sowohl als Reagenz 399 wie als Macerations- und Fixierungsmittel gebraucht. Man kann für alle Fälle die gewöhnliche concentrirte Salpetersäure der Apotheken benutzen. Als Reagenz gebraucht man dieselbe entweder für sich allein oder in Verbindung mit Ammoniakflüssigkeit zum Nachweise der vegetabilischen „Intercellularsubstanz“, ebenso von stickstoffhaltigen Substanzen der Pflanzen- und Thiergewebe, welchen sie eine gelbe Färbung ertheilt. Auch kann sie zu dem an anderem Orte zu besprechenden Nachweise der Korksubstanz dienen.

Als Macerationsmittel dient die Salpetersäure für sich allein unter Erwärmen zum Ausziehen der sogenannten incrustirenden Substanzen der Zellstoffhüllen verholzter Pflanzenzellen, sowie zur Isolirung dieser letzteren, der Knochenkörperchen, der Zahnkörperchen, Bindegewebskörperchen etc. Es wird jedoch die Wirkung dieser Säure bedeutend gesteigert, wenn man ihr chloresaures Kali zugeibt. Dieses sogenannte Schulze'sche Macerationsgemisch wurde früher hauptsächlich in der Pflanzenhistologie benutzt; in neuerer Zeit hat dasselbe indessen auch Eingang in die Thierhistologie gefunden. So gebrauchte es z. B. Kühne als Mittel zur Isolirung der Muskelfäden, Heidenhain zur Maceration des hyalinen Knorpels.

In starker Verdünnung, 25 Theile Säure auf 100 Theile Wasser, wurde die Salpetersäure auch zum Studium der Elemente der glatten Muskeln und ebenso in höchster Verdünnung von 1 Theil Säure auf 1000 Theile Wasser zur Aufhellung quergestreifter Muskeln empfohlen. Ferner dient sie stark verdünnt zur Fixirung beim Studium der Säugethier- und Vogelembryonen (Altmann) in 50 proc. Lösung bei Kernteilung der Eier (Flemming).

Salzsäure. Die Salzsäure wird in concentrirtem Zustande — die 400 gewöhnliche Salzsäure der Apotheken — sowohl in der Thier- als in der Pflanzenhistologie als Reagenz auf stickstoffhaltige Substanzen benutzt, denen sie nach längerem Verweilen in ihr eine tief violette Färbung ertheilt. Von Schacht wurde dieselbe zur Lösung der Stärkekörner und von Kabsch in Verbindung mit Aetzkali und concentrirter Schwefelsäure zur Isolirung der sogenannten tertiären Verdickungsschicht verholzter

Zellstoffhüllen von Laubhölzern, von Pfitzer zum Nachweise der Zellkerne der Diatomeen, von Hanstein in Verbindung mit Aetzkali zur Aufhellung undurchsichtiger Gewebemassen verwendet. In neuester Zeit ist ihre Anwendung eine noch ausgedehntere geworden, indem sie zu einer später zu besprechenden Reaction auf Holzstoff, sowie zum Nachweise des Hypochlorins, eines von Pringsheim entdeckten Gemengtheiles des Chlorophylls, dient.

In der Zoohistologie leistet die concentrirte Salzsäure sehr gute Dienste zur Lösung der Zwischensubstanz von Muskeln und Harncanälchen (Henle), unter 1- bis 2tägigem Liegen der Präparate darin zur Isolirung der Hautnerven, ferner zur Isolirung der Bindegewebskörperchen und mit Wasser verdünnt zur Darstellung des Knorpelgerüsts der Knochen, indem sie die Knochenerde löst.

In sehr hochgradiger Verdünnung von 1 Theil Säure auf 200 bis 1000 und mehr Theile Wasser gewährt diese Säure eines der trefflichsten Reagentien zum Studium der Muskeln.

401 Phosphorsäure. Dieselbe wird zum Aufquellen zarter Pflanzengewebe und der Krystalloide verwendet, sowie zur Entkalkung von embryonalen Knochen empfohlen (Strelzoff).

402 Chromsäure. Die Chromsäure, welche man in von Schwefelsäure möglichst freiem Zustande, rein auskrystallisirt und vollständig getrocknet in gut schliessenden Gefässen trocken aufbewahren muss, verdankt ihre Verwendung in der Gewebelehre theils ihren quellenden und macerirenden, theils ihren stickstoffhaltige Körper erhärtenden Eigenschaften.

Auf Pflanzengewebe wirkt sie in concentrirtem Zustande ähnlich wie das Schulze'sche Macerationsgemisch. Pollenhäute, sowie die Cuticularschichten und das Korkgewebe, sollen nach Pollender von derselben gelöst werden. In mässig verdünntem Zustande bietet sich in ihr ein ausgezeichnetes Mittel zur Auflockerung der Zellmembranen und der Stärkekörner, sowie zur Darstellung von deren Schichtung, welche in einer mit etwa 6 Theilen Wasser verdünnten Säure auf das prachtvollste hervortritt. Auf die Knochenerde wirkt die mässig verdünnte Chromsäure (etwa 20 Proc.) ähnlich wie die Salzsäure. Man verwendet sie daher auch bei Untersuchungen der Knochen- und Knorpelgewebe, zum Entkalken der Knochen sowohl, als der verknöcherten Knorpel.

Als Erhärtungsmittel für thierische Gewebe, namentlich fötaler Gewebe unter Zusatz von etwas Glycerin, sowie als Fixationsmittel des Plasmakörpers thierischer und pflanzlicher Zellen, wird die Chromsäure nur in bedeutender, am bequemsten aus einer stärkeren Lösung herzustellender Verdünnung angewendet, indem man 1 Theil der Säure mit 50 bis 200 Theilen Wasser versetzt. Eine so verdünnte Säure leistet zur Erhärtung der Sinnesnerven unter Bewährung der feinsten Organisationsverhältnisse drüsiger Organe des Rückenmarkes und des peripherischen Nervenapparates, ebenso zur Fixirung von Kern- und Zelltheilungszuständen ganz ausgezeichnetes und verdient hierfür dem Alkohol meist vorgezogen zu werden.

In sehr starker Verdünnung, 1 Theil Säure auf 2000 bis 5000 ja auf 10 000 bis 15 000 Theile Wasser, verwendet man die Chromsäurelösung zur Sichtbarmachung sehr zarter thierischer Structurverhältnisse, indem dieselbe unter Bewahrung der Textur der Gewebe etwas macerirend wirkt und so Elemente des feineren Baues, wie Otto Deiters angiebt, namentlich der Nervengewebe zur Anschauung bringt, welche sich an den frischen Präparaten vollständig der Beobachtung entziehen.

Osmiumsäure. Die Osmiumsäure, Ueberosmiumsäure der 403 neueren Autoren, welche entweder in krystallisirtem Zustande, oder als Lösung im Dunkeln aufbewahrt werden muss und deren Dämpfe die Schleimhäute der Nase und der Augen stark angreifen, ist ein höchst unangenehmes Reagens, bei dessen Verwendung man grosse Vorsicht anwenden muss, wenn man es nicht ganz umgehen kann. Dieselbe hat zuerst durch Professor Max Schultze bei seinen schönen Untersuchungen über das Leuchtorgan von *Lampyrus splendidula* mit Erfolg Anwendung in der Histologie gefunden und ist seitdem vielfach sowohl bei der Untersuchung thierischer, als pflanzlicher Gewebe in Anwendung gebracht worden. Sie verdankt ihre Verwendbarkeit der Eigenschaft, dass leicht oxydirbare Stoffe, u. a. Oele und Fette, den wässerigen Lösungen einen Theil ihres Sauerstoffes entziehen und eine niedrigere Oxydationsstufe des Metalles als schwarzen oder schwarzblauen Körper niederschlagen. Die Fähigkeit, in sehr verdünnten, etwa $\frac{1}{5}$ - bis 1 procentigen Lösungen das Plasma zu fixiren, theilt dieselbe mit einer Reihe anderer bequemer anzuwendender Substanzen, so dass sie mit wenigen Ausnahmen durch diese ersetzt werden kann.

In der Zoohistologie hat man die Ueberosmiumsäure vorzugsweise zur Darstellung der Epithelialgebilde und ihrer Kittsubstanz, der Nerven-netze, der glatten und quergestreiften Muskelfasern, welche sie in ihren jeweiligen Contractionszuständen fixirt, der Netzhautstäbchen, der Ganglienzellen, ferner für sich, wie in Mischung mit Chromsäure und Essigsäure zur Fixirung des Kerngerüsts etc. angewendet, während sie in der Pflanzenhistologie namentlich zur Fixirung der Kern- und Zelltheilungszustände (Strassburger) und bei Untersuchung ganz jugendlicher Gewebe (Parker) diene.

Das die Schleimhäute nicht angreifende, geruchlose Osmiumamid, welches zum Ersatze der Säure empfohlen wurde, soll den gehegten Erwartungen nicht entsprochen haben.

3. Organische Säuren.

Oxalsäure. Die Oxalsäure ist von Professor Max Schultze 404 als Reagens bei der Untersuchung von bindegewebartiger Structur empfohlen worden, da sie diese letztere aufquellen und durchsichtig macht, während die eiweisshaltigen Elementarorgane ihre scharfen Umrisse

behalten. Man benutzt in der Regel eine gesättigte wässrige Lösung von 1 Theil reiner krystallinischer Säure auf 15 Theile Wasser. Eine etwas stärkere Wirkung äussert die weingeistige Lösung, welche daher für einzelne Fälle statt der ersten zu verwenden sein dürfte.

Ausserdem dient die Oxalsäure bei der später zu besprechenden Carminfärbung, sowie in Verbindung mit Kali zum Nachweis von Pektose in Pflanzengeweben.

405 Essigsäure. Die Essigsäure ist eines der ältesten mikrochemischen Reagentien und wird sowohl in der Pflanzenhistologie wie in der thierischen Gewebelehre vielfach angewendet. Man gebraucht sie in verschiedenen Concentrationsgraden, als deren Grundlage die concentrirte Essigsäure oder der sogenannte Eisessig der Apotheken verwendet werden sollte.

Im concentrirten Zustande oder mit weniger Wasser, 3 bis 4 Theile auf 1 Theil Säure, verdünnt dient die Essigsäure zum Nachweis der Zellkerne, welche durch ihre Einwirkung viel deutlicher oder durch Zerstörung des Zellkörpers isolirt werden und häufig da noch hervortreten, wo man sie vorher nicht erkennen konnte. Ebenso kann man mittelst derselben innerhalb des Bindegewebes vorkommende Elementarorgane, z. B. Zellen, elastische Fasern, Nerven und dergl., zur Anschauung bringen, indem sie dem ersteren eine vollkommene Durchsichtigkeit ertheilt. Letzteren Erfolg erreicht man auch, und zwar ohne dass beeinträchtigende Störungen mit unterlaufen, weit vortheilhafter, wenn man eine sehr stark verdünnte Säure mehrere Tage lang einwirken lässt. Einige Tropfen der concentrirten Säure auf die Unze Wasser reichen hier schon aus, und sind die Aufhellungen, welche man bei einer solchen Verdünnung in den quergestreiften Muskeln erreicht, namentlich zum Studium der feinsten Verzweigungen der Nerven in denselben von der grössten Wichtigkeit. Auch als Fixationsmittel für Theilungszustände thierischer (Auerbach, Flemming u. A.) und pflanzlicher (Strassburger) Zellkerne und zur Sichtbarmachung des Stranggerüstes ruhender Kerne leistet die Essigsäure in hochgradiger Verdünnung 0,1 bis 1 Proc. gute Dienste. Hiermit ist aber der Kreis der Verwendungsweisen unseres Reagenzes noch lange nicht erschöpft und wird in den späteren Abschnitten, sowie in dem zweiten Bande sich noch mannigfache Gelegenheit finden, ausführlicher darauf zurückzukommen.

Als eigentliches so zu sagen analytisches mikrochemisches Reagenz wird die Essigsäure vorzugsweise zum Nachweise der kohlensauren Salze in den Geweben und Elementarorganen verwendet.

406 Holzessig (*Acidum pyrolignosum rectificatum*) besitzt in mancher Richtung ähnliche Eigenschaften wie die Essigsäure, äussert aber daneben auch noch erhärtende Wirkungen. Mit 2 bis 4 Raumtheilen Wasser verdünnt dient er zur Aufhellung von bindegewebiger Structur namentlich krankhafter Gewebebildungen, zur Sichtbarmachung der Hornhautkörperchen sammt Inhalt, des Nervenverlaufes in Bindegeweben etc., besitzt aber dabei Eigenschaften, welche seine Anwendung zu diesen Zwecken nicht

räthlich machen. Dagegen bleibt er ein brauchbares Mittel, um die Knochenerde aus verkalktem Knorpel normaler, krankhafter und fötaler Gewebe auszuziehen.

Ameisensäure, Weinsäure und Milchsäure eignen sich sehr 407 gut, erstere zur Reduction der weiter unten zu besprechenden Vergoldungspräparate, ferner in 1procentigen und schwächeren Lösungen als Fixierungsmittel (Retzius), letztere zur Entkalkung embryonaler Knochen.

Pykrinsäure dient sowohl als Färbe- wie als Erhärtungs- und 408 Fixationsmittel und werden zu diesen Zwecken in der Regel verdünnte wie concentrirte wässrige Lösungen verwendet. Als Färbemittel erweist sie sich vorzugsweise für glatte Muskeln als passend, deren Körperchen gelb werden und schwarze Querstreifen zeigen. Auch bei anderen Geweben ist sie recht gut zu verwenden; ausserdem ist sie in Verbindung mit Carmin in ausgedehntem Gebrauche (siehe weiter unten).

4. Säuremischungen.

Neben den reinen oben genannten Säuren werden in neuerer Zeit 409 (Flesch, Flemming u. A.) vielfach Säuregemische mit sehr gutem Erfolge als Fixierungsmittel für das Kerngerüste und die Kerntheilungsfiguren verwendet. Als ein solches Gemisch hat sich für die Sichtbarmachung der chromatischen Figur Flemming's dasjenige aus wässrigen Lösungen einer 0,25procentigen Chromsäure mit 0,1procentiger Osmiumsäure und 0,1procentiger Essigsäure, oder von 0,50procentiger Pikrinsäure mit den beiden anderen Lösungen bewährt, während für die Darstellung der „achromatischen Figur“ das Gemisch aus 0,2 bis 0,25procentiger Chromsäure und etwa 0,1procentiger Essigsäure die besten Dienste leisten soll. An Stelle der Essigsäure kann hierbei auch Ameisensäure mit etwa gleichem Erfolge verwendet werden.

5. Alkalien.

Aetzkali, Kaliumhydroxyd. Die Aetzkalilösung, welche als 410 wässrige, wie als alkoholische Lösung verschiedener Verdünnungsgrade zur Anwendung kommen kann, muss, da sie gerne Wasser und Kohlensäure aus der Luft anzieht und im Flaschenhalse leicht Kryställchen ausscheidet, in gut schliessenden Flaschen aufbewahrt werden, deren Stöpsel mit Glycerin oder Vaseline eingerieben ist. Dieselbe genießt einer sehr ausgebreiteten Verwendung bei histologischen Untersuchungen. Wir haben in ihr zunächst ein vortreffliches Macerationsmittel und zwar sowohl für thierische, wie für vegetabilische Gewebe, indem sie die einzelnen Gewebeelemente mit einander vereinigenden Kittsubstanzen löst, ohne die Gewebe selbst merklich anzugreifen. In der Pflanzenhistologie ist das Kali namentlich überall da statt des Schulze'schen Macerationsgemisches zu empfehlen, wo dieses entweder auf zartere Ele-

mentarorgane zu zerstörend wirkt, oder wo es dieselben, wie manche Bastzellen etc., brüchig macht. Hier thut das Aetzkali indessen seine Dienste in der Regel erst unter der Einwirkung der Wärme und macht ein kürzeres oder längeres Kochen der Gewebe in der Lösung nöthig. Bei thierischen Geweben bringt es ähnliche Wirkungen schon bei gewöhnlicher Temperatur hervor, wobei dann, da weitere Verdünnungen meist lösend auf die Gewebeelemente wirken, zur Isolirung von Muskel- und Nervelementen, Drüsenkanälchen, Flimmerzellen etc. Lösungen von 20 bis 40 Procent angewendet werden. Im verdünnten Zustande ist das Aetzkali ein ausgezeichnetes Mittel, um geschichtete Zellstoffhüllen aufquellen und so die Schichtung deutlicher zu machen. Ferner dient es dazu, um manche Substanzen, welche der Zellstoffhülle eingelagert sind, zu lösen und wegzuführen, während es die erstere selbst nur erweicht.

Seiner Einwirkung auf Stärkemehl, welches es stark aufquellen macht, sowie auf manche andere, die Pflanzengewebe undurchsichtig machende Substanzen verdankt dasselbe seinen Gebrauch als aufhellendes Mittel. Zu diesem Zwecke dient am besten eine die Zellwände nicht so stark wie eine wässerige angreifende alkoholische Lösung, welche nach Russow folgendermaassen bereitet wird. Mit concentrirter Kalilauge wird Alkohol von 85 bis 90 Proc. gemischt, bis ein Bodensatz entsteht, dann unter häufigem Umschütteln die Flüssigkeit 24 Stunden stehen gelassen, nach Absetzen abgossen und zum Gebrauche mit je 2 bis 3 Theilen destillirtem Wasser versetzt. Die Einzelheiten der Aufhellungsmethode, welche auf Urgewebe, ganze Ei'chen, junge Embryonen etc. Anwendung finden kann, werden wir im zweiten Bande an den betreffenden Stellen kennen lernen, hier sei nur erwähnt, dass die betreffenden Präparate mittelst verdünnter Salzsäure oder Essigsäure neutralisirt und gut ausgewaschen werden müssen, ehe man sie weiter behandelt.

Als analytisches Reagenz — worauf wir im zweiten Theile ausführlicher zurückkommen werden — hat die Aetzkalilösung durch die Untersuchungen von J. Sachs über den Inhalt der Pflanzenzellen für die Pflanzenhistologie eine hohe Bedeutung gewonnen, indem sie in Verbindung mit schwefelsaurem Kupfer sowohl zum Nachweis von Eiweisssubstanzen als auch von verschiedenen Kohlenhydraten vorzügliche Dienste leistet.

Auch zum Nachweise des Korkstoffes (Höhnel), welcher als gelb gefärbte Tropfen beim Kochen ausgeschieden wird, der Gerbstoffe, welche gelb gefärbt werden, sowie bei der Zerlegung des Chlorophylls in seinen gelben (Xanthin) und grünen (Chlorin) Bestandtheil (Carl Kraus) lässt sich die Kalilauge verwenden.

411 **Aetznatron.** Das Aetznatron erleidet eine ähnliche Anwendung, wie das Aetzkali, dem es von manchen Histologen seiner etwas bequemereren und reinlicheren Handhabung wegen vorgezogen wird. Ich muss indessen gestehen, dass ich der Natronlösung keine besonderen Vortheile vor der Kalilösung einräumen kann.

Ammoniak. Die Ammoniakflüssigkeit wirkt im Ganzen den 412 beiden genannten Alkalien ähnlich, indessen weniger heftig. Ich ziehe dieselbe daher als aufhellendes Mittel für manche inhaltreiche Pflanzengewebe dem Aetzkali vor. Auch möchte ihr, wo es sich um die Abstumpfung von vorher angewandten Säuren handelt, vor dem letzteren der Vorrang gebühren.

In Verbindung mit Salpetersäure dient das Ammoniak zum Nachweis von Eiweisskörpern, sowie der mittleren Platte der sogenannten „Mittellamelle“ (Intercellularsubstanz), indem es (welche Eigenschaft übrigens auch den voranstehenden Alkalien zukommt) die durch jene bewirkte gelbe Färbung vermöge der Bildung von Xanthoproteinsäure bedeutend erhöht und somit leichter sichtbar macht.

6. Alkalische Erden.

Aus dieser Gruppe hat man in neuester Zeit das Kalk- und das 413 Barytwasser für zoohistologische Untersuchungen empfohlen und angewendet.

Das erstere wird namentlich als Macerationsmittel bei den Untersuchungen von Binde- und Sehnengewebe verwendet, wenn man langsamere, erst nach mehreren Tagen erfolgende Wirkungen erzielen will, während das letztere, weit stärker wirkende Mittel überall da gebraucht wird, wo man rascheren Erfolg neben stärkerer Quellung und bedeutenderer Aufhellung wünscht.

7. Salze.

Chlornatrium (Kochsalz). Das Chlornatrium wird vorzugs- 414 weise in der Pflanzengewebelehre als sogenanntes morphologisches Reagenz verwendet, um die Zellhaut (Primordialschlauch) von der Zellstoffhülle zurückzuziehen und dieselbe so gewissermaassen innerhalb der Gewebe zu isoliren und zur Anschauung zu bringen. Es empfehlen sich hier unter allen Umständen verschieden concentrirte bis zu höchst verdünnten Lösungen.

In der thierischen Histologie wird es in 10 proc. Lösung als Isolierungsmittel von Epithelialgebilden, in 35 proc. Lösung als Erhärtungsmittel und in Verbindung mit Salzsäure (Exner) mit Vortheil zur Entkalkung des Knochengewebes gebraucht. Auch bei der Silberimprägnation spielt es eine Rolle.

Chlorsaures Kalium. Das chlorsaure Kalium bildet, wie wir 415 oben gesehen haben, einen Bestandtheil des Schultze'schen Macerationsgemisches, als welcher es auch, ebenso wie für sich allein zum Nachweise des Korkstoffes dienen kann.

- 416 **Ferrocyankalium** (gelbes Blutlaugensalz), welches in wässriger Auflösung Eisenoxydsalze mit blauer Farbe färbt, wird von Cohn in Verbindung mit Salzsäure zum Nachweise des Eisens in den damit imprägnirten Zellwänden des Brunnenfadens (*Crenothrix*) benutzt, sonst dürfte es sich aus später zu entwickelnden Gründen als Reagenz auf Eisensalze nicht empfehlen.
- 417 **Doppelt chromsaures Kalium, Kaliumbichromat.** Das doppelt-chromsaure Kalium, welches wir bereits in Verbindung mit Schwefelsäure als Macerationsmittel kennen gelernt haben, leistet in wässriger (auch glycerinhaltiger) Lösung als Erhärtungsmittel ähnliche, und, da es nicht so leicht Schimmel bildet, für manche thierische Gewebe wohl noch bessere Dienste, wie die Chromsäure. Dagegen ist es als Fixierungsmittel bei Zellkernstudien nach den Erfahrungen Flemming's mit wenigen Ausnahmen (Eizellen) nicht zu empfehlen. Da seine Wirkung indessen eine schwächere und langsamere ist, als diejenige der Chromsäure selbst, so bedarf man auch bei einer Vertretung stärkerer Lösungen, um denselben Erfolg zu erzielen. Auf gleiche Theile Wassers kommt von dem Salze in der Regel die 8- bis 16 fache Menge von derjenigen der reinen Säure.
- Als Mischung mit schwefelsaurem Natron, welche als „Müller'sche Augenflüssigkeit“ bekannt ist, ist das doppelt-chromsaure Kalium von H. Müller in Würzburg empfohlen worden, um die Retina zu erhärten. Dieselbe besteht aus 2 bis 2½ Gewichtstheilen doppelt-chromsauren Kalis und 1 Gewichtstheil schwefelsauren Natrons auf 100 Theile Wasser und leistet auch für viele andere Gewebe, Schleimhäute, Drüsen, Embryonalgewebe etc. gute Dienste, während sie in Verbindung mit der gleichen Menge von Speichel bei mehrtägiger Einwirkung ein vorzügliches Macerationsmittel bildet (Czerny und Langenhans).
- Sanio hat das doppelt-chromsaure Kalium als Reagenz auf Gerbstoff angewendet, welchen es dadurch kenntlich macht, dass es ihm eine dunkel rothbraune Färbung ertheilt.
- 418 **Uebermangansauges Kalium** wird als wässriges Macerationsmittel für Bindegewebe benutzt und dabei in der Regel mit Alaunlösung vermischt (Exner).
- 419 **Rhodankalium** wird in alkoholischer Lösung und in Verbindung mit Salzsäure zum Nachweise von geringen Mengen Eisen in den Zellwänden angewendet, setzt aber beim Schneiden den Gebrauch von platinirten oder vergoldeten Messerklingen voraus.
- 420 **Schwefelsaures Aluminium-Kalium, Alaun,** wird als wasser-entziehendes Reagenz sowie bei der Aufhellung pflanzlicher Gewebe angewendet und bildet ausserdem einen Bestandtheil mehrerer Färbemittel.
- 421 **Eisenchlorid,** ebenso essigsaures Eisen und schwefelsaures Eisen bilden in mässig concentrirten Lösungen Reagentien auf nicht zu

geringen Mengen von Gerbstoff, welchem dieselbe eine dunkelgrüne (eisengrünender Gerbstoff) oder schwarzblaue (eisenschwärzender Gerbstoff) Farbe ertheilen.

Schwefelsaures Kupfer. Das schwefelsaure Kupfer dient 422 als concentrirte Lösung in Verbindung mit Aetzkali, als mikrochemisches Reagenz auf Eiweisssubstanzen sowohl, wie auf Zucker, Dextrin und Gummi bei der Untersuchung des Inhaltes von vegetabilischen Geweben. Bei der Anwendung der Lösung, über deren Gebrauchsweise wir uns später näher verbreiten werden, ist immer aufs Genaueste die Vorsichtsmaassregel zu beachten, dass man das behandelte Präparat, ehe es der Einwirkung des Aetzkalis ausgesetzt wird, auf das Sorgfältigste in einer grossen Menge Wassers auswäscht, damit auch nicht eine Spur des Salzes mechanisch haften bleibt. Die sofortige Reduction von Kupferoxyd würde die Reactionerscheinungen im anderen Falle mindestens unsicher machen.

Essigsäures Kupfer (Grünspan) dient als Reagenz auf Harze, 423 welche nach mehrtägigem Liegen in einer wässerigen Lösung eine smaragdgrüne Farbe annehmen (Unverdorben).

Kupferoxyd-Ammoniak. Das Kupferoxyd-Ammoniak wurde 424 von Professor Schweizer in Zürich als Lösungsmittel des Zellstoffes erkannt und dann von Professor Cramer ebendasselbst als mikrochemisches Reagenz erprobt und empfohlen. Das gewöhnlich in den Apotheken vorrätthige Product ist zu unseren Zwecken nicht zu verwenden, weshalb man sich das Reagenz entweder selbst darstellen oder nach Vorschrift darstellen lassen muss. Die von Schweizer hierzu gegebene Vorschrift lautet folgendermaassen: Unterschwefelsaures Kupferoxyd wird mit verdünnter Ammoniaklösung vorsichtig gefällt, der hellgrüne Niederschlag filtrirt und ausgewaschen, und hierauf noch feucht mit concentrirter Ammoniakflüssigkeit zusammengebracht, in welcher sich das basisch unterschwefelsaure Salz — der früher erhaltene Niederschlag — unter Wärmeentwicklung leicht auflöst. Nach dem Erkalten setzen sich Krystalle von unterschwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak zu Boden, und die über demselben stehende, abzufiltrierende Flüssigkeit enthält nur Kupferoxyd-Ammoniak. Die erhaltene Lösung hebt man zweckmässig in schwarzem Glas oder in dunkeltem Raume auf, weil sich dieselbe am Lichte leicht zersetzt.

Die genannte Verbindung bildet ein vorzügliches Reagenz zur Erkennung des reinen Zellstoffes. Wo derselbe mit anderen Substanzen verunreinigt, wie man sagt, verholzt ist, da bewirkt sie die Lösung erst nach vorhergehender Behandlung der betreffenden Organe mit Aetzkali oder dem Schulze'schen Macerationsgemisch. Da die Einwirkung in der Regel von einer nach und nach eintretenden Quellung der Zellstoffhülle ausgeht, und bei verholzten Zellen, wie beim Stärkemehl, nur diese allein auftritt, so bietet sich in dem Reagenz auch in dieser Beziehung ein vorzügliches Untersuchungsmittel, welches in mancher Beziehung

den ähnlich wirkenden früher schon genannten vorzuziehen ist. Nach den Erfahrungen von Schacht wirkt Nickeloxydammoniak auch auf reine Cellulose nur in der letzt erwähnten Weise.

425 Salpetersaures Quecksilberoxydul. Das salpetersaure Quecksilberoxydul oder Millon'sche Salz ist in neuerer Zeit wiederholt (Hartig) als mikrochemisches Reagenz für pflanzenhistologische Untersuchungen empfohlen worden. Zunächst gewährt es ein ausgezeichnetes Mittel, um ein Aufquellen der Zellstoffhüllen zu bewirken und sowohl die Schichtung als die spiralförmige Streifung dieser letzteren zur Anschauung zu bringen. Dann dient dasselbe auch zum Nachweise von Eiweisskörpern, und dürfte sich, da es nicht für alle Fälle die erforderliche Empfindlichkeit besitzt, namentlich für einzelne Untersuchungen, z. B. des Klebermehles und der sogenannten Proteinkristalle empfehlen. Man bereitet sich das Reagenz, indem man Quecksilber in gleichen Gewichtstheilen concentrirter rauchender Salpetersäure löst und hierauf mit gleichen Raumtheilen Wasser mengt, oder indem man ein Gewichtstheil Quecksilber in zwei Gewichtstheilen einer, $4\frac{1}{2}$, Aequivalente Wasser enthaltenden Salpetersäure auflöst. Da das Salz nur dann in Lösung bleibt, wenn diese freie Säure enthält, so ist zum Schutze der Objectivsysteme bei seinem Gebrauch das Bedecken der Präparate mit grossen, 18 bis 20 mm Seite haltenden Deckgläsern zu empfehlen.

426 Quecksilberchlorid. Das Quecksilberchlorid (Sublimat) wird nur in höchst verdünnten Lösungen angewendet. Eine solche von 1 Theil Sublimat auf 500 Theile Wasser eignet sich ausgezeichnet, um die feinen Protoplasmaströmchen mancher Pflanzenzellen zur Anschauung zu bringen, indem sowohl diese als die Zellkerne und das Wandprotoplasma durch ihre Einwirkung dunkler werden, ohne dass der übrige Zellinhalt eine Störung erleidet. Wendet man stärkere Lösungen an, so wird die Zelloberhaut (der Primordialschlauch) von der Zelloberhülle zurückgezogen, während das Reagenz mit den Proteinstoffen eine in Wasser unlösliche Verbindung eingeht und dadurch zum Studium der Proteinkörner ein gutes Hilfsmittel darbietet. In der thierischen Histologie hat man das Quecksilberchlorid verwendet, um den Achsencylinder der Nervenfasern zu isoliren und zu erhärten.

427 Salpetersaures Silber. Die Lösung von salpetersaurem Silber (Höllenstein) ist in neuerer Zeit namentlich auf Empfehlung von v. Recklingshausen, His u. A. vielfach als mikrochemisches Reagenz zu der sogenannten weiter unten zu besprechenden Imprägnation der Gewebe in Aufnahme gekommen. Zu gleichen Zwecken werden auch einige andere Salze von Edelmetallen, wie Goldchlorid, Goldchloridkalium, Goldchloridnatrium, Palladiumchlorid, Platinchlorid in Anwendung gebracht.

428 Schwefelsaures Anilin, oder noch besser Chloranilin werden entweder in wässriger, oder alkoholischer Lösung, ersteres in Verbindung

mit verdünnter Schwefelsäure, letzteres mit Salzsäure zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellwände angewendet (Wiessner).

8. Aethyl- und Methylverbindungen.

Aethyl- Aether, Aethyloxyd. Der Aether dient vorzugsweise 429 als Auflösungsmittel von Harzen, Fetten und ätherischen Oelen, welche in Pflanzenzellen vorkommen, ebenso zum Ausziehen der Fettsubstanzen und zur Auflösung des fetthaltigen Inhaltes der thierischen Gewebe.

Aethyl- Alkohol, Aethyloxydhydrat. Der Alkohol ist einer 430 ausgedehnten Verwendung fähig, und sowohl für den Pflanzen- wie für den Thierhistologen ein sehr schätzbares Reagenz. Zunächst dient er bei der Untersuchung von vielen Pflanzengeweben zur Entfernung des Harzes, zur Auflösung flüchtiger Oele und mancher Farbstoffe. Dann wird er in sehr verdünntem Zustande ähnlich benutzt, wie die Kochsalzlösung, indem er durch Wasserentziehung eiweisshaltige Gebilde schrumpfen macht und so die Zellhaut sammt Inhalt von der Zellstoffhülle zurückzieht. Präparate, welche Luft enthalten, werden durch Einlegen in Alkohol bald von derselben befreit. Ebenso macht sich derselbe da nützlich, wo in Canadabalsam oder in anderen Harzen aufzubewahrenden Präparaten ihr Wasser entzogen werden soll.

Bei den thierischen Gewebeuntersuchungen wird der Alkohol von verschiedenem Gehalte, namentlich aber der absolute Alkohol seiner die Plasmasubstanzen in ihrer lebenden Form fixirenden Eigenschaft halber vorzugsweise als Erhärtungsmittel verwendet und für manche Objecte, z. B. für drüsige Organe, für Gewebetheile aus dem Verdauungscanale, für injicirte Organe der oben genannten Chromsäure vorgezogen. Auch für die Untersuchung saftiger Pflanzengewebe ist derselbe in dieser Beziehung nicht ohne Nutzen und ist er in neuerer Zeit vielfach als Fixationsmittel bei Untersuchungen über Kern- und Zelltheilung etc. in Anwendung gekommen. Da der Alkohol aber die Eigenschaft besitzt, eiweissartige Substanzen durch Gerinnen zu verdunkeln, so war man darauf bedacht, denselben mit solchen Mitteln zu vermischen, welche eine aufhellende Wirkung äussern. Auf diese Weise erhält man Flüssigkeiten, bei welchen die erhärtenden und aufhellenden Eigenschaften Hand in Hand gehen. Derartige Gemische sind zuerst von englischen Mikroskopikern empfohlen und dann auch von deutschen Forschern angewendet worden. Ein Gemisch von 3 Theilen Alkohol und 1 Theil Essigsäure wurde von L. Clarke empfohlen und ertheilt namentlich Rückenmarkspräparaten eine wundervolle Klarheit. Moleschott hat ein stärkeres Gemisch von 1 Raumtheil starker Essigsäure, 1 Raumtheil Alkohol und 2 Raumtheilen destillirtem Wasser, dann ein schwächeres von 1 Raumtheil Essigsäure, 25 Raumtheilen Alkohol und 50 Raumtheilen destillirtem Wasser zur Untersuchung von bindegewebartigen Geweben empfohlen. Für die Untersuchung von Epithelialgeweben soll man nach Beale

dem Gemische aus Alkohol und Essigsäure noch Salpetersäure zusetzen. Eine derartige von Beale vorgeschlagene Mischung besteht aus 30 g Wasser, 20 g Glycerin, 60 g Alkohol, 7,5 g Essigsäure und 2 g Salpetersäure. Auch ein Zusatz von Aetznatronlauge und zwar etwa 8 bis 10 Tropfen auf 30 g Alkohol soll nach diesem Forscher neben rascher und starker Erhärtung zugleich eine bedeutende Aufhellung hervorbringen und eine solche Mischung namentlich bei Untersuchungen der Leber, fötaler Verknöcherungen und kalkiger pathologischer Niederschläge gute Dienste leisten.

Als eigentliches mikrochemisches Reagenz dient der Alkohol für eine Reihe von Pflanzenstoffen, welche er aus ihren Lösungen auszufällen vermag. So bringt er in Geweben, welche grössere Mengen von Rohrzucker (Saccharose) enthalten, diesen in Form von kleinen sternförmigen Krystallanhäufungen (Bonnier) zum Auskrystallisiren. Inulin wie Hesperidin werden durch denselben als sogenannte Sphärokrystalle oder in sphärokrystallinischen Massen ausgeschieden und Asparagin kann durch mehrmalige Behandlung der betreffenden Gewebe unter dazwischen erfolgendem Eintrocknen zum Krystallisiren gebracht werden.

Eine weitere und ausgedehnte Anwendung findet der Alkohol auch bei den weiter unten zu besprechenden Färbungsmethoden.

431 **Methylalkohol (Methyloxydhydrat)** wird in England vielfach statt des Aethylalkohols angewendet. In neuerer Zeit ist derselbe statt des letzteren auch in Deutschland zur Entwässerung solcher Präparate gebraucht worden, welche in Terpentinöl aufgeheilt und dann in Canada-balsam aufbewahrt werden sollen.

432 **Chloroform** leistet bei der Demonstration des Aetzcylinders der Nervenfasern gute Dienste, ebenso kann es bei dem Nachweise von Fetten, Harzen, flüchtigen Ölen und Wachs Verwendung finden.

433 **Chloralhydrat** dient mit Wasser verdünnt bei Untersuchungen des Centralnervensystems und der Netzhaut (Butzke), ferner in 5 proc. Lösung zur Isolirung der glatten Muskelfasern (Ladowski). In Zusätzen von geringen Mengen bewahrt es gewisse Aufbewahrungsflüssigkeiten und Färbemittel vor dem Schimmeln.

9. Glycerin.

434 Das chemisch reine (wasserfreie) Glycerin kann als wasserentziehendes und aufhellendes (in diesem Falle auch in Verbindung mit Kali) Mittel gebraucht werden. Inulin wird nach längerer Einwirkung in gleicher Weise aus seinen Lösungen ausgeschieden, wie durch Alkohol Zucker, in Form von stark lichtbrechenden Tropfen, welche sich aber bald wieder lösen (Kraus). In Form von Jodglycerin oder in Verbindung mit Wärme wird dasselbe auch bei den Untersuchungen über Proteinkörner angewendet, in letzterer Weise besonders zur Sichtbarmachung ihrer Einschlüsse.

10. Aromatische Verbindungen.

Benzol (oder statt dessen auch das käufliche „Benzin“) wird in 435 der Pflanzenhistologie als Lösungsmittel von Fetten und flüchtigen Oelen, ebenso zur Trennung der Gemengtheile des Chlorophylls verwendet, während es bei der Untersuchung thierischer Gewebe nach minutenlangem Einwirken von Alkohol als vortreffliches Aufhellungsmittel für Fettgewebe dienen kann (Toldt).

Phenol (Carbolsäure) eignet sich als antiseptisches Zusatzmittel 436 zu einer grossen Anzahl von dem Verderben ausgesetzten Flüssigkeiten, während es als mikrochemisches Reagenz bisher nur zum Nachweise verholzter Pflanzenzellwände, denen dasselbe in Verbindung mit Salzsäure eine blaugrüne Färbung ertheilt, sowie als Aufhellungsmittel bei entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen der Moose (Leitgeb) verwendet wurde.

Xylol ist für die Untersuchungen des Centralnervensystems (Merkel) 437 empfohlen worden, während **Thymol** als antiseptisches Mittel und zwar in Verdünnungen von 1 Theil auf 600 bis 1000 Theile Wasser dem Phenol vorzuziehen sein soll (Frey), was in gleicher Weise von dem Naphthalin gelten dürfte.

Kreosot bildet ein sehr schnell wirkendes Aufhellungsmittel, welches auf wasserhaltige Präparate mit gleich gutem Erfolge wie auf entwässerte angewendet werden kann. 438

Phloroglucin, welches bei Dr. Schuchhardt in Görlitz käuflich 439 zu haben ist, ist in wässriger oder besser in alkoholischer Lösung ein vortreffliches Mittel zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellwände (Wiesner), indem es dieselbe, wenn vorher Salzsäure eingewirkt hatte, schon bei sehr kleinen Mengen des Holzstoffes intensiv rosenroth färbt. An Stelle desselben kann auch ein wässriger Kirschholz-Extract verwendet werden, welcher eine mehr violette Färbung hervorruft.

Pyroll färbt mit Salzsäure befeuchtete verholzte Zellwände purpurroth, soll sich aber in Lösung nicht gut aufbewahren lassen, während die Reactionsfarbe bald in Schwarzbraun übergeht (Niggel). 440

11. I n d o l.

Das Indol, eine zur Zeit noch sehr theure (1 dg 5 Mark) Substanz, 441 kann als wässrige oder alkoholische Lösung in gleicher Weise wie das Phloroglucin zum Nachweise der Verholzung pflanzlicher Zellhüllen angewendet werden, indem es solchen unter Mitwirkung von verdünnter Schwefelsäure eine prachtvolle kirschrothe Färbung ertheilt, während reine Cellulose ebenso wie verkorkte Zellwände farblos bleiben (Niggel).

• 12. F l ü c h t i g e O e l e .

- 442 Die flüchtigen Oele werden sowohl in der Pflanzenhistologie wie in der thierischen Gewebelehre zur Aufhellung dunkler Gewebe benutzt, und kann man dieselben entweder schon kürzere oder längere Zeit vor der Untersuchung einwirken lassen, oder auch nur als Zusatzflüssigkeit gebrauchen. Terpentinöl, Citronenöl, Wachholderöl u. a. entfalten ihre Wirkung nur bei durch absoluten Alkohol entwässerten Präparaten, während andere eine absolute Wasserentziehung nicht erfordern. Namentlich scheint das Nelkenöl, welches Erhärtungs- und Aufhellungsvermögen in sich vereinigt, sich in dieser Beziehung sehr vortheilhaft zu bewähren. Der Anwendung desselben kommt vorzugsweise auch der Umstand zu statten, dass es sich sowohl mit absolutem Alkohol, als mit Canadabalsam und Dammarlösung leicht und in jedem Verhältnisse mischt, wodurch man bei der Behandlung mit dem Einlegen der betreffenden Präparate mancher Zwischenarbeiten überhoben wird. Dem Nelkenöl ähnlich verhalten sich Cassia-, Anis- und Bergamotöl.

13. K o h l e n h y d r a t e .

- 443 **Rohrzucker.** Von den Kohlenhydraten wird der Rohrzucker in Form des gewöhnlichen Syrupus simplex der Apotheken als Reagenz verwendet. In der gebräuchlichen Form dient diese Lösung in Verbindung mit concentrirter oder wenig verdünnter Schwefelsäure zum Nachweise eiweisshaltiger Substanzen, denen er eine rosenrothe Färbung ertheilt. Verdünntere Lösungen, welche man je nach Bedürfniss abändern kann, werden in gleicher Weise als morphologisches Reagenz verwendet, wie es weiter oben von dem Chlornatrium, Alkohol etc. geschildert wurde, ausserdem können dieselben auch — 3 proc. Lösung — zum Studium durchsichtiger Samenknospen, sowie zu Pollenculturen — 5proc. — empfohlen werden.
- 444 Das **Collodium**, eine Auflösung des Pyroxylin (Schliessbaumwolle) in Aether, wurde von Professor Pflüger als morphologisches Reagenz zum Nachweise des Achsencylinders der Nervenfasern empfohlen. Auf weiteren Gebieten der Histologie scheint es bis jetzt keine Anwendung gefunden zu haben.
-

Drittes Capitel.

Färbungs- und Imprägnationsmittel.

I. Färbeflüssigkeiten.

Die in der Ueberschrift genannten Flüssigkeiten haben den Zweck, 445 gewissen Theilen der Gewebe oder der Elementarorgane leicht sichtbare Färbungen zu ertheilen, um sie von anderen, mit ihnen vereinigt vorkommenden, sicherer unterscheiden zu können. Auf diese Weise wird die Erkenntniss verwickelter Structuren sowohl, als einzelner Inhaltspartieen wesentlich erleichtert, und es hat sich daher die mehr und mehr vervollkommnete und erweiterte, in dem nächsten Buche ausführlicher zu besprechende Färbungsmethode als Hilfsmittel der mikroskopischen Untersuchung einen bedeutenden Ruf erworben und wohlverdiente vielfache Anwendung gefunden.

Es war Dr. Theodor Hartig, der schon vor vielen Jahren die Entdeckung machte, dass namentlich die Zellkerne, sowie die eiweissartigen Bestandtheile des Zelleninhaltes ein ansehnlich starkes Vermögen kundgeben, gelöste Farbstoffe aus ihrer Umgebung aufzunehmen und in ihrer Substanz aufzuspeichern. Vor nahezu dreissig Jahren ist denn auch von ihm schon eine Lösung des carminsäuren Ammoniaks zum Nachweis von Zellkernen, Protoplasmaströmchen etc. angewendet worden und er hat uns in der Schrift: „Entwicklungsgeschichte des Pflanzenkeimes“ 1858 näher mit seiner Methode und mit der Darstellung der Carminlösung bekannt gemacht.

Erst viel später als Hartig hat Professor Gerlach diese Methode der Färbung auch in die Zoohistologie eingeführt. Ich weiss nicht, ob Gerlach mit den Hartig'schen Beobachtungen bekannt war, als er die Färbung mittelst Carminlösung auf thierische Gewebe anwendete, oder ob er selbstständig darauf geführt wurde. Soviel steht indessen fest, dass die Priorität der Entdeckung des Farbeaufspeicherungsver-

mögens von Kerngebilden und Eiweisskörpern, sowie die erste Anregung zur Anwendung dieser Untersuchungsmethode dem oben genannten Forscher gebührt.

Man hat verschiedene Flüssigkeiten in Anwendung gebracht, welche entweder verschiedene Färbungen, oder bei Innehalten desselben Farbertones eine mehr oder minder leichte und sichere Färbung bei verschiedenartigen Geweben bezwecken. Die gebräuchlichen Lösungen werden meistens aus organischen Verbindungen wie Carmin, Haematoxylin, Anilin etc. hergestellt und bewegen sich vorzugsweise in den Farben roth, blau, violett, gelb und grün.

A. Einfache Färbeflüssigkeiten.

1. Carminlösungen.

446 Carminsaures Ammoniak. Das carminsaure Ammoniak ist die bis in die neuere Zeit wohl am häufigsten angewendete rothe Flüssigkeit und hat sich in den meisten Fällen auch bewährt, obwohl sie in anderen besser durch gute andere Carminlösungen vertreten wird.

Nach Hartig bereitet man sich dasselbe folgendermaassen: Käuflicher Carmin wird mit Wasser angerührt und dann tropfenweise Ammoniakflüssigkeit zugesetzt, bis vollständige Lösung erfolgt ist. Die Lösung wird darauf filtrirt und bei sehr gelinder Wärme bis zur Trockne abgedampft. Das so erhaltene Pulver kann man trocken aufbewahren. Es löst sich in Wasser leicht auf und auch diese Lösung kann man Jahre lang erhalten, ohne dass sie dem Verderben ausgesetzt ist.

Eine zweite Vorschrift zur Bereitung des carminsauren Ammoniaks rührt von Professor Thiersch her. Man löst 1 Theil Carmin in 1 Theile kaustischer Ammoniakflüssigkeit und 3 Theilen destillirten Wassers. Von dieser Lösung mischt man nun 1 Raumtheil mit 8 Raumtheilen einer Oxalsäurelösung, welche man aus 1 Theile Oxalsäure und 22 Theilen Wasser bereitet hat, fügt 12 Raumtheile absoluten Alkohol hinzu und filtrirt. Das Filtrat kann nach Belieben durch Zusatz von Oxalsäure dem Orangerothern, durch Zusatz von Ammoniak dem Violetten genähert werden, und beide Nüancen dienen gleich gut zum Färben. Fallen beim Zusatz von Oxalsäure Krystalle von oxalsaurem Ammoniak aus, so kann man sie entweder abfiltriren oder mittelst ein paar Tropfen Ammoniaks lösen.

Diese Mischung soll schon im Verlauf weniger Minuten und sehr intensiv färben. Will man indessen langsam färben, so verdünnt man mittelst Weingeist von 70 bis 80° und entfernt dann das etwa auskrystallisirende oxalsäure Ammoniak auf die angegebene Weise.

Ausser den genannten sind noch eine Reihe anderer Vorschriften bekannt gemacht worden. Beale schreibt vor: 0,6 g Carmin, 3,5 g

Ammoniak, 60 g Glycerin, 60 g destillirtes Wasser und 15 g Alkohol, wobei das Carmin in Ammoniak über Feuer gelöst, die Lösung den übrigen Bestandtheilen zugesetzt und endlich das Ganze filtrirt wird. Frey verwendet zu seinem Glycerin-Carmin 0,2 bis 0,4 g Carmin, welche in der erforderlichen Menge Ammoniak gelöst und dann mit 30 g destillirtem Wasser, ebensoviel Glycerin und 8 bis 10 g Alkohol versetzt werden. Eine sehr schön färbende Carminlösung wird ferner nach Ranvier bereitet, indem man Carmin mit Ammoniak zerreibt und die Mischung an der Luft stehen lässt, bis Fäulniss und Eintrocknen eintritt. Die getrocknete Masse löst man darauf in der dreifachen Menge destillirten Wassers, fügt eine Lösung von 1 g Phenol (Carbolsäure) in 100 ccm Wasser hinzu und filtrirt.

Neuerdings ist von Professor Hoyer ein neutrales carminsaures Ammoniak empfohlen worden, welches auch nach meinen Erfahrungen von all' den bekannten unangenehmen Eigenschaften der bisher angewendeten carminsauren Ammoniaks frei ist und als vorzüglich bezeichnet werden darf. Man bereitet dasselbe in folgender Weise. Man löst 1 g mittelfeinen Carmin in einer Mischung von 1 bis 2 ccm starker Ammoniaklösung und 6 bis 8 ccm destillirtem Wasser und erwärmt auf dem Sandbade in einem Glaskolben so lange, bis das überschüssige Ammoniak verflüchtigt ist. Dieser Punkt ist eingetreten, wenn sich nur noch kleine Bläschen entwickeln und die Lösung eine hellrothe Färbung anzunehmen beginnt. Man lässt nun erkalten und absetzen und trennt den hellrothen Niederschlag durch Filtriren von der ziemlich neutralen dunkleren Flüssigkeit, welche durch Zusatz von etwa einigen Procenten Chloralhydrates für längere Zeit haltbar gemacht werden kann und die für gewisse noch zu erwähnende Zwecke besondere Vorzüge besitzt. Aus der ersteren Flüssigkeit erhält man durch Zusatz des 4- bis 6fachen Volumens starken Alkohols einen voluminösen hellrothen Niederschlag, welcher durch Filtration getrennt, dann gewaschen und getrocknet, ein sich Jahre lang haltendes Pulver darstellt, welches mittelst destillirten Wassers — namentlich bei Erwärmung — eine klare und mehr ins Scharlachrothe spielende Lösung giebt, die ein sehr starkes Färbungsvermögen besitzt und in dieser Beziehung die gewöhnliche Carminlösung bedeutend übertrifft, während sie durch Zusatz von 1 bis 2 Proc. Chloralhydrat eine längere Zeit dauernde Haltbarkeit erlangt.

Die lilafarbige Carminlösung ist ebenfalls von Prof. Thiersch 447 namentlich für die Färbung von durch Chromsäure entkalkten Knochen und für Knorpel empfohlen worden. Es werden zu ihrer Darstellung 4 Theile Borax in 56 Theilen destillirtem Wasser gelöst, dieser Lösung 1 Theil Carmin zugefügt, hierauf 1 Raumtheil derselben mit 2 Raumtheilen absolutem Alkohol vermischt und filtrirt. Diese Flüssigkeit färbt langsamer als die rothe, und bedient man sich zum Ausziehen überschüssigen Farbstoffes der Oxalsäure oder der Borsäure in Weingeist gelöst.

448 **Neutrale Carminlösung**, welche sich vorzugsweise zur Behandlung von in Chromsäure gehärteten Objecten eignet, wird nach *P e r l s* bereitet, indem man gepulverten Carmin auf einem Wasserbade vorsichtig mit destillirtem Wasser leicht kocht, eine Stunde lang stehen lässt und unter Zurückgiessen der ersten Filtrate auf das Filter solange filtrirt, bis man eine vollständig klare schön rothe Flüssigkeit erhält.

449 **Grenacher's alkoholische Carminlösung** kann vorzugsweise bei in Alkohol erhärteten Geweben Anwendung finden, lässt sich aber recht wohl in weiterem Umfang verwerthen. Sie wird erhalten, wenn man 50 ccm 60- bis 80 proc. Alkohol mit 3 bis 4 Tropfen Salzsäure versetzt, in dieser Flüssigkeit eine Messerspitze voll gepulverten Carmin etwa 10 Minuten lang kocht und dann nach dem Erkalten filtrirt.

450 **Grenacher's Alauncarmin** bildet eines der vortrefflichsten Färbemittel für reine Zellkernfärbungen im Ganzen, welche auch bei längerer Einwirkung keine Ueberfärbung hervorbringt und dabei sehr schnell (in 5 bis 10 Minuten) färbt. 1 bis 5 g Alaun oder Ammoniakalaun werden in 100 ccm destillirtem Wasser gelöst und in dieser Lösung $\frac{1}{2}$ bis 1 g gepulverter Carmin 10 bis 20 Minuten lang gekocht. Man erhält so eine tiefrothe, etwas ins Purpurfarbene spielende Flüssigkeit, welche nach dem Erkalten filtrirt und wegen besserer Haltbarkeit mit einer Spur Carbolsäure versetzt wird.

451 **Essigsäure Carminlösung** wird in mehreren Modificationen angewendet. Die *Grenacher'sche* wird bereitet, indem man 1 bis 2 g Borax zusammen mit 0,5 bis 0,75 g Carmin in 100 ccm Wasser kocht, dann der erhaltenen dunkel-purpurfarbenen Lösung unter stetem Umschütteln solange tropfenweise verdünnte Essigsäure zusetzt, bis die Färbung derjenigen der gewöhnlichen ammoniakalischen Carminlösung gleich geworden, und endlich nach 24 Stunden langem Stehen die klare Flüssigkeit sorgsam abgiesst. Nach *Schweiger-Seidel* wird gewöhnliches carminsäures Ammoniak bis zur Neutralisation allmähig mit Essigsäure versetzt und dann die weinrothe Flüssigkeit filtrirt. Der *Schneider'sche* Essigkarmin wird bereitet, indem man in kochende 45procentige Essigsäure so lange Carmin einträgt, bis sich kein Farbstoff mehr löst, während man nach *Frey* Carmin in Essigsäure löst, filtrirt und schliesslich mit Wasser nach Bedürfniss verdünnt, oder auch gepulverten Carmin mit durch Essigsäure angesäuertem Wasser (5 Tropfen Eisessig auf 200 ccm Wasser) 10 bis 20 Minuten digerirt und mehrfach bis zu voller Klarheit filtrirt. Wegen besserer Haltbarkeit kann der Lösung dann noch etwas Carbolsäure zugesetzt werden.

Die essigsauren Carminlösungen färben, mit Ausnahme der *Frei'schen*, sehr rasch — in einigen Minuten — aber diffus, weshalb eine nachträgliche, weiter unten zu besprechende Behandlung der betreffenden Präparate mit durch Salzsäure schwach angesäuertem Glycerin (1 : 200) oder 50 bis 70 proc. Alkohl nöthig wird.

Czokor's Cochenillelösung bereitet man durch Auflösung von 452
7 g mit gleichviel gebranntem Alaun in einem Porcellanmörser zerriebener Cochenille in 700 g kochendem, destillirtem Wasser (man kocht bis die Flüssigkeit 400 g beträgt) und Filtriren nach dem Erkalten. Das leicht eintretende Schimmeln kann durch einen geringen Zusatz von Carbolsäurelösung vermieden werden. Nach einem halben Jahre muss die Lösung wiederholt filtrirt und mit Carbolsäure versetzt werden.

Alkoholische Cochenillelösung ist neuerdings vielfach in der 453
zoologischen Station zu Neapel verwendet und von Dr. Paul Meyer auch für solche Objecte empfohlen worden, welche Farbstoffe schwer eindringen lassen. Ich selbst habe sie bei Pflanzengeweben versucht und kann sie nur empfehlen. Die Bereitung geschieht folgendermaassen: Grob zerkleinerte Cochenille wird mit 70 proc. Alkohol (auf 1 g Cochenille 8 bis 10 ccm Alkohol) übergossen, mehrere Tage stehen gelassen und dann filtrirt, so dass man eine klare, tiefrothe Flüssigkeit erhält.

2. Hämatoxylinlösungen.

Das Hämatoxylin (der Farbstoff des Campecheholzes) hat in neuer 454
Zeit — und zwar mit Recht — als Färbungsmittel in der Thier- und Pflanzenhistologie eine sehr ausgedehnte Verwendung gefunden, da es einerseits bei richtiger Behandlung der Objecte sehr sichere und schnelle Kernfärbung gestattet und andererseits leicht zu behandeln ist. Zur Bereitung der Hämatoxylinlösung sind verschiedene Vorschriften ertheilt worden, von denen sich diejenigen, welche unmittelbar von dem im Handel vorkommenden krystallisirten Farbstoffe ausgehen, am meisten empfehlen dürften. Böhmer, welcher die Hämatoxylinfärbung zuerst anwendete, giebt folgende Vorschrift: Es werden 0,35 g Hämatoxylin in 10 g absolutem Alkohol gelöst und von dieser Lösung tropfenweise solange zu einer zweiten Lösung von 0,1 g Alaun in 30 g destillirtem Wasser zugesetzt, bis eine schön blauviolette Färbung entsteht. (Frey empfiehlt 1 g Hämatoxylin auf 30 g absoluten Alkohol und 0,5 bis 1 g Alaun auf 30 g destillirtes Wasser.) Die so erhaltene Flüssigkeit muss nun einige Tage offen an der Luft stehen gelassen und dann — sowie auch später von Zeit zu Zeit — filtrirt werden.

Kleinenberg hat eine etwas complicirte Bereitungsweise angegeben, welche im Grunde darauf hinausgeht, eine alkoholische Hämatoxylinlösung mit einer Chloraluminiumlösung zu vereinigen. Ich bereite daher die entsprechende Lösung derart, dass ich eine gesättigte alkoholische Chloraluminiumlösung mit 6 bis 8 Raumtheilen 70 proc. Alkohol verdünne und tropfenweise eine alkoholische Hämatoxylinlösung zusetze, bis intensiv blauviolette Färbung eintritt. Auch mit einer Mischung aus alkoholischer Alaun- und Hämatoxylinlösung, welche ich beim Gebrauche mit 50 bis 70 proc. Alkohol oder auch Wasser verdünne, habe

ich gute Resultate von Kernfärbung erzielt. Nach Rindfleisch kann auch eine wässrige Lösung Anwendung finden und zwar in der Art, dass man je eine concentrirte Lösung von Hämatoxylin und Alaun vorrätig hält, beim Gebrauche einer kleinen Menge der ersteren von letzterer Tropfen um Tropfen zusetzt, bis Umwandlung des braunrothen in blau-violetten Farbenton erfolgt und dann mit etwa der fünffachen Wassermenge verdünnt.

Hat man kein Hämatoxylin zur Hand, so kann man sich die Färbeflüssigkeit auch aus dem officinellen Campecheholz-Extract unmittelbar und zwar nach Klein folgendermaassen darstellen: 15 g Alaun werden mit 5 g Extract in einem Mörser sorgfältig gemischt, unter beständigem Umrühren 25 cm destillirtes Wasser zugesetzt und die Lösung filtrirt. Zu dem erhaltenen Filtrat setzt man 5 g absoluten Alkohol, während der Rückstand wieder mit 15 cm Wasser gelöst, filtrirt und diesem Filtrate 2 g absoluten Alkohols zugesetzt wird. Beide Lösungen werden hierauf gemischt und beim Gebrauche 1 bis 2 Tropfen in ein Uhrsälchen mit destillirtem Wasser gegossen.

3. Indigocarmin.

455 Die Lösung von Indigocarmin hält ihre Farbe in Canadabalsampräparaten sehr gut, findet indessen eine beschränkere Anwendung, als die vorher beschriebenen Flüssigkeiten und eignet sich namentlich zur Färbung der Nervenzellen und der Achsencylinder der Nerven. Man bereitet dieselbe nach der Vorschrift von Thiersch, indem man in einer Oxalsäurelösung von 1 Theil Säure auf 22 bis 30 Theile Wasser käuflich indigoschwefelsaures Kali bis zur Sättigung löst und die erhaltene Flüssigkeit nach Belieben mit Weingeist verdünnt. Concentrirt färbt diese Flüssigkeit ähnlich wie die Thiersch'sche Carminlösung, sehr schnell und intensiv blau. Ueberschüssigen Farbstoff zieht man mittelst weingeistiger Oxalsäurelösung aus.

4. Alizarin und Purpurin.

456 Diese beiden in der Krappwurzel enthaltenen Farbstoffe erleiden gleichfalls eine nur beschränkte Anwendung.

Eine gesättigte alkoholische Lösung von Alizarin wird zum Nachweise der in Pigmentdegeneration befindlichen Nervenzellen verwendet, während die Purpurinlösung zur Kernfärbung der Nervensubstanz — hauptsächlich des Rückenmarkes — aber auch anderer thierischer, sowie pflanzlicher Gewebe dienen kann. Letztere Lösung bereitet man nach Ranvier, indem man das im Handel vorkommende Purpurin in einer $\frac{1}{2}$ procentigen kochenden Alaunlösung auflöst, so dass etwas Pur-

purin ungelöst bleibt, heiss filtrirt und dem Filtrate $\frac{1}{4}$ Raumtheil 36 grädigen Alkohol zusetzt; nach Grenacher, indem man 1 bis 3 g Alaun in 100 cem destillirtem Wasser löst, dieser Lösung eine Messerspitze voll pulverisirten Purpurins zusetzt, 2 bis 3 Tage stehen lässt und dann filtrirt. Die Ranvier'sche Lösung hält sich nur kurze Zeit, während die Grenacher'sche länger aufbewahrt werden kann.

5. Chinoleinblau, Cyanin.

Die Lösung von Cyanin in 36procentigem Alkohol vorsichtig mit 457 Wasser verdünnt ertheilt Fettsubstanzen eine tiefblaue, den Zellkernen eine heller blaue bis violettblaue Färbung. (Flemming.) Nach Ranvier werden ferner glatte Muskeln blau, Nerven blaugrau, Protoplasmasubstanzen blau gefärbt. An in Glycerin eingelegten, im Dunkeln aufbewahrten Pflanzenschnitten hat sich die Kernfärbung bei mir seit einem Jahre recht gut gehalten.

6. Alcannatinctur.

Der weingeistige Auszug des Farbstoffes der Wurzel von Alcanna 458 tinctoria ertheilt Harzen, so wie Fetten eine blutrothe Färbung (Protoplasma wird schwach rosa gefärbt). Sie dient in der Pflanzenhistologie zum Nachweise dieser Stoffe, namentlich auch der letzteren in der Grundsubstanz fetthaltiger Samen, welcher die Proteinkörner eingebettet sind. Für die Thierhistologie dürfte sie sich wohl auch für Fettgewebe etc. empfehlen.

7. Lösungen von Anilin- und Azofarbstoffen.

Es lag nahe, dass man in der mikroskopischen Färberei auch die Lösungen der genannten Farben schon bald in Gebrauch genommen. Die Urtheile über deren Verwendbarkeit waren und bleiben auch gegenwärtig noch getheilt, indem dieselben meist eine diffuse für Kernfärbung nicht geeignete und dabei wenig haltbare Färbung erzeugen und sonach mit wenigen Ausnahmen nicht an die Stelle der Carmin- und Hämatoxylinlösungen treten können. Indessen eignen sich mehrere ganz vortrefflich zur Sichtbarmachung des Chromatingerüstes der Kerne und ausserdem hat ihnen nach anderen Richtungen hin ihre Eigenschaft in die Gewebeelemente, sowie Inhaltsbestandtheile je nach ihrer Dichtigkeit und ihrer chemischen Constitution mehr oder minder leicht einzudringen, noch weitere Gebiete der Anwendung, namentlich auch bei Doppelfärbungen, gesichert, auf dem sie nicht leicht ersetzt oder entbehrt werden können.

459 Rothe Anilinföfung. Als solche verwendet man schon lange mit gutem Erfolge eine nach der Vorschrift von Professor Frey bereitete Lösung aus 1 cg krystallisirtem Fuchsin, 20 bis 25 Tropfen absolutem Alkohol und 15 ccm destillirtem Wasser. Diese schön rothe, mässig intensive Lösung soll sehr schnell und in schonendster Weise zarte thierische Gewebe färben und sich selbst für die zartesten Organisationen eignen, wenn man sie mit etwas Wasser verdünnt. Als Gewebetheile, für welche diese Flüssigkeit besonders verwendbar sein soll, werden genannt: Epithelien, Glashäute, Linsen, Glaskörper, junge Knochen und Knorpel, in Bewegung begriffene Flimmerzellen, Ganglienzellen, Drüsenzellen und Nervenfasern, deren Achsencylinder dabei aufs deutlichste hervortritt.

Pflanzengewebe werden in allen den Theilen gefärbt, welche verholzte Zellwände enthalten, ebenso färbt sich die „Intercellularsubstanz“, d. h. die mittlere, zwischen den beiden Primärwänden vorhandene Platte der sogenannten „Mittellamelle“ auch in den kleinsten noch vorhandenen Mengen intensiv roth.

460 Saffranin. In neuester Zeit ist von Professor Flemming neben Magdalaroth und Dahlia (Monophenylrosanilin) namentlich die Saffraninlösung als rasch und intensiv färbendes Kernfärbemittel für Untersuchungen über Kern- und Zelltheilung — Differenzirung der „chromatischen Figur“ Flemmings empfohlen und bisher mehrseitig — von Strassburger, Tangl und mir auch bei Pflanzenzellkernen — mit gutem Erfolge benutzt worden. Die Lösung kann für manche Zwecke eine wässerige sein, indessen wirkt am sichersten die in folgender Weise bereitete. Man löse 1 g Saffranin in 100 g absolutem Alkohol und vermische diese Lösung nachdem sie einige Tage gestanden hat mit 200 ccm Wasser. Bemerkt sei noch, dass nach gemachten Erfahrungen nicht jedes im Handel vorkommende Saffranin gleich brauchbar ist (mein Präparat ist aus der hiesigen Materialhandlung von Fr. Schaefer bezogen und hat sich vollkommen bewährt).

461 Eosin. Die Eosinlösung — 0,8 bis 1 g Farbstoff auf 100 g absoluten Alkohol, oder 1 g Farbstoff auf 200 bis 1000 ccm Wasser — ist von Fischer in die Mikrochemie eingeführt und seitdem mit mehr oder weniger Erfolg verschiedenseitig angewendet worden. Die Ergebnisse der gemachten Versuche gehen dahin, dass es schon in sehr kleinen Mengen des Farbstoffes die Kerne der Endothelzellen, der interannularen Nerven, der Remak'schen Fasern, der Sesamknoten an der Achillessehne beim Frosch rosenroth und zwar stärker, als das ebenfalls tingirte Protoplasma färbt, ferner dass es ein vorzügliches Reagenz auf Hämoglobin bildet, indem es alle diese Verbindung enthaltende Gebilde orange-gelb, oder im Zusammenwirken von 1 procentiger Ueberosmiumsäure (Thanhofer) kupferroth, alle hämaglobinfreien dagegen rosenroth färbt. Auch bei der Doppel-färbung wird dieses Färbemittel häufig angewendet.

Corallin. Das Corallin, ein ziemlich zusammengesetzter Körper, 462 dessen Hauptbestandtheil Rosolsäure bildet, ist in Natroncarbonat (kohlensaurem Natron) gelöst, in neuester Zeit von Szyszyłowicz als Reagenz auf Pflanzenschleime empfohlen worden, von denen es den Stärkeschleim stark und dauernd, den Celluloseschleim kälter und weniger dauerhaft (die Farbe ist mit heissem Alkohol leicht auszuziehen), Gummischleim mehr oder weniger intensiv färben soll, während Gummi, Zellwände und Protoplasma ungefärbt bleiben. Die mit Corallin gefärbten Präparate lassen sich nicht oder doch nur kurze Zeit unverändert aufbewahren.

Blaue Anilinlösung. Diese Anilinlösung wird nach Frey erhalten, 463 indem man käufliches lösliches Anilinblau, welches unter verschiedenen Namen im Handel vorkommt, so lange mit Wasser versetzt, bis man eine tiefe Kobaltfarbe erhält. Statt dessen kann man auch 2 cg lösliches Anilinblau in 25 cem destillirtem Wasser lösen und dann 20 bis 25 Tropfen Alkohol zusetzen. Diese Flüssigkeit soll sehr rasch und intensiv färben, und die Farbe sich sowohl in Wasser wie in Alkohol und Glycerin erhalten. Als Gewebetheile, für welche sich blaue Anilinlösung vorzugsweise eignet, werden von Frey Lymphdrüsen, Milz und Darmwandungen, Epithelzellen, namentlich aber Gehirn- und Rückenmarkspräparate genannt. Bei Untersuchungen der Pflanzengewebe wurde dasselbe neuerdings mit Fuchsin bei Doppelfärbungen benutzt.

Methylviolett ist für den Nachweis von Amyloidsubstanzen in 464 thierischen Geweben empfohlen und verwendet worden, während D. Koch dasselbe als vorzügliches Färbemittel für Bakterien verwendet hat, welche die Lösung so rasch und vollständig aufnehmen, dass sie in Vermischung mit kleinen Fettkörpern und dergleichen sofort erkannt werden können.

Gentianaviolett ist von Weigert als vorzügliches Kernfärbemittel 465 für in Chromsäure fixirte Präparate empfohlen worden. Dasselbe giebt nach Flemming denen des Safranins gleichkommende sehr scharfe und schöne Färbungen, die aber dunkler sind als jene und sich deshalb mehr für isolirte oder in sehr dünnen Schichten vorkommende Kerne eignen.

Methylgrün, Malachitgrün und Solidgrün. Ersteres ist in 0,5 466 bis 1 proc. Lösung als vorzügliches Färbemittel für das Centralnervensystem und in Verbindung mit 1 proc. Essigsäure (Strassburger) für Studien über vegetabilische Kerntheilung empfohlen worden und leistet nach meinen Erfahrungen gute Dienste. Die beiden anderen eignen sich ausserdem noch besonders zur Demonstration der Kernkörperchen (Nucleoli). Auch bei der Doppelfärbung finden dieselben Verwendung.

Anilinbraun ist von Dr. Koch als Lösung in gleichen Theilen 467 von Glycerin und Wasser für Bakterienfärbung empfohlen worden, während Weigert das Bismarckbraun in durch Kochen erhaltener concentrirter wässriger, von Zeit zu Zeit zu filtrirender, Mayzel in verdünnter essigsaurer Lösung als vorzügliches Kernfärbemittel für in Glycerin oder Harzlösungen aufzubewahrende Präparate bewährt gefunden hat.

- 468 **Anilinschwarz und Anilinblauschwarz** wurden in neuerer Zeit in 0,5 bis 2 proc. wässerigen Lösungen zur Färbung von Gehirn- und Rückenmarksnitten (Arbuckle, Lewis, Sankey) verwendet, bei denen die Kerne schwarz, die Zellkörper und Zellfortsätze purpurroth, die übrigen Elemente hell bläulich-purpurroth werden sollen. Für Färbung von Pflanzenzellkernen, namentlich zu dem Studium der feineren inneren Structur hat Errera das im Handel unter dem Namen „Nigrosin“ vorkommende, in Wasser lösliche Anilinschwarz angewendet und angelegentlich empfohlen.

8. Pikrinsäure.

- 469 Die Pikrinsäure, welche wir schon als Erhärtungsmittel kennen lernten, ertheilt zugleich den Geweben und ebenso den Zellkernen eine leuchtend gelbe Färbung und macht die Zellwände, z. B. von glatten Muskeln, dunkler und schärfer hervortreten.

9. Molybdänsaures Ammoniak.

- 470 Eine Lösung von 5 g molybdänsaurem Ammoniak in 100 ccm destillirtem Wasser (Krause) färbt thierische Gewebe unter Einfluss des Lichtes binnen 24 Stunden graublau, nach folgender Einwirkung von 1 bis 15 proc. Gerbsäure- oder 20 proc. Pyrogallussäurelösung braun.

B. Zusammengesetzte Färbeflüssigkeiten.

Die zusammengesetzten Färbeflüssigkeiten haben den Zweck durch einmaliges Einlegen des betreffenden Objectes verschiedene Färbung einzelner Elemente zu bewirken und dieselben dadurch schärfer von einander abzuheben, oder auch einen auf andere Weise nicht zu erzielenden Farbenton hervorzurufen.

1. Pikro-Carmin.

- 471 Die Lösung von Pikro-Carmin bringt Doppelfärbung hervor, indem sich durch dieselbe gewisse Gewebetheile, namentlich die Zellkerne roth, andere gelb oder gelbroth (Protoplasma) färben, wobei jedoch zu bemerken ist, dass sich die gelbe Farbe durch Wasser auswaschen lässt, während dieselbe in Glycerin erhalten bleibt. Man kann eine einfache alkoholische Lösung des im Handel vorkommenden krystallisirten Pikro-Carmines

anwenden, oder sich eine wässrige Lösung nach einer der folgenden Methoden bereiten. Nach Ranvier trägt man gewöhnliche ammoniakalische Carminlösung in eine concentrirte wässrige Pikrinsäurelösung ein bis dieselbe neutral wird, dann dampft man auf $\frac{1}{5}$ der Flüssigkeit ein; von dem sich hierbei ausscheidenden Carmin filtrirt man ab und dampft das erhaltene Filtrat zur Trockne ein. 1 g des erhaltenen rothgelben Pulvers wird dann in 100 ccm destillirtem Wasser gelöst und die Lösung von Zeit zu Zeit filtrirt. Nach Weigert werden 2 g Carmin mit 4 g Ammoniak übergossen und 24 Stunden an einem vor Verdunstung geschützten Orte stehen gelassen, hierauf fügt man 200 g concentrirter wässriger Pikrinsäurelösung zu und lässt wiederum 24 Stunden lang stehen, worauf vollständige Lösung erfolgt sein wird. Dieser Lösung wird so lange tropfenweise Essigsäure zugesetzt, bis der erste schwache Niederschlag eintritt, dann nach wiederholtem 24stündigem Stehen etwas Ammoniak zugegeben, worauf die geklärte Flüssigkeit, der man eine Spur Carbolsäure zusetzen kann, zum Gebrauche fertig ist.

Das oben beschriebene Hoyer'sche carminsaure Ammoniak kann ebenfalls zur Herstellung eines haltbaren Pikro-Carmins benutzt werden, welches sämtliche Vortheile des gebräuchlichen Präparates in sich vereinigt und sich in jeder Beziehung vollkommen bewährt. Dasselbe wird erhalten, wenn man das mittelst Alkohol ausgefällte Carminpulver in einer concentrirten Lösung von neutralem pikrinsaurem Ammoniak löst und zum Zwecke erhöhter Haltbarkeit einige Procent Chloralhydrat zufügt.

2. P i k r o - A n i l i n.

Werden 100 Raumtheile einer gesättigten wässrigen Pikrinsäure- 472
lösung mit 3 bis 5 Raumtheilen einer concentrirten Lösung von Anilinblau gemischt, so erhält man eine schön grüne Lösung, welche grüne Kernfärbung hervorbringt (Tafari), deren Erhaltung beim Einlegen in Glycerin, wie in Canadabalsam einen geringen Zusatz von Pikro-Anilin zu dem Glycerin oder dem als Waschmittel dienenden Alkohol erfordert.

3. Indigcarmin und Carmin oder Pikrinsäure.

Die weiter oben beschriebene Indigcarminlösung wird mit einer 473
ammoniakalischen Carminlösung in dem Verhältnisse gemischt, dass eine violette Farbe entsteht, wobei etwa ausfallender Carmin durch tropfenweisen Zusatz von Ammoniak gelöst werden muss. Eine ähnliche Mischung erhält man, wenn Borax-Carmin (10 g Carmin, 5 g Borax und 80 ccm Wasser) und Borax-Indigcarmin (5 g Indigcarmin, 5 g Borax und 80 ccm Wasser) mit einander vereinigt werden. Diese

Mischungen färben von Gehirnsubstanz das Nervenmark blau, die Blutkörperchen grün und die übrigen Elemente roth, an entkalkten Knochenschnitten die Knochensubstanz blau, die übrigen Theile roth. Die Mischung von Indigcarmin und Pikrinsäure färbt Bindegewebesubstanz blau, Epithelialgewebe dagegen gelb.

4. Eosin und Hämatoxylin.

- 474 Man bereitet die Mischung aus gleichen Raumtheilen einer gesättigten alkoholischen Eosinlösung und chemisch reinem Glycerin, welchen man solange Hämatoxylinlösung hinzufügt, bis die bekannte grüne Fluorescenz der ersteren fast verschwunden erscheint. Das Ganze wird filtrirt. In dieser Flüssigkeit färbt sich das Bindegewebe perlgrau, elastische Fasern und Blutkörperchen dunkelroth, die Zellkerne violett. Protoplasmen, Achsencylinder und Nervenfasern hell rosa. Zum Einschluss so gefärbter Präparate kann nach entsprechender Vorbehandlung Glycerin oder Canadabalsam verwendet werden.

5. Anilin-Violett.

- 475 Diese von Hanstein in die Pflanzenhistologie eingeführte Mischung besteht aus etwa gleichen Theilen von Methylviolett und Fuchsin, welche in Alkohol gelöst werden und eignet sich vorzugsweise zum Sichtbarmachen der verschiedenen Elemente und Inhaltsbestandtheile zusammengesetzter Gewebe, indem z. B. die verholzten Zellmembranen mehr oder minder stark violett, das Protoplasma blauviolett, Gummiarten und Zellkerne roth, Harze rein blau gefärbt werden.

Eine ähnliche Mischung empfiehlt Gilbert. Man bereitet sie aus: 1 dgg Fuchsin gelöst in 150 g Alkohol, 1 dgg Anilinblau gelöst in 200 g mit 2 bis 3 Tropfen Essigsäure angesäuertem Alkohol, und Mischung von 7 Theilen der ersteren mit 2 Theilen der letzteren Flüssigkeit.

II. Imprägnationsmittel.

Die Imprägnationsmittel bestehen aus Lösungen von leicht reducirbaren Metallverbindungen, — salpetersaures Silber, Goldchlorid, Goldchloridkalium, Chlorpalladium, Berlinerblau und Ueberosmiumsäure — welche sich in Form von kleinen Körnchen in gewissen Gewebetheilen niederschlagen lassen und denselben dadurch eine bestimmte Färbung ertheilen.

Salpetersaures Silber (Höllenstein) wird in der Regel in 476
0,5 bis 2 procentigen wässerigen oder alkoholischen Lösungen, seltener
in trockenem Zustande und zwar wegen des wenig tiefen Eindringens
nur auf ganz dünne Schnitte angewendet. Statt der gebräuchlichen
Lösung ist von Alferow der Zusatz von 10 bis 12 Tropfen Pikrin-, Citro-
nen-, Essig- oder Milchsäure zu einer Silberlösung von 1:800 empfohlen
worden.

Goldchlorid und Goldchloridkalium. Die von Cohnheim 477
verwendete Lösung von Goldchlorid besteht aus 1 Gewichtstheil Gold-
chlorid auf 100 bis 200 Gewichtstheile destillirten, mit einigen Tropfen
Essig- oder Salzsäure angesäuerten Wassers, während Bastian 1 Theil
Goldchlorid in 2000 Theilen destillirten Wassers löst und je 70 ccm der
Lösung mit je einem Tropfen Salzsäure versetzt. Goldchloridkalium
wird in sehr schwachen Lösungen von etwa 1 bis 2 ccm des Salzes auf
100 ccm Wasser (Gerlach und Arnold) angewendet und für manche
Gewebe dem Goldchlorid vorgezogen.

Chlorpalladium (Palladiumchlorür) wurde von F.E. Schultze 478
in Lösungen von 1 Gewichtstheil des Salzes auf 800 bis 1500 Gewichts-
theile mit etwas Salzsäure angesäuerten destillirten Wassers empfohlen;
man kann indessen auch die im Handel vorkommende braune Lösung
benutzen, wenn man dieselbe soweit mit destillirtem Wasser verdünnt, bis
sie eine hell weingelbe Farbe angenommen hat.

Schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol) in 0,5 procentiger 479
und **Ferrocyankalium** (gelbes Blutlaugensalz) in 1 procentiger
Lösung werden in Aufeinanderfolge angewendet (Leber), um in gewis-
sen Geweben Berlinerblau niederzuschlagen.

Ueberosmiumsäure (Osmiumsäure) und Osmiamid, die wir 480
schon bei den Erhärtungsmitteln besprochen haben, finden und zwar
erstere in 1 bis 2 procentiger, letzteres in 0,1 procentiger Lösung, auch
als Imprägnationsmittel Anwendung.

Eine Reihe anderer chemischer Präparate und Substanzen, welche zur
Aufbewahrung von mikroskopischen Objecten Anwendung finden, dürfen
wir hier, wo es sich um die Hilfsmittel der mikroskopischen Beobachtung
im engeren Sinne handelt, übergehen. Dieselben werden in dem betref-
fenden späteren Abschnitte eine nähere Besprechung erfahren.

Viertes Capitel.

I n j e c t i o n s m a s s e n .

481 Die Injectionsmassen bestehen im Wesentlichen aus einer warm oder kalt anzuwendenden Flüssigkeit, der eine färbende Substanz beigemischt ist.

Eine brauchbare Injectionsmasse muss einen solchen Grad der Flüssigkeit besitzen, dass sie in die feinsten Haargefässe einzudringen vermag, ohne durch deren Wandungen zu diffundiren. Ihre Färbung muss eine durch die ganze Masse gleichmässige, und der Farbstoff so fein vertheilt sein, dass er nicht körnig oder klumpig erscheint, sondern eine zusammenhängende gleichförmige Masse bildet; ferner muss der Farbenton so entschieden hervortreten, dass die feinsten Gefässverzweigungen, bei auffallendem sowohl als bei durchgehendem Lichte scharf und bestimmt vor ihrer Umgebung hervortreten. Verwendet man in der Wärme flüssige, beim Erkalten erstarrende Massen, so darf dieses Erstarren nur soweit gehen, dass es zwar die bequeme und saubere Führung von Schnitten gestattet, ohne aus den injicirten Hohlräumen hervorzuströmen, nicht aber die Masse so verändern, dass dadurch dem Messer ein zu bedeutendes Hinderniss in den Weg gelegt wird.

Die Färbemittel für jegliche Art der Injectionsflüssigkeiten müssen derart beschaffen sein, dass sie weder durch die Einwirkung des Lichtes, noch durch diejenige des Inhaltes der betreffenden Gewebetheile, noch durch die Flüssigkeit, in welcher das Präparat aufbewahrt wird, irgend eine Veränderung erleiden, noch sich leicht lösen, weil sie sonst durch die durchdringbaren Gefässwände austreten und das Präparat verderben würden. Aus diesem Grunde wählt man dazu am besten metallische Farben, welche in der Flüssigkeit suspendirt bleiben. Je nachdem diese in einem mehr grobkörnigen, in einem höchst fein vertheilten oder in gelöstem Zustande erhalten werden können, bilden sie die sogenannten

opaken, nur für die Beobachtung bei auffallendem Licht brauchbaren, oder die transparenten für durchgehendes Licht anwendbaren Färbemittel. Von den unorganischen Farbstoffen sind es vorzugsweise der feinst vertheilte Zinnober, das chromsaure und kohlensaure Blei, welche für opake, dann das frisch gefällte, höchst fein vertheilte Berlinerblau, welche für transparente Mischungen verwendet werden. Von den organischen Farbstoffen hat vorzugsweise der Carmin als transparentes Färbemittel Anwendung gefunden, während die Anilinfarben wegen ihrer geringen Beständigkeit nur seltener gebraucht werden.

Ich lasse nun zunächst die verschiedenen warm zu verwendenden Injectionsmassen nach ihren Farben folgen, und werde dann die kalten Injectionsflüssigkeiten im Zusammenhange aufführen.

I. Warme Injectionsmassen.

Man hat zu warmen Injectionsmassen manche, bei höherer Temperatur flüssige, bei gewöhnlicher Temperatur erstarrende feste Körper, wie Wachs, Stearin, Cacaobutter, dann Harze, bis zur Syrupsdicke eingedampften, mit etwas reinem Wachs versetzten Copal-, Mastix- oder Terpentinfirnis und dergleichen empfohlen, von denen sich aber — ausgenommen zur Herstellung trocken aufzubewahrender, für schwache Vergrößerungen bestimmter Präparate — keine als vollkommen dem Zweck entsprechend bewährt hat. Eine Auflösung von Gelatine oder möglichst reinem, farblosem kölnischem Leim scheint, soweit mir bekannt geworden, namentlich für feinere thierische Präparate, den besten Erfolg zu gewähren.

Eine derartige Lösung bereitet man sich auf folgende Weise: Die zerkleinerten Täfelchen der Gelatine oder des Leimes werden erst einige Stunden in Wasser eingeweicht und dann, nachdem das erste Wasser abgegossen ist, in etwa der vier- bis zehnfachen Menge erneuten Wassers bei einer Temperatur von 50 bis 55° C. über dem Wasserbade gelöst. Die Gelatinelösung kann man dann in noch warmem und flüssigem Zustande unmittelbar mit dem betreffenden Farbstoffe verbinden, eine Lösung aus Leim dagegen muss vorher durch ein Tuch filtrirt werden, um sie von etwa darin vorkommenden, verunreinigenden Substanzen zu befreien.

Bei der Anwendung wird die Masse, welcher man, um völliges Austrocknen zu verhüten, 5 bis 10 Proc. Glycerin zusetzen kann, immer wieder über dem Wasserbade bei der oben erwähnten Temperatur erwärmt und flüssig gemacht. Dieselbe hält sich indessen nur kurze Zeit, ohne durch Schimmelpilze oder Bakterien veranlasste Zersetzungen zu erleiden, und man thut daher gut, sich entweder nur eine so grosse Menge zu bereiten, als man gerade bedarf, oder die Zersetzung durch Zugabe einer fäulnisswidrigen Substanz zu verhüten. Unter diesen ist nun das Chloralhydrat von Professor Hoyer in Warschau als ein solches erkannt wor-

den, welches bei Zusatz von einigen Gewichtsprocenten weder die erforderlichen Eigenschaften der Injectionsmasse im geringsten beeinträchtigt, noch die Beschaffenheit der zu injicirenden Gewebe in irgend einer Weise verändert. Die auf Wochen bis Monate dauernde Haltbarkeit gestattet dann noch ferner sich gleich grössere Mengen mit dem Färbemittel versehener, zur unmittelbaren Verwendung fertiger Massen herzustellen.

1. Rothe Injectionsmasse.

483 Zinnobermasse. Unter den rothen Massen ist die mittelst Zinnober gefärbte für solche Präparate, welche bei auffallendem Lichte beobachtet werden sollen, die geeignetste, indem derselbe der Mischung erstlich eine sehr intensive Farbe ertheilt und dann sich sehr gleichmässig in der Flüssigkeit verbreitet. Hauptsache ist dabei, dass der Stoff die erforderliche Feinheit besitzt, so dass sich selbst unter mittelstarken Vergrösserungen keine Körner von erheblicher Grösse wahrnehmen lassen. Da indessen der käufliche Zinnober in der Regel diese Eigenschaft nicht besitzt, so muss man sich denselben eigenhändig zubereiten. Man reibt ihn zu dem Ende mit etwas Wasser in einem Achat- oder Stahlmörser fein ab, und schlämmt dann so lange, bis man eine Masse von der gewünschten Feinheit erlangt hat. Ein Theil des so dargestellten Zinnobers auf 8 Theile einer concentrirten Gelatine- oder Leimlösung soll nach Harting ein passendes Verhältniss für eine brauchbare Injectionsmasse bilden.

Der Zusatz der Farbe zu der Lösung muss nach und nach unter beständigem Umrühren geschehen, und es darf die Masse als gelungen betrachtet werden, wenn sie ein gleichförmiges, zusammenhängendes schönes Roth zeigt.

484 Carminmasse. Für eine transparente äusserst haltbare rothe Injectionsmasse ist die Carminmasse vorzüglich geeignet, sie kann indessen bei sorgfältiger, die sonst drohende Durchschwitzung ausschliessender Zubereitung auch statt des Zinnobers verwendet werden, da dieselbe eine gleich hohe Färbungskraft, und vor diesem ausserdem noch das voraus hat, dass sie ein weit geringeres specifisches Gewicht besitzt und sich deshalb nicht so leicht zu Boden setzt. Man verwendet den Farbstoff entweder in Pulverform oder in Lösung. Als höchst fein zertheiltes Pulver wird der Carmin nach der oben mitgetheilten Vorschrift erhalten und dann mit etwas wenigem Wasser vermischt einer concentrirten Leimlösung zugesetzt. In Form von Lösung wurde derselbe von Professor Gerlach zuerst angewendet und empfohlen. Nach der von diesem Forscher gegebenen Vorschrift verfährt man bei der Bereitung der Injectionsmasse folgendermaassen: Man löst 10 Gewichtstheile feinen Carmins in 8 Gewichtstheilen Wasser und 1 Gewichtstheile Act-

ammoniak auf und lässt diese Lösung mehrere Tage offen an der Luft stehen, damit sich das überschüssige, nachtheilig auf die Gelatine wirkende Ammoniak verflüchtigt. Hierauf verbindet man den Farbstoff mit einer Lösung von 6 Gewichtstheilen Gelatine in 8 Gewichtstheilen Wasser und setzt einige Tropfen Essigsäure zu.

Professor Frey hat diese Vorschrift mit gutem Erfolge folgendermassen abgeändert: 2 bis 2,5 g feinsten Carmin wird mit einer grösseren oder kleineren Tropfenzahl vorher auf eine bereit zu haltende Essigsäure titrirten Ammoniaklösung und etwa 15 ccm destillirtem Wasser in einer Schale unter Reiben gelöst, die erhaltene Lösung filtrirt (hierzu sind einige Stunden erforderlich und es erfolgt ein Ammoniakverlust durch Verflüchtigung), das Filtrat unter Umrühren in eine concentrirte Lösung feinen Leimes eingetragen und die Mischung auf dem Wasserbade etwas erwärmt. Fügt man nun dieser Mischung die zur Neutralisirung des Ammoniaks vorher bestimmte Anzahl Tropfen von Essigsäure langsam und unter Umrühren hinzu, so erhält man den Carmin in saurer Leimlösung ausgefällt und die Masse ist zum Gebrauche fertig.

Die aus der ersten Filtration erhaltene Hoyer'sche Carminlösung lässt sich mit der concentrirten Gelatinelösung sehr gut zu einer transparenten Injectionsmasse verbinden, wenn man die entsprechende Menge der ersteren hinzufügt, auf dem Wasserbade so lange digerirt, bis die dunkelrothe Färbung in eine hellere übergeht, dann 5 bis 10 Raumtheile Glycerin und etwa 2 Proc. Chloralhydrat zusetzt und durch Flanell filtrirt.

2. Gelbe Injectionsmasse.

Harting's Masse. — Diese gelbe Injectionsmasse wird mittelst 485 chromsauren Bleioxyds hergestellt und nach der von Harting gegebenen ganz genau einzuhaltenden Vorschrift in folgender Weise bereitet: 15 g Bleizucker werden in so viel Wasser gelöst, dass das Ganze dem Volumen von 80 ccm entspricht; dann löst man 10 g rothes chromsaures Kalium in so viel Wasser, dass die Lösung das Volumen von 150 ccm erreicht. Diese beiden Lösungen mischt man hierauf, und zwar je 1 Raumtheil der ersteren mit 2 Raumtheilen der anderen, in einem Becherglase, rührt die Mischung einige Augenblicke stark um und verbindet sie nun erst mit 2 Raumtheilen einer concentrirten Leim- oder Gelatinelösung.

Die auf solche Weise gewonnene Injectionsmasse, welche übrigens zu den sogenannten opaken gehört, soll sich vor allen anderen dadurch auszeichnen, dass sie leicht in die feinsten Gefässverzweigungen dringt und neben einer lebhaften Färbung einen sehr gleichmässigen Zusammenhang besitzt. Sie wird daher da, wo man nur von einer einfachen Injection Anwendung zu machen hat, von manchen Mikroskopikern den übrigen opaken Massen vorgezogen.

486 **Thiersch's transparente Masse** wird folgendermaassen dargestellt: Eine Lösung von 1 Theil einfach chromsauren Kaliums in 11 Theilen Wasser wird im Verhältniss von 1 : 4 (etwa 25 ccm auf 100 ccm), dann eine gleich starke Lösung von salpetersaurem Bleioxyd im Verhältniss von 2 : 4 (50 ccm auf 100 ccm) mit einer gesättigten Gelatinelösung verbunden, beide Massen dann bei einer Temperatur von 25 bis 32° C. langsam und unter beständigem Umrühren vereinigt, etwa eine Stunde lang auf 70 bis 100° C. auf dem Wasserbade erwärmt und schliesslich durch Flanell filtrirt. Man erhält so eine schöne gelbe Masse, welche indessen nach längerem Stehen abermaliges Kochen und Filtriren erfordert.

487 **Hoyer's transparente Masse.** Eine in den Capillaren gelb, in den gröberen Gefässen bräunlich erscheinende Injectionsmasse erhält man nach Hoyer, wenn man eine concentrirte Gelatinelösung mit dem gleichen Volumen einer 4procentigen Höllensteinlösung versetzt, erwärmt und darauf — zur Reduction des Silbers — eine geringe Menge wässeriger Pyrogallussäure und endlich Glycerin und Chloralhydrat in oben erwähntem Verhältnisse hinzufügt. Die graubraun erscheinende Masse verändert sich in Alkohol, Chromsäure, chromsaurem Kali, Essigsäure etc. nicht, so dass die damit hergestellten Präparate in verschiedenen Flüssigkeiten erhärtet werden können.

3. Blaue Injectionsmasse.

Zur Darstellung der blauen, transparenten Injectionsmassen verwendet man nur das leider nicht ganz haltbare Berlinerblau. Es existiren verschiedene Vorschriften, von denen ich hier indessen nur drei näher berücksichtige, weil man dieselben hinreichend finden dürfte, um ein Präparat zu gewinnen, das geeignet ist, allen Ansprüchen an eine gute Masse zu genügen.

488 **Harting's Masse.** Nach Harting bereitet man sich ein höchst fein in der Leimlösung vertheiltes Berlinerblau in folgender Weise: 105 g schwefelsaures Eisenoxydul werden in 600 bis 750 ccm Wasser gelöst und, bei mässiger Wärme, unter Zusatz von 18 g Schwefelsäure von 1,85 specifischem Gewicht und der erforderlichen Menge Salpetersäure in das Oxydsalz umgewandelt; dann setzt man noch so viel Wasser zu, dass das Ganze das Volumen von 1200 ccm erreicht. Hierauf löst man 115 g Ferrocyanium (gelbes Blutlaugensalz) in soviel Wasser, dass die Lösung dem Volumen von 2400 ccm Wasser gleichkommt. Endlich werden 2 Raumtheile der zuletzt bereiteten Lösung mit gleichen Raumtheilen einer concentrirten Leimlösung vermischt, unter beständigem Umrühren 1 Raumtheil der Eisenoxydlösung tropfenweise eingetragen und durch ein Tuch filtrirt.

Diese höchst feinkörnige und leicht eindringende Injectionsmasse hat nur den einen Nachtheil, dass sie sich in Folge von dem Natrongehalte des Blutes etwas entfärbt. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, setzt

man derselben soviel Weinsteinssäure zu, als gerade hinreicht, um den Natrongehalt des Blutes zu sättigen.

W. Müller's Masse. Als sehr ausgezeichnet wurde in dem 489 Archiv von Max Schultze von Professor W. Müller eine Injections-masse empfohlen, welche aus der Auflösung von 1 Theile Leim in 8 Theilen einer nicht zu concentrirten Lösung des sogenannten löslichen Berlinerblaus besteht. Das letztere bereitet man sich leicht selbst auf folgende Weise: Eine Auflösung von Ferrocyankalium (gelbes Blutlaugensalz) wird mit einer Eisenoxydsalzlösung in der Weise gefällt, dass in der Flüssigkeit ein Theil des Blutlaugensalzes unzersetzt bleibt. Der Niederschlag von Berlinerblau wird hierauf auf dem Filter so lange ausgewaschen, bis das Waschwasser eine hochblaue Färbung annimmt. Alsdann ist das Berlinerblau in seine lösliche Modification übergetreten und behält getrocknet seine Auflöslichkeit in Wasser bei.

Beale's Berlinerblau. Das sogenannte Beale'sche Berliner- 490 blau wird aus Ferrocyankalium (gelbem Blutlaugensalze) und Eisenchlorid bereitet. Man löst zu dem Ende 1 g des ersteren Salzes in 30 ccm Wasser und verdünnt hierauf 1,9 bis 2,5 g der Eisenchloridtinctur der englischen Pharmacopoe mit weiteren 30 ccm Wasser. Die Lösung des Blutlaugensalzes vermischt man zuerst mit der Leimlösung, setzt diesem Gemisch die Eisenchloridlösung unter beständigem Umrühren tropfenweise zu und filtrirt schliesslich durch ein Tuch.

Thiersch's Berlinerblau. Man bereitet sich kalt gesättigte Lö- 491 sungen von schwefelsaurem Eisenoxydul (Eisenvitriol), eine gleiche von Ferridcyankalium (rothes Blutlaugensalz) und von Oxalsäure, ferner eine warme, gesättigte Gelatinelösung. Nun vermischt man je 6 ccm der ersten, 12 ccm der zweiten und dritten Lösung mit je 15 und 30 g der Leimlösung und trägt dann nach Abkühlung auf 25 bis 30° das erste Gemisch in das zweite unter beständigem Umrühren ein. Nach vollständiger Fällung erhitzt man einige Zeit die tiefblaue Masse im Wasserbade auf 70 bis 100° C. und filtrirt wie oben.

Um mittelst des „löslichen Berlinerblaus“ gute transparente und gleichmässige Gelatinemasse herzustellen, empfiehlt Professor Hoyer zuerst eine kleine Menge stark verdünnter und erwärmter Lösung von Berlinerblau mit einer gleichfalls geringen Menge mässig verdünnter Gelatine zu mischen, die klare, homogene, blaue Lösung weiter mit grösseren Mengen einer concentrirten Gelatine zu vereinigen und dann eine nur mässig verdünnte und erwärmte Lösung von Berlinerblau allmählig zuzufügen, bis eine gesättigt blaue, homogene Masse entstanden ist.

4. Grüne Injectionsmasse.

Thiersch's transparente grüne Masse, mit der man für alle 492 Fälle ausreicht, wird erhalten, wenn man dessen Berlinerblau mit dessen

transparentem Gelb vorsichtig zu gleichen Theilen mischt, längere Zeit auf 70 bis 100° C. erwärmt und filtrirt.

5. Weisse Injectionsmasse.

Eine brauchbare weisse Injectionsmasse ist schwer zu erhalten, denn wenn es auch eine Menge weisser Niederschläge giebt, so theilen doch alle dieselbe Eigenschaft, dass sie viel zu grobkörnig sind, um irgend brauchbare Präparate zu liefern.

493 Harting's Masse. Als eine der besten, die indessen immer nur eine ziemlich beschränkte Anwendung gestatten dürfte, hat Harting das kohlensaure Bleioxyd empfohlen. Man bereitet sich eine hiermit gefärbte Injectionsmasse nach diesem Forscher auf folgende Weise: 125 g essigsaures Bleioxyd, dann 95 g kohlensaures Natron werden jedes für sich in so viel Wasser gelöst, dass jede Lösung das Volumen von 480 ccm erreicht. Hierauf vermischt man je einen Raumtheil der beiden Lösungen mit 2 Raumtheilen einer concentrirten Leimlösung.

494 Frey's Masse. Frey empfiehlt neben dieser Masse den schwefelsauren Baryt, der sich durch feines Korn und leichtes Eindringen auszeichne, aber der reinen Farbe ermangle. Das Salz wird aus einer gesättigten Lösung von 120 g. Chlorbaryum durch sorgsamem Zusatz von Schwefelsäure ausgefällt, mit einem Theile des überstehenden Wassers zu einem dicken Breie angerührt und mit gleichen Raumtheilen concentrirter Leimlösung verbunden.

495 Chlorsilbermasse. In neuerer Zeit hat Teichmann die genannte freilich etwas theure Verbindung als Injectionsmasse empfohlen, welche sich durch ausserordentliche Feinheit auszeichnet, dagegen aber den Nachtheil besitzt, dass sie unter der Einwirkung des Lichtes schwarz wird. Man erhält dieselbe, wenn man 3 Theile gelösten salpetersauren Silberoxydes mit einer Leimlösung verbindet und in diese Masse 1 Theil Kochsalzlösung einträgt.

6. Braune Injectionsmasse.

496 Als solche ist in neuester Zeit von Ludwig der Asphalt empfohlen worden, welcher in Aether aufgelöst wird und sich in äusserst feinen Körnchen ausscheidet.

II. Kalte Injectionsmassen.

497 Von den kalt anzuwendenden Injectionsmassen, welche insofern einen Vortheil gewähren, als sie jeden Augenblick zum Gebrauche zur Hand sein können und nicht immer wieder aufs Neue angefertigt werden müs-

sen, welche aber durchaus nicht überall die warm anzuwendenden, erstarrenden zu ersetzen im Stande sind, scheint die von Beale empfohlene die weiteste Verbreitung gefunden zu haben, während die von Professor Hoyer vorgeschlagene einer ausgedehnten Verwendung fähige und eingehender Prüfung wohl werthe Schellackmasse wenig Beachtung gefunden zu haben scheint. Die erstere besteht aus einem Gemische von Wasser, Glycerin und Alkohol, in welchem die einzelnen Bestandtheile, je nach den damit verbundenen Färbemitteln, in wechselnden Verhältnissen auftreten. Nächst dem, dass sich diese Mischung, ohne irgend eine Veränderung oder Zersetzung zu erleiden, lange Zeit hindurch hält, bietet sie auch den Vortheil, dass sie mit äusserster Leichtigkeit in die zu injicirenden Hohlräume eindringt und die Gewebe in keinerlei Weise angreift. Die Hoyer'sche Schellackmasse bereitet man aus feinem gebleichtem Schellack, indem man eine gewisse Menge desselben in einer Kochflasche mit so viel 80 bis 90 procentigem Alkohol übergiesst, dass er gerade davon bedeckt wird, 24 Stunden stehen lässt und dann im Wasserbade so lange erwärmt, bis vollständige Lösung erfolgt ist. Hat die Masse nach dem Erkalten eine zu grosse Consistenz, so giesst man noch so lange Alkohol zu, bis diese auf diejenige eines dünnflüssigen Syrupes gebracht ist und filtrirt durch mässig dichten Mousselin, um alle etwa die Spritzen-cannülen oder die kleineren Gefässe verstopfende Unreinigkeiten zu entfernen. Die Aufbewahrung geschieht in weithalsigen mit eingeriebenem Glasstöpsel versehenen Flaschen.

Blaue Masse. Nimmt man das oben beschriebene Beale'sche Berlinerblau, 498
bereitet dann ein Gemisch aus 60 g Wasser, 30 g Glycerin, 30 g Aethylalkohol und 5,5 g Methylalkohol und setzt dieses der blauen Farbe vorsichtig und unter stetem Schütteln des Mischungsgefässes zu, so erhält man eine vortreffliche blaue Masse.

Eine noch besser wirkende Masse erhält man nach einer neueren, von Frey modificirten Vorschrift von Beale, wenn man 10 Tropfen der oben Nr. 490 genannten Eisenchloridtinctur mit 15 g reinem Glycerin vermischt, dann 18 cg Ferrocyankalium in wenig Wasser gelöst mit 15 g Glycerin vereinigt, beide Lösungen unter starkem Schütteln mischt und schliesslich 15 ccm Wasser mit 3 Tropfen starker Salzsäure zufügt.

In weit einfacherer Weise stellt Professor W. Müller eine von ihm sehr gerühmte kalte blaue Injectionsmasse durch Fällung des löslichen Berlinerblaus mittelst eines Alkohols von 90 Proc. dar.

Rothe Masse. Eine kalte Carminmasse wird erhalten, wenn 499
man aus einer Lösung des carminsauren Ammoniaks, welche nach der Hartig'schen Vorschrift bereitet wurde, mittelst sehr stark verdünnter Salzsäure (25 bis 30 Tropfen auf 30 g Wasser) den Carmin ausfällt und mit 60 g Glycerin und 15 g Alkohol verbindet.

Der schwefelsaure Baryt nach Frey in gleicher Weise wie oben 500
angegeben ausgefällt, wird, nachdem die Hälfte der überstehenden Flüssig-

keit abgegossen ist, unter Umschütteln mit einer Mischung von je 30g Glycerin und Alkohol verbunden.

501 Das salpetersaure Silberoxyd kann sowohl für sich allein in Lösungen von 0,25 bis 1 Proc. mit nachfolgender Gelatineinjection, oder auch als Gemisch mit einer Gelatinelösung angewendet werden. Besser als reines salpetersaures Silberoxyd soll sich nach Professor Hoyer in vielen Fällen salpetersaures Silber-Ammoniak eignen, welches erhalten wird, wenn man einer Höllesteinlösung von bestimmter Concentration so lange Ammoniaklösung zusetzt, bis sich der entstandene Niederschlag eben wieder löst und dann mit destillirtem Wasser verdünnt, bis die Lösung etwa 0,5 bis 0,75 Proc. Höllestein enthält.

502 Hoyer's kalte Massen. Zur Färbung der Hoyer'schen Schellackmasse kann man in Alkohol gelöste Anilinfarben von entsprechender Concentration oder auch in Alkohol suspendirte feinkörnige Farbstoffe verwenden. Von letzteren eignen sich vorzüglich Zinnober, Berlinerblau, gelbes Schwefelarsen (Auripigment) und frisch gefälltes Schwefelcadmium, oder auch die durch mehrmaliges Auswaschen von ihrem Bindemittel befreiten sogenannten „feuchten“ Wasserfarben (in Zinnkapseln). Um fein zertheilte Färbmassen zu erhalten, zerreibt man die erstgenannten mit Wasser, übergiesst dann in Flaschen mit Alkohol, lässt absetzen, giesst den überstehenden Alkohol ab und ersetzt ihn durch frischen starken Alkohol, während man die letztere nach dem Auswaschen einfach in Alkohol suspendirt. Nach der Vermengung mit dem Farbstoffe bis zu voll gesättigter Färbung filtrirt man die Injectionsmasse zweckmässig nochmals durch Mousselin.

Ausser den genannten sind in den letzten Jahren noch mancherlei andere Injectionsmassen empfohlen worden, welche sich theils in den betreffenden Specialwerken, theils in neueren Schriften über das Mikroskop verzeichnet finden. Ich glaube mich indessen um so eher auf die beschriebenen beschränken zu dürfen, als dieselben allgemein erprobt sind und wohl für alle Fälle ausreichen mögen, während jene entweder nicht Probe gehalten haben, oder doch keine, die Beobachtung besonders fördernde Vorzüge vor diesen besitzen.

VIERTES BUCH.

GEBRAUCH DES MIKROSKOPES.



Erster Abschnitt.

Allgemeine Grundsätze.

Ehe ich zu den Anweisungen über den Gebrauch des Mikroskopes im Allgemeinen, d. h. über die Methode der Beobachtung übergehe, halte ich es für zweckmässig, die nöthigen Andeutungen über die Aufstellung und Behandlung des Instrumentes, über das mikroskopische Sehen u. s. f. vor auszuschicken. Alle diese Dinge sind nämlich nicht nur für den Erfolg von Bedeutung, mit dem man von seinen Instrumenten Gebrauch machen kann, sondern sie bedingen auch, in gewissem Umfange die Methode der mikroskopischen Beobachtung selbst.

Erstes Capitel.

Aufstellung und Behandlung des Mikroskopes.

Beobachtungszimmer. Das Zimmer, in welchem man mikro- 503
skopische Untersuchungen vornimmt und seine Mikroskope aufbewahrt, sollte vor allen Dingen gegen den ebenso lästigen, als den Instrumenten und Präparaten nachtheiligen Staub, sowie gegen Ausdünstungen jeder Art möglichst gesichert sein. Wenn es daher irgend möglich ist, so wähle man sein Arbeitszimmer so aus, dass es von den Wohn- und Schlafzimmern, sowie von der Küche möglichst weit entfernt gelegen ist und

zu keinem anderen Zwecke benutzt wird. Dann scheue man die geringen Kosten nicht, den Boden, wo dies nicht schon der Fall ist, mit einer Firnissschicht überziehen zu lassen, von welcher der Staub leicht mittelst eines feuchten Tuches entfernt werden kann. Vor allen Dingen aber verbanne man den Besen als Reinigungsmittel und gestatte nur das feuchte Aufziehen des Bodens. Es mögen diese Vorsichtsmaassregeln vielleicht gar zu kleinlich erscheinen, allein in der Praxis werden sich dieselben völlig bewähren und dem ausübenden Mikroskopiker manche unnöthige Arbeit und zeitweiligen Aerger ersparen.

Was die Lage des Beobachtungszimmers gegen die Himmelsgegenstände betrifft, so halte ich, allseitig freien Horizont vorausgesetzt, die südliche unbedingt für die am wenigsten geeignete, obwohl sie für vereinzelte Fälle, in denen man sich übrigens leicht anders zu helfen wissen wird, erwünscht sein mag. Wo es der freien Wahl überlassen ist, da suche man sich ein Zimmer aus, welches nur nach der Nordseite, oder auch nach dieser und nach der Ost- oder Westseite je ein gegen grelle Lichtreflexe geschütztes Fenster hat, von denen man das eine nach Bedürfniss mittelst Läden oder dichter Rollvorhänge verschliessen kann. Ist es auch, wie oben angedeutet, für manche immer nur vereinzelt vorkommende Beobachtungen ganz angenehm, directes Sonnenlicht benutzen zu können, so äussert doch — selbst wenn man sich gegen die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen geschützt hat — die grelle Beleuchtung des ganzen Zimmers und der darin befindlichen Gegenstände einen nachtheiligen Einfluss auf die Beobachtung, indem dadurch die Retina geblendet und die Pupille zu sehr verengert wird und man nicht im Stande ist, so genau zu sehen und so ausdauernd zu beobachten, als wenn dieselbe sich in einem normalen Zustande befindet und mehr Licht durchlässt. Dagegen gewährt die angegebene Lage mehrfache Vortheile. Erstlich ist die Beleuchtung des Zimmerraumes eine gemässigte, dem Auge wohlthuende, und dann ist das von dem nördlichen Horizonte aus in das Mikroskop fallende Licht bei einer mehr gleichmässigen Intensität während verschiedener Tagesstunden ein selbst für die feinsten Beobachtungen vollkommen ausreichendes und lässt sich auch bei den schwächsten Vergrösserungen leicht mit der Beleuchtung der Umgebung in Einklang bringen.

Von manchen Mikrographen wird anempfohlen, ein Zimmer zu wählen, das gegen etwaige Erschütterungen, die von Fuhrwerken, benachbarten Werkstätten und dergleichen ausgehen, geschützt sei. Dieser Vorschlag ist aber nicht nur in den meisten Fällen gänzlich unausführbar, sondern auch, soweit meine Erfahrungen reichen, etwas übertrieben. Erstlich hat man es, selbst wenn der Geldbeutel keine Rolle dabei spielt, nicht immer in seiner Gewalt, seine Wohnung so auszuwählen, dass sie von aller störenden Umgebung ganz abgeschlossen ist, und dann ist der Einfluss, welchen derartige Erschütterungen ausüben sollen, bei weitem nicht so stark und störend, als man von ein und der anderen Seite angiebt.

Ich habe während der fünfzehn der ersten Auflage dieses Buches vorausgehenden Jahre, in denen ich mich fast ununterbrochen täglich mehrere Stunden mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigte, gar manche Wohnung an belebten Strassen inne gehabt und wohnte mehrere Jahre dicht an der befahrensten Strasse meines damaligen Wohnortes, ausserdem in der Nähe einer Mühle und einer Achatschleife, muss aber gestehen, dass ich von störenden Erschütterungen damals ebensowenig wahrgenommen habe wie hier, wo ich in einem ruhigen Stadttheil wohne. Auf sumpfigem oder moorigem Baugrunde mag der erwähnte Rath schon eher seine Berechtigung haben, wogegen er für festen Untergrund an Bedeutung verliert. Weit störender wirken Erschütterungen, welche in dem Hause selbst oder gar in dem Beobachtungszimmer ihren Ausgangspunkt haben. Diese halte man sich daher unter allen Umständen möglichst fern.

Arbeitstisch. Der Arbeitstisch des Mikroskopikers muss vor allen 504 Dingen möglichst schwer und solide gebaut sein, damit er einen festen Stand hat und nicht bei jeder Bewegung oder, wenn man sich mit den Armen darauf stützt, durch den eigenen Herzschlag erschüttert wird. Dann soll derselbe eine solche Grösse besitzen, dass er, um Alles sofort bei der Hand zu haben, bequem das Arbeitsmikroskop, ein Präparirmikroskop oder einen Lupenträger, sowie den sonstigen bei jeder Untersuchung nothwendigen Apparat aufnehmen kann. Daher taugen denn auch Tische von etwa 50 bis 60 cm Länge und noch geringerer Breite, wie sie wohl empfohlen werden, durchaus nichts, und noch weniger geeignet möchte es sein, wenn Präparirtisch und Arbeitstisch nicht ein Ganzes bilden. Eine Länge von 1 m bis 1,25 m bei einer Breite von mindestens 50 und höchstens 75 cm, die man beim Sitzen bequem überreichen kann, erscheint mir nach eigener Erfahrung als das zweckmässigste Ausmaass. Die Höhe richtet sich natürlich nach der Höhe des Instrumentes, und dürfte bei Stativen wie das Oberhäuser'sche und ähnliche, wenn man nicht einen erhöhten Stuhl gebrauchen will, wohl am besten etwa 70 bis 75 cm betragen. Zu beiden Seiten des Tisches lassen sich unterhalb der Platte dann leicht ein paar gutschliessende Schiebladen anbringen, um fertige Präparate sowie diejenigen Neben- und Hilfsapparate aufzunehmen, welche man gern nahe zur Hand hat. Für die Reagentien, Aufbewahrungsfüssigkeiten und dergleichen lässt man am besten an der hinteren Seite der Platte einen Aufsatz anbringen, in welchem dieselben, treppenartig aufgestellt, leicht übersehen werden können, und der mittelst eines über Ober- und Vorderfläche klappenden, gut fügenden Deckels geschlossen werden kann. Auch ist es zweckmässig, wenn man an der einen Seite des Aufsatzes einige ausgerundete flache Vertiefungen anbringt, um Uhrschälchen, kleinen Abdampfschalen etc. einen festen Stand zu geben und vor dem leicht stattfindenden Umfallen zu bewahren, während an der zweiten Seite einige runde, mit Tuch oder Sammet ausgefütterte Vertiefungen Platz finden, in welche kleine Glaslocken genau eingepasst

sind, um darunter Präparate, die in Flüssigkeiten liegen, vor Staub zu schützen. Indessen lassen sich in dieser Beziehung mancherlei Abänderungen treffen, und Jeder wird wohl suchen, seinen Arbeitstisch so einzurichten, wie er ihm für seine speciellen Zwecke am passendsten und praktischsten erscheint. Ich möchte daher mit dem Obigen bloss angedeutet haben, wie man etwa verfahren könne, ohne gerade die von mir gewählte Einrichtung als absolutes Muster hinstellen zu wollen.

Den Tisch stellt man am geeignetsten in der Nähe des Fensters auf, weil man dann gleich hinreichendes Licht zur Anfertigung der Präparate und zu Beobachtungen mittelst auffallenden Lichtes hat. Denselben 2 bis $2\frac{1}{2}$ m entfernt vom Fenster aufzustellen, wie manche Mikroskopiker es empfehlen, will mir nicht recht zweckmässig erscheinen. Besseres Licht für den Spiegel, als wenn das Mikroskop nur wenig vom Fenster entfernt steht, erhält man dadurch nicht. Man kann auch bei dieser Entfernung das Licht von der dem Horizonte zunächst gelegenen Stelle des Himmels auffangen und leidet dann für andere Fälle nicht Mangel an der nöthigen Beleuchtung, wodurch man sich mindestens zu einem Hin- und Herwandern mit dem Mikroskope selbst oder mit seinen Präparaten gezwungen sehen würde.

505 **Aufbewahrung und Reinhaltung des Mikroskopes.** Soll das Mikroskop in einem dauernd guten Zustande erhalten werden, so bedarf es vor allen Dingen einer sehr sorgfältigen Aufbewahrung und Reinhaltung.

In dieser Beziehung genügt in der Regel der einfache Verschluss des optischen Apparates in dem Kasten nicht hinreichend, um den Staub abzuhalten, der bei trockenem Wetter zu allen Ritzen und Fugen von der Strasse aus in das Zimmer geweht wird, sich im Winter je nach der Heizungseinrichtung in diesem immer in mehr oder minder hohem Maasse ansammelt, in die Kästen dringt und die Linsen verunreinigt. Wo die Objective sich in eigenen gut schliessenden Etais oder in Messingkapseln untergebracht finden, da erscheinen diese zwar etwas mehr oder völlig geschützt, dagegen sind die Oculare gewöhnlich so angebracht, dass der Staub freieren Zutritt hat. Man kann nun allerdings den letzteren leicht wieder entfernen, so lange derselbe nur lose haftet, allein ich halte an dem Grundsatz fest, je weniger die Gläser des Putzens bedürfen, desto besser ist für ihre gute Erhaltung gesorgt. Schon in den kühlen und kalten Jahreszeiten kann der eingedrungene Staub insofern nachtheiliger wirken, als sich immer Beschlag von Feuchtigkeit bildet, welche den ersteren fester mit der Glasoberfläche verbindet, so dass dieselbe durch das Putzen stärker angegriffen wird. Aus diesen Gründen ist es vortheilhaft, sich, falls Objective und Oculare nicht anders ausreichend geschützt sind, über die Kästen der Mikroskope dicht anschliessende, bis über die Oeffnung für den Schlüssel reichende Wachstuchüberzüge anfertigen zu lassen.

Das Stativ jedesmal in den Kasten zu packen, wird für denjenigen,

der sich täglich mit Beobachtungen beschäftigt oder während des Tages öfter seine Untersuchungen zu unterbrechen genöthigt ist, höchst unbequem und zeitraubend. Es ist daher zweckmässig, eine solche Einrichtung zu treffen, dass man das Instrument, nachdem die Linsen entfernt sind, ruhig auf dem Arbeitstische stehen lassen kann, indem es mit einer Umhüllung versehen wird, welche Staub und dergleichen möglichst gut abhält. Glaskästen oder mehrere Stative zugleich aufnehmende Kästen erweisen sich hierzu insofern sehr angenehm, als man sie so anfertigen lassen kann, dass sie Verschluss gestatten. Sie gewähren aber keinen ganz hinreichenden Schutz, indem durch die Fugen der Rahmen immer leicht feine Staubtheilchen eindringen. Weit besser bewähren sich in letzterer Beziehung die Glasglocken, wie man sie überall zum Schutze von Uhren und dergleichen im Gebrauche findet. Lässt man sich ein schweres quadratisches Brett mit ein oder zwei Lagen von weichem Leder überziehen, und stellt das Mikroskop mit seiner Schutzglocke darauf, so schliesst letztere, wenn sie einen gut abgeschliffenen Rand besitzt, so fest, dass man selbst nach längerem Stehen kaum Staubs Spuren auf dem Spiegel, Objecttisch etc. wahrnimmt.

Das Stativ selbst reinige man nach jedesmaligem Gebrauche ganz und gar, und nicht etwa blos den Objecttisch, welcher am besten mit einem feinen Leinwandlappen abgerieben wird. Von dem Spiegel suche man unter gleichzeitigem Darüberhinblasen den Staub mittelst eines starken und weichen Haarpinsels zu entfernen. Für den übrigen Theil des Statives genügt in der Regel ein leichtes Abblasen und Abpinseln oder Abwischen mittelst eines alten, weichen seidenen Tuches. Wird die grobe Einstellung mittelst Verschiebung des Rohres bewerkstelligt, so suche man dieses immer ganz besonders rein zu halten und vermeide es, sich festen Schmutz darauf ansetzen zu lassen, weil, wenn dieses einmal geschehen ist, durch späteres starkes Reiben das Messing immer etwas angegriffen und die Bewegung zu leicht wird. Wird dagegen diese Einstellung durch Zahn und Trieb ausgeführt, so versäume man nicht, die Stahlstange, nachdem man sie sorgfältig von der alten Fettschicht und dem anhaftenden Schmutz gereinigt hat, von Zeit zu Zeit mit feinem, nicht trocknendem Oele, oder noch besser mit chemisch reinem, wasserfreiem Glycerin einzureiben, um das Rosten zu verhüten, welches um so leichter eintritt, als der stets mit Wasserdunst geschwängerte Athem des Beobachters beständig darüber hinstreicht. Wo bewegliche Blendungen vorhanden sind, da widme man auch der Reinhaltung des Blendungsapparates, des Schlittens und der verschiebbaren Hülse die gehörige Sorgfalt. Alle diese Rathschläge mögen zwar Manchem, der mit der Behandlung seines Instrumentes schon mehr vertraut ist, etwas zu sehr ins Einzelne gehend erscheinen; man bedenke indessen, dass auch auf den Anfänger Rücksicht genommen werden muss, bei dem dieselben, wie ich aus Erfahrung weiss, oft sehr gut angebracht sind. Wer dieselben aufmerksam befolgt, der wird am besten dabei fahren und sich nicht nur

an dem stets wohlaussehenden Aeusseren, sondern auch und namentlich an dem zuverlässig wirkenden Mechanismus seines Instrumentes erfreuen.

Die weitaus grösste Sorgfalt erfordert der eigentliche optische Apparat, Ocular- und Objectivsysteme. Wer damit stets die beste Wirkung erzielen will, der muss mit ängstlicher Sorgfalt über ihre Reinhaltung wachen. An den Ocularen machen sich kleine Schmutz- und Fettflecken, die auf der oberen Linse leicht entstehen können, ebenso kleine Staubtheile, Fäserchen und dergleichen sogleich bemerklich, ohne dass man besonders Acht darauf zu haben brauchte. Letztere entfernt in der Regel schon ein Pinsel, wenn man beim Abwischen zugleich sanft über die Linse bläst. Erstere dagegen müssen mittelst eines mit reinem, destillirtem Wasser oder nach Umständen mit Spiritus befeuchteten Leinwandläppchens weggenommen werden. Gelangt man durch diese Operation nicht zum Ziele und zeigen sich beim Durchsehen immer noch, namentlich undeutlicher umschriebene Flecken, so ist das ein Beweis, dass Staub durch die Fassung gedrungen ist und an den Innenflächen der Linsen haftet. Dann schraube man die beiden Linsen ab und reinige dieselben auch nach Innen.

Weit weniger machen sich geringere Verunreinigungen der Objectivlinsen bemerklich und mahnen so zur Reinigung. Man halte daher als ausnahmslose Regel fest, kein Objectivsystem — dessen Linsen man selbstverständlich niemals mit den Fingern anfassen soll — aus der Hand zu legen, ohne sich vorher davon überzeugt zu haben, dass es nicht etwa durch das Wasser des Objectträgers, durch gebrauchte Reagentien oder in sonst einer Weise verunreinigt worden ist, was hier und da auch dem sorgfältigsten Beobachter geschehen kann. Bei den Immersionsystemen wische man sofort nach dem Gebrauche die Immersionsflüssigkeit weg und lasse weder Wasser noch eine der Flüssigkeiten für homogene Immersion eintrocknen; letztere nehme man zunächst mittelst schwedischen Filtrirpapiers auf und wische dann, wenn man gewöhnliches Cedernholzöl hat, mit reiner weicher Leinwand ab, oder gebe, falls Oelmischungen oder verdicktes Cedernholzöl in Anwendung kommen, nach dem ersten Abtupfen einen neuen Tropfen Cedernholzöles auf und verfähre dann wie vorher. Ausserdem untersuche man von Zeit zu Zeit seine Objectivsysteme sowohl an der vorderen, als an der dem Oculare zugewendeten Seite, ob deren Linsen nicht bestäubt oder beschmutzt sind. Eine derartige Verunreinigung erkennt man leicht, wenn man das System mit der vorderen Seite gegen das Auge hält und nun nach dem hellen Himmel blickt, oder wenn man die Linsen gegen das Fenster spiegeln lässt, wobei dessen Bild auf einer nicht reinen Linse trübe erscheinen wird.

Was die erstgenannten Verunreinigungen betrifft, so gilt als erste Regel, dieselben möglichst zu vermeiden. Zu dem Ende verwende man zunächst, wie schon weiter oben erwähnt, nie zu kleine Deckgläschen, sondern solche, die etwa 15 bis 18 mm Seite haben. Dann suche man

alle überflüssige am Rande des Deckgläschens stehende Flüssigkeit mittelst eines Pinsels, eines Stückchens Fliesspapier oder einer kleinen Pipette zu entfernen, weil sich sowohl die Wasserdünste wie die Dämpfe der Reagentien auf den Objectivlinsen niederschlagen. Aetzende, auf das Flintglas der vorderen Linse unbedingt schädlich wirkende Säuren und dergleichen vermeide man soviel wie möglich ganz oder nehme zu solchen Untersuchungen, wo sich dieselben nicht vermeiden lassen, minder gute Systeme, an denen weniger gelegen ist. Ist es trotz aller Vorsicht einmal vorgekommen, dass eine Objectivlinse durch irgend ein Reagenz verunreinigt wurde, so spüle man dieselbe sofort sorgfältig mit destillirtem Wasser ab und wische sie nach mehrmaligem Bespülen mittelst eines weichen Leinwandlappens trocken. Man wird dann höchst selten einen Verlust zu beklagen haben. Dämpfe von Jod, mit welchem Reagenz namentlich der Pflanzenphysiologe häufig zu thun hat, lassen sich leicht mittelst Abwischens beseitigen, nur vermeide man, dass sie zu lange einwirken können. Mineralsäuredämpfe verlangen dagegen unbedingt das Abspülen mittelst destillirten Wassers.

Staub und dergleichen kleine Partikelchen lassen sich in der Regel schon durch den Pinsel, durch Leinwand oder weiches Leder entfernen. Sitzen sie fester, so benetze man die Linse oder das Leinwandläppchen wenig mit Wasser und wische leicht ab. Nur im äussersten Falle und namentlich wenn sich Fetttheilchen angesetzt haben, greife man zu Alkohol. Dann aber befeuchte man das Läppchen nur wenig, weil sonst die etwa zwischen die Fassung dringende Flüssigkeit den Canadabalsam auflösen könnte, womit die Linsen zusammengekittet sind. Der dadurch herbeigeführte Schaden würde nur so wieder gut gemacht werden können, dass man das betreffende Objectivsystem von dem Optiker in Ordnung bringen liesse. Um von der hinteren, dem Oculare zugewendeten Linse den sich durch das Mikroskoprohr hinabsenkenden Staub zu entfernen, bedient man sich zweckmässig eines zugespitzten Hollundermarkstängchens, dem man nach jedem Abwischen eine frische Schnittfläche giebt. Gleich gute Dienste gewährt auch ein ähnlich zugeschnittenes Stäbchen aus Lindenholz, dessen Ende man mit feiner Leinwand umwickelt hat. Pinsel und Blasen thun dann das Uebrige. Sollte es nöthig werden, die Fassungen der einzelnen Linsen eines Objectivsystemes aufzuschrauben, welcher Fall indessen nur höchst selten eintreten wird, und namentlich bei stärkeren Systemen möglichst vermieden werden sollte, so hüte man sich ja, dabei mit zu grosser Gewalt zu verfahren, weil erstere dadurch leicht verbogen und damit verdorben werden. Wenn die Schrauben nicht mit der blossen Hand ohne grosse Anstrengung aufgedreht werden können, so bediene man sich folgender, schon von Kellner empfohlenen Vorrichtung. Man lasse sich in ein Stückchen weichen Holzes ein Loch drehen, dessen Durchmesser dem des entsprechenden geränderten Rundstäbchens der Fassung gleich ist, dann bringe man in einem zweiten Stückchen Holz ein Loch an, in welches das folgende

Rundstäbchen knapp hineinpasst. Steckt man dann das erste Rändchen der Fassung in das Loch des einen Holzes und stülpt das andere Hölzchen über das zweite Rändchen, so wird man bei mässigem Drucke und aufdrehender Bewegung leicht die Trennung bewirken können, ohne dass die Fassung leidet.

506 **Behandlung des Mikroskopes während des Gebrauches.** —

Die Sorge für das Mikroskop während des Gebrauches erstreckt sich neben den Vorsichtsmaassregeln in Bezug auf die Reinlichkeit namentlich darauf, dass man andere Beschädigungen der Linsen oder ein Zerschneiden derselben möglichst zu verhüten suchen muss. Ein solcher Unfall kann sich bei der groben Einstellung des Gegenstandes ereignen, indem man durch ein zu rasches und tiefes Herabschrauben oder Herabschieben des Rohres mit der vorderen Linse des Objectivsystemes gegen den Objectträger oder das Deckglas stossen und dabei neben einer herbeigeführten Beschmutzung Gefahr laufen könnte, dieselbe durch Druck oder Stoss mehr oder minder stark zu beschädigen oder gar zu zersprengen. Dies ist namentlich dann leicht möglich, wenn die vordere Linse mit dem Rande der Fassung in einer Ebene liegt und nicht, wie dies jetzt wohl meistens der Fall ist, durch einen etwas hervorstehenden Rand geschützt wird. Einem solchen Unfälle, der auch dem Geübteren einmal begegnen kann, lässt sich am sichersten vorbeugen, wenn man es sich zur festen Regel macht, die grobe Einstellung nie so zu bewerkstelligen, dass man das Rohr gegen das Object bewegt, während man in das Mikroskop sieht, sondern dass man das Objectivsystem, indem man horizontal über den Objecttisch hinwegsieht, dem Deckgläschen etwas weiter nähert, als eigentlich erforderlich ist, und die genaue Einstellung dann durch Heben des Tubus zunächst mittelst der groben Einstellung und dann durch Gebrauch der Mikrometerschraube bewirkt. Auch beim Wechseln der Objectivsysteme kann leicht ein Unfall vorkommen, wenn man beim Festschrauben nicht höchst vorsichtig zu Werke geht. Man lasse hierbei die eine Hand niemals eher von dem Objectivsysteme los, als bis die mittelst der andern Hand vorzunehmende Verschraubung vollkommen festsetzt. Versäumt man dies, so mag es sein, dass die Schraube noch nicht vollkommen gegriffen hat und das Objectivsystem auf den Objecttisch oder gar auf den Boden fällt. Geht dabei im günstigsten Falle keine Linse zu Grunde, so dürfte doch schon die Erschütterung nachtheilig auf die Fassung oder die Verkittung wirken. Wo das Rohr verschiebbar ist, da versäume man nicht, dieses beim Wechseln der Objectivsysteme ganz herauszunehmen. Wo dagegen die grobe Einstellung mittelst Zahn und Trieb bewirkt wird, da hebe man das Rohr so hoch wie möglich, um hinreichenden Raum für die freie Bewegung der Hände zu haben.

Werden Objectivsysteme mit Verbesserungseinrichtung verwendet, so achte man genau darauf, dass mit der Correction zugleich die feine Einstellung ausgeführt wird, um das Object immer genau im Auge zu behalten und nicht etwa durch nachherige verkehrte Bewegung der fei-

nen Einstellung einen Druck auf das Deckglas auszuüben, was sich namentlich bei den stärkeren Systemen dieser Art leicht ereignen kann. Sind diese zugleich zum Eintauchen bestimmt, so sei man mit dem Aufbringen des Wassertropfens immer recht vorsichtig, weil sich sonst leicht Luftblasen einschleichen und mancherlei Mühe und Zeitverlust veranlassen. Ich habe es am besten gefunden, dass man bei Wasserimmersion zuerst die untere Linse des Objectivsystemes sorgfältig abwischt, etwas anhaucht und dann einen Tropfen reinsten Wassers aufgiebt, der beim Senken des Rohres sich leicht mit einem zweiten in ähnlicher Weise auf das Deckglas gebrachten Wassertropfen vereinigt, ohne dass sich Luft eindringen könnte. Auch bei der homogenen Immersion bringt man am besten ein kleines Tröpfchen der Flüssigkeit auf die vordere Linsenfläche, ein zweites auf das Deckglas und hüte sich besonders vor zu viel.

Beim Wechseln der Oculare hat man weit weniger einen Unfall zu fürchten. Nur habe ich gefunden, dass bei gleichzeitigem Wechseln von Ocular und Objectivsystem ein oder der andere Beobachter jenes ins Rohr setzte, bevor er das Objectivsystem angeschraubt hatte. Die Folge davon war, dass das Ocular, wenn es sich nicht etwas schwer in dem Rohre schob, schnell und heftig einfiel, weil die verdrängte Luft rasch nach unten entweichen konnte. Dies rasche ins Rohr Fallen suche man stets zu vermeiden, denn es kann dabei leicht vorkommen, dass die festgespannten Linsen, namentlich wenn sie am Rande kleine Fehler haben (was hier und da der Fall ist, ohne dass es ihrer Wirkung Eintrag thut), durch die starke Erschütterung geradezu gesprengt werden. Man lasse beim gleichzeitigen Wechseln von Ocular und Objectiv, um das Eindringen von Staub in das Rohr zu verhüten, stets das früher gebrauchte Ocular sitzen, bis man das neue Objectivsystem angeschraubt hat, und wechsele dann erst mit jenem.

Auch die Behandlung der Einstellungsrichtung, namentlich aber der Mikrometerschraube während der Beobachtung verlangt ihre Vorsicht. Um die letztere immer in gutem und regelmässigem Gange zu erhalten, mache man es sich zur Regel, die Feder weder längere Zeit in stärkerer Spannung zu lassen, noch dieselbe zu lose zu halten. Man gebe der Mikrometerschraube daher eine mittlere Stellung, in welche man sie immer wieder zurückbringt, wenn sie zu weit vor- oder zurückgeschraubt worden war. Vor Allem hüte sich aber der Anfänger vor einer Misshandlung der Mikrometerschraube, welche hier und da bei den weniger Kundigen dadurch hervorgerufen wird, dass die Hülse, welche den optischen Apparat trägt, schon bis zu ihrer äussersten Grenze gehoben oder herabgezogen ist. Die Schraube versagt dann den Dienst und man lasse sich nun ja nicht verleiten, durch Gewalt deren Bewegung zu erzwingen, sondern drehe sie wieder bis in eine mittlere Stellung zurück, welche leicht zu ermitteln ist.

Beim Gebrauche des Mikroskopes in der kälteren Jahreszeit hat man mit einer höchst störenden Unannehmlichkeit zu kämpfen, indem

während der Beobachtung nicht allein das Metall des Statives durch den Einfluss des Athmens anläuft, was oft bis zur Tropfenbildung gehen kann, sondern dass sich auch die obere Linse der Oculare durch Beschlag trübt, sobald man das Auge darüber bringt. Ersteres, was namentlich dann stört, wenn der Objecttisch anläuft und dadurch die Bewegung des Objectträgers gehemmt wird, und bei Instrumenten mit grober Einstellung durch Zahn und Trieb insofern nädtheilig wirkt, als es das Rosten der Stahlstange befördert, vermeidet man am besten dadurch, dass man das Stativ nicht im Kasten, sondern unter einer Glasglocke im geheizten Zimmer aufbewahrt. Hat sich dasselbe indessen während der Nacht dennoch zu stark abgekühlt, so bringe man es kurze Zeit in die Nähe des Ofens, bis das Metall die Temperatur der umgebenden Zimmerluft angenommen hat, hüte sich aber, dabei zu grosse Wärme auf dasselbe wirken zu lassen. Mit den Ocularen kann man sich, wenn eine der Linsen nicht etwa von einer achromatischen Doppellinse gebildet wird, auf dieselbe Weise durch Erwärmung in der Nähe des Ofens helfen. Ist jenes der Fall, so hält man nur die vordere Linse den von dem Ofen ausgehenden Wärmestrahlen entgegen, wodurch die Oberfläche bald die gewünschte Temperatur annimmt.

Zweites Capitel.

Vorsichtsmaassregeln für das Auge.

507 Noch immer hält man vielseitig an der Meinung fest, als ob die mikroskopische Beobachtung dem Auge gefahrbringend sei und nach und nach eine Schwächung des Sehvermöges herbeiführe. Weiter verbreitet und gestützt wurde dieselbe noch durch die Erfahrungen, welche in der Regel Laien oder Anfänger in der mikroskopischen Beobachtung machen. Das Sehen durchs Mikroskop verlangt eben wie jede andere körperliche Verrichtung Uebung und Gewöhnung und veranlasst wie jede solche im Anfange eine gewisse Abspannung des betreffenden Organes. Wer diese Uebung nicht besitzt, der sucht ausserdem unwillkürlich die gewöhnliche Art des Sehens auf das Mikroskop zu übertragen und lässt das Accommodationsvermögen des Auges wirken, um von in verschiedener Tiefe des Objectfeldes befindlichen Gegenständen gleich deutliche Gesichtseindrücke aufzunehmen. Da nun bei dem mikroskopischen Sehen und namentlich bei fortdauernd angestrenzter Beobachtung die Ruhepunkte

fehlen, welche bei dem gewöhnlichen Sehen zwischen den aufzufassenden verschiedenen Gesichtseindrücken liegen, so wird in dem noch ungeübten Organe bei den beständigen Accommodationsversuchen um so eher ein Zustand der Ermüdung gefühlt, welcher sich oft höchst empfindlich äussert.

Manchem, der sich in seiner Lebensstellung mit mikroskopischen Untersuchungen zu beschäftigen den Anlass und sogar die Pflicht hätte, dienen solche Erfahrungen nicht selten zum Entschuldigungsgrunde für seine Nachlässigkeit. Den Anderen schrecken dieselben von dem Gebrauche eines Instrumentes ab, durch welches er sich Aufschlüsse verschaffen möchte, die ihm ein lebhaftes Bedürfniss geworden sind. Letzteren zum Trotze sei es hier besonders hervorgehoben, wie es vor mir schon durch die tüchtigsten Mikrographen geschehen ist, dass die erwähnte Meinung durchaus allen Grundes entbehrt. Die bei den ersten Versuchen sich einstellende Ermüdung wird nach und nach immer weniger fühlbar, indem man sich mehr und mehr daran gewöhnt, das mikroskopische Bild auf der Netzhaut wie auf einem Schirme aufzufangen, während alle anderen Operationen, die man gewöhnlich durch das Accommodationsvermögen vollzieht, auf den Einstellungsapparat des Mikroskopes übertragen werden. Der anhaltende Gebrauch des zusammengesetzten Mikroskopes schadet nicht allein dem Sehvermögen im Allgemeinen nicht, sondern gerade durch denselben wird das Auge im Laufe der Zeit immer geschickter, feinere und längere Anstrengung verlangende Beobachtungen zu ertragen. Wie viele unserer tüchtigsten Mikroskopiker setzen ja doch ihre Beobachtungen bis in das späteste Alter fort! Ich erinnere unter den älteren nur an Leeuwenboeck, der ausserdem nur das einfache Mikroskop gebrauchte, welches das Auge bedeutend mehr anstrengt, als das zusammengesetzte; unter den neueren an Hugo v. Mohl, der noch nach mehr als dreissigjährigem Gebrauche des Mikroskopes und bis zu seinem Tode die feinsten und schwierigsten Untersuchungen ausführte. Ich selbst habe darin die sichersten Erfahrungen gemacht. Ein seit über 30 Jahren fortgesetzter anhaltender Gebrauch des Mikroskopes hat in meinem Sehvermögen durchaus keine Aenderung hervorgebracht und tagelang ununterbrochen fortgesetzte Beobachtung bewirkt in meinem rechten Auge durchaus keine Ermüdung etc., während allerdings bei sehr lange währenden, ganze Tage andauernden Untersuchungen das linke Auge mich etwas schmerzt. Aehnliche Erfahrungen haben auch andere Mikrographen gemacht. Um den letzteren Uebelstand zu verhüten, wird empfohlen, mit beiden Augen abwechselnd zu beobachten. Ich selbst kann über diesen Rath kein Urtheil fällen, da ich mein linkes Auge nicht gebrauchen kann; auch habe ich unter den mir bekannten Mikroskopikern keinen gefunden, der dies auf längere Zeit versucht hätte. Derselbe hat indessen seine theoretische Begründung und mag sich deshalb wohl bewähren.

All dies hat natürlich nur im Allgemeinen Gültigkeit und es bedarf der entschiedensten Vorsicht und Rücksichtnahme auf das gerade für

den Mikroskopiker wichtigste Vermögen, das Sehvermögen. Wie auf jedes Organ übermässige Anstrengung und zu starke Reize gefährbringend wirken, so auch auf das so fein und empfindlich organisirte Auge. Die in dem Folgenden gegebenen Vorsichtsmaassregeln halte man daher möglichst sorgfältig ein und weiche nur in solchen Fällen davon ab, welche eine Ausnahme unbedingt erheischen.

1. Man gewöhne sich vor Allem daran, beim Beobachten auch das nicht in das Mikroskop blickende Auge offen zu halten. Anfangs fällt dieses allerdings etwas schwer und man findet, dass das mikroskopische Bild wegen der Vermischung mit den von dem zweiten Auge aufgefassten und auf die Netzhaut projecirten Gegenständen nicht so scharf und bestimmt gesehen wird, als wenn man das zweite Auge schliesst. Es lernt sich indessen bald, die Aufmerksamkeit so vollständig auf den mikroskopischen Gegenstand zu richten, dass man gleichsam mit dem zweiten Auge nichts mehr sieht, und dem mikroskopischen Bilde keinerlei Eintrag geschieht. Für das Auge selbst ist aber diese Regel insofern von Wichtigkeit, als das, wenn auch unwillkürliche Zudrücken des einen Auges eine sympathische Spannung in den Lidmuskeln des anderen Auges erzeugt, welche auf die Dauer ermüdend wirkt.

Der in neuerer Zeit von mehreren Seiten empfohlene über das Rohr zu schiebende kleine Apparat (Fig. 507) thut in dieser Beziehung gute

Fig. 507.



Dienste, indem das zweite bei der Beobachtung nicht thätige Auge auf eine nahe an dasselbe herangerückte dunkle Fläche sieht.

2. Allzustarke Reize vermeide man, wie das ja auch der gewöhnliche Gebrauch des Auges verlangt. Ein Fehler in dieser Beziehung wird häufig von Anfängern und solchen Mikroskopikern, welche ihr Instrument nur zu vereinzelten Beobachtungen gebrauchen, dadurch begangen, dass sie von dem Vorurtheile befangen sind, sie könnten nie genug Licht bekommen, und in Folge dessen das Sehfeld zu stark erhellen. Damit ist aber nicht allein Nichts gewonnen, weil bei einer solchen grellen Beleuchtung alle feineren Structurverhältnisse verschwimmen, sondern die Netzhaut wird dadurch viel zu stark gereizt und dieser fortwährenden Ueberreizung muss natürlich eine entsprechende Abspannung der Reizbarkeit folgen. Passende Dämpfung des Lichtes durch geschickte Verwendung des Blendungsapparates, die man sich anzueignen suchen muss, kann ich hier nicht dringend genug empfehlen. Weit weniger nachtheilig

als zu grelle wirkt eine etwas schwache Beleuchtung, obwohl auch diese im Allgemeinen zu vermeiden ist. Vor allen Dingen aber hüte man sich vor der Beleuchtung mittelst directen nicht ausreichend abgedämpften Sonnenlichtes. Was man mit unseren heutigen Mikroskopen nicht bei gutem Tageslichte sieht, das lässt sich auch durch Sonnenlicht nicht erzwingen, dessen Anwendung das Auge unfehlbar zu Grunde richtet.

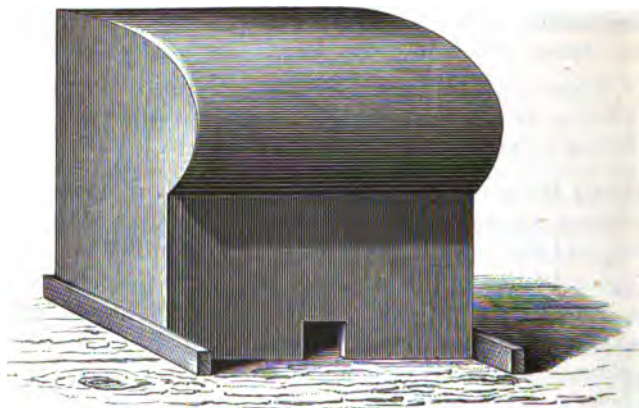
3. Nicht weniger sorgfältig als allzustarke Beleuchtung des Sehfeldes vermeide man auch den zu starken, längere Zeit andauernden Gegensatz von Licht und Dunkelheit.

In dieser Beziehung ist namentlich der Rath verwerflich, den ich noch in einigen englischen Werken angeführt finde, das Zimmer ganz zu verdunkeln und das Tageslicht nur durch eine kleine Oeffnung des Ladens auf den Spiegel fallen zu lassen. Da hierbei das Auge sich bald längere Zeit dem erhellten Sehfelde des Mikroskopes, bald wieder längere Zeit dem Dunkel des Zimmers ausgesetzt findet, so treffen die Netzhaut während längerer Dauer so weit auseinander liegende Lichteindrücke, dass eine abnorme, schädliche Reizung unausbleiblich ist. Dabei erweitert sich die Pupille bald, bald muss sie sich verengern und diese immer wiederkehrende Ausdehnung und Verengung können wohl auch kaum ohne nachtheilige Folgen bleiben. Heftige Schmerzen in den Augen und folgende Schwächung des ganzen Sehvermögens würden bei solcher Beobachtungsweise unvermeidlich sein. Ausserdem ist diese Einrichtung auch ganz und gar nicht damit verträglich, dass man die Objecte herrichten und die mikroskopischen Bilder sofort durch die Zeichnung festhalten soll und muss.

Um das die Beobachtung durch eine gewisse Abstumpfung des Auges beeinträchtigende nicht aus dem Mikroskop kommende, von der Tischfläche etc. reflectirte, namentlich aber das seitlich auf das Auge treffende Licht abzuhalten, kann dagegen sehr wohl eine andere Veranstaltung dienen, welche die Vortheile des verdunkelten Zimmers gewährt, ohne dessen Nachtheile mit sich zu führen. Dies ist der zuerst von Dr. Flögel empfohlene Mikroskopirkasten, den man sich nöthigenfalls selbst anfertigen kann. Dieser Kasten ist am besten in seinem unteren Theile vierseitig mit offener Hinterseite und einer vierseitigen Oeffnung in der dicht an den Objecttisch anschliessenden Vorderseite, welche der Breite des Objecttisches und dessen Höhe über der Fläche des Arbeitstisches entspricht und dazu dient, um das nöthige Licht auf den Spiegel fallen zu lassen. Die Breite (von vorn nach hinten) kann etwa 20 bis 25 cm, die Länge 60 bis 80 cm betragen, während die Höhe sich nach der des Statives richten muss. An diesen unteren Theil fügt sich ein oberer, der, um dem Kopfe des Beobachters auch nach vorne den nöthigen Raum zu gewähren, nach dieser Seite hin ausgebogen ist, Fig. 508 (a. f. S.), und etwa um 10 cm vorspringt. Die Gesammthöhe des Kastens mag etwa 65 bis 75 cm betragen und es wird derselbe, um ihm die nöthige Stabi-

lität zu bewahren, seitlich mit zwei hinreichend schweren Holzklötzen als Füße versehen, welche über die Vorderwand etwas hinausragen.

Fig. 508.



Die Beobachtung bei künstlichem Lichte kann ich ebenso wenig empfehlen wie verdunkeltes Zimmer. Sucht man auch durch mattgeschliffene oder gefärbte Gläser das Lampenlicht dem Tageslichte möglichst nahe zu bringen, so bleibt doch immer ein Gegensatz zwischen der Beleuchtung des Sehfeldes und derjenigen des Zimmers, der, wenn auch nicht so bedeutend, wie in dem vorhergehenden Falle, doch immer gross genug ist, um auf die Dauer seinen nachtheiligen Einfluss zu äussern. Wer das Mikroskop gebrauchen will und muss, der wird auch am Tage die nöthige Zeit finden, um seine Beobachtungen auszuführen.

Drittes Capitel.

Eigenthümlichkeit der mikroskopischen Wahrnehmung und Deutung des Gesehenen.

Das Sehen überhaupt ist eine reine Verstandesoperation, welche aber 508 so rasch auf den von aussen kommenden Reiz hin vollzogen wird, dass wir uns des Ueberganges von der Empfindung zu deren äusserer Ursache kaum bewusst werden. Trotzdem aber, dass diese Verstandesoperation von uns, ohne als solche zum Bewusstsein zu gelangen, ich möchte sagen, fast unmittelbar vollzogen wird, und wir die durch das Auge vermittelten Wahrnehmungen sofort als vollendete Anschauungen, gleichsam als ob dieselben durch von aussen unmittelbar gegebene Eindrücke erzeugt seien, fertig haben, verlangt dieselbe dennoch eine gewisse Ueberlegung und entschiedene Uebung. Es dauert während des Kindesalters eine geraume Zeit, ehe wir im Stande sind, aus den von aussen kommenden Daten uns unter Zuhilfenahme des Tastsinnes ein richtiges Bild von der Körperwelt, von der Entfernung im Raume etc. zu construiren. Diese Construction gelingt aber in allen Fällen um so leichter, je grösser die Anzahl der einzelnen Momente der Wahrnehmung ist und je stetiger dieselben aufeinander folgen.

Auf der Netzhaut des ruhenden Auges, welche als der eigentlich thätige Factor des Gesichtssinnes zu betrachten ist, entsteht vermöge des Baues des ersteren und der Gesetze, denen die Lichtstrahlen in ihrer geradlinigen Verbreitungsweise folgen, streng genommen stets nur das Bild einer aus leuchtenden Punkten gebildeten Fläche, während alle ausserhalb dieser Fläche liegenden Punkte für diesen bestimmten Zustand des Auges nur Diffusionsbilder erzeugen. Hiernach würde eigentlich das Abbild der äusseren Welt, das wir vermöge unserer geistigen Thätigkeit construiren, ein weit verschiedenes von dem sein, wie wir es wahrzunehmen gewohnt sind. Dass dies nicht der Fall ist und dass wir eben die Gesamtheit der in verschiedenen Ebenen gelegenen äusseren Objecte als ein gleichsam in allen Einzelheiten scharfes Bild auffassen, hat seinen

Grund in dem Baue und den Fähigkeiten unseres Auges wie des ganzen Körpers. Erstlich besitzt nämlich das Auge ein in gewisse, nicht allzu enge Grenzen eingeschlossenes Vermögen, sich in rascher Folge den Entfernungen anzupassen. Wir können somit Gegenstände, welche ungleich weit von unserem Auge und nicht allzuweit von einander entfernt sind, ebenso in verschiedenen Ebenen befindliche Theile eines und desselben Körpers gleich deutlich sehen und es wird dadurch möglich, verschiedene Gesichtseindrücke uns so schnell in der Zeit und mit einem so stetigen Durchlaufen aller zwischenliegenden Theile im Raume zu verschaffen, dass es uns äusserst leicht ist, alle dieselben sofort zu combiniren. Dann ist das Auge beweglich und wir können mit demselben über die verschiedenen Gegenstände, wie über die verschiedenen Theile eines und desselben Gegenstandes hingeleiten, so dass unsere Netzhaut in jedem Augenblicke einen anderen Theil des Gesichtsfeldes aufzunehmen im Stande ist. Wir können ausserdem den Kopf bewegen und vermögen dadurch wiederum verschiedene Seiten der Körper aufzufassen. Endlich liegen in der Beweglichkeit unseres Leibes sowie darin, dass wir die Gegenstände ausser uns in die verschiedensten Lagen zu bringen im Stande sind, weitere Momente, die es uns in Verbindung mit den ersteren gestatten, von einem Gegenstande die verschiedensten Anschauungen zu gewinnen und uns über die relative Form und Lage seiner einzelnen Theile zu unterrichten. Und reicht dies alles nicht aus, so haben wir noch den Tastsinn, der uns für nicht ausser unserem Bereiche liegende Gegenstände zu Hilfe kommt.

In all diesen verschiedenen Momenten wird uns eine hinreichend sichere Grundlage geboten, auf der wir, unterstützt von Erfahrung und Uebung, durch welche wir aus der Grösse des Gesichtswinkels und der mehr oder minder grossen Deutlichkeit des Gesichtseindrucks auf die Entfernung und somit auf die relative Lage der Gegenstände und ihrer einzelnen Theile schliessen lernen, die figürliche Construction der Körperwelt vornehmen können.

509 Ganz anders gestaltet sich dagegen die Sache bei dem mikroskopischen Sehen. Hier fallen alle die genannten Hilfsmittel hinweg. Zunächst sehen wir den Gegenstand für sich isolirt, und betrachten denselben mit nur einem in der Regel ruhenden Auge, welches in unveränderter Stellung zu ihm erhalten werden muss. Dann hilft, wie wir aus den Betrachtungen über die Sehtiefe, Seite 202 u. f., gesehen, das Accommodationsvermögen des Auges für die Auffassung der Tiefenausmessung der Objecte nur bei schwächeren Vergrösserungen einigermaassen mit, diese Mithilfe sinkt aber mit Zunahme der Vergrösserung und hört bei mittleren fast, bei stärkeren ganz auf, indem wir bei diesen durch das Mikroskop stets nur — und zwar um so genauer, je besser dessen Objectivsysteme sind — das in einer mathematischen Ebene liegende Bild sehen. Was über oder unter dieser Fläche liegt, ist für uns so gut wie gar nicht vorhanden. Wollen wir uns davon eine

Anschauung verschaffen, so müssen wir geradezu das eine Gesichtsbild vernichten und ein anderes an dessen Stelle setzen. Dies kann aber nur durch die Aenderung der Einstellung geschehen. Was wir also bei dem gewöhnlichen Sehen in stetiger Aufeinanderfolge ausführen, das kann bei dem mikroskopischen Sehen in den meisten Fällen der Beobachtung feinerer Structurverhältnisse nur in Folge der verschiedenen Einstellungen in entschieden merkbaren Unterbrechungen und nebenbei nie so vollkommen geschehen, wie dort. Wie sehr dies die Verbindung der einzelnen von einander verschiedenen, niemals stetig ineinander überfließenden Gesichtseindrücke zu einem Ganzen erschweren muss, ist auf den ersten Blick einleuchtend.

Zu einem dem Sehen mit freiem Auge einigermaassen ähnlichen mikroskopischen Sehen führt die Beobachtung mittelst stereoskopischer Apparate. Dieselbe beschränkt sich indessen vermöge der im zweiten Buche entwickelten Gesetze über die Sehtiefe des Mikroskopes auf eine verhältnissmässig geringe Anzahl von Objecten, so dass von ihr immerhin eine nur beschränkte Unterstützung zu erwarten ist.

Zu den berührten Verschiedenheiten zwischen gewöhnlichem und mikroskopischem Sehen kommt noch, und zwar als weitaus bedeutsamer, das mikroskopische Sehen nicht nur in Bezug auf die Zahl und Aufeinanderfolge der Gesichtseindrücke, sondern auch der Art nach als verschieden gestaltender Factor: die, von der gewohnten, bei dem Sehen mit blossem Auge in Anwendung kommenden ganz verschiedene Beleuchtung der mikroskopischen Präparate. Dort sieht man einen Gegenstand vermittelt des von ihm zurückgeworfenen oder zerstreuten Lichtes. Eine entsprechende Art der Beleuchtung aber, welche das Object gleichsam wie einen selbstleuchtenden Körper erscheinen lässt, findet bei der mikroskopischen Beobachtung nur eine beschränkte Anwendung bei der Betrachtung undurchsichtiger Objecte. Am häufigsten muss man, um sich über die feineren Structurverhältnisse der zu untersuchenden Gegenstände Aufschluss zu verschaffen, nachdem man sie gehörig vorbereitet und hinreichend durchsichtig gemacht hat, zu der Beleuchtung mittelst durchgehenden Lichtes greifen und es kommt dabei — wie auch bei Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes — die im zweiten Abschnitt des ersten Buches erörterte gesetzmässige Eigenart der mikroskopischen Abbildungsweise zur Geltung. Wir haben es hier, wie an jener Stelle nachgewiesen, in keinem Falle mit einem in geometrischer Weise erzeugten Absorptionsbilde, also mit einem einfachen Flächenbilde des Objectes zu thun, sondern mit der Interferenzwirkung, welche die von der Objectstructur bewirkte Beugungserscheinung in der der Objectebene zugeordneten Ebene: der Bildebene, hervorruft. Wir müssen also bei der Beurtheilung und Deutung des durch das Mikroskop Gesehenen stets dessen eingedenk sein, dass bei jeder Art von Objecten, mögen dieselben gemäss eines aus zahlreichen, gleichgestaltigen und gleichartig geordneten Elementen bestehenden Aufbaues eine aus deutlich getrennten Lichtmaxima

bestehende, oder in Folge beliebig gegliederter unregelmässiger Structur eine ununterbrochene Lichtausbreitung mit stetig oder sprunghaft veränderter Lichtstärke darstellende Beugungsfigur ergeben, nur dann ein nach Maassgabe der dioptrischen Wirkung des abbildenden Linsensystemes vergrössertes in allen Maass- und Formverhältnissen mit jenen übereinstimmendes Bild ergeben können, wenn sämmtliche durch die Beugung erzeugten Strahlengruppen von merklicher Lichtstärke von diesem Systeme aufgenommen werden, dass dagegen im anderen Falle stets in dem Maasse ein dem wirklichen Beobachtungsgegenstande mehr und mehr unähnliches Bild entsteht, als mehr und mehr Antheile des gebeugten Lichtes ausserhalb der Objectivöffnung fallen und für die Abbildung verloren gehen.

510 Die im letzteren Falle in dem mikroskopischen Bilde auftretenden feineren Zeichnungen, Streifungen, Felderungen und dergleichen, mögen sie auch noch so bestimmt und körperlich gezeichnet, noch so beständig erscheinen, dürfen doch nicht morphologisch, d. h. als Abbilder körperlicher Formen, sondern in dem Sinne wie in den theoretischen Betrachtungen dargelegt wurde, lediglich als die Anzeichen gewisser geformter stofflicher Verschiedenheiten in oder an den Objecten gedeutet werden.

Einfache Streifungen in dem Objecte, mögen sie der Oberflächenstructur angehören, oder in inneren materiellen Verschiedenheiten ihren Grund haben, werden, sobald nur der directe Lichtbüschel nebst zwei bis wenigen beiderseits (centrales Licht) oder einerseits von ihm auftretenden Beugungsbüschel (schiefes Licht) Eintritt erlangen, als Bild zwar wieder eine scharf gezeichnete Streifung ergeben, aber diese kann der wirklichen an Feinheit gleichkommen, oder als doppelt, dreifach etc. feinere erscheinen, je nachdem unmittelbar aufeinander folgende — und wenn auch nur zwei — Spectra der Beugungsfigur zur Wirkung kommen oder — was ja auch ohne künstliche Ablendung und unbeabsichtigt bei der mikroskopischen Beobachtung eintreten kann — eines bis mehrere der dazwischenliegenden ausgeschlossen werden. Ein schlagendes Beispiel aus der Reihe der mikroskopischen Objecte bietet hierfür die quergestreifte Muskelfaser. Bei centraler Beleuchtung und Wirksamkeit des vollen in der Austrittspupille des Objectivsystemes Raum findenden Theiles des Beugungsspectrums bieten dieselben in gewissen Contractionszuständen das Bild der in Fig. 509 und 510 dargestellten Querstreifung, während man durch künstliche Ablendung oder während der Beobachtung herbeigeführten — ungewollten — Anschluss eines bis mehrerer zwischenliegenden Maxima zweiter Ordnung (Einzelspectren) ganz verschiedene Bilder — sehr viel feinere Streifungen u. a. — hervorgerufen und als wirkliche Abbilder der Structur gedeutet werden können, wie es die über den feineren Bau der Muskeln geführten Controversen in ausgiebiger Weise bekunden.

Ist das Beugungsspectrum eines Streifensystemes, welches in der Objectivöffnung Raum findet, ein auf wenige Einzelspectren beschränktes, so

wird für das schliessliche Interferenzbild nur die lineare Entfernung der hellen oder dunklen Linien von Bedeutung, während die sonstige Beschaffen-

Fig. 509.

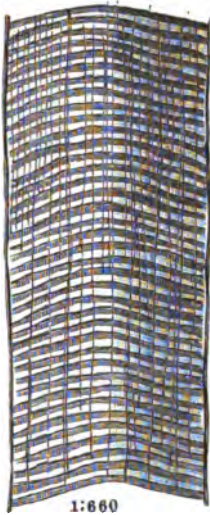


Fig. 510.



heit, d. h. ob die dunklen oder hellen Stellen breiter seien, gleichgiltig bleibt, soweit nicht der Grad der Helligkeit in Betracht kommt. Das Bild des fraglichen Objectes erscheint unter der Gestalt einer Streifung mit gleich breiten, hellen und dunklen Linien, deren Lichtabstufung etwa durch nachstehende Curve (Fig. 511.) dargestellt werden kann. Werden mehr und mehr Beugungsbüschel oder Einzelspectren von dem Objectivsysteme aufgenommen, so wird das mikroskopische Bild auch in Bezug auf seine Lichtabstufung und das richtige Verhältniss zwischen der Breite der hellen und dunklen Linien dem Objecte mehr und mehr ähnlich, bis bei voller Aufnahme der Beugungsfigur in ihren noch merklich lichtstarken Einzelspectren endlich das Bild dem Objecte gleichgestaltet erscheint und dann je nach Beschaffenheit des letzteren (ob dasselbe aus schmalen hellen Strei-

Fig. 511.



fen auf dunklem Grunde oder umgekehrt besteht, ob der Uebergang von Hell zu Dunkel allmähig oder sprungweise stattfindet) die in den — je nachdem aufrecht oder umgekehrt zu nehmenden — Curven II. und III. der Fig. 511 versinnlichte Lichtvertheilung darstellt. Etwas anders gestalten

sich in letzterer Beziehung die Verhältnisse, wenn die beugenden Elemente auf eine geringe Anzahl herabsinken. In diesem Falle treten innerhalb der Beugungsfigur auch Maxima dritter und vierter Ordnung auf und die Beziehung zwischen dem schliesslichen mikroskopischen Bilde und dem in der Austrittspupille auftretenden Beugungsspectrum wird eine verwickeltere, die sich nicht mehr so einfach durch Versuch und Beobachtung feststellen lässt. Die Formeln auf Seite 121 u. f. verlieren dann mehr und mehr ihre Verlässlichkeit und wenn die Anzahl der beugenden Elemente auf eine sehr kleine Zahl, etwa zwei, herabsinkt, so kommt für ihre Sichtbarkeit das Verhältniss zwischen den dunklen Stellen und deren Zwischenraum überhaupt noch allein in Betracht.

Structuren, welche aus beugenden Elementen bestehen, deren Gruppierung regelmässige geometrische Figuren bildet, geben je nach den in dem Oeffnungskegel Raum findenden Beugungsbüscheln und deren Anordnung sehr verschiedene Bilder. Zutritt zweier Spectren oder des directen Bildes der Lichtquelle und eines Spectrums ergeben, wie früher nachgewiesen wurde, stets eine Streifung, deren zu einander parallele Linien senkrecht stehen zur Verbindungslinie der Lichtmaxima der Beugungsfigur. Drei oder mehr nicht in einer Reihe liegende Spectren bewirken das Auftreten von sich untereinander schneidenden Linien oder in Reihen geordneten Felderungen, deren Richtung sich in gleicher Weise wie oben bestimmt und deren lineare Entfernungen in umgekehrtem Verhältnisse stehen zu den linearen Abständen der entsprechenden Spectren. Selbst dann, wenn neben dem Hauptmaximum sämmtliche, von den dem directen Lichtbüschel zunächst liegenden Beugungsbüscheln erzeugte Spectren wirksam werden, also der ganze centrale Theil des Gesamtspectrums in der Austrittspupille auftritt, giebt das Bild nur die Anzeichen für die Gruppierung der beugenden Elemente (die Periode der Structur) und nichts weiter. In allen diesen Fällen aber kann auf Grund des mikroskopischen Bildes allein über die Beschaffenheit der betreffenden Objectstructuren ein entscheidendes Urtheil darüber nicht gefällt werden, ob die beobachteten Streifungen und Felderungen durch sich schneidende Streifen, durch isolirte Körperchen, oder Höhlungen, oder durch innere materielle Verschiedenheiten erzeugt werden. Für alle derartigen Structuren gewährt das früher betrachtete *Pleurosigma angulatum* ein treffendes Beispiel wie die Veränderungen in der Gestaltung der Beugungsfigur entsprechende Veränderungen in dem mikroskopischen Bilde bedingen und diesen ähnliche Erscheinungen lassen sich an allen Diatomeen, an Schmetterlingsschuppen, sowie an vielen organischen Objecten hervorrufen. Verweilen wir z. B. einmal bei dem Bilde, welches *Pleurosigma angulatum* gewährt, wenn es mittelst eines Objectivsystemes von grosser numerischer Apertur und bei centraler Beleuchtung beobachtet wird, und welches dessen Schale als aus kleinen Kügelchen zusammengesetzt dargestellt — ein Bild, welches zur Zeit von mehreren Mikroskopikern (Pellatan, Stein, Kaiser u. A.) als das der wahren Structur angesehen wird,

so haben wir schon weiter oben gesehen, dass bei so kleinen Ausmaassen der Structurelemente, wie sie hier vorliegen, weder die Wirkung von Brechung, noch Schatteneffecte — wie noch immer vielseitig angenommen wird — in Betracht kommen ¹⁾ können, sondern dass einzig die Beugungswirkung zur Geltung gelangt und wir über die wirkliche morphologische Beschaffenheit der beugenden Elemente, ob sie z. B. kugelförmig oder anders gestaltet, ob sie Erhöhungen oder Vertiefungen seien, ein Urtheil nicht abgeben können. Die dem Mikroskop zugängliche und zu beobachtende Beugungsfigur — hier die in regelmässiger Sechsecke um das directe Bild der Lichtquelle gruppirte 6 Spectra — also auch das schliessliche Bild, können in jeder beliebigen Structur begründet sein, welche optisch verschiedene Elemente im Inneren oder an der Oberfläche in irgend einer Art so angeordnet enthält, dass dieselben gleichseitige Dreiecke von etwa $0,5\mu$ Höhe bilden.

Für vereinzelte Structurelemente, Fasern, kleine Körperchen und dergleichen, oder ähnlich gestaltete Oberflächenstructuren und innere materielle Differenzirungen: einzeln auftretende Rinnen, Streifen, Höhlungen, Grübchen etc., von denen ebensogut, wie von zusammengesetzten Structuren eine Beugungswirkung ausgeht und welche, wie wir gesehen haben, bis zu unendlicher Kleinheit gesehen werden können, geben ebensowenig wie letztere feste Anhaltspunkte für die Bestimmung ihrer Gestalt und ihres wahren Ausmaasses, sobald dieses letztere auf sehr kleine Vielfache, oder auf Bruchtheile der Wellenlänge herabgeht. Beide hängen in diesem Falle einzig und allein von dem wirksam werdenden Theile des abgebeugten Lichtes ab. Je geringer der Theil der vollen Beugungsfigur ist, welcher Zutritt zu dem abbildenden Objectivsystem erlangt, in desto höherem Maasse macht sich eine Vergrösserung ihrer Ausmaasse geltend und wie wir weiter oben gesehen haben, ist das kleinste Ausmaass, unter welchem dieselben in irgend einer Dimension erscheinen können, bestimmt durch den Werth $\frac{\lambda}{2a}$ nahezu. Ob ein so feines faserartiges Structurelement, kantig, cylindrisch oder plattgedrückt sei, lässt sich ebensowenig entscheiden, wie die Frage, ob kleine Körperchen, welche bei kleiner und kleiner werdenden absoluten Ausmaassen und namentlich dann, wenn die Unterschiede dieser letzteren in den ver-

¹⁾ Betrachtet man das Bild einer Lichtflamme mittelst eines Objectivsystemes von 3 bis 2 mm Brennweite durch eine in der Mitte des Gesichtsfeldes liegende Schale von *Pleurosigma angulatum*, indem man das Ocular hinwegnimmt und das Auge an die Stelle des Luftbildes bringt, so sieht man, obwohl unter diesen Umständen kein Lichtstrahl in das Auge gelangen kann, welcher nicht den Theil der Schale durchlaufen hat, welcher der Oeffnung der Pupille zugeordnet ist, jene so scharf begrenzt, als ob man sie durch eine vollständig homogene, ebene Glasplatte betrachtet hätte und es ist, falls nicht etwa die Mittelrippe mit abgebildet wird, ausser den sechs Beugungsspectren auch nicht eine Spur von durch Brechung abgelenktem oder zerstreutem Licht zu entdecken.

schiedenen Richtungen im Verhältniss zu $\frac{1}{2} \lambda$ kleine sind, alle in der Grenzform kreisförmiger Scheiben von mindestens einem durch die obige Formel bestimmten Durchmesser erscheinen müssen, Kugeln, Würfel, oder dergleichen vorstellen.

- 511 Wird das durch irgendwelche der Beobachtung unterliegende Objecte gebeugte Licht in Folge grösserer, mehreren Vielfachen der Wellenlänge des Lichtes gleichkommenden linearen Ausmaassen in einen verhältnissmässig engen Kegelraum zusammengedrängt und nimmt das entsprechende Beugungsspectrum einen so kleinen Raum ein, dass alle, oder doch alle merklich lichtstarken Einzelspectra desselben, in der Austrittspupille des Objectivsystems Aufnahme finden, dann nähern wir uns der Bildähnlichkeit mehr und mehr bis zur endlichen, vollen Uebereinstimmung. Es bleibt daher, so lange es sich um derartige, im Verhältniss zu der numerischen Apertur des abbildenden Objectives grobe Object-structuren handelt, trotz der principiellen Verschiedenheit zwischen der mikroskopischen und der directen Abbildung jener, die gewohnte Deutung der mikroskopischen Bilder als Abbilder zu Recht bestehen und es lassen sich demgemäss über die wahre Beschaffenheit der betreffenden Gegenstände völlig zutreffende Entscheidungen fällen.

- 512 Die eben dargelegten unanfechtbaren Thatsachen schliessen indessen keineswegs die Möglichkeit der Erkenntniss von Structuren mit sehr kleinen linearen Ausmaassen gänzlich aus. Es werden uns dieselben vielmehr dahin führen müssen, die Beobachtungsmethoden mehr und mehr auszubilden und in entsprechender Weise abzuändern, um uns z. B. mittelst Gewinnung von Bildern der Objecte in verschiedenen Lagen, in Quer-, Längs- und Secantenschnitten, mittelst Anwendung physikalischer und chemischer Hilfsmittel der mikroskopischen Technik weitere Aufschlüsse zu verschaffen, welche für die Beurtheilung nach den oben genannten Richtungen hin eine breitere Grundlage gewinnen lassen.

Unter allen Umständen aber muss das mikroskopische Sehen und die Beurtheilung des Gesehenen durch ausreichende Uebung erlernt werden. Es ist so zu sagen eine gewisse von der Theorie geleitete, an der Hand steter Beobachtung der durch die mikroskopischen Objecte erzeugten Beugungswirkung geführten Erziehung nothwendig, um aus den durch das Mikroskop erhaltenen Gesichtseindrücken die verstandesgemässige Construction vornehmen, d. h. die mikroskopischen Bilder richtig deuten zu können.

Zweiter Abschnitt.

Herrichtung der mikroskopischen Beobachtungsgegenstände.

Für die richtige und methodische Durchführung der mikroskopischen Beobachtung und die dadurch herbeizuführende Gewinnung einer möglichst vielseitigen und klaren Auffassung der zu beobachtenden Gegenstände ist die passende Vorbereitung und Herrichtung derselben eine der unerlässlichen Bedingungen und verlangt eine möglichst eingehende Betrachtung. 513

Bei der Beobachtung mittelst auffallenden Lichtes ist dieselbe einfach und beschränkt sich in der Regel auf die Beseitigung von fremden, dem Gegenstande selbst nicht angehörenden Dingen, sowie auf die Art und Weise, denselben in wechselnder zweckdienlicher Lage in das Sehfeld und damit dem beobachtenden Auge nach und nach verschiedene Seiten desselben zur Anschauung zu bringen.

Anders dagegen gestaltet sich die Sache bei der in den meisten Fällen von wissenschaftlich-mikroskopischen Untersuchungen angewendeten Beobachtungsweise mittelst durchfallenden Lichtes. Hier sind die allerwenigsten Gegenstände unmittelbar zur Untersuchung geeignet und bedürfen einer besonderen Zubereitung, um ihnen zunächst den nöthigen Grad von Durchsichtigkeit zu verschaffen.

Bei einzelnen Gegenständen ist diese zwar vorhanden, aber sie wird durch eingeschlossene Luft gestört. In diesem Falle kann man letztere leicht schon durch das Einlegen des Objectes in Alkohol oder, wo dies nicht genügt, mittelst der kleinen, im vorigen Buche beschriebenen Luftpumpe entfernen. Andere Gegenstände, wie Pollenkörner, Sporen und dergleichen erlangen, wenn es sich nicht gerade um die Untersuchung

der feinsten Structurverhältnisse handelt, den erforderlichen Grad von Durchsichtigkeit schon durch Befeuchten mittelst Wassers, Alkohols, Alkalien, fetter oder flüchtiger Oele.

In der Regel aber wird man sich veranlasst sehen, die zu untersuchenden organischen Gegenstände, welchen eine völlige Undurchdringlichkeit für die Lichtstrahlen keineswegs an und für sich eigen ist, in so dünne Schichten zu zerlegen, dass die vermöge ihrer physikalischen Beschaffenheit ihrer kleinsten Theilchen stattfindenden Brechungen Absorptionen und Zurückwerfungen der aus der Luft oder der Beobachtungsflüssigkeit in sie eintretenden Lichtstrahlen zweckdienlich beschränkt und denselben ein möglichst freier Durchgang gestattet wird.

Erstes Capitel.

Anfertigung von Schnitten und Schliffen.

I. Schnittpräparate.

514 Hier und da, namentlich bei an sich schon platten zarten Gegenständen, mag zu dem erwähnten Zwecke eine mehr oder minder starke Quetschung oder ein Zerpupfen genügen. Im Ganzen ist dies ohnehin sehr beschränkte Verfahren aber zu roh, als dass man sich dessen mit Vortheil bedienen könnte. Die Hauptaufgabe wird in dieser Beziehung daher immer die Anfertigung sehr zarter Durchschnitte bleiben.

Der zu diesem Behufe erfundenen mechanischen Instrumente und ihrer Anwendbarkeit wurde schon in einem früheren Abschnitte gedacht und dabei hervorgehoben, wie man zu deren zweckdienlicher Verwendung sich in der Führung derselben die erforderliche Uebung verschaffen muss. Da indessen die mittelst der Mikrotome erlangten Durchschnitte nur in gewissem Umfange und für bestimmte Zwecke ausreichen, indem einerseits das Maass ihrer Feinheit, andererseits die Schnittrichtung immerhin beschränkt bleiben, so behalten vor oder neben ihnen für die grosse Mehrzahl der feineren histologischen Untersuchungen feine Schnitte aus freier Hand einen unbestreitbar höheren Werth und muss man sich, wenn man das Mikroskop zu wissenschaftlichen Untersuchungen verwenden will, zunächst in der Anfertigung derselben eine hinreichende Fertigkeit erwerben.

Dem Rasirmesser ist hierfür wegen der Sicherheit in der Führung und der Freiheit in der Bewegung im Allgemeinen vor allen dazu benutzten und empfohlenen schneidenden Instrumenten der Vorzug zu geben.

Für manche Fälle wird man indessen auch von guten Skalpellen, sowie von der anatomischen und Cooper'schen Scheere mit Vortheil Gebrauch machen können.

Die Art und Weise des Gebrauches der schneidenden Instrumente zur Anfertigung der Schnitte wird einestheils durch die besondere Beschaffenheit der gerade herzurichtenden organischen Körper, anderentheils durch deren Grössenverhältnisse bedingt. Muss daher auch ein näheres Eingehen darauf den speciellen Untersuchungsmethoden in den folgenden Theilen vorbehalten bleiben, so dürfen wir uns doch hier einiger allgemeiner Anweisungen nicht enthalten.

1. Schnitte von widerstandsfähigen Geweben.

Am einfachsten und leichtesten ausführbar — womit indessen keines- 515
wegs gesagt sein will, dass gute, zu wissenschaftlichen Untersuchungen brauchbare Schnitte eine leichte Arbeit bilden, die jedem nur halbwegs geschulten Anfänger auf den ersten Schlag gelingt — sind Schnitte durch solche Gewebe und Gewebetheile, welche bei hinreichender Grösse, um in freier Hand gehalten zu werden, dem Messer solchen Widerstand bieten, dass man es mit Sicherheit und Stetigkeit führen kann. Dahin gehören namentlich Hölzer, härtere Pflanzentheile, horn- und knorpelartige Thier-substanzen, Knorpel, entkalkte frische Knochen und Zähne, endlich durch künstliche Mittel gehärtete grössere Stücke von Pflanzen- und Thiergeweben und dergleichen. Hat man hier erst die Schnittfläche gehörig geebnet und nach Bedürfniss diese, sowie die Messerklinge mit etwas Wasser oder Alkohol befeuchtet, so fasst man den Gegenstand fest zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und schneidet dann, indem man die flach aufgelegte, vorher benetzte Klinge des Messers mit fester Hand stetig nach sich hinzieht. Wenn es sonst angeht, so wähle man den Gegenstand so aus, dass das Messer auf dessen geebneten Oberfläche eine möglichst grosse Leitfläche besitzt. Auf bedeutende Grösse des Schnittes kommt es in den meisten Fällen weit weniger an, als auf dessen Feinheit bei unverletzter Erhaltung der zusammensetzenden Elementarorgane. Man begnüge sich daher nicht mit dem ersten besten Schnitte, sondern schneide ruhig so lange fort, bis der erforderliche Grad von Feinheit erreicht ist¹⁾, worüber hier und da schon das blosse Auge, und wenn nicht, eine vorläufige Betrachtung mittelst der Lupe oder auch des Mikroskopes Auskunft geben wird. Um diese vorläufige Untersuchung nicht zu oft wiederholen zu müssen, wird man gut thun, eine

¹⁾ Es lässt sich natürlich kein bestimmtes Maass für die Schnittdicke angeben. Der auf sich selbst angewiesene Anfänger wird daher, wenn sich ihm irgend dazu Gelegenheit bietet, suchen müssen, mustergültige Schnitte tüchtiger Präparatoren kennen zu lernen und sich deren Bild im Gedächtniss festzuhalten, oder wo es möglich ist, solche zu erwerben.

Anzahl von Schnitten, denen man die möglichste Vollkommenheit zu geben suchen muss, vorläufig in eine mit reinem Wasser gefüllte Schale zu bringen und dann unter dem Mikroskope die gelungensten zur eigentlichen Untersuchung auszuwählen. Um die zarten Schnitte von der Messerklinge abzuheben, bedient man sich eines feingespitzten, etwas befeuchteten Haarpinsels.

Frische Hölzer, junge Zweige und saftreiche Triebe holzartiger Pflanzen und dergleichen lässt man zweckmässig einige Stunden bis einen oder mehrere Tage abtrocknen, weil es dann weit leichter ist ganz untadelhafte Schnitte zu erhalten. Man thut indessen gut, sich von Zeit zu Zeit Kenntniss darüber zu verschaffen, ob der geeignete Zeitpunkt gekommen ist, wofür ein paar Probeschnitte ausreichen.

Harte Hölzer und andere harte Pflanzentheile, z. B. horniges Sameneiweiss der Palmen u. dgl., welche sich trocken nicht wohl schneiden lassen, weicht man einen oder einige Tage in Wasser oder auch — sofern dies zulässig erscheint — erst in verdünnte kaustische oder kohlensaure Alkalien und hierauf in Wasser ein, oder kocht sie auch längere Zeit darin, wonach dieselben weit leichter zu behandeln sind. (Einige Tage in Wasser eingelegte Stücke des Dattelkernes, der Steinnuss etc. lassen die zartesten Schnitte ausführen, denen kein Schliffpräparat gleichkommen kann.) Nicht zu harte oder zu weiche mässig trockene Hölzer dagegen gewähren oft weit schönere und reinere Schnitte, wenn man sie trocken schneidet, als wenn man sie vorher einweicht. Hier wird man sich eben erst durch eigene Versuche über die Behandlungsweise ein Urtheil fällen müssen. Harzreiche Hölzer bringt man einige Tage in Alkohol oder digerirt sie kürzere oder längere Zeit in starkem Weingeist, in welchem Falle man vor dem Schneiden ihre Schnittfläche sammt der Klinge mit demselben Mittel befeuchtet.

Zur Erlangung zarter Durchschnitte von sehr grosszelligen, stark vertrockneten Holzarten, ebenso von anderen trockenen Pflanzentheilen (Rinden und dergleichen), deren Gewebe beim Schneiden leicht zerbröckeln oder zerreißen würden, benutze ich je nach Umständen die von Schacht empfohlene Injection mittelst geschmolzenen Stearins oder eine der gleich zu beschreibenden Einbettungsmethoden und hat sich mir dieses Verfahren ganz trefflich bewährt. Oft führt hier auch eine, kürzere oder längere Zeit dauernde Maceration in Alkalien die Schneidbarkeit herbei, indem sie die Gewebe erweicht und zusammenhangsfähiger macht.

Wo es sich um Schnitte von grösserer Ausdehnung handelt, welche bei nicht gerade äusserster Dünne über die ganze Fläche gleichmässig dick sein sollen, da ist die Anwendung des Mikrotomes angezeigt, welche indessen auch eine auf die geeignete Handhabung eingeübte Hand verlangt.

2. Behandlung weicher Gewebe, Trocknungs-, Gefrier- und Erhärtungsmethode.

Weit schwieriger, als von den vorigen, sind Schnitte von sehr weichen und saftreichen Pflanzen- und Thiergeweben zu erlangen, welche dem Messer einen so geringen Widerstand bieten, dass dasselbe weniger schneidet, als zerreißt und quetscht. Bei den ersteren genügen für manche Fälle und namentlich wenn sie ziemlich grosszellig sind, weniger zarte Schnitte, welche man mittelst eines haarscharfen Rasirmessers mit dünner, hohlgeschliffener Klinge ziemlich leicht herstellen kann, wobei man die letztere zweckmässig vor dem Schneiden etwas stark benetzt. Sollen von Pflanzen- oder gar Thiergeweben zartere, und dabei in grösserem Umfange gleichmässige Schnitte dargestellt werden, so erfordert das Rasirmesser eine sehr geschickte und sichere Führung und wird selbst dabei seine Dienste versagen. In manchen Fällen führt die schon von Schleiden empfohlene Behandlungsweise zum Ziel, welche sich auch auf manche weiche thierische Gewebe mit Vortheil anwenden lässt. Man tränkt nämlich den Gegenstand mit einer dicken Lösung von möglichst reinem und farblosem arabischem Gummi, welcher man, damit sie beim Erhärten nicht zu spröde wird, etwas Zuckersyrup (Syrupus simplex der Apotheken) oder einige Tropfen Glycerin zusetzt, und lässt diese an der Luft langsam eintrocknen. Die von den derart behandelten Gegenständen gewonnenen zarten Schnitte bringt man dann in ein Schälchen mit Wasser, welches das Gummi löst, während die Zellhäute durch Wasseraufnahme wieder ihre Spannung annehmen, so dass das Gewebe wie im frischen Zustande erscheint. Wo diese Behandlung nicht zum Ziele führt, namentlich auch da, wo zartere mit festeren oder härteren Gewebemassen abwechseln, führen die gleich zu beschreibenden Einbettungsmethoden meist sicher zum Ziele. Zum Schneiden wird man hier, wo es auf feinste Schnitte ankommt, das Rasirmesser verwenden. Das früher vielseitig gebrauchte Doppelmesser, welches man auch durch besonders construirte Messer zu ersetzen gesucht hat, leistet nach meinen Erfahrungen für derartige Pflanzengewebe geringe Dienste und kann wenigstens niemals die geschickte Führung des Rasirmessers ersetzen. Dagegen gewährt dasselbe einigen Vortheil bei nicht zu weichen Pflanzentheilen (dünne Blätter und Stengel), oder bei einzelnen thierischen Geweben, bei denen es darauf ankommt, ganz feine Schnitte in frischem, unverändertem Zustande zu erhalten. Ehe man damit schneidet, muss dafür Sorge getragen werden, dass die beiden Klingen gehörig benetzt sind. Dies wird dadurch erreicht, dass man das Instrument entweder unter Wasser schliesst, oder dass man dasselbe, nachdem die Klingen in die erforderliche Stellung gebracht worden sind, ins Wasser taucht, wel-

ches sich dann vermöge der Adhäsion zwischen die Klingen zieht. Den Schnitt führt man derart, dass man ihn mit dem dem Hefte zunächst gelegenen Theile beginnt und ohne zu sägen unter sanftem Zuge nach dem Körper gegen die Spitze hin führt. Hierauf öffnet man die Klingen etwas, um das zwischen ihnen befindliche Präparat mittelst eines in Wasser getauchten Pinsels heraus zu spülen. Aber auch nach dieser Seite hin bleibt die Anwendung des Doppelmessers und ähnlicher, für gleiche Zwecke erfundener Instrumente immerhin eine ziemlich beschränkte, da bei ihrem Gebrauche das zu behandelnde Gewebe immerhin eine gewisse Festigkeit haben muss. Wo mehr oberflächliche Schnitte zu führen sind, da wird man sich doch meistens wieder zu dem Rasirmesser oder zu einem guten Skalpelle wenden, oder falls die allzugrosse Weichheit der Gewebe deren Anwendung hinderlich ist, zu dem Seite 669 beschriebenen lanzettartigen Messerchen seine Zuflucht nehmen müssen. Beim Gebrauch dieses letzteren wird die mit Wasser befeuchtete Spitze flach unter der Oberfläche eingestochen und parallel mit dieser fortgeschoben. Der auf solche Weise losgetrennte feine Abschnitt kann dann mittelst einer scharfen feinen Schere vollständig abgelöst werden.

Sind nicht gerade Schnitte von frischen Geweben erforderlich, oder hat man von dem zu untersuchenden Objecte keine oder nicht merkbare Veränderungen in den Structurverhältnissen durch eine derartige Behandlung zu befürchten, so erleichtert man sich die Anfertigung feiner Schnitte wesentlich durch vorgängige Erhärtung. Diese bewirkt man je nach Umständen entweder mittelst Trocknens, Gefrierens, oder mittelst Durchtränkens von solchen Flüssigkeiten, welche in ähnlicher Weise wie jene Behandlungsweise wirken.

- 517 **Trocknungsmethode.** Zum Trocknen verwendet man möglichst fettfreie, kleine, nöthigenfalls mit Nadeln auf passende Korkplättchen zu befestigende Stückchen des betreffenden Gewebes, die indessen immerhin eine solche Ausdehnung besitzen müssen, dass sie auch nach dem Einschrumpfen dem Messer eine noch hinreichend grosse Schnittfläche bieten. Man setzt dieselben, vor Staub geschützt, etwa in dem Harting'schen Apparate so lange einer Temperatur von etwa 40 bis 50° C. aus, oder bringt sie, wenn Erwärmung vermieden werden soll, so lange in einen der bekannten Schwefelsäure- oder Chlorcalciumapparate der chemischen Laboratorien, bis sie eine — je nach Erforderniss — wachs- bis hornartige Beschaffenheit und damit den erforderlichen Grad von Widerstandsfähigkeit gegen das Messer erlangt haben. Zur Beförderung des Trocknens kann man die hierzu bestimmten Gewebetheile oftmals mit Vortheil vorher in Wasser, Essig oder verdünnter Natronlauge kochen, in heisse, verdünnte Salpetersäure tauchen, oder 2 bis 3 Tage in Holzessig weichen. Von so behandelten thierischen Geweben lassen sich entweder in trockenem Zustande, oder nachdem man die Schnittfläche etwas mit Wasser befeuchtet hat, leicht sehr feine Schnitte gewinnen, die bei manchen Objecten in reinem oder mit ein wenig Essigsäure versetztem Wasser ein Aussehen annehmen, wie

die von frischen Geweben gewonnenen. Diese Methode lässt sich indessen nur selten mit Vortheil anwenden. Abgesehen von Störungen, welche die feinere Structur des lebendigen Zellenleibes erleidet, schrumpfen nämlich manche Gewebe durch das Trocknen so ein, dass ihre Elementarorgane in Wasser gebracht, ihre früheren Formen und relativen Grössenverhältnisse nicht wieder erlangen; bei anderen nehmen dieselben durch das Aufweichen ein grösseres Volumen an oder kleben durch das Trocknen mehr oder minder fest zusammen. Im Allgemeinen dürfte sich das Trocknen, welches indessen in neuerer Zeit überhaupt nur noch wenig Anwendung findet, für an Bindegewebe reiche Organe, für Muskeln, Epidermis, Lunge und die Krystalllinse eignen.

Gefriermethode. Die Erhärtung durch Gefrieren ist in neuerer Zeit 518 vielfach und auf verschiedene Gewebe, z. B. Lunge, Leber, Niere, Milz, Drüsen, Muskeln, Nerven etc. angewendet worden. Man bewirkt dieselbe, indem man kleine Gewebestückchen auf Korkplättchen angefroren, am besten in einer der bekannten Kältemischungen einer Temperatur von -6 bis -15°C. aussetzt. Die Schnitte werden mit einer gleichfalls in die Kältemischung getauchten Klinge ausgeführt und in einer der oben beschriebenen indifferenten Zusatzflüssigkeiten untersucht. An dem Mikrotom hat man zum Zwecke dieser Härtingsweise eigene „Gefrierapparate“ angebracht, welche es möglich machen, das zu schneidende Object unter dem dauernden Einflusse der niedrigen Temperatur zu erhalten. Obwohl die Gefriermethode in der Regel bessere Resultate liefert, wie das Trocknen, so geht es dabei doch auch nicht ohne gewisse Eingriffe in die feinere Organisation ab, welche entweder schon bei dem Gefrieren selbst, oder bei dem Aufthauen der angefertigten Schnitte hervortreten.

Härtungsmethoden. Unter den erwähnten Umständen ist den 519 betrachteten Methoden das Erhärten, welches durch längere oder kürzere Zeit dauernde Behandlung mit bestimmten Flüssigkeiten vollzogen wird, umsomehr vorzuziehen, als letztere meistens pflanzliche und thierische Protoplasmagebilde rasch abzutödten und damit in der ihnen im lebenden Zustande eigenthümlichen Gestaltung zu fixiren vermögen. Hierbei ist aber zu beachten, dass diese Flüssigkeiten immerhin in den Gewebeelementen und deren Inhalt mechanische und chemische Veränderungen sowie verschiedene Färbungen hervorbringen können, welche man von den Beobachtungsergebnissen sorgfältig zu eliminiren trachten und mit denen man sich daher im Voraus durch eigene Anschauung bekannt machen muss.

Welche von den verschiedenen in Vorschlag gebrachten erhärtenden Flüssigkeiten und in welcher Concentration man sie in einem gegebenen Falle zu wählen hat, darüber müssen einestheils die chemische und histologische Zusammensetzung des betreffenden Gewebes, anderentheils die im zweiten Abschnitte des vorhergehenden Buches besprochene Wirkungsweise der anzuwendenden Lösungen entscheiden und haben darüber die speciellen Untersuchungsmethoden zu handeln.

Im Allgemeinen finden die im Folgenden genannten, zum Theil schon an der gedachten Stelle näher charakterisirten — zum Theil auch bei der später zu besprechenden Fixirungsmethode vortreffliche Dienste leisten — chemischen Agentien die meiste Anwendung.

Verdünnter, etwa 10- bis 15procentiger Weingeist bringt unter allen erhärtenden Flüssigkeiten in manchen Geweben die geringsten Veränderungen hervor. Derselbe eignet sich namentlich für faserige Gewebe, welche darin so fest werden, dass man mittelst eines scharfen Messers leicht zarte Schnitte davon entnehmen kann. Stärkerer Weingeist, in welchem die Gewebe immer mehr oder weniger erheblich schrumpfen, verlangt eine sorgsame Verwendung. Am leichtesten gelangt man damit zu befriedigenden Resultaten, wenn man das zu erhärtende Gewebe zuerst in verdünnten, dann nach und nach in stärkeren Weingeist und endlich in absoluten Alkohol legt. Werden auch durch diese Behandlungsweise die betreffenden Objecte immer etwas in ihrer feineren Structur getrübt, so erhalten sich doch ihre Elementartheile gehörig gesondert, so dass man sie recht gut in ihrer natürlichen Abgrenzung erkennen kann, und ausserdem hat man in dem Glycerin ein vortreffliches Aufhellungsmittel solcher getrühten Präparate.

Pflanzengewebe bedürfen zur Erhärtung meist sofortiger Einwirkung von sehr starkem, bis wasserfreiem Weingeist, und habe ich bei sehr protoplasmareichen Geweben den Zusatz von ein paar Tropfen Nelkenöl vorthellhaft gefunden.

Für einzelne Gewebetheile eignen sich als Erhärtungsmittel vorzugsweise die Seite 711 beschriebenen Alkoholgemische, indem dieselben die erhärtende mit der aufhellenden Eigenschaft vereinigen.

Chromsäure und chromsaure Salze. Stark verdünnte 0,2- bis 2procentige Chromsäure wird häufig zum Erhärten verwendet und lässt sich auch für manche Gewebearten, namentlich für alle Theile des centralen und peripherischen Nervensystems, weit besser als der Alkohol gebrauchen. Sie hat aber die Unannehmlichkeit, dass sie den mit ihr behandelten Geweben eine gelbgrüne Färbung ertheilt, wodurch dieselben häufig etwas zu undurchsichtig werden, wogegen jedoch die Vermeidung zu starker Concentrationsgrade hinreichenden Schutz gewährt. Die Verwendung der Chromsäure bedarf überhaupt grosser Vorsicht, wenn man sein Ziel erreichen will, und man sollte es sich zur Regel machen, möglichst mit den stärkeren Verdünnungsgraden zu operiren. Je frischer der zu erhärtende Gewebetheil ist, desto verdünntere Lösungen sind anzuwenden. Am vorthellhaftesten bewährt es sich, wenn man die Erhärtung gradweise vornimmt. Zu dem Ende legt man nicht zu umfangreiche Stückchen in eine Lösung von 1 Theil Säure auf 500 Theile Wasser und geht dann nach einigen Tagen zu einer Lösung von 1 Theil Säure auf 200 bis 100 Theile Wasser über, in welcher das Gewebe so lange verbleibt, bis es den gewünschten Härtegrad erreicht hat, wozu je nach Umständen einige Tage, hier und da wohl auch einige Wochen erforderlich sind.

Statt der Chromsäure verwendet man auch das doppeltchromsaure Kali in der auf Seite 708 erwähnten Stärke. Bei sehr delicaten Structurverhältnissen gebraucht man das Salz in Verbindung mit der Säure, indem man zuerst eine 3- bis 5 procentige oder schwächere Lösung des ersteren und dann eine $\frac{1}{10}$ - bis $\frac{1}{4}$ procentige der letzteren verwendet. Vor der Säure hat das Salz, das aber wegen der Eingriffe, welche es bei vielen Zellenarten in der feineren Structur veranlasst, weniger als diese verwendbar ist, den Vorzug, dass es keine Schimmelbildung aufkommen lässt.

Auch das als „Müller'sche Flüssigkeit“ früher beschriebene Gemisch kann in ähnlicher Weise verwendet werden.

Alle mit Chromsäure und chromsauren Salzen erhärteten Gewebe müssen, bevor man sie weiterer Behandlung, Färbung etc. unterwirft, auf das Sorgfältigste von der Erhärtungsflüssigkeit befreit werden und sind daher mehrfache aufeinander folgende Waschungen mittelst destillirten Wassers vorzunehmen und so lange fortzusetzen, bis jede Spur derselben verschwunden ist.

Will man in Chromsäure oder deren Salze oder in Müller'scher Flüssigkeit gehärtete Gewebe für längere Zeit erhalten, so kann man sie nach einer Mittheilung von Sanitätsrath Dr. Heusner in Kreuznach in mit einigen Splintern von Naphtalin versetztes destillirtes Wasser legen.

Salpetersäure kann in einzelnen Fällen Anwendung finden. Man muss aber die so erhärteten Präparate vor dem Schneiden sorgfältig mit Wasser aussüssen, um zu verhüten, dass die Messerklingen angegriffen werden.

Die Pikrinsäure wird in gesättigter, wässriger Lösung angewendet und müssen die Gewebestückchen längere Zeit — bis 24 Stunden — in derselben liegen, ehe sie schnittfähig werden. Doch hat man sich auch vor Ueberhärten zu hüten, da sonst Brüchigkeit eintritt und die betreffenden Objecte verloren gehen.

Sind grössere niedere Thiere, namentlich Seethiere im Ganzen rasch abzutöden, deren Protoplasmakörper zu fixiren und schnittfähig zu machen, so wird statt der Pikrinsäure allein, zunächst zur Conservirung des Thierleibes das Kleinenberg'sche Pikrinschwefelsäuregemisch angewendet, welches man erhält, wenn eine gesättigte Pikrinsäurelösung mit 2 Raumtheilen concentrirter Schwefelsäure vermischt und die von dem entstandenen Niederschlage abfiltrirte Flüssigkeit mit der dreifachen Menge destillirten Wassers verdünnt wird. Entstehen beim Einlegen der Thiere in das Säuregemisch Trübungen, so ist dasselbe so lange zu wechseln, bis die Flüssigkeit klar bleibt. Die Dauer der Einwirkung richtet sich nach der Beschaffenheit der Thiere und ihrer Gewebe und kann einige Stunden, unter Umständen auch einige Tage erfordern. Die aus dem Gemische kommenden Objecte werden nun nachträglich, um sie schnittfähig zu machen, zuerst sorgfältig in 70 procentigen Alkohol eingelegt und dieser so lange gewechselt, als noch wässrige Flüssigkeit auf-

genommen und eine Spur von Pikrinsäure (durch gelbe Färbung) angezeigt wird.

Ueberosmiumsäure und Säuregemische. Auch die Ueberosmiumsäure (Osmiumsäure), sowie die Seite 705 beschriebenen Säuregemische bieten für manche Gewebe sehr brauchbare Härtingsflüssigkeiten. Es ist aber zu bemerken, dass mittelst der ersteren oder der Gemische, in denen sie vertreten ist, gehärtete Gewebe für nachherige Färbungen wenig günstig sind.

Das kohlensaure Kalium (1 Theil auf 4 bis 8 Theile Wasser) eignet sich zur Erhärtung einzelner und vorzugsweise solcher Gewebe sehr gut, welche nicht reich an Proteinverbindungen sind.

Die Merkel'sche Flüssigkeit, eine Lösung von je 1 Gewichtstheil Platinchlorid und Chromsäure in 800 Theilen Wasser, eignet sich vorzugsweise zum Erhärten zarter Organe. Dieselbe gewährt einen grossen Spielraum in Bezug auf die Dauer der Einwirkung und besitzt vor den einfachen Chromsäurelösungen noch den Vorzug, dass sich die betreffenden Objecte nach Behandlung mit Alkohol ganz vortrefflich färben.

Sublimatlösung (1 oder 2 Theile Sublimat auf 100 Theile Wasser) hat nur bei der Untersuchung der Capillargefässe mit noch in ihnen enthaltenen Blutkörperchen, dann zur Erhärtung der Achsencylinder der Nerven Anwendung gefunden, da selbst bei einer so starken, wie oben angegebenen, Verdünnung die Gewebe einestheils zu stark schrumpfen, anderentheils sehr undurchsichtig werden. In neuerer Zeit verwendet man Sublimat in Verbindung mit Pikrinschwefelsäure und 5 procentiger Essigsäure, oder mit Kochsalz und Essigsäure (auf 100 Theile Wasser 6 bis 10 Theile Kochsalz, 5 bis 8 Theile Essigsäure und 3 bis 12 Theile Sublimat) und nachheriger Behandlung mit 70- bis 90 procentigem Alkohol als Fixationsmittel für gewisse niedere Thiere wie Hydroiden, Ctenophoren, Corallen, Echinodermen, viele Anneliden, Rhabdocoelen aa (Lenz).

Holzessig. Der von mehreren Seiten empfohlene Holzessig scheint mir nur einer beschränkteren Verwendung fähig zu sein, da derselbe zu starke Veränderungen in den Geweben hervorbringt. Jedenfalls kann er nur unter Beobachtung der grössten Vorsicht angewendet werden. Dagegen wird das von Professor Rindfleisch empfohlene Nelkenöl für die Erhärtung des Körperparenchyms niederer Thiere mit Vortheil benutzt werden können. Wenige Tropfen als Zusatz zu Alkohol befördern dessen erhärtende Eigenschaften, ohne den betreffenden Geweben wesentlich zu schaden.

Die mittelst einer der beschriebenen Methoden schnittfähig gemachten Objecte können, wenn sie eine ausreichende Grösse besitzen, ganz in derselben Weise zerlegt werden, wie die unter der vorhergehenden Nummer betrachteten. Sind dieselben dagegen von geringer Grösse, so müssen sie nach einer der gleich zu beschreibenden Methoden behandelt werden.

3. Durchschnitte ungleich harter, flacher und sehr kleiner Gegenstände.

Weit mehr Schwierigkeiten, als die Weichheit überhaupt, bietet der 520 Herstellung eines guten Präparates eine sehr ungleiche Härte einzelner Gewebetheile dar. Um da, wo der Schnitt zugleich durch ganz weiche und harte Stellen geführt werden muss — wie dies z. B. bei Untersuchungen über die Entstehung der Elemente des Holzes und Bastes aus dem Cambium der Fall ist — bei dem Schneiden ein Zerreißen an den Uebergangsstellen aus den weichen in die härteren Partien möglichst zu vermeiden, verfährt man am besten so, dass man entweder aus den härteren in die weicheren Gewebetheile hinüberschneidet, oder dass man, indem die Klinge in schiefer Richtung gegen den Verlauf der verschiedenen Gewebepartien gehalten wird, den Schnitt zugleich durch sämtliche Gewebetheile führt. Die allerschärfsten Messer und die behutsamste und sicherste Führung derselben sind hierbei unerlässliche Bedingungen zum Gelingen. Ausserdem muss man sich mit einem gehörigen Maasse von Geduld waffnen, um nicht durch manche misslungene Versuche abgeschreckt zu werden. Wo die Veränderungen in dem stickstoffhaltigen Zellinhalte nicht entgegenstehen, unterstützt man das Gelingen der Schnitte wesentlich dadurch, dass man — wie ich seit Jahren verfare — den betreffenden Pflanzentheil während eines oder einiger Tage in Alkohol und darauf in eine Mischung von etwa gleichen Theilen Alkohol und Glycerin legt, wodurch die weicheren Gewebetheile eine grössere Widerstandsfähigkeit erlangen und die Ungleichheit in gewissem Maasse aufgehoben wird, so dass die Objecte eine gute Schnittfähigkeit gewinnen und ein Zerreißen beim Uebergang des Messers aus den härteren in die weicheren Gewebetheile möglichst ausgeschlossen bleibt. Auch die schon erwähnte allmälige Durchtränkung mittelst Gummilösung, oder mittelst eines oder des anderen hierzu geeigneten Einbettungsmittels, welche wir bei diesen besprechen werden, leistet hier oft sehr gute Dienste.

Grössere, aber sehr dünne oder platte Gegenstände, welche sich unter dem Drucke des Messers umbiegen würden, wie zarte Pflanzenblätter, thierische Häute, feine Zweige, Blatt- und Blütenstiele, Moosstengel und dergleichen schneidet man am zweckmässigsten zwischen reinen, ausgesuchten Korkplättchen, oder noch besser zwischen Plättchen von Hollunder- oder Sonnenblumenmark, welche sich namentlich für zartere, keinen starken Druck vertragende Gegenstände eignen. Man kommt auf diese Weise viel sicherer und leichter zum Ziele als durch senkrecht geführte, sogenannte Wiegenschnitte gegen den horizontal auf eine härtere Unterlage gelegten Gegenstand. Durch das Doppelmesser kann

unter diesen Umständen bei den meisten, namentlich vegetabilischen Gegenständen das Schneiden aus freier Hand kaum ersetzt werden. Man verfährt bei dieser Präparationsweise folgendermaassen. Zwischen zwei ebene oder mit den zu schneidenden Gegenständen angepassten Rinnen oder Anschnitten versehene Plättchen aus Kork-, Hollunder- oder Sonnenblumenmark bringt man den Gegenstand in die geeignete Lage und klemmt dann das Ganze zwischen die Backen eines kleinen (zuerst von Schacht empfohlenen) Handschraubenstockes, indem man jene etwa 1 bis 2 mm über diese hervorragend lässt. Erscheint der von diesem Instrumenten ausgeübte Druck zu stark, dann presst man einfach zwischen zwei Finger, oder umwindet mit einem mehr oder weniger scharf anzuziehenden flachen Bande oder Bindfaden. Zunächst bildet man eine glatte, ebene Schnittfläche und nimmt hierauf mittelst eines scharfen Messers zarte Schnitte quer durch die Plättchen, womit man zugleich äusserst feine Durchschnitte des zu untersuchenden Objectes erhält, die sich in Wasser gebracht leicht mittelst der Nadel von den anhängenden Kork- oder Markabschnitten trennen lassen. Gegenstände von sehr kleinem Durchmesser, wie Moosblätter, Haare, vereinigt man zweckmässig, ehe man sie zwischen das Hollundermark bringt, durch Glycerin-Gummilösung, weil sie dann eine grössere Schnittfläche von gleicher Beschaffenheit darbieten, was nicht wenig zum besseren Gelingen der Durchschnitte beiträgt. Für Körperchen von grösserer, doch nicht zu bedeutender Härte, wie kleiner Samen etc., bei denen der Unterschied gegen Kork oder Hollundermark so gross sein würde, dass er ein Hinderniss für die Gewinnung recht zarter Durchschnitte abgäbe, habe ich mit Vortheil dünne, mit kleinen Rinnen versehene Plättchen von weichen Laubholzarten, Pappel- oder Lindenholz, benutzt, mit denen ich den Gegenstand mittelst Gummilösung fest vereinigte.

Sehr weiche und zart organisirte kleine Gegenstände, welche selbst den Druck zwischen Hollundermark nicht vertragen würden, legt man in der richtigen Lage zwischen Daumen und Zeigefinger, welche man etwas befeuchtet hat, damit jene leichter anhaften. Schneidet man dann mittelst eines hohl geschliffenen Rasirmessers zwischen beiden durch, so erhält man den kleinen Körper halbirende Durchschnitte und kann hierauf, indem mit den beiden Hälften das gleiche Verfahren wiederholt wird, hinreichend dünne Plättchen von denselben erhalten.

Alle diese Verfahrungsarten bedürfen natürlich je nach der Art und Beschaffenheit des Objectes mannigfacher Abänderungen, deren wir bei den speciellen Untersuchungsmethoden zu gedenken haben werden.

4. Einbettungsverfahren.

- 521 Die Einbettung von an sich schnittfähigen oder von schnittfähig gemachten Objecten in solche Mittel, welche aus dem flüssigen Zustande in einen soweit erstarrten übergehen, dass sie eine sichere und reine

Schnittführung gestatten, wurde zwar schon länger in beschränkterer Weise angewendet, hat aber erst seit der vielseitigeren und häufigeren Anwendung des Mikrotomes eine weitergehende Ausbildung erfahren.

Man bedient sich je nach Umständen zweier Arten von Einbettungsmassen, von denen die einen mit Gummi- und Leimlösungen für frische oder die Behandlung mit Alkohol und flüchtigen Oelen nicht gut vertragende, die andere, in der Regel aus erstarrenden Fetten bestehenden, für gehärtete, das Schneiden unter Alkohol oder Terpentinöl gestattende Gegenstände geeigneter erscheinen. Unter allen Umständen muss die Einbettungsmasse soweit erstarren, dass dieselbe, ohne dass sie in ihrer flüssigen oder erstarrten Gestalt auf den zu schneidenden Gegenstand einen nachtheiligen Einfluss übt, beim Erstarren etwa gleiche Consistenz mit demselben erhält und sich fest und ohne Lücken mit ihm verbinden lässt. Eine weitere wünschenswerthe Eigenschaft besteht darin, dass beim Erstarren die Durchsichtigkeit erhalten bleibe und es so möglich gemacht werde, die Richtung des zu führenden Schnittes gegen das Object genau zu bestimmen.

Gummi- und Gelatinelösung. Eine der ältesten Verfahrensweisen ist die in der Pflanzenhistologie von Schacht u. A. angewendete Einbettung von ganz kleinen, mit dem blossen Auge kaum sichtbaren Körperchen, wie von Stärkemehl, Pollenkörnern, Sporen etc., indem man dieselben mit einer dicken, aus 10 g Gummi arabicum, 10 g Wasser und 40 bis 50 Tropfen Glycerin bestehenden Gummilösung mischt und eintrocknen lässt. Recht gut hat sich mir für diese Präparation das von Schacht empfohlene Verfahren erprobt. Eine dicke, bis 2 Zoll lange, durch einen sauberen Querschnitt an dem einen Ende völlig geebnete Stange von trockenem Hollundermark überzieht man mit einer Schicht der beschriebenen Lösung und lässt diese bei aufrechter Stellung der Stange eintrocknen. Hierauf trägt man eine zweite Gummischicht auf und streut in diese die betreffenden Gegenstände ein. Ist auch diese Schicht getrocknet, so trägt man eine dritte auf, so dass die kleinen Körperchen vollständig von Gummi umschlossen werden. Nachdem der passende Grad von Trockenheit erreicht ist, wobei das Gummi weder zu weich noch zu hart und spröde sein darf, macht man mit einem äusserst scharfen Rasirmesser höchst feine Durchschnitte. Ist man diesen erst einmal bis zu der mittleren Partie gelangt, dann erhält man in den zarten Schnitten der Gummimasse auch immer höchst feine Durchschnitte von den zu untersuchenden Objecten. Diese werden dadurch von dem anhängenden Gummi befreit, dass man sie auf einer Objecttafel in einen Tropfen Wasser bringt. Da man hierbei natürlicherweise die Richtung des Schnittes durch die kleinen Objecte nicht in seiner Gewalt hat, so werden zur Beobachtung immer nur einzelne Schnitte tauglich sein, die man erforderlichen Falles unter dem zusammengesetzten oder einfachen Mikroskope von den anderen trennen muss. Die hier beschriebene Einbettungsweise lässt sich natürlich auch für geeignete thierische Objecte

in Anwendung bringen. Vertragen die einzubettenden, am besten schon vorher mit einer verdünnten Gummilösung durchtränkten Gegenstände die nachträgliche Einwirkung von Alkohol, so kann man auch unvermischte dicke Gummilösung anwenden, welche durch 1 bis 2 Tage dauerndes Einlegen in Weingeist (50- bis 70 proc.) in schnittfähigen Zustand übergeführt wird. Bei Anwendung der beiden beschriebenen Massen hat man sorgfältig darauf zu achten, dass einestheils bei in Alkohol oder einer anderen das Gummi niederschlagenden Flüssigkeit erhärteten Objecten diese vorher völlig ausgezogen worden ist, und dass anderentheils keine Luftblasen in der Lösung entstehen. Nach einer anderen Methode kann man die kleinen Körperchen auch mit der Gummimasse zusammenkneten und dann mittelst einer innen geölten Papierhülse, in welche die Mischung eingefüllt wird, kleine Stäbchen herstellen, von denen sich äusserst zarte Schnittchen nehmen lassen. Sollen einzelne nicht zu kleine Objecte eingebettet werden, so fertigt man vierseitige Kästchen aus steifem Papier (Kartenpapier, dünnem Carton) an, giesst die Gummilösung hinein und hält ersteres mittelst feiner Nadeln oder Fäden in der gewünschten Lage fest, was bei der Durchsichtigkeit der Masse, welche ausserdem die Richtung der Schnittführung genau bemessen lässt, leicht ausführbar ist.

Eine der vorigen ähnliche Einbettungsmasse bildet die Glycerin-gelatine. Die Klebs'sche Masse wird erhalten, wenn man Hausenblasenleim in destillirtem Wasser aufquellen lässt, das letztere abgiesst, zu 2 Theilen Leim 1 Theil chemisch reines Glycerin hinzufügt und bis zum Flüssigwerden erwärmt. Die Kaiser'sche Glyceringelatine dagegen erfordert eine etwas weniger einfache Bereitung, besitzt aber, wie ich mich überzeugt habe, sehr gute Eigenschaften. Man weicht 1 Gewichtstheil reiner Gelatine etwa 3 Stunden lang in 6 Gewichtstheilen destillirtem Wasser ein, setzt 7 Gewichtstheile chemisch reines Glycerin zu und fügt auf 100 g der Mischung 1 g concentrirte Carbonsäure bei. Dieses Gemisch wird unter beständigem Umrühren etwa 10 bis 15 Minuten im Wasserbade erwärmt, bis keine von den beim Einschütten der Carbonsäure entstandenen Flocken mehr vorhanden sind und dann noch warm durch zuvor in warmem Wasser ausgewaschene und nass in den Trichter gebrachte Glaswolle filtrirt.

Die Einbettung erfolgt in der zuvor erwärmten Gallerte wie bei den vorher beschriebenen Flüssigkeiten und müssen die Objecte, wenn sie durchdrungen werden sollen, so lange — 1. bis 2 Tage etwa — in der flüssig erhaltenen Masse bleiben, bis dies vollständig erfolgt ist. Bei zarteren Objecten lässt man einfach eintrocknen, bei härteren versenkt man in absoluten Alkohol, welcher je nach 10 bis 30 Minuten dauernder Einwirkung einen verschieden hohen Grad der Erhärtung der Masse herbeizuführen vermag.

Alkoholische Transparentseifenlösung, wurde ihrer Durchsichtigkeit halber zuerst von Flemming empfohlen, nach dessen Vor-

schrift 1 Gewichtstheil der reinen Seife in $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Gewichtstheil Weingeist im Wasserbade gelöst wird. Die Objecte werden in dieser beim jedesmaligen Gebrauche im Wasserbade erwärmten Lösung wie in den vorgenannten Mitteln eingebettet und 1 bis 2 Tage zum Trocknen stehen gelassen. Aus den Schnitten wird die Seife durch Wasser ausgewaschen und es kommen dieselben dann in Glycerin zu liegen. Es scheint bei diesem Mittel die Beschaffenheit der käuflichen Transparentseife von grossem Einfluss auf die richtige Consistenz und Durchsichtigkeit zu sein, da es mir hier und da nicht gelingen wollte, dieselbe zu erreichen.

Collodium. In neuerer Zeit wurde von M. Duval das reine Collo- 524
dium als Einbettungsmasse für zarte Objecte empfohlen. Ich selbst habe dasselbe hier und da angewendet, in einzelnen Fällen für vegetabilische Objecte recht brauchbar gefunden und möchte es der leichten Behandlung halber zu Versuchen empfehlen. Das gehärtete Object wird, wenn Ueberosmiumsäure oder dergleichen zum Härten verwendet werden, zunächst vollständig ausgewaschen, dann in Alkohol und zuletzt in Aether gebracht, um Wasser und Alkohol zu entfernen. Aus dem Aether wird in das Collodium übertragen und so lange darin belassen, bis die betreffenden Gewebe vollkommen von diesem durchdrungen sind. Die Härtung der Einbettungsmasse erfolgt beim Einlegen in Weingeist von 80° , welcher dem Collodium eine schnittfähige Consistenz verleiht, während dasselbe vollständig durchsichtig bleibt. In dem Weingeist kann das Präparat beliebig lange liegen bleiben und die Schnitte können in wässriger Carminlösung gefärbt werden, da das Wasser das erhärtete Collodium nicht zum Schrumpfen bringt und das Carmin ihm nur eine sehr blasse Färbung ertheilt. Die Präparate werden in Glycerin eingelegt, wobei das Collodium nicht weggelöst zu werden braucht. Sollen dieselben in Canadabalsam aufbewahrt werden, so bringt man sie zunächst aus dem schwächeren in absoluten Alkohol, dann in Nelkenöl (welches die Collodiumplättchen löst) und endlich in in Chloroform gelösten Canadabalsam.

Die Calberla'sche Einbettungsmasse, welche eine Abänderung 525
des Runge-Rosenberg'schen Gemisches von Natronalbuminat mit Talg bildet, zeichnet sich durch ihre Durchsichtigkeit aus, so dass sie beim Einlegen wie das Collodium nicht aus den Schnitten heraus gelöst zu werden braucht. Zu ihrer Bereitung werden 15 Theile von den Hagelschnüren und der Dottermasse befreites, frisches Eiweiss mit 10 procentiger Lösung von kohlen saurem Natron versetzt und lebhaft geschüttelt, dann hierzu die zu dem verwendeten Eiweiss gehörige Dottermasse unter kräftigem Umschütteln hinzugefügt, die Masse zum Absetzenlassen, in ein tiefes Gefäss gegossen und der obenauf schwimmende Schaum, sowie Dotterhautfetzen, sorgfältig entfernt. Das durch mehrfaches Auswaschen vollständig von den betreffenden Conservirungs- und Erhärtingsflüssigkeiten befreite Object wird, je nachdem es sehr zart oder grösser ist, zunächst in Eiweiss und dann in die Einbettungsmasse, oder sofort in die letztere eingelegt und vollständig damit durch-

tränkt, was schon nach kurzer Zeit — 5 bis 20 Minuten — geschehen ist. Nun bringt man das Object auf ein Stückchen gehärteter mit frischer Schnittfläche versehener Masse, bedeckt es mit einem Scheibchen gleicher Art, welches mittelst frischer Masse befestigt wird und setzt dann in einen kleinen Papiertrog ein, in den man soviel der Masse giebt, dass das Präparat etwa 1 bis 2 cm hoch bedeckt erscheint. Das Kästchen wird hierauf der Art in eine Alkohol von 75 bis 80 Proc. enthaltende Schale eingesenkt, dass es etwa bis zur Hälfte seiner Höhe von diesem umspült wird. Die Schale setzt man jetzt in ein Wasserbad, dessen Temperatur so regulirt wird, dass der Alkohol nicht zum Kochen kommt und stülpt einen Trichter über, um die Lösung durch $\frac{1}{2}$ - bis $\frac{3}{4}$ -ständige Einwirkung der heissen Alkoholdämpfe zur Gummiconsistenz zu bringen. Ist dies erreicht, so überträgt man in kalten Alkohol von 85 bis 90 Proc. und erreicht darin je nach öfterem Wechseln desselben die Schnittfähigkeit binnen 24 bis 48 Stunden. Vor dem Einlegen werden die Schnitte, welche auch nachträglich noch gefärbt werden können, mittelst Fliesspapieres möglichst sorgfältig von der anhängenden Flüssigkeit befreit, in welche man sie gebracht hatte.

526 Fetthaltige Massen. Von den fetthaltigen Einbettungsmassen, welche des Einflusses der Temperatur etc. halber ein den Umständen entsprechendes Ausprobiren in Bezug auf ihre Beschaffenheit erfordern, sind das Paraffin, die Mischungen aus Wachs und Cacaobutter mit Oel, Stearin etc. die gebräuchlichsten und brauchbarsten.

Paraffin. Handelt es sich darum, robustere, gehärtete Gegenstände einzubetten, so giesst man in die schon beschriebenen Papierkästchen nur eben bis zum Schmelzen erwärmtes Paraffin, so dass es den Boden einige Millimeter hoch bedeckt und lässt erstarren, auf diese Lage bringt man dann — nahe an das Ende der langen Achse des Kästchens — das vorher von der Erhärtungsflüssigkeit vollständig befreite, in Alkohol und Terpentin oder Nelkenöl behandelte, mittelst Fliesspapieres abgetrocknete Präparat und übergiesst unter sorgfältiger Vermeidung der Entstehung von Luftblasen mit einer neuen — das letztere wieder einige Millimeter hoch bedeckende — Menge Paraffins. Nach etwa einer Stunde ist die Masse soweit erstarrt, dass sie schnittfähig erscheint.

Bei einer ganzen Reihe von Objecten reicht indessen diese einfache Behandlung nicht aus, weil es bei ihnen darauf ankommt, dass sie von der Einbettungsmasse völlig durchtränkt werden. Hier hat man, wo es nöthig, zuerst alles Wasser zu entfernen, was dadurch geschieht, dass man das betreffende Object tage- ja wochenlang in absoluten Alkohol legt. Um diesen zu entfernen, hat dann eine gleiche Behandlung mit Terpentinöl, oder Chloroform zu erfolgen. Hat dieses allen Alkohol aufgenommen, dann legt man zunächst in eine schwache, dann in mehr und mehr concentrirte Lösungen von Paraffin in Terpentinöl oder Chloroform ein — eine Operation, welche wieder längere Zeit erfordert —, um endlich in reines erwärmtes Paraffin einzuschmelzen. Das Schneiden geschieht

hier wie bei der einfacheren Behandlungsweise am besten unter Benetzen von Schnittfläche und Messerklinge mit Alkohol. Aus den Schnitten wird das Paraffin durch Einlegen in Terpentinöl oder Chloroform herausgelöst.

Eine recht gute, sich der Consistenz der betreffenden Objecte je nach dem durch Vorversuche festzustellenden Verhältnisse der Gemengtheile und der Jahreszeit sich anschmiegende Einbettungsmasse bilden die Gemische aus feinem Wachs und Oel oder aus Wachs, Stearin und Oel und zum Einschmelzen der eingebetteten Objecte in die bei manchen Mikrotomen gebräuchlichen Metallcylinder oder Metallkästchen ein Gemisch aus 12 Theilen Schweinefett, 15 Theilen Stearin und 1 Theil weissen Wachs. Das Schneiden geschieht wie vorher und werden auch die Schnitte vor dem Einlegen wie dort behandelt.

Eine noch brauchbarere, nicht so sehr von der äusseren Temperatur beeinflusst werdende und gute Schnittfähigkeit besitzende Einbettungsmasse hat mir mein College Herr Professor v. Koch angegeben. Dieselbe besteht aus 2 Theilen Cacaobutter und 3 Theilen Spermaeet, welche vorsichtig zusammengeschmolzen werden. Diese Masse kann auch wie das oben erwähnte Gemisch, beim Mikrotom verwendet werden. Ausserdem eignet sich eine Lösung derselben, wie die oben erwähnten Lösungen des Paraffins sehr gut dazu, um die Objecte allmählig von ihr durchdringen zu lassen.

Hat man zarte Objecte zu durchtränken, bei denen das Uebertragen aus Alkohol in Terpentinöl oder Chloroform eine Schrumpfung veranlassen würde, dann leistet das von Dr. Giesbrecht mitgetheilte Verfahren gute Dienste, indem es die Gefahr einer solchen beseitigt. Man füllt ein Cylinderglas theilweise mit absolutem Alkohol und lässt mittelst einer Pipette das Oel oder Chloroform darunter laufen, wonach sich beide Flüssigkeiten übereinanderlagern. Das Object lässt man nun in den überstehenden Alkohol fallen und hebt den Ueberfluss des letzteren ab. Sind die Objecte auf den Boden des Gefässes hinabgesunken, dann ist der Austausch der Flüssigkeiten erfolgt. Das Schwimmen der Präparate in dem schweren Chloroform verhindert man durch einen Zusatz von Schwefeläther und dergleichen. Objecte, deren Durchdringung längere Zeit erfordert, behandelt man wie oben angegeben, bei rascher durchdringbaren erwärmt man dieselben sammt der betreffenden Flüssigkeit allmählig auf den Schmelzpunkt des Einbettungsmittels und wirft während dessen kleine Stückchen Paraffin etc. hinein, um eine ganz allmähliche Verdrängung jener durch die letzteren herbeizuführen. Diese ist vollzogen, wenn von den Objecten keine Bläschen mehr aufsteigen.

II. S c h l i f f e.

1. Schliffe von Gegenständen mit gleichartiger Structur.

527 Eine ganze Reihe von Körpern, wie manche Samenschalen, Knochen, Zähne, Muschelschalen und dergleichen, lassen wegen ihrer bedeutenden Härte den Gebrauch selbst des besten und schärfsten Messers nicht mehr zu. Um von diesen Gegenständen zur mikroskopischen Beobachtung taugliche Durchschnitte zu erhalten, muss man zu Säge und Schleifstein greifen. Ich habe in der letzteren Zeit mehrfach das von Reinicke beschriebene Verfahren angewendet und kann dasselbe als höchst zweckmässig und praktisch empfehlen. Mittelst der früher beschriebenen feinen Uhrfedersäge schneidet man zuerst eine Lamelle aus, deren Dicke sich nach der Beschaffenheit des zu behandelnden Körpers richten muss. Frische Knochen, harte Fruchtschalen etc. gestatten z. B. Durchschnitte von Bruchtheilen eines Millimeters, während man von Zahnkronen, Muschelschalen und ähnlichen Gegenständen solche von mehreren Millimeter Dicke zu entnehmen hat, weil sonst ein Zerbrechen der Lamellen zu befürchten ist. Eine mehr als unbedingt nothwendige Dicke schadet bei diesem Verfahren indessen nicht, weil man mit dem Schleifen doch immer noch schnell genug zum Ziele kommt.

Ist der Gegenstand gross genug, so hält man ihn beim Sägen einfach mit der linken Hand. Kleinere Gegenstände klemmt man zweckmässig in den oben erwähnten kleinen Handschraubstock oder in einen an dem Tische befestigten grösseren Schraubstock ein, oder kittet dieselben, wenn sie zu klein sind, auf Holz fest.

Die so gewonnenen Abschnitte müssen durch Schleifen weiter zubereitet werden, wobei man am zweckmässigsten die eine Fläche vollendet, ehe man zu der zweiten übergeht. Zu der ersten Bearbeitung verwendet man den auf S. 682 beschriebenen, während des Schleifens stets nass zu haltenden Schleifstein. Während man diesen mit der linken Hand dreht, wird der, erforderlichen Falles auf ein Holzstäbchen oder eine Glasplatte festgekittete Abschnitt mit einem oder zwei Fingern der rechten Hand gegen dessen Seitenfläche gedrückt und mit dem Schleifen so lange fortgeführt, bis das Präparat die gewünschte Dünne erreicht hat, was in der Regel nach wenigen Minuten der Fall sein wird. Um die bei dem ersten Rohschleifen verursachten Unebenheiten, Streifen und dergleichen zu beseitigen, geht man nach jenem zu dem Schleifen auf einem harten, recht feinkörnigen Abziehsteine über. Kleine Körperchen, welche man nicht mehr gut mit dem Finger über diesen Stein führen kann, bedeckt man dabei zweckmässig mit einem Stückchen Kork oder Leder, womit dieselben sich sehr gut festhalten lassen.

Hat man letztere Arbeit, unter stetem Nasshalten des Steines, so lange fortgesetzt, bis die beiden Flächen der dünnen Platte so glatt sind, dass der Stein nicht mehr länger wirken will, so geht man zum Poliren über. Dieses nimmt man am besten auf einem etwa 20 bis 25 cm langen, 8 bis 10 cm breiten Stückchen weichen Leders vor, welches, mit der glatten Seite nach oben gewendet, auf ein passendes Brettchen befestigt wurde. Als Polirmittel verwendet man gewöhnlichen Tripel, welchen man auf das Leder einreibt. Die ganze Operation wird ebenso vollführt wie das Feinschleifen. Man hat sich indessen, ehe die Arbeit als beendet angesehen werden darf, stets durch Betrachtung bei auffallendem Lichte mittelst der Lupe oder des Mikroskopes zu überzeugen, ob eine vollkommene Glättung erreicht ist und nicht etwa noch hier und da Streifen übrig geblieben sind. Sollte dieses der Fall sein, so muss zu dem Polirriemen, und wenn jene zu tief sind, um durch das Poliren beseitigt werden zu können, zum Abziehsteine zurückgegangen werden, bis der erforderliche Grad von Vollendung erreicht ist.

Ist auf diese Weise die eine Fläche fertig gemacht, so geht man zu der zweiten über und unterwirft sie einer gleichen Behandlung. Man kittet zu dem Ende, um das Präparat, namentlich wenn es sehr dünn werden muss, nicht dem Zerbrehen auszusetzen, das Plättchen mittelst Canadabalsams auf einen Objectträger, was auch schon deshalb zweckmässig ist, weil man dann den Schliff öfter mittelst durchfallenden Lichtes betrachten und über den erforderlichen Grad von Durchsichtigkeit urtheilen kann. Hat man die gewünschte Dünne mittelst Schleif- und Abziehstein erreicht, so schreitet man zum Poliren, was wegen des als Kitt verwendeten Balsams immer einige Vorsicht verlangt. Es ist daher zunächst dafür Sorge zu tragen, dass der überflüssige Balsam am Rande des Präparates vollständig entfernt wird, weil derselbe sich beim Reiben erwärmen, erweichen und dann das Leder verunreinigen würde. Die Beseitigung gelingt leicht durch Abwischen mittelst Alkohols oder Aethers, wobei man übrigens darauf achten muss, dass das Lösungsmittel nicht auch unter das Präparat dringt und dort den Kitt auflöst. Bei solchen Präparaten, die gross genug sind und ohne Gefahr des Zerbrechens behandelt werden können, thut man am besten, wenn man sie ganz ablöst und sorgfältig von Balsam reinigt. Man führt dieselben dann mittelst des blossen Fingers über das Leder. Geht dies indessen nicht an, so darf das Plättchen nicht zu stark und nicht zu lange anhaltend gerieben werden, weil sich sonst der Balsam erwärmt und ersteres sich ablöst. Eine öfter wiederholte mikroskopische Betrachtung wird über den erreichten Grad der Vollendung Aufschluss geben. Aufgekittete Präparate können nach Erreichung der letzteren, falls man dieselben nicht unter einer bestimmten Flüssigkeit zu untersuchen oder aufzubewahren wünscht, nachdem die obere Fläche gereinigt ist, gleich mit einem Deckgläschen bedeckt werden und sind fertig. Die mit freier Hand polirten aber müs-

sen nach vorhergegangener Reinigung gemäss einer der später zu beschreibenden Methoden eingelegt werden.

Fossile Gegenstände des Thier- und Pflanzenreiches lassen sich mittelst der beschriebenen Methode nur dann behandeln, wenn die versteinende Masse aus kohlensaurem Kalke besteht. Kieselhölzer und dergl. aber wird man, wenn man sich nicht einen Schleifapparat anschaffen will, selten selbst bearbeiten können. Man lässt hier das Schleifen am besten von dem Steinschleifer verrichten, wobei allerdings der Uebelstand eintritt, dass die Präparate, wenn man dem Arbeiter in Bezug auf die Richtung des Schliffes nicht selber die nöthige Anleitung ertheilen kann, selten vollkommen befriedigend ausfallen.

2. Schliffe von Gegenständen von ungleichartiger Beschaffenheit.

528 Zur Herstellung von dünnen Schliffen solcher Objecte, welche aus Theilen von sehr verschiedener Consistenz zusammengesetzt sind, empfiehlt Professor G. v. Koch folgende Methode, bei der neben Erhaltung der zartesten Theile, Structur, Form und Lage der einzelnen Gewebeelemente sehr deutlich erkennbar bleiben.

Möglichst kleine Stücke des zu schleifenden Objectes werden mit irgend einer passenden Tinctionsflüssigkeit gefärbt und nach dem Auswaschen mittelst absoluten Alkohols vollständig entwässert. Hierauf bringt man die Stücke in eine Schale, welche mit einer ganz dünnen Lösung von Copal in Chloroform angefüllt ist und beginnt diese langsam — je langsamer dies geschieht, desto besser werden die Schliffe — einzudampfen. Ist die Lösung soweit eingedampft, dass sie sich in Fäden ziehen lässt, welche nach dem Erkalten spröde werden, so nimmt man die Stücke heraus und legt sie einige Tage lang auf eine schwach erwärmte Thonplatte, damit sie rascher hart werden. Haben sie eine solche Härte erlangt, dass der Fingernagel keine Eindrücke mehr hervorbringen kann, dann schneidet man die Stücke mit einer Laubsäge in dünne Platten und schleift diese auf der einen Seite auf einem gewöhnlichen Abziehsteine eben und glatt. Dann kittet man die Platte mit der glatt geschliffenen Seite mittelst Canadabalsam oder Copallösung auf einen Objectträger und legt sie wieder auf die erwärmte Thonplatte. Ist das Präparat ganz fest geworden, so schleift man es zuerst auf dem kleinen Schleifsteine und dann auf einem Abziehsteine so lange, bis die erforderliche Dünne erreicht ist. Endlich reinigt man den Schliff gut durch Abspülen mit Wasser und legt in Canadabalsam ein.

Handelt es sich darum, geringe Mengen organisirter Substanzen in verkalkten Geweben nachzuweisen, so legt man den Schliff, ehe man ihn einschliesst, in Chloroform, bis alles Harz ausgezogen ist, entkalkt ihn dann vorsichtig und färbt ihn zuletzt. Noch schöner und ohne die

geringste Veränderung ihrer Lage kann man die organisirten Theile darstellen, wenn man den Schliff entharzt, ihn dann mit sehr dickflüssigem Canadabalsam auf einen Objectträger aufkittet, hierauf bloss die freiliegende Hälfte vorsichtig entkalkt, dann auswäscht und färbt.

Zweites Capitel.

Isolirung der Elementarorgane.

Für gewisse Untersuchungen reichen Durchschnitte nicht aus und 529 man ist genöthigt, derartige Präparate noch weiter zu zerlegen. Dieses gilt namentlich für alle Fälle, wo es sich nicht allein um die relative Lage der ein Gewebe zusammensetzenden Elementartheile handelt, sondern wo man gerade diese selbst auf das Genaueste kennen lernen will. Hier kommt es darauf an, letztere gehörig von einander zu trennen, um sich von ihnen eine gesonderte und möglichst allseitige Ansicht zu verschaffen.

Ebenso ist bei morphologischen Untersuchungen der Pflanzenorgane, bei der Entwicklungsgeschichte des Blattes und der Blüthe, bei Studien über die Befruchtung der Sporen- und Samenpflanzen etc., ferner bei der Untersuchung mancher niederen Thiere in der Regel die Anfertigung von Durchschnitten entweder gar nicht oder doch nur in beschränktem Maasse ausführbar und zulässig. Hier wird die im frischen Zustande oder nach vorgängiger Einwirkung chemischer Mittel vorgenommene Isolirung der entsprechenden Theile und eine Befreiung derselben von störenden, die Beobachtung hindernden Organen und Organentheilen am besten zum Ziele führen.

Isolirung im frischen Zustande. Man verwendet zu diesen Ar- 530 beiten die früher beschriebenen Präparirnadeln und präparirt entweder mit freiem Auge, mittelst der Lupe oder unter dem Mikroskope. In den schwierigeren Fällen, wo die zusammensetzenden Elementartheile sehr zart und klein sind, wird man immer zu den letzteren greifen müssen. So lange man nicht über eine 50fache Vergrößerung hinaus zu gehen nöthig hat, dienen die Präparirlupe und das in einfacherer Weise ausgestattete einfache Mikroskop diesem Zwecke am besten. Bedarf man höherer Vergrößerungen, so muss man sich dem vollständigeren Präparirmikroskop oder dem zusammengesetzten Mikroskope zuwenden. Eigens zum Präpariren construirt sind die früher erwähnten bildumkeh-

renden zusammengesetzten Mikroskope. Es lässt sich indessen hierzu das **Arbeitsmikroskop** leicht herrichten, wenn man entweder das bildumkehrende Ocular oder das Nachet'sche umkehrende Prisma anwendet. In der Regel wird man aber kaum nöthig haben, zu diesen letzteren Hilfsmitteln zu greifen, sondern wenn man nur einmal mit Ernst den Versuch macht, ganz gut mit dem gewöhnlichen Mikroskope zum Ziele kommen. Die Umkehrung, welche das Compositum bewirkt, ist, wie ich mich aus eigener Erfahrung hinlänglich überzeugt habe, für die Handhabung der Nadeln durchaus kein Hinderniss. Man hat sich durch die Beobachtung nach und nach so an die Umkehrung der auszuführenden Bewegungen gewöhnt, dass man dieselbe ganz unwillkürlich in der zweckmässigen Weise vornimmt. Mir ist es im Gegentheile öfter vorgekommen, dass ich, nachdem ich längere Zeit anhaltend mit dem zusammengesetzten Mikroskope gearbeitet hatte, unter dem einfachen Mikroskope nicht so gleich zurecht kam und mich erst wieder an die geradläufige Bewegung gewöhnen musste. Ein weit grösserer Uebelstand als die Bildumkehrung ist der weite Abstand der operirenden Hände von dem Auge, was die Sicherheit der Bewegungen allerdings etwas beeinträchtigt. Aber auch diese Schwierigkeit lässt sich bei einiger Geduld überwinden. Ist das Mikroskoprohr zum Verkürzen eingerichtet, so erleichtert man sich ausserdem durch eine solche die Arbeit sehr, wenn man bei verkürztem Rohre noch die erforderliche Vergrösserung herausbringt.

Die Zerlegung der Gewebe in ihre Elementarorgane ist eine der schwierigeren Operationen, namentlich, wenn es gilt, ein bestimmtes Organ von den es umgebenden zu befreien, ohne dass es dabei leidet. Die Vergrösserung der Nadelspitzen und aller stattfindenden Bewegungen thun dabei das ihrige. Ich kann daher dem Anfänger nicht dringend genug empfehlen, sich ernstlich in dieser vorbereitenden Arbeit zu üben. Passende Objecte dazu wird er in dem speciellen Theile finden.

531 Maceration. Während man die Isolirung mittelst der Nadeln bei den meisten thierischen Geweben in frischem Zustande vornehmen kann, bietet sich denselben bei der grössten Zahl der Pflanzengewebe und manchen Thiergeweben in deren festem Zusammenhange ein bedeutendes Hinderniss dar. Man muss bei ihnen daher noch eine vorbereitende Arbeit vornehmen, um durch künstliche Mittel eine so weit gehende Lockerung, beziehungsweise Trennung der Elementarorgane hervorzurufen, dass man die Nadeln mit Erfolg anwenden kann.

Eines der einfachsten Verfahren dieser Lockerung — **Maceration** — der Pflanzengewebe besteht darin, dass man kleinere, 1 bis 2 mm dicke, einige Millimeter lange Stückchen des vorzubereitenden Objectes in Wasser der Fäulniss aussetzt. Bei manchen Gegenständen, namentlich bei weichen Pflanzentheilen, erfolgt die Lösung der Gewebtheile verkittenen Substanzen nach einigen Tagen, bei anderen härteren Geweben bedarf es dagegen längerer Zeit, oft mehrerer Wochen, ehe man zum Ziele kommt. Wo dieser Methode der längeren Dauer wegen nichts im

Wege steht, da ziehe ich sie jeder anderen vor, da bei ihr die Zellstoffhülle und ihre Verdickungsschichten am wenigsten verändert werden, und die isolirten Elementarorgane fast vollkommen dem frischen Zustande gleich kommen. Ist jedoch durch den Gang der Untersuchung ein längere oder kürzere Zeit dauerndes Zuwarten ausgeschlossen, dann muss man zu einem rascheren Verfahren schreiten. Bei weichen Geweben mit grossen dünnwandigen Zellen genügt häufig schon kürzere oder längere Zeit dauerndes Kochen mit Wasser, um den Zusammenhang hinreichend zu lockern. Ein geringer Zusatz von Aetzkalkilösung befördert die Wirkung oft noch. Aus stark verholzten Zellen zusammengesetzte Gewebe verlangen eine etwas energischere Behandlung. Bei ihnen wendet man das Kochen mit Aetzkalkilauge oder mit dem Schultz'schen Gemisch von Salpetersäure und chlorsaurem Kali an. Zarte Quer- oder Längsschnitte bringt man in ein Uhrsälchen, giebt etwas Salpetersäure und einige Körnchen chlorsaures Kali hinzu und erwärmt dann vorsichtig kurze Zeit über der Spirituslampe, oder lässt das Gemisch bei der Zimmertemperatur längere Zeit kalt wirken. Die Maceration ist stets so zu leiten, dass die Schnitte noch nicht in ihre Elemente zerfallen. Hierauf bringt man das Uhrglas sammt seinem Inhalte in eine Schale mit reinem Wasser, fängt die umherschwimmenden Schnittchen auf einem untergehaltenen Objectträger auf, oder hebt sie mittelst einer Glasnadel oder des Präparirschäufelchens heraus und überträgt sie in ein Uhrgläschen mit Wasser, um sie über der Spirituslampe erst hierin und dann nochmals in Alkohol auszukochen. Verfährt man bei diesen Operationen recht vorsichtig, so wird man selten ein Präparat verlieren und bei nachfolgender Anwendung von Reagentien eine Entwicklung von Säuredämpfen, welche auch in sehr geringen Mengen schädlich auf das Instrument wirken könnten, nicht zu fürchten haben. Wo die Behandlung zarterer Schnitte nicht ausdrücklich geboten ist, da zerkleinert man den betreffenden Gegenstand in Stücke von 1 bis 2 mm Dicke und entsprechender Länge, bringt diese in ein dünnwandiges Reagenzglas, fügt etwa das dem Gegenstande gleichkommende Volumen von chlorsaurem Kali hinzu, giesst soviel Salpetersäure auf, bis alles damit bedeckt ist, und erhitzt über der Spirituslampe so lange, bis eine lebhafte Gasentwicklung eintritt. Dann entfernt man den Reagenzcyylinder von der Flamme, lässt das Gemisch noch einige Minuten einwirken und giesst den Inhalt in eine Schale mit Wasser. Hierauf kocht man die noch zusammenhängenden Stückchen ein- oder einigemale in Wasser, dann in Alkohol und zuletzt wieder in Wasser aus. Das Gewebe ist jetzt soweit gelockert, dass man dasselbe unter dem Präparirmikroskope mittelst der Nadeln in seine einzelnen Elemente zerlegen kann.

Die letztere Verfahrungsweise wirkt immer mehr oder minder chemisch verändernd auf die Substanz der Gewebe ein, was wohl zu beachten ist. Oft ist indessen, wie wir im besonderen Theile näher erfahren werden, diese Wirkungsweise gerade der Grund, weshalb man sie anwen-

det. Ausserdem heilt das Schultz'sche Macerationsgemisch die Gewebe sehr stark auf und erschwert die leichte Erkennung mancher Structurverhältnisse, obwohl es andere durch seine Einwirkung gerade wieder deutlich macht.

Ich gebe für alle solche Präparate, über die Structur von Gefässen und einzelnen Zellenarten, welche zum Aufbewahren bestimmt sind, wo dasselbe irgend ausführbar ist, der Maceration durch Fäulniss den Vorzug. Dagegen ist jene durch Salpetersäure und chloressaures Kali überall da zu empfehlen, wo man sich über die feinere Structur der secundären Verdickungsschichten unterrichten will, was eine Zerfaserung der Zellstoffhülle durch die Nadel bedingt. Der Zellstoff erreicht dadurch, mit Ausnahme einiger Bastzellen, welche brüchig werden, in Folge der Entfernung oder Umwandlung der sogenannten incrustirenden Substanzen, neben der Lockerung einen gewissen Grad seiner ursprünglichen Dehnbarkeit wieder, wodurch es möglich wird, die einzelnen Schichten voneinander loszulösen und auf grössere Strecken auseinanderzuziehen, ohne dass sie zerreißen.

Die Maceration der thierischen Gewebe, deren Unterschiede in Bezug auf die zusammensetzenden Elementarorgane weit grösser sind als jene der Pflanzengewebe, verlangt mehr Besonderheiten in der Auswahl der Reagentien und deren Concentration sowohl, als in der sonstigen Behandlungsweise. Ausser dem, was bei Gelegenheit der Aufzählung der Reagentien in dieser Beziehung angedeutet worden ist, können daher hier nur einige kurze Hinweisungen Platz finden und es wird den speciellen Untersuchungsmethoden vorbehalten bleiben müssen, die bezüglichen Verfahrungsweisen näher zu erörtern.

Das Schultz'sche Macerationsgemisch findet hier nur eine beschränktere Anwendung und wird vorzugsweise da verwendet, wo es sich um Befreiung anderer Elemente, wie z. B. der Harnkanälchen in der Niere etc. handelt, während die reine Salpetersäure in concentrirterem Zustande zur Isolirung der sogenannten Bindegewebkörperchen, sowie in der schon früher angedeuteten Weise gebraucht wird. Die Schwefelsäure dient vorzugsweise, um das häufig nur schwer sichtbare Epithel der thierischen Haare zu isoliren, dann zum genauen Studium der Horngelbte, deren Zellen dieselbe, in concentrirtem Zustande oder mit Zuhilfenahme von Wärme angewendet, isolirt und in Folge dessen deutlicher und bestimmter hervortreten macht. In höchst verdünntem Zustande, 1 Theil Säure auf 10000 Theile Wasser, ertheilt sie dem Bindegewebe, welches etwa 24 Stunden damit behandelt wurde, die Eigenschaft, sich in Wasser von etwa 40° C. aufzulösen, so dass in demselben vorkommende andere Formelelemente; Bindegewebezellen, elastische Fasern etc. leicht zur Anschauung gebracht werden können. Die Salzsäure, deren macerirende Eigenschaft schon erwähnt wurde, löst nach etwa $\frac{1}{2}$ tägiger Einwirkung die Kittsubstanz der Bindegewebe auch in Verbindung mit Alkohol — 5 Raumtheile concentrirter Salzsäure auf 400 Raumtheile

96procentigen Alkohol — kann dieselbe zu gleichen und ähnlichen Zwecken benutzt werden (Isolirung der Harnkanälchen), wenn man die betreffenden Präparate mit der Mischung in einem mit einem Kühlrohre versehenen Kolben auf dem Wasserbade kocht. Endlich bietet sich in der höchst verdünnten Säure von 1 : 1000 bis 2000 ein ausgezeichnetes Mittel, um die Muskelfaser in ihre Querscheibchen zerfallen zu machen.

Als Isolationsmittel von elastischen Fasern, Nervelementen, Drüscanälchen wirken mässig verdünnte Lösungen von 1 Theil Aetzkali auf $1\frac{1}{2}$ bis 2 Theile Wasser ganz vorzüglich. Namentlich aber haben sich derartige Lösungen von 30 bis 35 Proc. für das Studium der Muskelgewebe von grösstem Nutzen erwiesen. Die contractilen Faserzellen der glatten Muskeln lassen sich mittelst derselben ganz ausgezeichnet isoliren und zur Anschauung bringen, wenn man die ersteren etwa 10 bis 20 Minuten mit der Lauge in Berührung bringt. Ebenso trennen sich die einzelnen Fäden der quergestreiften Muskeln bei einer gleichen etwa gleichlang dauernden Behandlung, indem die Kittsubstanz gelöst wird. Zur Demonstration des Verhaltens der Muskelfasern zu den Sehnen haben wir bis jetzt in der Aetzkallilauge von dem erwähnten Concentrationsgrade das einzige Mittel, vermittelt dessen erst in neuester Zeit die thierische Histologie zu bestimmten Resultaten gelangt ist. Als Zwischenmittel bei der Untersuchung der zartesten Nervenstructuren gebraucht man eine Mischung von 1 Tropfen Kalilauge auf etwa 30 g Wasser und lässt diese nach der Behandlung mit Chromsäure nur kurze Zeit (1 Stunde) wirken. Von den Kalisalzen wird die wässrige Lösung von übermangansauerm Kalium etc. meist in Verbindung mit Alaunlösung zur Isolirung von Bindegewebsfibrillen und der Hornhautfasern angewendet. Zu gleichem Zwecke dienen auch Kalk- oder Barytwasser, bei deren Anwendung jedoch, um die Bildung kohlensauen, die Gewebe trübenden Salzes zu vermeiden, die Maceration in geschlossenem Gefässe vorgenommen werden muss.

Corrosions- und Verdauungsverfahren. Die genannten Verfahren sind erst in neuerer Zeit als Macerationsverfahren in die Thierhistologie eingeführt worden.

Das Corrosionsverfahren, welches nach Hyrtl's Vorgang zuerst von Dr. Altmann auf mikroskopische Objecte angewendet wurde, besteht darin, dass man kleine Stückchen möglichst frischer Gewebe zunächst 5 bis 8 Tage lang in eine Mischung von 1 Theil Oliven- oder Ricinusöl, $\frac{1}{2}$ Theil absoluten Alkohol und Aether (von letzterem soviel, dass die vorher trübe Flüssigkeit vollkommen hell wird) einlegt, oder die darin vorkommenden Hohlräume, wie Blut- und Lymphgefässe, damit unter starkem Druck injicirt, dann in Wasser legt, das hierbei an der Oberfläche sich ausscheidende Oel entfernt, hierauf 10 bis 15 Minuten, oder 1 bis 24 Stunden lang eine 1procentige Lösung von Ueberosmiumsäure einwirken lässt und endlich mittelst unterchlorigsauren Natriums macerirt.

Das Verdauungsverfahren, welches sich in die Pepsinverdauung und die Trypsinverdauung gliedert, ist zuerst von Brinke und Ludwig für die Gewebeuntersuchung angewendet, dann von Kühne weiter ausgebildet worden und es kann dasselbe sowohl auf Gewebestückchen, als auf mikroskopische Schnitte angewendet werden.

Die erstere Isolirungsweise vollführt man mittelst eines künstlichen aus Pepsin, Wasser und Chlorwasserstoffsäure, oder aus 100 cm 0,3 procentiger Oxalsäure und 1 cm bestem Pepsinglycerin hergestellten künstlichen Magensaftes, indem man in mit dieser Flüssigkeit gefüllte Probiröhren gebrachte kleine Gewebestückchen in einer Brütmaschine einer etwa der des menschlichen Körpers gleichkommenden Temperatur aussetzt, oder Schnitte auf dem Objectträger unter Deckglas und in feuchter Kammer einer ähnlichen Behandlung unterwirft (für Schnitte genügt oft schon die Zimmerwärme). Man kann auf diese Weise die Muskelfasern und feine Nervenfasern isoliren, da Collagen und elastische Masse gelöst werden.

Die zur Trypsinverdauung erforderliche Flüssigkeit bereitet man, indem man frische Pankreas vom Rind zerkleinert und mittelst Alkohols und Aethers bis zur Erschöpfung auszieht, 1 Gewichtstheil der erhaltenen Substanz mit 5 bis 10 Gewichtstheilen 0,1 procentiger Salicylsäure bei 40° C. 3 bis 4 Stunden lang digerirt, durch ein Leinwandläppchen abpresst und nach dem Erkalten filtrirt. Die erhaltene Flüssigkeit wirkt nun, wenn man sie in der gleichen Weise wie die vorhergehende gebraucht, zu ihrer Composition aber die geringste Säuremenge (5 Gewichtstheile) genommen hat, sonst ähnlich wie jene, löst aber die Bindegewebe nicht auf.

Drittes Capitel.

Entfernung störender Substanzen und Körper.

Nächst den in den beiden vorausgehenden Capiteln behandelten Präparationen kommt noch die Entfernung solcher Substanzen und Körper in Betracht, welche entweder vermöge ihrer lichtbrechenden Eigenschaften oder insofern störend auf die Untersuchung wirken, als sie durch ihre Masse die zu beobachtenden Structurverhältnisse mehr oder minder verdecken und verdunkeln. Dahin gehört vor allem die atmosphärische Luft, dann bei Pflanzengeweben: Stärkemehl, Harze, flüchtige oder fette Oele, Krystalle und dergleichen, bei Thiergeweben vorzugsweise Fette etc.

Entfernung der Luft. Die Entfernung der Luft gelingt am leichtesten dadurch, dass man das Präparat kurze Zeit in absoluten Alkohol legt, es dann in eine Schale mit Wasser und aus dieser auf das Objectglas überträgt. Wo der Alkohol störend auf den Inhalt der Gewebe wirken würde, und dieses vermieden werden muss, bedient man sich am zweckmässigsten der Luftpumpe, um die Luft zu entfernen, und evacuiert mittelst einiger Kolbenzüge, während das Präparat sich in Wasser oder in der betreffenden Aufhebeflüssigkeit befindet. Wenn man keine Luftpumpe zur Verfügung hat, muss man sich dadurch zu helfen suchen, dass man den Gegenstand einige Stunden in ausgekochtes Wasser oder längere Zeit, 1 bis 2 Tage, in die betreffende Zusatzflüssigkeit legt.

Beseitigung fester und flüssiger Substanzen. Stärkemehl, welches in den Zellen eingeschlossen ist, sucht man durch Anwendung von Salzsäure, verdünnter Schwefelsäure oder Aetzkalilauge unschädlich zu machen, indem es von ersterer Flüssigkeit aufgelöst wird, in den beiden anderen aber so stark aufquillt, dass es ganz durchsichtig wird. Man muss indessen beachten, dass durch diese Mittel auch in den Geweben selbst und deren Inhalt chemische und physikalische Veränderungen veranlasst werden; namentlich hat man das Kali überall da zu vermeiden, wo man Gerbstoff in den Zellwänden oder im Inhalte vermuthen darf. Hat sich das Stärkemehl von den durchschnittenen Zellen aus über das Präparat verbreitet, so spült man es vorsichtig mittelst Wassers und eines feinen Haarpinsels fort.

Krystalle entfernt man, wo dies angeht, d. h. sofern als in dem Wasser des Objectträgers lösliche Verbindungen erzeugt werden können, mittelst eines Tropfens verdünnter Säure.

Führen diese Veranstaltungen nicht zum Ziele, so hilft oft das Auspinseln des Präparates. Diese zuerst von Professor His empfohlene Methode lässt sich zur Entfernung störender Körper sowohl bei vegetabilischen, als bei thierischen Präparaten überall da anwenden, wo der Schnitt die erforderliche Festigkeit besitzt, um nicht beschädigt zu werden und man nicht zu fürchten hat, dass feinere Structurverhältnisse dadurch leiden. Man verfährt dabei so, dass man das Präparat reichlich mit Flüssigkeit umgiebt und unter stetem Erneuern der letzteren durch senkrechtcs Tupfen mit einem Pinsel so lange bearbeitet, bis es hinreichend aufgehellt ist. Ein nachträgliches Bespülen hilft dann oft noch zu gutem Erfolge. Bei erhärteten Geweben hat man vorzugsweise darauf zu sehen, dass die Erhärtung weder zu gering, noch zu weit gediehen ist.

Um Harze, fette und flüchtige Oele zu entfernen, wendet man Benzin, Alkohol und Aether an. Die zwei letzteren dienen ausserdem bei den thierischen Geweben auch zur Entfernung des Fettes.

Zerstörung der organischen Substanzen etc. Bei manchen Untersuchungen kommt als vorbereitende Arbeit zur Herrichtung des betreffenden Gegenstandes die Entfernung der organischen Substanz durch chemische Mittel oder durch Einäscherung in Betracht. Es gilt dies

namentlich für alle die Fälle, wo eine Ablagerung von Kieselsäure in den Membranen einzelliger Organismen oder der Gewebe zu vermuthen ist und man sich über den Antheil derselben an dem Aufbau der letzteren oder über die feinere Structur des Kieselskelettes (Schalen der Diatomeen etc.) der ersteren ein Urtheil zu verschaffen wünscht. Die Wichtigkeit dieser Art der Vorbereitung, welche für Diatomeen und dergleichen schon lange in Anwendung kam, auch für höhere Organismen, namentlich aus dem Pflanzenreiche, hat sich in neuerer Zeit durch die Arbeiten von Krüger, Wiecke, H. v. Mohl und J. Sachs herausgestellt, und dürfen dieselben bei einer grossen Zahl von histologischen Beobachtungen kaum mehr ausser Acht gelassen werden. Wir wollen zunächst die Methode zur Herstellung von Präparaten der letzteren Art betrachten und dann die Reinigung der Diatomeen etc. anschliessen.

Am einfachsten erreicht man wohl für manche Fälle der Einäscherung das Ziel durch die Verbrennung des zu untersuchenden Gegenstandes. So sehr sich indessen diese Methode durch Einfachheit und dadurch auszeichnet, dass sie nur wenig Zeit in Anspruch nimmt, so sehr spricht gegen ihre allgemeine Anwendung der Umstand, dass man einen vollständigen Erfolg nur in seltenen Fällen erreicht. Hat man nicht vor der Verbrennung die alkalischen Salze und einen Theil der organischen Substanz durch chemische Mittel ausgezogen, so ist von diesen meistens eine nachtheilige Einwirkung auf das Präparat zu erwarten. Zunächst bilden jene mit der Kieselerde in der Glühhitze Schmelzungsproducte, wodurch natürlicherweise die Structur des Kieselskelettes mehr oder weniger, ja nicht selten bis zur Unkenntlichkeit zerstört wird. Dann erhält man, da die organische Substanz, selbst bei sehr heftigem und lange fortgesetztem Glühen wohl nur in den wenigsten Fällen ganz zerstört wird, niemals eine rein weisse Asche und das Präparat erscheint durch beigemengte Kohle mehr oder minder gefärbt. Endlich läuft man für den Fall, als die in dem Aschenskelette noch enthaltenen Salze mittelst Salzsäure zu lösen und zu entfernen gesucht werden, Gefahr, manches Präparat ganz einzubüssen. Die bei dieser Operation sich entwickelnde Kohlensäure entweicht nämlich in der Regel, und namentlich, wenn man nicht sehr verdünnte Salzsäure anwendet, so stürmisch, dass sie das Kieselskelett in kleine Stückchen zerreisst. Je mehr man aber darauf Bedacht genommen hat, dass vor dem Glühen durch entsprechende Lösungsmittel die alkalischen Salze entfernt und Schmelzungsproducte vermieden werden, je sorgfältiger man die organische Substanz zerstört hat, desto reinere, zusammenhängendere und der stärksten Glühhitze widerstehende Präparate erhält man.

Zu dieser vorbereitenden Behandlung eignet sich nach H. v. Mohl am besten das Kochen des entsprechenden Gegenstandes mit Salpetersäure und chloresurem Kali. Dasselbe wird dabei so lange fortgesetzt, bis das Object vollständig entfärbt ist. Um hierauf jede Spur des Macerationsmittels zu entfernen, kocht man zuerst gut mit Wasser, und dann mit Alkohol aus. Schacht empfiehlt für manche Fälle ein Auskochen

mit Chlorkalk und Salzsäure, weil selbst nach der eben beschriebenen Behandlung von den organischen Bestandtheilen noch Reste zurückbleiben und das Präparat färben sollen. Soweit indessen meine Erfahrungen reichen, genügt das von H. v. Mohl eingeschlagene Verfahren vollkommen. Das Verfahren von Schacht dürfte indessen den Vortheil bieten, dass man das erhaltene Kieselskelett nicht mehr mit Salzsäure anzuziehen nöthig hat, was sonst immer noch erforderlich wird, um die verschiedenen Erdsalze zu beseitigen.

Das Glühen selbst nimmt man auf einem Platinbleche oder auf dem flachen Deckel eines Platintiegels vor. Ist das Präparat jedoch sehr zart, und läuft man Gefahr dasselbe leicht zu verlieren, so thut man besser, wenn dasselbe auf das Deckgläschen gelegt und mit diesem auf dem Platinbleche geglüht wird.

Das Glühen eines nicht weiter voraus behandelten Objectes empfiehlt sich überall da, wo man sich vorerst zu überzeugen wünscht, ob von demselben ein Kieselskelett erhalten werden kann oder nicht. Verbrennt nach v. Mohl ein solcher Theil rasch zu einer weissen Asche von mattem, kreideähnlichem Ansehen, welche einen schwachen Zusammenhang besitzt und bei durchfallendem Licht eine bräunliche Färbung zeigt, so kann man ziemlich sicher sein, dass sich von demselben durch kein Mittel ein vollkommenes Kieselskelett darstellen lassen wird. Bewahrt dagegen ein solcher Theil beim Glühen hartnäckig seine schwarze Färbung, hält er die Asche fest zusammen, zeigt ein glasartiges Aussehen und erscheint bei durchfallendem Lichte ungefärbt, so darf man mit grosser Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein eines Kieselskelettes schliessen.

Um Diatomeen und dergleichen in einem zur eigentlichen Präparation geeigneten Zustande, d. h. frei von gröberen Verunreinigungen zu erhalten, kann man verschiedene Wege einschlagen, je nachdem die betreffenden Organismen sich in lebendem oder todtm Zustande befinden. Lebende Diatomeen z. B. erhält man fast ganz rein, wenn man dieselben, sowie sie eingesammelt wurden, auf einen flachen Teller eben ausbreitet, mit Wasser übergiesst und dann mit einem möglichst gut angedrückten hinreichend grossen Stück Seidengaze bedeckt ans Licht stellt. Dieselben kommen dann nach oben und können von fast allen Verunreinigungen befreit abgeschöpft werden. Aus getrocknetem Material habe ich dieselben in ziemlich reinem Zustande erhalten, wenn dasselbe mit einer hinreichenden Menge Wassers aufgeweicht, tüchtig durchgeschüttelt und nach Absetzen letzteres abgegossen wurde. Die lufthaltigen Kieselschalen schwimmen nämlich noch längere Zeit obenauf, während alle schwerere Beimengungen ziemlich rasch zu Boden sinken. Häufig wird man aber das Untersuchungsmaterial durch mehrfaches Sieben (man erhält in den Präparatenhandlungen die passenden Siebe von verschiedener Weite) von den gröberen und durch vorsichtiges Schlemmen von den feineren Verunreinigungen reinigen müssen. Ist die Reinigung bis zu dem gewünschten Punkte gelangt, so muss man sich zunächst

davon überzeugen, ob kohlensaurer Kalk beigemengt ist oder nicht, was an einer kleinen Probe mittelst ein paar Tropfen Salzsäure leicht geschehen kann. Ist ersteres der Fall, so kocht man zunächst mit Salzsäure und wäscht dann so lange aus, bis oxalsaures Ammoniak in dem Waschwasser kein Kalkoxalat mehr niederschlägt. Zur Zerstörung der organischen Substanzen sind verschiedene Methoden in Anwendung gebracht worden, von denen hier indessen nur einige von mir bewährt gefundenen angeführt werden sollen. Bei reinem Materiale genügt oft schon das $\frac{1}{4}$ Stunde oder länger dauernde Kochen in dem Schulz'schen Macerationsgemisch mit nachfolgendem längerem Auskochen in Wasser. Wo dies nicht ausreicht, führen folgende Verfahrensweisen zum Ziel. Das eventuell von dem kohlensauren Kalk befreite und ausgewaschene Material wird getrocknet, dann etwa zwei Stunden mit concentrirter Schwefelsäure gekocht, nach vollständigem Abkühlen rauchende Salpetersäure zugefügt und dann so lange gekocht, bis keine rothen Dämpfe mehr entweichen. Diese Operation kann nur im Freien oder da vorgenommen werden, wo ein guter Abzug vorhanden ist, weil sich dabei schädliche Dämpfe entwickeln. Ich habe in neuerer Zeit deshalb die beiden beschriebenen Verfahrensweisen fast ganz verlassen und die folgende angewendet, welche in den meisten Fällen befriedigende Resultate gewährt. Das zu reinigende, vorbereitete Material wird mit etwas Wasser gemischt und, je nachdem eine kleinere oder grössere Masse zu bewältigen ist, in einem Probircylinder oder in einer Kochflasche vorsichtig mit einer der Menge des Materiales entsprechenden Menge von englischer Schwefelsäure übergossen. Während man über der Spiritus- oder Gasflamme erhitzt, wird dann doppelt chromsaures Kalium hinzugegeben und so lange gekocht, bis nach dem Zugabe einer kleinen Menge des letzteren kein Aufschäumen mehr erfolgt, was ein Zeichen dafür ist, dass die organische Substanz zerstört ist. Hat man nur wenig Schwefelsäure zugesetzt, so kann tropfenweise Schwefelsäure nachgegossen und durch Einbringen von einigen Körnchen des Salzes der richtige Moment des Abschlusses der Operation ermittelt werden. Vor allem hüte man sich, zu lange oder gar bis zum Trockenwerden der Masse zu kochen, weil dann durch die Bildung von unlöslichen Chromverbindungen das Material verdorben wird. Dass nach dem Kochen in irgend welchen der genannten Mittel ein vollständiges Auswaschen der Säuren vorzunehmen ist, versteht sich von selbst. Von dem jetzt noch vorhandenen feinen Sande befreit man die Kieselschalen durch mehrfaches wiederholtes Schlemmen. Je nachdem man hierbei das über dem schwer und daher rascher niederfallenden Sande überstehende, die Kieselschale suspendirt enthaltene Wasser in kleineren oder grösseren Zwischenpausen abgiesst, kann man die kleineren und grösseren Formen in gewisser Masse von einander getrennt erhalten. Ausser den Sandtheilchen enthalten die mit Säuren behandelten Diatomeen aber häufig noch flockige Massen, welche die Reinheit des Materiales trüben und die gefertigten Präparate unansehnlich, ja oft fast unbrauchbar machen. In diesem Falle

stellt nachfolgendes Kochen mit Seifen- oder Ammoniakwasser meist die gewünschte Reinheit her, wenigstens habe ich in den meisten Fällen mittelst dieser Behandlung gute Resultate erhalten. Man muss sich aber hüten die überstehende Flüssigkeit zu frühe — z. B. wie das empfohlen wurde, schon nach einigen Minuten, — abzugießen. Man würde hierdurch meist eine ganze Anzahl kleinerer Formen einbüßen. Jedenfalls schütte man die abgegossene Flüssigkeit nicht sofort fort, sondern überzeuge sich durch eine mikroskopische Betrachtung ob und was noch darin ist, um durch erneutes Absetzenlassen — etwa nach Verdünnung der Seifenbrühe — die noch suspendirten Formen zu retten. Seife und Ammoniak sind vor dem Aufbewahren, was in Weingeist oder in mit Carbolsäure versetztem Wasser geschehen kann, vollständig auszuwaschen. Vor dem Anfertigen der Präparate wird zweckmässig noch auf einem Deckglase geätzt, wobei man dieses, um dessen Krümmung zu verhüten, auf ein ganz ebenes Platinblech und letzteres auf eine flache entsprechend grosse Eisenblechplatte legt. Ich will indessen bemerken, dass bei gut gereinigtem Materiale das Ätzen nicht unbedingt erforderlich ist.

Viertes Capitel.

Sichtbarmachung der Gewebeelemente und feineren Structurverhältnisse.

An die Isolirung durch Maceration und Nadel reihen sich zunächst diejenigen Einwirkungen an, die man mittelst jener Mittel zu erreichen sucht, welche unter dem Namen der „morphologischen“ Reagentien aufgeführt werden. Diese Einwirkungen bezwecken nämlich gewisse Structurverhältnisse und Elementarorgane dadurch kenntlicher zu machen, dass man sie entweder aus dem Zusammenhange mit anderen löst, ohne sie gerade für sich isolirt darzustellen, oder dass man sie mit solchen Mitteln behandelt, welche ihre Verdeutlichung und Sichtbarkeit einerseits durch eine bestimmte Differenzirung ihrer Substanz, oder derjenigen der sie umgebenden Elemente, andererseits durch Färbung erhöhen.

1. Aufhellung der Gewebe.

Als Aufhellungsmittel für Pflanzengewebe wird vorzugsweise das 536 Aetzkali verwendet. In der thierischen Histologie sind neben Schwefel-, Chrom- und Salzsäure namentlich die Essigsäure, verschiedene flüchtige Oele, Kreosot etc. und in einigen Fällen auch das Aetzkali oder Aetznatron als sichtbar machende Mittel in Gebrauch.

Die Schwefelsäure dient vorzugsweise, um das häufig nur schwer sichtbare Epithel der thierischen Haare zu isoliren, dann zum genauen Studium der Horngebilde, deren Zellen dieselbe, in concentrirtem Zustande oder mit Zuhilfenahme von Wärme angewendet, isolirt und in Folge dessen deutlicher und bestimmter hervortreten macht. In höchst verdünntem Zustande, 1 Theil Säure auf 10 000 Theile Wasser, ertheilt sie dem Bindegewebe, welches etwa 24 Stunden damit behandelt wurde, die Eigenschaft, sich in Wasser von etwa 40° C. aufzulösen, so dass in demselben vorkommende andere Formelemente, Bindegewebezellen, elastische Fasern etc. leicht zur Anschauung gebracht werden können.

Die Chromsäure bildet ein vortreffliches Hilfsmittel bei der Untersuchung des centralen Nervensystemes. Hier dient sie nach O. Deiters namentlich zum Nachweise der feineren Zellenfortsätze und dergleichen. Man darf das Reagenz dann aber nur in den feinsten Verdünnungen, 1 Theil Säure auf 5000 bis 10000 Theile Wasser anwenden, und verbindet damit zweckmässig die Einwirkung stark verdünnter Alkalien und einer 0,2- bis 0,1 procentigen Lösung von doppeltchromsaurem Kali.

Die Salzsäure dient in weniger stark verdünntem Zustande (5 bis 10:100) vorzugsweise dazu, um den Knochenknorpel zur Darstellung zu bringen, indem sie die Kalksalze der Knochen löst und jenen zurücklässt. Es lösen sich in derselben ferner die leimgebenden Substanzen und es bleiben die von denselben eingeschlossenen Knochenknorpel und Bindegewebszellen isolirt zurück. Bei sehr starker Verdünnung (1:1000) heilt sie das Bindegewebe vorzüglich auf und lässt dessen übrige Formelemente, wie Zellen und elastische Fasern, deutlich hervortreten. Ebenso lässt sich durch die gleiche Verdünnungsstufe das Sarkolemma der Muskelfasern prachtvoll zur Anschauung bringen, indem nach der Lösung des Inhaltes die umgebende Scheide zurückbleibt. Vorzüglich schöne Präparate erhält man hier, wenn erst die soeben erwähnte höchst verdünnte Schwefelsäure eingewirkt hatte.

Eine ausgedehnte Anwendung zur Aufhellung von Structurverhältnissen findet die Essigsäure. Zur Sichtbarmachung der Zellkerne von Pflanzengewebe wurde sie schon früher angewendet. Ebenso ist sie geeignet, die Kerne der thierischen Zellen im Ganzen dadurch deutlicher hervortreten zu lassen, dass sie die meisten Zellen und Gewebe aufquellen und dadurch durchsichtiger macht, oder dass sie selbst Zellhülle und Inhalt auflöst, während die Kerne fast unverändert bleiben. In gleicher Weise macht sie die elastischen Fasern, die Bündel glatter Muskeln, die Gefässe, Nerven und Zellen, welche in dem Bindegewebe eingebettet sind, leichter sichtbar, indem sie letzteren einen hohen Grad von Durchsichtigkeit ertheilt.

Vorzügliche Dienste leistet dieses Reagenz auch bei der Untersuchung des Nervengewebes. Die Nervenhüllen verkürzen sich durch dessen Einwirkung und es tritt aus den Schnittenden der Achsencylinder neben der granulirten Marksubstanz hervor; die Nervenzellen erhalten dadurch

schärfere Umrisse, und Kerne wie Inhalt werden deutlicher. Vor allem aber eignet sich eine sehr starke Verdünnung, von ein paar Tropfen concentrirter Säure auf etwa 2 Unzen Wasser, zur Aufhellung der Muskeln, an denen man den Verlauf der Nervenendigungen zu studiren wünscht.

Das Aetzkali wird zur Aufhellung von sehr protoplasma- oder stärke-reichen Pflanzengeweben in verdünnter Lösung angewendet, in welcher man die betreffenden Präparate, je nachdem die Aufhellung schneller oder weniger schnell erfolgt, kürzer oder länger verweilen lässt, und dann nach Auswaschen mittelst Essigsäure oder verdünnter Salzsäure neutralisirt. Ist die Aufhellung zu stark, so kann Alaunlösung dazu dienen, um den richtigen Durchsichtigkeitsgrad herzustellen. Sind dabei durch Neutralisation die Gewebe zu stark verdunkelt worden, so leistet Ammoniakwasser — dessen Anwendung selbstverständlich Auswaschen vorhergehen muss — gute Dienste. Hier und da gelingt der gewünschte Grad der Aufhellung nicht ganz und es wird dann nöthig, die Procedur einigemal zu wiederholen (Hanstein). Da durch das Aetzkali die Zellhüllen sehr stark zum Quellen gebracht werden, verwendet man statt der reinen Lösung besser das Seite 706 beschriebene Gemisch mit Alkohol, welcher das starke Aufquellen verhindert. Eine Mischung von Kalilauge und Glycerin leistet ebenfalls gute Dienste.

In der thierischen Histologie wird die Kalilauge namentlich zur Aufhellung der Structur der Horngewebe gebraucht, indem deren Zellen darin aufquellen, wodurch sie eine kugelige Gestalt annehmen und bestimmter zu erkennen sind.

Unter den flüchtigen Oelen wird Citronenöl und mit gleich gutem Erfolge Nelkenöl bei Untersuchung der Pollenkörner zur Aufhellung verwendet, während das letztere wie Terpentinöl, Kreosot, zur Aufhellung von in Alkohol gehärteten thierischen Gewebeschnitten, das Chloroform — nach vorheriger Behandlung mit Weingeist und Aether —, sowie das Collodium zur Aufhellung von Nervenpräparaten, letzteres namentlich zur besseren Sichtbarmachung des Achsencylinders verwendet werden.

Endosmotische Reagentien. In vielen Fällen werden namentlich die sogenannten endosmotischen Reagentien, wie Alkohol, Zuckerwasser, Kochsalzlösung etc. in mehr oder minder hohen Verdünnungsgraden, von Wichtigkeit, welche den eigentlichen lebenden Zellkörper, sammt dem von ihm umschlossenen Zellinhalte von der festen Zellwand abziehen und dadurch zur Anschauung bringen. Bei der Anwendung bringt man entweder Stückchen der betreffenden Gewebe in die anzuwendende Flüssigkeit oder man setzt diese Reagentien in der weiter unten bei den chemischen Reactionen näher geschilderten Weise der Zusatzflüssigkeit tropfenweise zu, um einestheils die Steigerung der Einwirkung in der Hand zu haben, anderentheils die hervorgerufenen Erscheinungen gradweise verfolgen und studiren zu können.

II. Fixirung der Zell- und Kernsubstanz.

537 In neuerer Zeit hat die — zugleich Erhärtung im Gefolge führende und damit auch die Schnittfähigkeit befördernde — Fixirung der Zell- und Kernsubstanz, zu der vorzugsweise Alkohol, Essigsäure, Pikrinsäure, Osmiumsäure, Salpetersäure, Chromsäure und chromsaure Salze, sowie die früher erwähnten Säuregemische und für manche Pflanzengewebe auch sehr verdünnte Lösungen von Sublimat und Alaun in Anwendung kommen, eine hohe Bedeutung als sichtbarmachende Veranstaltung erlangt und es dient dieselbe namentlich auch als Vorbereitung für die Färbung.

Die Wirkungsweise der Fixirungsmittel beruht vorzugsweise auf der fast augenblicklichen Abtödtung der Zell- und Kernsubstanz und einer damit Hand in Hand gehenden, die im lebenden Zustande vorhandene Structur nicht oder doch nicht wesentlich beeinträchtigenden physikalischen Umwandlung der feinsten Elemente des Aufbaues, welche die Sichtbarkeit in mehr oder minder hohem Maasse erhöht.

Der Alkohol, welcher allerdings hie und da Gerinnung des „Kernsaftes“ hervorruft, ist da, wo es sich um die Fixirung der lebenden Zellensubstanz und der Kernstructur handelt, möglichst wasserfrei und unter Umständen sogar in kochendem Zustande zu verwenden.

Die oben genannten Säuren werden zu den vorliegenden Zwecken in den auf Seite 701 u. f. angegebenen Verdünnungen angewendet und dürfte es sich bei dem Gebrauch an noch nicht bekannten Objecten empfehlen, zunächst und zwar soweit möglich unter Vergleich mit lebenden Objecten Versuche über die Wirkungsweise der verschiedenen Säuren selbst, sowie ihrer verschiedenen Verdünnungsgrade auf die betreffenden Objecte anzustellen, um sich zu versichern, dass nicht etwa tiefer eingreifende Veränderungen in der Structur der Zell- und Kernsubstanz wie Schrumpfungen, Kräuselungen, Verbiegung und Verschiebung der Kernfäden etc. hervorgerufen werden. Weiter bleibt in Bezug auf die Wirkungsweise noch Folgendes zu erwähnen. Die Chromsäure ruft die erwähnten Veränderungen noch am häufigsten hervor, dagegen ist sie überall da von vorzüglicher Verwendbarkeit, wo es sich um sehr scharfe, unter allen Umständen erst nach sorgfältigstem Auswaschen vorzunehmende Färbungen handelt, während in Pikrinsäure, sowie in Osmiumsäure fixirte Präparate nur schwierige und wenig hervortretende Färbungen zulassen. Chromsaure Salze sind, wie schon früher hervorgehoben, nur in beschränkter Weise zu verwenden. Die früher S. 705 besprochenen Säuregemische eignen sich überall da vorzüglich als Fixationsmittel, wo es auf möglichst getreue Erhaltung der während der Kerntheilungsvorgänge auftretenden „chromatischen Figur“ ankommt und verdanken sie ihre gute Wirkung in dieser Beziehung dem Umstande, dass durch die

Osmiumsäure eine rasche Abtödtung erfolgt, während die übrigen Säuren die Verschärfung der Kernfigur bedingen. Bei den in diesen Gemischen fixirten Präparaten lassen sich nach Flemming Färbungen der chromatischen Figur mittelst Hämatoxylin, Pikrokarmin und Gentianaviolett gut für die Essig-, Chrom- und Osmiumsäuregemische ausführen, während die Mitfärbung der „achromatischen Figur“ nur an Chrom-Essigsäurepräparaten hinreichend gelingt.

Alle Gewebe, welche zum Studium der Kern- und Zelltheilung dienen sollen, müssen kurz nach dem Einlegen in die betreffenden, sofort wirkenden Fixationsmittel weiter behandelt und beobachtet werden, da längeres Verweilen in denselben verschiedene Veränderungen hervorrufen und die naturgetreue Fixirung der Structur fraglich machen kann.

III. Färbung und Imprägnation der Elementarorgane.

Die Färbung gewisser Gewebetheile, sowie der Zell- und Kern- 538 substanz mittelst nicht chemisch wirkender passender Flüssigkeiten, sowie durch das Licht leicht reducirbarer, sich in Gestalt äusserst kleiner Körnchen niederschlagender Metallverbindungen in der gesammten Histologie hat eine weite Ausdehnung und eine hoch gesteigerte Ausbildung ihrer Methoden erlangt und es kommt derselben als Hilfsmittel der exacten mikroskopischen Beobachtung eine kaum zu überschätzende Bedeutung zu.

Man verfolgt bei dieser Methode der Vorbereitung der Beobachtungsobjecte verschiedene Zwecke. Erstlich wendet man die — und zwar einfache — Färbung überall da an, wo sehr zarte, farblose, thierische oder vegetabilische Membranen, Fasern, Zwischensubstanzen und dergleichen einen so hohen Grad von Durchsichtigkeit besitzen, dass dieselben entweder gar nicht oder doch nur höchst unvollkommen in ihren wahren Structurverhältnissen zur Anschauung kommen. Zweitens aber, und dies ist wohl der wichtigere Fall, bezweckt man damit die Sichtbarmachung gewisser Theile der Elementarorgane, der Kerne und des Zellenleibes oder einzelner, in Verbindung mit anderen vorkommender Elementarorgane selbst, um sie so gleichsam, erstere wie letztere, isolirt zur Anschauung zu bringen und ihr Verhältniss zu den umgebenden constituirenden Substanzen und Gewebetheilen zu ermitteln und nimmt dabei sowohl einfache Färbung und Imprägnation, als Doppelfärbung und sogar mehrfache Färbung in Gebrauch.

1. Einfache Färbung.

539 Zu dem ersteren Zwecke hat man die Färbung schon seit lange angewendet und eignen sich hierfür je nach Umständen verschiedene der früher beschriebenen chemischen Reagentien, indem dieselben entweder mechanisch in die betreffenden Membranen etc. eingelagert werden oder mit ihnen chemische Verbindungen eingehen.

Zur Darstellung mancher Structurverhältnisse der vegetabilischen Zellhüllen, zur Erkennung von zarten Streifungen, sehr dünner Membranen und dergleichen, zur Entscheidung, ob kleine Poren mittelst einer feinen Haut verschlossen oder offen sind, eignet sich die Färbung mittelst einer starken alkoholischen Jodlösung ganz gut, möchte aber besser noch durch die blaue Färbung, welche Jod und Schwefelsäure in nicht verholzten Zellstoffhüllen hervorrufen, zu ersetzen sein, die durch chemische Wirkung erzielt wird. Die feinen Wimpern der Schwärmsporen und Samenfäden bringt man wiederum durch Jodlösung zur Ansicht, welche zugleich die Bewegungen aufhebt. Ebenso eignet sich dieses Mittel zur Sichtbarmachung zarter thierischer Zellhäute, feiner Fasern und Wimperfortsätze, durch Wasser unsichtbar gewordener Blutkörperchen und dergleichen.

In ähnlicher Weise wie Jodlösung wirkt auch eine nicht zu sehr verdünnte Chromsäure. Für manche Objecte der thierischen Histologie dürfte dieselbe der Jodlösung insofern noch vorzuziehen sein, als sie auf solche nicht bloß färbend wirkt, sondern auch nebenbei deren Brechungsvermögen ändert und dadurch ihre Ränder und Grenzlinien deutlicher hervortreten macht.

An Stelle dieser immerhin hier und da nebenbei noch in anderer, als der gewünschten Weise wirkenden Mittel kann man auch in vielen Fällen die Anilinfarben in wässriger oder weingeistiger Lösung verwenden, welche z. B. die verholzten Pflanzenzellwände sehr stark färben und zur Erkennung der genannten Structurverhältnisse ein höchst brauchbares Hilfsmittel bilden.

Zu jenen, von Dr. Th. Hartig zuerst in der Pflanzenhistologie und später von Professor Gerlach in der thierischen Gewebelehre eingeführten Färbungen, wie sie der zweite Fall verlangt, sind die in dem vorigen Buche beschriebenen Lösungen von Farbstoffen vorzugsweise und allgemeiner in Gebrauch gekommen und unter ihnen gewähren namentlich die haltbareren und sicher wirkenden verschiedenen Lösungen von Carmin, Cochenille, Hämatoxylin und einzelnen Anilin- und Azofarbstoffen die grösste Verlässlichkeit.

Verschiedene Gewebe verhalten sich verschiedenen Färbemitteln gegenüber verschieden und verlangen eine verschiedene Behandlungsweise, auf welche die besonderen Untersuchungsmethoden einzugehen haben,

während wir hier das Färbeverfahren nur in allgemeinen Zügen darstellen können.

Zur Färbung mittelst der gedachten Lösungen kann man sich je nach Umständen einer stärkeren oder geringeren Verdünnung mittelst Wasser bedienen. Namentlich ist diese Verdünnung für einzelne der Carminlösungen zu beachten, welche in zu hohem Grade der Concentration leicht diffuse Färbungen bewirken und so die Präparate verderben. Andere Lösungen lassen sich meistens in der Form benutzen, wie man sie sich nach den S. 715 u. f. gegebenen Vorschriften bereitet hat. Mehrfache Versuche und Erfahrungen werden hier die besten Führer sein, im Allgemeinen möchte ich jedoch dazu rathen, wo es die Beschaffenheit resp. die Färbefähigkeit der Gewebe irgend gestattet, möglichst verdünnte Lösungen in Gebrauch zu nehmen und dieselben etwas länger einwirken zu lassen.

Die Färbeflüssigkeit bringt man, soweit es sich nicht um die Färbung grösserer Gewbestücke oder ganzer niederer Thiere handelt, bei der Anwendung in ein Uhrschälchen und trägt dann die zu behandelnden Schnitte mittelst eines feinausgezogenen Glasstabes oder des Präparirschäufelchens ein. Die Zeit des Verweilens der Präparate in der Flüssigkeit muss sich erstlich nach deren Concentration und färbendem Vermögen und dann nach der Beschaffenheit des Objectes richten. Unter Umständen wird das Einlegen während einer bis einiger Minuten genügen, wie z. B. bei der Grenacher'schen Alaun-Carminlösung, bei der essigsauren und alkoholischen Carminlösung, den Hämotoxylin-, Eosin- und Anilinlösungen, unter anderen Verhältnissen wird man das Object einige Stunden oder noch länger mit dem Färbemittel in Berührung lassen müssen, wie z. B. bei der verdünnten Gerlach'schen Carminlösung, bei der Purpurinlösung, bei Lang's Eosin- und Picrocarminlösung. Einige Uebung in der Beurtheilung der Farbenintensität wird leicht erworben werden, und dann den verschiedenen beeinflussenden Umständen entsprechenden, richtigen Moment des Herausnehmens treffen lassen.

In vielen Fällen wird übrigens eine durch etwas zu langes Verweilen — namentlich in concentrirteren Farbstofflösungen — veranlasste Ueberfärbung keine erheblichen Nachtheile bringen und sich durch vorsichtiges Auswaschen beseitigen lassen.

Eine absichtlich herbeigeführte Ueberfärbung bedingt das von Professor Flemming weiter ausgebildete sich vorzüglich bewährende Boettcher-Hermann'sche Kernfärbungsverfahren von Schnitten in Chromsäure von 0,1 bis 0,5 Proc. fixirter Präparate mittelst Anilin- und Azofarbstoffen (von den früher genannten, namentlich Saffranin, Dahlia, Magdalaroth, Fuchsin, Solidgrün), wobei die Schnitte etwa 12 bis 24 Stunden — um sie leichter wieder aufzufinden — in wenig Lösung verweilen müssen.

Das gefärbte Präparat muss, ehe es zur Beobachtung und Aufbewahrung gelangt, je nach der Art des Färbe- und des zu wählenden Einhül-

lungsmittels, wie früher im Einzelnen angegeben, am besten in weissen Porzellanschälchen oder in auf weisse Unterlage gesetzten Urgläsern zunächst entweder mittelst destillirten Wassers, dem unter Umständen ein paar Tropfen einer Säure zugesetzt werden können, oder mittelst Alkohols von entsprechendem Procentgehalte — erforderlichen Falles unter Schütteln oder Bewegen — so lange ausgewaschen werden, bis keine Farbwolken mehr sichtbar werden. Dann wird es entweder unmittelbar — beim Einschluss in wässrige Flüssigkeiten — oder — bei Einschluss in Harze — nach vorheriger Uebertragung in absoluten Alkohol und dann in Nelken- oder Bergamottöl in eine passende, das Färbemittel nicht verändernde Zusatzflüssigkeit gebracht, wozu sich von den wässrigen Flüssigkeiten verdünntes Glycerin, unter den Harzen Canadabalsam und Dammarlösung am geeignetsten erweisen dürften, an deren Stelle für solche Fälle, wo Schrumpfungen zu befürchten sind, wenn man mit den genannten Oelen behandelt, das sich mit Alkohol leicht mischende verharzte Terpentin treten muss.

2. I m p r ä g n a t i o n .

540 Zur Imprägnation werden die im vorigen Buche beschriebenen Silber-, Gold- und Palladiumsalze, die Ueberosmiumsäure etc. gebraucht, deren Verwendungsweise wir hier näher betrachten müssen.

Die Imprägnation mittelst der Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, welche schon am längsten und zwar von Recklinghausen (1862) eingeführt und — da weder die Lösung selbst, noch das Licht tief eindringen — nur für dünne Gewebeschichten anwendbar ist, hat verschiedene Ziele im Auge und bedarf danach die Ausführung eine entsprechende Aenderung. Soweit die Methode bis jetzt ausgebildet ist, werden indessen noch nicht überall ganz sichere, im Voraus zu bestimmende Resultate erreicht, indem die beiderlei erzielten Wirkungen mehr zufällig oder gar zugleich mit einander auftreten.

Gilt es, den Niederschlag des metallischen Silbers im Inneren von Zellen, feinen Canälchen oder von den Ausläufern der Bindegewebskörperchen zu erzeugen und so deren Hohlsein zu demonstrieren, so bringt man die möglichst frischen, von höchstens einen Tag alten Leichnamen entnommenen Gewebetheile unter Ausschluss des Lichtes in eine schwache Lösung von 1 Theil Salz auf 400 bis 800 Theile Wasser und taucht sie nach einem längeren Verweilen darin in höchst verdünnte Salzsäure oder in eine schwache Kochsalzlösung, oder man setzt dieselben auch in einer concentrirten Kochsalz- oder Salmiaklösung liegend längere Zeit dem Einflusse des Lichtes aus.

Will man dagegen die Zwischenmassen der Epithelien, die sogenannten Kittsubstanzen färben, und sollen die zelligen Elemente von Silberniederschlag frei bleiben, um Zellengrenzen, den Verlauf von Nervenfasern,

von feinen Blut- und Lymphgefässen nachzuweisen, so lässt man die betreffenden Präparate nur kürzere Zeit und bis sie eine weisse Färbung erkennen lassen, der Einwirkung einer $\frac{1}{2}$ bis 2procentigen Lösung des Färbemittels ausgesetzt, setzt dieselben in mit 2procentiger Essigsäure angesäuertem Wasser, welches man wiederholt langsam von dem Präparate zurücktreten und wieder darüber fliessen lässt, dem Einflusse des Lichtes aus und bringt sie schliesslich in reines Glycerin. Man erhält dann, falls die Operation gut gelungen ist, Präparate, die, wie W. Kühne berichtet, das Aussehen einer umgekehrten Silhouette zeigen und ein Bild gewähren, mit dem an Deutlichkeit kein anderes mikroskopisches Bild wetteifern kann.

In neuerer Zeit hat Legros zur Fixirung des Bildes momentanes Eintauchen in unterschwefligsaures Natron mit rasch folgendem Auswaschen in destillirtes Wasser empfohlen.

Schnitte — für welche sich sonst das Silberimprägnationsverfahren nicht eignet — von in Alkohol gehärteten Objecten sollen nach Thiersch u. Frey sehr schöne Bilder liefern, wenn man dieselben zuerst 5 Minuten lang in einer alkoholischen Höllensteinlösung von 1 : 5000, dann für einige Secunden in einer weingeistigen Lösung von Kochsalz schüttelt und endlich dem Lichte aussetzt.

Etwas sicherere und die Grenzen der Gewebeelemente schärfer hervortreten lassende Resultate gewähren nach Alferow $\frac{1}{8}$ procentige Lösungen von picrin-, essig-, citronen- und milchsaurem Silberoxyd, denen man noch 10 bis 12 Tropfen der betreffenden Säure zugesetzt hat.

Die Färbungen mittelst der Ueberosmiumsäure, deren Reduction vorzugsweise durch eiweisshaltige und fettreiche Substanzen bewirkt wird, liefern im Ganzen ähnliche Bilder wie die Silberimprägnation, wobei indessen die Gewebe, da das Reductionsproduct nicht einen körnigen Niederschlag bildet, ihre Durchsichtigkeit behalten und auch sonst nicht sehr merklich angegriffen und verändert werden. Zuerst wurde die Säure von Max Schultze nur auf das Leuchtorgan von *Lampyrus spendidula* in ausgedehnterer Weise angewendet, spätere Erfahrungen haben aber gelehrt, dass auch noch eine Reihe anderer Elementarorgane und Substanzen sich für eine Behandlung mit diesem Reagenz eignen.

Der Erfolg scheint hier davon bedingt zu sein, dass die betreffenden Gewebetheile in möglichst frischem Zustande in die Säurelösung gebracht werden; wenigstens berichtet Max Schultze, dass ihm die Färbung der sternförmigen Tracheen-Endzellen nur dann gelungen sei, wenn er noch leuchtende und lebende Thierchen eingelegt habe.

Die Säure wird in Lösungen von 1 bis 2 Proc. angewendet, worin das Präparat, welches nur einen geringen Umfang besitzen darf, wenn dieselbe vollständig eindringen soll, $\frac{1}{2}$ bis 24 Stunden verweilen muss.

Die von Cohnheim eingeführte Imprägnation mittelst Goldchlorid bewirkt man folgendermaassen. Die Schnitte kommen, gegen Licht und Luft geschützt, in eine $\frac{1}{2}$ bis 1 procentige oder auch weit schwächere,

0,05 bis 0,005 procentige, mit Essig- oder Salzsäure angesäuerte Lösung des Salzes und bleiben darin bis sie eine strohgelbe Farbe angenommen haben. Hierauf spült man die Präparate mit destillirtem Wasser ab und setzt sie in verdünnter Essigsäure dem Lichte aus.

Nach einer von Bastian empfohlenen Methode bringt man die zu färbenden Objecte vor Lichteinwirkung geschützt auf 1 Stunde in eine 0,05 procentige Goldchloridlösung, welche auf 70 ccm 1 Tropfen Salzsäure zugesetzt erhielt, dann in angesäuertes Wasser (1 Tropfen Salzsäure auf 140 ccm Wasser) und hierauf in eine Mischung von gleichen Theilen Ameisensäure und Alkohol, welche die Färbung binnen $\frac{1}{2}$ Stunde hervorruft. Zum Gelingen der Goldfärbung bei frischen Schnitten ist es meist vorthailhaft dieselben vor dem Einbringen in die Goldlösung in Ameisensäure zu legen. Als sehr schnell wirkende Reductionsmittel werden Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxyd (Nathusius) und von gesättigter, sammt den Präparaten in zugestöpselten, in heisses Wasser gesenkten Gefässen befindlicher Weinsteinsäure (Hennoque) empfohlen.

Nach Flechsig werden Schnitte von gehärteten Objecten (die Härtung geschieht hier in 1 procentiger Lösung von doppelt chromsauren Kali) nach Abspülen in destillirtem Wasser 15 bis 30 Minuten lang in eine 0,05 procentige Goldchloridlösung gebracht, dann mit destillirtem Wasser abgespült und endlich mehrere Stunden lang der Einwirkung einer 10 procentigen Aetznatronlösung ausgesetzt, während nach Ranvier sehr schöne Goldfärbungen erzielt werden, wenn man zu färbende kleine Gewebestücke einige Minuten lang in frisch ausgepressten, filtrirten Citronensaft einlegt und dann 2 bis 3 Tage lang der Einwirkung einer 1 bis 0,5 procentigen Goldchloridlösung überlässt.

Ueberfärbung mittelst Goldchlorid wird durch Aufhellung mittelst Cyankaliums beseitigt, während eine zu geringe Sichtbarkeit durch 15 bis 30 Minuten langes Verweilen in dem mit 1 bis 2 Tropfen Pyrogallussäure versetzten Waschwasser erhöht werden kann.

Goldchloridkalium wird dem einfachen Salze zur Imprägnation von in $\frac{1}{2}$ procentiger Lösung doppelt chromsauren Ammoniaks erhärteten Nervenpräparaten (Rückenmark Gerlach, sympathisches Nervensystem Arnold) vorgezogen. Die Schnitte werden etwa 24 Stunden lang einer 0,01 procentigen Lösung des Doppelsalzes ausgesetzt, mit angesäuertem Wasser ausgewaschen, dann in ein Gemisch aus 1000 Theilen 60 procentigem Alkohol und 1 Theil Salzsäure getaucht und endlich in absoluten Alkohol gelegt.

Zur Imprägnirung mit Chlorpalladium verwendet man die oben beschriebenen Lösungen in 1 procentiger und stärkerer Verdünnung und wenig angesäuert und lässt die Präparate 2 bis 3 Tage darin verweilen, wonach neben Färbung auch Härtung bis zu schnittfähiger Consistenz eingetreten ist.

Der feine Niederschlag von Berlinerblau, welcher tief eindringt, ist von Leber zur Färbung der Hornhautsubstanz empfohlen worden, dürfte

aber auch Versuche über ausgedehntere Verwendbarkeit lohnen. Zur Färbung legt man die Hornhaut etwa 5 Minuten lang in eine 0,5 bis 1procentige Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul, spült mit destillirtem Wasser ab, legt in eine 1procentige Lösung von Ferridcyankalium (gelbes Blutlaugensalz) so lange ein, bis gleichmässig intensiv blaue Färbung erfolgt (was meist nur sehr kurze Zeit dauert) und wäscht mit destillirtem Wasser aus.

3. Doppelfärbung.

Die Doppelfärbung kann entweder mittelst Farbstoffmischungen oder 541 durch aufeinander folgende Behandlung mit verschiedenen färbenden Flüssigkeiten hervorgebracht werden.

Von den Mischungen wendet man vorzugsweise das Ranvier'sche Picrocarmin, eine Mischung aus Indigcarmin und Carmin, sowie aus Indigcarmin und Pikrinsäure, aus Eosin und Hämatoxylin, sowie das Hanstein'sche Anilinviolett an. In Bezug auf das erstere ist zu beachten, dass Auswaschen in destillirtem Wasser die Doppelfärbung verschwinden macht, indem es die Pikrinsäure auszieht und dass man deshalb mit Glycerin auswaschen muss, ferner dass zu dunkel gefärbte Objecte durch Einlegen in schwache Aetzkalilösung verbessert werden können.

In der auf Seite 725 beschriebenen Mischung von Boraxcarmin und Boraxindigcarmin verweilen die vorher gehärteten, ausgewaschenen und in Alkohol gelegten Präparate 15 bis 20 Minuten lang, werden aus ihr in eine wässrige Lösung von Oxalsäure gebracht und schliesslich in destillirtem Wasser ausgewaschen.

Die in der bisher nur auf Pflanzenschnitte angewendeten Hanstein'schen Mischung gefärbten Präparate werden gleich behandelt, wie die in einfachen Anilinfarben gefärbten.

In der neuerdings von Gilbert zur Doppelfärbung von Pflanzenschnitten empfohlenen Mischung (S. 726) bleiben die Schnitte nur kurze Zeit, ein bis zwei Minuten in der Flüssigkeit, welche ähnlich wirkt wie die vorige.

Die Doppelfärbung mittelst sich folgender Anwendung von Carmin und Pikrinsäure kann in zweifacher Weise ausgeführt werden, je nachdem man in Alkohol oder in wässrigen Flüssigkeiten gehärtete und frische Präparate färben will. In einem Falle färbt man zunächst gut mit Carmin und bringt dann nach dem Auswaschen in eine alkoholische Lösung von Pikrinsäure, im anderen behandelt man die Schnitte zuerst mit einer schwachen wässrigen Lösung carminsauren Ammoniaks, wäscht sie nach gehöriger Durchfärbung mit destillirtem Wasser aus und lässt dann etwa zwei Stunden lang eine gleichfalls schwache Pikrinsäurelösung (400 g destillirtes Wasser und 6 cg Pikrinsäure) auf dieselben wirken. Sollen die Präparate in Harz eingeschlossen werden, so bringt man sie entweder

aus der wässerigen in eine alkoholische Lösung der Pikrinsäure oder legt sie in ein Gemisch von 4 Theilen Kreosot und 1 Theil verharztem Terpeninöl.

Zur Doppelfärbung junger Knochen eignet sich namentlich Hämatoxylin und Carmin, sowie Hämatoxylin und Pikrinsäure, wobei bei Anwendung der letzteren Flüssigkeiten eine Härtung in Müller'scher Flüssigkeit vorausgehen soll. Man färbt zuerst in dem Hämatoxylin und bringt die Schnitte dann nach dem Auswaschen entweder in eine möglichst ammoniakfreie Carminlösung oder in eine gesättigte alkoholische Pikrinsäurelösung. Im ersteren Falle färbt sich die Knorpelsubstanz blau, die Knochensubstanz roth, im anderen die letztere und das Protoplasma der Markzellen roth, die erstere und die Zellkerne blau.

In molybdänsaurem Ammoniak gefärbte Schnitte mit einer ammoniakalischen Carminlösung nachgefärbt, zeigen die Zellkerne roth auf graublauem Grunde.

• Methylgrün und Carminlösung geben schöne Doppelfärbungen des Centralnervensystems, in dem sich die Axencylinder und Ganglien roth, das Nervenmark grünlich und die Bindegewebsbestandtheile violett färben. Man legt zur Erlangung dieses Resultates die Präparate 12 bis 24 Stunden in Methylgrün, wäscht sie längere Zeit — bis zwei Stunden — in destillirtem Wasser aus und überträgt dieselben dann in eine schwache möglichst ammoniakfreie Carminlösung.

Eosin und Methylviolett, Dahlia oder Methylgrün liefern schöne Doppelfärbungen, bei denen das erstere vorzugsweise die Zellkörper und zwar rosa bis rothviolett, die letzteren die Zellkerne färben. Man bewirkt hier zuerst die Eosinfärbung und bringt dann die Präparate in die betreffende andere Lösung, wäscht mit destillirtem Wasser aus und legt so lange in Alkohol, bis die Färbung deutlich hervortritt, worauf sorgfältig geachtet werden muss, um rechtzeitig herauszunehmen. Bei der nachfolgenden Behandlung von in Canadabalsam oder dergleichen einzuschliessende Präparate muss man das aufhellende Nelkenöl sorgsam durch Abwischen mittelst Fliesspapieres entfernen, damit die Farben nicht durch Reste davon gelöst werden. Eosinfärbung mit nachfolgender Hämatoxylinfärbung wird für die Untersuchung der Gefässentwicklung wichtig, indem sich diejenigen Elemente, aus welchen die Gefässwände und weissen Blutkörperchen hervorgehen, blau, diejenigen, aus welchen die rothen Blutkörperchen entstehen, orangegelb färben. Die Schnitte werden hier zuerst der Eosinlösung bis zu deutlicher Rosafärbung ausgesetzt und dann in die Hämatoxylinlösung übertragen.

Cyanin (Quinolein, Chinolinblau) und Carmin dienen bei Untersuchungen über das Centralnervensystem zur Doppelfärbung, bei welcher sich die Axencylinder lebhaft roth, die Markscheiden blau färben. Das Verfahren besteht darin, dass man die — später in Glycerin aufzubewahrenden — Schnitte zunächst einen Tag lang in Frey'schen Glycerin-

carmin bringt, mit destillirtem Wasser auswäscht, dann für etwa 15 Minuten in eine dunkelblaue Cyaninlösung einlegt und wiederholt abspült.

Die dreifache Färbung mittelst Hämatoxylin und Pikrocarmin wird nach Professor Gerlach erzielt, wenn die betreffenden Präparate (Gerlach behandelte Querschnitte getrockneter Gefässwände) einen Tag lang in eine mit wenig Alaun versetzte Blauholz-Hämatoxylinlösung, dann wenige Minuten in reine Essigsäure und schliesslich kurze Zeit in eine verdünnte Pikrocarminlösung gelegt werden. Nach dem Auswaschen tritt eine dreifache Färbung auf, indem Muskeln, elastische Gewebe und Bindegewebe verschieden gefärbt erscheinen. Derartig gefärbte Präparate können sowohl in Glycerin, als in Canadabalsam aufbewahrt werden.

Auch Pikrocarmin und Methylgrün gewähren bei manchen Geweben schöne dreifache und sogar mehrfache Färbungen (B. W. Richardson), welche verschiedene Abstufungen in Roth und Grün zeigen und besonders schön hervortreten sollen, wenn statt des Methylgrüns allein eine Mischung des letzteren mit Malachitgrün verwendet wird. Man färbt zuerst in Pikrocarmin, dann in dem Grün solange, bis die Schnitte ziemlich tief blau erscheinen. Abspülen in Weingeist entfernt die Ueberfärbung mit Grün.

Für Pflanzenschnitte empfiehlt der genannte Forscher Atlas-Scharlach, lösliches Anilinblau und Methyl- oder Malachitgrün. Etwa vierzehn Tage in Alkohol aufbewahrte Schnitte werden solange in eine in bedeckten Gefässen befindliche reichlich dunkle Lösung von Atlas-Scharlach gebracht, bis sie eine gleichmässige Scharlachfarbe angenommen haben, dann solange in destillirtem Wasser ausgewaschen, bis dieses keinen Farbstoff mehr aufnimmt und hierauf in mit dem gewünschten Grün bläulichgrün gefärbten Weingeist (einige Tropfen gesättigter wässriger Lösung der beiden Farbstoffe genügen hierzu) gebracht. Erscheinen die Schnitte dunkelblau gefärbt, so überträgt man sie in eine schwache Lösung von Oxalsäure (1 : 400 bis 1 : 500) oder Essigsäure und wäscht schliesslich mit Alkohol aus, in welchem eine Spur der genannten Säuren enthalten ist. Ein anderes Verfahren besteht darin, dass man zwischen die erste und letzte Färbung diejenige mit Blau einschiebt und nach derselben mit durch Essigsäure angesäuertem Wasser auswäscht.

Doppelfärbung kann auch mittelst Imprägnation und darauf folgender Färbung, oder mittelst zweifacher Imprägnation erzielt werden.

Die mit Höllenstein, Goldchlorid oder Chlorpalladium imprägnirten Schnitte können nach vorherigem Auswaschen in destillirtem Wasser mit Hämatoxylin oder Carmin gefärbt werden, wobei dann die von der Imprägnation frei gebliebenen Elemente, Zellkerne etc. in der entsprechenden Färbung neben den imprägnirten scharf hervortreten.

Die mit Berlinerblau imprägnirte Hornhaut, nachträglich mit Eosin oder Carmin gefärbt, liefert ebenfalls schöne Bilder, indem die Saftcanäl-

chen rosa oder roth auf blauem Grunde erscheinen. Hornhautpräparate liefern bei Doppelimprägnation namentlich auch dann schöne Bilder, wenn man dieselben zunächst in ein Gemisch von 95 ccm destillirtem Wasser und 5 ccm gewöhnlicher Essigsäure, dann fünf Minuten lang in eine 1,3 procentige Höllesteinlösung bringt, dann, nachdem in dem oben genannten Gemisch gewaschen, auf zehn Minuten eine 1,3 procentige Goldchloridlösung einwirken lässt, darauf acht Minuten lang in jener Essigsäure und endlich in destillirtem Wasser auswäscht.

In Verbindung mit gesättigter weingeistiger Oxalsäurelösung bringt die Ueberosmiumsäure „nach Brösicke“ in verschiedenen Geweben und Inhaltssubstanzen verschiedene Färbungen hervor (Hornhautsubstanz, Glaskörper, Wurzel der Harngefäße carminroth, Muskeln, Sehnen, Eiweissubstanzen dunkel carminroth, Zellkerne und Nervenmark dunkel burgunderroth, elastische Fasern gelb, Hornsubstanzen hellbraun, Fettkörper schwarz). Zur Erzielung solcher Bilder bringt man Schnitte von den frischen oder frisch getrockneten Objecten eine Stunde lang in die Lösung der Ueberosmiumsäure, dann nach sorgfältigem Auswaschen auf 24 Stunden in eine kalt gesättigte Oxalsäurelösung und beobachtet unter Wasser oder Glycerin.

IV. I n j e c t i o n .

542 Eine weit ausgedehntere Anwendung als bei der Untersuchung der Pflanzengewebe findet die Injection in der thierischen Histologie, für welche dieselbe von der grössten Wichtigkeit ist. Hier dient sie namentlich zum Nachweise der Theilungen und des Verlaufes der feineren Harngefäße in den verschiedenen Geweben und Organen. Häufig werden aber auch andere feine Canäle und Höhlungen mittelst derselben sichtbar gemacht, wie die Gallencanäle der Leber, die Harncanälchen der Nieren, die feinen Verzweigungen der Bronchien, die Knochenzellen nebst den mit ihnen in Verbindung stehenden Havers'schen Canälen etc.

Das Injectionsverfahren ist wie jedes andere feinere Präparationsverfahren eine Kunst, die eben eine durch Uebung zu erlangende Fertigkeit verlangt und mit Ernst erlernt sein will. Man soll nur nicht glauben, dass gleich der erste Versuch gelingen müsse, und darf sich auch durch wiederholtes Missglücken nicht abschrecken lassen. Hier lohnt sich gerade ein geduldiges Ausharren durch die Schönheit der erlangten Präparate mit am meisten.

Die nöthigen Apparate und Injectionsmassen haben wir bereits in dem vorhergehenden Buche kennen gelernt. Was weiter zu der Ausführung von Injectionen an Hilfsmitteln erforderlich ist, reducirt sich auf einige feine Scheerchen, Pincetten, mehrere Sorten gut gewickelten Seidenfadens zum Unterbinden der injicirten Gefäße, sowie auf die Vorrichtungen zum Erwärmen der Injectionsmassen und der zu injicirenden Theile.

Zunächst ist, vor dem Vollzuge der Injection, die Beschaffenheit der Objecte ins Auge zu fassen, welche man verwendet, d. h. die Frage zu erledigen, ob man die Gewebe in mehr frischem oder etwas älterem Zustande injiciren soll. Hier scheinen die Meinungen verschiedener Histologen nicht ganz übereinzustimmen. Einige wollen, wenn es sich nicht gerade um muskulöse Theile handelt, bei denen die Todesstarre häufig die Ausführung der Injection verhindert, die Injectionsobjecte in möglichst frischem Zustande und von eben getödteten Thieren entnommen haben. Andere wollen, dass man den Zeitpunkt abwarte, wo die Todesstarre der hierauf eintretenden Erschlaffung Platz gemacht habe, was im Sommer nach kürzerer, im Winter erst nach längerer Zeit geschieht. Einzelne Objecte machen ausserdem noch besondere Vorbereitungen nothwendig, so z. B. sehr weiche Theile, solche Organe, bei denen man eine Injection der Lymphgefässe beabsichtigt etc. Wir können hier natürlich nicht alle diese Besonderheiten berücksichtigen, sondern müssen uns mehr an das Allgemeine halten und jene der speciellen Anleitung zur Untersuchung thierischer Gewebe überlassen.

Handelt es sich blos um die Injection eines bestimmten Systemes, so hat man vor dem Beginn der Arbeit Sorge dafür zu tragen, dass nicht etwa der Uebertritt in ein anderes System erfolgen kann, welches mit dem ersteren in Verbindung steht. Wo solche Verbindungen vorhanden sind, da muss zuerst eine vorsichtige Unterbindung der betreffenden Stellen vorgenommen werden.

Bei der Injection der Blutbahnen kann man diese, wo es sich vornehmlich um die Erfüllung des Capillarsystemes handelt, ebensowohl von den Arterien, als von den Venen aus vornehmen. Am besten lässt sich dieselbe indessen durch die Arterien bewerkstelligen, weil diese dickere Wandungen besitzen und die zartwandigen Venen ausserdem noch durch ihren Klappenapparat der Operation ein Hinderniss in den Weg legen.

Hat man sich für den Weg, welchen die Injectionsmasse nehmen soll, entschieden und das betreffende Gefäss aufgesucht, so öffnet man dieses, um das Eindringen von Luft zu verhüten, unter Wasser mittelst eines kleinen Längsschnittes, welcher nicht grösser sein darf, als nöthig ist, um die bequeme Einführung der mit Wasser gefüllten Canüle zu gestatten. Sollten bei älterem Material die zu injicirenden Gefässe mit geronnenem Blute erfüllt sein, so ist es oft von Vortheil, wenn man vor der Injection einen Strom warmen Wassers eintreibt. Man muss hierbei aber immer mit Vorsicht verfahren und nicht zu voreilig sein, weil durch dieses Verfahren häufig der Uebelstand eintritt, dass bei dem später folgenden Eintreiben der Injectionsmasse ein Austreten derselben in die umgebenden Gewebetheile stattfindet, wodurch man genöthigt wird, die ganze Arbeit zu unterbrechen.

Ist die Einführung der Canüle in ein Gefäss gelungen, so wird dieselbe mittelst eines gewichsten Seidenfadens in dasselbe eingebunden. Man fasst zu dem Ende den Faden entweder mittelst einer Pincette oder

fädelt denselben in eine Nadel ein und führt ihn unter dem Gefäss hindurch und um dasselbe herum. Bei grösseren Gefässen muss dieses Einbinden möglichst fest geschehen; bei zarteren Gefässen dagegen hat man sehr schonend zu verfahren, um dieselben nicht zu verletzen.

Die Injection selbst kann nun, nachdem die beschriebenen Vorarbeiten vollendet sind, in verschiedener Weise vorgenommen werden. Das am weitesten verbreitete und älteste Verfahren ist die Injection mittelst der Spritze, welchem in neuerer Zeit diejenige mittelst constanten Druckes, sowie die Selbstinjection an die Seite gestellt und für gewisse Fälle und unter gewissen Umständen vorgezogen worden ist.

543 **Injection mittelst der Spritze.** Wir wollen hier zunächst die erstere, für mikroskopische Zwecke wohl wichtigere Methode, eingehender betrachten, um daran anschliessend eine gedrängte Erörterung der zweiten, sowie auch der Selbstinjection folgen zu lassen.

Ist die Operation des Einbindens der Canüle beendet, so füllt man die Spritze, deren Stempel vorher, um das Eindringen von Luft zu verhindern, ganz herabgedrückt wurde, in der bekannten Weise unter dem Spiegel der flüssigen Injectionsmasse vollständig an und führt deren Mundstück bis zur vollen Tiefe in die Canüle ein, an der man vorher sorgfältig alles Wasser, welches etwa von dem Reinigen her noch darin haftet, durch ein Schwämmchen aufgesaugt hat. Diese hält man dabei mit der linken Hand fest und erhebt sie etwas, während die Spritze selbst bei aufliegendem Vorderarm zwischen die Mittelfinger des Zeige- und Mittelfingers eingeklemmt und der Daumen in den Ring des Stempels gelegt wird.

Indem nun die Spritze sorgfältig in die Richtung des Blutstromes gebracht wird, in welcher das Fortrücken der Injectionsmasse am leichtesten erfolgt, beginnt man das Eintreiben der letzteren unter möglichst langsamem und stetigem Druck. Sobald die Flüssigkeit weiter und weiter vordringt, fühlt der Finger einen verhältnissmässig zunehmenden Widerstand, dem er sich beim Einschieben des Stempels anbequemen muss. Vor allen Dingen vermeide man jetzt einen zu heftigen und namentlich einen unregelmässigen stossweisen Druck, welcher unfehlbar ein Misslingen des Präparates herbeiführen würde. Sollte sich etwa ein stärkerer Widerstand bemerklich machen, so könnte dieser von einer Verstopfung der Canüle herrühren, und es muss diese zu beseitigen gesucht werden, indem man die Spritze vorsichtig wegnimmt und in die erstere einen feinen Metalldraht oder eine Schweinsborste einführt.

Den Zeitpunkt der Vollendung zu bestimmen ist nicht leicht und lassen sich bestimmte Regeln dafür ganz und gar nicht geben. Hier gehört eben eine gewisse Erfahrung und Uebung dazu, um den richtigen Moment mit einiger Zuverlässigkeit zu treffen, und selbst der Geübteste kann unter Umständen einen Missgriff thun. Bricht man die Operation zu früh ab, so zeigen sich die feinen Gefässe noch nicht vollständig erfüllt, setzt man sie dagegen zu lange fort, so werden dieselben zerrissen

und es findet ein Austritt der Injectionsmasse statt. Am sichersten leitet bei der Beurtheilung noch die sichtbare Wirkung der Injection, d. h. die Färbung; weniger darf man sich auf die Verstärkung des Widerstandes gegen das Eindringen verlassen. Wo sich bei den warmen Injectionsmassen kleine Austrittsstellen (Extravasate) zeigen, da geben solche einen Wink zum Abbrechen, während dieser Zeitpunkt bei den kaltflüssigen Injectionsmischungen in der Regel dann eintritt, wenn die farblose Flüssigkeit an der Oberfläche des injicirten Organes in Form einer fettigen Benetzung hervortritt.

Ist die Operation schliesslich gut zu Ende geführt, so wird die Oeffnung der Canüle mittelst eines Stöpsels aus Kork fest verschlossen, unterhalb derselben das injicirte Gefäss unterbunden und nun erst das Röhrchen losgebunden und herausgenommen.

Sollen feinere Gefässe kleiner und zarter Thiere, die feineren Lymphgefässe im Inneren der Organe etc. injicirt werden, so gelangt man auf die eben beschriebene Weise nicht zum Ziele. Man greift dann zu dem sogenannten Einstichverfahren. Am zweckmässigsten ist es, wenn zu diesem Behufe der Spritze eine oder mehrere Canüle beiliegen, welche in Form des Troicarts construirt sind. Man kann sich indessen auch selbst eine derartige Vorrichtung herstellen, indem man in das Innere der Canüle eine Nadel einführt. Der Einstich in den zu injicirenden Gewebetheil wird mittelst dieser Vorrichtung an einer passenden Stelle vorgenommen und die Canüle so weit nachgeschoben, bis die gewünschte Stelle im Inneren erreicht ist. Nach dem Herausziehen der Nadel wird die Injection in bekannter Weise ausgeführt.

Wo man die beiden Blutbahnen zugleich, oder neben der Blutbahn die Lymphgefässe oder die Canälchen drüsiger Organe zu injiciren hat, da wird bei dieser doppelten Injection die Arbeit bedeutend erschwert.

Bei der Injection der beiden Blutgefässsysteme geht man am besten von der Erfüllung der Venen aus und schreitet dann zur Erfüllung der Arterien und ihren Verzweigungen. Dass hier eine Scheidung der beiden Systeme durch Abbinden vorzunehmen und ein Uebertritt der Injectionsmasse für das eine System in die Bahnen des anderen zu vermeiden ist, versteht sich von selbst. Als Injectionsflüssigkeit empfehlen sich hier vorzugsweise die in der Wärme flüssigen, beim Erkalten erstarrenden Leimlösungen, wobei man zwischen der ersten und folgenden Einspritzung einige Zeit verstreichen lässt, damit die zuerst angewendete Masse einige Starrheit gewinne. Die Farben endlich wähle man derart, dass sie beim Zusammentreffen eine schöne Mischfarbe bilden, so z. B. Berlinerblau und Weiss oder Berlinerblau und Carmin bei Präparaten für durchgehendes, Zinnober und chromsaures Bleioxyd bei solchen für auffallendes Licht.

Sollen ausser der Blutbahn noch die Lymphgefässe oder die Canälchen von Drüsenorganen injicirt werden, so geht man in der Regel mit der Erfüllung der ersteren voraus und lässt diejenige der letzteren nach-

folgen. Wo für die zweite Erfüllung die Einstichmethode zur Anwendung kommen muss, da vermeide man hierbei sorgfältig die Verletzung der bereits erfüllten Blutgefässe.

544 Injection mittelst constanten Druckes. Die Injection mittelst constanten Druckes bietet den Vortheil, dass sie erstlich die verschiedenen Druckgrössen durch Erfahrung feststellen lässt, welche für die einzelnen Bezirke der Blut- und Lymphbahnen etc. erforderlich werden, zweitens es gestattet, je nach Erforderniss, sehr niedrigen oder sehr hohen Druck anzuwenden und die Fällung stetig und ganz langsam vorsichgehen zu lassen.

Die einzelnen hier zur Anwendung kommenden Vorrichtungen haben wir ebenso wie die vorbereitenden Arbeiten bereits kennen gelernt und es erübrigen nur einige Worte über die weiteren Operationen.

Kommt der einfache Apparat (Fig. 500, Seite 688) zur Verwendung, so wird die graduirte Röhre mit der betreffenden Injectionsmasse bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt, die Oeffnung der Metallröhre *d* vorsichtig und fest in die Canüle eingeführt und dann der Hahn bei *d* geöffnet. Die Druckhöhe kann mittelst Nachgiessens von Flüssigkeit auf gleicher Höhe erhalten oder durch eine entsprechend höhere Flüssigkeitssäule nach Bedürfniss gesteigert werden.

Bei dem Told'schen Apparate (Fig. 501, Seite 688) bringt man die Injectionsmasse in die Flasche *A* und es wird dieselbe mittelst des Druckes der in der Flasche *B* durch die Quecksilbersäule in der Röhre *d* zusammengepressten Luft durch den Kautschukschlauch und die eingebundene Canüle nach Oeffnung des Quetschhahnes in die zu injicirenden Gefässe eingetrieben. Die Höhe des Druckes wird durch die entsprechende Höhe der Quecksilbersäule in *d* geregelt.

Die Behandlung des Ludwig'schen Apparates (Fig. 502, Seite 689) lässt sich aus dem Voranstehenden und seiner Zusammensetzung, welche im Wesentlichen der des vorigen Apparates gleicht, leicht ableiten.

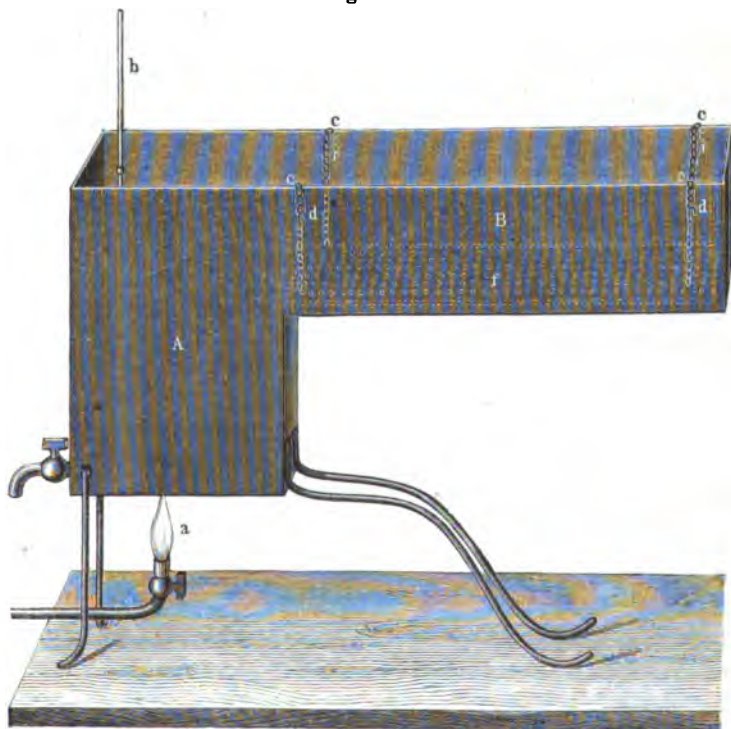
Für die hier in Frage kommenden Injectionen können ohne Weiteres selbstverständlich nur kaltflüssige Injectionsmassen in Anwendung kommen. Sollen an Leim gebundene Massen verwendet werden, so muss die erforderliche Erwärmung herbeigeführt und unterhalten werden. Dies kann bequem mittelst des Harting'schen Injectionskastens (Fig. 512) geschehen, in welchem der theilweise mit erwärmtem Wasser gefüllte Kasten *A* auf doppeltem Boden die Flaschen mit der Injectionsmasse aufnimmt, während die zu injicirenden Präparate in den Raum *B* über die durchlöchernte, mittelst der an den äusseren Haken *d* einzuhängenden Kettchen *c* heb- und senkbare Platte *f* zu liegen kommen. Der mittelst des eingesetzten Thermometers *b* genau zu bestimmende Wärmegrad des Wassers wird mittelst einer Spiritus- oder Gasflamme regulirt.

545 Selbstinjection. Diese dritte Injectionsmethode, auch unter dem Namen „physiologische Injection“ bekannt, ist in neuerer Zeit durch Chrzonszczewsky in der Thierhistologie eingeführt worden. Die-

selbe beruht darauf, dass, wenn man dem lebendigen Thierkörper durch Öffnen einer Vene eine bestimmte Menge Blutes entzieht und dieselbe durch unschädliche stark gefärbte Flüssigkeiten — man verwendet lauwarme filtrirte Lösungen von 7,5 g Carmin, 3,5 g starkem Ammoniakwasser und 30 g destillirtem Wasser oder von indigschwefelsaurem Natron (gesättigt) — ersetzt, diese durch die Herzthätigkeit in die Blutbahnen geführt und letztere in schonendster Weise damit erfüllt werden. Man kann auf diese Weise indessen nicht nur das Gefässsystem, sondern auch Magen, Mastdarm, Bauchhöhle, Harncanälchen und Anfänge der Gallenwege in der Leber etc. injiciren. Die Einzelverfahren zur Erzielung bestimmter Zwecke können wir hier nicht näher verfolgen, sondern verweisen auf die betreffende Sonderliteratur.

Zur Beobachtung bedürfen die injicirten Körpertheile in der Regel eine ähnliche vorbereitende Behandlung, wie sie für Darstellung anderer Präparate erforderlich ist. Wo man warme Injectionsmassen angewendet hat, brauchen dieselben vor allen Dingen die nöthige Zeit zum Erstarren,

Fig. 512.



ehe man zur Anfertigung von Schnitten schreiten kann. Leim- oder Gelatineinjectionen müssen wenigstens mehrere Stunden, Harzinjectionen

noch längere Zeit liegen, während die kalten Injectionsgemische eine sofortige Präparation gestatten. Ist eine Erhärtung angezeigt, so bringt man entweder den injicirten Körpertheil im Ganzen, oder wenn derselbe ein zu bedeutendes Volumen besitzt, in passende Stücke zerlegt in Wein-geist und verfährt dabei ganz nach den im Früheren gegebenen Vorschriften.

Fünftes Capitel.

Umhüllung und Eindeckung der Objecte.

Der in entsprechender Weise zur Beobachtung hergerichtete Gegenstand wird nur in vereinzeltten Fällen trocken betrachtet. In der Regel wird derselbe, um die erforderliche Durchsichtigkeit zu erlangen und für die Beugungswirkung seiner feineren Structurelemente die günstigsten Bedingungen zu gewähren und ein klares, in seinen Einzelheiten scharf gezeichnetes Bild zu liefern, von einer entsprechenden Flüssigkeit umhüllt werden müssen. 546

Im ersten Falle legt man ihn einfach auf den Objectträger und trägt Sorge dafür, dass er vollkommen in einer Ebene ausgebreitet erscheint. Bei manchen, namentlich zarteren Gegenständen, gelingt die Ausbreitung leicht mittelst der Präparirnadel, des Präparirschäufelchens oder des Pinsels und hat man nur darauf zu achten, dass das Präparat bei dieser Operation keinen grösseren Druck erleidet, als gerade erforderlich ist, um es auszubreiten, ohne dass es etwa zerrissen wird. Schwieriger lassen sich solche Objecte ebenen, welche die Neigung besitzen, sich zu rollen. Hier muss mittelst einer flachen Nadel oder eines anderen flachen Gegenstandes oft schon ein etwas stärkerer Druck ausgeübt und hierauf das Präparat mit einem passenden Deckglase bedeckt werden, um es in seiner Lage zu erhalten. Nach einem vorsichtig ausgeübten Drucke auf das letztere wird ersteres in der Regel in der gewünschten Lage verharren. Sollte diese Manipulation jedoch noch nicht ausreichen, so kann man sich, falls man einen solchen besitzt, des Quetschers bedienen, um das Präparat in der Ebene ausgebreitet zu erhalten. Im anderen Falle bringt man eine halbweiche, klebende Masse zwischen Deckglas und Objectträger, wodurch ersteres und damit das Object festgehalten wird. Immer aber ist die Beschaffenheit des Gegenstandes genau ins Auge zu fassen und sorgfältig darauf zu achten, dass der Druck nicht so stark wirkt, dass eine Störung der

Structurverhältnisse oder des Inhaltes der Zellen und Gewebe hervorgerufen wird.

Welche Zusatzflüssigkeit im anderen Falle anzuwenden sei, hängt theils von der chemisch-physikalischen Beschaffenheit, theils von der feineren inneren Gliederung und den Maassverhältnissen der Structurelemente des betreffenden Gegenstandes ab.

Zur Untersuchung von festeren Pflanzen- und Thiergeweben, bei denen destillirtes Wasser keine augenfällige störende Eingriffe veranlasst, wird in der Regel dieses als Umhüllungsmittel benutzt. Für die Einhüllung zarter vegetabilischer und thierischer Präparate dagegen hat man sich mehr indifferenten Flüssigkeiten zu bedienen, welche keinerlei Störungen in dem Inhalte und der Form der Elementarorgane hervorbringen und welche, soweit sie hier in Betracht kommen, schon weiter oben erörtert worden, oder bei den besonderen Untersuchungsmethoden anzugeben sind.

Solche Gegenstände, welche man möglichst durchsichtig zu machen wünscht, muss man mit Flüssigkeiten umgeben, welche denselben an Lichtbrechungsvermögen nahezu gleichkommen, während da, wo die Sichtbarkeit von Structurunterschieden erhöht werden soll, Umhüllungsflüssigkeiten angezeigt erscheinen, welche einen von demjenigen der betreffenden Substanz möglichst weit verschiedenen Brechungsindex besitzen. Glycerin, Eiweiss, Zuckerlösung, sowie die Lösungen mancher Salze, eignen sich, soweit sie gemäss der obigen Rücksichten zulässig erscheinen, vorzugsweise für Objecte im frischen Zustande, während für trockene oder vorher mittelst Alkohols entwässerte und wo erforderlich mit Nelkenöl etc. behandelte Gegenstände je nach den Umständen fette und flüchtige Oele, Terpentin, Canadabalsam, Dammarlösung, Schwefelkohlenstoff, Monobromnaphthalin, Phenyl-Jenöl und dergleichen in Anwendung zu bringen sind.

In Bezug auf die Zusatzflüssigkeiten, welche durch die feineren, regelmässig gruppirten Structurelemente der Beobachtungsobjecte und deren Maassverhältnisse bedingt werden, geben die theoretischen Erörterungen des ersten Buches die nöthigen Winke an die Hand. So lange es sich um derartige Structuren handelt, deren Maassverhältnisse mehrere Vielfache, z. B. das Fünf- bis Sechsfache der Wellenlänge erreichen, die also gemäss der Theorie Beugungsspectren erzeugen, deren lichtstärkere Theile nach innerhalb die Austrittspupille von Objectivsystemen mit geringer oder mittlerer numerischer Apertur fallen, so lange ist nach dieser Richtung hin das Einschlussmittel gleichgiltig. Kommen aber solche Structuren in Betracht, deren Maassverhältnisse nur kleine Vielfache der Wellenlänge oder gar Bruchtheile derselben betragen, die also in Luft und schwach brechenden Medien so weit abgelenkte Beugungsbüschel geben, dass selbst bei Objectivsystemen von einer über die Einheit hinaus und bis zu 1,4 gehender numerischen Apertur nur noch der mittlere Theil des Spectrums in der Austrittspupille Raum hat und z. B. bei periodischen Structuren die dem directen Bilde der Lichtquelle zunächst lie-

genden Maxima zweiter Ordnung nahe an dieses heranrücken und bei denen es darauf ankommt, diesen mittleren Theil noch in möglichst weitem Umfange oder die sonst aussen bleibenden Spectren noch an ihrem dem Hauptmaximum zunächst liegenden Ende zu umfassen, dann sind Einhüllungsmittel angezeigt, welche mindestens einen der numerischen Apertur gleichen, oder wegen der oben erwähnten Erhöhung der Sichtbarkeit einen über diese hinausgehenden Brechungsindex besitzen. Da nämlich, wie die Theorie lehrt, die Wellenlänge des Lichtes in einem dichteren Medium gegen die in einem weniger dichten in dem Verhältnisse der Brechungsindices verkürzt wird, so muss die Umhüllung eines Objectes mittelst des ersteren gemäss der Gleichung $\sin u = \frac{\lambda}{n.e}$

(Seite 105) die gleiche Wirkung äussern, als ob die lineare Entfernung der beugenden Elemente dieses Objectes um ebensoviel vergrössert worden wäre. Denken wir uns z. B. irgend ein regelmässig gestreiftes Object (ein Muskelbündel etwa) einmal von Luft, $n = 1$, das anderemal von einer Flüssigkeit $n = 1,5$ umhüllt, so wird, da die Brechungsindices sich verhalten wie 2 : 3, diese letztere dieselbe Wirkung auf den Beugungseffect hervorbringen, als ob in Luft die Entfernung der Streifen in dem gleichen Verhältnisse vergrössert worden wäre, indem wir statt $\sin u = \frac{\lambda}{e}$ erhielten: $\sin u = \frac{\lambda}{1,5 . e}$.

Hat man sich gemäss der hierfür maassgebenden Umstände für die 547 entsprechende Zusatzflüssigkeit entschieden, so bringt man einen Tropfen davon auf den Objectträger und legt das Präparat sorgfältig hinein, indem man dasselbe, wo es nöthig ist, mittelst der Nadel etc. möglichst eben auszubreiten sucht. Beim Gebrauche schwacher Objective, welche einen so grossen Abstand haben, dass sie nicht von der verdunstenden Flüssigkeit beschlagen, oder bei denen man nicht zu befürchten braucht, dass sie durch Berührung der letzteren beschmutzt werden könnten, mag man den Gegenstand, falls man nicht ein Mittel anwendet, dessen Dämpfe das Glas der Linsen angreifen, zur ersten Orientirung unbedeckt unter das Mikroskop bringen. Bei stärkeren Objectiven dagegen, oder wenn man ätzende Zusatzflüssigkeiten verwendet, erfordert das Präparat stets eine, auch bei schwächeren Systemen zu empfehlende, Bedeckung mittelst eines gut gereinigten Deckgläschens. Das letztere legt man möglichst vorsichtig auf, um das Präparat nicht aus der Mitte des Tropfens nach dem Rande hin zu drängen. Etwa unter den Rändern des Deckglases hervortretende überschüssige Flüssigkeiten nimmt man am besten mittelst reinen, weichen Fliesspapieres oder mittelst des Pinsels hinweg, um deren Ueberfliessen auf die obere Fläche zu verhindern. Bei der Wahl des Deckglases muss man sich in Bezug auf dessen Dicke theils nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Gegenstandes, theils nach dem Arbeitsabstande der zu gebrauchenden Objectivsysteme und, falls keine Verbesserungseinrichtung vorhanden ist, oder nicht homogene Immersion zur An-

wendung kommt, nach dem Einflusse richten, welchen die Dicke des ersteren auf die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes ausübt und dasselbe — wo diese nicht etwa, wie bei Zeiss angegeben ist — der für das betreffende Objectiv durch Versuch an der Abbe'schen Silberplatte oder einem genau bekannten Object ermittelten, am besten wirkenden Dicke anpassen.

Bei zarten Objecten, welche selbst unter einem geringen Drucke leiden könnten, wird man ein dickes Deckglas sorgfältig umgehen müssen. Ebenso ist ein solches stets zu vermeiden, wenn man mit Objectivsystemen von geringem Abstände arbeitet. Denn, vorausgesetzt auch, dass dessen Stärke keinen nachtheiligen Einfluss auf das Bild übt, könnte man bei der Einstellung dasselbe leicht berühren, allenfalls zertrümmern, und dadurch möglicherweise der vorderen Linse schaden, jedenfalls aber das Präparat durch den ausgeübten Druck verderben. Da bei den meisten Instrumenten die schwächeren Objectivsysteme gegen die Deckglasdicke nicht so empfindlich sind, dass ein zu dünnes Deckglas dem Bilde wesentlich schadet, so wird man am besten thun, für solche Präparate, bei denen voraussichtlich eine Steigerung der Objectivvergrößerung nothwendig wird, gleich ein passendes, dünnes Deckglas zu benutzen, um nicht zum Wechseln mit denselben veranlasst zu werden. Wo für die starken Objectivsysteme eines Instrumentes eine bestimmte Deckglasdicke vorgeschrieben ist, da halte man unbedingt an derselben fest, und habe, um für diesen Fall bei der Beobachtung nicht jedesmal durch das Messen der Dicke Zeit zu verlieren, immer sorgfältig sortirte Gläschen bereit.

Sind äusserst zarte Präparate zu handhaben, die selbst vor sehr schwachem Druck bewahrt werden müssen, so bringt man einen nach dem freien Objectabstand der zu gebrauchenden Objectivsysteme bemessenen dünnen Gegenstand, ein Haar, ein Papierstückchen oder dergleichen zwischen Objectträger und Deckglas.

Dritter Abschnitt.

Methode der mikroskopischen Beobachtung.

Die leitenden Grundsätze für die Methode der mikroskopischen Beobachtung haben wir aus der Theorie der Bilderzeugung und der weiter oben betrachteten Eigenthümlichkeit des mikroskopischen Sehens zu entnehmen. Um die aus derselben entspringenden Schwierigkeiten in Bezug auf die zu vollführenden Verstandesoperationen, d. h. auf die Deutung der mikroskopischen Gesichtseindrücke zu überwinden und um die Resultate der Beobachtung vor Täuschungen möglichst zu sichern, müssen wir die darauf bezüglichen Elemente so zu klären und zu vermehren suchen, dass wir in denselben hinreichend sichere Grundlagen gewinnen, auf denen wir die figürliche Construction, sei es des object-ähnlichen, sei es des typischen Bildes, mit Vertrauen vornehmen können.

Diese Aufgabe aber zerfällt wieder in zwei wesentliche Theile:

Erstens haben wir Alles nicht wirklich zu dem jeweiligen Gegenstande der Beobachtung Gehörige von dem mikroskopischen Bilde auszuscheiden, und

Zweitens eine möglichst vielseitige und scharfe Auffassung des betreffenden Objectes und seiner einzelnen Theile zu ermöglichen.

Was nun in Beziehung auf den ersten Theil unserer Aufgabe diejenigen Mängel betrifft, welche dem mikroskopischen Bilde an Form und Farbe in Folge der sphärischen und chromatischen Abweichung sowie anderer Fehler der Objectivsysteme und Oculare anhaften, so hat der Fortschritt in der praktischen Optik für deren Entfernung in möglichstem Umfange gesorgt. Es bleibt daher Sache des Beobachters, auf Grund der in einem früheren Abschnitte gegebenen Anleitung zur Prüfung des

Mikroskopes sich zunächst mit einem möglichst fehlerfreien Instrumente zu versehen, dann aber sich hinreichend mit den unvermeidlichen Mängeln der Correction bekannt zu machen, um durch dieselben nicht irre geleitet zu werden.

Ausserdem giebt es aber noch einige andere, zwar dem Bilde, aber nicht dem Gegenstande angehörige optische Erscheinungen, welche auch bei dem sorgfältigsten Baue des optischen Apparates nicht entfernt gehalten werden können, und welche der Beobachter kennen muss, um ihren Antheil aus der Vorstellung über den wirklichen Gegenstand eliminiren zu können.

Endlich kommen neben diesen optischen, nur dem Bilde an sich angehörenden Erscheinungen noch eine Reihe von Gegenständen und Erscheinungen vor, die zwar in dem Sehfelde auftreten können, ohne aber dem Bilde oder dem Gegenstande anzugehören. Mit diesen muss man sich gleichfalls bekannt gemacht haben, ehe man mit Erfolg zu einer mikroskopischen Beobachtung schreiten kann.

Wir haben in beiderlei Erscheinungen und den fremden Gegenständen das Gebiet der sogenannten optischen Täuschungen und der Veranlassungen zu mikroskopischen Irrthümern vor uns, dem namentlich im Interesse des Anfängers und weniger geübten Beobachters eine eingehendere Betrachtung zu widmen ist.

Um dem zweiten Theile unserer Aufgabe zu genügen, werden wir zunächst das eigentliche, die zweckmässige Verwendung des mechanischen und optischen Hauptapparates umfassende Feld der Beobachtungsmethode betreten, und endlich, um dem Gegenstande möglichst viele Seiten abzugewinnen und die Elemente der Anschauungen in geeignetem Maasse zu vermehren, alle die hierfür gebotenen Handgriffe und Hilfsmittel ins Auge fassen und anwenden lernen müssen, die sich als optische, mechanische und chemische unterscheiden lassen.

Erstes Capitel.

Ausscheidung des dem mikroskopischen Bilde Fremden. Vermeidung von Täuschungen.

I. Optische Erscheinungen.

Unter den Erscheinungen, welche optische Täuschungen veranlassen 550 können, nehmen für alle solche Structures, welche gemäss ihrer linearen Ausmaasse in ihrem Inneren oder an ihren Grenzflächen Brechung und Zurückwerfung der Lichtstrahlen hervorrufen können, jene die erste Stelle ein, welche bei den Mikroskopikern unter dem Namen „Beugungserscheinungen“ bekannt sind. Dieselben werden durch in den verschiedenen Ablenkungen, welche die Lichtstrahlen auf ihrem Wege von der Lichtquelle nach dem Mikroskope und durch den Gegenstand der Beobachtung erleiden, begründete Interferenzen veranlasst, die in der Einstellebene eine entsprechende, wirkliche Objecte vertretende Lichtvertheilung erzeugen, deren Beugungswirkung jetzt die Grundlage für das schliessliche mikroskopische Bild vorstellt. In Folge dieser Vorgänge treten z. B. längs der dunklen Ränder eines in bestimmter Weise eingestellten Körpers innerhalb und ausserhalb seiner Grenzlinien einer oder mehrere, mit dunklen Linien abwechselnde Lichtstreifen auf, welche bei intensiver Beleuchtung wiederum Farbensäume zeigen etc. Derartige Erscheinungen machen sich namentlich bei der Betrachtung durchsichtiger Gegenstände mittelst durchgehenden Lichtes bemerkbar, bei der Beobachtung undurchsichtiger Gegenstände mittelst auffallenden Lichtes kommen sie weit seltener oder gar nicht vor. Am meisten scheinen dieselben durch sehr starke, mittelst künstlichen Lichtes oder Sonnenlichtes bewirkte Beleuchtung begünstigt zu werden, wo sie dann einen um so bedeutenderen Einfluss auf das schliessliche Bild äussern, je stärker die Vergrösserung ist. Um ihnen so weit als irgend möglich vorzubeugen, muss man sich zunächst vor jeder allzugrellen Beleuchtung hüten, welche ja überdies ihre anderen Nachtheile hat, und dann zweckentsprechend mit den Vergrösserungen wechseln.

Im Allgemeinen gehören die erwähnten Erscheinungen wohl denjenigen Interferenzerscheinungen an, welche durch die Begrenzung zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern oder deren Theile hervorgerufen werden. Indessen mag auch in manchen Fällen die Wirkung solcher Interferenzen nicht ausgeschlossen sein, welche von Nägeli als „Interferenzen in der Einstellungsebene“ betrachtet worden sind.

Erstens können die von der Lichtquelle, also von dem Beleuchtungsapparate aus nach ihrem Durchgange durch das, den Beobachtungsgegenstand umgebende Mittel in das Mikroskop tretenden Lichtstrahlen mit solchen interferiren, welche durch die Substanz des Objectes selbst gegangen sind. Denn da in der Regel zwischen dem umhüllenden Mittel und der Substanz des Objectes eine mehr oder minder grosse Verschiedenheit in Bezug auf das Brechungsvermögen stattfindet, so werden auch bei dem Durchgange der Lichtstrahlen durch dieselben verschiedene Abweichungen in Bezug auf deren Weg, d. h. Gangunterschiede hervorgerufen, welche zu Interferenzen der zusammentreffenden Strahlen Veranlassung geben können. Hier werden sich die abwechselnd hellen und dunklen Streifen nach aussen von den Grenzen der Beobachtungsobjecte zeigen müssen und in dem Maasse an Stärke und Intensität abnehmen, als die organische Substanz und die Zusatzflüssigkeit an Brechungsvermögen weniger verschieden sind. Im Ganzen werden sie nur selten von Einfluss auf das mikroskopische Bild sein, da eben die Verschiedenheit der brechenden Substanzen, von denen ausserdem die eine die andere sehr häufig durchdringt, in der Regel eine so geringe ist, dass die Erhellungsdifferenzen in den Interferenzstreifen kaum oder gar nicht merkbar hervortreten.

Zweitens können die Interferenzen hervorgerufen werden durch Gangunterschiede zwischen denjenigen Strahlen, welche bloss durch das den Beobachtungsgegenstand umgebende Medium gegangen, und denen, welche an den äusseren geraden oder gewölbten Grenzflächen des ersteren zurückgeworfen, gespiegelt worden sind. Hier haben wir eines jener Verhältnisse, welche sich bei der mikroskopischen Beobachtung am häufigsten und merkbarsten kund geben dürften. Die Interferenzstreifen können dabei je nach Form und Beschaffenheit der spiegelnden Grenzflächen und des umhüllenden Mediums in verschiedener Schärfe etc. auftreten und leicht Grund zu optischen Täuschungen geben. Objecte, an denen sie vorzugsweise beobachtet werden, sind Quer- und Längsschnitte von Zellen, Röhren, Fasern, wo sie immer an der Aussenseite der eigentlichen Grenzlinien erscheinen. In gleicher Weise finden sie sich bei soliden kleinen Körnchen, feinen Fäden und dergleichen.

Drittens werden die Interferenzen veranlasst durch das Zusammentreffen von Lichtstrahlen, welche vermöge ihres Durchganges durch das Object eine Brechung erlitten haben, mit solchen, welche an dessen inneren Seitenflächen gespiegelt worden sind. Auch dieser Fall dürfte sich bei der Beobachtung durchsichtiger Gegenstände in ähnlicher Weise gel-

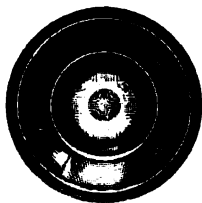
tend machen, wie der vorhergehende, und unterscheidet sich derselbe von jenem nur insofern, als hier die Interferenzstreifen nach der Innenseite der wahren Grenzlinien verlegt werden.

Aus der Betrachtung dieser drei Fälle, in denen Interferenzen auftreten können, geht hervor, dass, soweit dieselben überhaupt zur Wirkung kommen, wohl selten einer derselben allein seinen Einfluss auf die Beschaffenheit des mikroskopischen Bildes äussern, sondern dass in der Regel eine Complication derselben statthaben wird, wodurch je nach Umständen eine Verstärkung oder Schwächung der Einzelercheinung bewirkt werden kann. Ausserdem trägt zur Complication auch noch der Umstand bei, dass ebensowohl die gebrochenen wie die zurückgeworfenen Strahlen untereinander selbst interferiren können, indem solche je einer Art, die mit Gangunterschieden behaftet erscheinen, zusammentreffen.

Wo die beschriebenen Zeichnungen im Bilde auftreten und die Gestaltung der Objecte darauf hinweist, ihren Grund nicht sowohl unmittelbar in dieser, als in der durch ihre brechende und zurückstrahlende Eigenschaften mittelbar veranlassten Lichtvertheilung in der Einstellenebene zu suchen, sucht man sich am besten durch Veränderung der Beleuchtung, sowie durch Wechsel in der Einstellung davon zu überzeugen, ob dieselben dem der Objectstructur oder der letzteren angehören, indem man sie in dem letzteren Falle durch diesen Wechsel ganz oder zum Theil entfernen oder in ihren Abständen und ihrer Zahl modificiren kann. Auf alle Fälle muss sich der Ungeübtere mit diesen Erscheinungen hinlänglich bekannt zu machen suchen, um bei der Deutung des Gesehenen durch dieselben nicht irre geführt zu werden.

Ein passendes Object, um Interferenzstreifen der zweiten Art hervorzubringen, gewähren kleine Luftblasen in Flüssigkeiten (Fig. 513)

Fig. 513.



Luftbläschen unter dem
Mikroskope bei Einstellung
auf den Durchschnitt.

oder Quecksilberkügelchen, deren dunklen Rand man von einem oder mehreren hellen Lichtsäumen eingefasst sieht, welche selbst wieder von feinen dunklen Linien begrenzt erscheinen. Kleine und kugelförmige Stärkekörner ohne deutliche Schichtung, oder grössere Chlorophyllkörner leisten fast gleich gute Dienste, um die Linien der dritten Art hervorzubringen. Man wird bei diesen Objecten, namentlich wenn man sehr intensiv beleuchtet, am Rande nicht selten zwei und je nach der Einstellung sogar drei bis vier dunklere Linien wahrnehmen können, welche durch

etwas gelblich gefärbte Lichtsäume von einander getrennt erscheinen. Die eigentlichen Grenzlinien der Stärkekörner etc. sind dabei aber durch ihre Schärfe und dunklere Zeichnung ausgezeichnet. Durch Wechsel in der Beleuchtung, namentlich durch Verengerung des Beleuchtungskegels, vermittelt Herabziehen der Blendungen und dergleichen verlieren diese ersteren an Schärfe, so dass sie weit unbestimmter gezeichnet erscheinen,

sie nähern sich einander mehr und mehr, oder sie verschwinden ganz oder theilweise, was bei der wahren Randlinie des Körpers nicht eintritt. Auch andere organische Objecte mit scharfen und bestimmten Grenzlinien eignen sich sehr gut zu diesen vorbereitenden Untersuchungen, so z. B. nicht zu zarte Querschnitte stark verholzter Pflanzengewebe, des Peridermas und dergleichen, die Tüpfelcanäle der Coniferen, bei denen man diese sogenannten Beugungserscheinungen vorzugsweise an den inneren Rändern der Grenzen wahrnimmt. Da hierbei in der Regel eine Verbindung des zweiten mit dem dritten Falle eintritt, hat man sich von der wahren Natur der Lichtlinien etc. sowohl durch Wechsel in der Abblendung und Spiegelstellung, als durch Aenderung der Einstellung, zu überzeugen.

- 551 Einige andere Erscheinungen haben mit den eben beschriebenen zwar grosse Aehnlichkeit, ohne aber eigentliche Interferenzerscheinungen zu sein. Ich meine damit die doppelten oder verbreiterten Linien, welche hier und da auftreten, sich aber bei veränderter Einstellung als einfache, scharfe Linien ohne Breite darstellen. Diese werden durch eine mangelhafte Einstellung veranlasst und lassen sich durch richtigen Gebrauch der feinen Einstellschraube sofort beseitigen. Auch einige Farbenerscheinungen gehören hierher, welche keineswegs Folge mangelhafter Verbesserung der Farbenabweichung der Linsen sind, oder mit den auch bei vollkommener Correction noch auftretenden secundären Farbensäumen zusammenfallen, sondern auf dem eben genannten, von dem Beobachter begangenen Fehler beruhen. So erscheinen z. B., wenn der Gegenstand nicht ganz scharf einsteht, die kleinen Poren in den verdickten Zellwänden, je nach ihrer Grösse oder ihrer Entfernung von dem Brennpunkte an der Innenseite gelblich, röthlich oder grünlich blau gefärbt. Aehnlich verhalten sich unter gleichen Umständen kleine kugelförmige Körperchen, indem sie mehr oder minder stark gefärbte Aussenränder zeigen. Hier kann man die störenden Nebenerscheinungen immer nur durch das allergenaueste Einstellen beseitigen, nachdem man den Gegenstand möglichst in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht hat. Gelingt eine Entfernung dieser Farbenerscheinungen auch durch die sorgfältigste Einstellung nicht, dann darf man dieselben, wenn man von der Farbenfreiheit seiner Gläser überzeugt ist, allerdings mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Gegenstande selbst zuschreiben.

Von der Genauigkeit der Einstellung wird sich der geübtere Beobachter auf den ersten Blick überzeugen. Weit schwieriger aber gelingt dies dem Anfänger. Als allgemeine Regel in dieser Beziehung lässt sich wohl der Satz aufstellen, dass die richtige Einstellung allemal dann erzielt ist, wenn das Bild am kleinsten erscheint und seine Begrenzungslinien die gringste Breite besitzen. In diesem Falle ist dann auch für ebene Körper immer die grösste Schärfe und Deutlichkeit für das Ganze sowohl als für alle einzelnen Theile vorhanden.

II. Fremde Körper und Processe.

Während die im Vorhergehenden abgehandelten Erscheinungen nur 552 dem Bilde angehören, welches durch die Objectivsysteme des zusammengesetzten Mikroskopes entworfen wird, haben wir es hier mit einer Reihe von Vorkommnissen zu thun, welche allerdings nicht dem Gegenstande der Beobachtung selbst eigen sind, die aber wirklichen Erscheinungen und Gegenständen entsprechen, welche mit demselben zu gleicher Zeit im Sehfelde auftreten. Dieselben haben ihren Grund entweder in den sogenannten entoptischen Gesichtserscheinungen oder in fremden Körperchen, welche sich auf den Gläsern des optischen Apparates oder auf dem Objectträger befinden. Um die hierdurch veranlassten Täuschungen bei der Beurtheilung des mikroskopischen Bildes auszuschliessen, haben wir uns zunächst mit allen hierher gehörigen Erscheinungen, Gegenständen etc., welche etwa bei mikroskopischen Untersuchungen vorkommen können, vertraut zu machen, und dann alles das genau kennen zu lernen, was über die Gestaltung eines betreffenden Gegenstandes der Untersuchung bereits bekannt gemacht worden ist.

Was den ersten Theil dieser Forderung betrifft, so müssen wir im Auge behalten, dass die Gegenstände mikroskopischer Wahrnehmungen entweder Formen oder Processe sind.

Die ersteren können wieder entweder durch gestaltete Objecte — 553 entoptische Gesichtserscheinungen, fremde Körperchen — oder durch in durchsichtige Medien eingeschlossene Luft- und Gasbläschen etc. hervorgerufene Formen sein.

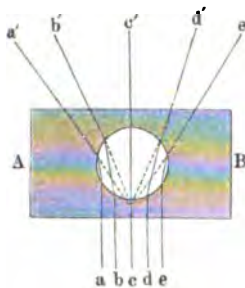
Die sogenannten entoptischen Gesichtserscheinungen, vorzüglich aber die Mouches volantes, mögen bei schwierigen Beobachtungen allerdings hinderlich werden, indem sie störend auf die Sichtbarkeit feinerer Einzelheiten und namentlich kleinerer Körperchen wirken. Eine eigentliche Täuschung wird aber kaum durch dieselben hervorgerufen werden können, da man durch Aenderung der richtigen Einstellung leicht wahrnimmt, dass sie mit dem Gegenstande der Beobachtung nichts gemein haben. Während dieser hierbei nämlich undeutlich wird, bleiben die Mouches volantes unverändert; ausserdem bewegen sich dieselben mit dem Auge, während das Bild des Gegenstandes fest stehen bleibt.

Ebensowenig äussern Staubtheilchen, Kritzel und dergleichen, welche sich auf der Oberfläche der Gläser befinden, einen irgend erheblichen Einfluss auf die Richtigkeit der Beobachtungsergebnisse. Wo dieselben in dem Sehfelde erscheinen, was überhaupt nur bei Schmutztheilchen auf den Gläsern der Oculare stattfindet, da sind sie so leicht kenntlich, dass man nicht irre geführt werden kann und bei einiger Uebung im mikroskopischen Sehen sie ganz und gar übersieht. Sorgfältige Reinhaltung des Instrumentes schützt übrigens vor Störungen dieser Art.

Eher schon wirken fremde, geformte Gegenstände, welche sich auf dem Objectträger befinden, auf das Resultat der Untersuchung ein. Hierher gehören namentlich kleine Theile von thierischen und pflanzlichen Geweben, als Fasern von Papier, Leinwand, Wolle, Epithelialzellen der Oberhaut oder der Mundschleimhaut, Haarfragmente von den Pinseln und dergleichen. Dann finden sich in dem zur Benetzung der Objecte gebrauchten Wasser häufig kleine Infusorien, einzellige Algen, Spaltpilze, Pilzsporen, kleine Stärkemehlfragmente, Staubtheilchen, Insectenschüppchen, welche man nicht immer ganz entfernt halten kann, da sie meistens in der Luft umhergeführt werden. Sind nun auch alle diese fremden Gegenstände für den erfahrenen Beobachter so zu sagen gar nicht vorhanden, indem sie ihm als bekannte und unwesentliche Dinge nicht mehr in der Anschauung zum Bewusstsein kommen, so muss sich doch der Anfänger durch eigene Anschauung hinreichend mit denselben vertraut machen, ehe er zu eigentlichen Untersuchungen schreitet, um sie vorkommenden Falles eliminiren zu können.

Von denjenigen Formen, die unter gewissen Bedingungen bei an sich formlosen Stoffen hervorgerufen werden, sind es namentlich die Luftbläschen, oder Bläschen anderer Gasarten, welche mechanisch in der Beobachtungsflüssigkeit oder in Geweben eingeschlossen sind, sonach mit den eigentlichen Beobachtungsgegenständen im innigen Vereine auftreten. Dieselben erscheinen, da die in der Figur als parallel angenommenen Strahlen des einfallenden Lichtkegels ($abcde$, Fig. 514) bei dem Ueber-

Fig. 514.



Ablenkung paralleler Lichtstrahlen durch Luftblasen.

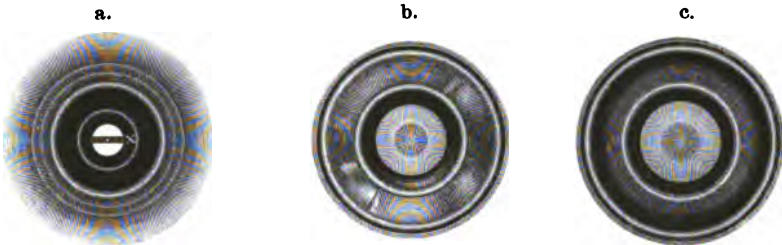
gange aus dem dichteren in das dünnere Mittel, mit Ausnahme der durch die Mitte gehenden, theils mehr oder minder stark abgelenkt, theils an den Seitenflächen der Hohlräume zurückgeworfen werden und dadurch die bereits erörterte Lichtvertheilung in der Einstellebene hervorrufen, bei mittlerer Einstellung unter dem Mikroskope als runde Körperchen mit nach innen dunkelschwarzem, von hellen Ringen unterbrochenem, nach aussen dunkelgrauem, von ähnlichen Ringstreifen eingefasstem Rande und kleinem, rundem, ungleichmässig hellem Centrum, Fig. 515 b. und c. Ihr Aussehen ist so charakteristisch, dass sie sich sofort erkennen lassen.

Ausserdem erblickt man beim Senken des Tubus in dem Brennraume, resp. dem Bilde der Blendung, die Scheinbilder von in der Nähe befindlichen in dem Beleuchtungsspiegel sich abspiegelnden Gegenständen, der Fensterkreuze und dergleichen (Fig. 515 a. bei x), so dass sie auch den Anfänger im Beobachten kaum zu täuschen vermögen¹⁾. Leichter schon

¹⁾ Zur Vornahme mathematischer Construction der Bilder dieser, wie der später zu betrachtenden Gebilde, Voll- und Hohlcyylinder etc. finde ich keine Ver-

ist eine Täuschung möglich, wenn die in den Höhlungen organischer Körper eingeschlossene Luft deren Formen annimmt. Da man nämlich

Fig. 515.

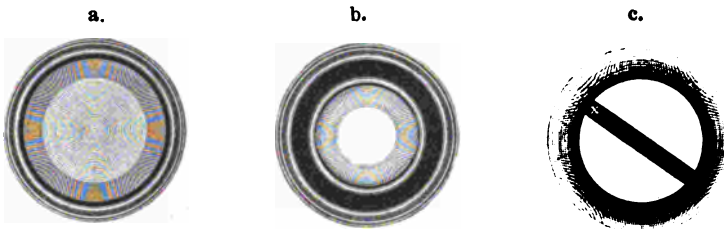


Luftbläschen unter dem Mikroskope. a. Einstellung auf den Brennraum. b. Einstellung auf den Durchschnitt. c. Gleiche Einstellung bei Abhaltung des Seitenlichtes. 1 : 145.

häufig geneigt ist, die durch das Mikroskop erhaltenen Gesichtseindrücke mit denjenigen des blossen Auges in Uebereinstimmung zu bringen, so kann es vorkommen, dass man die in den Intercellularräumen und anderen Höhlungen enthaltene, schwarz erscheinende Luft für eine undurchsichtige Materie hält. Wer nicht Uebung genug besitzt, um schon durch den blossen Anblick Luft von einer festen Substanz unterscheiden zu können, der wird durch Tränken solcher lufthaltigen Gewebe mit Alkalien, Weingeist und dergleichen, welche Mittel die Luft bald aufnehmen, sich die nöthigen Anhaltspunkte zu verschaffen suchen müssen.

In ähnlicher Weise wie Luftblasen stellen sich in Wasser vertheilte Oel- und Fetttröpfchen (Fig. 516) oder überhaupt Tröpfchen solcher dich-

Fig. 516.



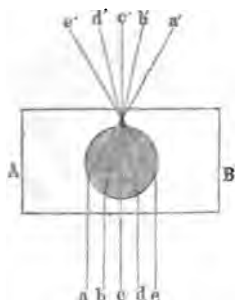
Oeltröpfchen unter dem Mikroskop. a. Einstellung auf den Rand. b. Etwas höhere Einstellung. c. Einstellung auf den Brennraum.

teren Flüssigkeiten, die sich mit jenem nicht mischen, unter dem Mikroskope dar; nur ist der schwarze Rand bei denselben weit schmaler, wie bei jenen, weil der Unterschied zwischen dem Brechungsvermögen von Wasser und Oel etc. geringer ist, als zwischen Wasser und Luft. Die Bilder von äusseren Gegenständen, welche die Oeltröpfchen erzeugen,

anlassung, da dieselben ja viel leichter und bequemer durch die Beobachtung festgestellt werden können und eine derartige Construction nur eine Sache von untergeordnetem Interesse bildet.

unterscheiden sich ebenfalls von denen der Luftbläschen, indem die ersten wie eine doppelt convexe Linse (Fig. 517) wirken und daher ein wirkliches Bild (Fig. 517 c. bei *x*) erzeugen, welches beim Heben des Tubus sichtbar wird.

Fig. 517.



Ablenkung paralleler Lichtstrahlen durch Öltröpfchen.

Noch leichter als die vorhergehenden können solche Formen zu Täuschungen Veranlassung geben, welche durch das Zusammentreffen flüssiger Substanzen von verschiedener Dichtigkeit hervorgerufen werden, indem entweder die weniger dichte von einer anderen, dichteren Flüssigkeit eingehüllt wird, oder erstere in letztere eindringt. So z. B. sondern sich nicht selten einzelne Partien des aus verletzten Zellen hervorquellenden Inhaltes im Wasser des Objectträgers in rundliche Massen (Fig. 518), welche anscheinend von einer Membran eingeschlossen werden. Es entstehen ferner in der dichteren Flüssigkeit kugelige, von der weniger dichten Substanz erfüllte Räume, sogenannte Vacuolen (Fig. 519), welche man, auch wenn dies nicht der Fall ist, als von einer Membran umgrenzt betrachten könnte.

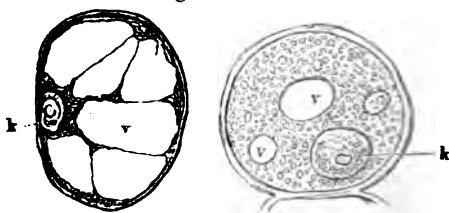
Diese Vorgänge sind hier und da als Zellenbildungsprocesse und deren Producte als Zellen angesehen und dargestellt worden, wofür sich selbst

Fig. 518.



In das Wasser des Objectträgers übergetretener, theilweise zellenartig gebaltter Zellinhalt. 1:200.

Fig. 519.



Vacuolen in dem Protoplasma von Pflanzenzellen. 1:200.

bei bekannten Autoren Beispiele auffinden lassen. Man sehe sich daher wohl vor, um nicht Formen als wesentlich aufzufassen, welche durch äussere Einflüsse hervorgerufen sind und mit dem eigentlichen Gegenstande der Beobachtung ganz und gar nicht in organischem Zusammenhange stehen. Die ersteren kann man meistens durch passende Auswahl der Zusatzflüssigkeit umgehen. Ueber die Natur der anderen entscheidet oft die Anwendung der später zu besprechenden Hilfsmittel.

Andere, namentlich sehr dickflüssige Substanzen erscheinen, wenn sie in Flüssigkeiten gebracht werden, mit denen sie sich nicht mischen, ebenfalls in mancherlei Formen, die bald fadenförmig, bald membranartig sind, bald sich mehr der Tropfen- oder Bläschenform nähern. Man muss sich indessen wohl hüten, diese für etwas Selbständiges zu halten und,

um Irrthum zu vermeiden, mit der Wirkungsweise der Flüssigkeiten auf einander wohl vertraut zu machen suchen.

Unter den Processen, welche dem Mikroskopiker Veranlassung 554 zur Täuschung werden können, sind vorzugsweise einige Bewegungserscheinungen hervorzuheben.

Zu denjenigen Bewegungserscheinungen, welche unter dem Mikroskope am häufigsten auftreten, gehört die von Robert Brown entdeckte Molekularbewegung. Es tritt dieselbe sowohl bei organischen als unorganischen Stoffen auf, wenn dieselben in Form von hinreichend kleinen Körnchen in einer Flüssigkeit suspendirt sind. Auf die Form der Körper kommt es dabei gar nicht an. Dieselben mögen rund oder eckig, nach allen drei Dimensionen gleichmässig ausgedehnt, plattenartig oder nadelförmig sein, die Bewegung tritt ein, sobald sie eben nur klein genug sind. Die letztere selbst ist schwer zu beschreiben. Dieselbe hat etwas Zitterndes und Wimmelndes, indem die kleinen Körperchen bald oscilliren, bald anscheinend um ihre Achse rotiren und dabei bald vor-, bald rückwärts gehen. Sie tritt in dem Grade entschiedener auf, als die Körperchen kleiner werden und weniger in ihrem specifischen Gewichte von der umgebenden Flüssigkeit verschieden sind. Bei organischen Körperchen ist sie daher in der Regel am stärksten und hält verhältnissmässig am längsten an, während sie bei unorganischen um so unbedeutender erscheint und um so früher aufhört, je höher ihr specifisches Gewicht ist. Niederschläge von Metallen zeigen diese Bewegung daher häufig gar nicht, und wenn sie sich auch sehr fein vertheilt in Flüssigkeiten finden.

Man muss sich mit dieser Bewegung durch öftere Beobachtung an verschiedenen Körpern möglichst vertraut machen, um sie genau von anderen, ähnlichen Bewegungen unterscheiden zu lernen. Ein sehr günstiges Object zu ihrer Beobachtung bei organischen Substanzen bildet der Inhalt der Pollenkörner, welcher aus der gesprengten Hülle ausgetreten ist. Hieran wurde dieselbe denn auch schon früh entdeckt und irrthümlich für etwas dem Polleninhalte Eigenthümliches, den Lebensäusserungen Angehöriges angesehen, wie etwa die Bewegung der Spermatozoiden. Von anderen Körpern zeigen die Molekularbewegung sehr schön mit Wasser abgeriebener Carmin oder Indigo.

Ueber den Grund der Erscheinung scheint man noch nicht recht einig zu sein und können wir über die verschiedenen Ansichten in dieser Beziehung um so eher hinweggehen, als wir es nur mit der Erscheinung selbst, nicht aber mit Erklärung derselben zu thun haben.

Durch das Vermischen zweier ungleichartiger Flüssigkeiten entstehen in der Regel Bewegungserscheinungen, welche sich um so mehr steigern, je grösser die Anziehung zwischen beiden und je flüchtiger die eine derselben ist. Häufig zu beobachten sind dieselben z. B. beim Zusatz von Alkohol oder alkoholischer Jodlösung zu Wasser, und sie dauern dann so lange, als beide Flüssigkeiten sich noch nicht vermischt haben. Die

Bewegung ist leicht zu erkennen, indem dieselbe keineswegs regelmässig erscheint, sondern mehr in einzelnen unregelmässigen Stössen erfolgt. Kleine in der Flüssigkeit suspendirte Körperchen werden dadurch, indem die Strömungen sie fortreissen, in eine hin- und hergehende oder tanzende Bewegung versetzt. Am auffallendsten sind diese Bewegungen, welche zuerst von J. H. Weber und dann von Harting näher beschrieben wurden (Poggendorff's Annalen Bd. 114, S. 447 und Bd. 117, S. 51), bei solchen sehr kleinen Körperchen, welche sich in der Nähe von Luftbläschen befinden, die in einem nach bestimmten Verhältnissen bewirkten Gemenge von Alkohol und Wasser eingeschlossen sind.

Verdunstende Flüssigkeiten rufen ebenfalls häufig Bewegungen hervor, die vorzugsweise bemerklich werden, wenn man die mikroskopischen Objecte unter Deckgläschen beobachtet. Es finden dann in der Regel zwei einander entgegengesetzte Strömungen statt, die nach beiden Richtungen kleine Körperchen mit sich fortreissen oder in eine drehende Bewegung versetzen. Aehnliche Ströme und Bewegungen treten in Folge des Entweichens von in Flüssigkeiten eingeschlossenen Luftbläschen auf und es ist mir nicht selten vorgekommen, dass kleine organische Elemente mehr oder weniger schnell das ganze Sehfeld durchliefen und dann verschwanden. Täuschungen werden diese Bewegungen indessen höchstens bei dem Anfänger zu veranlassen im Stande sein, während der geübte Beobachter kaum von denselben beirrt wird.

Zweites Capitel.

Verwendung des optischen Apparates.

I. Beleuchtung der Objecte.

555 Nachdem wir die Beobachtungsobjecte in der geeigneten Weise herichten und Täuschungen möglichst vermeiden gelernt haben, wenden wir uns nun zur eigentlichen Beobachtung. Zu dem Ende bringen wir das zweckdienlich präparirte, trocken aufgelegte, oder von der passenden Flüssigkeit umgebene und bedeckte Object auf den Objecttisch, über dessen mittlere Oeffnung, und suchen ihm vorläufig die annähernd richtige Lage möglichst in der optischen Achse zu geben. Dann bringen wir das Auge über das Ocular, rücken das Präparat in die Mitte des Sehfeldes und richten unser Augenmerk zunächst auf die entsprechende Beleuchtung desselben.

Die Art dieser letzteren wird je nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Präparates eine verschiedene sein müssen, indem manche Gegenstände eine Beobachtung in diffuser Lichtstrahlung, also die Anwendung von auffallendem, andere, eine Durchleuchtung, also den Gebrauch von durchfallendem, weissem oder einfarbigem Licht erfordern, manche, neben der letzteren Beleuchtungsart, auch noch eine Betrachtung positiver Bilder auf dunklem Grunde erwünscht machen.

1. Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes.

Arbeitet man mit auffallendem Lichte, so ist es gut, das Mikroskop 556 nahe an das Fenster zu bringen, um dem Objecte die möglich grösste Lichtmenge zuzuführen. Helles Tageslicht ist in der Regel für diese Beobachtungsweise vollkommen ausreichend und braucht man höchstens in Ausnahmefällen seine Zuflucht zu directem Sonnenlichte zu nehmen. Alles von dem Spiegel kommende Licht muss bei dieser Beleuchtungsweise von dem Objecte abgeschnitten werden. Hier und da wird es genügen, dem Spiegel eine solche Stellung zu geben, dass derselbe kein Licht nach dem Objecttische reflectirt. Wo dies indessen nicht ausreicht, da bedeckt man die Oeffnung des letzteren mittelst einer undurchsichtigen Platte, die in der Regel geschwärzt ist, bei dunklen Gegenständen dagegen auch matt weiss angestrichen sein kann.

Für die allerschwächsten Vergrösserungen genügt das einfache Tageslicht zur Beleuchtung, während bei stärkeren Vergrösserungen eine besondere, planconvexe Beleuchtungslinse verwendet wird, welche entweder auf einem eigenen Stative ruht, oder an dem Mikroskopkörper befestigt werden kann. Man richtet dieselbe beim Gebrauche so, dass sie die auf ihre vordere Fläche fallenden Lichtstrahlen gerade auf dem Objecte vereinigt und dieses die stärkste zu erreichende Beleuchtung erhält. Verlangt das zu beobachtende Präparat eine mehr als 200- bis 300fache Vergrösserung, so ist man in der Anwendung der Beleuchtungslinse beschränkt, da der Lichtkegel, welcher von ihr ausgeht, dann nicht mehr zwischen der Fassung der Objectivsysteme durchgehen und nach dem Objecte gelangen kann. In solchen Fällen muss man etwa zu dem Lieberkühn'schen Spiegel greifen, über dessen Verwendung und Verwendbarkeit schon in dem zweiten Buche das Erforderliche beigebracht worden ist. Hier ist nur darauf hinzuweisen, dass die allseitig auf das Object treffenden Lichtstrahlen eine Beleuchtungsweise bewirken, welche nur für einzelne Gegenstände passend erscheint, und vorzugsweise da anzuwenden ist, wo man sich eine nette Gesammtansicht kleiner Objecte zu verschaffen sucht. Die Beleuchtung der Oberfläche wird nämlich eine fast in allen Theilen gleichmässige und dadurch der Unterschied zwischen Licht- und Schattenseite aufgehoben. Wo man daher Oberflächenstrukturen und dergleichen zu untersuchen hat, wird man sich besser zu einer passend regulirten Seitenbeleuchtung wenden.

Die mittelst auffallenden Lichtes durch Zurückwerfung hervorbrachte, in Bezug auf Beugungswirkung der Objecte, sich wie durchfallendes Licht verhaltende, diffuse Lichtstrahlung kann, falls man geeignete Beleuchtungsapparate (wie der Seite 604 beschriebene verticale Illuminator) benutzt, oder die Lichtstärke ausreichend ist (directes Sonnenlicht z. B.) und wenn die zu beobachtenden Gegenstände eine solche Beugungswirkung zulassen, wie die Diatomeenschalen etc. ausnahmsweise auch zur Erkennung feinerer Strukturverhältnisse zur Anwendung kommen, da dabei die volle Oeffnung des Objectivsystemes in gleicher Weise in Wirksamkeit tritt, als wenn man das Object mittelst eines dieselbe vollständig ausfüllenden Lichtkegels beleuchtet hätte. Daher erklärt sich denn auch, dass Objectivsysteme mit verhältnissmässig kleiner Oeffnung bei Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes schon Streifensysteme und dergleichen deutlich zeigen, welche mittelst derselben bei centralem oder nicht äusserst schiefem, durchfallendem Lichte nicht gesehen werden können. (Vergleiche auch Schacht: Beiträge zur Anatomie und Physiologie Seite 270.)

2. Dunkelfeldbeleuchtung.

557 Die sogenannte „Dunkelfeldbeleuchtung“, dork-field-illumination, d. h. diejenige Beleuchtungsweise, wobei das Object in einem positiven Bild auf dunklem Grunde gesehen wird, ist zuerst von England aus empfohlen worden und dürfte sich für manche Gegenstände als ganz zweckmässig erweisen, da man mittelst ihrer bei Anwendung guter Objectivsysteme auch noch bei stärkeren Vergrösserungen recht scharfe und deutliche, wegen ihres plastischen Hervortretens meist höchst charakteristische Bilder erhält. Dieselbe beruht — da die Zurückwerfung von der Deckglasoberfläche nach dem Objecte und von diesem aus nach dem Objective meist eine nur untergeordnete Rolle spielt — vorzugsweise darauf, dass diejenigen Strahlen, welche aus dem durch die durchsichtigen Theile des Präparates hindurchgetretenen Lichtkegel vermöge der Objectstructur abgelenkt wurden, in die Oeffnung des Objectivsystemes eintreten, während der direct einfallende Lichtbüschel in irgend einer der nachbeschriebenen Weisen von dem Eintritt in die Oeffnung des Mikroskopobjectives abgeschnitten wird und so eine ausschliesslich aus Maxima zweiter Ordnung gebildete Beugungsfigur entsteht.

Bei schwachen Objectivsystemen mit kleinerer Oeffnung benutzt man zur Erzielung dieser Beleuchtung den gewöhnlichen Spiegel des Mikroskopes, welchem man eine so weit aus der Achse gerückte Stellung giebt, dass der in schiefer Richtung einfallende, directe Lichtbüschel nicht mehr in die Oeffnung des Objectivsystemes trifft und nur jene Strahlen, welche in dem Objecte durch Beugung abgelenkt werden, in das Mikroskop gelangen können (Fig. 520).

Zu gleichem Zwecke empfiehlt *Wenham* die mittelst eines rechtwinkligen Prismas bewirkte vollständige Zurückwerfung der von der Lichtquelle kommenden Strahlen an der oberen Fläche des Deckglases zu benutzen. Diese für die Verwendung von Trockensystemen bestimmte Beleuchtungsweise eignet sich indessen nur für kleine Gegenstände, Diatomeenschalen, Schmetterlingsschuppen, und soll dann sehr gute Dienste leisten. Ist z. B. *AB* (Fig. 521) das Objectglas, an dessen untere Seite

Fig. 520.

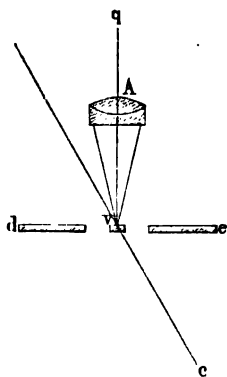
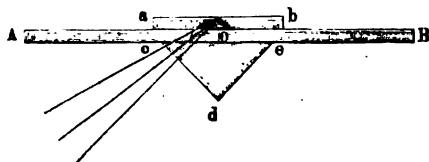


Fig. 521.



mittelst Canadabalsams das rechtwinklige Prisma *cde* angekittet ist, *o* ein kleiner Gegenstand, der von Terpentinöl oder Canadabalsam umgeben ist, und *ab* das Deckglas, so verfolgt ein senkrecht auf die Kathete *cd* des Prismas treffendes Strahlenbündel, da alle Theile des ganzen durchsichtigen Apparates vom Prisma bis zum Deckglase einen annähernd gleichen

Brechungsindex haben, seinen Weg bis zur oberen Fläche des letzteren und erleidet dort an der Grenze der zwischen Deckglas und Vorderfläche des Objectivsystemes befindlichen Luftschicht eine vollständige Zurückwerfung, ohne dass irgend directes Licht von dem Beleuchtungsapparat aus zu dem Objectivsysteme gelangen könnte. Das Sehfeld des Mikroskopes erscheint somit vollkommen dunkel und das kleine Object, dessen Abbildung nur durch die abgelenkten Lichtbüschel bewirkt wird, mehr oder minder stark leuchtend.

Für stärkere Vergrößerungen, die mittelst Objectivsystemen von 6 bis 2 mm Brennweite und mässiger oder grösserer Oeffnung erzielt werden, eignen sich für diese Art der Beleuchtung recht gut die weiter oben besprochene planconvexe Beleuchtungslinse in Verbindung mit den scheibenförmigen, den grössten Theil der Achsenstrahlen abschneidenden Blendungen oder ein abgestumpfter Glaskegel, dessen kleinere geschwärzte Grundfläche nach unten gewendet ist, indem dabei nur die ganz am Rande durchgehenden Strahlen stark convergirend auf das Object treffen; ferner die früher besprochenen, besonders zu diesem Zwecke construirten Apparate, *Wenham's* Paratoloid etc., namentlich aber auch der *Abbe'sche* Beleuchtungsapparat.

Bei allen diesen Apparaten gestaltet sich die Beleuchtungswirkung, sobald das im Focus der Beleuchtungslinse befindliche Object mittelst einer durchsichtigen, eine spiegelnde obere Grenzfläche besitzenden

Schicht — Deckglas — bedeckt ist, stets so, als ob neben der unter dem Präparate befindlichen lichtstrahlenden Halbkugel eine eben solche — ihr von dem Deckglase entworfenen Spiegelbild — oberhalb des Präparates, aber mit stark vermindeter Leuchtkraft thätig wäre und es bleibt nur übrig, denjenigen Theil der unteren Beleuchtungsfläche unwirksam zu machen, welcher directe Lichtstrahlen in das Mikroskop sendet. Dies geschieht bei den ersten Vorrichtungen auf die beschriebene Weise, bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat durch eine Blende, welche an schmalen Ringe mittelst dünner Speichen — je nach der Oeffnung des Beleuchtungssystemes — eine mittlere Scheibe von 12 bis 17 mm Durchmesser trägt. Man kann so noch ganz gut bei 300- bis 600 fachen Vergrößerungen beobachten, während das Sehfeld fast vollständig dunkel bleibt und man den Gegenstand für dessen Abbildung bei Immersionssystemen nur die im Objecte abgelenkten, und zwar vorzugsweise abgebeugten Strahlen wirksam werden, gleichsam selbstleuchtend auf schwarzem Grunde erblickt.

Beträgt indessen der Oeffnungswinkel der zu gebrauchenden Objectivsysteme mehr als 40° bis 50° , so muss derselbe durch Abblendung der äusseren Zone mittelst über der hinteren Linse des Objectivsystemes eingelegter Blendungen entsprechend verkleinert werden und das Auflösungsvermögen wird in gleichem Maasse vermindert.

Für alle solche Beobachtungen in dunklem Sehfelde, welche unter Ausnutzung des vollen Auflösungsvermögens angestellt werden sollen, ist der Ausschluss des directen Lichtbüschels erst nach seinem Durchgange durch das Objectivsystem mittelst einer hinter dem letzteren angebrachten, undurchsichtigen Centralblende zu bewerkstelligen, indem dann der ganze Theil des Beugungsspectrums, welcher der numerischen Apertur entspricht, mit Ausschluss des Hauptmaximums zur Wirksamkeit gelangt.

3. Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes.

558 Von grosser Wichtigkeit erscheint für den Gang der mikroskopischen Beobachtung die Regulirung der im ersten Buche theoretisch betrachteten Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes.

Was zunächst die von verschiedenen Mikrographen empfohlenen Lichtquellen betrifft, so mögen immerhin einzelne Fälle vorkommen, welche zu nächtlichem Gebrauche des Mikroskopes Veranlassung geben oder in denen unzureichende Tagesbeleuchtung der Beobachtung hinderlich wird. Solche Fälle können dann allerdings zur Verwendung von durch blaue Gläser oder in eine Kugel gefüllte Kupferoxydammoniaklösung abgedämpften, etwa einer mässigen Tagesbeleuchtung gleichkommenden Lampenlichtes nöthigen. Im Allgemeinen aber muss ich mich zufolge langjähriger Erfahrungen dahin aussprechen, dass für tüchtige wissen-

schaftliche Beobachtungen einzig und allein das Tageslicht geeignet ist. Man hat in dieser Beziehung vielfach hin und her gestritten, ob weisses Wolkenlicht, das Licht, welches von einer weissen Wand reflectirt wird, oder endlich das Licht eines unbedeckten blauen Himmels günstiger wirke. Alle diese Streitereien aber führen zu keinem Ziele, indem man eben doch meistens genöthigt sein wird, das Licht so zu verwerthen, wie es zu Gebote steht, und nur einzelne Beobachtungen zurückstellen kann, bis eine gewünschte Beleuchtung eintritt. Dass ein aschgrau bezogener Himmel der mikroskopischen Beobachtung nicht günstig ist, steht allerdings fest. Allein selbst ein solcher wird nicht gänzlich eine wissenschaftliche Beobachtung hindern. Für die feineren Untersuchungen ist ein gleichmässig und hell bezogener, gleichsam dünn verschleierter Himmel am günstigsten und eignet sich hierzu weit weniger ein unterbrochen bewölkter oder ganz klarer blauer Himmel. Von H. v. Mohl wird zwar gerade das blaue Himmelslicht als das allergünstigste genannt. Ich kann aber in dieser Beziehung ebensowenig, als andere Mikroskopiker mit diesem Forscher übereinstimmen, und finde gerade bei dieser Beleuchtung das Bild weit weniger scharf und schön, als selbst bei nicht zu dunkel bewölktem Himmel. Der Grund, warum das von einem blauen Himmel zurückgeworfene Licht weniger geeignet ist, soll nach Brücke darauf beruhen, dass die organischen Körper nicht ganz frei von innerer Farbenzerstreuung sind und dass sie demzufolge bei durchgehendem Lichte, welches ein Uebergewicht von stark brechbaren Strahlen besitzt, wie dies bei dem blauen Himmelslichte der Fall ist, selbst leuchtend werden, wodurch die Deutlichkeit des negativen Netzhautbildes abnimmt. Um diese nachtheilige Eigenschaft, deren Erklärung ich einstweilen dahin gestellt lassen will, zu beseitigen, wurde vom genannten Forscher (Bericht der K. K. Akademie, Bd. 21, Heft 2, 1856) der Gebrauch eines 2 bis 3 mm dicken Objectträgers aus Uranglas empfohlen, weil dieses letztere im Stande sei, die violetten und blauen Strahlen für das Auge theilweise wegzunehmen, theilweise in Strahlen von längerer Schwingungsdauer, d. h. von geringerer Brechbarkeit zu verwandeln. Ich habe einen solchen Objectträger verschiedentlich versucht, konnte mich aber bis jetzt von einem besonderen Vortheile nicht überzeugen; ich finde viel eher einen Nachtheil darin, dass er bei den feinen Cylinderblenden das Licht schmälert, indem er vermöge seiner Dicke das Object zu weit über die Blendungsöffnung hebt.

Die Beleuchtung mittelst monochromatischen Lichtes, welche namentlich von Brewster empfohlen wurde, um die Farbenabweichung gänzlich zu beseitigen, gewährt unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen nur bis zu mittelstarken Vergrösserungen nennenswerthe Vortheile, da bis jetzt kein Mittel gefunden worden ist, ihr — directes Sonnenlicht ausgenommen — eine solche Stärke zu verleihen, dass man mittelst derselben bei stärkeren Objectivsystemen eine ausreichende Beobachtung ausführen könnte.

Für erstere Vergrösserungen ist namentlich das hellgrüne Licht zu empfehlen, welches durch überall käuflich zu habende dünne grüne Gläser sich herstellen lässt, die man zwischen Blendung und Spiegel anbringen oder bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat auf die Blendungscheibe legen kann.

Unter Anwendung directen Sonnenlichtes oder ausreichend intensiven künstlichen Lichtes gestattet das einfarbig rein blaue Licht, welches man mittelst der früher (S. 603, 617 u. f.) beschriebenen Apparate, passend gefärbter Gläser oder Kupferoxydammoniaklösung herstellen kann, für die Beobachtung feiner Streifungen und dergleichen insofern eine weitere Ausnutzung des Auflösungsvermögens, als dessen Wellenlänge in dem Verhältnisse von etwa 45 : 55 gegen diejenige des weissen Lichtes verkürzt erscheint.

Als eine für die Bildschärfe wichtige Vorsichtsmaassregel sei noch, bevor wir zur Verwendung des Beleuchtungsapparates übergehen, diejenige erwähnt, dass man den Einfluss des von der Seite einfallenden Lichtes auf das Object möglichst zu vermeiden suchen muss, weil dadurch nicht selten Undeutlichkeiten in dem Bilde veranlasst werden. Wenn bei den stärkeren Objectivsystemen schon deren kurzer Abstand von der Oberfläche des Deckglases das Einfallen seitlichen Lichtes hindert und Vorsichtsmaassregeln in dieser Beziehung weniger nöthig macht, so werden diese bei schwächeren, weit abstehenden Objectiven dagegen um so nothwendiger. Am einfachsten hilft man sich durch einen innen geschwärzten Ring von Pappe, welcher den Gegenstand umgiebt, ohne das Mikroskoprohr und den Objectträger in ihren Bewegungen zu behindern. Ein einfacher schwarzer, vor dem Mikroskope aufgestellter Schirm genügt indessen auch schon und kann zugleich dazu dienen, das störende Licht von dem Auge abzuhalten, was oftmals wünschenswerth ist und sich auch, falls man nicht eine der früher beschriebenen Vorrichtungen benutzen will, durch Beschatten mittelst der linken Hand erreichen lässt. Am gründlichsten genügt indessen hier allen Anforderungen nach jeder Seite hin der schon auf Seite 557 besprochene Flügel'sche Kasten.

In Bezug auf die Verwendung des Beleuchtungsapparates bilden die Ausdehnung der zur Verfügung stehenden ursprünglichen Lichtquelle, sowie die Beschaffenheit des zu untersuchenden Objectes vorzugsweise die maassgebende Richtschnur.

Das nächste Ziel, welches man zu erreichen suchen muss, ist das, eine möglichst gleichmässige Beleuchtung des ganzen Sehfeldes zu erlangen und namentlich eine einseitige Erhellung desselben zu vermeiden. Eine etwas stärkere Beleuchtung der Mitte des Gesichtsfeldes als des Randes ist indessen nicht schädlich, nur darf der letztere nicht ganz verdunkelt erscheinen, weil dadurch für das beobachtende Auge ein zu greller Gegensatz herbeigeführt wird.

559 **Centrale Beleuchtung.** Für die wissenschaftlichen Beobachtungen wird, wie aus der Theorie der Beleuchtung (S. 73 u. f.) und der Bild-

erzeugung (Buch I, Abschnitt II) sowie aus den Betrachtungen über das Abbildungsvermögen (S. 309 u. f.) hervorgeht, die centrale Beleuchtung oder Beleuchtung mit sogenanntem geradem Lichte, bei der die Achse des Beleuchtungskegels von einem nur einen kleinen Theil der freien Objectivöffnung einnehmenden (in der Austrittspupille gemessenen) Durchmesser in die Achse des Instrumentes trifft, zur Anwendung kommen müssen. Die Maxima zweiter Ordnung der durch eine bestimmte Objectstructur erzeugten Beugungsfigur, mögen dieselben, wie bei regelmässiger Gruppierung der beugenden Elemente, deutlich durch dunkle Zwischenräume getrennt erscheinen, oder mögen sie, wie bei unregelmässigen Structuren als eine zusammenhängende Lichtvertheilung auftreten, sind nämlich entweder regelmässig oder mehr minder symmetrisch um das Hauptmaximum (das directe Bild der secundären Lichtquelle) gruppiert. Erscheint nun das Beugungsspectrum aller einfallenden Strahlen — bei im Verhältniss zur numerischen Apertur ausreichend grossen Maassverhältnissen der Objectstructur — dichter zusammengedrängt, so findet dasselbe in seiner ganzen Ausdehnung, wenigstens bis zu den Grenzen unmerklicher Intensität der abgebeugten Strahlen in der Austrittspupille Raum. Wird die Beugungsfigur dagegen — bei kleineren Maassverhältnissen — eine ausgedehntere, so tritt sie nur mit einem Theil der lichtstärkeren Einzelspectren in der freien Oeffnung auf. In beiden Fällen aber bietet nur die gedachte Beleuchtungsweise die Gewähr, dass das Beugungsspectrum entweder vollständig oder in gewissem Umfange seines mittleren Theiles für die Bildentwicklung zur Wirkung kommt und man hat dann im einen Falle ein wirklich objectähnliches Bild, im anderen aber in dem Bilde verlässlichere Anzeichen einer typischen dem mittleren Theile der Beugungsfigur entsprechenden Structur vor sich, welche der Bildähnlichkeit umsomehr nahe kommen, je weniger abgebeugtes Licht von merklicher Leuchtkraft verloren geht. Hieraus ergibt sich aber der wichtige Schluss, dass eine vollständige und genaue Erkenntniss der wirklichen Beschaffenheit der Objecte von dem Mikroskope nur bis zu solcher Grenze der Kleinheit zu erwarten ist, innerhalb deren noch Alles mit centraler Beleuchtung erkannt werden kann.

Würde man einen breiten, einen grösseren Theil oder den ganzen Raum der Objectivöffnung ausfüllenden, also die centrale, wie verschiedengradige, bis zur äusserst schiefen reichende excentrische Beleuchtung in sich vereinigenden Beleuchtungskegel verwenden, so würde das mikroskopische Bild eine Mischung (Uebereinanderlagerung) vorstellen aus dem vollständigen Bilde, welches die centralen Strahlen möglicherweise, d. h. bei genügend grosser numerischer Apertur im Vergleich zu den Ausmassen der Objectstructur, ergeben, und den vielen mehr oder minder unvollständigen Bildern, welche die schiefen Strahlen gleichzeitig entwerfen werden, und könnte demgemäss im Allgemeinen weniger genau der wirklichen Beschaffenheit des Objectes entsprechen.

Von der höchsten Wichtigkeit ist die Abstufung der Beleuchtung, welche sich nach der Beschaffenheit des zu beobachtenden Gegenstandes richten muss. Gerade hierin liegt eines der bedeutsamsten Hilfsmittel, um sich in überzeugender Weise über feinere Structurverhältnisse zu unterrichten und ist von ihrer geschickten Benutzung der Erfolg einer Beobachtung oft in nicht geringem Grade abhängig. Zu diesem Zwecke eignen sich die versenkbaren Cylinderblendungen oder der Abbe'sche Beleuchtungsapparat mit ausreichender Zahl von Blendungen am besten, weil mittelst derselben so feine Unterschiede in der Beleuchtung zu erzielen sind, wie man sie durch keine andere Vorrichtung zu erreichen im Stande ist.

Ueber die Stärke der Beleuchtung lassen sich allgemeine Vorschriften kaum geben. Fände die mikroskopische Beobachtung unter den gleichen physischen Bedingungen statt, wie das Sehen mit freiem Auge, so würde als die günstigste Erhellung des Bildfeldes diejenige anzusehen sein, welche der Helligkeit des Sehens mit freiem Auge gleichkommt und wie wir gesehen haben, erreicht wird bei einer Vergrößerung

$$[N] = \frac{250}{\pi} \cdot a \text{ (Seite 212)}$$

bei der die Bedingung $p^{**} = \pi$ (Halbmesser der Austrittspupille des ganzen Mikroskopes gleich dem Halbmesser der Pupille des beobachtenden Auges) erfüllt ist.

Nehmen wir nun π , das für mittlere Verhältnisse = 2 mm, für recht helles Tageslicht zu 1,25 mm, so erhalten wir für die in runden Zahlen ausgedrückten numerischen Aperturen von 0,15, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,85, 1,00, 1,10, 1,25, 1,40, da

$$[N] = \frac{250}{1,25} \cdot a = 200 \cdot a$$

wird, folgende Vergrößerungszahlen, bei welcher wir die Helligkeit des freien Sehens haben. 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 170, 200, 220, 250 und 280. Daraus ersehen wir, dass wir selbst unter dieser günstigen Voraussetzung für die Grösse von π und bei Benutzung eines die volle Objectivöffnung ausfüllenden Beleuchtungskegels mit normal construirten Objectivsystemen die Helligkeit des Sehens mit freiem Auge nur mittelst der geringsten gebräuchlichen Vergrößerungen der schwächeren und mittleren Trockensysteme von 30 bis 6,5 mm Brennweite, der Wasserimmersionssysteme von 4 bis 3 mm Brennweite und der Systeme für homogene Immersion von etwa 3 mm Brennweite (und mindestens 1,25 numerischer Apertur) zu erreichen im Stande sein und in Bezug auf die meisten für die feineren wissenschaftlichen Untersuchungen in Betracht kommenden Vergrößerungen hinter ihr ziemlich ansehnlich zurück bleiben würden.

Nun lehren aber Theorie und Erfahrung, wie die obige Betrachtung, dass enge oder mässig weite Beleuchtungskegel die strengste Bildähnlichkeit bedingen und am besten definirend wirken und man wird daher

im Allgemeinen und in der Regel nicht einen die volle Objectivöffnung ausfüllenden, sondern (auch bei den schwachen Systemen) einen durch entsprechende Blendungen eingengten Beleuchtungskegel von $0,12$, 14° , bis $0,40$, etwa 50° [die fünf engsten Blendungen des Abbe'schen Beleuchtungsapparates geben Lichtkegel von $0,12$ (14°), $0,16$ (18°), $0,21$ (20°), $0,31$ (36°) und $0,35$ (42°)] Oeffnung zur Anwendung bringen, welcher nur einen kleineren Theil jener Oeffnung einnimmt und eine Randzone von entsprechender Breite frei lässt, die den Beugungsbüscheln aller einfallenden Strahlen, welche allein das Bild erzeugen, freien Spielraum gestattet. Die Helligkeit des freien Sehens kann also weder im Allgemeinen, noch da, wo sie bei den zur Erkennung der Structureinzelheiten nothwendigen Vergrößerungen noch zu erreichen sein würde, als Maassstab für die Regulirung der Beleuchtungsstärke dienen.

Das Maass der Erhellung des Bildfeldes und damit die Weite der zu verwendenden Beleuchtungskegel, innerhalb des eben gegebenen Rahmens wird immer für jeden besonderen Fall von der Beschaffenheit der Objectstructur und der durch sie in dem Bildfelde hervorgerufenen Lichtvertheilung abhängen und dahin zu bestimmen sein, dass man diejenige Lichtstärke zur Beobachtung wähle, bei welcher die die scharfe Abbildung bedingenden Lichtcontraste am deutlichsten hervortreten. Je zarter das Object ist und je schwieriger die zu erforschenden Structurverhältnisse zu sehen sind, um so mehr Sorgfalt wird man auf die Abstufung der Beleuchtung zu verwenden haben. Je weniger Durchsichtigkeit dagegen das Object besitzt, desto mehr muss in der Regel die Erhellung gesteigert und das Licht durch Verwendung geeigneter Blendungen auf dem Objecte oder den der Durchforschung unterworfenen Theilen desselben concentrirt werden.

Die von Dr. Koch zuerst durchgeführte und empfohlene — im Allgemeinen nicht statthafte — Verwendung des die volle Objectivöffnung ausfüllenden Beleuchtungskegels, wie ihn übrigens für Systeme über 40° Oeffnung hinaus nur der Abbe'sche oder ein ähnlicher Beleuchtungsapparat ergeben, kann thatsächlich in einzelnen Fällen von entschiedener Bedeutung werden. So z. B. entfaltet diese Beleuchtungsweise überall da eine vorzügliche Wirkung, wo es sich darum handelt, sehr kleine, mit anderen Structuren verwebte, Structurelemente oder isolirte Körperchen zur Anschauung zu bringen, welche entweder von selbst oder durch künstliche Veranstaltung: Färbung und dergleichen lichtabsorbierend wirken und so sichtbar bleiben, während jene sich bloss durch Unterschiede in dem Brechungsvermögen von einander abhebende Elemente bei der allseitigen, von dem vollen Beleuchtungskegel ausgehenden Durchstrahlung des Präparates verschwinden.

Schiefe Beleuchtung. Für manche feinere Structurverhältnisse, 560 namentlich solche, deren Elemente, welcher Art sie sonst sein mögen, regelmässig gruppirt erscheinen, z. B. in Form von einfachen, oder sich unter beliebigem Winkel kreuzenden Liniensystemen angeordnet sind, und

so geringe lineare Ausmessungen besitzen, dass die durch sie erzeugte Beugungsfigur eine grosse Ausdehnung erlangt und bei geradem Lichte höchstens zum kleineren Theile von dem Objectivsystem aufgenommen werden kann, erlangt die schiefe Beleuchtung, bei der die Achse des Beleuchtungskegels gegen die optische Achse des Mikroskopes mehr oder minder geneigt erscheint, ihre Bedeutung, während sie für alle solche Structuren, welche eine nur wenig ausgedehnte Beugungsfigur erzeugen und objectähnliche Bilder gewähren, ausser Anwendung bleiben kann und eher Nach- als Vortheile gewährt. Das Wesen der schiefen Beleuchtung besteht nämlich darin, dass, während das directe Bild der lichtgebenden Fläche (des Spiegels oder der Blendung) bei möglichst schiefem Einfall an den einen Rand der Austrittspupille des Objectivsystemes tritt, nach der entgegengesetzten Seite hin auch noch Beugungsbüschel Zutritt zu derselben erlangen können, für welche der Sinus ihres Ablenkungswinkels über den Sinus des halben Oeffnungswinkels hinausgeht, beziehentlich dem Zweifachen desselben gleich wird. Hat man daher einen Gegenstand bei centralem Lichteinfall auf das Genaueste untersucht und es bleiben auch dann noch Anzeichen der Structurverhältnisse verborgen oder zweifelhaft, so schreite man zur Anwendung der excentrischen Beleuchtung, bei der es nach dem eben Gesagten zunächst darauf ankommt, den directen Lichtkegel soweit nach dem Rande der Objectivöffnung zu leiten, als es mit der Helligkeit des Sehfeldes verträglich erscheint. Dieses sucht man dadurch zu erzielen, dass man dem Spiegel verschiedene Stellungen ausserhalb der Achse des Instrumentes giebt, also das Licht so lange unter möglichst verschiedenen Neigungswinkeln auf das Object leitet, bis die möglichst günstige Wirkung erreicht ist, oder indem man, was rascher zum Ziele führt, nach Wegnahme des Oculares in den Tubus hinabsieht und das Bild des Spiegels oder der Blendung an den Rand der Austrittspupille führt. Dann ist in Beziehung auf die Dimensionen des zu beobachtenden Gegenstandes ein möglichst umfassender Wechsel in der Richtung der einfallenden schiefen Lichtstrahlen zu erstreben, indem man jenen entweder mit der blossen Hand in die erforderlichen Stellungen bringt, oder, wo Tisch oder Blendungsträger drehbar sind, diese in dem entsprechenden Grade um die optische Achse bewegt. Bei manchen Körpern und Präparaten wird man gut thun, die volle Umdrehung zu durchlaufen, um sich eine möglichst vielseitige Ansicht zu verschaffen. Bei anderen, wo man z. B. die oben erwähnten Liniensysteme nacheinander einzeln zur Anschauung bringen will, wird man das schiefe Licht unter rechtem Winkel gegen den Verlauf nach dem Objecte zu lenken und ausserdem sogar die Seite zu berücksichtigen haben, von der aus man das Licht werfen muss, um ein möglichst scharfes und deutliches Netzhautbild zu erhalten ¹⁾. Dem

¹⁾ Bei den schwierigeren Probeobjecten erkenne ich die Structurverhältnisse am besten, wenn das schiefe Licht von der dem Fenster gegenüberstehenden Seite — von hinten — einfällt.

Anfänger ist es daher auf das Angelegentlichste zu empfehlen, sich bei gleichzeitiger Beobachtung der Austrittspupille und der darin auftretenden Beugungsfigur an passenden Objecten, wozu namentlich die schwierigeren Diatomeenschalen gehören, mit der Anwendung und Wirkungsweise der schiefen Beleuchtung vertraut zu machen.

Letztere, wie die Bedeutung der schiefen Beleuchtung, sind vor dem Erscheinen der Abbe'schen Beiträge zur Theorie des Mikroskopes und der mikroskopischen Wahrnehmung allgemein verkannt und überschätzt worden und werden dies von manchen Mikroskopikern noch jetzt, indem sie von derselben Aufklärungen erwarten, welche sie durchaus nicht zu geben im Stande ist.

Dass die schiefe Beleuchtung, wo sie bei gerader Beleuchtung nicht sichtbare Structureinzelheiten zur Anschauung bringt, dies nicht durch Erzeugung von Schatten bewirkt, lehren sowohl die Theorie, wie Erfahrung und Versuch. Die erstere lehrt, dass, wenn der geradlinige Verlauf der Lichtwellen durch sehr kleine, in ihrem Ausmaasse nur wenige Wellenlängen oder Bruchtheile der Wellenlänge erreichende Körperchen unterbrochen wird, weder Brechungen wie in grösseren prismatischen oder linsenförmigen Körpern stattfinden, noch Schattenwirkungen hervorgeufen werden. Demgemäss bleibt denn auch die Wirkung der schiefen Beleuchtung ganz dieselbe sowohl für Objecte, welche möglicherweise Schatten werfen könnten, wie für solche, bei denen diese ganz ausser Betracht kommen. Mittelst des Diamantes in eine ebene Glasfläche gezogene Furchenzeichen verhalten sich gegen dieselbe gerade so, wie in eine verschwindende dünne Silberschicht gezogene Liniensysteme. Ein Liniensystem ersterer Art, welches mit einem Objectivsystem von bestimmter numerischer Apertur bei centraler Beleuchtung nicht, wohl aber bei schiefer gelöst wird, bleibt unsichtbar, wenn man dasselbe bei ersterer Beleuchtung gegen die Achse des Mikroskopes und des einfallenden Lichtkegels neigt, wird aber sofort sichtbar, wenn (bei gleichbleibender Lage des Präparates) dem einfallenden Lichtkegel eine geneigte Lage gegen die Mikroskopachse gegeben wird. Darin liegt aber der Beweis, dass die Wirkung der schiefen Beleuchtung nicht auf der Neigung der beleuchtenden Lichtstrahlen gegen die Ebene des Objectes, sondern gegen die optische Achse beruht.

Zur Erzielung der Objectähnlichkeit des mikroskopischen Bildes kann die schiefe Beleuchtung keineswegs verhelfen, da bei Objecten, deren volles Spectrum in der Austrittspupille Raum findet, wie bei denjenigen, von deren Beugungsfigur nur ein kleinerer Theil aufgenommen wird, im günstigsten Falle nur die eine Hälfte des vollen Spectrums oder dieses Theiles zur Wirksamkeit gelangen kann, während die andere abgeblendet wird, im anderen Falle aber der wirksame, nicht abgeblendete Theil des Beugungsspectrums eine ganz andere Anordnung der Einzelspectren ergeben kann, als sie der genau hälftigen Abblendung entspricht. Bei dieser Beleuchtungsweise kann daher selbst für verhältnissmässig

größere Structuren im Allgemeinen keine vollständige Aehnlichkeit mehr zwischen Object und Bild bestehen. Vor allem aber gehören alle Bilder von solchen Structuren, welche erst schiefer Beleuchtung zugänglich werden, ohne Einschränkung in die Reihe der unvollständigen oder typischen, mehr oder minder schematischen, Abbildungen.

Der einzige Erfolg, welcher durch die schiefe Beleuchtung — und zwar nur in Bezug auf das Auflösungsvermögen für regelmässige feine Structuren — erzielt wird, beruht auf der berührten Lagenänderung des Beugungsspectrums und so erreicht man mittelst ihrer, in gewissem Sinne und in gewissem Umfange, dasselbe Resultat, wie mittelst Vergrößerung des Öffnungswinkels.

- 561 **Beleuchtung mittelst Doppelkegel.** Eine eigenartige Beleuchtung mittelst doppelter Strahlenkegel erfordert die stereoskopische Beobachtung bei stärkeren, über 300fach hinausgehenden Vergrößerungen, wenn der betreffende Apparat seine volle Wirkung entfalten soll. Wie wir früher schon berührt haben, beruht das stereoskopische Sehen ausschliesslich auf der ungleichen Neigung der die beiden Bilder erzeugenden Strahlenkegel gegen die Ebene des Objectes oder gegen die Achse des Mikroskopes. Bei der gleichmässigen Halbierung der Strahlenkegel erreicht nun, falls die ganze Öffnung des Objectivsystemes von Strahlen erfüllt ist, der Unterschied der Beleuchtungsrichtungen am Objecte annähernd den halben Öffnungswinkel und es wird bei der früher beschriebenen einseitigen Halbierung das directe Bild durch eine mit seiner Achse zur Ebene des Objectes senkrecht stehenden, das abgelenkte aber durch einen mit seiner Achse etwa um den vierten Theil des Öffnungswinkels geneigten Strahlenkegel erzeugt. Nun ist bei schwachen Vergrößerungen, welche eine verhältnissmässig grosse Tiefenperspective zulassen, der geringe Neigungsunterschied, der im letzteren Falle übrig bleibt, ausreichend, um einen sehr ins Auge fallenden Unterschied der Perspective hintereinander liegender Schichten in dem einen Bilde hervorzurufen, während bei stärkeren, selbst bei doppelseitiger Halbierung, die Differenzirung der beiden Bilder durchaus nicht mit dem zunehmenden Öffnungswinkel Schritt hält, so lange die gebräuchliche gerade Beleuchtung zur Anwendung kommt. In diesem Falle erfüllt nämlich der Beleuchtungskegel keineswegs die volle Öffnung des Objectivsystemes, sondern nur einen verhältnissmässig kleinen, etwa 40° Winkelraum umfassenden mittleren Theil derselben und es ist somit, da solche Theile des Objectes, welche überhaupt eine körperliche Auffassung gestatten, bei Beobachtung in durchfallendem Lichte im Wesentlichen stets durch durchgehende Strahlen abgebildet werden, die Verschiedenheit der beiden Bilder nicht auf den vollen Öffnungswinkel des Objectivsystemes, sondern auf den viel kleineren Öffnungswinkel des Beleuchtungskegels gegründet, welcher nur verhältnissmässig geringe Neigungsunterschiede der abbildenden Strahlen gegen das Object zulässt. Nun ist aber einleuchtend, dass beim Gebrauche von Objectivsystemen mit kleiner Brennweite und entsprechend grosser

numerischer Apertur, in Bezug auf Parallaxe eine viel weiter gehende Differenzirung der beiden Bilder erreicht werden kann, wenn an Stelle eines axialen Strahlenkegels zwei gegen die Achse entgegengesetzt geneigte Kegel derart zur Beleuchtung verwendet werden, so dass ein Bild von dem einen, das zweite von dem anderen erzeugt wird. Eine derartige Beleuchtung lässt sich nun mittelst des Abbe'schen oder eines ähnlichen Beleuchtungsapparates durch Verwendung der erwähnten Doppelblendungen leicht herstellen und man hat es in der Gewalt, Weite und Neigung der Beleuchtungskegel nach Bedürfniss zu ändern. Auf diese Weise lässt sich die numerische Apertur stärkerer Objectivsysteme zu Gunsten einer gesteigerten stereoskopischen Wirkung ausnutzen, ohne dass man unvortheilhaft weite, die Deutlichkeit des Bildes und die Focustiefe beeinträchtigende Strahlenkegel zu verwenden nöthig hat.

Die Austrittspupillen müssen hierbei selbstverständlich beide halbseitig abgeblendet werden, damit das eine Bild nur von dem einen, das zweite nur von dem anderen der beiden Beleuchtungskegel Licht empfängt. Die Lichtvertheilung in beiden Pupillen entspricht dabei dem nebenstehenden Schema (Fig. 522) und es versteht sich ohne Weiteres, dass

Fig. 522.



die Helligkeit des Bildes für beide Augen zusammen genau dieselbe ist, welche einer der beiden Strahlenkegel ohne Abblendung ergeben würde.

Diese Beleuchtungsweise setzt sehr vollkommen corrigirte und genau berichtigte Systeme voraus, wenn die Schärfe des Bildes nicht leiden soll, gestattet dann aber noch äusserst treffende stereoskopische Wirkungen mit Objectivsystemen von 2 mm und weniger Brennweite, sobald die betreffenden Objecte in einem geringen Tiefenraume eine charakteristische Gliederung darbieten.

II. Verwendung des bilderzeugenden Apparates.

1. Wahl der Objectivsysteme und Oculare.

Für Wahl und Verwendung des abbildenden Apparates — Objectivsystem und Ocularapparat — kommen vorzugsweise drei Gesichtspunkte in Betracht: Erstens die Fähigkeit desselben, von einem vorliegenden Objecte oder einer Structur überhaupt ein Bild zu erzeugen, zweitens das Maass der Vergrösserung und drittens der Grad der Erhellung des Sehfeldes, bei welchen dieses Bild dem Auge mit ausreichender Deutlichkeit zur Anschauung gebracht werden kann.

Erstere Fähigkeit in ihren verschiedengradigen Abstufungen wird — unter Voraussetzung der möglichst vollkommenen Construction — bekanntlich einzig und allein durch die numerische Apertur der Objectivsysteme bedingt. Wir haben demgemäss zunächst dasjenige im Allgemeinen durch die Gleichungen für a auf Seite 311 bis 318 bestimmte Maass der Oeffnung in Aussicht zu nehmen, welche für Objecte und Structuren von gegebenen linearen Ausmaassen und je nachdem eine Object und Structur getreu oder möglichst getreu wiedergebende, oder eine typische nur die Anzeichen der Structur darbietende Abbildung erzielt werden soll oder kann, in Anwendung zu kommen hat. Haben wir es mit groben Structuren zu thun, deren lineare Ausmaasse sehr grosse und grosse Vielfache der Wellenlänge des weissen Lichtes — bis etwa $8 - 6 \mu$, äussersten Falles selbst bis $4 - 3 \mu$ herab — betragen, so dass alles durch sie abgebeugte Licht in einem sehr kleinen Winkelraum enthalten ist, dann wird schon eine sehr kleine für die typische, eine verhältnissmässig kleine oder mässige numerische Apertur aber zur objectähnlichen Abbildung ausreichen. Bei der Beobachtung derartiger Objecte, welche in der Regel auch eine mehr oder minder deutliche Wahrnehmung der körperlichen Gestaltung wünschenswerth machen, sind bei den mittleren Brennweiten von etwa 16 mm bis 4 mm die sogenannten Arbeitssysteme, wie sie in der Zeiss'schen Serie *A* bis *D* vorliegen, am Platz, welche einen verhältnissmässig grösseren Objectabstand besitzen, gegen die Dicke des Deckglases, wie der Objecte selbst und der sie umhüllenden Flüssigkeitsschicht viel weniger empfindlich sind und eine grössere Sehtiefe gewähren, als solche mit grösserer numerischer Apertur.

Kommen Structuren zur Beobachtung, deren lineare Ausmaasse unter jene und bis auf etwa 2μ herabgehen, so dass der von ihnen erzeugte volle Beugungskegel nur von einem verhältnissmässig grösseren Winkelraume oder dem Raume der Halbkugel, ja — für Luft gerechnet — nicht einmal von diesem umfasst werden kann, dann werden zur typischen Abbildung mässige Oeffnungen noch ausreichen, während man, um objectähnliche oder doch nahezu objectähnliche Bilder zu erhalten, zu Objectivsystemen mit grösserer und möglichst grosser numerischer Apertur greifen muss, welche die von jenen Objecten in ihrer Austrittspupille erzeugte Beugungsfigur entweder ganz oder doch in ihren noch merklich lichtstarken Theilen aufzunehmen im Stande sind. Die mittleren Objectivsysteme mit grösserer numerischer Apertur, die stärkeren Trockensysteme mit numerischen Aperturen bis zu 0,85 und die beiden Gattungen der Immersionssysteme mit numerischen Aperturen von 1,00 bis 1,25 verdienen dann, da es sich in der Regel auch um Objecte handelt, welche entweder von Natur aus sehr dünn sind oder in Form von dünnen Durchschnitten hergestellt werden müssen, den Vorzug. Hier namentlich macht sich die Bedeutung der Immersionsmethode geltend, insofern dieselbe bei der Abbildung eines Objectes innerhalb eines Me-

diums von hohem Brechungsvermögen kürzere Wellenlängen wirksam macht und damit die Winkelausbreitung der Beugungsbüschel verhältnissmässig verkleinert. So z. B. würde ein Beugungskegel, welcher in Luft einen Winkelraum von 180° umfasst, in Wasser und in Cedernholzöl auf einen solchen von je 97° und 82° zusammengedrängt werden.

Liegen endlich Structuren vor, deren lineare Ausmaasse nur sehr kleine Vielfache oder gar Bruchtheile der Wellenlänge des Lichtes betragen, deren Beugungskegel also eine so weite Ausbreitung erlangt, dass in Luft nur noch ein kleiner Theil desselben oder gar keines der abgebeugten Lichtbüschel in dem Winkelraume von 180° Raum findet, so ist selbst unter Verwendung der höchsten bis jetzt erreichbaren numerischen Aperturen keine objectähnliche Abbildung mehr zu erreichen, und man muss Objectivsysteme mit möglichst grossen numerischen Aperturen in Gebrauch nehmen, um möglichst scharf markirte und bei gerader Beleuchtung möglichst an die Bildähnlichkeit heranreichende Anzeichen der betreffenden Structureinzelheiten, d. h. möglichst vollkommen und vollständige typische Bilder zu erhalten. Die hier in Betracht kommenden numerischen Aperturen ergeben sich für regelmässige Structuren, Streifungen, Felderungen u. dgl. und je nachdem eines oder mehrere sich schneidende Streifensysteme zur Anschauung gebracht werden sollen, bei schiefer Beleuchtung aus den Gleichungen auf S. 311 (2), 312 und 313, während für rein centrale wie für die übliche centrale Beleuchtung dieselbe sich für einfache Streifungen unmittelbar aus der Gleichung 1, S. 311

und der Gleichung $\alpha = \frac{\lambda}{e} - \alpha$ (Seite 312) berechnen lässt, für sich

kreuzende Streifungen aber im einen Falle den doppelten, im andern nahezu den doppelten Werth desjenigen α haben muss, welches zur Abbildung des Streifensystems mit grösstem Abstände erforderlich ist.

Einige Beispiele mögen das voranstehend Erörterte noch weiter erläutern. Wenden wir uns zunächst zu einem aus den früheren Versuchen bekannten, künstlichen Objecte, so reicht zur objectähnlichen Abbildung des größeren Streifensystemes der Abbe'schen Diffractionsplatte mit 15μ Abstand bekanntlich schon ein Objectiv mit etwa 0,15 numerischer Apertur (17° Oeffnungswinkel) aus, da der Sinus des Ablenkungswinkels des ersten abgebeugten Lichtbüschels = 0,036 und demgemäss in der obigen Oeffnung jederseits von dem absoluten Maximum noch mindestens drei Spectra Raum finden. Engen wir durch eine der bei den früheren Versuchen besprochenen Blendungen die Oeffnung auf etwa 0,05 bis 0,06 (ca. 6 bis 7°) ein, dann findet jederseits nur noch ein Spectrum Zutritt, es hört demgemäss die objectähnliche Abbildung auf und das Streifen-system erscheint so, als ob es aus gleichbreiten hellen und dunklen Linien gebildet wäre. Aehnliche Verhältnisse zwischen numerischer Apertur und Bildgestaltung zeigen feinere Structuren. Wäre die Structur der quergestreiften Muskeln in einem Zustande der Contraction zu beobachten, wo

dieselbe in Gestalt einfacher Querstreifung mit $3,5 \mu$ Streifenabstand (einem mir vorliegenden Präparat entsprechend) erscheint, so würde sich der Ablenkungswinkel des ersten abgebeugten Lichtbüschels zu 9° und dessen Sinus zu 0,157 ergeben. Es könnten sohin bei centraler Beleuchtung unter Verwendung eines Lichtkegels von 0,16 Oeffnung in einem Trockensysteme mit einer numerischen Apertur von etwa 0,94 (140° Oeffnungswinkel) noch sechs der abgebeugten Lichtbüschel jederseits von dem absoluten Maximum Eintritt erlangen, während in einem Wasserimmersionssystem mit 1,10 numerischer Apertur jederseits noch sieben, in einem System für homogene Immersion mit einer numerischen Apertur von 1,25 noch acht derselben Raum finden würden. Nehmen wir nun an, es sei die Lichtstärke des fünften abgebeugten Lichtbüschels schon so schwach, dass jeder noch weiter abgebeugte nicht wesentlich mehr zur Abbildung beitrage, so würden wir, da diese Lichtbüschel einen Winkelraum von 51° jederseits der Achse umfassen, mit einem Trockensystem, dessen numerische Apertur 0,80 bis 0,85 beträgt, schon eine objectähnliche Abbildung erreichen, welche durch Anwendung der Immersion immerhin noch um etwas an Verlässlichkeit gewinnen könnte. Dem gegenüber würde zur typischen Abbildung, d. h. zu dem eben hervortretenden Sichtbarwerden der Structurgliederung bei rein centraler Beleuchtung eine numerische Apertur von nur 0,16, bei schiefer Belenchtung von nur etwa 0,1 erforderlich werden. Wären die Structurmerkmale von *Pleurosigma attenuatum* mit 10 bis 11 Längsstreifen und 15 bis 16 Querstreifen, welche sich unter rechtem Winkel schneiden, zu beobachten, so würde zur Auflösung der ersteren eine numerische Apertur von 0,27, der anderen von 0,40 zur Sichtbarmachung der beiden Streifensysteme eine solche von 0,50, zur Abbildung der bekannten Felderung aber bei centraler Beleuchtung mittelst eines Lichtkegels von 0,16 Oeffnung eine noch etwas höhere etwa 0,67, endlich bei rein centraler Beleuchtung eine noch höhere $= 0,83$ in Anspruch genommen werden müssen.

- 563 Das geringste Maass der Gesamtvergrößerung, bei welcher die abgebildeten Structureinzelheiten einem normal gebauten Auge unter Annahme einer Sehweite von 250 mm noch zur Wahrnehmung gebracht werden können — die förderliche oder nutzbare Vergrößerung (Seite 297 u. f.) —, wird, wie wir bereits Seite 327 dargelegt haben, im Allgemeinen erhalten, wenn man den numerischen Werth des zum deutlichen Sehen erforderlichen Schwinkels (unter normalen Verhältnissen zwei Bogenminuten) mit der Sehweite multiplicirt und durch das lineare Ausmaass der Structurelemente dividirt. Danach ist

$$N = \frac{250 \cdot 0,000582}{e} = \frac{145,5}{e}.$$

Da nun e , wie die Gleichungen auf Seite 311 bis 318 lehren, für die objectähnliche wie für die typische Abbildung stets durch das numerische Maass a der Oeffnung ausgedrückt werden kann, so ist unter Voraussetzung der Wellenlänge von $0,55 \mu$ allgemein

$$N = \frac{145,5}{m \cdot 0,55} \cdot a,$$

wobei $m = 0,5$ oder $= 1$ — für die typische Abbildung bei äusserst schiefer und rein centraler Beleuchtung — sein, oder auch für die der Objectähnlichkeit sich mehr oder minder nähernde oder dieselbe erreichende jede beliebige ganze oder gemischte Zahl vorstellen kann ¹⁾.

Wollte man sich — um bei dem bekannten und oft gebrauchten Beispiele zu bleiben — eines der Streifensysteme von *Pleurosigma angulatum* noch gerade zur Anschauung bringen, so würde, da hier nach dem früheren zur „Auflösung“ bei äusserst schieferm Lichteinfalle eine numerische Apertur von 0,5 eben ausreicht, eine Gesamtvergrösserung von $529 \cdot 0,5$, also von etwa 265 in Anspruch zu nehmen sein. Zur Sichtbarmachung der beiden Streifensysteme ist nach Seite 313 eine numerische Apertur von 0,58 erforderlich, während $e = \frac{\lambda}{a \sqrt{3}}$. Daraus er-

giebt sich eine Gesamtvergrösserung von $\frac{145,5}{0,55} \cdot a \sqrt{3}$ oder wieder nahezu 265.

Soll endlich — unter Anwendung von centraler Beleuchtung — die Felderung sichtbar gemacht werden, so kann dies unter Verwendung eines Beleuchtungskegels von 0,16 Oeffnung mittelst einer numerischen Apertur von 0,84 geschehen und es berechnet sich die zur Wahrnehmung erforderliche Gesamtvergrösserung auf $264,5 \cdot (0,84 + 0,16)$ oder wieder nahezu 265.

Wir ersehen hieraus, dass für die Beobachtung der hier in Betracht kommenden Structurmerkmale eine gleiche Gesamtvergrösserung für jede Art der Abbildung herauskommt, die sich für eine kleinere Sehweite noch etwas verringern liesse, während sie, falls das beobachtende Auge einen Sehwinkel von drei Bogenweiten bedürfte, auf etwa 400 gesteigert werden müsste.

Das gleiche Verhältniss tritt auch in Bezug auf das eben Sichtbarwerden einer bestimmten Structurgliederung in schematischer Form und deren objectähnlicher Abbildung hervor. Während z. B. die ersten Anzeichen der betrachteten Muskelstructur gemäss der zu ihrer Abbildung in Anwendung zu bringenden numerischen Apertur bei einer Gesamtvergrösserung von etwa 42 eben sichtbar werden, würde die objectähnliche Abbildung eben dieser Structur, welche unter einer

¹⁾ In der Form $N = \frac{145,5}{0,5 \cdot 0,55} \cdot a = 529 \cdot a$ ergibt diese Gleichung die geringste Gesamtvergrösserung, welche in Anwendung gebracht werden muss, um das Auflösungsvermögen einer gegebenen numerischen Apertur zu erschöpfen, während ihre Umkehrung $a = \frac{N}{529}$ die geringste numerische Apertur anzeigt, welche diejenigen Structurmerkmale abzubilden vermag, deren Wahrnehmung durch eine vorliegende Gesamtvergrösserung noch eben erreicht wird.

numerischen Apertur von 0,80 stattfindet, gemäss der Gleichung $\frac{145,5}{m \cdot 0,55} \cdot a$ bei einer Gesamtvergrösserung von gleicher Höhe zur Wahrnehmung gelangen können.

Diese Betrachtung lehrt einerseits, dass wir schon mittelst kleiner und mittlerer Vergrösserungen ansehnlich feine Structurverhältnisse zur Anschauung bringen können und dass selbst so feine Structuranzeichen, wie sie in der XIX. Gruppe der Nobeit'schen Platte vorliegen ($e = 0,22 \mu$) und welche zur Auflösung schon eine numerische Apertur von 1,22 bis 1,25 verlangen, zur Wahrnehmung für ein normal gebautes Auge keine höhere Vergrösserung als solche bis zu etwa 650 nothwendig machen, während dieselbe für ein Auge, das einen Schwinkel von 3' bedürfte, auf nahezu 1000 steigen würde. Auf der anderen Seite geht aus dem zuletzt betrachteten Beispiele hervor, dass die numerischen Aperturen, welche Structurelemente von nur wenige Mikron betragenden Ausmassen zu ihrer objectähnlichen Abbildung verlangen, aus den in der Theorie des Mikroskopes erörterten Gründen die Verwendung von Objectivsystemen mit verhältnissmässig kurzen Brennweiten bedingen, die mit den schwächeren Ocularen schon Vergrösserungen gewähren, welche ansehnlich über die theoretisch geforderten und berechneten hinausgehen.

564 In Bezug auf das Maass der Erhellung des Sehfeldes haben wir bereits die genügenden Anhaltspunkte bei der Betrachtung über Regulirung der Beleuchtung gewonnen. Wollen wir nun für die zur genügenden Flächenausbreitung des von einer bestimmten numerischen Apertur erzeugten Bildes nothwendigen, gemäss der voranstehenden Erörterungen ziffermässig bestimmbar Vergrösserungen die Weite der aus dem Mikroskope austretenden, in das beobachtende Auge gelangenden Lichtbündel und damit die entsprechende verhältnissmässige Erhellung des Sehfeldes kennen lernen, so brauchen wir nur den diesen Vergrösserungen entsprechenden Werth von p^{**} aufzusuchen. Dieser ergibt sich aber, wenn wir für N den oben berechneten Werth einsetzen und die numerische Apertur des zur Anwendung kommenden Beleuchtungskegels wie früher mit α bezeichnen, für centrale und äusserst schiefe Beleuchtung aus den Gleichungen

$$p^{**} = \frac{250 \cdot 0,55}{250 \cdot 0,582 \cdot a} \cdot \alpha = \frac{\alpha}{a} \cdot \frac{0,55}{0,582}$$

und

$$p^{**} = \frac{\alpha}{2a} \cdot \frac{0,55}{0,582}$$

und es geht dieselbe unter Annahme eines die volle Objectivöffnung ausfüllenden Beleuchtungskegels (äusserst schiefe Beleuchtung) für die der Grenze des Auflösungsvermögens entsprechenden Vergrösserungen über in

$$p^{**} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,55}{0,582} = 0,47 \text{ mm.}$$

Hieraus ersehen wir, dass wir selbst unter diesen letzteren, günstigsten Verhältnissen, wenn π wieder = 1,25 mm angenommen wird, weit hinter der Helligkeit des Sehens mit freiem Auge bei sehr hellem Tageslicht zurückbleiben und dass unter den bei der mikroskopischen Beobachtung normalen Beleuchtungsverhältnissen die Erhellung des Bildes noch viel weiter herabgehen muss.

Bei der Beobachtung der Felerung von *Pleurosigma angulatum* bei gerader Beleuchtung mittelst der kleinsten, für ein normales Auge noch ausreichenden Vergrößerung würde z. B. unter Verwendung eines Beleuchtungskegels von 0,2 (wobei $\alpha = 0,80$ zu sein brauchte) die Erhellung des

Bildfeldes, da $p^{**} = \frac{0,2}{0,80} \cdot \frac{0,55}{0,582}$, oder etwa 0,236 wird, etwas weniger als $\frac{1}{28}$ derjenigen des Sehens mit freiem Auge betragen. Diese letztere Helligkeit würde bei einem $\alpha = 0,2$ nur bis zu 40facher Vergrößerung bestehen, während oben eine mehr als 200 malige vorausgesetzt werden musste.

Die Auflösung der Streifung von *Amphipleura pellucida* würde selbst unter Anwendung eines Beleuchtungskegels von 0,40 nur bei einem p^{**} von etwa 0,17 mm und damit bei einer Erhellung des Bildes von $\frac{1}{63}$ stattfinden können.

Bei der objectähnlichen Abbildung können sich die Verhältnisse je nach den linearen Ausmassen der zu beobachtenden Structuren sowohl günstiger, als ungünstiger gestalten, wie bei der typischen Abbildung, welche den Ausgangspunkt für die voranstehenden Gleichungen und Beispiele bildet. Nehmen wir eine Structur mit $e = 7 - 8\mu$, deren objectähnliche Abbildung eine numerische Apertur von 0,40 erforderte, so würde diese in einem normal construirten Objectivsysteme von etwa 10 mm Brennweite gegeben sein und die geringste durch dieses System zur Verfügung gestellte Gesamtvergrößerung (unter Benutzung eines der schwächsten gebräuchlichen Oculare) ungefähr 70 betragen. Diese Vergrößerung bedingt aber unter Verwendung eines Beleuchtungskegels von 0,12 oder 0,16 (14° bis 18°) ein p^{**} von 0,42 oder 0,57 mm und eine Erhellung von etwa $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{5}$.

Die zur objectähnlichen Abbildung der weiter oben besprochenen Muskelstructur erforderliche numerische Apertur von 0,80 würde in einem Trockensysteme von etwa 4 mm Brennweite gegeben sein, das eine geringste Gesamtvergrößerung von 170 gewährt. Daraus aber ergibt sich bei der vorhin vorausgesetzten Oeffnung des Beleuchtungskegels ein Halbmesser der Austrittspupille von 0,17 oder 0,23 mm, also eine Erhellung von ungefähr $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{22}$. Läge endlich eine Structur vor, deren genaue Abbildung eine numerische Apertur von 1,10 in Anspruch nähme und es wäre diese in einem System für Wasserimmersion von 3 mm gegeben, so würde die geringst verfügbare Gesamtvergrößerung etwa 250 betragen und mit ihr unter den vorausgesetzten Umstän-

den ein p^{**} von 0,12 oder 0,15 mm und eine Erhellung von etwa $\frac{1}{100}$ oder $\frac{1}{70}$ verknüpft sein.

565

Im Allgemeinen lässt sich aus den vorausgehenden Betrachtungen der Schluss ziehen, dass zur Beobachtung derjenigen Objecte und Structuren, welche wissenschaftlich wirklich verwertbare Untersuchungsergebnisse gewähren können, verhältnissmässig geringe Vergrößerungen ausreichend sind und dass wir für die eigentliche Ermittlung auch der feineren morphologischen und histologischen Thatsachen in keinem Falle weit über die schwächeren und mittleren Vergrößerungen hinaus zu gehen brauchen, welche einerseits die stärkeren Trocken-, andererseits die Immersionsysteme beiderlei Art uns zur Verfügung stellen.

Für besondere Zwecke: Zeichnung sehr kleiner Einzelheiten, Messungen, Zählungen u. dgl. mögen sich etwas höhere Vergrößerungen allerdings wünschenswerth und nützlich erweisen; aber auch in diesen Fällen begnüge man sich immer mit dem möglichst geringsten Maass der Steigerung und halte an dem Grundsatz fest, unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen und ohne Verwendung einer Lichtquelle von sehr grosser Intensität niemals sehr weit über diejenigen Vergrößerungen hinauszugehen, welche von den das Abbildungsvermögen des in Anwendung kommenden Objectivsystemes erreichbaren Structureinzelheiten gefordert werden, damit nicht die Erhellung des Bildes eine die volle Verlässlichkeit herabdrückende Einbusse erleide.

Da die meisten bei wissenschaftlichen Beobachtungen vorkommenden Untersuchungsgegenstände nicht von so einfachem Baue sind, dass man unmittelbar den eben theoretisch abgeleiteten allgemeinen Regeln folgen kann, so werden sich für die Praxis mannigfache Modificationen derselben ergeben müssen. Bezüglich der Vergrößerung, bei der man eine Untersuchung vorzunehmen hat, ist im Allgemeinen die Regel festzuhalten, dass man sich von dem betreffenden Objecte vorerst bei einer schwachen, je nach Umständen 30- bis 50fachen Vergrößerung, welche ein hinreichend grosses Gesichtsfeld bietet, um ersteres ganz übersehen zu können, einen Totalanblick verschafft und die näher zu durchforschenden Stellen aussucht. Dann erst schreitet man allmählig zu den stärkeren Vergrößerungen fort, mittelst deren die feineren Einzelheiten der Structurverhältnisse zur Anschauung gebracht werden. Man gewinnt durch dieses Verfahren nicht nur an Sicherheit der Beobachtung, sondern auch an Zeit, weil man bei dem minder beschränkten Gesichtsfelde der schwachen Vergrößerungen leichter den Theil des Objectes herausfindet, der über die in Frage kommenden Structurverhältnisse die gewünschte Auskunft giebt, und nicht erst bei beschränktem Sehfelde, das nur die Uebersicht über einzelne kleine Theile gewährt, lange darnach zu suchen braucht. Das Maass der Vergrößerung, welches bei einer bestimmten Beobachtung anzuwenden ist, wird, wie bei der theoretischen Erörterung dargelegt, durch die Beschaffenheit und die linearen Ausmaasse der verschiedenen Structurelemente des Objectes vorgeschrieben und lassen

sich darüber keine für jeden einzeln Fall bestimmte Vorschriften geben. Im Allgemeinen wird man die schwächeren Vergrösserungen überall da anwenden, wo man sich mehr mit dem Studium des Gesamtbaues eines Organes als mit der Structur einzelner Elementarorgane befasst, wo die zu erforschenden Structuren schon geringen oder mässigen numerischen Aperturen zugänglich sind und wo es mehr eine körperliche, als eine flächenhafte Ansicht zu gewinnen gilt, während sich für die feineren hinreichend durchsichtigen und von Natur aus nur flächenhaften oder in sehr dünnen Durchschnitten hergestellten Präparaten angehörende Structuren, die zu ihrer Abbildung eine grössere numerische Apertur in Anspruch nehmen, die stärkeren Vergrösserungen eignen, die ein richtiges und scharfes Bild nur von den nahezu in einer Ebene liegenden Structurverhältnissen gewähren. Massenhaftere, minder durchsichtige Präparate verlangen schwache Vergrösserungen, während zartere, hinreichend durchsichtig hergestellte auch die stärkeren Vergrösserungen tragen. Aber auch bei solchen Präparaten, bei denen es die feineren Organisationsverhältnisse zu erforschen gilt, mache man es sich zur Regel, ebenso wie bei gröberen Structuren, immer die schwächsten Vergrösserungen anzuwenden, die ausreichend zum Ziele führen, d. h. bei welchen die einer bestimmten numerischen Apertur zugänglichen Structureinzelheiten dem Auge zur vollkommen deutlichen Anschauung gebracht werden und steigere für die eigentliche Beobachtung die Vergrösserung nie über das nöthige Maass. Es ist ein Vorurtheil, zu meinen, dass man im Allgemeinen um so mehr sähe, je stärker man vergrössere. Im Gegentheil; mit den stärkeren Vergrösserungen steigern sich alle auf das Bild übertragenen Fehler des optischen Apparates und es verliert dasselbe an Bestimmtheit und Schärfe. Nur mittelst der besten neueren Systeme von kurzer Brennweite und mit grosser numerischer Apertur kann man, wenn erforderlich, ohne Nachtheil zu sehr starken Vergrösserungen schreiten, welche dann aber auch eine Zartheit der Präparation erfordern, wie sie nur der sehr geübte Beobachter zu erreichen im Stande ist.

Um die gewünschten Vergrösserungen zu erreichen, stehen dem Mikroskopiker zwei Wege zu Gebot. Er kann dieselben entweder mittelst Wechsels der Objectivsysteme erzielen, indem er einem solchen von grösserer Brennweite ein solches von geringerer substituirt, oder er wendet zu gleichem Zwecke stärkere, das von dem Objectivsysteme entworfene Bild vergrössernde Oculare an. Das in dem zweiten Buche bezüglich der förderlichen Angularvergrösserung, sowie der Objectivwirkung und Ocularfunction über die Wirkungsweise dieser beiden Theile des optischen Apparates Gesagte giebt in dieser Beziehung die allgemeine Richtschnur an die Hand. Es geht daraus hervor, dass man überall da, wo man das absolute optische Vermögen des Instrumentes entschieden zu erhöhen wünscht, eine Steigerung der Vergrösserung, so weit dies möglich ist, durch Anwendung stärkerer Objectivsysteme zu

erreichen suchen müsse, und erst dann zu stärkeren Ocularen greifen solle, wenn es sich darum handelt, bei gut construirten Trockensystemen von grosser numerischer Apertur und mittlerer Brennweite bis etwa 3 mm, oder bei Wasserimmersionssystemen und Systemen für homogene Immersion bis zu etwa 2 mm Brennweite deren Leistungsfähigkeit vollständig auszunutzen. Wo das Licht bei der Verwendung schwacher oder mittlerer Oculare zu intensiv ist, da helfe man sich lieber durch zweckmässige Abblendung, als dass man zu sehr starken Ocularen greift.

Nun stehen aber solche Reihen von Objectivsystemen, die einen derartigen Wechsel gestatten, eben nicht Jedem zu Gebote, und muss man sich in solchem Falle, wenn bereits die stärkste Objectivvergrösserung erreicht ist und eine noch stärkere Vergrösserung erwünscht oder notwendig wird, allerdings mit der Anwendung stärkerer Oculare helfen. Der Gebrauch der letzteren ist indessen auch nicht so ganz und unbedingt zu verwerfen, wie dies von mancher Seite geschieht. Wenn Objectivsystemen von etwa 6 bis 2 mm die erforderliche Vollendung gegeben ist, wenn dieselben entsprechend grosse numerische Aperturen besitzen und die Abbildungsfehler in möglichst hohem Grade verbessert sind, dann lässt sich auch durch verstärkte Ocularvergrösserung Manches erreichen und es können noch feinere Einzelheiten aufgeheilt werden, die der schwächeren Vergrösserung halber nicht ganz klar hervorgetreten waren. Wo aber die Objectivsysteme nicht die bezeichneten Eigenschaften zeigen, da ist eine Steigerung der Vergrösserung durch das Ocular entschieden zu widerrathen. Ebenso wäre es unvernünftig, mittelst schwacher Objectivsysteme und übermässig gesteigerter Vergrösserung durch den Ocularapparat (Tubuslänge und Ocularstärke) hohe Vergrösserung erzwingen zu wollen. Sind diese Objectivsysteme zweckmässig construiert, so erreichen ihre numerische Aperturen nur bestimmte Werthe, — bei Brennweiten von 30 bis 10 mm zwischen 0,15 bis 0,50 — und es vermögen dieselben keine Structureinzelheiten mehr abzubilden, welche über je 20- bis 200 fach, also über das normale Maass hinausgehende, Vergrösserungen erfordern. Giebt man denselben aber — wie es in dem Bestreben ein möglichst hohes Auflösungsvermögen zu erreichen häufig geschehen ist und noch geschieht — unzuweckmässig hohe numerische Aperturen, so erhält man allerdings ein Abbildungsvermögen, dem vielleicht doppelt so hohe und noch höhere Vergrösserungen entsprechen würden, aber es treten bei diesen die unvermeidlichen Reste, namentlich der sphärischen und chromatischen Abweichung, in so hohem Maasse vergrössert hervor, dass von einigermaassen zusammengesetzten mikroskopischen Objecten ganz unbrauchbare Bilder entwickelt werden.

Bei der Beleuchtung mittelst auffallenden Lichtes, wobei die Grenzen der Vergrösserungen überhaupt weit enger gezogen sind, als bei der Beleuchtung mittelst durchgehenden Lichtes, lässt sich schon aus dem Grunde, weil Objectivsysteme von geringer Brennweite dem Objecte zu sehr genähert werden müssen, als dass es noch hinreichend kräftig beleucht-

tet werden könnte, obige Regel nicht durchweg anwenden. Man wird sich hier nicht selten an die Vergrößerung des Bildes mittelst stärkerer Oculare halten müssen. Uebrigens ist hier auch weit weniger für die Schärfe der Beobachtung zu fürchten, weil es sich bei dieser Art von Untersuchungen wohl kaum um sehr schwierig zu erkennende und zu beurtheilende Organisationsverhältnisse handelt.

Fassen wir in kurzen Worten die Regeln zusammen, welche sich aus den voranstehenden Erörterungen für die Verwendung des bild-566erzeugenden Apparates ergeben, so lauten dieselben:

1. Für alle Structuren, deren Ausmaasse grosse Vielfache der Wellenlänge des Lichtes betragen und bei denen es auf die Erkenntniss des Körperlichen ankommt, verwende man Objectivsysteme von langer und mittlerer Brennweite und kleiner oder mässiger Apertur; für alle diejenigen, welche in durchsichtigen, flächenhaften Objecten oder Präparaten vorhanden sind und deren Ausmaasse kleinen Vielfachen oder gar Bruchtheilen dieser Wellenlänge gleichkommen, greife man dagegen zu Objectiven von kurzer Brennweite und grosser numerischer Apertur.

2. Man steigere die Vergrößerung nicht viel weiter, als es das der numerischen Apertur der verwendeten Systeme zugängliche Detail zu seiner deutlichen Sichtbarmachung in objectähnlichem oder typischem Abbild erfordert, und umgekehrt wende man nicht Objectivsysteme mit grösserer numerischer Apertur an, als sie von der unter regelrechten Verhältnissen zur Verfügung stehenden Vergrößerung beansprucht wird.

3. Man suche die zur deutlichen Wahrnehmung einer vorliegenden Structur erforderliche Vergrößerung nicht mit Hilfe des Ocularapparates zu steigern, indem man zur Abbildung der vorliegenden Structuren schwächere Objective mit abnorm grosser numerischer Apertur verwendet, sondern greife bei schwacher oder mässiger Angularvergrößerung zu Systemen mit kürzerer Brennweite und entsprechender numerischer Apertur.

4. Man verwerfe grundsätzlich alle Objectivsysteme, bei denen die mittelst der niedersten Angularvergrößerung erreichte Gesamtvergrößerung schon diejenige merklich übersteigt, welche von den ihrer numerischen Apertur zugänglichen Structuren erfordert wird, namentlich aber die unter 1 mm Brennweite hinabgehenden ($\frac{1}{50}$ ", $\frac{1}{75}$ " etc.), deren numerische Apertur, wie es die aus den besten Werkstätten hervorgegangenen Systeme dieser Art beweisen, aus technischen Gründen, nicht merklich über die Einheit hinaus gesteigert werden kann, während ihre Vergrößerungen selbst bei der üblichen continentalen Tubuslänge von 155 bis 180 mm mit den schwächsten Ocularen schon über 1200 bis 1800 hinausgehen.

Zum Schlusse wollen wir hier noch der Verwendung des S. 591 u. f. 567besprochenen Doppeloculares gedenken, welches zunächst zur Erzeugung stereoskopischer — orthoskopischer oder pseudoskopischer — Bilder bestimmt ist. Soweit nur binoculares Sehen in Frage kommt, ist dessen Verwendung bei geeigneter Construction keine Grenze gesetzt, da die zwei Ocularbilder bei 1000 facher Vergrößerung unter ganz gleichen

Bedingungen entstehen, wie unter 10 facher. Dagegen ist die stereoskopische Wirkung der binocularen Beobachtung mit dem Mikroskope an Einschränkungen geknüpft, welche nicht sowohl auf der Wirkungsweise des stereoskopischen Apparates, als auf den allgemeinen Gesetzen des mikroskopischen Sehens beruhen. Die unmittelbare Anschauung körperlicher Formen beim binocularen Sehen kann natürlich nicht weiter reichen, als die nackte Abbildung derselben reicht. Nur wenn ein Gebilde in allen seinen Theilen in einem Sehraume des Mikroskopes, d. h. bei einer Einstellung in genügender Deutlichkeit übersehen wird, kann ein unmittelbar körperliches Bild desselben zu Stande kommen. Ist dagegen nur ein kleiner Theil des Objectes gleichzeitig mit einiger Deutlichkeit sichtbar, dann kann mittelst keines noch so vollkommenen stereoskopischen Apparates die Form des Ganzen erkannt werden. Gemäss der theoretischen Betrachtungen im zweiten Buche erreicht die Tiefenperspective des Mikroskopes bei etwa 300 facher Vergrösserung, selbst unter günstigsten Umständen kaum einige hundertel Millimeter und wenn die Vergrösserungen sich dem Tausend nähern, bleiben höchstens noch wenige Mikron übrig. Die Dicke der Objecte, welche in einem Sehraume des Mikroskopes überblickt werden können, nimmt sonach mit wachsender Vergrösserung mehr und mehr ab, und zwar wie aus den Formeln auf S. 207 u. f. hervorgeht, von den geringsten Vergrösserungen anfangend, zuerst sehr rasch und langsamer erst dann, wenn die Sehtiefe schon sehr klein geworden ist. In dem gleichen Maasse muss nun der Umfang der stereoskopischen Wahrnehmung immer mehr eingeschränkt werden. Daraus folgt aber, dass nur mit verhältnissmässig geringen Vergrösserungen eine unmittelbare körperliche Anschauung solcher Objecte möglich ist, deren Tiefe einen merklichen Bruchtheil von dem Durchmesser des Sehfeldes ausmacht, während schon bei 200- bis 300 maligen Vergrösserungen nur noch sehr dünne Gegenstände körperlich gesehen werden und bei sehr hohen Vergrösserungen eine stereoskopische Wirkung, selbst mit dem vollkommensten Apparat, auf Gebilde beschränkt bleibt, deren Tiefenausmessung nicht über einige Mikron hinausgeht. Wir ersehen hieraus, dass, wie schon bei Besprechung des stereoskopischen Mikroskopes erwähnt wurde, die mikroskopische Forschung bei ihren schwierigeren Aufgaben durch binoculare Beobachtung eine wesentliche Unterstützung nicht zu erwarten hat.

Dagegen möchte das binoculare Sehen als solches unter einem anderen Gesichtspunkte einen Vortheil gewähren, welcher von der Wirksamkeit des Stereoskopes vollständig unabhängig ist. Dieser besteht in der Benutzung beider Augen bei der Beobachtung, wodurch alle jene Nachtheile in Wegfall kommen können, welche bei fortwährender Inanspruchnahme eines Auges mit der Zeit sich geltend machen und bei denen, welche anhaltend mikroskopiren, die Gebrauchsfähigkeit der Augen im freien Sehen vermindern. Zu einer derartigen Verwendung ist das früher beschriebene Abbe'sche Doppelocular ohne Einschränkung für

alle Vergrößerungen geeignet, und da in diesem Falle Blendungen über den Ocularen nicht gebraucht werden, so fällt jede durch diese veranlasste Erschwerung des Sehens weg. In Bezug auf die Helligkeit besteht die Wirkung dieses Oculares darin, dass sich diejenige Lichtmenge, welche bei dem einfachen Ocular in ein Auge gelangt, nun auf beide Augen vertheilt.

2. Wechsel der Einstellung.

Die richtige Behandlung der Einstellung ist für die Beurtheilung der 568 meisten Structurverhältnisse von erheblicher Bedeutung, indem es in den meisten Fällen bei einer mikroskopischen Beobachtung nicht ausreichend ist, das betreffende Präparat so einzustellen, dass man von demselben eben nur im Allgemeinen ein deutliches scharfes Bild erhält. In der Regel ist es kaum möglich, einen Schnitt so anzufertigen, dass alle die Structurverhältnisse, welche zu untersuchen sind, sich in einer Fläche vereinigt finden. Nun giebt aber das Mikroskop, in dem Maasse als stärkere Objectivvergrößerungen zur Anwendung kommen, indem die Sehtiefe mehr und mehr abnimmt, mehr und mehr immer nur ein deutliches Bild von dem, was annähernd in einer und derselben Ebene liegt. Man muss sonach den Gegenstand so zu sagen in verschiedenen Tiefen durchsuchen, um sich eine genaue Anschauung seines Baues zu verschaffen. Hierzu aber bietet der geschickte Gebrauch der Einstellung das einzige Mittel, obgleich auch ihr gewisse Grenzen gesteckt sind, die je nach der Form der betreffenden Objecte und der Brennweite des gebrauchten Objectivsystemes mehr oder minder enge werden. Die feine Einstellung, die keinem brauchbaren Mikroskope fehlen darf, ist in den Händen des geübten Beobachters eines der wichtigsten Hilfsmittel, um eine möglichst vielseitige Anschauung des zu untersuchenden Objectes zu gewinnen. Mittelst einer stetigen Anwendung derselben ist es möglich, ähnlich wie wir es mittelst des blossen Auges zu thun gewohnt sind, nach und nach verschiedene Schichten des Präparates zu durchdringen und ihr gegenseitiges Verhältniss zu einander, ihre gegenseitige Verbindung untereinander zu erkennen. Der erfahrene Beobachter wird daher, mag der Gegenstand seiner Beobachtung von irgend einer Beschaffenheit sein, beständig seine Hand an der Schraube für die feine Einstellung haben, auf das Sorgfältigste die Aenderung verfolgen, welche der stete Wechsel derselben in der Gestaltung des Bildes hervorbringt, und sich erst dann befriedigt finden, wenn er das Object nicht nur über seine ganze Oberfläche, sondern auch seiner ganzen Tiefe nach durchforscht hat.

Was bei körperlichen Gegenständen die in verschiedenen Richtungen geführten Durchschnitte oft nicht ganz aufzuhellen vermögen, das wird häufig durch einen geschickten Gebrauch der feinen Einstellung klar. Bei den unregelmässig polyëdrischen Formen der Pflanzenzellen z. B. gelingt es nur durch die Combination der bei wechselnder Einstellung

stetig aufeinander folgenden Durchschnittsansichten, sich ein deutliches Bild von denselben zu verschaffen, an dessen Construction die combinierende Einbildungskraft den möglichst geringen Antheil hat, das also der Natur am vollkommensten entspricht.

Ganz ähnlich gestaltet sich das Verhältniss, wo es sich z. B. um die Entscheidung handelt, welche von den in verschiedenen Schichten in verschiedenen Formen ausgebildeten Verdickungen vegetabilischer Membranen, dem inneren oder äusseren Theile der letzteren angehört. Freilich wird hier eine passende Schnittrichtung auch das ihre thun müssen, aber es bleibt immer noch dem Wechsel der Einstellung ein und das andere zur Aufhellung übrig, und muss dieselbe gerade in diesen Fällen mit der grössten Sorgfalt angewendet werden.

Nicht selten entsteht auch die Frage, welche relative Lage verschiedene Elementarorgane ein und desselben Präparates gegeneinander haben, ob das eine über oder unter dem anderen liegt. Hier kann aber in den meisten Fällen nur der geschickte Gebrauch der feinen Einstellung sichere Anhaltspunkte liefern.

569 Von grosser Wichtigkeit wird der Wechsel der Einstellung — wenn erforderlich in Verbindung mit schiefer Beleuchtung — bei der Beobachtung von kleinen hohlen und soliden Fasern, Bläschen, Kügelchen und dergleichen, ebenso von Structureinzelheiten an der Oberfläche wie im Inneren der mikroskopischen Objecte, so lange diese Elemente in ihren Ausmaassen das Maass der Wellenlänge um grössere Vielfache übertreffen.

Um die richtige Deutung dieser Objecte und Strukturverhältnisse, sowie um Beurtheilung der Reliefverhältnisse überhaupt hat sich Professor H. Welcker in Halle grosses Verdienst erworben.

Er ging dabei von der Beobachtung aus, dass Luftblasen in Wasser und überhaupt ein jedes von sphärischen Flächen begrenztes dünneres Mittel, welches von einem dichteren eingeschlossen wird, gleich einer Concavlinse, Oeltröpfchen in Wasser und überhaupt jedes sphärisch begrenzte dichtere, in einem dünneren eingeschlossene Mittel gleich einer Convexlinse wirken, erstere ein Lichtbild der Blendung erzeugen, wenn man unterhalb der Aequatorialzone einstellt, letztere dagegen, wenn man die Einstellebene über diese Zone verlegt.

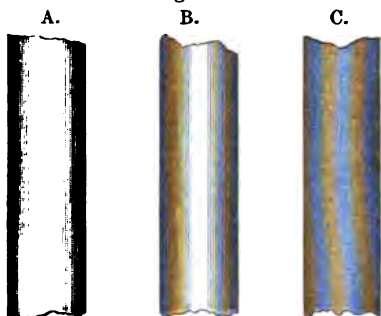
Die von Professor Welcker gegebene Einstellregel zur Beurtheilung der Reliefverhältnisse lautet: „Zeigt ein Object seinen lebhaftesten Glanz beim Erheben des Tubus, so hat man den Tubus auf den Gipfel einer Erhabenheit, hinaufgehoben“; findet sich der Glanz beim Senken des Tubus, so hat man den Tubus in eine Vertiefung, hinabgesenkt.“

Solide kugelförmige Körperchen, Fetttröpfchen, Milchkügelchen, Eiterkörperchen u. dergl. lassen sich, wie wir weiter oben (Seite 823) gesehen haben, sofort leicht mittelst dieser Regel von Gas- und Luftbläschen unterscheiden. Bei cylinderähnlichen Körpern bleiben die

Verhältnisse wesentlich dieselben, wie bei hohlen Bläschen und soliden Kügelchen, es ändert sich nur das Lichtbild der Blendung in einer der Form des Objectes entsprechenden Weise.

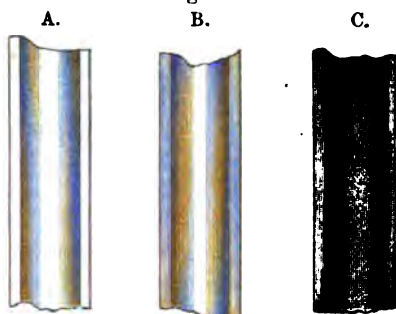
Die solide Faser, Fig. 523 (als künstliches Object dient zweckmässig ein Glasfaden), giebt sich, sobald sie von einem weniger dichten

Fig. 523.



Glasfaden. A. bei mittlerer, B. bei hoher, C. bei tiefer Einstellung.

Fig. 524.



Glascapillare. A. bei mittlerer, B. bei tiefer, C. bei hoher Einstellung.

Medium umgeben wird (Glasfaden in Luft oder Wasser) dadurch zu erkennen, dass dieselbe, wenn man von einer mittleren Tubusstellung auf den Achsenschnitt ausgeht, bei der sie ihre grösste Breite, scharfen Umriss und einen über das ganze Object verbreiteten mässigen Glanz *A* besitzt, bei der Hebung des Tubus eine über die Mitte des Bildes dahingehende glänzende Lichtlinie *B*, bei einer bis unter die mittlere hinabgehenden Einstellung dagegen ein verwaschenes Aussehen *C* zeigt. Besitzt das umgebende Mittel eine stärkere Brechkraft als die Faser selbst, so wirkt dieselbe, z. B. ein Glasfaden in Monobrom-Naphtalin oder Kalium-Quecksilberjodid, jetzt wie eine Lücke in der stärker brechenden Substanz und zeigt die mittelständige Lichtlinie beim Senken das verwaschene Aussehen beim Heben des Tubus. Wird die Faser endlich von einer Flüssigkeit umgeben, welche ein mit ihrer Substanz nahezu gleiches Brechungsvermögen hat, so erscheint sie gleich einem flachen Bande (Glasfaden in Canadabalsam).

Hieraus geht hervor, dass man bei der Beurtheilung der Form auf das Sorgfältigste zu beachten hat, wie das Brechungsverhältniss der organischen Faser und der Zusatzflüssigkeit sich zu einander verhalten, und ehe man sich über ein gegebenes Gestaltverhältniss entscheidet, das betreffende Object in verschiedenen Zusatzflüssigkeiten beobachtet.

Die mit Luft erfüllte hohle Faser (Fig. 524), z. B. ein feines Haarröhrchen aus Glas, zeigt bei mittlerer Einstellung fast die gleichen Verhältnisse, wie die feste Faser; und unterscheiden sich von dieser nur dadurch, dass an den beiden Rändern die doppelten Umrisse der Durchschnittsansicht ihrer festen Wände gesehen werden *A*. Im Uebrigen aber verhalten sie sich gerade umgekehrt. Die Hebung des Tubus bewirkt

verwaschene Bilder *C*, während bei der unter die mittlere herabgehenden Einstellung die mittlere, glänzende Lichtlinie *B* zum Vorschein kommt. Aehnlich wie die hohle Faser etc. verhalten sich auch feine Canälchen in dichter Substanz. Halbcylindrische Rinnen oder Furchen wirken unter allen Umständen gleich einer Zerstreulinse, gleichgültig, ob die hohle Seite nach unten oder oben, d. h. dem Beobachter ab- oder zugewendet ist. Der einzige Unterschied für diese beiden Lagen besteht darin, dass der Tubus im ersteren Falle mehr, im anderen weniger gesenkt werden muss, um den höchsten Glanz der leuchtenden Mittellinie zu erreichen.

Tritt an die Stelle der lufthaltigen Hohlaser oder Haarröhre eine solche, welche mit einer Flüssigkeit erfüllt ist, so verhält sich dieselbe ähnlich wie die solide Faser, wenn die Inhaltsflüssigkeit und die umgebende Flüssigkeit gleiches, oder nahezu gleiches, oder wenn die erstere ein grösseres, die letztere ein kleineres Brechungsvermögen besitzen. Man kann solide und hohle Fasern dann nur in der mittleren, den optischen Durchschnitt der soliden Wände zeigenden Einstellung von einander unterscheiden. Die Erfüllung mit einer, der umhüllenden an Brechkraft nachstehenden Flüssigkeit führt ein Verhalten herbei, welches dem der lufteerfüllten Faser mehr oder minder nahe kommt. Wird im ersten Falle das Brechungsvermögen der erfüllenden und der umgebenden Flüssigkeit grösser, als jenes der festen nicht zu dünnen Wände, so erscheinen diese gleich Hohlräumen in dem stärker brechenden Mittel (Glascapillare mit Monobrom-Naphtalin gefüllt und von diesem eingeschlossen).

Wird statt der centralen Beleuchtung schiefes Licht angewendet, so ändert sich in den eben beschriebenen Erscheinungen nichts Wesentliches; es tritt nur eine Verlegung des Lichtbildes ein, und zwar nach der einen oder der anderen Seite, je nachdem der Spiegel nach der rechten oder linken Seite hin aus der Achse gerückt wird. Allgemein wird dasselbe bei Convexlinsen ähnlich wirkenden Objecten nach der der Lichtquelle abgewendeten, bei Concavlinen ähnlich wirkenden nach der der Lichtquelle zugewendeten Seite des Objectes verlegt, muss also, da das zusammengesetzte Mikroskop umkehrt, auf der dem Spiegel zugewendeten oder abgewendeten Seite des Bildes erscheinen. Der Glasfaden, die solide Faser zeigt bei schiefer Beleuchtung und Hebung des Tubus die Lichtlinie auf der dem Spiegel zugewendeten Seite, der Hohlcyylinder und die Rinne bei Senkung des Tubus auf der dem Spiegel abgewendeten Seite des mikroskopischen Bildes. Die Vertheilung von Licht und Dunkel erscheint in der in den Figuren 525 und 526 *A* dargestellten Weise. Wählt man eine nahezu mittlere Einstellung, so ändern sich die Verhältnisse dahin, dass nun die eine Hälfte des betreffenden Körpers verdunkelt wird, während die zweite in einem, dasjenige des Gesichtsfeldes erreichenden oder etwas übertreffenden Lichte strahlt (Fig. 525 und 526 *B*).

Wenden wir dieses verschiedene Verhalten unserer Versuchsobjecte auf die Beurtheilung der Reliefverhältnisse der Oberflächen und den

inneren Bau von Membranen etc. an, so lassen sich dieselben, wenn die oben hervorgehobene Bedingung für die Ablenkung der Lichtstrahlen durch Brechung erfüllt ist, danach leicht beurtheilen.

Fig. 525.

A. B.



Glasfaden bei von rechts einfallendem schiebem Lichte. A. bei hoher, B. bei etwas tieferer Einstellung.

Fig. 526.

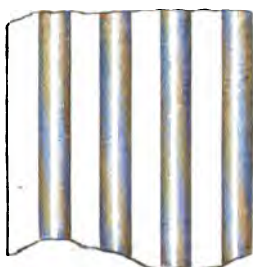
A. B.



Glascapillare bei von rechts einfallendem schiebem Lichte. A. bei tiefer, B. bei weniger tiefer Einstellung.

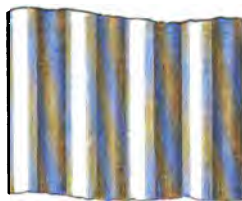
Befinden sich sphärisch begrenzte, rinnen- oder schüssel- förmige Vertiefungen (Fig. 527) an der Oberfläche einer Membran etc., so wirken dieselben gleich Concavlin- sen und zeigen ihren höchsten Glanz bei dem Senken des Tubus. Treten dagegen kugelige, halbkugelige oder halbcylindrische Erhöhungen auf, so verhalten sich dieselben gleich Convexlin- sen und zeigen den höchsten Glanz, wenn man den Tubus von einer mittleren Einstellung aus hebt. Wechseln endlich rinnenförmige Vertiefungen mit halbcylindrischen Erhö- hungen, nimmt die eine Oberfläche also wellenförmige Gestalt an, so glänzen erstere beim Senken, letztere beim Heben des Tubus, und wäh- rend die einen den höchsten Glanz zeigen, liefern die anderen ein ver- waschenes, dunkles oder doch wenig glänzendes Bild (Fig. 528). In

Fig. 527.



Halbcylindrische Erhöhungen oder Vertiefungen.

Fig. 528.



Dicht neben einander gestellte cylindrische Erhöhungen und Vertiefungen.

ganz ähnlicher Weise wirken mit ziemlich scharfen Winkeln aus- und einspringende Oberflächenverschiedenheiten, ebenso nahezu oder ganz geradflächig begrenzte schmale Furchen und Leisten.

Etwas anders gestaltet sich das Verhalten, wenn man wellenförmig gebogene Membranen und dergleichen vor sich hat. Da hier beide Biegungen, diejenigen sowohl, welche ihre convexe, als diejenigen, welche ihre concave Seite dem Beobachter zuwenden, gleich Concavlin sen wirken, so zeigen beide ihren höchsten Glanz beim Senken des Tubus, bedingen aber in der Grösse der Senkung die oben bei den halbcylindrischen Röhren hervorgehobenen Unterschiede.

Aus dem Verhalten von Glasfäden und gefülltem Hohlcylinder in einer deren eigenes Brechungsvermögen an Brechkraft übertreffenden Substanz geht ferner hervor, dass stärker und minder stark brechende, d. h. dichtere und weniger dichte Theile eines und desselben Objectes sich ähnlich verhalten müssen wie cylindrische Erhabenheiten oder Vertiefungen einer Membran. Um daher zu entscheiden, ob derartige bei Beobachtung unter Wasser in dem mikroskopischen Bilde sich kundgebende Verschiedenheiten eines beliebigen Objectes durch Structur- oder Dichtigkeitsunterschiede bedingt sind, ist es nothwendig, mit den Zusatzflüssigkeiten zu wechseln und namentlich solche, das Untersuchungsobject an lichtbrechendem Vermögen übertreffende Substanzen anzuwenden, durch welche das Bild entweder in ersterem Falle dem angegebenen Verhalten gemäss geändert, oder in letzterem Falle im Wesentlichen ungeändert erhalten wird. Zeigt das betreffende Structurverhältniss jetzt beim Senken des Tubus seinen höchsten Glanz, so hat man es mit einer Erhabenheit zu thun, während man auf eine Vertiefung zu schliessen berechtigt ist, wenn der höchste Glanz beim Heben des Tubus hervortritt. Um sich hier die Beurtheilung der Tubusstellung zu erleichtern, geht man entweder wie oben von einer mittleren Tubusstellung aus, oder man bewirkt die Einstellung, indem man das Rohr aus einer Höhe herabsenkt, in der man noch kein deutliches Bild von dem Objecte hat. Vertiefungen erscheinen dann zuerst hell auf dunkeltem Grunde, Erhabenheiten dagegen dunkel auf hellem Grunde, bis sich nach weiterem Senken des Rohres das Bild geradezu umkehrt. Soll die Sicherheit der Entscheidung nicht getrübt werden, so muss sich das betreffende Object in seinem natürlichen Zustande befinden und dürfen etwaige Dichtigkeitsunterschiede nicht durch vorbereitende Behandlung, Trocknen und dergleichen, gestört sein.

3. Gebrauch der Verbesserungseinrichtung.

570 An den Gebrauch der Einstellung schliesst sich unmittelbar der Gebrauch der Verbesserungseinrichtung an. Dieselbe ist ursprünglich dazu bestimmt, bei den Trockensystemen von kurzer Brennweite und grosser Oeffnung, sowie bei den stärkeren Systemen für Wasserimmersion, den

Einfluss des Deckglases auf das Bild zu beseitigen. Sie erlangt aber bei der Beobachtung nicht äusserst dünner — aber durchsichtiger — Objecte noch insofern Wichtigkeit, als jene selbst, sowie die Einschlussflüssigkeit ganz ähnlich wirken wie das Deckglas und die Correctionsschraube die Correction einzelner Zonen zu dem besondern Zwecke herstellen muss. Wo es daher gilt, sich „optische“ Querschnitte verschieden tief gelegener Schichten eines Präparates vor Augen zu führen, da wird, um deren Bild in möglichster Schärfe zu gewinnen, die Anwendung der Verbesserungseinrichtung nicht unterbleiben dürfen. Besonders aber wird sich dieselbe bei allen den Objectivsystemen nothwendig machen, deren numerische Apertur übermässig gross ist, wie z. B. bei manchen Trockensystemen von $\frac{1}{4}$ " bis $\frac{1}{8}$ " englischer, amerikanischer und mancher continentalen Werkstätte. Hier erscheint nämlich auch bei ausreichender Aufhebung der sphärischen Aberration die Empfindlichkeit gegen die Abweichungen in den Deckglasdicken immer sehr gross; dann aber zeigen derartige Systeme häufig eine nicht gleichmässige Correction aller Zonen und es muss dann die Verbesserungseinrichtung dazu dienen, die noch vorhandenen Abweichungsreste zwischen Mitte und Rand der freien Objectivöffnung zu verschieben und so einzelne Zonen der letzteren auf Kosten der anderen aberrationsfrei zu machen. Mit der Einrichtung selbst haben wir uns schon weiter oben vertraut gemacht, und bleibt daher nur noch zu erörtern, wie man, falls diese nicht — wie bei den entsprechenden Objectivsystemen von Dr. Zeiss — mit einer genau geprüften, also zuverlässigen Skala für die zulässigen Deckglasdicken versehen ist, oder man sich nicht für die 10- oder 50 theiligen Skalen, wie sie bei englischen und manchen deutschen Correctionssystemen vorhanden sind, eine Tafel für die Beziehung der Skalentheile auf die sorgfältig bestimmte Deckglasdicke durch vorherige genaue Ermittlungen eine Tafel angefertigt hat, am einfachsten und schnellsten eine möglichst genaue Verbesserung zu erreichen vermag. Es sind zu diesem Ende, namentlich von englischen Mikrographen, bei denen diese Art von Objectivsystemen zuerst in Gebrauch kam, mancherlei Vorschriften ertheilt worden. Eine der einfachsten ist die von Wenham in dem 2. Bde. des „Quart. Journal of Microsc. Science, p. 138“ empfohlene. Er sagt: „Man wähle irgend einen dunkeln Punkt des Objectes aus, bringe ihn genau in den Focus, bewege dann das Rohr aus dieser Stellung rasch auf- und abwärts und merke genau auf die Ausdehnung seiner Begrenzung, sowohl wenn das Objectiv dem Gegenstande genähert, als wenn es von demselben entfernt wird. Ist die Begrenzung von grösserer Ausdehnung, wenn sich der Punkt ausserhalb des Focus befindet, so müssen die Linsen einander mehr genähert, im anderen Falle von einander entfernt werden, und man hat das Objectiv erst dann richtig corrigirt, wenn die Ausdehnung der Grenze gleichmässig zunimmt, man mag dasselbe von dem Gegenstande entfernen oder demselben nähern.“

Für einzelne Fälle — namentlich bei weniger verwickelten Struc-

turen — mag man mit der Befolgung solcher Regeln wohl auskommen, der Anfänger wird davon gewöhnlich im Stiche gelassen und sich erst durch längeren Gebrauch die Fertigkeit erwerben müssen, seine Correction wenigstens für einfachere Objecte annähernd richtig auszuführen. Eine Unterstützung gewährt dabei auch der Umstand, dass man den zu beobachtenden Gegenstand vorher in der Regel schon mittelst anderer Objectivsysteme betrachtet hat, ehe man zu diesen stärksten und empfindlichsten Systemen schreitet, so dass man denselben schon so genau kennt, um wenigstens annähernd sicher beurtheilen zu können, in wie weit das Begrenzungsvermögen etc. mangelhaft erscheint oder nicht. Ein kurzes Versuchen, wobei man sich daran gewöhnen muss, dass, während die eine Hand die Correctionsschraube bewegt, die andere die feine Einstellung regelt, damit das Object stets im Focus bleibt und man die Schärfe seiner Umrisse etc. immer gradweise verfolgen und richtig beurtheilen kann, wird dann bald die richtige Stellung der beweglichen Linsen gegeneinander finden lassen.

Bei verwickelteren und zarten, namentlich unbekannten Structurverhältnissen, wird die richtige Correction bedeutend erschwert und in hohem Maasse unsicher gemacht, indem dabei dem subjectiven Ermessen in Bezug auf die Beurtheilung des „besten Bildes“ ein bedeutender Spielraum gelassen ist und man ebenso oft zu einer falschen (falsche Bilder liefernden), als zu der richtigen Correction gelangen kann. Wie gross jener Spielraum der selbst für so einfache und so scharfe und bestimmte Merkmale darbietende Objecte, wie Diatomeenstreifungen, sein kann beweist am besten der von Dr. J. Edwards Smith in seinem Werke: „How to work with the microscope“ erwähnte Fall, wobei die „persönliche Gleichung“ bei Beurtheilung des „besten Bildes“ als Wirkung der verschiedenen Accommodation zweier Beobachter (Dr. Smith's und des Optikers Charles Spencer) gedeutet worden ist, das beweisen ferner die Bezeichnungen der Deckglasdicken auf den Ring der Correctionsschraube solcher Systeme, welche den Zeiss'schen nachgebildet, aber nicht in der richtigen Weise, sondern an Diatomeen auf die Deckglasdicken justirt sind und an empfindlichen Objecten sofort ganz merkliche Abweichungen zeigen. Es bleibt für die bezeichneten Objecte immer eine missliche und leicht zu unzulässigen Uebelständen führende Sache, die Correction ohne alle sichere Anhaltspunkte auszuführen. Daher ist es gerathen, bei schwierigen histologischen Beobachtungen, soweit man es irgend in seiner Gewalt hat, nur Deckgläser von vorher genau bestimmter Dicke zu verwenden und für solche Correctionssysteme, welche einen zuverlässigen, die Deckglasdicken angegebenden, Index der Correctionsschraube nicht besitzen, ein- für allemal an einem geeigneten Objecte die beste Correction für eine Reihe von diesen Dicken auszumitteln und in einer Tafel zu verzeichnen. Als ein solches Object können aber nach Professor Abbe's, wie meinen eigenen Erfahrungen nur die Contouren der Abbe'schen Probeplatte dienen, mittelst deren man das wirklich rich-

tige Zusammenwirken aller Zonen der freien Objectivöffnung beurtheilen kann. Hat man mittelst dieser einmal für bestimmte Deckglasdicken die beste Correction ermittelt, so hat man dann auch die Gewähr dafür, dass man bei Verwendung der entsprechenden Deckgläser auch für alle Objecte von beliebiger Structur richtig gezeichnete Bilder erhält.

Die berührten Schwierigkeiten, welche sich der richtigen Correction entgegenstellen und zu einer höchst sorgfältigen und unsichtigen Behandlung der für Trocken- und Wasserimmersionssysteme ein nothwendiges Uebel bildenden Verbesserungseinrichtung auffordern, liefern auch den Beweis dafür, dass die Beseitigung der letzteren den praktisch wichtigsten Vortheil bildet, welcher durch die homogene Immersion für das wissenschaftliche Arbeiten gewonnen und festzuhalten ist. Die in neuester Zeit von gewissen Seiten gestellte Forderung, auch die Systeme für homogene Immersion mit Correctionsfassung zu versehen, ist an anderem Orte eingehender von mir besprochen worden (Zeitschrift für Instrumentenkunde II. Jahrgang, achtes Heft, Seite 269 u. f.). Hier sei nur erwähnt, dass dieselbe allerdings theoretisch betrachtet einige kleine Vortheile (so in Bezug auf die Benutzung von in gewissen aber immerhin engen Grenzen verschiedenen Immersionsflüssigkeiten, auf die Erreichung vollständiger Correction bei von Crown Glas verschiedenen Flüssigkeiten und bei in Luft liegenden Objecten, auf Verwendung eines langen oder kurzen Tubus) in Aussicht stellt, die feste Fassung dagegen einige geringe, praktisch ganz unerhebliche Beschränkungen (z. B. in Bezug auf die Tubuslänge sowie bei dem Crown Glas nicht ganz gleichen Immersionsflüssigkeiten auf die Einhaltung einer mittleren Deckglasdicke, wenn es auf die schärfsten Beobachtungen ankommt) auferlegt, dass aber jene Vortheile wie diese Beschränkungen keineswegs Veranlassung sein können, um gegen die einen die viel grösseren Uebel, namentlich die grosse Unsicherheit und die groben Abweichungen, welche die Correctionsfassung rücksichtlich des nützlichen Gebrauches der in Rede stehenden Systeme einführt, gegen die anderen die viel bedeutenderen Vortheile, welche die feste Fassung für das Arbeiten auf dem Gebiete der feineren Histologie gewährt, auszutauschen.

Drittes Capitel.

Anwendung der physikalischen Hilfsmittel der Beobachtung.

Unter den physikalischen Hilfsmitteln der Beobachtung verdienen, da wir der Untersuchung in polarisirtem und spectral zerlegtem Lichte, sowie der Grössenbestimmung mikroskopischer Objecte besondere Abschnitte widmen müssen, an dieser Stelle die Anwendung eines allmählichen, gleichmässigen Druckes und verschiedener Quellungsmittel, sodann die Einwirkung erhöhter wie verminderter — beziehentlich bis unter den Gefrierpunkt herabgehender — Temperatur verschiedener Durchleuchtung und der Elektrizität unsere besondere Beachtung.

I. Anwendung des Druckes.

571 Die Anwendung des Druckes ist in einzelnen Fällen für die mikroskopische Untersuchung nicht ohne Erfolg; nur muss man dabei mit grosser Vorsicht verfahren und namentlich nicht glauben, dass durch denselben die eigentliche Präparation in einer oder der anderen Weise ersetzt werden könne. Allerdings mag es Fälle geben, bei denen in Folge der Beschaffenheit des Gegenstandes selbst die geschickte Handhabung von Messer und Nadel nicht ausreicht, um Einzelnes zur Anschauung zu bringen, was sich mittelst sorgfältiger Anwendung des Druckes erreichen lässt, indem durch ihn entweder einzelne Theile des Präparates ausser Zusammenhang gebracht, oder doch in seinem Inneren gelegene Elemente sichtbar gemacht werden können. Im Allgemeinen beschränken sich jedoch diese Fälle mehr auf die Untersuchung der ersten Stadien der thierischen Entwicklungsgeschichte und mancher weichen thierischen Gewebe, da hier die zu grosse Weichheit eine andere geeignete Präparation nicht gestattet, in Folge der man sich volle

Einsicht über den Zusammenhang der einzelnen Theile zu verschaffen im Stande wäre. In der Pflanzenhistologie lässt sich der Druck in dieser Weise kaum anwenden. In allen Fällen, wo derselbe mehr als Hilfsmittel der Präparation denn der Beobachtung dient, ist besonders darauf zu achten, dass man denselben nur in solchem Umfange anwendet, wie ihn die Sichtbarmachung der betreffenden Organisationsverhältnisse erfordert. Ferner hat man sorgfältig die Veränderungen zu bedenken, welche dadurch in einzelnen Theilen des Objectes hervorgerufen werden könnten, um sich nicht zu einer falschen Beurtheilung des Beobachteten verleiten zu lassen.

Wichtiger denn als Präparationsmittel ist die Anwendung des Druckes als Hilfsmittel der Beobachtung an und für sich und wird es oft nur mittelst dieser Hilfe möglich, über einzelne Structurverhältnisse zu einer bestimmten Entscheidung zu kommen. So lässt sich z. B. trotz der oben ertheilten Einstellregeln manchmal nur mittelst Anwendung des Druckes entscheiden, ob man einen hohlen oder soliden äusserst kleinen Körper vor sich hat, ob ein winziges kugelförmiges Object, ein weiches oder hartes Kügelchen, oder ein von einer Flüssigkeit oder Luft erfüllter Raum sei. Ebenso wird das Verhalten des Inhaltes der Elementarorgane zum Drucke in vielen Fällen wichtig und bietet dieser oft das einzige Mittel, um jenen Inhalt da, wo er der Beobachtung der Organisationsverhältnisse hinderlich sein könnte, auszutreiben. Endlich kann der Druck angewendet werden, um Bewegungen der Objecte zu hindern, welche der ruhigen Beobachtung störend entgegentreten, wie das namentlich bei der Untersuchung über niedere Pflanzen und Thiere der Fall ist. In allen diesen Fällen muss man immer die nöthige Stärke des Druckes ermessen, welche das betreffende Object ohne Schaden zu ertragen im Stande ist. Eine allgemeine Regel lässt sich hierfür aber eben so wenig geben, als dafür, in welchen Fällen überhaupt der Druck Anwendung finden soll. Es ist dafür eben die Beurtheilung jedes einzelnen Falles nothwendig und kann neben den Andeutungen, welche die speciellen Untersuchungsmethoden zu ertheilen haben, nur die Erfahrung und das durch dieselbe gebildete eigene Urtheil maassgebend sein.

Zur Erzielung des gewünschten Druckes giebt es namentlich zwei Wege, von denen jeder seine Vor- und Nachtheile hat. Man bewirkt denselben nämlich entweder mittelst des weiter oben beschriebenen Quetschers oder mittelst der blossen Hand. Letzteres Mittel ist unter allen Umständen das einfachere und gewährt ausserdem den Vortheil, dass man durch Verschieben des Deckglases das Object hin- und herrollen, ihm dadurch die für die Beobachtung günstigste Seite abgewinnen, und den Druck sowohl nach verschiedenen Richtungen, als in wechselnder, bald vermehrter, bald vermindeter Stärke wirken lassen kann. Allerdings ist dabei diese letztere nicht hinreichend genau zu bemessen, und es kann leicht der geübte Druck zu stark ausfallen und das Präparat verderben. Ausserdem ist eine allmälige Steigerung des Druckes mittelst

der blossen Hand nicht gut möglich und gestattet deren Gebrauch eben so wenig eine länger andauernde Gleichmässigkeit desselben. Man kann sich indessen in dieser Beziehung leicht helfen, wenn man zwischen Objectträger und Deckglas Stückchen einer weichen Masse, z. B. eines Gemisches aus Wachs und damit zusammengeschmolzenem Terpentin bringt, wodurch es möglich wird, den Druck allmählig zu steigern, und für einige Zeit bei einem gewissen Grade der Stärke zu erhalten.

II. Anwendung der Quellung.

Die Quellung beruht bekanntlich auf der mechanischen Einlagerung von Flüssigkeiten zwischen der organischen Substanz und der dadurch hervorgebrachten Vergrösserung des Rauminhaltes. Dieselbe kann ohne oder mit dauernder Aenderung der Molekularconstitution verbunden und damit eine vorübergehende oder dauernde sein. Die Quellung gewährt gemäss dieser Art der Wirkung ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurtheilung des molekularen Aufbaues der organischen Körper, insofern Verschiedenheiten dieses Aufbaues eine Verschiedenheit der Quellungsfähigkeit bedingen. So lassen sich z. B. durch dieses Hilfsmittel leicht einzelne Schichten von Zellwänden und dergleichen von einander unterscheiden, welche in trockenem oder normal von Flüssigkeit durchtränktem Zustande als homogene Massen erscheinen, während andere z. B. die Innenwand (tertiäre Wand) der Pflanzenzellen sich noch an Stellen zuverlässig nachweisen lassen, wo sie sonst nicht mit Sicherheit erkannt werden können. Ebenso bietet sie ein Mittel, um geformte Inhaltsbestandtheile als unorganische oder organisirte und letztere nach Art ihrer Constitution zu erkennen.

Will man nur vorübergehende Quellung hervorrufen, so wendet man je nach Umständen reines, schwach gesäuertes, oder alkalisch gemachtes Wasser an und entfernt das Quellungsmittel dann später wieder und zwar im ersteren Falle durch entsprechendes Trocknen, in den anderen durch Auswaschen. Sollen dagegen bleibende Quellungen hervorgebracht werden, so verwendet man je nach Erforderniss ihrer Concentration nach auszuprobirende Mischungen von Wasser mit flüssigen Säuren, Lösungen fester Säuren, Lösungen von Alkalien und Kupferoxydammoniak, lässt dieselben während einer den Umständen entsprechenden Zeitdauer einwirken und wäscht vor dem Aufbewahren der Präparate dieselben sorgfältig aus. Zu beachten ist noch besonders, dass manche Substanzen das Quellungsmittel in verdünnterem, andere in gesättigterem Zustande aus der dargebotenen Lösung aufnehmen und dass man demgemäss die letztere auf dem erforderlichen Sättigungsgrade zu erhalten hat.

III. Anwendung erhöhter und verminderter Temperatur.

Die Einwirkung erhöhter Temperatur auf kleine lebend zu beobach- 572
tende Organismen, sowie auf einzelne Organe, Gewebe oder auch auf einzelne Theile von Geweben im lebenden wie im todten Zustande, namentlich aber auf manche Elemente des Zellen- und Gefässinhaltes ist häufig höchst wünschenswerth und der Beobachtung in gewissem Maasse förderlich.

Eine bis zur Siedehitze des Wassers gesteigerte und noch höhere Temperatur wird sich namentlich bei dem Gebrauche der weiter oben besprochenen mikrochemischen Hilfsmittel, sowie bei der Untersuchung mancher Inhaltselemente als erwünscht erweisen. Man muss indessen bedenken, dass der Anwendung so hoher Grade von Wärme während der Dauer der mikroskopischen Beobachtung mancherlei entgegensteht. Erstlich sind es schon der ganze Bau des Instrumentes und die während der Erwärmung der Zusatzflüssigkeit sich entwickelnden Dämpfe, welche eine gewisse Beschränkung auferlegen. Dann ist zu erwägen, dass in Folge der Erwärmung in der Zusatzflüssigkeit immer Strömungen entstehen, wodurch trotz der Bedeckung mittelst Deckglases das zu beobachtende Object in einer beständigen Bewegung erhalten und eine dauernde, genaue Beobachtung unmöglich gemacht wird. Man wird sich daher in vielen Fällen darauf beschränken müssen, die Erwärmung für sich vorzunehmen und das Object erst nach gehöriger Abkühlung unter das Mikroskop zu bringen. Es ist dann freilich für alle solche Fälle, wo die Wirkung einer allmählig gesteigerten Temperaturerhöhung studirt werden soll, etwas mehr Mühe und Zeit aufzuwenden, indem man denselben Gegenstand nach und nach stärker erwärmen und immer wieder verkühlen lassen muss. Wo indessen eine directe Beobachtung der unter dem Einfluss der erhöhten Temperatur vor sich gehenden Veränderungen geboten ist und die Zusatzflüssigkeit wegen der Schädlichkeit sich entwickelnder Dämpfe es nicht geradezu verbietet, da muss man sich dazu entschliessen, das Object zu erwärmen, während es sich im Focus befindet. Man kann hierbei, wenn man den früher beschriebenen heizbaren Objecttisch nicht verwenden will, auf folgende höchst einfache Weise verfahren: Das Präparat bringt man auf einen, locker in einen messingenen oder hölzernen Rahmen gelegten Objectträger von der früher beschriebenen Form und Grösse, aber aus dem dünnen Glase, woraus man die Deckgläser schneidet, und bedeckt ihn, um die entstehenden Dämpfe möglichst von dem Objectivsystem abzuhalten, mit einem grossen, mindestens 20 mm Seite haltenden Deckglase. Zur Erwärmung selbst dient eine kleine Spirituslampe, die sich leicht aus einer Glasröhre mit angeblasener Kugel verfertigen und in der Weise biegen lässt, dass man die kleine Flamme leicht durch die Tischöffnung auf den Objectträger wirken lassen kann. Die von einigen Mikroskopikern

empfohlenen gebogenen Wachskerzchen sind deshalb nicht als Wärmequelle geeignet, weil sie Russ an den Objectträger absetzen und denselben schwärzen, was zwar bei Beobachtungen mittelst auffallenden Lichtes nichts zu sagen hat, dagegen sehr störend wirkt, wenn durchfallendes Licht verwendet wird.

Weit wichtiger als die Anwendung so hoher Temperatur ist jene von mittlerer Stärke bis zur Blutwärme und etwas darüber hinaus. Man wird solche mittlere Wärmegrade, obwohl sie in Folge von mancherlei kaum zu überwindenden Schwierigkeiten für längere Zeit dauernde Entwicklungsvorgänge kaum zu erfolgreicher Anwendung gelangen können, doch immer mit Nutzen bei manchen Erscheinungen des Zellenlebens der Pflanzen anwenden, so z. B. bei den Beobachtungen über die Bewegungen des Protoplasmas über Kern- und Zelltheilung. Vor allem aber müssen dieselben für die Untersuchung der Gewebe warmblütiger Thiere die höchste Bedeutung erlangen, wie dies eine grosse Reihe von Untersuchungen aus neuerer und neuester Zeit beweisen. Hier wird die Ausbildung der speciellen Untersuchungsmethoden überall die normalen Temperaturverhältnisse, unter denen die betreffenden Organismen und Gewebe stehen, auf das Sorgfältigste in Rechnung zu ziehen haben, wenn uns die Beobachtungen brauchbares Material für die Erkenntniss der Entwicklungsgeschichte niederer Thiere der Elementarorgane und Gewebe, sowie für das Verständniss der diesen eigenen Lebenserscheinungen liefern sollen. Derartige einfache Veranstaltungen, wie ich oben eine erwähnt habe und wie man sie von manchen Seiten angewendet hat, reichen dann aber auch keineswegs mehr aus. Die heizbaren Objecttische von Max Schultze u. A., welche in dem vorigen Buche beschrieben worden sind, werden hier in Verbindung mit der, die Verdunstung der Zusatzflüssigkeit verhindernden feuchten Kammer zu einem der wichtigsten Nebenapparate des ausübenden Mikroskopikers. Der optische Apparat des Mikroskopes leidet bei der Anwendung dieser beiden Vorrichtungen durchaus nicht und bedarf es in Hinsicht auf denselben weder besonderer Veranstaltungen noch besonders construirter Objectivsysteme (Eintauchsysteme), indem, wie seinerseits Max Schultze berichtet hat, bei stärkeren Vergrösserungen und einigermaassen grossen Deckgläsern ein Beschlagen der Objectivlinsen nicht zu fürchten ist.

Die Anwendung einer gegen die normale Temperatur der Umgebung verminderten Temperatur, welche man durch Umgebung der betreffenden Objecte mit passenden, mit entsprechenden Kältemischungen angefüllten Vorrichtungen erzielen, aber kaum für längere Zeit constant erhalten kann, lässt sich zur Verlangsamung gewisser Processe, z. B. der Zelltheilung der Protoplasmaabewegung, bis zu deren völliger Sistirung verwerten. Unter 0° hinabgehende Kältegrade vermögen ferner gewisse in dem Zellinhalte gelöste Verbindungen in fester Form abzuscheiden, so z. B. erhält man aus Dahlienknollen etc. durch Gefrierenlassen in kurzer Zeit prächtige Sphärokrystalle des Inulins.

IV. Anwendung verschiedener Durchleuchtung.

Der Einfluss verschiedener Intensität und verschiedener Farbe des 573 Lichtes auf die Lebensthätigkeit der Organismen, wie der einzelnen Elementarorgane, ist schon lange bekannt gewesen und bei physiologischen Untersuchungen in Anwendung gebracht worden. In der mikroskopischen Technik hat diese letztere nach der gedachten Richtung hin erst durch die Untersuchungen von Pringsheim über „Lichtwirkung und Chlorophyllfunction“, sowie von Th. W. Engelmann Eingang gefunden und dürfte dieselbe wohl geeignet erscheinen, um die Wirkungen des Sonnenlichtes des gemischten (weissen) wie des einfarbigen Lichtes auf die einzelnen Bestandtheile, namentlich aber auf den Inhalt der Zellen, unmittelbar zur Anschauung zu bringen und die Vorgänge festzustellen, welche dieselben in dem Inneren der Gewebe anregen und zum Ablauf bringen. Die Vorrichtungen, um die Untersuchungsobjecte mittelst hinreichend intensiven Lichtes zu durchleuchten, haben wir bereits im dritten Buche kennen gelernt.

Zu Versuchen wie die Pringsheim'schen eignen sich im Allgemeinen nur solche Vergrösserungen, mittelst deren das ganze Sonnenbild übersehen und eine genaue Einstellung vorgenommen werden kann. Um diese zu erzielen, wird, nachdem das Präparat vorbereitet und die zu verwendende Lichtart mittelst der beschriebenen Mittel hergestellt ist, vorerst und ehe das erstere auf den Objecttisch gelegt ist, das Sonnenbild in das Mikroskop geworfen, dann das Beobachtungsobject aufgelegt und nun beide und zwar zuerst das Sonnenbild genau eingestellt. Um dabei vergleichbare Resultate zu erhalten und alle Umstände auszuschliessen, welche benachtheiligend einwirken könnten, ist vorzugsweise Folgendes zu beachten: Man muss nächst der genauen Einstellung der zu beobachtenden Objecte in der Ebene des Sonnenbildes dafür Sorge tragen, dass die dunklen Wärmestrahlen — soweit dies thunlich ist — durch Absorption abgehalten und bei Untersuchungen in weissem oder rothem Lichte die zu hohe Erwärmung der Einhüllungsflüssigkeit durch entsprechende Abkühlung verhindert werde, damit nicht Wirkungen höherer Temperaturen mit denen der Durchleuchtung verwechselt werden können.

V. Anwendung elektrischer Ströme.

Um die Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Blutumlauf, 574 die Flimmerbewegung, die Bewegungen niederer Thiere und Pflanzen, die Strömungen des Protoplasmas und dergleichen zu beobachten, wendet man einen der in dem vorigen Abschnitte beschriebenen elektrischen Objectträger an, indem dessen Entladungsdrähte mit den Poldrähnen

irgend einer stromerzeugenden Vorrichtung in Verbindung gebracht werden. Als derartige Vorrichtung hat man in der neueren Zeit vielfach von dem Du Bois-Reymond'schen Schlittenapparate Gebrauch gemacht. Ich möchte aber dessen Anwendung in Rücksicht auf das Mikroskop nicht gerade empfehlen. Ich selbst habe mich bei meinen Untersuchungen eines magnetelektrischen Rotationsapparates bedient und glaube, dass derselbe dem vorgenannten fast überall vorzuziehen sein dürfte.

Als nothwendiges Erforderniss eines derartigen Apparates ist zu verlangen, dass derselbe es nicht nur ermögliche, die Stromstärke in beliebiger Weise zu reguliren, sondern dass er auch zugleich eine Vorrichtung besitze, welche gestattet, den durch das Oeffnen und Schliessen des Hauptstromes entstehenden Inductionsströmen die gleiche Richtung zu geben.

Viertes Capitel.

Anwendung der chemischen Reagentien.

575 Für eine beträchtliche Anzahl wissenschaftlicher mikroskopischer Untersuchungen ist die Behandlung der betreffenden Objecte mittelst chemischer Reagentien von hoher Bedeutung, indem häufig kein anderes Hilfsmittel ausreicht, um sich über die Constitution einer organischen Substanz, sei es, dass dieselbe an der Zusammensetzung der Gewebe selbst Theil nimmt, sei es, dass sie dem Inhalte der Zellen, Gefässe etc. angehört, ein sicheres Urtheil zu bilden.

Es kann hier natürlich nicht die Rede davon sein, eine ausführliche Anleitung der mikrochemischen Analyse oder auch nur die Regeln für alle besonderen Fälle der Anwendung chemischer Reactionen zu geben, welche dem besonderen Theile dieses Werkes vorbehalten bleiben müssen. Wir haben hier vielmehr im Anschluss an das, was im dritten Buche über die Wirkungsweise der vorzugsweise in Gebrauch befindlichen Reagentien auf die verschiedenen allgemeiner verbreiteten organischen Substanzen des Thier- und Pflanzenkörpers in Kürze angedeutet worden ist, nur die allgemeinen Verfahrensweisen, Vorsichtsmaassregeln und dergleichen zu betrachten.

Im Ganzen und Grossen ist die Anwendung der mikrochemischen Hilfsmittel höchst einfach und der ganze dabei zu gebrauchende Apparat erstreckt sich neben den Aufbewahrungsgefässen auf ein paar Glasstäbe

und Glasröhrchen, Uhrgläschen, kleine Abdampfschälchen, Spritzfläschchen und die sonst bei jeder mikroskopischen Untersuchung unentbehrlichen Utensilien.

I. Zuführung der Reagentien.

Gilt es nur den Nachweis irgend einer chemischen Verbindung, sei 576 es in Zellwand oder Inhalt, so umgiebt man das vorher mit Wasser befeuchtete, nöthigenfalls auch von Harzen, Fetten und dergleichen störenden Substanzen befreite Präparat mit einem Tropfen des betreffenden Reagenzes, bedeckt dasselbe und hat es nun zur Beobachtung fertig.

In der Regel ist es aber erwünscht, die ganz allmählig erfolgende Wirkung eines bestimmten Reagenzes auf einen bestimmten Theil eines Gewebes oder Organes zu studiren. Hier wird man immer um so sicherer zum Ziele gelangen, je allmählicher die Vermischung des Reagenzes mit der Zusatzflüssigkeit geschieht, in welcher das frische Object liegt, und je vorsichtiger man dessen Concentrationsgrad beachtet, den man durch eine Zuführung immer neuer und kleiner Mengen der betreffenden Lösung leicht zu regeln vermag. Man bringt zu dem Ende einen Tropfen des erforderlichen Reagenzes mittelst eines Glasstäbchens oder Glasröhrchens vorsichtig an den Rand des Deckglases, unter welchem das Präparat in Wasser liegt, lässt sich beide Flüssigkeiten mischen, beobachtet den Erfolg und fügt dann, falls es nöthig wird, in gleicher Weise Tropfen um Tropfen der Probeflüssigkeit hinzu, bis die erzielte Wirkung zum Vorschein kommt. Wo es wegen des Focalabstandes der Objectivsysteme zulässig ist, kann man eine noch stetigere Vermischung erzielen, wenn man unter das Deckglas einen feinen Baumwolle- oder Leinenfaden bringt und dessen hervorragendes Ende mit einem Tropfen der Probeflüssigkeit betupft. Sollte nach und nach die Menge der Zusatzflüssigkeit zu gross werden, so dass man ein Ueberfließen über das Deckglas und damit eine Verunreinigung der unteren Linse des Objectivsystemes zu fürchten hätte, oder wünscht man mit dem Concentrationsgrade noch weiter zu steigen, so lässt sich der Ueberschuss an Flüssigkeit an dem einen Rande des Deckglases mittelst eines kleinen Stückchens Fliesspapier oder eines flach ausgebreiteten Haarpinsels leicht hinwegnehmen.

Kann das Reagenz in festem Zustande verwendet werden, so bringt man kleine Mengen desselben entweder an den Rand des Deckglases oder auch in die Zusatzflüssigkeit, welche sich hier natürlich als Lösungsmittel eignen muss und nach diesem Gesichtspunkte zu wählen ist. Die gelösten Theilchen verbreiten sich so von dem Orte der betreffenden Substanz aus in der benachbarten Flüssigkeit und lassen die allmähliche Einwirkung genau beobachten.

Arbeitet man mit Objectivsystemen von langem Focalabstande und mit Lösungen, welche das Instrument nicht angreifen und in denen das

wirksame Mittel weniger rasch als das Lösungsmittel oder gar nicht verdunstet, so kann man auch den von Nägeli und Schwendner empfohlenen Weg einschlagen. Man überlässt einen Tropfen der sehr verdünnten Lösung, welche auf die darin vertheilten Objecte noch keine chemische Wirkung ausübt, auf dem Objectträger unbedeckt der Verdunstung. Da letztere an dem Rande des Tropfens immer grösser ist, als in der Mitte, so steigert sich die Sättigung von dieser nach jenem hin stetig und man kann die Einwirkung in ihren verschiedenen Uebergängen sowohl in beliebiger Langsamkeit nacheinander, als nebeneinander beobachten, sowie das Verfahren an demselben Präparate beliebig oft wiederholen.

II. Entfernung der Reagentien.

577 Soll ein Reagenz wieder ganz von einem Präparate entfernt und dieses hierauf mit Wasser ausgewaschen werden, so gilt es häufig, die grösste Vorsicht anzuwenden, namentlich wenn das Object sehr zart ist und man durch das Wegnehmen des Deckglases dasselbe zu verderben Aussicht hätte. Ich habe in diesem Falle unter allen Umständen folgendes Verfahren am einfachsten und zweckmässigsten befunden. Man bringt den Objectträger sammt dem bedeckten Präparate in eine mit einer hinreichenden Menge reinen destillirten Wassers gefüllte flache Porzellanschale. Es tritt dann noch eine gewisse Menge Wasser zu dem Reagenz unter das Deckglas und hebt dasselbe etwas, so dass man es nun mittelst einer feinen Glasnadel leicht über das Präparat wegschieben kann, ohne dieses zu verletzen. Die das letztere umgebende Wassermenge reicht in der Regel zum Auswaschen desselben vollkommen aus und man kann es mittelst einer breiten messerartigen Präparirnadel, des Präparirschäufelchens, oder eines feinen Haarpinsels ohne Weiteres auf einen frischen, bereit gehaltenen Objectträger bringen. Weniger schnell zum Ziele führend, für den minder geübten Beobachter indessen bei sehr zarten Präparaten vielleicht noch vorzuziehen, ist das von Harting empfohlene Verfahren. Nach diesem bringt man den Objectträger in eine etwas geneigte Lage und giebt auf den nach oben gekehrten Rand des Deckglases tropfenweise Wasser, welches unter dieses sich hineinzieht und die Probenflüssigkeit mit fortreisst, ohne das Object zu verletzen und wegzuführen. Wo das Präparat sehr dünn ist und das Deckglas somit zu fest aufliegt, um dem Wasser das Eindringen zu gestatten, da hebt man letzteres etwas und fügt zwischen beide Gläser einen dünnen Körper, etwa ein Haar oder dergleichen, ein, worauf das Ausspülen leichter von statten geht. In anderer Weise kann man einen dauernden Strom der Auswaschflüssigkeit dadurch herstellen, dass man dieselbe entweder an den einen Rand des Deckglases bringt und an dem gegenüberstehenden ein Stückchen gerade abgeschnittenes Fliesspapier anlegt, um als Saugapparat zu dienen, oder eine grössere in oder über dem Niveau des Objectes befindliche Menge

von ihr mit einem Baumwollfaden in Verbindung bringt, diesen unter das Deckglas führt und an der gegenüberstehenden Seite einen zweiten Baumwollfaden unterlegt, welcher die Ableitung der überschüssigen Flüssigkeit vollzieht.

Um sich bei Anwendung der letztgenannten Verfahrensweisen davon zu überzeugen, ob das Object hinreichend ausgewaschen ist, muss von Zeit zu Zeit das ablaufende Waschwasser mit den geeigneten Reagentien untersucht werden.

Vierter Abschnitt.

Die mikroskopische Messung.

578 Schon in dem vorhergehenden Abschnitte ist kurz darauf hingewiesen worden, dass die Grössenbestimmung der mikroskopischen Objecte ein wichtiges Hilfsmittel der Beobachtung bildet. Auch hatte man dies bereits in den ersten Zeiten erkannt, als man das Mikroskop für wissenschaftliche Untersuchungen zu gebrauchen begann, und mancherlei, wenn auch unzureichende Mittel in Anwendung gebracht, um die linearen Ausmaasse der durch das Mikroskop beobachteten Gegenstände zu ermitteln.

Die mikroskopische Messung umfasst indessen nicht allein die Bestimmung der letzteren und zwar in der horizontalen „Längenmessung“, wie in der senkrechten Richtung „Dickenmessung“, sondern sie hat auch bei einer Reihe von Untersuchungen die Ermittlung von Winkelgrössen ins Auge zu fassen.

Erstes Capitel.

Längen- und Dickenmessung.

579 Die Längenmessung ist bei der mikroskopischen Beobachtung am frühesten in Anwendung gebracht worden. Von Robert Hooke ist bekannt, dass er das Doppeltsehen zu diesem Zwecke anwendete, indem er das durch das eine Auge in dem Sehfelde des Mikroskopes beobachtete Object auf einen mittelst des zweiten Auges gesehenen Maassstab projicirte. Wenn die von diesem Forscher mittelst einer noch heut zu Tage gebräuchlichen Messungsmethode erzielten Resultate auch höchst

ungenau waren, so hatte dies seinen Grund nicht in der Methode selbst, sondern in dem Umstande, dass ihm die geeigneten Mittel fehlten, um die Vergrösserung seiner Mikroskope mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen. Die später von Leeuwenhoek angewendete Methode war schon an und für sich eine unvollkommene. Derselbe nahm nämlich möglichst rein geschlemmte Sandkörnchen oder kleine Samen, von denen er vorher bestimmt hatte, wie viele auf eine Linie gehen, streute dieselben unter die mikroskopischen Objecte und verglich nun direct die Grösse der letzteren mit der bekannten Grösse der ersteren. War schon der Vergleich der neben einander im Sehfelde befindlichen Gegenstände keineswegs geeignet, ein befriedigendes Resultat zu liefern, so wurde dieses auch noch dadurch beeinträchtigt, dass die als Maasseinheit benutzten Objecte in ihren relativen Grössenverhältnissen immer mehr oder minder von einander abwichen. In letzterer Beziehung war das von Jurin etwa um dieselbe Zeit ersonnene Verfahren weit zweckmässiger, indem es die Möglichkeit gewährte, den Durchmesser eines Objectes mit einem Maassstabe zu vergleichen, dessen Grösse in Theilen des gebräuchlichen Längenmaasses mit grosser Genauigkeit bestimmt werden konnte. Jurin benutzte nämlich als Maasseinheit für seine mikroskopischen Messungen kleine Stückchen gleichmässig gezogenen feinen Silberdrahtes, welche er mit dem zu messenden Objecte zugleich in die Objectebene brachte. Den Durchmesser dieser Drahtstückchen hatte er vorher genau auf folgende Weise bestimmt. Ein längeres Stück des feinen Drahtes wurde auf einen dickeren Draht oder anderen Metallcylinder so dicht aufgewunden, dass zwischen den einzelnen Windungen auch nicht der geringste Zwischenraum blieb, dann eine bestimmte Anzahl von Windungen mittelst des Zirkels gemessen und das gefundene Maass durch die Anzahl der Windungen dividirt. Der so erhaltene Quotient gab den Durchmesser des feinen Drahtes an. Gingen z. B. 500 Windungen auf die Länge eines Zolles, so betrug der Durchmesser des Drahtes $\frac{1}{500}$ Zoll oder etwa $\frac{1}{40}$ Linie.

Doch auch dieses Verfahren war keineswegs geeignet, das gewünschte Ziel zu erreichen, und man bestrebte sich bald, eigene Instrumente für die mikroskopische Messung, d. h. „Mikrometer“ im wahren Sinne des Wortes zu verfertigen und bessere Messungsmethoden an die Stelle dieser älteren Verfahrensweisen zu setzen. Die verschiedenen Versuche anzuführen, welche während der letzten zwei Jahrhunderte unternommen worden sind und welche sich bald dem Schraubenmikrometer, bald dem Glasmikrometer zuwendeten, würde uns hier zu weit führen. Gegenwärtig sind allgemein die in dem dritten Buche beschriebenen Mikrometer in Gebrauch, und wenn auch die Schraubenmikrometer in hinreichender Vollkommenheit nur von einzelnen Werkstätten geliefert werden, so kann man doch von den meisten Optikern Glasmikrometer erhalten, welche bei Anwendung der im Folgenden zu besprechenden Vorsichtsmaassregeln vollkommen brauchbare Resultate liefern.

580 Die Dickenmessung, welche in der einfachsten und für unsere Zwecke vollständig ausreichenden Weise mittelst der an der feinen Einstellschraube angebrachten in dem zweiten Buche erwähnten Vorrichtung ausgeführt werden kann, ist, wie es scheint, erst in unserm Jahrhundert unter die mikroskopischen Untersuchungsmethoden aufgenommen worden.

Der Engländer Dakin erwähnt die Anwendung der gedachten Vorrichtung, welcher er den Namen Focimeter beilegte, im Jahre 1828. Später wurde dieselbe an einzelnen Mikroskopen von A. Ross angebracht und fand dann in England allgemeinen Eingang, während sie bei den continentalen Instrumenten eine weitere Beachtung nicht gefunden hatte. Hier hat sie Winkel auf Anregung Listing's im Anfange der 70er Jahre wohl zuerst bei seinen grösseren Stativen eingeführt, während sie zur Zeit auch Zeiss u. A. bei ihren grossen Stativen in Anwendung bringen.

581 Was die Resultate mikrometrischer Bestimmung linearer Ausmaasse betrifft, so wird man sich in den meisten Fällen der organischen Entwicklungsgeschichte sowohl, als der Beobachtung des Fertigen, ohne eine absolute Genauigkeit der Grössenangabe fordern zu können, auf Mittel- und Grenzwerte gewisser gleichartiger Gewebetheile und Elementarorgane beschränken müssen, welche unter einander immer mehr oder weniger an Grösse abweichen. Gerade diese aber gewinnen dadurch einen hohen Werth für die Charakterisirung eines bestimmten ausgebildeten, oder in einem gewissen Entwicklungsstadium sich befindenden Objectes, dass sie bei umsichtiger Ausführung der einzelnen mikrometrischen Beobachtungen dessen Grösse in bestimmte Grenzen einschliessen, welche bei normalem Entwicklungsgange nicht überschritten werden. Aus diesem Grunde ist es denn auch überall da, wo die Grössenbestimmung dieser Grenz- resp. Mittelwerthe unter die charakteristischen Kennzeichen eines Objectes aufzunehmen für nothwendig befunden wird, sowie für alle die Fälle, in denen eine fast absolut genaue Feststellung kleinerer Ausmaasse verlangt werden muss, durchaus erforderlich, dass die Messung mit der grössten Vorsicht vorgenommen und für die höchst mögliche relative und absolute Genauigkeit ihrer Resultate Sorge getragen wird.

Diese Genauigkeit hängt aber von Zweierlei ab, erstlich von der Güte des gebrauchten Mikrometers, dessen Theilung nicht nur möglichst gleichmässig ausgeführt, sondern auch so beschaffen sein muss, dass die einzelnen Intervalle wirklichen Unterabtheilungen irgend eines Normalmaasses entsprechen, und dann von der in Anwendung gebrachten Messungsmethode.

In ersterer Beziehung ist zu beklagen, dass die in Gebrauch befindlichen Mikrometer neuerer Zeit theilweise noch immer mit Fehlern in Bezug auf die absolute Grösse jener Unterabtheilungen des angenommenen Normalmaasses, welche angeblich auf denselben getheilt sind, als auch mit mehr oder minder bedeutenden relativen Theilungsfehlern behaf-

tet erscheinen, die zum Theil auf der Unvollkommenheit der zu ihrer Herstellung verwendeten mechanischen Vorrichtungen beruhen. Hier müssten es sich zunächst die Mechaniker zur Aufgabe machen, solche Vorkehrungen zu treffen, dass die bisher einwirkenden Fehlerquellen möglichst beseitigt werden. Dann aber sollten es dieselben als ihre Pflicht ansehen, die Abweichung der von ihnen getheilten Unterabtheilung des Normalmaasses von ihrer wahren Grösse, sowie die Ungleichheiten zwischen den einzelnen Abtheilungen ihrer Mikrometer, soweit dieselben eben nicht zu beseitigen sind, offen darzulegen und deren Grösse genau zu bestimmen, um dem Mikroskopiker die Möglichkeit zu gewähren, durch hierauf sich stützende, entsprechende Correctionen ihre, mittelst directer Messung erhaltenen fehlerhaften Resultate in richtige und vergleichbare umzuwandeln.

So lange es indessen von den Mechanikern und Optikern nicht als eine Verpflichtung erkannt wird, diese Bestimmungen vorzunehmen, bleibt es mit Rücksicht auf die oben gedachten feineren und in ihren Resultaten wichtigeren, sowie auf die im ersten und zweiten Buche besprochenen Messungen, Aufgabe des Mikroskopikers, dieselben eigenhändig zu erledigen, weshalb wir uns etwas eingehender mit diesen Arbeiten beschäftigen müssen.

I. Prüfung der Mikrometer.

Zur Bestimmung der wahren Grösse der ganzen getheilten Unter- 582
abtheilung des Normalmaasses sowohl als der einzelnen Unterabtheilungen eines Mikrometers — abgesehen von den Theilungsfehlern — sind mehrere Methoden vorgeschlagen worden, von denen wir uns auf die beiden folgenden beschränken wollen, welche in gewissem Grade ihrem Zwecke entsprechen. Harting (Das Mikroskop etc. Seite 503 und f.) empfiehlt, als für die Lösung dieser Aufgabe sehr geeignet, das schon von Jurin angewendete, weiter oben erwähnte Mittel, die Dicke eines feinen Drahtes in Maasstheilen eines entsprechenden Mustermaasses zu bestimmen und hiermit das betreffende Mikrometer oder dessen Unterabtheilungen zu vergleichen.

Um auf diese Weise einen möglichst genauen Mustermaassstab zu erhalten, sind nach genanntem Mikrographen folgende Umstände auf das Sorgfältigste zu beachten.

1. Der zum Umwinden genommene Draht muss überall gleiche Dicke haben, wovon man sich durch vorherige Untersuchung zu überzeugen hat.

2. Da der Draht (Claviersaite) nach dem einen Durchmesser immer dicker ist als nach dem rechtwinklig auf ihm stehenden, so müssen alle späteren Messungen auf der bei dem Aufwinden dem Auge zugekehrten, breiteren Seite vorgenommen werden.

3. Der feine Draht muss um einen ziemlich dicken, 8 bis 9 mm messenden Eisendraht gewunden werden. Dann hat man nöthigenfalls sich unter dem Mikroskope zu überzeugen, dass die Windungen gehörig aneinander schliessen, weil davon zum grössten Theile die Genauigkeit des Resultates abhängt.

4. Die Umwindung wird am besten auf der Drehbank vorgenommen, weil man dann eher im Stande ist, die Anzahl der Windungen zu bestimmen, indem man die Umdrehungen der obersten Scheibe zählt.

5. Die Länge sämmtlicher Windungen muss mit der grössten Genauigkeit und mittelst eines als vollkommen genau bekannten Maassstabes gemessen werden.

Bei der Prüfung der Schraubenmikrometer mittelst dieser Methode verfährt man in derselben Weise, wie dies später auseinander gesetzt werden wird, und sieht zu, inwieweit die an Scala und Trommel abgelesene Grösse mit derjenigen des angefertigten Mustermaasses übereinstimmt oder nicht. Ist dagegen ein Glasmikrometer zu prüfen, so legt man entweder den Draht unmittelbar auf die zu prüfende Theilung und vergleicht beide direct mit einander, oder, was ich für weit genauer halte, man fasst mittelst der Camera lucida die Grenzen des Drahtes zwischen zwei feine Bleistiftlinien ein und vergleicht dieses Maass mit der auf gleiche Weise gezeichneten Theilung.

Diese Methode ist allerdings für Jedermann zugänglich, leicht ausführbar und liefert auch bei der ausserordentlichen Genauigkeit, mit der die Dicke des Maassdrahtes sich bestimmen lässt, annähernd richtige Resultate, mit denen man für manche Fälle recht gut ausreichen kann. Sie steht indessen in Bezug auf die grösste Genauigkeit noch ziemlich weit hinter den besseren Messungsmethoden, deren wir uns sonst bedienen, zurück, und möchte daher für die feinsten Bestimmungen kaum zu empfehlen sein. Die auf die Genauigkeit des Resultates fehlerhaft einwirkenden Verhältnisse sind namentlich folgende.

Erstlich giebt es keinen Draht, der auf eine so grosse Länge einen völlig gleichen Querschnitt, also gleiche Dicke hat. Selbst der von Harting verwendete Musterdraht, dessen Dicke von ihm auf 0,13359 mm bestimmt wurde, zeigt nach den von Dr. Place vorgenommenen Messungen auf eine Länge von 40 mm Differenzen im Verhältnisse von etwa 100 : 102.

Zweitens erhält man durch die vorgenommene Messung niemals den wirklichen Durchmesser, sondern einen etwas höheren Werth, der um so mehr von dem ersteren abweicht, je dünner der Cylinder ist, um welchen der Draht gewunden wurde.

Drittens ändert sich der Querschnitt des Drahtes sowohl beim Aufwinden desselben als beim Abwickeln in bestimmbarer Grösse, was auf das Resultat der Messung nicht ohne Einfluss bleibt.

Endlich ist es bei dem späteren Vergleichen des Drahtes mit irgend einem Glasmikrometer nicht möglich, den ersteren so scharf einzustel-

len, wie dies zu einer genauen Messung nothwendig erscheint. Man erhält nämlich nie ein scharfes Bild des Drahtes, sondern es erscheint dasselbe in Folge der Interferenzen des Lichtes am Rande immer mehr oder minder verwischt. Aus diesem Grunde ist man denn auch niemals sicher, ob man den wahren Durchmesser in Vergleich gezogen habe oder nicht.

Zu weit genauere und zuverlässigere Resultate führt das von 583 Dr. Fr. Place erdachte, unmittelbar zwar nur auf Glasmikrometer, in-

direct aber auch auf alle übrigen Mikrometer anwendbare Verfahren, das Mikrometer mit Verschiebungen von genau bekannter Grösse zu vergleichen. Die Ausführung lässt mancherlei Modificationen zu, die auch von dem Verfasser der genannten Schrift versucht worden sind. Als die geeignetste hat er die folgende erkannt, auf die wir indessen auch nur andeutungsweise eingehen können, indem für das Ausführlichere auf das citirte Schriftchen verwiesen werden muss.

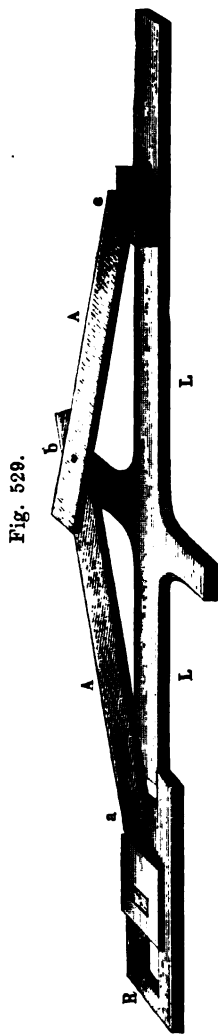
Der von Place benutzte Apparat (Fig. 529) besteht:

1. Aus einem Rahmen *R*, der mittelst zweier Schrauben an dem Stative, von dem der Tisch entfernt ist, angeschraubt wird;

2. aus einer von dem Rahmen ausgehenden Latte *L* von 500 mm Länge, welche sich in der Mitte in ein Kreuz verbreitert, um die weiter unten beschriebenen beweglichen Stücke zu unterstützen. Etwa 400 mm vom Rahmen entfernt trägt diese Latte eine Erhöhung, gleich der Dicke eines der beweglichen Arme, deren Zweck sich aus der Figur ersehen lässt;

3. aus einem von der Latte abgeschnittenen Klötzchen, welches sich in dem Rahmen leicht und ohne Spielraum bewegt. Auf dasselbe ist eine dicke, klare, darüber hinausragende Spiegelglasplatte aufgekittet, welche das zu untersuchende Mikrometer aufnimmt. Das Ganze bildet somit einen Schlitten, mittelst dessen die Verschiebungen ausgeführt werden;

4. aus zwei kürzeren, gleich grossen, etwa 220 mm langen Lättchen *A*, *A*, von denen das eine von dem Schlitten aus nach dem Kreuze führt, während das zweite auf dem ersteren und der oben erwähnten Erhöhung der grösseren Latte aufliegt. Beide Lättchen haben in *a*, *b* und *c* Drehpunkte.



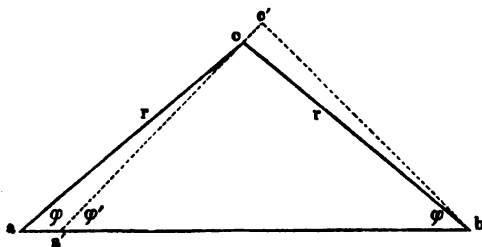
Vorrichtung zur Prüfung der Glasmikrometer.

Am hinteren, dem Stative abgewendeten Ende wird der Apparat mittelst eines passenden, den in den chemischen Laboratorien gebrauchten Retortenhaltern ähnlichen Halters getragen. Das Ocular, welches man zu diesen Untersuchungen benutzt, hat am besten ein Fadenkreuz, um recht genau einstellen zu können.

Für meinen Gebrauch habe ich die Vorrichtung etwas abgeändert, indem ich erstlich dem Rahmen eine solche Einrichtung gab, dass er mittelst zweier Stifte in den für die Federklammern bestimmten Vertiefungen des Objecttisches eingesteckt werden konnte, und dann die Dimensionen der Compendiosität halber etwa auf die Hälfte verringerte, so dass die Hauptplatte eine Länge von 250 mm, die kleinen Lättchen eine solche von 110 mm erhielten.

Es ist nun aus Fig. 530 leicht zu ersehen, wie eine gewisse Verschiebung $V = aa'$ des Schlittens eine entsprechende Aenderung der

Fig. 530.



Grösse beider Winkel φ und φ' an der Grundlinie des gleichschenkligen Dreiecks abc hervorbringen muss und wie umgekehrt aus der Grösse der Drehung der Schenkel, welche auf einfache Weise an einem in dem Drehpunkte c des Apparates aufgelegten, genau centrirten Transporteur oder auch mittelst Spiegel und Scala abgelesen wird, die entsprechende Länge eines mittelst des Schlittens durch das Sehfeld des Mikroskopes geführten Mikrometers gefunden werden kann.

Bezeichnet man nämlich die bei der Verschiebung durchlaufene Strecke mit v , die beiden beweglichen Latten mit r , so ist aus trigonometrischen Gründen:

$$v = 4r \cdot \sin^2 \frac{1}{2} \varphi^1).$$

Ein Beispiel wird das ganze Verfahren vollkommen deutlich machen. Die Untersuchung bezieht sich auf ein von L. Bénèche im Jahre 1854 bezogenes Ocularglasmikrometer, worauf 5 mm in 50 Theile getheilt sind und bei dem jedesmal auf die langen, vollen Millimetern entsprechenden Theilstriche der Scala eingestellt wurde. Die Länge der beiden Schenkel hatte ich mittelst eines aus Paris bezogenen Etalons zu 102,4 mm

¹⁾ Ueber die Ableitung dieser Formel s. Place a. a. O. S. 49 u. f.

gefunden. Die mittelst eines sehr genau getheilten Transporteurs, der Minuten schätzen liess, vorgenommenen Ablesungen ergaben:

für eine Verschiebung

von 1 mm des Mikrometers	$\varphi = 5^{\circ} 41'$	$\frac{1}{2} \varphi = 2^{\circ} 50' 30''$
" 2 " " "	$\varphi = 8^{\circ} 7'$	$\frac{1}{2} \varphi = 4^{\circ} 3' 30''$
" 3 " " "	$\varphi = 9^{\circ} 52'$	$\frac{1}{2} \varphi = 4^{\circ} 56'$
" 4 " " "	$\varphi = 11^{\circ} 22'$	$\frac{1}{2} \varphi = 5^{\circ} 41' 30''$
" 5 " " "	$\varphi = 12^{\circ} 42'$	$\frac{1}{2} \varphi = 6^{\circ} 21'$

Daraus ergibt sich:

für eine Verschiebung

von 1 mm des Mikrometers	$\log 4 r. \sin^2 \frac{1}{2} \varphi = 0,0029047$	$v = 1,006$ mm
" 2 " " "	$\log 4 r. \sin^2 \frac{1}{2} \varphi = 0,3132699$	$v = 2,056$ "
" 3 " " "	$\log 4 r. \sin^2 \frac{1}{2} \varphi = 0,4813221$	$v = 3,029$ "
" 4 " " "	$\log 4 r. \sin^2 \frac{1}{2} \varphi = 0,6051605$	$v = 4,029$ "
" 5 " " "	$\log 4 r. \sin^2 \frac{1}{2} \varphi = 0,6998833$	$v = 5,010$ "

15 mm des Mikrometers sind also

= 15,129 mm

und es hat somit jedes Millimeter des Mikrometers eine Länge von 1,0086 mm.

So genau die Resultate dieser Methode sind, und so sehr sich dieselbe den Optikern für die Prüfung der aus ihren Werkstätten hervorgehenden Mikrometer empfehlen lässt, so dürfte sie doch für den praktischen Mikroskopiker, der es sich nicht speciell zur Aufgabe gesetzt hat, mikrometrische Untersuchungen vorzunehmen, etwas umständlich und nicht immer mit der nöthigen Verlässlichkeit ausführbar sein. Denn zunächst wird man sich eben nicht aller Orten in den Besitz eines vollkommen zuverlässig gearbeiteten Apparates setzen können, und dann gelingt es auch nicht leicht, sich einen vollständig genauen Etalon zu verschaffen, mittelst dessen die Längen der beiden beweglichen Latten auf das Sorgfältigste gemessen werden müssen, wenn man hinreichend genaue Resultate erlangen will. Zur Erzielung der höchsten Genauigkeit, wie sie von den betreffenden Werkstätten für die Justirung der von ihnen auszugebenden Mikrometer verlangt werden muss, dürfte es sich namentlich empfehlen, den ganzen Apparat aus Metall fertigen zu lassen, so dass gut abgeschliffene und geölte Metallbahnen aufeinander gleiten. Ferner müsste die Verschiebung des Schlittens nicht mit der freien Hand, sondern mittelst einer Schraube ausgeführt und die Grösse der Drehung durch Spiegel und Scala gemessen werden.

II. Messungsmethoden.

Von Messungsmethoden, für welche die Bestimmung des Verhältnisses 584 zwischen den Abmessungen des gemessenen Bildes und denjenigen des Gegenstandes, welches den sogenannten Reductionsfactor liefert, die

Grundlage des ganzen Verfahrens bildet, wurden im Laufe der Zeit mancherlei ersonnen und ausgeführt, von denen die eine mehr, die andere minder dem Ziele einer möglichst hohen Genauigkeit und Verlässlichkeit nahe kommt.' Genaue Resultate können bei Verwendung des gewöhnlichen optischen Apparates auch unter den gegenwärtigen Verhältnissen, wo doch die optische Vollkommenheit der Mikroskope einen sehr hohen Grad erreicht hat, nur unter bestimmten Bedingungen erzielt werden. Diese Thatsache beruht auf folgender Betrachtung ¹⁾.

Wenn es sich um das berührte Verhältniss zwischen der wirklichen Objectgrösse und der gemessenen Bildgrösse handelt, so muss die bei dem Mikroskop durch die Ebene, in welcher sich das Ocularmikrometer oder das durch eine Messschraube fortgeführte Fadenkreuz befindet, vollkommen bestimmte Ebene, in welcher die Beobachtung und Messung erfolgt, unterschieden werden von der wirklichen Bildebene, welche in Folge der Unvollkommenheiten des optischen Systemes und der Unempfindlichkeit unseres Auges einer grösseren oder geringeren Unbestimmtheit unterliegt und z. B. durch ungenaue Einstellung in ihrer Lage auf der Achse mehr oder weniger von der Lage der ersteren abweichen kann. In Folge dieser Umstände vermag das oben erwähnte Verhältniss nur vollständig festgestellt zu werden unter Berücksichtigung der durch die physische Oeffnung des Systemes herbeigeführten, im ersten Buche näher betrachteten Begrenzung der abbildenden Strahlenkegel und demgemäss des Einflusses, welchen die Lage der Ein- und Austrittspupille beziehentlich ihrer Mittelpunkte auf der Achse auf jenes Verhältniss ausübt.

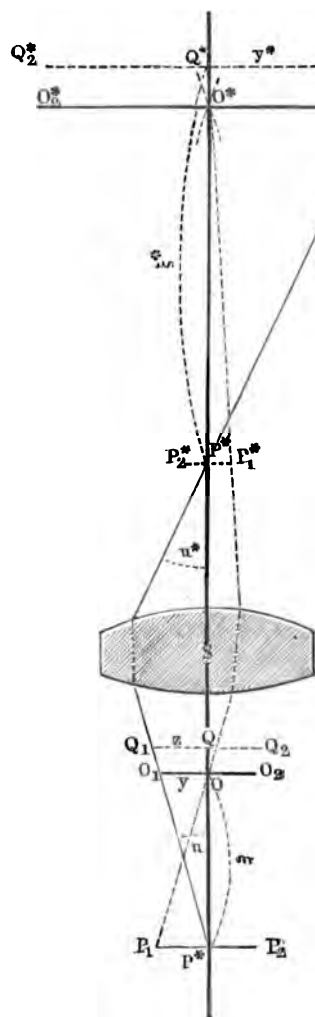
In Fig. 531 stellt nämlich, unter Voraussetzung des dritten Falles der Strahlenbegrenzung (Seite 59), $O_1 O O_2$ das Object, P den Mittelpunkt der Eintrittspupille, P^* den ihm zugeordneten Mittelpunkt der Austrittspupille, y die halbe Objectgrösse, y^* das halbe Bildmaass und u, u^* die Neigungswinkel der in das Object eintretenden und der nach der Bildebene $O_1^* O^* O_2^*$ und Messungsebene $Q_1^* Q^* Q_2^*$ hinzielenden Hauptstrahlen, ξ und ξ^* die Entfernungen je der Objectebene O und der Messungsebene Q^* von den Punkten P und P^* , $Q_1 Q_2$ die zu $Q_1^* Q^* Q_2^*$ conjugirte Ebene vor und es ergibt sich aus deren Betrachtung Folgendes.

Dürfte man annehmen, dass das Object sich genau in der der Messungsebene Q^* zugeordneten Ebene Q befände, so würde selbstverständlich $\frac{y^*}{y}$ die ganz bestimmte Vergrösserung sein, welche bei dem Objecte für dieses Paar zugeordneter Ebenen besteht. Dies darf man aber praktisch nicht annehmen, weil das Auge kleine Zerstreuungskreise in der Ebene Q^* von scharfen Bildpunkten nicht unterscheidet und daher bei der Einstellung des Mikroskopes kein Mittel hat, das Object genau an

¹⁾ Professor Abbe: Ueber mikrometrische Messung mittelst optischer Bilder, in den Sitzungsberichten der Jenaischen Gesellschaft für Medicin und Naturwissenschaft 1878.

die zu Q^* conjugirte Stelle Q zu bringen. Der Ort von $O_1 O O_2$ wird also praktisch etwas über oder unter $Q_1 Q Q_2$ bleiben und in Folge dessen

Fig. 531.



das scharfe Bild des Objectes in einer Ebene O^* auftreten, welche über oder unter der gegebenen Messungsebene liegt. Gemessen wird demnach nicht das scharfe Bild $O_1^* O^* O_2^*$, sondern das durch die Zerstreuungskreise erzeugte Bild in der Ebene Q^* . Da nun die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise bei der Messung als die Bildpunkte angesehen werden und diese Mittelpunkte immer auf den Hauptstrahlen liegen, welche durch die Mitte der Ein- und Austrittspupille gehen, so erhält man in dem Maasse $Q^* Q_1^* (= y^*)$ nicht das Bild von $O O_1 (= y)$ — welches das Maass $O^* O_1^*$ haben würde, sondern das Bild eines andern Objectes, dessen lineares Maass durch die Länge $Q Q_1 (= z)$ gegeben ist, weil dieses auf der Länge $Q^* Q_1^*$ scharf abgebildet werden würde. Das Verhältniss $\frac{y^*}{y}$ darf unter diesen Um-

ständen dem dioptrisch bestimmten Vergrößerungsverhältniss für die Ebene Q^* nicht gleich gesetzt werden, weil dieses voraussetzen würde, dass die Strecke y in der Ebene von Q läge. Durch die Messung erhält man, sofern als z von y verschieden wird, nur $\frac{y^*}{z}$, aber nicht $\frac{y^*}{y}$.

Letzteres Verhältniss muss unmittelbar berechnet werden aus den geometrischen Bedingungen,

welche der Strahlengang, d. h. der Verlauf der Hauptstrahlen darstellt.

Nun ist in Figur 531

$$\frac{y}{z} = \operatorname{tg} u, \quad \frac{y^*}{z^*} = \operatorname{tg} u^*$$

also

$$\frac{y^*}{y} = \frac{tg u^*}{tg u} \cdot \frac{\xi^*}{\xi}$$

und wenn im Object- und Bildraume Luft als Medium vorausgesetzt wird

$$\frac{tg u^*}{tg u} = \frac{1}{M} \text{ (Seite 10),}$$

demnach

$$\frac{y^*}{y} = \frac{\xi^*}{\xi} \cdot \frac{1}{M}.$$

In dieser Endgleichung bildet M eine unveränderliche, oder doch eine nicht mit der Einstellung sich ändernde Zahl, da Ein- und Austrittspupille — wenigstens bei einer bestimmten Beleuchtung — mit dem Objectivsystem gegeben sind. Dagegen bedeuten nach dem Vorausgehenden y^* und y nicht einander zugeordnete Grössen und ξ^* und ξ nicht die Abstände von einander zugeordneten Achsenpunkten, d. h. von P und P^* , welche allein solche Punkte bilden. Es kann vielmehr in Folge ungenauer Einstellung — wie hier vorausgesetzt wird — ξ in gewissem Grade veränderlich sein, wenn ξ^* (also die Lage der Messungsebene) gegeben ist, oder umgekehrt ξ^* veränderlich sein, wenn ξ , also die Lage des Objectes gegen das Objectiv als fest gegeben und das Mikrometer als einstellbar angenommen würde. Demzufolge kann auch

das für die Messung maassgebende Verhältniss $\frac{y^*}{y}$ schwanken innerhalb derjenigen Grenzen, welche die Einstellung auf höchste Bildschärfe praktisch bestehen lässt für die Veränderlichkeit von ξ , wenn ξ^* , oder für die Veränderlichkeit von ξ^* , wenn ξ fest gegeben ist.

Für die mikroskopische Messung hat, da man dabei für eine bestimmte Combination des optischen Apparates das Mikrometer stets in unveränderter Verbindung mit dem Objectiv hält, vorzugsweise diejenige Veränderlichkeit des Verhältnisses $\frac{y^*}{y}$ Bedeutung, welche von der Veränderung des ξ bei gegebenem ξ^* abhängt.

Die Betrachtung der Fig. 531 zeigt nun, dass in diesem Falle die Veränderlichkeit von $\frac{y^*}{y}$, d. h. eine mögliche Verschiedenheit dieses Verhältnisses von der dioptrischen Vergrösserung für die Ebene Q^* allein bedingt ist durch die Divergenz oder Convergenz der von den einzelnen Punkten des Objectes aus nach der Mitte der Eintrittspupille gehenden Hauptstrahlen. Denn wären diese einmal in einem besonderen Falle parallel, so würde — wieweit auch die beiden Ebenen O und Q von einander abliegen möchten — die lineare Grösse von $Q Q_1 = z$ nicht von derjenigen von $O O_1 = y$ verschieden sein und es würde das Verhältniss $\frac{y^*}{y}$ bei jeder Einstellung, d. h. bei jeder Grösse von ξ dasselbe und

gleich der dioptrischen Vergrößerung für die Ebene Q^* bleiben müssen. Hieraus folgt, dass das für die Messung maassgebende Verhältniss $\frac{y^*}{y}$ von der genaueren oder weniger genauen Einstellung des Mikroskopes auf das Object unabhängig wird, wenn die Eintrittspupille des Objectivsystemes in unendlicher Entfernung angebracht wird, so dass die Hauptstrahlen vor dem Objectiv parallel werden.

Das gleiche Resultat ergibt auch die obige Gleichung. M ist nämlich nach den Formeln für die Vergrößerung allgemein zu bestimmen durch den Ausdruck

$$M = \frac{f}{x}$$

worin f die Brennweite des Objectivsystemes x den Abstand der Eintrittspupille ($P_1 P_2$) von der vorderen Brennebene darstellt. Demnach wird

$$\frac{y^*}{y} = \frac{\xi^*}{\xi} \cdot \frac{x}{f} = \frac{\xi^*}{f} \cdot \frac{x}{\xi}.$$

Je weiter man $P_1 P_2$ von dem Objectivsystem fortrückt, desto mehr nähert sich das Verhältniss zwischen x und ξ der Einheit, da die Punkte F und O , von welchen ab x und ξ beziehentlich gemessen werden, immer einen endlichen — praktisch sogar einen sehr kleinen — Abstand von einander haben. Demgemäss wird, je weiter P von O weggerückt wird, desto mehr

$$\frac{y^*}{y} = \frac{\xi^*}{f}$$

also von ξ vollständig unabhängig und gleich der in der Ebene $Q_1^* Q^* Q_2^*$ geltenden Linearvergrößerung. Man kann sohin den Einfluss der ungenauen Einstellung auf die mikrometrische Messung bei den Mikroskopobjectiven unwirksam machen. Soll dies geschehen für eine solche Art der Beleuchtung — wie sie z. B. mittelst diffusen Lichtes bei den Mikroskopen an Theilkreisen und Maassstäben in Anwendung kommt, bei denen die Iris meistens durch den Linsenraum selbst gegeben ist und $M = 1$, also

$\frac{y^*}{y} = \frac{\xi^*}{\xi}$, somit ebenso stark veränderlich wird, wie ξ — bei welcher

die Iris des Systemes die Eintrittspupille bestimmt, so muss, damit diese letztere in unendliche Entfernung gerückt wird, die Iris im oberen (hinteren) Brennpunkte F^* des Objectivsystemes angebracht werden wie es bei den von Prof. Abbe als „telecentrische“ bezeichneten Systemen der Fall ist. Für die Beleuchtung mittelst durchfallenden Lichtes kann man obige Bedingung dadurch erfüllen, dass man engere Beleuchtungskegel anwendet, als das Objectivsystem aufnehmen kann und die lichtgebende Fläche, d. h. die stellvertretende Eintrittspupille (s. Seite 79 und 192) in grosse Entfernung von letzterem bringt. Bei Objectivsystemen

von kürzerer Brennweite ist dies praktisch von selbst erreicht, wenn nur der Spiegel über die Brennpunktweite (beziehentlich deren Bild bei dem Betrachtungsapparate) weit unter der Objectebene liegt, dass der Abstand ein oder etwas Vielfaches der Brennweite beträgt und die Hauptstrahlen annähernd parallel sind.

Will man den Werth von $\frac{y}{y^*}$ zugleich auch von ξ^* unabhängig machen, also auch den Einfluss von Veränderungen in dem Abstände der Mikrometerebene bei veränderter Tubuslänge ausschliessen, dann müssen Objectivsysteme von der S. 644 beschriebenen und in ihrer Wirkungsweise näher gekennzeichneten Construction, d. h. „teleskopische“ Objectivsysteme zur Anwendung kommen.

Die praktisch erreichbare Annäherung an die volle Genauigkeit wird nun eine mehr oder weniger grosse, je nach der wirklichen Grösse der zu messenden Objecte. Eine maassgebende Regel über die Grenze, bis zu welcher dieselbe zu gehen habe, lässt sich nicht aufstellen. Im Allgemeinen dürfte aber für die allerfeinsten Messungen eine Fehlergrenze von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{10}$ Proc. diejenige sein, mit der man sich zufrieden geben kann und über die hinauszukommen vorläufig wohl kaum möglich sein dürfte. Ja in den meisten Fällen und namentlich bei sehr kleinen Objecten werden die mikroskopischen Messungen noch weit hinter dieser Grenze zurückbleiben, indem die begangenen Fehler nicht selten bis zu $\frac{1}{2}$ und 1 Proc. ja darüber hinaus ansteigen.

Inwieweit die einzelnen mehr oder weniger allgemein angewendeten Messungsmethoden im Stande sind, dieses Ziel der Genauigkeit zu erreichen, haben wir im Verlaufe unserer Darstellung zu untersuchen und darzulegen. Dabei wird es sich zeigen, dass ein und die andere wirklich im Stande ist, alles das zu leisten, was man unter den obwaltenden Umständen irgendwie verlangen kann.

1. Messung mittelst Glasmikrometern.

585 Am einfachsten zu gebrauchen sind unter allen Messungsvorrichtungen die Glasmikrometer. Dieselben haben auch die weiteste Verbreitung und befinden sich wohl in den Händen der meisten Mikroskopiker, da sie ihres verhältnissmässig geringen Preises halber Jedem leicht zugänglich sind, was von den Schraubenmikrometern, mit deren Anfertigung sich ausserdem nur wenige Mechaniker befassen, nicht gesagt werden kann. Ausserdem werden Glasmikrometer in der neueren Zeit von den meisten der bekannten optischen Werkstätten von solcher Schönheit der Ausführung verbunden mit möglichster Genauigkeit der Theilung geliefert, dass sie in mechanischer Beziehung fast allen Anforderungen entsprechen und die ihnen früher von manchen Seiten gemachten Vorwürfe zum grossen Theil als beseitigt betrachtet werden können. Hat man

sich zudem einmal über die etwaigen Fehler in Bezug auf die wirkliche Grösse der getheilten Unterabtheilung des gewählten Normalmaasses, sowie auf die relative Grösse der einzelnen Abtheilungen unterrichtet, so gewähren die damit ausgeführten Messungen eine solche Genauigkeit, dass man sich je nach der angewendeten Methode für eine grosse Anzahl oder alle Fälle, auf die erhaltenen Resultate verlassen kann, ohne zu anderen Messapparaten greifen zu müssen.

Um die relative Grösse der einzelnen Intervalle verschiedener Mikrometerscalen zu ermitteln und die für mit einer der beiden Arten von Glasmikrometern ausgeführten Messungen nothwendigen Correctionstabeln anzufertigen, wähle man irgend eine der genauesten Messungsmethoden. Am sichersten führen für denjenigen, dem ein Schraubenmikrometer nicht zur Verfügung steht, die im Nachfolgenden beschriebenen Methoden mittelst der Camera lucida zum Ziele. Man muss dabei jedoch streng darauf achten, dass man immer nur die Mitte des Sehfeldes zur Messung benutzt, und die beiden, je ein Intervall begrenzenden Mikrometerstriche zwischen zwei ganz zarte Bleistiftlinien einfasst, indem von den nach derselben Seite gewendeten Rändern ausgegangen wird.

Um ein Beispiel zu geben, wie diese Arbeit vorzunehmen ist, will ich das Messungsergebniss der fünf ersten Intervalle eines Ocularglas-mikrometers von Zeiss folgen lassen, auf dem 5 mm in 50 Theile getheilt sind. Die dabei zu Grunde liegende Scale enthält 16163 Einheiten auf 1 mm.

a.	b.	c.	d.	e.	f.
I.	1610	1610	1616	— 6	— 0,00037
II.	1622	3232	3232	0	0,00000
III.	1620	4852	4848	+ 4	+ 0,00025
IV.	1616	6468	6464	+ 4	+ 0,00025
V.	1608	8076	8080	— 4	— 0,00025

a. enthält die Nummern der Intervalle;

b. giebt die gemessene Grösse der einzelnen Intervalle an;

c. enthält die Summe der aufeinanderfolgenden Werthe von b., d. h. die Entfernungen der betreffenden Theilstriche vom 0-Punkt der Scala an;

d. giebt die Grösse, welche die Werthe unter c. haben sollten, wenn die Theilung vollständig regelmässig wäre;

e. enthält die Differenzen der Grössen unter c. und d. in Scalentheilen;

f. diese Differenzen in $\frac{1}{100000}$ des Millimeters, die man dem Nennwerthe der Entfernung der Striche vom 0-Punkte der Scala an hinzu-

zuzählen hat, um den wahren Werth derselben zu erhalten. Man berechnet dieselben durch Division von e durch 1616.

Die Summe der ersten fünf Intervalle beträgt demnach 0,4 mm weniger 0,00025 mm, d. h. 0,39975 mm ¹⁾, mit anderen Worten: Ein Object, das gerade von den fünf ersten Intervallen gedeckt wird, entspricht eigentlich statt 0,4 mm nur dem Werthe von 0,39975 mm.

Wenden wir uns jetzt zum Gebrauche der Glasmikrometer, so ist zunächst zu berücksichtigen, dass es deren zwei Arten giebt, von denen die eine Art als Object gebraucht, die andere ins Ocular eingelegt wird.

586 Objectmikrometer. Die Objectglasmikrometer gewähren den Vortheil, dass man für alle Combinationen von Objectivsystemen und Ocularen in deren Unterabtheilungen einen ein- für allemal bestimmten Werth besitzt, der keine weitere Umrechnung erforderlich macht.

Die einfachste Art und Weise der Messung mittelst dieses Mikrometers besteht darin, dass man ihn zum Träger für diejenigen Objecte benutzt, deren Grösse ermittelt werden soll. Da man hierbei die Objecte sowohl als die Theilstriche des Mikrometers zugleich übersieht, so lässt sich leicht abzählen, wie viele ganze Intervalle des letzteren dem zu messenden Gegenstande entsprechen, während etwaige Bruchtheile einer Abtheilung noch ziemlich sicher bis auf $\frac{1}{10}$ geschätzt werden können.

Reicht diese Messungsmethode auch für manche mikroskopische Objecte von zarter Beschaffenheit recht gut aus und gewährt für diese ziemlich genaue Resultate, indem man je nach Umständen bis auf $\frac{1}{1000}$ mm genau messen kann, so lässt sie sich doch im Allgemeinen nicht empfehlen. Was ihr entgegensteht, ist zunächst die Rücksicht, die man auf das Mikrometer selbst zu nehmen hat. Wie vorsichtig man auch bei der jedesmaligen Reinigung desselben zu Werke gehen mag, so wird es doch immer mehr oder weniger leiden und nach und nach unbrauchbar werden. Dann ist man in Bezug auf die Beschaffenheit der zu messenden Objecte ziemlich beschränkt, da es, um genaue Resultate zu erhalten, durchaus nothwendig ist, den Rand der ersteren und die Theilstriche des Mikrometers mit gleicher Schärfe zu sehen. Dies hört aber auf, sobald der Gegenstand eine einigermaassen beträchtliche Dicke erreicht, und je stärker die Vergrösserung ist, desto eher tritt dieser Umstand ein. Die Verwendung minder starker Vergrösserungen würde zwar diesen Uebelstand etwas zu mässigen oder auch ganz zu beseitigen im Stande sein, aber damit hätte man wieder nur wenig erreicht, weil dieselben weniger fein getheilte Mikrometer bedingten, wodurch die Grenze der Genauigkeit herabgedrückt würde.

587 Empfehlenswerther ist der Gebrauch des Objectglasmikrometers in Verbindung mit dem Seite 643 beschriebenen Spitzenocular. Mittelst dieser Messungsmethode, bei der das Bild des Objectes sowohl, als die

¹⁾ Die Differenzen sind bei diesem Mikrometer so unbedeutend, dass sie, ohne das Resultat der Messung wesentlich zu beeinflussen, vernachlässigt werden können.

Theilstriche des Mikrometers in voller Schärfe zwischen den feinen Spitzen der Nadeln erblickt werden, erreicht man für manche Zwecke und für nicht zu kleine Objecte eine genügende Genauigkeit. Ausserdem ist dieselbe wenig umständlich und bequem anzuwenden und der Messapparat verursacht wenig Kosten. Zur Ausführung der Messung bringt man den Gegenstand möglichst genau in die Mitte des Sehfeldes und stellt bei haarscharfer Einstellung desselben die feinen Nadelspitzen des Oculares so ein, dass sie die gegenüberstehenden Ränder des Bildes gerade berühren. Hierauf nimmt man das Object hinweg und bringt an dessen Stelle ein Glasmikrometer, dessen zwischen den beiden Spitzen befindliche Abtheilungen sich leicht zählen lassen. Etwaige Bruchtheile einer Abtheilung kann man bis auf $\frac{1}{10}$, ja bei einiger Uebung sogar bis auf $\frac{1}{20}$ schätzen. In Bezug auf die Grösse der Intervalle des Mikrometers ist man nicht an enge Grenzen gebunden, indem sowohl gröbere, als feinere, bis zu $\frac{1}{500}$ mm gehende Theilungen benutzt werden können. Nach meinen Erfahrungen reicht jedoch ein Mikrometer vollkommen aus, bei dem der Millimeter in 100 Theile getheilt ist, da man sich für die feineren Messungen doch nicht mit dieser Methode wird begnügen können.

Was die Fehlerquelle betrifft, welche daraus erwachsen soll, dass die Lichtstrahlen an den Nadelspitzen eine Beugung erleiden, wodurch man verhindert wird, die letzteren genau auf die Ränder des Objectes und die Theilstriche des Mikrometers einzustellen, so ist dieselbe lange nicht so erheblich, als man anzunehmen pflegt. Auch die Fehler in der Theilung des Mikrometers können dabei ebenso leicht unschädlich gemacht werden wie bei jeder anderen Messungsmethode. Will man sich der möglichst hohen Genauigkeit versichern, so kann man bei Wiederholung der Messungen mit den Objectivsystemen wechseln.

Wieweit man sich auf die nach dieser Methode erhaltenen Resultate verlassen könne, mögen die Probemessungen der Breite einer genau bestimmten Stelle des Spiralbandes einer Lebermoosschleuder darthun.

Es betrug bei einer 570 fachen Vergrösserung das Mittel aus 10 Messungen 3μ , während dasselbe bei einer 950 fachen Vergrösserung $2,8\mu$ ausmachte. Es stellte sich somit die Differenz zwischen diesen beiden Messungsreihen auf $0,2\mu$, was allerdings nicht weniger als $\frac{1}{15}$ von der Grösse des gemessenen Objectes beträgt.

Günstiger gestaltet sich das Verhältniss bei grösseren Gegenständen. So betrug z. B. die Differenz zwischen den zwei Messungsreihen eines Stärkekornes nur $0,0003$ mm, indem bei einer 570 maligen Vergrösserung dessen Durchmesser $= 0,0120$ mm, bei einer 950 maligen $= 0,0123$ mm gefunden wurde. Dieselbe macht somit nur $\frac{1}{40}$ des Objectes aus.

Weit sichere Resultate als die besprochene Methode liefert die Anwendung des Objectglasmikrometers in Verbindung mit der Camera lucida. Im Allgemeinen beruht diese Methode darauf, dass das vergrösserte Bild des Objectes auf einer Fläche projicirt und entweder mittelst eines hierzu

besonders angefertigten, oder mittelst eines gewöhnlichen Maassstabes gemessen wird. Dieselbe lässt in der Ausführung mancherlei Modificationen zu, deren wir im Verlaufe erwähnen müssen.

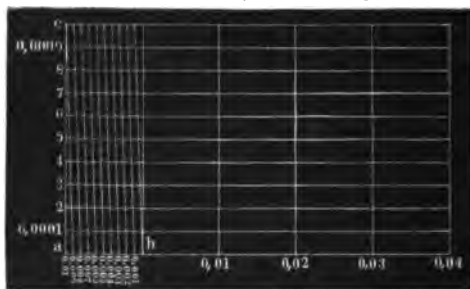
Zunächst werde ich die von mir angewendete und bewährt gefundene Verfahrungsweise besprechen, welche darauf hinausgeht, dass die Grösse des mittelst der Camera lucida in seinen Umrissen genau nachgezeichneten mikroskopischen Bildes mittelst eines hierzu besonders angefertigten Maassstabes gemessen wird.

Als Projectionsmittel eignet sich unter allen Umständen hierzu am besten ein solches, welches das Bild auf einer horizontalen oder nur wenig geneigten Fläche entwirft, weil nur so Arm und Hand die zur genauen Zeichnung erforderliche Sicherheit und Festigkeit besitzen. Bei der Zeichnung selbst muss man es sich zum Grundsatz machen, stets nur den mittleren Theil des Sehfeldes zu benutzen, um sowohl den Einfluss zu beseitigen, welchen die Verzerrung des Bildes an dem Rande des letzteren auf die Vergrößerung ausüben könnte, als auch immer dieselbe Entfernung festzuhalten, bei der Maassstab und Bild gezeichnet werden.

Die Anfertigung der Maassstäbe, von denen man für die Combination je eines Objectivsystemes mit einem bestimmten Oculare einen besonderen nöthig hat, vollführt man auf folgende Weise. Bei einem bestimmten Abstände (ich wählte dazu 250 mm), der in der Folge bei der Ausführung von Messungen immer genau festzuhalten ist, entwirft man sich auf einem

Fig. 532.

0,01 mm = 10 mm (1000 fache Vergr.).



Maassstab für das Objectglasmikrometer.

glatten und ganz ebenen Blättchen Zeichenpapier das Bild eines Theiles der Mikrometerscala und führt danach seinen Maassstab in der Form aus, wie dies bei den bekannten verjüngten Maassstäben üblich ist. Für die schwächeren Objectivsysteme kann die Eintheilung des Millimeters in 10 oder 20 Theile zu Grunde gelegt werden, für die mittleren und stärkeren genügt hierzu vollkommen die Theilung von 1 mm in 100 Theile. Im ersteren Falle bilden $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{20}$ mm, im letzteren $\frac{1}{100}$ mm die Haupteinheiten des Maassstabes. Diese können dann je nach Umständen in 5 bis 10 Unterabtheilungen getheilt werden, von denen die Proportional-

theile wiederum Zehntel angeben. In der Figur 562 ist ein solcher Maassstab für eine 1000fache Vergrösserung dargestellt. Die Hauptabtheilungen desselben entsprechen 0,01 mm oder 10μ , die Unterabtheilungen zwischen a und b 0,001 mm oder $0,1\mu$, während die Proportionaltheile zwischen a und c 0,0001 mm angeben und durch Einrücken zwischen die Parallellinien nöthigenfalls noch mit voller Sicherheit 0,00005 mm oder $0,05\mu$ unmittelbar abgegriffen werden kann.

Die Messung ist eine höchst einfache. Es wird nämlich der Durchmesser des in seinen Umrissen sorgfältig mittelst einer feinen Bleistiftlinie umzogenen Bildes zwischen die Spitzen eines genauen — nur zu diesem Zwecke zu gebrauchenden — Zirkels gefasst und dessen Grösse auf dem entsprechenden Maassstabe abgegriffen. Zur Controle sowie zur Erzielung der höchst möglichen Zuverlässigkeit kann man die Messung mittelst anderer Combinationen des optischen Apparates wiederholen und beliebig vervielfältigen.

An Genauigkeit wird diese Methode, wenn der Beobachter in dem Gebrauche der Camera lucida gehörig geübt ist und seine Umrisszeichnung mit voller Sicherheit und Festigkeit der Hand entwirft, wenn ferner die betreffenden Maassstäbe mit Accuratesse ausgeführt sind und die angegebenen Vorsichtsmaassregeln streng beachtet werden, soweit meine Erfahrungen reichen, von keiner der übrigen Messungsmethoden merklich übertroffen. Um dieselbe noch weiter zu treiben und namentlich die Bruchtheile der Hauptabtheilungen des Maassstabes mit grösserer Sicherheit zu bestimmen, kann man auf einem fünf- bis zehnfach vergrösserten Maassstabe den mittelst eines Doppelzirkels oder auf eine andere Weise in gleichem Verhältnisse vergrösserten Durchmesser des mikroskopischen Bildes abgreifen. Auch an Bequemlichkeit und Raschheit der Ausführung steht dieselbe, wenn man erst einmal die Maassstäbe in Ordnung hat, keiner der gleich zuverlässigen Messungsweisen nach, da man mit Leichtigkeit sofort die wahre Grösse des Objectes abzulesen und niederzuschreiben im Stande ist. Ein weiterer wohl zu beachtender Vorzug liegt darin, dass man mit Ausnahme der etwaigen Ausgabe für einen feinen Stangen- oder Doppelzirkel und eventuell für die Maassstäbe keine weitere Kosten aufzuwenden hat, da sich die Camera lucida ja ohnehin in den Händen des Mikroskopikers befinden muss, wenn er seine Zeichnungen in der wahren Bildgrösse ausführen will.

Nachstehende an verschiedenen grossen Objecten mittelst dieser Methode ausgeführten Probemessungen ergaben folgende Resultate.

1. Stärkekorn:

a. Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen = $33,87\mu$

b. " " " zweiten " " " " = $33,83\mu$

Differenz = $0,04\mu$

2. Kleines Stärkekorn:

a. Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen = $12,15 \mu$ b. " " " zweiten " " " " = $12,19 \mu$

Differenz = $0,04 \mu$

3. Tüpfelraum einer Zelle von

Abies pectinata:a. Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen = $4,79 \mu$ b. " " " zweiten " " " " = $4,73 \mu$

Differenz = $0,06 \mu$

4. Feines Spiralband:

a. Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen = $1,10 \mu$ b. " " " zweiten " " " " = $1,15 \mu$

Differenz = $0,05 \mu$

Will man sich die Mühe ersparen, mehrere Maassstäbe anzufertigen, so muss man allerdings zu einer Messungsweise des Bilddurchmessers greifen, bei der es nur eines einzigen Maassstabes bedarf. In Bezug auf das demselben zu Grunde zu legende Normalmaass hat man natürlich volle Freiheit. Da aber einmal das metrische Maass bei wissenschaftlichen Grössenbestimmungen sich fast überall Eingang verschafft hat, so verwendet man am geeignetsten einen solchen Maassstab, bei welchem die Hauptabtheilungen Centimeter, die nächsten Unterabtheilungen Millimeter und die Proportionaltheile $\frac{1}{10}$ mm angeben. Hier hat man aber in dem abgegriffenen Maasse noch nicht die wirkliche Grösse des Objectes, sondern es muss diese durch Division mit der betreffenden genauen Vergrößerungszahl in jenes ermittelt werden. Dass man sich auch in diesem Falle des oben erwähnten Doppelzirkels bedienen kann, liegt auf der Hand. Harting empfiehlt einen sogenannten Schieberzirkel (Fig. 533), auf welchem man mittelst eines angebrachten Nonius noch $\frac{1}{50}$ des Millimeters ablesen kann. Ich kenne denselben nicht aus eigener Erfahrung, es erscheint mir derselbe aber jedenfalls empfehlenswerth. Neben den oben angegebenen Vorsichtsmaassregeln hat man bei diesem Messungsverfahren besonders darauf zu achten, dass die Vergrößerungsziffern auf das genaueste bestimmt werden, weil ein verhältnissmässig geringer Fehler in denselben das Resultat ändern würde. Hätte man z. B. auf dem Maassstabe 33 mm abgegriffen, so würde sich bei einer zu 700 bestimmten Vergrößerung der Durchmesser des Objectes = $0,0471$ mm ergeben, während derselbe, wenn die Vergrößerung in der That = 715 wäre, = $0,0461$ mm sein würde, was eine Differenz von $0,001$ mm ergäbe, welche $\frac{1}{71}$ des Objectes gleich käme, also weit grösser wäre als der wahrscheinliche Fehler der Messung.

H. v. Mohl räth an, das Bild nicht auf Papier aufzufangen und nachzuzeichnen, sondern über einem Maassstabe mit kleinen Abtheilungen

Fig. 533.



Harting's Schieberzirkel.

zu projeciren, deren Werth man vorher mit Hilfe eines Glasmikrometers bestimmt hat. Hierbei soll eine grössere Genauigkeit deshalb erzielt werden können, weil man die Striche des Maassstabes sehr scharf in dem mikroskopischen Bilde erblicke. Ich habe diese Messungsweise versucht und mich überzeugt, dass dieselbe der oben geschilderten keineswegs an Genauigkeit gleichkommt. Als Maassstab benutzte ich einen solchen, dessen Abtheilungen Pariser Linien vorstellen. Bei einer 550 fachen Vergrösserung entsprachen 2,4 Abtheilungen desselben einer Abtheilung des Glasmikrometers; es gab somit eine der ersten 0,01 mm oder 10μ an und da sich noch mit hinreichender Sicherheit $\frac{1}{10}$ einer Abtheilung schätzen oder mittelst des Zirkels messen liess, so war ich im Stande, mit einiger Zuverlässigkeit bis auf etwa $0,5\mu$ zu messen. Bei stärkeren Vergrösserungen möchte sich die Genauigkeit sogar noch steigern lassen.

Bei kleineren Objecten kann man die Schätzung von Bruchtheilen der Abtheilungen des benutzten Maassstabes umgehen, wenn man den letzteren in folgender Weise ausführt. Man schneidet die z. B. genau in 50 Linien getheilte, rechteckige, $5'''$ breite Scala (Fig. 534 (a. f. S.) durch eine Diagonale ab , so entsprechen die betreffenden Proportionaltheile 1, 2, 3, 4 etc. $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, $\frac{4}{10}$ etc. Linien und geben bei der oben genannten Vergrösserung $\frac{1}{2400} : \frac{2}{2400}$ ($\frac{1}{1200}$) $\frac{3}{2400}$ ($\frac{1}{800}$) $\frac{4}{2400}$ ($\frac{1}{600}$) mm oder nahezu 0,4, 0,8, 1,2, $1,6\mu$ an. Bei der Messung verfährt man derart, dass man das projecirte Bild des Objectes zwischen die Schenkel des durch die eine Seite des

Scalenrechtecks und durch die Diagonale gebildeten Winkels fallen lässt und dann an dem einen Rande die entsprechende Zahl abliest. Hätten

Fig. 531.



Maassstab für kleine Objecte.

z. B. die diametral gegenüberstehenden Ränder des ersteren unter dem zwölften Theilstriche die beiden Schenkel des Winkels berührt, so wäre der Durchmesser = $\frac{12}{3400}$ oder $4,8 \mu$ gleich gewesen.

589 Ocularmikrometer. Eine bequeme, zuverlässige Resultate liefernde Messungsmethode gewährt die Anwendung des Ocularglasmikrometers, welches bei dem Huyghens'schen Oculare zwischen Collectiv- und Ocularlinse, also innerhalb des Oculares, bei dem Ramsden'schen dagegen vor der Vorderlinse, derart angebracht wird, dass man dessen Theilung und das objective Bild des Gegenstandes zugleich und mit gleicher Schärfe erblickt. In Betreff der losen, nicht in einem besonderen Oculare befestigten Scalen habe ich darauf aufmerksam zu machen, dass das Mikrometer stets so in das letztere eingelegt werden muss, dass dessen Theilung dem Objectivsysteme zugekehrt ist. Bei umgekehrter Lage würde erstlich durch Reflexion an der hinteren Oberfläche der Glasplatte eine Verdoppelung der Theilstriche bewirkt werden und zweitens die von dem Bilde ausgehenden Lichtstrahlen wegen der zwischengeschobenen Glasmasse eine andere Brechung erleiden, als die von der Theilung ins Auge gelangenden, welche Umstände auf die Genauigkeit des Resultates nicht ohne störenden Einfluss bleiben könnten.

Ehe man zu der eigentlichen Messung schreitet, muss der Werth der Abtheilungen des Mikrometers, die hier nicht wie bei dem Objectmikrometer genau den Unterabtheilungen der Maasseinheit entsprechen müssen — es ist einerlei, ob die einzelnen unter sich gleichen Intervalle z. B. genau $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{20}$ mm vorstellen, oder ob sie etwas grösser oder kleiner sind — für die verschiedenen Objectivsysteme bestimmt werden. Zu diesem Zwecke benutzt man ein zweites Glasmikrometer als Object und zählt die Abtheilungen des Ocularmikrometers, welche einer vollen Anzahl von Abtheilungen des ersteren entsprechen. Eine kleine Rechnung ergiebt dann den wahren Werth je einer Abtheilung des Ocularmikrometers. Hätte man z. B. beobachtet, dass 14 Intervalle des letzteren genau 5 Abtheilungen des Objectglasmikrometers decken, von denen jede = 0,01 mm oder 10μ ist, so würde eine Abtheilung des ersteren $3,57 \mu$ gleichkommen. Hat man indessen die Vergrösserungen seines Mikroskopes mit der grössten Sorgfalt und Genauigkeit bestimmt, so braucht man

nur für ein Objectivsystem den Werth einer Abtheilung des Ocularmikrometers zu bestimmen und kann die Werthe für die übrigen Objectivsysteme durch Rechnung finden. Es verhalten sich nämlich diese Werthe umgekehrt, wie die entsprechenden Vergrößerungsziffern. Würde z. B. die Vergrößerung eines zweiten Objectivsystemes 2,5 mal so gross sein, als diejenige, bei welcher obiger Werth bestimmt wurde, so müsste der entsprechende Werth einer Abtheilung des Ocularmikrometers $\frac{3,57}{2,5}$, d. i.

1,43 μ (genau 1,428 μ) gleichkommen. Jedenfalls wird es gut sein, wenn man beide Bestimmungsweisen zur gegenseitigen Controle benutzt.

Zur Erleichterung späterer Umrechnung der Scalentheile des Ocularmikrometers in den wahren Werth, fertigt man sich ein Täfelchen an, in welches für jedes Objectivsystem die Werthe von 1 bis 10 Intervallen eingetragen werden. In vielen Fällen hat man dann dieselben bloss auszusprechen, in anderen reicht man mit einer einfachen Addition oder Multiplication aus.

Hat man aus einer grösseren Anzahl von Messungen den Mittelwerth zu bestimmen, so bedarf es nicht für jede einzelne Messung einer Umrechnung, sondern man kann aus den gefundenen Scalentheilen den Mittelwerth nehmen und bloss diesen in den wahren Werth umrechnen, wodurch an Zeit und Mühe gespart wird, ohne dass das Hauptresultat auch nur im mindesten leidet.

Hier und da finden sich die Werthe der Scalentheile von den Optikern in der ihren Instrumenten beigegebenen Vergrößerungstafel angegeben. Man darf sich indessen nicht hierauf verlassen, sondern muss, wenn man für die Genauigkeit seiner Messungen einstehen will, deren Bestimmung selbst vornehmen.

Die Messung mittelst des Ocularmikrometers ist höchst einfach. Man 590 zählt eben nur die Anzahl der Intervalle der Scala, welche das bei scharfer Einstellung erhaltene Bild des zu messenden Gegenstandes decken, und entnimmt dann aus seinem Täfelchen dessen wahre Grösse. Wo das Bild des Objectes nicht von einer ganzen Anzahl von Intervallen gedeckt wird, ist der betreffende Bruchtheil zu schätzen, was sich, wenn man erst einmal die erforderliche Uebung erlangt hat, leicht bis auf $\frac{1}{5}$, ja auf $\frac{1}{10}$ hinreichend sicher ausführen lässt.

Die Hauptvorsichtsmaassregeln, welche man bei dieser Messungsmethode nie ausser acht lassen darf, bestehen darin, dass man das Object auf das Schärfste einstellt, nur den mittleren Theil des Sehfeldes zur Messung verwendet und bei der Abzählung der Intervalle immer von den gleichliegenden Rändern der Theilstriche ausgeht, von denen man den einen mit dem einen Rande des Bildes genau in Berührung gebracht hat.

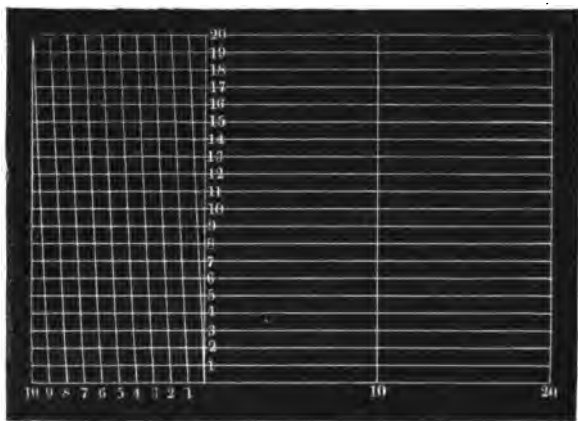
Was die Genauigkeit betrifft, so kommt der in Rede stehenden Methode, welche bei geeignet geregelter Beleuchtung von der Eingangs besprochenen Fehlerquelle kaum beeinflusst wird, auch noch der Umstand zu Gute, dass man zur Ausführung schon sehr feiner Messungen viel grö-

bere Theilungen verwenden kann, als wenn man von dem Glasmikrometer als Object Gebrauch macht. Diese bieten aber einer gleichmässigen Ausführung von Seiten des Mechanikers weit weniger Schwierigkeiten dar, als die feineren. Man wird bei dem Ocularmikrometer, wenn dasselbe aus einer der besseren Werkstätten hervorgegangen ist, daher auch in Bezug auf die Gleichförmigkeit der einzelnen Abtheilungen weit geringeren Differenzen begegnen, als bei dem Objectglasmikrometer. Ich habe in der neuesten Zeit Gelegenheit gehabt, mehrere solcher Mikrometer aus verschiedenen Werkstätten zu prüfen, welche wirklich eine befriedigende Uebereinstimmung in der Grösse der einzelnen Intervalle zeigten. Selbst die grösste Differenz, welche ich bei nur einem dieser Mikrometer beobachtete, ging nicht über $\frac{1}{12}$ einer Abtheilung hinaus, während dieselbe bei anderen bis auf $\frac{1}{30}$ und weniger sank. Setzt man aber auch den Fall, dass man sich eines Mikrometers bediene, welches selbst Differenzen bis zu $\frac{1}{10}$ einer Abtheilung zeigte, so würden diese (vorausgesetzt, dass man sich keine Correctionstafel angefertigt habe) auf die Messung doch kaum in merklicher Weise influiren. Nimmt man z. B. an, eine Abtheilung des Mikrometers entspreche 4μ und die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Intervallen betrage $\frac{1}{10}$, so würde der Werth des einen entweder um $0,4\mu$ zu gross oder zu klein ausfallen, ein Fehler, der für manche Messungen sogar ganz ausser Betracht bleiben kann. Wo aber der durch die Ungleichheiten in der Theilung hervorgerufene Fehler die Messung in bedenklicher Weise influiren könnte, da wird derselbe durch den Gebrauch der in der oben angegebenen Weise angefertigten Correctionstafel beseitigt, so dass in dieser Beziehung die Genauigkeit der Messung nichts zu wünschen lässt. Auch durch die Schätzung der Bruchtheile eines Intervalles, welche nie mit so voller Sicherheit geschehen kann, dass man sich nicht um irgend einen sehr kleinen Bruchtheil irrt, wird die Genauigkeit der Messungen mittelst des Ocularglasmikrometers weit weniger beeinträchtigt, als man von mancher Seite anzunehmen geneigt ist. Sollte man z. B. einen Bruchtheil, der in der That $\frac{1}{3}$ beträgt, für $\frac{1}{10}$ schätzen, so würde, der Werth eines Intervalles $= 2\mu$ gesetzt, $\frac{1}{10}$ desselben $= 0,2\mu$, $\frac{1}{3}$ aber $= 0,25\mu$ sein und der begangene Fehler höchstens $0,05\mu$ betragen. Ja wenn man selbst $\frac{1}{4}$ eines Intervalles für $\frac{1}{3}$ einschätzte, so würde unter obigen Voraussetzungen der begangene Fehler $0,1\mu$ nicht übersteigen. Dies letztere ist aber, wenn man eben nur einige Uebung besitzt, die äusserste Grenze, bis zu der man bei der Schätzung der Bruchtheile irren kann. Dieselbe fällt übrigens um so genauer aus, je stärker das Ocular ist, in welches man das Mikrometer einlegt. Die Schärfe der Umrisse des mikroskopischen Bildes leidet dadurch bei den besseren Objectivsystemen keineswegs in so bedeutender Weise, dass das Resultat dadurch wesentlich beeinflusst würde.

Es kann übrigens die Schätzung von Bruchtheilen der Scala ganz umgangen werden, wenn man das Ocularglasmikrometer in Verbindung

mit der Camera lucida gebraucht. Zu dem Ende legt man die mittelst der letzteren entworfene Scala einem Maassstabe (Fig. 535) zu Grunde,

Fig. 535.



Maassstab, um $\frac{1}{20}$ der Intervalle des Ocularmikrometers abzulesen.
(Mikrometer im Ocular 4 von Zeiss.)

auf dem mit Hilfe der Proportionaltheile $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{20}$ der Intervallen abgelesen werden können, und greift auf diesem mittelst des Zirkels die Ganzen und Bruchtheile der letzteren ab, welche dem nachgezeichneten Bilde des Gegenstandes entsprechen. Um aber den einmal angefertigten Maassstab bei allen Objectivsystemen benutzen zu können, muss man sich eine kleine Correctionstafel anfertigen, welche diejenigen Zahlen enthält, womit die Zahl der abgegriffenen Scalentheile zu multipliciren ist, um die wahre Zahl derselben zu erhalten. Da nämlich durch den Focalabstand der Objectivsysteme einerseits, durch die Länge der Fassung andererseits, der Abstand sich etwas ändert, bei welchem das mikroskopische Bild auf die Zeichenfläche entworfen wird, so fällt dies je nach dem angewendeten Objectivsysteme entweder kleiner oder grösser aus, als es für dasjenige Objectivsystem der Fall ist, bei welchem die Scala entworfen wurde. Zur Auffindung der Correctionszahlen verfährt man in folgender Weise. Nachdem der Maassstab angefertigt worden, zeichnet man bei den verschiedenen Objectivsystemen eine Gruppe von 10 bis 20 Intervallen der Mikrometerscala mittelst der Camera lucida, fasst diese zwischen die Zirkelspitzen und greift deren Grösse auf dem Maassstabe ab. Die Division der gezeichneten Anzahl von Intervallen durch den abgegriffenen Werth ergiebt die Correctionszahl. Ich habe z. B. meine Scala bei System 7 von Hartnack entworfen und danach den Maassstab angefertigt; 10 Intervalle bei System 5 nachgezeichnet, entsprechen nun aber 10,24 Theilen des Maassstabes, mithin ist die Correctionszahl $= 10 : 10,24 = 0,975$ nahezu. Hätte man demnach bei System 5 einen Gegenstand gezeichnet,

mittelst des Zirkels gemessen und dessen Durchmesser = 5,16 Intervallen gefunden, so würde die wahre Anzahl der letzteren = $5,16 \times 0,975 = 5,04$ sein.

Die einzelne auf diese Weise unter Anwendung sämtlicher Correctionen vollzogene Messung verlangt allerdings einen nicht geringen Zeitaufwand, aber die Anfertigung kleiner Tafeln, von denen man ohne weitere Umstände die betreffenden Werthe abzulesen im Stande ist, hilft auch über diesen Uebelstand hinaus. Jedenfalls ist derselbe nicht bedeutender, als bei den übrigen genaueren Messungsmethoden, welche man mit Anwendung von Correctionen ausführt. Dafür ist die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Messung eine solche, dass sie kaum von einer der anderen Methoden übertroffen werden dürfte.

Die mittelst derselben begangenen Fehler lassen sich leicht aus folgender Zusammenstellung ersehen, welche die Resultate einiger, bei 820-facher und 1620-facher Vergrößerung vorgenommener Messungen enthält.

1. Stärkekorn.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 58,95 μ
b.	" " " zweiten " " 10 " "	= 58,93 "
		Differenz = 0,02 μ

2. Stärkekorn.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 12,18 μ
b.	" " " zweiten " " 10 " "	= 12,15 "
		Differenz = 0,03 μ

3. Spiralband von Chelidonium.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 5,68 μ
b.	" " " zweiten " " 10 " "	= 5,64 "
		Differenz = 0,04 μ

4. Spiralband.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 3,150 μ
b.	" " " zweiten " " 10 " "	= 3,115 "
		Differenz = 0,035 μ

5. Zwischenraum zwischen 2 Reihen von *Pleurosigma formosum*.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 0,841 μ
b.	" " " zweiten " " 10 " "	= 0,821 "
		Differenz = 0,02 μ

6. Zwischenraum zwischen 2 Reihen von
Grammatophora oceanica.

a.	Mittel aus der ersten Reihe von 10 Messungen	= 0,444 μ
b.	„ „ „ zweiten „ „ 10 „	= 0,420 „
		Differenz = 0,024 μ

Oberhäuser's Ocularmikrometer. Für eine möglichst schnelle 591
Größenbestimmung kleiner Gegenstände eignet sich besonders das
Seite 640 beschriebene Glasmikrometer von Oberhäuser. Um für das-
selbe den wahren Werth der Scalentheile zu bestimmen, schiebt man das
als Object benutzte Glasmikrometer derart zwischen den von der einen
Seite des Rechteckes und der Diagonale gebildeten Winkel, dass die erstere
und ein Theilstrich des Mikrometers einander genau decken, und sieht zu,
wie viele Scalentheile des Ocularmikrometers einer oder mehreren Abthei-
lungen des Objectmikrometers entsprechen. Hätte man z. B. gefunden,
dass bei einer bestimmten Vergrößerung 50 Scalentheile des Ocular-
mikrometers einer Abtheilung des Objectmikrometers entsprächen, der
in $\frac{1}{100}$ mm getheilt ist, so würde sich daraus der Werth von je einem
der ersteren zu 0,2 μ ergeben.

Bis zu diesem Bruchtheile liesse sich also bei der vorausgesetzten
Vergrößerung direct messen, und da sich mit voller Sicherheit die Hälfte
eines Scalentheiles schätzen lässt, so kann man die Genauigkeit bis auf
0,1 μ steigern.

Die Messung mittelst des Ocularglasmikrometers überhaupt gewährt 592
bei geeigneten Objecten, wie isolirten Fasern, Zellen, Blutzellen, Fett-
kügelchen, Zellkernen und dergleichen, nach meinen Erfahrungen eine
Genauigkeit, welche derjenigen durch irgend eine der anderen besseren
Messungsmethoden erreichten kaum in irgend erheblichem Grade nachsteht.
Von einzelnen Beobachtern ist dieselbe unterschätzt worden. Freilich
gibt es Fälle, in denen man mit derselben nicht zum Ziele kommt. Dies
gilt namentlich dann, wenn das mikroskopische Bild etwas complicirt ist,
indem darin viele durcheinander liegende Objecte vorkommen, oder wenn
das Präparat nicht die nöthige Durchsichtigkeit besitzt. Dann fällt es
nämlich schwer, die Theilstriche der Scala mit der erforderlichen Schärfe
und Klarheit über dem betreffenden Objecte zu sehen und eine genaue
Einstellung derselben auf den Rand des letzteren zu bewirken. Von dem
Versuche, die Mikrometerscala mit einer färbenden Substanz einzureiben,
um die Theilstriche leichter sehen zu können, muss ich entschieden ab-
rathen, da man dadurch in jedem Falle dem Apparate mehr schadet, als
man der Messung nützt.

Die zuletzt hervorgehobenen Uebelstände fallen natürlich weg, wenn
man das mikroskopische Bild mittelst der Camera lucida zeichnet und
die Anzahl der ihm entsprechenden Scalentheile mittelst des Zirkels in
der früher erwähnten Weise abgreift.

2. Messung mittelst der Schraubenmikrometer.

Die Einrichtung der Schraubenmikrometer, sowie das Princip, worauf die Messung mittelst derselben beruht, haben wir bereits im vorhergehenden Buche betrachtet. Es bleibt somit nur übrig, die Fehler derselben kennen zu lernen, ferner die Art und Weise der Ausführung, sowie die Genauigkeitsgrenze der damit vorzunehmenden Messung zu erörtern.

Was die Fehler in der Theilung betrifft, so liegen dieselben einzig und allein in der Schraube, da man wohl voraussetzen darf, dass die Theilung der Trommel, sowie des Nonius, die mit voller Sicherheit geschehen kann, mit solcher Vorsicht ausgeführt ist, dass in dieser Beziehung jeder Fehler ausgeschlossen bleibt.

Zunächst kommt der absolute Werth der Theilung und dann die Ungleichheiten in Betracht, welche zwischen den Höhen der einzelnen Schraubengänge bestehen und welche selbst bei sorgfältig ausgeführten Mikrometern nach Harting nicht selten $\frac{1}{2}$ bis 1 Proc. und mehr, nach H. v. Mohl dagegen bei überhaupt brauchbaren Instrumenten höchstens $\frac{1}{10}$ Proc. betragen sollen.

Um die Ungleichförmigkeiten in der Höhe der Schraubengänge kennen zu lernen und dieselben bei späteren Messungen, soweit sie auf die Genauigkeit influiren, berücksichtigen zu können, muss man den relativen Werth der einzelnen Abtheilungen der Schraube mittelst eines festen Maassstabes prüfen. Hierzu benutzt man am besten ein Glasmikrometer, von dem man den Werth der einzelnen Abtheilungen vorher genau ermittelt und für das man sich eine Correctionstafel angefertigt hat. Man sieht dann einfach zu, ob zur Einstellung auf eine gleiche Strecke des Glasmikrometers an allen Theilen der Schraube auch eine gleiche Anzahl von Schraubenumgängen erforderlich ist. Die etwa vorkommenden Differenzen notirt man, um sie später in einer vollständigen Correctionstabelle zusammenzustellen. Dasselbe Mikrometer kann auch zur Bestimmung der absoluten Grösse der einzelnen Abtheilungen resp. Schraubenumgänge angewendet werden, wenn man nur vorerst nach der früher beschriebenen Methode den wahren Werth seiner Länge ermittelt hat.

Zwei fernere, in dem Instrumente selbst zu suchende Fehlerquellen liegen in dem sogenannten todtten Gange und in dem Schwindel der Schraube.

Wenn wir auch ganz und gar von schlechten Mikrometern, oder solchen absehen, bei denen sich der erste Uebelstand in Folge eines langen und häufigen Gebrauches eingestellt hat, so klebt derselbe doch in gewissem Maasse auch dem besten Instrumente an, indem die Schraubenspindel in der Mutter immer so viel Spielraum hat, dass man erstere um einen sehr kleinen Winkel drehen kann, ohne dass das Object bewegt wird.

Eine solche kleine Umdrehung kann aber leicht durch den blossen Druck bei der Einstellung in einer oder der anderen Richtung geschehen, ohne dass man ihn beabsichtigt hatte, und wird zu einem Fehler in der Ablesung Veranlassung geben. Um diese Fehlerquelle zu beseitigen, hat Nibert seinem Mikrometer die oben beschriebene Einrichtung gegeben, welche ihrem Zwecke allerdings vollkommen entspricht, aber auch das ohnehin schon theure Instrument noch mehr vertheuert.

Der Schwindel besteht darin, dass bei gleicher Höhe eines jeden Schraubenumganges die Steigung eine veränderliche ist. Man erhält dann zwar gleiche Verschiebungen bei ganzen Umdrehungen, die Bruchtheile aber differiren je nach den verschiedenen Schraubengängen, indem das eine Mal eine kleinere, das andere Mal eine grössere Umdrehung erforderlich wird, um eine gleich grosse Verschiebung zu bewirken.

Einige andere Fehlerquellen beruhen auf der Art und Weise der Ausführung der Messung selbst.

Von diesen wollen wir die eine gleich hier besprechen, weil sie bei den beiden Arten des Schraubenmikrometers, wie bei dem Focimeter in ähnlicher Weise auftritt. Hat man nämlich die Schraube nach einer bestimmten Richtung gedreht und geht nun zu einer Drehung in entgegengesetzter Richtung über, so versagt dieselbe für einen Moment die Wirkung und es tritt ein Stillstand der Bewegung ein, so dass einer gewissen Grösse der Umdrehung nicht die entsprechende Verschiebung des Objectes entspricht. Um den hieraus entspringenden Messungsfehler zu vermeiden, hat man darauf zu achten, dass man die Drehungen stets gleichsinnig vollzieht, oder dass man aus der einen Richtung erst um einige Umdrehungen über den Einstellpunkt hinaus- und erst dann zu der anderen übergeht.

Objectschraubenmikrometer. Die Messung mittelst des Object- 593
schraubenmikrometers beruht bekanntlich darauf, dass man den Weg misst, welchen ein stetig und geradlinig durch das Sehfeld geführtes Object zurückgelegt hat. Man bringt zu dem Ende den auf dem beweglichen Schlitten des Mikrometers liegenden Gegenstand, dessen Grösse man zu bestimmen wünscht, durch Verschieben aus freier Hand und ein paar Drehungen der Mikrometerschraube in eine solche Lage, dass er mit einem Rande genau den über der Blendung des Oculares senkrecht zur Längsachse der Schraube ausgespannten Faden berührt oder auf dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes einsteht, und führt ihn mittelst — mit der vorhergehenden Bewegung gleichsinnigen — Drehens der Mikrometerschraube so weit durch das Gesichtsfeld des Mikroskopes, bis der dem ersten gegenüberliegende Rand mit der gleichen Marke zusammenfällt. Auf dem horizontalen Index liest man hierauf die Ganzen, auf der Trommel die Bruchtheile der Schraubenumgänge ab und hat darin unmittelbar die wahre Grösse des Durchmessers. Es ist indessen keineswegs nöthig, dass man Index und Trommel vorher auf 0 gestellt hat, um die Ablesung vorzunehmen. Beobachtet man nur am Anfang und Ende der Operation

deren Stand, so ergibt der Unterschied zwischen den entsprechenden Zahlen die Anzahl der Schraubenumgänge und damit den Durchmesser des Objectes.

Behufs einer genauen Messung kommt es hier vor Allem darauf an, dass die Ränder des Gegenstandes auf das Schärfste mit der Einstellmarke in dem Oculare zusammenfallen. Dieser haarscharfen Einstellung wirken aber mehrere Umstände entgegen, von denen der eine auch bei dem Ocularglasmikrometer der Genauigkeit etwas Eintrag thut. Erstlich bewirkt bei der Einstellung mittelst Ocularfadens die an den Rändern dieses Fadens stattfindende Beugung der Lichtstrahlen eine Abplattung am Rande des Bildes, welche ein so vollkommenes Aneinanderlegen des ersteren an den letzteren, wie es theoretisch erfordert wird, nicht möglich macht. Mohl hat, um diesem Uebelstande entgegen zu wirken, zweierlei Mittel vorgeschlagen. Das eine besteht in der Anwendung zweier, auf einer ins Ocular gelegten Glastafel, in kleinen Entfernungen von einander gezogener, paralleler Diamantstriche und der Einstellung des Bildrandes auf die Mitte des Zwischenraumes. Allein auch hierdurch wird nach Mohl's eigenen Erfahrungen der Zweck weder vollkommen noch in allen Fällen erreicht, indem die Striche, namentlich wenn ein nicht ganz durchsichtiges Object unter ihnen durchgeführt wird, höchst schwierig zu sehen sind und momentan sogar ganz unsichtbar werden. Als zweckmässiger empfiehlt er daher in das Ocular einen Ring einzulegen, in welchem sich in der Richtung eines Radius eine Nadel befindet, deren Spitze in den Mittelpunkt des Sehfeldes reicht, und auf diese feine Spitze einzustellen. Es ist nicht zu bezweifeln, dass hierdurch die Einstellung etwas leichter und sicherer wird, aber gänzlich aufgehoben wird der Einfluss der Beugung auch durch dieses Mittel nicht. Ich habe bei meinen verschiedenen in dieser Richtung vorgenommenen Versuchen stets die schärfste Einstellung mittelst eines Faden- oder genügend scharfen Diamantkreuzes erreicht und möchte diese als die geeignetsten Einstellungsmarken empfehlen.

Eine weitere Ursache nicht völlig genauer Einstellung liegt in der Unsicherheit der Hand, vermöge welcher man auch bei der grössten Vorsicht häufig nicht vermeiden kann, dass man entweder die Schraube etwas weiter dreht, als es zu der scharfen Einstellung von Mikrometerfaden und Bildrand erforderlich ist, oder dass man mit der Drehung etwas zu früh aufhört. Umgekehrt kann der Druck der Hand bei der Drehung leicht eine Bewegung des Objectes veranlassen, ohne dass die Schraube eine solche ausgeführt habe. Diese beiden Fehlerquellen werden jedoch durch die beschriebene Verbesserung von No 6 b) aufgehoben und gelten nur für die Mikrometer der älteren Einrichtung.

Ein dritter Grund der Fehlerhaftigkeit der Messung beruht auf dem Baue der Mikroskopstative, indem, wenn derselbe nicht höchst solide ist, durch den bei der Drehung der Schraube mittelst der Hand ausgeübten Seitendruck eine Verschiebung des ganzen Messapparates hervorgerufen

werden kann. Bei den neueren, solideren, dem Oberhäuser'schen Hufeisenstative nachgebildeten Mikroskopen hat man diese Fehlerquelle kaum mehr zu fürchten, wogegen sie bei den hochgebauten Stativen noch immer nicht ganz ausser Acht zu lassen ist.

H. v. Mohl fand, dass der wahrscheinliche Fehler bei einem Durchmesser des Objectes

von	$\frac{1}{5}''' = \frac{1}{11700}$
"	$\frac{1}{10}''' = \frac{1}{1700}$
"	$\frac{1}{50}''' = \frac{1}{1079}$
"	$\frac{1}{178}''' = \frac{1}{214}$
"	$\frac{1}{560}''' = \frac{1}{90}$
"	$\frac{1}{1708}''' = \frac{1}{23}$

des Durchmessers betrug. Man ersieht daraus, dass der wahrscheinliche Fehler sich in um so stärkerem Maasse geltend macht, je kleiner das Object wird, und sogar bis zu der nicht unbedeutenden Höhe von 4 bis 5 Proc. steigen kann.

Fast übereinstimmend sind die von Harting gefundenen Resultate bei einer mittelst zweier Schraubenmikrometer (von Powell und Lealand, und Plössl) ausgeführten Versuchsreihe von 10 Messungen eines Blutkörperchens von $6,3 \mu$ Durchmesser ($= \frac{1}{358}'''$). Hier betrug der wahrscheinliche Fehler des Mittels bei dem ersteren Instrumente $\frac{1}{67}$, bei dem letzteren $\frac{1}{70}$ des wahren Durchmessers.

Ich selbst habe in neuester Zeit mittelst eines in meinem Besitze befindlichen Objectschraubenmikrometers von Dr. Zeiss, bei welchem ein Schraubenumgang 200μ (genauer $199,7$) beträgt, sowie mit einem solchen von J. S. Merz von 360μ Schraubenhöhe Probemessungen vorgenommen, welche mich auf etwa das gleiche Resultat führten.

Ocularschraubenmikrometer. Weit genauere Resultate als mittelst des vorhergehenden, erlangt man mittelst des Ocularschraubenmikrometers, indem die Fehler der Messung, mögen sie in der Beschaffenheit der Schraube oder in einer mangelhaften Einstellung ihren Grund haben, sich in dem Verhältnisse vermindern, als das mikroskopische Bild grösser ist, als das Object selbst. 594

Da für das Ocularschraubenmikrometer ausserdem, um gleich feine Messungen auszuführen, stärkere Schrauben verwendet werden können, als für das Objectschraubenmikrometer, und diese sich mit mehr Genauigkeit schneiden lassen als die feineren, so steigt auch aus diesem Grunde die Verlässlichkeit der Messung bedeutend. Es verbindet sich mit der Anwendung dieses Messinstrumentes nur eine kleine Unbequemlichkeit. Da dasselbe nämlich, wie schon früher erwähnt, nicht die wahre Grösse des Objectes angiebt, sondern seine Werthe nur relative sind, die sich für jedes Objectivsystem ändern, so muss der wahre Werth der ganzen Schraubenumgänge, ähnlich wie bei dem Ocularglasmikrometer, für jedes Objectivsystem ermittelt und in eine kleine Tafel eingetragen werden.

nen sich durch eine grosse Genauigkeit aus, wie aus folgenden von H. v. Mohl mitgetheilten Probemessungen zu ersehen ist.

Vergrößerung	Grösse des Objectes	Stärkste Abweichung von zwei einzelnen Messungen	Abweichung der Mittel von 5 Messungen	Abweichung der Mittel von 10 Messungen	Mittlere Abweichung der einzelnen Messungen vom Gesamtmittel
104 — 149	$\frac{1}{100}''' - \frac{1}{200}'''$	$\frac{1}{41000}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{11633}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{28600}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{14150}'''$ (i. M.)
490 — 487	$\frac{1}{100}'''$	$\frac{1}{10370}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{49750}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{77800}'''$ (i. M.)	$\frac{1}{50000}'''$ (i. M.)
800	$\frac{1}{100}'''$	$\frac{1}{12000}'''$	$\frac{1}{50000}'''$	$\frac{1}{100000}'''$	$\frac{1}{68000}'''$ (i. M.)
1100	$\frac{1}{4040}'''$	$\frac{1}{15600}'''$	$\frac{1}{40000}'''$	$\frac{1}{71400}'''$	$\frac{1}{77000}'''$

Diese Genauigkeit hat indessen nur für sehr kleine Objecte, für welche indessen v. Mohl sein Instrument ausdrücklich bestimmt hatte, Geltung. Bei grösseren Objecten — die man, wenn einmal ein derartiges Instrument verwendet wird, doch auch mittelst desselben soll messen können — führt dagegen die durch die Ocularverschiebung herbeigeführte optische Excentricität eine neue Fehlerquelle ein. Diese aber ist durch die früher beschriebene Einrichtung des Zeiss'schen Ocularschraubenmikrometers beseitigt, so dass man mittelst desselben, wie ich mich durch vielfache Probemessungen überzeugt habe, für grössere wie für kleinere Objecte eine sehr hohe Genauigkeit zu erreichen im Stande ist, wenn man es mit einem hinreichend stabilen Stative verbindet.

3. Messung mittelst des Bildmikroskopes und Doppelsehens.

Unter den von Harting noch weiter vorgeschlagenen Messungsmethoden ist die mittelst des Bildmikroskopes höchstens für einzelne Beobachter ausführbar, welche eben im Besitze eines solchen oder eines photographischen Mikroskopes sind, weshalb dieselbe hier, wo es sich nur um die allgemein ausführbaren Methoden handelt, füglich ganz übergangen werden kann. 595

Dagegen möge noch die Messung mittelst des Doppelsehens betrachtet werden, wobei man das Bild mittelst des einen Auges im Sehfelde erblickt, während es mittelst des anderen auf den Objecttisch projicirt, und dort gemessen wird.

Bei der Anwendung dieser Messungsmethode empfiehlt Harting folgende Vorsichtsmaassregeln zu beachten.

„1. Während des Messens muss die Augenachse ihre Richtung unveränderlich beibehalten, das Auge also ganz unbeweglich gehalten werden.

2. Um die Spitzen des zum Messen benutzten Zirkels immer in gleicher Entfernung vom Auge zu haben, muss das zusammengesetzte Mikroskop einen grossen Objecttisch haben, worauf die Spitzen des Zirkels ruhen können. Den zu kleinen Objecttisch, wie er bei vielen Mikroskopen vorkommt, kann man vergrössern, wenn man ein Stück ganz ebener Pappe zwischen den federnden Apparat bringt.

3. Auf die Fläche, wohin das Bild projecirt wird, legt man ein Stück Papier, welches so viel wie möglich die Farbe des Sehfeldes hat. Dadurch wird die Illusion, als ob beide Augen den Zirkel und den zu messenden Gegenstand zu gleicher Zeit sähen, gar sehr gesteigert.

4. Man muss darauf bedacht sein, dass die Fläche, worauf die Messung vorgenommen wird, und das Auge immer gleichweit von einander entfernt sind. Die Glasplättchen, worauf die Objecte kommen, dürfen deshalb nicht ungleich dick sein, und das Nämliche gilt auch von dem auf dem Objecttische liegenden Papiere.“

Dass endlich bei Bestimmung der Vergrösserungen und bei den Messungen selbst alle die vorhin genannten allgemeinen Rücksichten zu nehmen sind, braucht nicht wiederholt zu werden.

Diese Methode ist allerdings höchst einfach, ganz allgemein, bei dem einfachen wie bei dem zusammengesetzten Mikroskope anwendbar, und verlangt unter allen Messungsmethoden am wenigsten Zeit zur Ausführung. Dennoch kann ich dieselbe nicht so hoch anschlagen, wie dies von Harting geschieht, der sich eben durch lange Uebung einen solchen ungewöhnlichen Grad von Fertigkeit im Doppeltsehen erworben hat, wie ihn nicht leicht ein Jeder sich anzueignen im Stande ist. Was die Sicherheit dieser Methode beeinträchtigt, ist namentlich der Umstand, dass das Auge während der ganzen Operation, also auch — wo dies nothwendig erscheint — während einer mehr oder minder grossen Anzahl einzelner Messungen nicht nur ganz unbeweglich in der Achsenrichtung, sondern auch in derselben Entfernung von der Projectionsebene gehalten werden muss, was mit grosser Schwierigkeit verbunden ist und nur selten hinreichend gelingen wird. Ausserdem kommen noch, wenn man sich nicht entschieden Fehlern aussetzen will, so mancherlei Dinge hinzu, wie gleiche Farbe und Helligkeit von Sehfeld und Projectionsebene etc., welche auf das Sorgfältigste beobachtet sein wollen, dass man im Allgemeinen nur auf einen mässigen Grad von Genauigkeit zu rechnen haben wird. Die von Harting erzielten Resultate bei seinen Probemessungen, an deren Richtigkeit nicht zu zweifeln ist, stellen diese Methode in die erste Reihe, indem nach derselben der wahrscheinliche Fehler bei einem 50μ messenden Objecte $\frac{1}{625}$, bei einem solchen von 10μ $\frac{1}{345}$,

von $6,3\mu$ circa $\frac{1}{160}$ betrug. Sie würde sonach alle übrigen Messungsmethoden mit Ausnahme derjenigen mittelst des Ocularschraubenmikrometers übertreffen. Wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, dürfen aber diese Resultate nicht als solche angesehen werden, welche allgemeine Gültigkeit beanspruchen können, indem dieselben rein von der persönlichen Fertigkeit abhängen, die sich allgemein keineswegs in der Vollkommenheit erreichen lässt, wie dies Harting als sicher annimmt.

4. D i c k e n m e s s u n g .

Bei der Bestimmung der Tiefenabmessungen mittelst der Mikrometerschraube der feinen Einstellung, welche Methode ich für unsere Zwecke für vollständig ausreichend erachte, kommen ausser den in dem Apparate selbst liegenden Fehlerquellen noch einige andere in Betracht, welche bei Ermittlung der Längenabmessung nicht vorhanden sind. 596

Zunächst geht aus den theoretischen Betrachtungen über die Sehtiefe hervor, dass bei diesen Messungen die Einstellung auf die in verschiedener Tiefe gelegenen Punkte niemals mit der Genauigkeit geschehen kann, wie auf die in horizontalen Ebenen gelegenen Grenzlinien und dass diese Unsicherheit bei schwächeren Vergrösserungen stärker hervortreten muss, wie bei stärkeren. Dazu kommt noch, dass mit wenigen Ausnahmen in Folge der körperlichen Beschaffenheit der Objecte genaue Anzeichen für die Lage der oberen und unteren Grenze der zu ermittelnden Tiefenabmessung nicht mit der Sicherheit zur Auffassung gelangen, wie sie für eine genaue Messung erforderlich wird.

Um einige Anhaltspunkte in dieser Beziehung zu geben, mögen hier ein paar mit einem Zeiss'schen Stativ Nr. 1 an einem für möglichst genaue Messung geeigneten Objecte, d. h. an einer auf der unteren Seite eines $0,08\text{ mm}$ (80μ) dicken, auf der oberen, freien Fläche mit einem feinen Diamantstrich (auf dessen äussere Grenzlinie eingestellt wurde) versehenen Deckglase ausgeführten Silberschichttheilung (Abbe'sche Probestafel) ausgeführte Probemessungen Platz finden. Dabei sei zugleich erwähnt, dass ein Umgang der Mikrometerschraube 475μ angiebt, also an der 100 theiligen Kreisplatte $4,75\mu$ abgelesen und noch recht gut $\frac{1}{10}$ Abtheilung, also etwa $0,5\mu$ geschätzt werden können.

Bei fünf Messungen betrug die grösste Abweichung vom Mittel der Einstellungen

bei 100 facher Vergrösserung . . .	0,6 Abtheilungen
" 240 " " . . .	0,5 "
" 600 " " . . .	0,4 "
" 1400 " " . . .	0,3 "

also vom Mittel der gemessenen Höhendifferenz $= 0,075\text{ mm}$ (75μ) je $2,8\mu$, $2,4\mu$, $1,9\mu$ und $1,4\mu$, und damit etwa 3,8, 3,3, 2,5 und 1,8 Procent.

Die Messung geschieht, nachdem man die Werthe der Schraubenhöhe und der einzelnen Abtheilungen des Theilkreises festgestellt hat, am besten so, dass man den Focus mittelst der groben Einstellung etwas über die obere Fläche des betreffenden Objectes hebt, dann auf diese und von ihr aus auf die untere herab, oder dass man von einer tieferen Stellung aus, und successive nach der. unteren und oberen Grenzfläche übergeht.

Der aus dem Unterschied der beiden abgelesenen Einstellungen berechnete Werth ergibt indessen gemäss des Lichtbrechungsgesetzes die wahre Tiefenabmessung oder Niveaudifferenz nur für den Fall, als die beiden zum Zwecke der Messung anvisirten Ebenen oder Punkte innerhalb desselben Mediums liegen, welches sich vor dem Objectivsystem befindet. Ist dies nicht der Fall und befindet sich das Object in einem Medium $= n$, während das Objectivsystem in ein Medium $= n^*$ taucht, so muss der durch die Messung direct gefundene Werth, um den wahren Werth der Tiefenabmessung zu ergeben, noch mit dem Quotienten aus den Brechungsindices des ersten und zweiten Mediums nämlich mit $\frac{n}{n^*}$ multiplicirt werden.

So erfordert z. B. die Einstellung auf die Bodenfläche des oben gedachten Deckglases von nominell 0,08 mm Dicke mit einem Trockensystem beobachtet, eine Drehung der Scheibe um 11,2, mit Wasserimmersion um etwa 15, mit homogener Immersion (es wurde in letzteren Fällen ein zweites sehr dünnes Deckglas mittelst Wassers mit dem zu messenden verbunden) um 17 Abtheilungen des Theilkreises und es berechnet sich daraus die direct gemessene Dicke zu je 0,053, 0,071 und 0,080 mm, die wahre Dicke dagegen (den Brechungsindex des Crownlasses zu 1,5 angenommen) zu je

$$0,053 \cdot 1,5 \left(\frac{n}{1} \right) = 0,079, \quad 0,071 \cdot \frac{1,5}{1,33} \left(\frac{n}{n^*} \right) = 0,080$$

und

$$0,080 \cdot 1 = 0,080 \text{ mm.}$$

Zweites Capitel.

Winkelmessung.

I. Directe Messung.

Die unmittelbare Messung der Winkelgrösse kann nur für den Fall mit 597
voller Genauigkeit ausgeführt werden, dass die Schenkel des betreffenden
Winkels in einer horizontalen, d. h. zur optischen Achse des Mikroskopes
senkrechten, für die ihn bildenden Krystallflächen dagegen in einer mit ihr
parallelen, Ebene liegen. Nun wird in der Regel in Bezug auf die uns
hier zunächst interessirenden Objecte, d. h. auf die mikroskopischen Kry-
stalle, bei denen man die Neigung zweier zusammenstossenden Flächen
kennen lernen will, jene Bedingung erfüllt sein. Da bei denselben näm-
lich, sofern sie regelmässig ausgebildet sind, jede Fläche einer ihr paral-
lel gegenüberstehenden entspricht, so wird, wenn der zu messende Kry-
stall auf einer seiner Flächen liegt und die Tischebene, wie die Ebene
des Objectträgers als vollkommen horizontal betrachtet werden können, die
dem Beobachter zugekehrte, die optische Achse unter rechtem Winkel
schneiden, was noch dadurch controlirt werden kann, dass alle Winkel-
scheitel derselben bei gleicher Einstellung gleich scharf gesehen werden
können. Eine geringe Neigung würde indessen irgend in Betracht kom-
mende Fehler nicht mit sich bringen, während allerdings eine stärkere,
aber dann auch leicht erkennbare solche bis zu mehreren Graden herbei-
führen könnte.

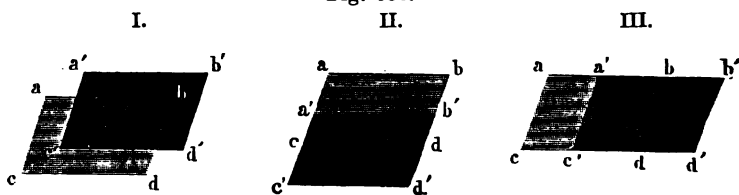
Messung mittelst des Goniometers. Die Methoden der Messung 598
mittelst der verschiedenen Goniometerformen, welche zur Erzielung mög-
lichst hoher Genauigkeit immerhin eine nicht geringe Sorgfalt und Uebung
erfordern, sind bereits gelegentlich der Beschreibung dieser Apparate
besprochen worden. Es bleibt in dieser Beziehung nur noch Folgendes
zu erwähnen. Bei der Anwendung des Schmidt'schen Goniometers
braucht der Winkelschnitt nicht genau in dem Kreuzungspunkte des
Fadenkreuzes zu liegen, wenn man dasselbe in ähnlicher Weise benutzt,
wie das Zeiss'sche Goniometerocular, d. h. die Fäden nicht dicht an die
betreffende Kante anlegt, sondern mit derselben parallel stellt.

Kommt das Leeson'sche Goniometer oder das Zeiss'sche Gonio-
meterocular zur Verwendung, so hat man wohl darauf zu achten, welche

Kanten man bei dem Ersteren zuerst zusammenfallen lässt, um entweder den Winkelwerth direct oder dessen Supplement zu erhalten, während bei dem anderen, damit die Winkelgrösse unmittelbar abgelesen werden kann, die Drehung immer in dem Sinne auszuführen ist, wie man sich den Winkelraum durch Drehung des beweglich gedachten Schenkels aus der Lage des festliegenden Schenkels entstanden denkt.

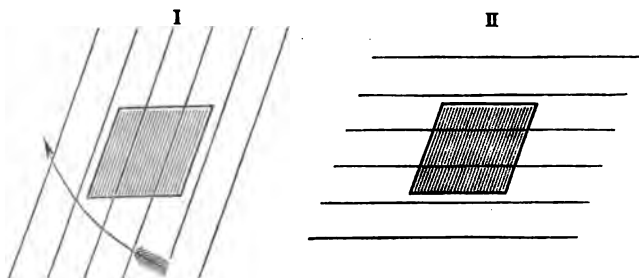
So z. B. würde man, wenn der spitze Winkel abd der rhombischen Tafel in Fig. 536 I. mittelst des Quarzprismas zu messen wäre, zu-

Fig. 536.



nächst die Kanten ac und $a'c'$ (Fig. 536 II.) zur Deckung bringen, die Ablesung vornehmen, dann die Kanten ab und $a'b'$ durch die entsprechende

Fig. 537.



Drehung genau übereinanderfallen lassen (Fig. 536 III.) und die zweite Ablesung vornehmen. Die Differenz beider Ablesungen gäbe dann die Winkelgrösse in Graden. Bei dem Zeiss'schen Goniometerocular würde in dem gleichen Falle, um die Winkelgrösse unmittelbar zu haben, aus der Stellung des Linien-systemes der Figur 537 I. durch Drehung in der Richtung des Pfeiles überzugehen sein in diejenige der Fig. 537 II.

Neben den Oculargoniometern kann natürlich auch die Winkel-messung mittelst des drehbaren und mit Kreistheilung versehenen Object-tisches vorgenommen werden, wenn die früher beschriebenen Centrirungs-vorrichtungen an dem Mikroskope vorhanden sind.

599 **Messung mittelst der Camera lucida.** Eine der Messung mittelst der Goniometer oder des drehbaren Objecttisches an Genauigkeit wenig nachstehende und ziemlich allgemein für mikroskopische Zwecke anwendbare Messung der Winkelgrösse kann auch mittelst der Camera lucida vorgenommen werden. Man bezeichnet zu dem Ende in dem zur

Seite des Mikroskopes projectirten Sehfeldes den Scheitel, sowie die Endpunkte der beiden Schenkel des zu messenden Winkels mit feinen Punkten, verzeichnet an der Hand dieser Daten letzteren selbst und bestimmt dessen Grösse mit Hilfe eines genauen Transporteurs.

Da in einer bestimmten Lage nur eine bestimmte Anzahl von Winkeln der Messung zugänglich ist, so muss bei den beiden beschriebenen Messungsweisen das betreffende Krystallindividuum, um die noch weiter zu der krystallographischen Bestimmung erforderliche Winkelzahl zu liefern, durch entsprechende Manipulationen auf dem Objecttisch in die erforderlichen Lagen gebracht, oder es müssen die einzelnen Winkelbestimmungen an verschiedenen in verschiedenen Lagen in dem Präparate vorhandenen, passenden und gut ausgebildeten Exemplaren vorgenommen und dann die so erhaltenen Daten miteinander verknüpft werden.

Da aber auch dieses Verfahren nicht immer zum Ziele führt, so wird man sich häufig zu einer mittelbaren, mittelst constructiven Verfahrens oder mittelst trigonometrischer oder analytischer Berechnung auszuführenden Bestimmung der unbekannten, nicht direct messbaren Winkelgrössen aus bekannten Bestimmungsstücken wenden müssen.

II. Messung mittelst Construction und Rechnung.

Trigonometrische Bestimmung. Die nur für grössere Krystalle 600 anwendbare constructive und trigonometrische mit Hilfe des Focimeters auszuführende Bestimmung des Winkelmaasses unterliegt gleichfalls der Beschränkung, dass die betreffenden Krystallkanten zur optischen Achse senkrecht, d. h. in horizontaler Ebene liegen, während die betreffenden Flächen eine in der andern — auf der Kante senkrechten — Richtung beliebige Neigung gegen jene haben können. Das Verfahren besteht darin, dass man durch einen bestimmten Punkt der betreffenden Krystallkante eine zu ihr senkrechte Schnittebene gelegt, in dieser in einem beliebigen Punkte zwei rechtwinklige Coordinatenachsen errichtet denkt und nun von dem O -Punkte dieser aus sowohl die Horizontalcoordinaten, wie die Tiefenabmessungen für die Schnittpunkte der Coordinatenebene mit den betreffenden Krystallkanten bestimmt. Nehmen wir z. B. an, es sei (Fig. 538 I., a. f. S.) ein Theil eines säulenförmigen Krystalles (etwa einer Combination zweier sechsseitigen Säulen) gegeben und es solle bei horizontalen Lagen der betreffenden Kante ab der Neigungswinkel der beiden Flächen P und Q bestimmt werden, welche seitlich beliebig geneigt wären, so verfahren wir folgendermaassen: Wir denken uns durch ab die Schnittebene MM (Fig. 539 I. und II.) gelegt, nehmen in derselben die beiden Coordinatenachsen X und Y an und bestimmen nun mikrometrisch Θx , Θx_1 , Ox_2 und Oy , Oy_1 , Oy_2 , so können wir entweder auf diese Daten hin das Maass des Flächenwinkels P , ab , Q

construiren und mittelst des Transporteurs messen, oder auch mittelst trigonometrischer Rechnung bestimmen. Wir würden nämlich haben

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_1 - y}{x_1 - x}$$

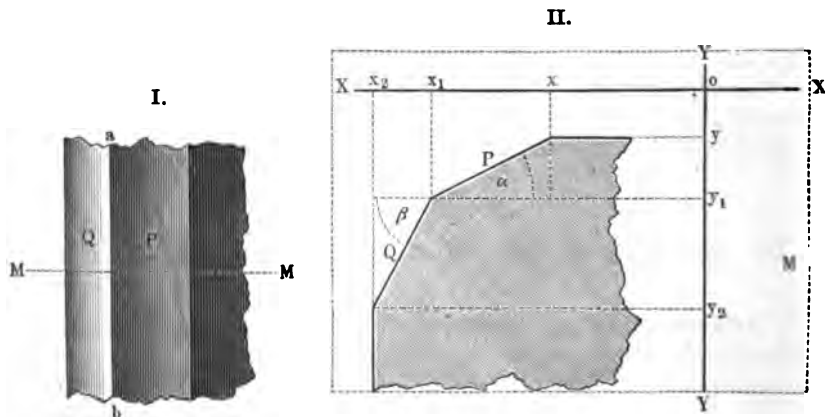
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

und

$$\angle PabQ = \alpha + (180^\circ - \beta).$$

Bei Feststellung der Ordinaten verfährt man am besten so, dass man über die Einstellungsebene der höchstgelegenen Kante bis zum Ein-

Fig. 538.



stehen des Nullpunktes der Kreistheilung an der Focimeterscheibe, hinaus- und dann von hier aus auf die einzelnen Kantenhöhen hinabgeht.

601 Analytische Bestimmung. Zur analytischen Berechnung der Kantenwinkel — die sich übrigens auch wieder nur für grössere, einen beträchtlichen Theil des Sehfeldes einnehmende Krystalle ausführen lässt — hat man für jede der beiden denselben einschliessenden, sich unmittelbar in dem Krystall oder in ihrer Verlängerung schneidenden Ebenen mittelst mikrometrischer Messung und Tiefenbestimmung für je drei ihr angehörige nicht in einer geraden Linie liegende Punkte die von einem bestimmten Nullpunkte aus zu rechnenden beiden Horizontalkoordinaten, sowie den senkrechten Abstand von der durch den angenommenen Nullpunkt gehenden Horizontalebene zu bestimmen, aus diesen Bestimmungstücken ihre Lage im Raume festzustellen, dann aus den hierfür sich ergebenden Gleichungen den Winkel zu ermitteln, um welchen sie gegeneinander geneigt sind.

Sind in Figur 539 die Coordinaten dreier Punkte M_1 , M_2 , M_3 beziehungsweise:

$$\begin{aligned}\overline{M_1 M_{1x}} &= x', & \overline{M_1 M_{1y}} &= y', & \overline{M_1 M_{1z}} &= z', \\ \overline{M_2 M_{2x}} &= x'', & \overline{M_2 M_{2y}} &= y'', & \overline{M_2 M_{2z}} &= z'', \\ \overline{M_3 M_{3x}} &= x''', & \overline{M_3 M_{3y}} &= y''', & \overline{M_3 M_{3z}} &= z''',\end{aligned}$$

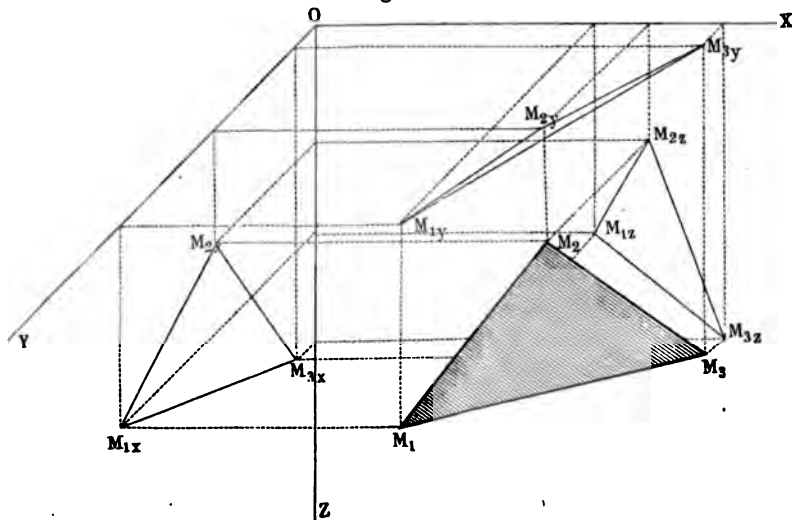
so ist die Gleichung ihrer Ebene in den laufenden Coordinaten xyz :

$$\begin{aligned}& x(y' z'' - y'' z' + y''' z' - y' z''' + y'' z''' - y'' z''') \\ & - y(x' z'' - x'' z' + x''' z' - x' z''' + x'' z''' - x'' z'') \\ & + z(x' y'' - x'' y' + x''' y' - x' y''' + x'' y''' - x'' y'') \\ & - (x' y'' z''' + y' z'' x''' + z' x'' y''' - z' y'' x''' \\ & \quad - x' z'' y''' - y' x'' z''') = 0\end{aligned}$$

der — wenn wir die in den Klammern stehenden Ausdrücke mit $A, (-B), C$ und $(-D)$ bezeichnen, abgekürzt:

$$Ax + By + Cz + D = 0$$

Fig. 539.



Ist nun für eine zweite Ebene in ähnlicher Weise ihre Gleichung gegeben durch

$$A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0$$

so erhält man den Neigungswinkel beider Ebenen, also den betreffenden Kantenwinkel φ durch die Formel:

$$\cos \varphi = \frac{A A_1 + B B_1 + C C_1}{\sqrt{(A^2 + B^2 + C^2)(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2)}}$$

womit die vorliegende Aufgabe gelöst erscheint.

Zu den der mikrometrischen Bestimmung der Linearen- und Tiefenabmessungen anhaftenden Fehlerquellen tritt bei den letztbeschriebenen

Winkelbestimmungsmethoden noch die in manchen Fällen stets schwankende Einstellungssicherheit und eine Reihe von anderen in der mehr oder minder vollkommenen Ausbildung der Krystallflächen etc. begründeten Schwierigkeiten hinzu, welche die Endresultate in ziemlich erheblichem Maasse beeinflussen. Indessen werden wir im Allgemeinen nur selten Veranlassung haben, zu diesen Methoden zu greifen, da eine grosse Anzahl der wichtigeren Krystallgestalten sich schon in weit einfacherer Weise bestimmen, ja bei der erforderlichen Uebung mittelst einfacher Anschauung erkennen lassen.

Die Ausführung weiterer krystallonomischer Bestimmungen an der Hand der nach irgend einer der besprochenen Methoden gewonnenen Winkelwerthe können wir hier umsomehr übergehen, als sich dieselbe in jedem Handbuche der Krystallographie abgehandelt findet.

Fünfter Abschnitt.

Die Anwendung des polarisirten Lichtes bei der mikroskopischen Beobachtung.

Brewster wendete schon im Jahre 1816 die Beobachtungsweise 602 mittelst polarisirten Lichtes auf organische Körper an; aber erst nachdem Talbot im Jahre 1835 das zusammengesetzte Mikroskop mit einem polarisirenden Apparate verbunden hatte, wurde dieselbe für die organische Gewebelehre fruchtbarer. Seit dieser Zeit haben sich denn auch einzelne Forscher eingehender mit der Untersuchung thierischer sowohl als pflanzlicher Gewebe unter Anwendung dieser Beleuchtungsweise beschäftigt; allein erst in der neuesten Zeit ist deren Wichtigkeit vollkommen erkannt worden.

Die Vortheile, welche die Beleuchtung mittelst polarisirten Lichtes für das Studium der organischen Gewebe und Elementarorgane gewährt, bestehen vorzugsweise darin, dass unter dessen Einfluss Unterschiede in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der letzteren und damit feinere Structurverhältnisse zur Anschauung kommen, welche wir mittelst anderer Hilfsmittel der Untersuchung entweder gar nicht oder in weit unvollkommenerem Grade auszumitteln im Stande sein würden.

Einerseits darf ich mich daher einer umfassenderen Behandlung dieser Untersuchungsmethode nicht entziehen; auf der anderen Seite gebietet mir aber die Rücksicht auf die Ausdehnung dieser Schrift eine gewisse Beschränkung. Ich werde daher in dem eigentlich physikalischen Theile dieses Abschnittes eine vollständige Ausführung nicht erstreben können, sondern mich mehr auf die zum Verständnisse des Gegenstandes unbedingt nothwendigen Auseinandersetzungen beschränken und für ein eingehenderes Studium auf die umfassenderen Werke, die sich speciell mit demselben befassen, verweisen müssen. Zu diesen gehören namentlich: „Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe in polarisirtem Lichte“ von G. Valentin, Leipzig 1861, und der an mathematischen

912 Fünfter Abschnitt. Die Anwendung des polarisirten Lichtes etc.
Formeln reiche Aufsatz von C. Nägeli: „Die Anwendung des Polarisationsmikroskopes etc.“, in dessen Beiträgen zur Botanik 3. Heft. Leipzig 1863.

Erstes Capitel.

Physikalische Grundbegriffe.

I. Arten des polarisirten Lichtes.

603 Gewöhnliches Licht besitzt bekanntlich die Eigenschaft, dass die von ihm in Bewegung gesetzten Aethertheilchen in zur Fortpflanzungsrichtung der Strahlen senkrechten Ebenen, sonst aber nach allen Richtungen schwingen. Unter gewissen Umständen verliert sich indessen diese Eigenschaft und es zeigt die Schwingungsrichtung eine gewisse Beständigkeit. Einen derartig veränderten Lichtstrahl nennt man polarisirt.

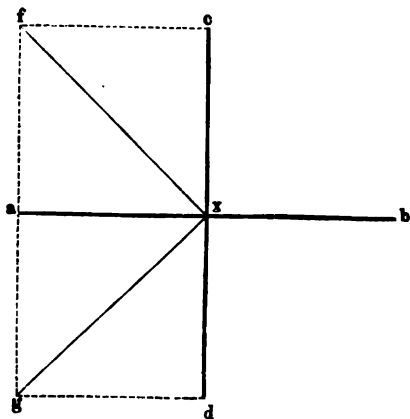
Erfolgen die Schwingungen unter sich parallel, also in derselben Ebene, so ist das Licht geradlinig polarisirt und die auf der Schwingungsebene senkrechte Ebene wird Polarisationsebene genannt.

Fallen die Polarisationsebenen zweier gleichfarbiger Lichtstrahlen zusammen und es treffen diese ein Aethertheilchen zur Zeit, wo sie sich in gleichen Schwingungsphasen befinden, so summiren sich deren Schwingungsweiten. Ist dagegen der eine Strahl dem andern um eine halbe oder um das Vielfache einer halben Wellenlänge voraus, so wirken beide einander entgegen. Es wird die grösste Ausweichung gleich dem Unterschiede der beiden Schwingungsweiten, wenn diese letzteren verschieden sind, sie sinkt dagegen auf 0 herab und die Bewegung wird aufgehoben, wenn dieselben gleiche Grösse haben.

Stehen die Polarisationsebenen zweier gleichfarbigen Strahlen senkrecht auf einander, so nennt man die letzteren entgegengesetzt oder rechtwinklig polarisirt und es können sich dieselben niemals ganz aufheben. Je nach dem Gangunterschiede der zusammentreffenden Lichtstrahlen können wir aber linear, kreisförmig oder elliptisch polarisirtes Licht erhalten.

Ist nämlich der Gangunterschied zweier rechtwinklig polarisirten Strahlen gleich 0, oder beträgt er das gerade oder ungerade Vielfache einer halben Wellenlänge, so wird das von jenem zugleich getroffene Aethertheilchen in einer Richtung fortgeführt, welche der Diagonale eines Parallelogrammes entspricht, dessen Seiten dem Maasse der Schwingungsintensität der beiden Wellensysteme gleich sind. Der einzige Unterschied, welcher sich hier geltend macht, besteht darin, dass im letzteren Falle die durch beide Wellensysteme hervorgerufene Schwingungsrichtung gegen die vorhergehende um 90° gedreht erscheint.

Fig. 540.



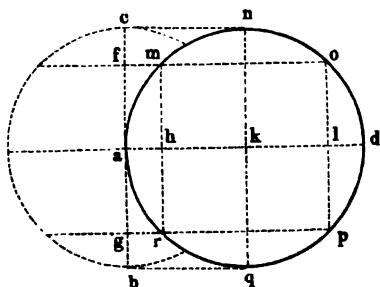
Bezeichnen z. B. ab und cd (Fig. 540) die Schwingungsrichtungen und Intensitäten der beiden Wellensysteme, so wird im ersteren Falle das Aethertheilchen x aus seiner Gleichgewichtslage in der Richtung xf , im anderen Falle aber, in welchem das eine Wellensystem nach a hin, das andere nach d hin schwingt, in der Richtung xg fortgeführt.

Beträgt der Gangunterschied zweier gleich und rechtwinklig polarisirter Strahlen dagegen mehr oder weniger als eine halbe oder ein Vielfaches einer halben Wellenlänge, so wird die Bewegung des von den beiden Wellensystemen getroffenen Aethertheilchens nicht mehr eine geradlinige, das Licht ist nicht mehr linear polarisirt. Die durchlaufene Bahn stellt dann eine Spirale vor und die einzelnen vollen Windungen derselben bilden entweder Kreise oder Ellipsen. Einen Kreis bilden dieselben, wenn der Gangunterschied ein Viertel oder drei Viertel einer Wellenlänge beträgt, und es heisst das Licht im ersteren Falle rechts, im anderen links kreisförmig oder circular polarisirt. Eine elliptische Gestalt nehmen die Windungen an, wenn der Gangunterschied einen anderen Bruchtheil der ganzen Wellenlänge als bei linear und kreisförmig polarisirtem Lichte beträgt, und es wird dann das letztere elliptisch polarisirt genannt.

Die Bahn, welche von den Aethertheilchen kreisförmig polarisirten Lichtes durchlaufen wird, lässt sich leicht durch eine Construction veranschaulichen, welche nach den Gesetzen der schwingenden Bewegungen ausgeführt ist. Wird z. B. das Aethertheilchen a (Fig. 541 a. f. S.) durch das eine Wellensystem in der Richtung bc , durch das andere in der Richtung ad in Schwingungen versetzt und ist das zweite Wellensystem gegen das erste um eine viertel Wellenlänge zurück, so hat jenes vermöge der Wirkung des ersten Systemes schon seine volle Schwingungsintensität

erlangt, wenn das zweite seine Wirkung zu äussern beginnt. Theilt man die Schwingungsdauer, welche graphisch durch einen Kreisumfang dargestellt wird, in acht gleiche Theile, so würde das Aethertheilchen *a* vermöge der ihm durch das erste Wellensystem mitgetheilten Bewegung

Fig. 541.



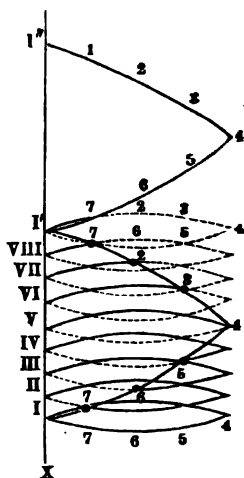
nach Ablauf des ersten Zeittheilchens von *a* nach *f* geführt worden sein, wogegen es durch die Einwirkung des zweiten Wellensystemes in *h* angelangt wäre, es befindet sich sonach in dem Punkte *m*. In dem zweiten Zeittheilchen würde es einestheils nach *c*, anderentheils nach *k* geführt worden sein, befindet sich also in *n*.

In dem dritten Zeitintervall würde das Aethertheilchen durch das eine Wellensystem von *c* nach *f*, durch das andere von *k* nach *l* geführt werden und muss sich sonach in *o* befinden; auf gleiche Weise ist ersichtlich, dass dasselbe sich nach dem dritten, vierten, fünften, sechsten, siebenten, achten Zeittheilchen nach einander in den Punkten *d*, *p*, *q*, *r*, *a* befinden muss. Es hat das Aethertheilchen *a* somit während der vollen Schwingungsdauer den ganzen Umfang eines Kreises durchlaufen. Zeichnet man ausserdem die Bahn von je neun auf einander folgenden, gleichweit von einander entfernten Aethertheilchen eines in der Richtung *xy* (Fig. 542) fortschreitenden, kreisförmig polarisirten Lichtstrahles, von denen die beiden äussersten um eine Wellenlänge von einander abstehen, so ist ersichtlich, dass die Aethertheilchen II, III, IV etc., während I die ganze Bahn durchlaufen hat und I'' erst seine Bewegung beginnt, nach einander in den Punkten 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 angelangt sind und somit auf einer, in der Projection kreisrunden, schraubenförmigen Bahn Stellung genommen haben.

In ähnlicher Weise lässt sich die Bahn der Aethertheilchen elliptisch polarisirten Lichtes durch Zeichnung darstellen.

Eine Mischung von polarisirten und nicht polarisirten Lichtstrahlen führt auf gemischt polarisirtes Licht.

Fig. 542.



II. Erzeugung polarisirten Lichtes.

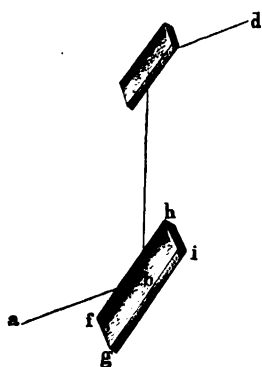
Die Bedingungen, unter denen gewöhnliches Licht in polarisirtes übergeführt wird, sind verschiedene, und demgemäss gestalten sich auch die Mittel zur Darstellung desselben für unsere Polarisationsinstrumente verschieden.

1. Polarisation durch Spiegelung.

Lässt man gewöhnliche Lichtstrahlen unter einem Winkel von $35^{\circ} 25'$ 604 auf eine ebene, durchsichtige Glastafel *fghi* (Fig. 543) auffallen, so werden dieselben zum grössten Theile nach den bekannten Gesetzen zurückgeworfen. Der kleinere Theil dagegen wird durchgelassen, abgelenkt und schwingt in einer Ebene, welche nach den Untersuchungen Brewster's auf der Schwingungsebene der gespiegelten Strahlen senkrecht ist.

Die zurückgeworfenen Strahlen sind nach der Spiegelung polarisirt, d. h. sie schwingen jetzt nur in einer einzigen zur Einfallsebene senkrechten Ebene.

Fig. 543.



Zum Nachweise dieser Polarisation dient eine zweite, an der hintern Fläche geschwärzte Glastafel *klmn*, welche parallel zu der ersteren gerichtet ist und im Kreise gedreht werden kann. Bei der parallelen Stellung beider Glastafeln trifft der gespiegelte Strahl die zweite gleichfalls unter einem Winkel von $35^{\circ} 25'$, und es fallen die Reflexionsebenen beider zusammen, so dass der von der unteren Tafel kommende polarisirte Lichtstrahl, gleich einem gewöhnlichen, von der oberen zurückgeworfen wird. Dreht man aber die obere Glastafel aus dem Parallelismus, so fallen die beiden Reflexionsebenen nicht mehr zusammen, es vermindert sich die Lichtstärke der wiederholt

gespiegelten Strahlen in dem Maasse, als die Drehung fortschreitet, bis sie bei 90° gleich Null wird. Die polarisirten Lichtstrahlen werden jetzt von der zweiten Glastafel, deren Reflexionsebene auf jener der ersten senkrecht steht, nicht mehr zurückgeworfen. Dreht man weiter bis zu 180° , also bis zu erneutem Parallelismus der Tafeln und zum Zusammenfallen der Reflexionsebenen, so steigt die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes zwischen 90° bis zu 180° , um bei weiterer Drehung bis zu 270° abzunehmen und endlich dem dunklen Gesichtsfelde Platz zu machen.

Dieses Mittel der Polarisation hat bei dem Biot'schen und Nörremberg'schen sogenannten einfachen Polarisationsapparat Anwendung gefunden, welche uns hier nicht weiter interessiren. Ausserdem wird

916 Fünfter Abschnitt. Die Anwendung des polarisirten Lichtes etc.
 dasselbe bei der älteren Construction des Nörremberg'schen Polarisationsmikroskopes und dem Wild'schen allgemeinen Polarisationsapparate benutzt, ist bei ersterem aber in neuester Zeit wieder aufgegeben worden.

2. Polarisation durch einfache Brechung.

605 Untersucht man den bei dem oben beschriebenen Grundversuche durch die Glastafel hindurchgegangenen und von seiner Richtung abgelenkten Theil der auf die Glastafel getroffenen Lichtstrahlen näher, so findet man, dass die letzteren ebenfalls aber sehr schwach in der Art polarisirt sind, dass ihre Polarisationsebene senkrecht auf jener der gespiegelten Strahlen steht. Lässt man diese Lichtstrahlen dagegen durch einen Satz von acht bis zehn und mehr parallelen Glastafeln gehen, so wird deren Polarisation eine ebenso vollständige wie jene der gespiegelten Strahlen. Wir haben hier Polarisation durch einfache Brechung. Ein derartig hergerichteter Plattensatz kann zweckmässig statt des oberen Spiegels bei dem Nörremberg'schen Polarisationsapparate benutzt werden. Auch für den Polarisationsapparat am zusammengesetzten Mikroskope sind solche Plattensätze aus 25 bis 30 dünnen Deckplättchen schon vor längerer Zeit von Reinicke empfohlen worden (Beiträge zur neueren Mikroskopie, Heft 3, 1863). Ich selbst habe einen derartigen Apparat nicht versucht, kann also über dessen Wirkung nicht urtheilen. Reinicke lobt denselben jedoch und es dürfte sich jedenfalls der Mühe lohnen, dass, schon mit Rücksicht auf die Wohlfeilheit, von Seiten unserer Optiker ein Versuch damit gemacht würde.

3. Polarisation durch doppelte Brechung.

606 Als eine dritte Ursache der Erzeugung polarisirten Lichtes erscheint die Doppelbrechung, welche in den den irregulären Krystallsystemen angehörenden Krystallen, sowie in gewissen amorphen Körpern entweder normal — organische Gebilde — oder unter besonderen Verhältnissen zur Erscheinung kommt.

Allgemeine Gesetze der Doppelbrechung.

Während in den amorphen anorganischen Körpern unter normalen Verhältnissen die Elasticität des die Schwingungen der Lichtstrahlen fortpflanzenden Aethers nach allen Seiten gleich erscheint, so dass sich die letzteren nach allen Radien einer Kugeloberfläche mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzen und unter demselben, dem Snellius'schen Gesetze $\frac{\sin i^*}{\sin i} = \frac{n}{n^*}$ entsprechenden Winkel gebrochen werden, zeigen die den oben genannten Krystallsystemen angehörenden Minera-

lien das eigenthümliche Verhalten, dass in verschiedenen auf einander senkrechten Richtungen die Elasticitäten des Aethers und somit die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten und Brechungsverhältnisse des durchgehenden Lichtes verschiedene sind. Dieses Verhalten giebt sich dadurch kund, dass ein in einen derartigen Krystall eindringender Lichtstrahl in zwei Strahlen gespalten wird, welche von ihrer ursprünglichen Richtung verschieden abgelenkt werden, d. h. von denen der eine stärker, der andere schwächer gebrochen erscheint. Man hat diese Erscheinung, welche von Erasmus Bertholin zuerst in dem isländischen Kalkspathe entdeckt wurde, mit dem Namen der Doppelbrechung bezeichnet.

Die Doppelbrechung findet indessen nicht nach allen Richtungen eines Krystalles statt. Bei den Krystallen aus dem quadratischen und hexagonalen Systeme giebt es immer eine Richtung, in welcher die einfallenden Lichtstrahlen auf gleiche Elasticität des Aethers treffen, so dass sie den Krystall durchlaufen, ohne eine doppelte Brechung zu erleiden. Diese Richtung, welche mit der Hauptachse des Krystalles zusammentrifft, wird die optische Achse genannt und die betreffenden Krystalle heissen optisch einachsig. Eine durch die optische Achse gelegte Ebene heisst der Hauptschnitt, während man die auf diesem senkrechte Schnittebene als zweite ausgezeichnete Ebene bezeichnet. Diejenigen Krystalle hingegen, welche dem rhombischen, schief rhombischen und schief rhomboidischen Krystallsysteme angehören, besitzen zwei Richtungen, nach denen die einfallenden Lichtstrahlen nicht doppelt gebrochen werden. Die hierher gehörigen Krystalle werden daher optisch zweiachsig genannt.

Die beiden ungleich abgelenkten Strahlen zeigen in verschiedenen doppelt brechenden Körpern ein verschiedenes Verhalten gegen einander, welches für die Charakterisirung der letzteren von Wichtigkeit wird.

Einachsige Krystalle. Betrachtet man die mittelst eines aus einem 607 einachsigen Krystalle, etwa aus Kalkspath, verfertigten Prismas hervorgerufenen beiden Bilder eines leuchtenden Punktes, so gewahrt man, dass deren Abstand nicht allein von dem brechenden Winkel des Prismas, sondern auch von der Richtung abhängig ist, in welcher die Lichtstrahlen das Prisma durchlaufen. Sind die brechenden Kanten des letzteren der optischen Achse parallel, so dass die beiden Strahlen dasselbe in einer zu der Hauptachse rechtwinkligen Richtung durchlaufen, so bleibt die Entfernung der Bilder dieselbe, was auf ein constantes Verhältniss zwischen den Brechungsexponenten hindeutet. Erhalten dagegen die brechenden Kanten des Prismas eine andere Lage gegen die optische Achse, so ändert sich der Abstand der beiden Bilder, je nachdem die Richtung wechselt, in welcher die Lichtstrahlen das Prisma durchlaufen. Es muss nunmehr eine Aenderung in dem Brechungsverhältnisse der beiden Strahlen eingetreten sein.

Prüft man für beide Fälle mittelst der bekannten optischen Hilfsmittel näher, so stellt sich heraus, dass der Brechungsexponent des einen

der beiden Theilstrahlen unter allen Verhältnissen dem Snellius'schen Brechungsgesetze entspricht; er wird der ordentlich gebrochene oder ordinäre Strahl genannt. Der andere Theilstrahl ändert seinen Brechungsexponenten je nach der Neigung der brechenden Kante des Prismas gegen die optische Achse. Es weicht derselbe von jenem des ordentlich gebrochenen Strahles dann am meisten ab, wenn brechende Kante und optische Achse einander parallel sind, und es vermindert sich diese Differenz in dem Verhältnisse, als sich die Richtung der Strahlen jener der letzteren nähert, bis sie, wenn die Richtungen beider zusammenfallen, d. h. wenn die brechende Kante senkrecht auf der optischen Achse steht, gleich Null wird. Der zweite Theilstrahl wird aus diesem Grunde der ausserordentlich gebrochene oder extraordinäre Strahl genannt.

Mit dem Brechungsverhältnisse der beiden Strahlen steht deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit im engsten Zusammenhang. Der am stärksten abgelenkte Strahl besitzt die geringste, der am mindesten abgelenkte die grösste Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Da nun das Brechungsverhältniss des ordentlich gebrochenen Strahles sich unter allen Verhältnissen gleich bleibt, so wird dessen Fortpflanzungsgeschwindigkeit graphisch als Radius eines durch die optische Achse gelegten Kreises darstellbar sein, während jene des ausserordentlichen Strahles mit zwischen bestimmten Grenzen veränderlichem Brechungsverhältniss sich durch den der jeweiligen Richtung des ersteren gleich geneigten Fahrstrich einer durch die optische Achse gelegten Ellipse darstellen lässt. Die Umdrehung des Kreises liefert eine Kugel, jene der Ellipse ein Ellipsoid, deren Oberflächen diejenigen Flächen bezeichnen, in denen die beiden von einem leuchtenden

Fig. 544.

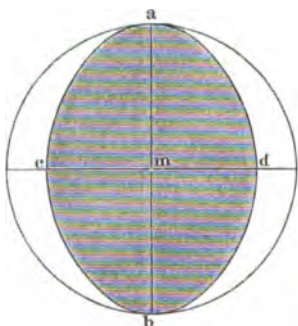
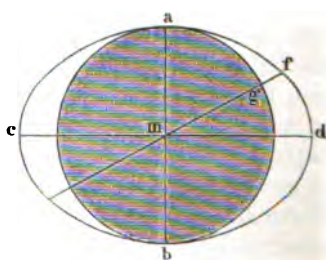


Fig. 545.



Punkte ausgegangen, verschieden gebrochenen Lichtstrahlen zu gleicher Zeit angelangt sind und daher Wellenoberflächen genannt werden.

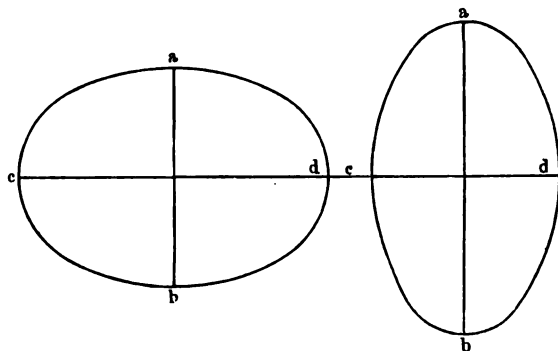
Bei jenen Krystallen, deren ausserordentlicher Strahl der stärker gebrochene, also der mit der geringeren Geschwindigkeit sich fortpflanzende ist, schliesst die Oberfläche der Kugel jene des Ellipsoides ein (Fig. 544), der Brechungsindex jenes Strahles sinkt von seinem Maximum bis zu dem Brechungsindex, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit steigt von ihrem Minimum mc bis zu der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ma des ordentlichen

Strahles; die betreffenden Körper heissen positiv einachsig. Die Oberfläche der Kugel wird dagegen von jener des Ellipsoides überall da eingeschlossen (Fig. 545), wo der ordentliche Strahl der stärker gebrochene ist und der Brechungsexponent des ausserordentlichen Strahles von seinem geringsten Werthe aus steigt, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von ihrem Maximum (mc) aus sinkt, bis sie jenen des ersteren gleich kommen. Die hierher gehörigen Körper werden als negativ einachsig bezeichnet.

Beziehen wir die optischen Achsen auf die in zwei auf einander senkrechten Richtungen verschiedenen Aetherelasticitäten, so leuchtet ein, dass in den positiven Körpern die optische Achse mit der Achse der kleinsten Elasticität, in den negativen mit jener der grössten Elasticität zusammenfällt, während letztere nach jeder anderen Richtung hin wechselt und in allen zur optischen Achse senkrechten Richtungen im einen Falle ein Maximum, im andern ein Minimum erreicht. Beschreibt man nun eine Ellipse, deren Achsen je der Achsen der grössten und kleinsten Elasticität

Fig. 546.

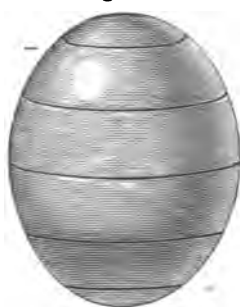
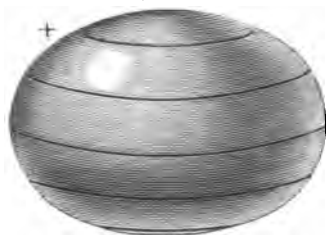
Fig. 547.



entstehen, so erscheint dieselbe für die optisch positiven Krystalle in der Gestalt der Fig. 546, für die optisch negativen in jener der Fig. 547,

Fig. 548.

Fig. 549.



und es geht aus der Umdrehung dieser Ellipsen um die Achse ab je ein Umdrehungsellipsoid (Fig. 548 und Fig. 549) hervor. In diesen Ellip-

soiden, welche je das Elasticitätsellipsoid je eines einachsigen positiven oder eines einachsigen negativen Krystalles darstellen, bilden sämtliche zur optischen Achse senkrecht geführte, also in der zweiten ausgezeichneten Ebene oder ihr parallel gelegene Schnitte Kreisflächen, während alle anderen, zur optischen Achse unter irgend einem spitzen Winkel geneigten Schnitte, wie sie z. B. bei der Umdrehung eines solchen Ellipsoides um eine der auf der Achse ab senkrecht stehenden Elasticitätsachsen in dem Durchschnitt mit der Horizontalebene, in der die für die senkrecht zu ihr einfallenden Lichtstrahlen in jedem einzelnen Falle wirksam werdenden Elasticitätsverhältnisse zum Ausdruck kommen, erzeugt werden, Ellipsen vorstellen, unter denen diejenige, welche durch die optische Achse gelegt, also im Hauptschnitt gelegen ist, die grösste Excentricität zeigt.

608 Zweiachsige Krystalle. Die Brechungsverhältnisse der optisch zweiachsigen Körper zeigen die eben geschilderten einfachen Beziehungen nicht. Bei ihnen ist keiner der beiden Theilstrahlen ein ordentlich gebrochener, d. h. es durchläuft keiner derselben den betreffenden Krystall mit stets gleicher Geschwindigkeit, indem er dem Gesetze der gewöhnlichen Brechung folgt. Man beobachtet hier drei auf einander senkrechte Richtungen $a b$, $c d$ und $e f$ (Fig. 550), in denen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von einem bestimmten Punkte ausgehender Strahlen, also auch die damit in Beziehung stehende Elasticität des Aethers eine verschiedene ist. Die diesen Richtungen entsprechenden Linien haben daher auch den Namen Elasticitätsachsen erhalten.

Denken wir uns um die drei Elasticitätsachsen ein Ellipsoid beschrieben, so stellt dieses das Elasticitätsellipsoid (Fig. 551) dar und es lassen sich leicht die Verhältnisse der Elasticitäten veranschau-

Fig. 550.

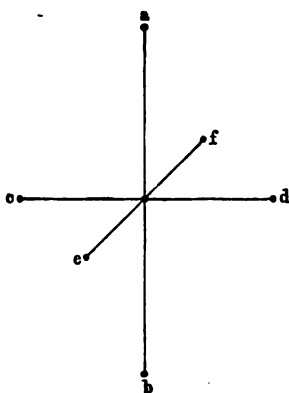
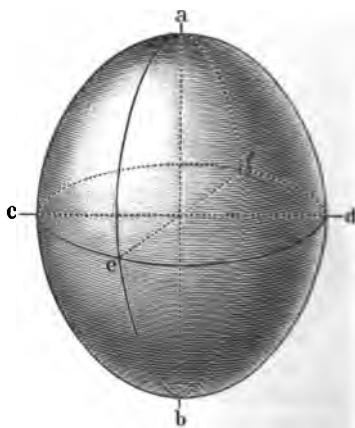


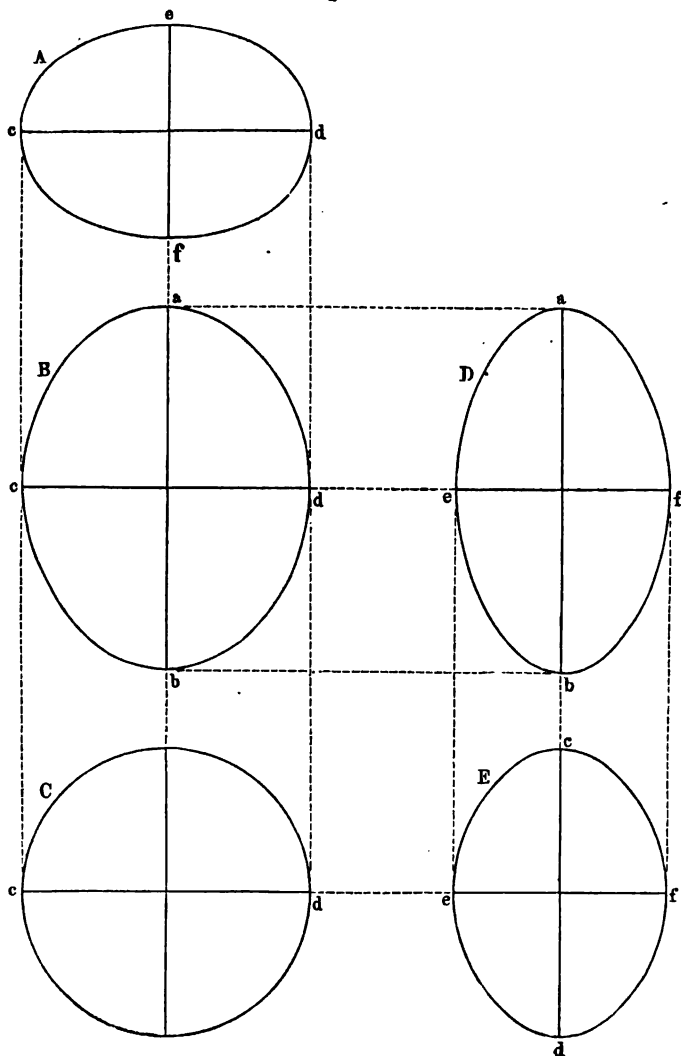
Fig. 551.



lichen, welche bei einer bestimmten Stellung dieses Ellipsoides in einem Schnitte desselben mit der Horizontalebene für die senkrecht zu dieser

einfallenden Lichtstrahlen zur Wirkung gelangen. Sei das Ellipsoid zunächst auf einen seiner Scheitel gestellt, so bildet der gedachte Schnitt eine Ellipse, Fig. 552, *A* als deren beide Achsen die mittlere, cd , und kleinste, ef , Elasticitätsachse erscheinen. Vollziehen wir nun, etwa nach

Fig. 552.

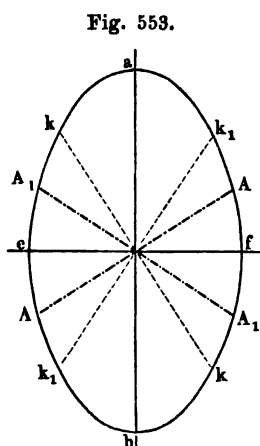


unten eine Viertelumdrehung um die mittlere Achse cd , so entspricht jeder kleinsten Drehungsgrösse eine andere Ellipse, von denen jede die Drehungsachse immer als eine ihrer Achsen beibehält, während die zweite alle Werthe von ef bis ab durchlaufen kann und dabei einmal bei einer gewissen

Drehungsgrösse den Werth von cd annehmen muss, da dieses grösser als ef , aber kleiner als ab ist. In dem letzten Falle bildet der Horizontalschnitt daher einen Kreis, C , im ersteren eine Ellipse, B , mit den Achsen cd (mittlere Elasticitätsachse) und ab (grösste Elasticitätsachse). Lassen wir endlich das Ellipsoid aus der Stellung B eine Viertelumdrehung, nach rechts, machen, so bleibt die Achse ab constant, während cd alle Werthe bis zu demjenigen von ef durchlaufen muss, so dass wir mit Ablauf der Drehung eine Ellipse erhalten, deren Achsen in der grössten, ab , und kleinsten Elasticitätsachse, ef , gegeben sind. Dreht man endlich aus der Stellung D um 90° (etwa nach unten), so kommt eine Ellipse E zum Vorschein, welche die kleinsten und mittleren Elasticitätsachsen in sich aufnimmt, während dieselben gegen die Ellipse A um 90° gedreht erscheint.

Die eben geschilderten Erscheinungen wiederholen sich in umgekehrter Reihenfolge, wenn die Umdrehung von 90° aus um eine weitere Viertelumdrehung, also auf eine halbe Umdrehung ausgedehnt wird. Der Kreisschnitt erscheint demgemäss bei der Drehung um die Achse cd zweimal, und zwar einmal zwischen 0° und 90° , das andere mal zwischen 90° und 180° .

Diese beiden Kreisschnitte, welche also immer durch die mittlere Elasticitätsachse oder derselben parallel gehen, und in ihrer durch das gegenseitige Verhältniss der drei Elasticitätsachsen $ab:cd:ef$ bestimmten Neigung gegen einander von 0° bis 180° wechseln können, stellen nun solche Schnitte des Elasticitätsellipsoides vor, für welche die auf ihnen errichteten Senkrechten denjenigen Richtungen entsprechen, in welchen ein Lichtstrahl in dem doppelt brechenden Körper ganz in der gleichen Weise verläuft, wie in einem einfach brechenden Körper. Diese Senkrechten AA und A_1A_1 Fig. 553, deren Neigungswinkel die Supplemente bilden, zu denjenigen der Kreisschnitte kk und k_1k_1 , werden als optische Achsen bezeichnet. Dieselben liegen immer symmetrisch in derjenigen als Hauptschnitt bezeichneten Ebene, welche die Richtungen der grössten und kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also die Achsen der grössten (ab) und kleinsten (ef) Aetherelasticität enthält und es halbiren diese letzteren den spitzen sowohl als den stumpfen Winkel, welche die ersteren mit einander bilden. Diejenige Elasticitätsachse, welche den

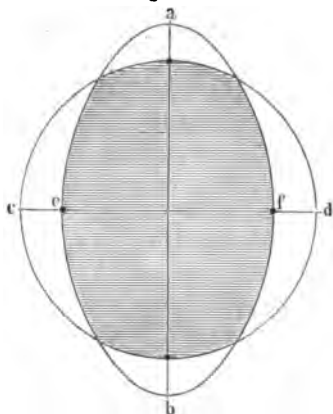


spitzen Winkel halbirt, heisst die Mittellinie des zweiachsigen Krystalles, und dieser selbst wird positiv genannt, wenn die Mittellinie der Richtung der kleinsten, negativ, wenn sie der Richtung der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit oder Aetherelasticität entspricht.

Die Wellenoberfläche der zweiachsigen Krystalle ergibt sich, wenn man die Lichtbewegung verfolgt, welche in dem Hauptschnitt, sowie in den beiden anderen ausgezeichneten Ebenen verläuft, von denen die eine die Achsen der grössten und mittleren, die andere diejenigen der mittleren und kleinsten Elasticität in sich aufnimmt.

Findet die Lichtbewegung in dem Hauptschnitte (oder in einer zu ihm parallelen Ebene) statt, so wird das einfallende Licht, da die eine,

Fig. 554.



mittlere, Elasticitätsrichtung cd unveränderlich bleibt, die beiden anderen aber die Werthe ab oder ef , oder einen zwischen ihnen annehmen können, in zwei Wellen zerlegt, von denen die eine eine Kugel mit dem Durchmesser cd , die andere ein Ellipsoid mit den Achsen ab und ef vorstellt und der Durchschnitt der Wellenfläche wird von einem Kreise und einer Ellipse gebildet (Fig. 554), von denen die letztere den ersteren, dessen Durchmesser kleiner als ab , aber grösser als ef ist, in vier Punkten schneidet. Aus ähnlichen Betrachtungen findet man den Durchschnitt der Wellen-

fläche für die in den beiden anderen ausgezeichneten (oder zu ihnen parallelen) Ebenen verlaufende Lichtbewegung im einen Falle als eine

Fig. 555.

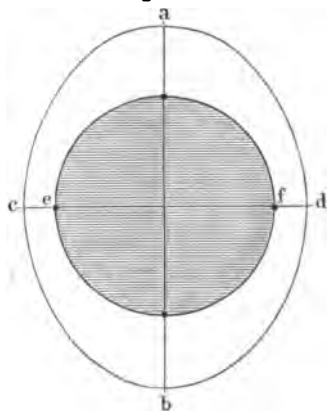
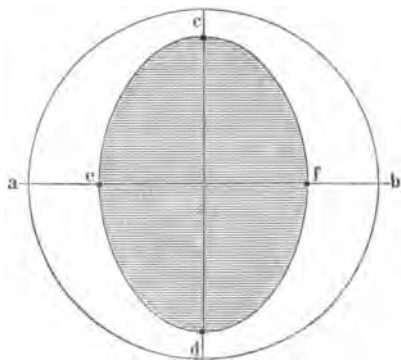


Fig. 556.



Ellipse mit den Achsen ab und cd und einen Kreis mit dem Durchmesser ef (Fig. 555), im andern als eine Ellipse mit den Achsen cd und ef und einen Kreis mit dem Durchmesser ab (Fig. 556).

Polarisation durch Doppelbrechung.

Untersucht man mittelst einer parallel zur Achse geschnittenen Turmalinplatte die beiden Theilstrahlen, in welche ein Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch einen doppelt brechenden Krystall gespalten wird, so findet man, dass dieselben vollständig und rechtwinklig zu einander polarisirt sind. Die Schwingungen des ordentlichen Strahles verlaufen in einer zu dem Hauptschnitte senkrechten Ebene, während jene der ausserordentlichen Strahlen in dem Hauptschnitt selbst stattfinden.

609 **Polarisation durch doppelt brechende Prismen.** Prismen aus doppelt brechenden Krystallen, namentlich aus dem isländischen Kalkspath, lassen sich auf Grund der eben beschriebenen Eigenschaften der beiden Theilstrahlen statt der oben erwähnten Mittel als polarisirende Apparate benutzen. Bei dem gewöhnlichen Polarisationsapparate dienen sie zweckmässig als Analysatoren, während sie bei dem Polarisationsmikroskope als Polarisator und Analysator gebraucht werden.

Benutzt man ein gewöhnliches doppelt brechendes Prisma als Analysator, so erhält man zwei entgegengesetzt polarisirte je von den ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen erzeugte Bilder, welche während der Umdrehung des ersteren um seine senkrechte Achse abwechselnd hell und dunkel erscheinen, und zwar in der Art, dass, wenn das eine an Helligkeit zu-, das andere abnimmt, und dass, wenn das eine den höchsten Grad der Helligkeit erreicht hat, das andere vollständig dunkel erscheint, was jedesmal eintritt, sobald die Polarisations Ebenen des Polarisators und Analysators einen Winkel von 90° bilden. Gleiche Helligkeit beider Bilder wird dann beobachtet, wenn die beiden Polarisations Ebenen unter einem Winkel von 45° gegen einander geneigt sind.

Da nun bei dem Vorhandensein von zwei Bildern mancherlei störende Anschauungen während der Beobachtung mit unterlaufen, so muss man Sorge tragen, eines dieser Bilder, d. h. die dasselbe hervorbringenden Strahlen zu entfernen. Dies kann in verschiedener Weise und zwar entweder mittelst Totalreflexion innerhalb des doppelt brechenden Prismas, oder mittelst Ablenkung durch mit einem doppelt brechenden Kalkspathprisma verbundenen Prismen aus Glas geschehen.

Nicol hat in sinnreicher Weise gelehrt, die auch bei den Prazmowsky'schen Prismen angewendete gänzliche Zurückwerfung für Canadabalsam, Leinöl etc., und Kalkspath zu benutzen, um den ordentlichen Strahl zu entfernen und nur dem ausserordentlichen den Durchgang durch das Prisma zu gestatten. Zu diesem Zwecke wird ein etwas in die Länge gestrecktes, Fig. 557, im Durchschnitt gezeichnetes Kalkspath-rhomboëder $abcd$, in der auf S. 605 u. f. beschriebenen Weise bearbeitet und man erhält dann ein Prisma (Fig. 558) mit vier ebenen senkrechten

Seitenflächen, welche aussen geschwärzt werden, und mit zwei geneigten rhombischen Endflächen, deren Diagonalen af und cg den durch diesel-

Fig. 557.

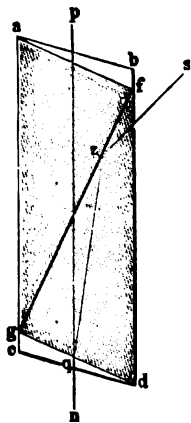
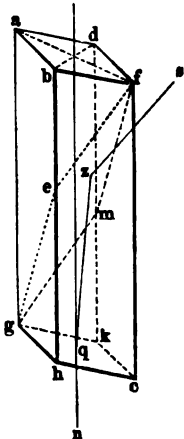


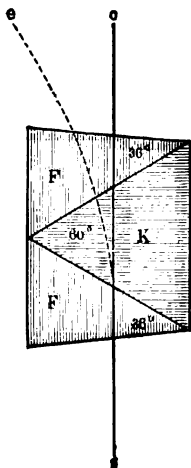
Fig. 558.



ben Buchstaben bezeichneten Richtungen in der Fig. 557 entsprechen. Die Ebene $acfg$ beider Figuren entspricht dem Hauptschnitte der Kalkspathrhomboëder und die Trennungsfläche $fgem$ steht senkrecht auf demselben. Von den Diagonalen der Endflächen heisst af , welche den höchsten und tiefsten Punkt derselben verbindet, die kürzere, bd , welche durch die gleich hoch gelegenen Endpunkte geht, die längere, und aus dem Obigen geht hervor, dass diese letztere zugleich die Polarisationssebene des Prismas bestimmt.

Fällt nun ein Strahl gewöhnlichen Lichtes nq auf die untere Endfläche des so hergestellten Prismas (Fig. 557 und 558), so wird er vermöge der Doppelbrechung in zwei Strahlen gespalten. Der ordentliche Strahl geht in der Richtung nqz , der ausserordentliche in der Richtung nqp dahin. Ersterer trifft die dünne Schicht des Canadabalsams in einem solchen Winkel, dass er eine vollständige Zurückwerfung nach zs erleidet und an der geschwärzten Seitenfläche verschluckt wird. Der ausserordentliche Strahl dagegen geht durch das Prisma hindurch und tritt an der oberen Endfläche parallel mit seiner ursprünglichen Richtung aus, indem er senkrecht auf den Hauptschnitt des Prismas polarisirt erscheint.

Fig. 559.



Die Beseitigung des einen und zwar des ausserordentlichen Strahles mittelst Ablenkung wurde in neuerer Zeit und zuerst bei dem Abbe'schen Analysatorocular (Seite 607 und 610), welches das ganze Sehfeld des Mikroskopes mit voller Bildschärfe überblicken lässt, mit ausgezeichnetem Erfolge durchgeführt.

In diesem Apparate wird das doppelt brechende Prisma aus einem Kalkspathprisma K (Fig. 559) von 60° gebildet, dessen brechende Kante parallel zur optischen Achse des Mikroskopes liegt, während die Polarisationssebene senkrecht auf der dargestellten Schnittfläche steht. Mit diesem Prisma K sind zwei symmetrisch, oben und unten, angekittete Prismen

F und F von 36° aus leichtem Flintglase derart verbunden, dass die ordentlichen Strahlen o ohne Ablenkung und auch ohne Dispersion (welche beide Bedingungen sich durch geeignete Wahl des compensirenden Flintglases und der Winkel gleichzeitig erfüllen lassen) durch das ganze Prisma hindurchtreten, während die ausserordentlichen Strahlen e in Folge ihres geringeren Brechungsindex im Kalkspath stark abgelenkt werden. Ist das Analysatorocular eingesetzt, so entwirft dieses zufolge der Verdoppelung aller Strahlen, die von dem Objectivsystem des Mikroskopes ausgehen, ein zweifaches Oeffnungsbild in dem „Augenpunkt“ des Mikroskopes und zwar das eine, den ordentlichen Strahlen entsprechende in der Achse, das andere, den ausserordentlichen Strahlen angehörige in einem bestimmten Abstände seitlich von der Achse und es wird dieses letztere mittelst des einen wesentlichen Bestandtheil des Apparates bildenden Oculardeckels mit verengter Oeffnung abgeblendet.

Wir ersehen aus diesen Darlegungen, dass, wenn wir ein Prisma erster Art oder ein „Abbe'sches“ Prisma als Zerleger mit einem Polarisator irgend einer Art, bei dem zusammengesetzten Mikroskope insbesondere mit einem zweiten Nicol verbinden, wir durch dasselbe nur ein einziges Bild erblicken, welches in einem Falle von den ausserordentlichen, im anderen von den ordentlichen Strahlen entworfen wird. Dasselbe erscheint hell, wenn die Polarisations Ebenen des Polarisators und Zerlegers parallel sind, halbhell, wenn sie einen Winkel von 45° , und dunkel, wenn sie einen rechten Winkel mit einander bilden.

Da nun schon aus theoretischen Gründen jeder der beiden Theilstrahlen, in welchen ein gewöhnlicher Lichtstrahl durch die doppelte Brechung gespalten wird, nur die halbe Lichtstärke besitzt und diese in dem oberen Prisma noch einmal eine Theilung erleidet, da ausserdem durch Spiegelung etc. eine gewisse Menge Lichtes verloren geht, so darf man, wenn zwei Nicol'sche oder Prazmowski'sche Prismen, oder ein Nicol'sches und ein Abbe'sches Prisma als Polarisationsapparat benutzt werden, immer nur auf weniger als $\frac{1}{4}$ derjenigen Lichtstärke rechnen, welche bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung zu Gebote steht. Um diesem Lichtverluste entgegen zu wirken, bringt man in neuerer Zeit nach dem Vorschlage H. v. Mohl's eine Beleuchtungslinse über dem polarisirenden Prisma an, welche auch durch ein Linsensystem ersetzt werden kann, wie es z. B. bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparat geschieht, wenn der Polarisator in den Blendungsträger eingesetzt wird.

610 Polarisation durch doppelt brechende amorphe Körper.

Haben wir uns in dem Voranstehenden, wo es galt, die Doppelbrechung als Polarisationsmittel verständlich zu machen und deren Gesetze im Allgemeinen zu erläutern, nur auf die Krystalle bezogen, so ist mit ihnen doch das Gebiet der doppelt brechenden Körper nicht erschöpft. Lässt sich schon aus dem optischen Verhalten der Krystalle der Schluss ziehen, dass es vorzugsweise die Anordnung und der Zustand der kleinsten Theilchen der Materie seien, welche eben jenes bedingen, so geht

dieses noch um so überzeugender daraus hervor, dass auch sonst einfach brechende Körper durch sogenannte Spannung, d. h. durch Aufhebung des inneren Gleichgewichtszustandes der Materie in doppelt brechende übergeführt werden können. Zu dieser letzteren Classe von Körpern gehören offenbar die meisten der für den Mikroskopiker wichtigsten organischen Objecte, in denen eine doppelte Brechung beobachtet wird.

Gehen wir auf die Ursachen zurück, welche solche Gleichgewichtstörungen der Materie, oder nach dem gangbaren Ausdrucke Spannungen hervorrufen können, so sind es, soweit bis jetzt bekannt, vorzugsweise der Druck, die Wärme und die Verdunstung. Einseitig oder vielseitig ausgeübt, aber vermöge innerer Structurverhältnisse der betreffenden Körper in verschiedenen Richtungen ungleich wirkender Druck kann z. B. Glas, welches ursprünglich einfach bricht, in einen doppelt brechenden Körper umwandeln. Es können sogar je nach der Wirkungsweise des Druckes dieselben Körper bald positiv, bald negativ erscheinen. So verhält sich z. B. eine von aussen gedrückte Hohlkugel negativ, eine von innen gedrückte positiv. Einseitig erwärmte Gläser werden doppelt brechend und behalten diese Eigenschaft bleibend, wenn durch eine rasche einseitige Rückkehr zu der früheren Temperatur bleibende Spannungen in denselben hervorgerufen werden. Gleichmässige Erwärmung führt in nach verschiedenen Richtungen hin sich ungleichmässig ausdehnenden Körpern zu ähnlichen Erscheinungen. Von aussen erwärmte oder abgekühlte Hohlkugeln aus Glas, bei denen noch nicht alle Schichten eine gleichmässige Temperatur angenommen haben, werden erstere positiv, letztere negativ doppelt brechend. In ähnlicher Weise wie Druck und Erwärmung kann die Verdunstung wirken, indem die hierdurch aus dem Inneren der Körper hinweggeführten Flüssigkeitstheilchen Veränderungen in der Gleichgewichtslage der Materie hervorrufen. Bei den Polarisationserscheinungen der organischen Körper, welche im zweiten Bande zu behandeln sind, werden wir Gelegenheit haben, auf diese Verhältnisse eingehender zurückzukommen.

III. Einfluss doppelt brechender Körper auf bereits polarisirtes Licht.

Wie ein doppelt brechender Körper das Licht in bestimmten Rich- 611
tungen zu polarisiren vermag, so kann er auch, und dies ist die für uns wichtigere Seite seines Verhaltens, bereits polarisirtes, d. h. in einer Ebene schwingendes Licht so verändern, dass es bei gewissen Stellungen der Polarisationsebene zu seiner optischen Achse wiederum in einer oder zwei anderen Ebenen schwingt. Ein Lichtstrahl, der bei gekreuzter Stellung der Polarisations Ebenen des Polarisators und Analysators von dem letztern aus nicht mehr in das Auge gelangt, kann durch das Da-

zwischentreten eines doppelt brechenden Krystalles so verändert werden, dass er wieder nach einer oder zwei Richtungen hin sichtbar erscheint. Um sich diesen Einfluss eines doppelt brechenden Körpers vor Augen zu bringen, braucht man nur zwischen Polarisator und Zerleger ein sehr dünnes Gypsblättchen einzuschalten, während deren Polarisations Ebenen einen rechten Winkel mit einander bilden. Man wird dann finden, dass das von dem Polarisator ausgehende Licht aus dem Analysator wieder austritt, sobald der Hauptschnitt des Mineralen mit den Polarisations Ebenen einen Winkel von 45° macht.

Die Erscheinungen, welche durch diesen Einfluss der doppelt brechenden Körper hervorgerufen werden, sind mannigfacher Art. Für uns haben indessen nur wenige eine besondere Wichtigkeit, deren Betrachtung wir uns nicht entziehen dürfen. Dieselben beziehen sich auf die Wirkung, welche ein einzelner oder mehrere doppelt brechende Körper ausüben, wenn sie, während diese sich in gekreuzter Stellung befinden, zwischen Polarisator und Analysator eingeschaltet und mittelst weissen, bei den in diesem Abschnitte anzustellenden Betrachtungen allein in Betracht kommenden Lichtes beobachtet werden.

1. Verhalten eines einzelnen doppelt brechenden, parallel zur Achsenebene geschliffenen Krystallplättchens.

612 Schaltet man ein einzelnes, aus einem doppelt brechenden Krystalle, z. B. aus Gyps, geschliffenes dünnes Plättchen, dessen Flächen der Ebene parallel sind, welche seine optischen Achsen enthält, zwischen die beiden Nicols ein, so beobachtet man folgende Erscheinungen. In zwei zu einander senkrechten Lagen äussert das Plättchen gar keinen Einfluss auf die Beschaffenheit des Sehfeldes, und dieses bleibt vor wie nach dunkel. In jeder dieser Lagen fällt nämlich die Schwingungsebene je eines der beiden Strahlen, in welche der von dem unteren Nicol kommende Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch die eingeschaltete Platte zerlegt wird, mit je einer der Schwingungsebenen der polarisirenden Prismen zusammen und die Schwingungen gehen unverändert weiter. In jeder anderen Lage zwischen 0° und 90° erscheint dagegen das Sehfeld, je nach der Dicke des eingeschalteten Plättchens, gefärbt, und zwar ist die Lebhaftigkeit der während der Drehung im Tone sich nicht ändernden Färbung am grössten, wenn die Schwingungsebenen der Prismen mit jenen der Krystallplatte einen Winkel von 45° bilden.

Diese Farbenerscheinungen haben, wie die Farbenringe dünner Schichten fester und flüssiger Körper, welche unter dem Namen der Newton'schen Farbenringe bekannt sind, ihren Grund darin, dass die Verzögerung, welche die, verschiedene Wellenlängen, also auch verschiedene Geschwindigkeiten besitzenden Elementarstrahlen des weissen Lichtes durch die Brechung erleiden, bei einer und derselben Dicke desselben

Körpers eine verschiedene ist. Die einzelnen einfachen Strahlen treten daher in verschiedenen Schwingungszuständen aus dem eingeschalteten Plättchen heraus und erscheinen, aus dem Zerleger kommend, und nach ihrer Interferenz mit verschiedener Lichtstärke. Auf diese Weise entstehen Mischfarben, die vorzugsweise von jenen Strahlen abhängen, welche in grösster Intensität auftretend, jene mit schwächerer Intensität mehr oder weniger vollständig löschen.

Färbung des verzögernden Plättchens bei gekreuzten und 613 parallelen Polarisationssebenen. Aus allem dem geht hervor, wie wir es in unserer Gewalt haben, durch verschiedene Dicke des eingeschalteten sogenannten verzögernden Gypsplättchens verschiedene Färbungen des Sehfeldes hervorzurufen. Diese entsprechen unter obiger Voraussetzung, d. h. bei rechtwinklig gekreuzten Polarisationssebenen, den Farben der Newton'schen Ringe in zurückgeworfenem Lichte, welche nach Professor Rolett's gründlichen Untersuchungen (Ueber die Farben, welche in den Newton'schen Ringsystemen aufeinander folgen. Sitzungsberichte der Wiener Akademie, 77. Bd., II. Abthl., 1878, Separatabdruck Seite 53) folgende Reihe bilden.

Erste Ordnung.

Schwarz	(Weiss)	(0) ¹⁾
Dunkellavendelgrau	(Bräunlichweiss)	(100)
Heller "	(Hellbraun)	(107)
Sehr hell "	(Dunkelbraun)	(116)
Bläulichweiss . .	(Rothbraun)	(124)
Grünlichweiss . .	(Dunkelpurpur)	(129)
Gelblichweiss . . .	(Dunkelviolet)	(135)
Blassstrohgelb . .	(Dunkelblau)	(140)
Braungelb	(Heller Blau)	(164)
Orange	(Hellblau)	(235)
Roth	(Blassblaugrün)	(245)

Zweite Ordnung.

Purpur	(Blassgrün)	(257)
Violet	(Hellgelbgrün)	(272)
Indigo	(Hellgelb)	(282)
Himmelblau	(Goldgelb)	(300)
Heller Himmelblau .	(Orange)	(352)
Sehr hell Blaugrün .	(Roth)	(372)
Hellgrün	(Tief Purpur)	(387)
Gelbgrün	(Violet)	(409)
Gelb	(Blau)	(435)
Hellorange	(Heller Blau)	(465)
Roth	(Bläulichgrün)	(490)

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen geben die Luftdicke für die Newton'schen Farbenringe in Milliontheilen des Millimeters an.

Dritte Ordnung.

Purpur	(Grün)	(520)
Violett	(Hellgelbgrün)	(550)
Blau	(Gelb)	(570)
Meergrün	(Fleischroth)	(600)
Grün	(Purpur)	(650)
Blassgelbgrün	(Graublau)	(680)
Falbes Gelb	(Graublau)	(726)
Roth	(Meergrün)	(750)

Vierte Ordnung.

Purpur	(Grün)	(780)
Graublau	(Mattgelb)	(852)
Meergrün	(Fleischroth)	(870)
Grün und Graugrün	(Grauroth)	(912)
Grauroth	(Graugrün)	(996)

Fünfte Ordnung.

Blaugrün matt	(Fleischroth)	(1168)
Fleischroth matt	(Meergrün)	(1264)

Sechste Ordnung.

Blaugrün matt	(Fleischroth)	(1450)
-------------------------	-------------------------	--------

Werden die Polarisationssebenen der beiden Prismen in parallele Stellung gebracht, so treten ähnliche Farbenscheinungen auf. Es bilden jetzt aber die einer bestimmten Dicke des eingeschalteten Plättchens angehörenden, in nebenstehender Tabelle eingeklammerten, Farben die Complementärfarben derjenigen, welche bei gekreuzten Polarisationssebenen beobachtet wurden, entsprechen sonach den Newton'schen Farben für das durchgelassene Licht.

- 614 **Bestimmung der Farbe verzögernder Plättchen.** Für die mikroskopischen Untersuchungen wird, wie wir weiter unten sehen werden, die Einschaltung eines verzögernden Gypsplättchens oft von hoher Wichtigkeit. Man beschränkt sich meist auf zwei, welche bei gekreuzten Nicols das eine das Roth erster Ordnung giebt, also eine theoretische Dicke von etwa 0,06 bis 0,07 mm hat, das andere das Roth zweiter Ordnung hervorruft und eine Dicke von etwa 0,126 bis 0,141 mm besitzt. Nur selten wird man Veranlassung finden, Plättchen von Roth höherer Ordnung zu verwenden, da dieselben zu wenig empfindlich sind. Dagegen ist das Blauviolett der dritten Ordnung, mit einer Dicke von 0,129

bis 0,144 mm, für manche Objecte vortheilhaft zu gebrauchen, da dasselbe sehr empfindlich ist und in dieser Beziehung dem Roth erster Ordnung ziemlich nahe steht.

Da nun der Mikroskopiker ein Interesse daran haben muss, die Farbe seiner verzögernden Plättchen, welche, wie man sie erhält und benutzt verschiedene, dem betreffenden Farbenbereiche angehörnde Abstufungen bilden und so in den gleichen Nummern derselben Werkstätte etwas abweichende Töne zeigen, genau zu bestimmen, um die später zu erörternden Verhältnisse richtig beurtheilen zu können, so mögen die zu einer derartigen Bestimmung empfohlenen Methoden hier Platz finden. Die von Valentin (a. a. O., Seite 139 u. f.) angewendete Bestimmungsweise, welche annähernd genaue Resultate liefert, beruht auf dem Umstande, dass ein derartiges Plättchen, welches zwischen Polarisator und Analysator eingeschaltet dem Sehfelde eine bestimmte Farbe ertheilt, wenn man mit doppelter Dicke beobachtet, letztere in einer ganz bestimmten Weise ändert, welche von der verwandten Farbe einer anderen Ordnung abweicht. Der gewöhnliche Nörrebergische Polarisationsapparat in einfachster Form, der wohl fast überall dem Mikroskopiker zur Verfügung stehen dürfte, reicht für eine derartige Bestimmung vollkommen aus. Man beobachtet mittelst desselben bei einfacher Dicke, wenn das betreffende Plättchen auf dem Tischchen, bei doppelter, wenn es auf dem unteren, horizontalen Spiegel liegt. Unser Gypsplättchen vom Roth erster Ordnung giebt bei einfacher Dicke beobachtet, für gekreuzte Stellung der Polarisations Ebenen ein feuriges Roth, für parallele Stellung ein blasses, aber lichtstarkes Grün, während unter gleichen Umständen für die doppelte Dicke ein blasses, mit etwas Orange gemischtes Roth und ein schönes lebhaftes Grün erscheint. Die von Professor Rolett angewendete Methode (a. a. O.) benutzt zu genauer Farbenbestimmung die Lage der in dem nächsten Abschnitte näher zu besprechenden Müller'schen Streifen, welche in dem Spectrum auftreten, wenn man die zwischen gekreuzten Nicols auftretenden Farben der betreffenden Plättchen mittelst des Spectraloculars beobachtet. Das Roth I. O. (245) muss hier einen wenig scharf begrenzten dunklen Streifen zwischen den Fraunhofer'schen Linien *F* und *E* ergeben, dessen Mitte auf $\lambda = 0,490 \mu$ liegt, das Violett III. O. einen gut begrenzten Streifen zwischen *E* und *D* mit der Mitte auf $\lambda = 0,550 \mu$. Dem gegenüber geben z. B. zwei zu verschiedenen Zeiten von Dr. Steeg bezogene Gypsplättchen von Roth I. O. je einen dunklen Streifen, deren Mitte auf $\lambda = 0,510$ und $0,505$ liegt, zwei Plättchen von Violett III. O. je einen solchen mit der Mitte auf $\lambda = 0,560$ und $0,565$ und der Ton der ersteren neigt etwas nach Purpur II. O., derjenige der letzteren nach Blau III. O.

Änderung der Farbe eines verzögernden Plättchens während 615
der Drehung um seine horizontale Achse. Wird ein parallel der Achsenebene geschnittenes Plättchen, dessen Elasticitätsachsen die Polarisations Ebenen unter Winkeln von 45° schneiden, um eine seiner

horizontalen Achsen derart gedreht, dass es eine geneigte Lage gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes annimmt, so werden ähnliche Farbenänderungen hervorgerufen, wie wenn man Plättchen von verschiedener Dicke einschaltet, indem die polarisirten Lichtstrahlen während einer solchen Drehung und gemäss deren Grösse einen weiteren Weg zurückzulegen haben, als bei horizontaler Lage. Der durch diese Vergrösserung des Weges hervorgerufene Gangunterschied wird ein vermehrter, d. h. die Drehung wirkt gleich einer Verdickung des Plättchens, wenn die Drehungsachse in dem Hauptschnitt liegt, ein verminderter, d. h. die Drehung wirkt gleich einer Verdünnung des Plättchens, wenn jene in die zum Hauptschnitt senkrechte zweite ausgezeichnete Ebene fällt.

Dreht man z. B. das Gypsplättchen von Roth erster Ordnung, nachdem man es so eingeschaltet hat, dass seine Mittellinie mit den Polarisationssebenen einen Winkel von 45° macht, um diese, so steigt seine Farbe in der Reihe der Newton'schen Ringe von Roth zu Violett, Indigo, Grün; sie sinkt dagegen nach Orange, Gelb, Weisslich, wenn die Drehung um eine zur Mittellinie senkrechte Achse ausgeführt wird. Die in ähnlicher Weise vorgenommene Drehung eines Gypsplättchens von Blau zweiter Ordnung ergiebt für den ersten Fall Blau, Blaugrün, Grün, Gelblichgrün, also ein Steigen, für den anderen Blau, Violett, Roth, also ein Sinken der Farben.

2. Verhalten zweier oder mehrerer doppelt brechender, parallel zur Achsenebene geschliffener Krystallplättchen.

616 Werden an Stelle eines einzigen Plättchens deren zwei zwischen die beiden Prismen des Polarisationsmikroskopes eingeschaltet, so resultiren daraus Erscheinungen, welche für die mikroskopische Beobachtung von Wichtigkeit sind. Wir müssen denselben daher eine etwas eingehendere Betrachtung zu Theil werden lassen.

Bringt man zwei derartige Plättchen von gleichem Charakter, z. B. zwei Gypsplättchen, in solcher Lage zwischen die beiden gekreuzten Nicola, dass ihre gleichnamigen Schwingungsebenen oder Elasticitätsachsen zusammenfallen, man also eine sogenannte parallele Verdoppelung hat, so ist das Resultat das gleiche, als ob man ein einziges Plättchen von grösserer Dicke eingeschaltet hätte. Der Gangunterschied vergrössert sich, und die bei Beobachtung in weissem Lichte auftretenden Interferenzfarben steigen in der Reihenfolge der Newton'schen Farbenringe. Verbindet man dagegen die beiden Plättchen so mit einander, dass sich ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen kreuzen, die Schwingungsebene des ordentlichen Strahles im einen mit der Schwingungsebene des ausserordentlichen Strahles im anderen zusammenfällt, dass also der eine Strahl voraneilt, während der andere zurückbleibt, dann tritt bei dieser sogenannten gekreuzten Verdoppelung eine Verminderung im Gangunterschiede ein, und der Erfolg

ist derselbe, als ob man ein dünneres Plättchen von demselben Charakter verwendet hätte, d. h. die Interferenzfarben nehmen eine niedrigere Stelle in der Scala ein.

Wäre z. B. ein Gypsplättchen von Roth und ein solches von Graublau (hell Lavendelgrau) erster Ordnung mit einander eingeschaltet worden, so würde dem Sehfelde unter der ersteren Voraussetzung eine blaue, unter der anderen eine orangegelbe Färbung ertheilt worden sein. Die resultirenden Farben können jedesmal theoretisch berechnet werden. Sucht man nämlich diejenigen Zahlen auf, welche die Dicke des Spaltraumes angeben, der zur Erzeugung der, den Farben der verwendeten Plättchen entsprechenden Farben für die Newton'schen Farbenringe gefordert ist, so müssen diese im Falle des Zusammenfallens der homologen Schwingungsebenen addirt, im Falle der Kreuzung subtrahirt werden. Man kann daher der Kürze wegen die ersteren als Additionsfarben, die letzteren als Subtractionsfarben bezeichnen.

Die Complication ist bei der Möglichkeit einer ausgedehnten Reihe von Combinationen von Plättchen der verschiedensten Farben natürlich eine sehr bedeutende. Da jedoch für den ausübenden Mikroskopiker hauptsächlich jene Combinationen in Betracht kommen, welche mittelst der Gypsplättchen von Roth erster und zweiter und von Hellviolett dritter Ordnung, oder endlich durch Verbindung zweier gleichfarbiger Plättchen unter sich oder mit jenen Gypsplättchen erreicht werden, so wollen wir nur einige derjenigen Farben zusammenstellen, welche aus derartigen Verbindungen hervorgehen.

Verbindung verschieden dicker Gypsplättchen mit einem 617 solchen von bekannter Farbe. Betrachten wir zuerst einige Combinationen von Plättchen verschiedener Farben mit einem Gypsplättchen der drei genannten, so ergeben sich folgende Resultate:

Der erstere Fall findet sich bei allen organischen Körpern, deren Elasticitätsachsen einen mit deren Ausmessungen gehenden Verlauf haben, während der andere da auftritt, wo jene schief dahin gehen. Wir müssen daher beide Fälle etwas näher betrachten.

Liegen die beiden oder auch mehrere Plättchen mit ihren gleichnamigen Elasticitätsachsen übereinander geschichtet, so gehen daraus, wenn dieselben so orientirt werden, dass die letzteren mit den Polarisations Ebenen einen Winkel von 45° bilden, Farben hervor, welche der doppelten, dreifachen etc. Dicke entsprechen.

So z. B. geben zwei Plättchen von

Dunkelgrau	erster Ordnung	Lavendelgrau	erster Ordnung
Lavendelgrau	" "	Hellgraublau	" "
Graublau	" "	Hellgelb	" "
Hellgraublau	" "	Orange gelb	" "
Weiss	" "	Orangeroth	" "
Gelblichweiss	" "	Roth	" "
Strohgelb	" "	Violett	zweiter Ordnung
Hellgelb	" "	Indigo	" "
Glänzend Gelb	" "	Blau	" "
Orange gelb	" "	Grünlichgelb	" "
Orangeroth	" "	Orange	" "
Roth	" "	Roth	" "
Violett	zweiter Ordnung	Indigo	dritter Ordnung
Indigo	" "	Blau	" "
Blau	" "	Grün	" "
Grün	" "	Rosa	" "
Gelb	" "	Hellgrün	vierter Ordnung
Orange	" "	Graugrün	" "
Roth	" "	Grauweiss	" "

Werden die Plättchen so übereinander geschichtet, dass ihre Schwingungsebenen oder Elasticitätsachsen einen Winkel mit einander bilden, und so orientirt, dass die Linie, welche diesen Winkel halbirt, unter 45° mit den Polarisations Ebenen dahin geht, so ändern sich die oben beschriebenen Additionsfarben.

So geben zwei Plättchen von Helllavendelgrau, wenn ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen übereinander fallen, die Additionsfarbe Hellgelb, diese ändert sich bei einem Drehungswinkel von $\frac{1}{4}$ Rechten in heller Gelb, von $\frac{1}{2}$ R. in Weisslich, von $\frac{3}{4}$ R. in Bläulichweiss, von 1 R. in Schwarz und geht bei weiterer Drehung bis zu 2 R. oder 180° in denselben Tönen wieder nach Hellgelb zurück. Zwei Gypsplättchen von Roth erster Ordnung in derselben Weise aufeinander gelegt und gedreht bleiben, so lange nicht Kreuzung der gleichnamigen Elasticitätsachsen stattfindet, Roth, es ist diese Farbe jedoch zwischen $\frac{1}{2}$ und $1\frac{1}{2}$ R. etwas dunkeler, d. h. sie nähert sich mehr dem Roth erster Ordnung als in den Quadranten zwischen 0° und $+45^\circ$ und zwischen 90° und -45° .

Orientirt man die beiden Plättchen so, dass die den Drehungswinkel halbirende Linie mit den Polarisationssebenen zusammenfällt, so geben dieselben Farben, so lange ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen nicht zusammenfallen oder sich kreuzen, in welchem Falle das Gesichtsfeld dunkel bleibt. Es zeigen z. B. die beiden Plättchen von Graublau Hellbläulichgrau, wenn ihre Schwingungsebenen einen Winkel von 45° mit einander machen, Dunkelbläulichgrau, wenn sie unter $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$ Rechten gegeneinander geneigt sind. Zwei Plättchen von Roth erster Ordnung geben bei 45° Violett, bei $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ R. Dunkelviolett.

Farben zweier gleicher Krystallplättchen über einem feststehenden Gypsplättchen. Verbindet man zwei übereinander geschichtete Plättchen von gleicher Farbe mit einem feststehenden Gypsplättchen, so sind die daraus hervorgehenden Farben einestheils von den Winkeln, welche die Elasticitätsachsen derselben untereinander oder mit der diese halbirenden Mittellinie machen, anderentheils von der Stellung dieser letzteren selbst gegen die Polarisationssebenen abhängig.

Um ein Beispiel der hier auftretenden Farbenercheinungen zu geben, welche für die Beurtheilung der optischen Verhältnisse solcher organischer Körper wichtig werden, deren Achsen schief verlaufen, stelle ich dieselben für die obigen zwei Plättchen von Hellavendelgrau erster Ordnung zusammen, deren Schwingungsebenen unter Winkeln von 0° bis 180° gegeneinander geneigt waren und welche über einem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung gedreht wurden.

620

Orientirung	Winkel, welchen die Schwingungsebenen unter sich und mit der Mittellinie machen								
	0°	$\frac{1}{4}$ R. $\frac{1}{8}$ R.	$\frac{1}{2}$ R. $\frac{1}{4}$ R.	$\frac{3}{4}$ R. $\frac{5}{8}$ R.	1 R. $\frac{1}{2}$ R.	$\frac{3}{4}$ R. $\frac{5}{8}$ R.	$\frac{2}{4}$ R. $\frac{3}{4}$ R.	$\frac{7}{4}$ R. $\frac{7}{8}$ R.	180° 1 R.
+ 45°	Bläulichgrün	Blaugrün	Blau mit Grün	Blau	Roth	Orange	Gelb-orange	Hell-orangegelb	Gelbweiss
0°	Roth 1	Roth-violett	Blau-violett	Indigo	Roth	Roth-orange	Röthlich-orange	Orange	Roth
— 45°	Gelbweiss	Hell-orangegelb	Gelb-orange	Orange	Roth	Blau	Blau mit Grün	Blaugrün	Grün
90°	Roth 1	Orange	Röthlich-orange	Roth-orange	Roth	Indigo	Blau-violett	Roth-violett	Roth

Betrachten wir dies Verhalten näher, so ergibt sich, dass in der Lage von $+45^\circ$, wo also die den Winkel der Elasticitätsachsen der geschichteten Plättchen halbirende Mittellinie mit der Elasticitätsachse des Gypsplättchens zusammenfällt, die Farben sich so lange in Addition befinden, als der Winkel mit der Mittellinie unter $\frac{1}{2}$ R. (45°) bleibt, wenn dieser Winkel gleich $\frac{1}{2}$ R. ist, der Gypsgrund wiedergegeben wird, und endlich die Interferenzfarben in Subtractionsfarben übergehen, sobald derselbe über $\frac{1}{2}$ (45°) R. bis zu 1 R. (90°) steigt. In der Stellung — 45°

Roth, Violett, Blau, über einem solchen von Hellblauviolett dritter Ordnung: Grün, Gelbgrün, Rosa, Purpur, Grauviolett, Graugrün. Geschieht die Drehung um eine auf der Achsenebene senkrechte, also mit der mittleren Elasticitätsachse parallele Achse, so hat man für sich: Hellblaugrau, Dunkelgrau, Schwarz (und dann in etwas rascherer Folge) Dunkelgrau, Hellblaugrau, Weiss, Gelb; über dem Gypsplättchen von Roth erster Ordnung: Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau, Grün, Gelb, über jenem von Hellblauviolett dritter Ordnung: Roth, Rothviolett, Hellblauviolett, Blaugrün, Grün, Gelbgrün, Rosa. In diesem Falle verhält sich also das Glimmerplättchen bei einer bestimmten, von seinem Achsenwinkel abhängigen Neigung gegen die Achse des Polarisationsinstrumentes neutral, weil die eine seiner optischen Achsen in senkrechte Lage kommt und die polarisirten Lichtstrahlen unverändert durchgehen. Wir sehen daher an dieser Stelle entweder das Dunkel des Sehfeldes, oder die ihm durch das fest eingeschaltete verzögernde Plättchen ertheilte Farbe auftreten.

4. Circularpolarisation des Bergkrystalles.

624 Der Bergkrystall unterscheidet sich in seinem Verhalten gegen polarisirtes Licht wesentlich von den übrigen einachsigen Krystallen. Bringt man eine aus diesem Mineral senkrecht zur Achse geschnittene Platte in den polarisirenden Apparat, so erscheint das Sehfeld lebhaft gefärbt, und es ändert sich die Färbung je nach der Drehung des Analysators. In keiner Stellung desselben erscheint das Sehfeld farblos, hell oder dunkel. Die beobachteten Farbenveränderungen während der Umdrehung des Zerlegers folgen sich in der Ordnung der prismatischen Farben. Bei manchen Bergkrystallen erhält man, im Verlaufe der Drehung nach der rechten Seite, also von 0° nach 90° (Fig. 560, S. 942), nach einander Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett, während bei anderen dieselbe Farbenreihe auftritt, wenn die Drehung nach der linken Seite hin, also von 0° nach 270° vorgenommen wird. Platten erster Art heissen rechts drehende, die anderen links drehende.

Man hat diese Erscheinungen auf die kreisförmige Polarisation des Lichtes zurückgeführt, indem man annahm, dass der Bergkrystall in der Richtung der optischen Achse einen ihm zugeleiteten geradlinig oder linear polarisirten Strahl in einen links und einen rechts kreisförmig polarisirten Strahl spalte, durch deren Interferenzen die erwähnten Farbenerscheinungen hervorgerufen werden.

Diese Annahme erhält ihre Begründung darin, dass man im Stande ist, ähnliche Erscheinungen hervorzubringen, wenn man linear polarisirtes Licht durch irgend eine Veranstaltung in kreisförmig polarisirtes überführt. Hierzu eignet sich neben anderen Mitteln namentlich ein Glimmerplättchen, welches für gelbes Licht und annähernd auch für alle anderen einfachen Farben einen Gangunterschied der beiden Strahlen von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge bewirkt.

Schaltet man ein solches Plättchen so in den Polarisationsapparat ein, dass es bei gekreuzten Polarisationssebenen dem Sehfelde unter gleichzeitig stärkster Erhellung eine hellblaugraue Färbung ertheilt, so kann man den Analysator um seine Achse drehen, ohne dass sich die Helligkeit merklich ändert, während bei paralleler Stellung der Polarisationssebenen die graublaue Färbung in eine blassgelbe übergeführt wird. Man erhält auf diese Weise rechts kreisförmig polarisirtes Licht, wenn die Achsenebene des Plättchens den ersten und dritten Quadranten unter 45° schneidet. Hat man das letztere so eingeschaltet, dass seine Achsenebene den zweiten und vierten Quadranten unter 45° schneidet, so wird links kreisförmig polarisirtes Licht erzeugt. Dreht man endlich das Plättchen selbst um seinen senkrechten Durchmesser, so dass seine Achsenebene zwischen 0° und 45° fällt, so erhält man elliptisch polarisirtes Licht.

Um die für den Bergkrystall beobachteten Erscheinungen für andere Krystalle hervorzurufen, verfährt man auf folgende Weise. Zuerst wird ein $\frac{1}{4}$ Glimmerplättchen so in den Apparat eingeschaltet, dass seine Elasticitätsachsen mit den Polarisationssebenen Winkel von 45° bilden, darüber legt man ein Gypsplättchen von bekannter Farbe so ein, dass seine Elasticitätsachsen mit den Polarisationssebenen zusammenfallen, und bringt endlich über diesem ein zweites $\frac{1}{4}$ Glimmerplättchen derart an, dass seine Elasticitätsachsen mit den gleichnamigen des erst eingeschalteten Plättchens übereinstimmen, oder dieselben kreuzen, wodurch man links oder rechts circularpolarisirtes Licht erhält. Wird hierauf der Zerleger um seine Achse gedreht, so erhält man analoge Farbenänderungen des Gesichtsfeldes, wie sie bei der Einschaltung einer senkrecht zur Achse geschnittenen Bergkrystallplatte beobachtet wurden. Ein Gypsplättchen von Blau zweiter Ordnung giebt z. B. Grün, Blau, Violett, Roth, Orange, Gelb für rechts, Grün, Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau für links circularpolarisirtes Licht, d. h. es erscheint bei Rechtsdrehung des Zerlegers für jenes die erste, für dieses die andere Farbenfolge und umgekehrt.

Für die mikroskopische Beobachtung kann die Ueberführung des linear polarisirten Lichtes in kreisförmig polarisirtes namentlich dann von Wichtigkeit werden, wenn es gilt, sich über die Richtung der optischen Achse organischer Objecte zu unterrichten. Man benutzt hierzu in der Regel das oben beschriebene Glimmerplättchen, welches einfach als $\frac{1}{4}$ Glimmerplättchen bezeichnet wird, und bei dem polarisirenden Apparat für das Mikroskop nicht fehlen sollte. Ueber dessen richtige Dicke verschafft man sich in derselben Weise Gewissheit, wie es oben für das Gypsplättchen angegeben wurde. Es muss dasselbe, wenn es die verlangte Wirkung ausüben soll, für einfache Dicke bei gekreuzten Polarisationssebenen Hellgraublau, bei parallelen Gelb mit einem geringen Stich ins Braune, für die doppelte Dicke im ersteren Falle Strohgelb, im anderen Blauviolett geben.

Zweites Capitel.

Bestimmung der optischen Eigenschaften organischer Körper.

625 Nachdem wir uns im Vorausgehenden mit den Grundlagen bekannt gemacht haben, auf denen das Verständniss und die Erklärung des optischen Verhaltens der organischen Körper beruht, können wir zur Bestimmung dieses letzteren selbst, und somit zu den Aufgaben übergehen, welche die Beobachtung der mikroskopischen Objecte mittelst polarisirten Lichtes zu lösen hat.

Diese Aufgaben sind folgende:

1. Ist zu entscheiden, ob das zur Beobachtung vorliegende Object einfach oder doppelt brechend, und wenn das letztere, ob es
2. ein- oder zweiachsig ist;
3. muss für den ersten Fall unter Nr. 2 die Richtung der optischen Achse, für den anderen die Lage der Elasticitätsachsen bestimmt, und endlich
4. die Frage beantwortet werden, ob dem betreffenden Objecte der positive oder negative Charakter zukomme.

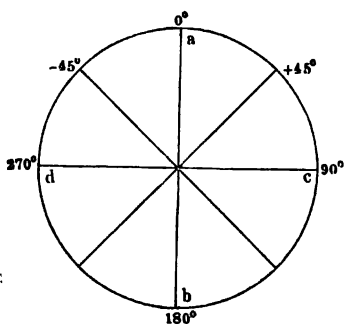
Da bei der Entscheidung aller dieser Punkte des optischen Charakters die Drehung des Objectes um eine senkrechte Achse gefordert wird, so

ist es von Vortheil, wenn das Polarisationsmikroskop mit einer gut centrirtten Drehscheibe versehen ist, welche man in den Tisch einsetzen und wieder entfernen kann.

Die Richtung der Drehung lässt sich am einfachsten nach dem Quadranten des Drehungskreises bestimmen, welchen man durchlaufen hat. Um ein volles Einverständniss darüber zu erzielen, ist es gut, die Bezeichnung dieser Quadranten einfür allemal fest zu normiren. Denkt

man sich z. B. das Sehfeld von vier Durchmesseru rechtwinklig durchschnitten, von denen der eine ab (Fig. 560) bei gekreuzten Prismen mit

Fig. 560.



der Polarisationssebene des oberen, der andere cd mit jener des unteren zusammenfällt, so mag der Punkt a als Anfangspunkt der Drehung 0° , c 90° , b 180° , d 270° des Drehungskreises entsprechen, und es ist die Richtung der Drehung vollständig bestimmt, wenn wir den Quadranten zwischen 0° und 90° als positiven, jenen zwischen 0° und 270° als negativen bezeichnen. Mit $+45^\circ$ ist dann der Durchmesser zwischen 45° und 225° , mit -45° jener zwischen 315° und 135° , mit $+90^\circ$ jener zwischen 90° und 270° , mit -90° endlich jener zwischen 270° und 90° gegeben, und es fallen alle Drehungen zwischen 0° und $+90^\circ$, 0° und -90° .

1. Ermittlung der einfach- oder doppelt brechenden Eigenschaft.

Beobachtung im Quer- und Längsschnitt. Um die erste Auf- 626
gabe zu lösen, d. h. um zu bestimmen, ob ein Object einfach oder doppelt bricht, bringt man dasselbe; während sich Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung befinden, in das Sehfeld und dreht es um seine auf der Einstellebene senkrechte Achse. Bleibt das Sehfeld, während man die Drehung vollzieht, in allen seinen Theilen dunkel, so darf man nur dann auf einfache Brechung schliessen, wenn das Object eine gewisse Ausdehnung besitzt. Ist diese eine geringere, haben wir z. B. den Querdurchschnitt einer sehr feinen Röhre oder Faser vor uns, so bleibt die Entscheidung zu treffen zwischen einfach brechend und optisch einachsigt mit einer der Achse des Mikroskopes parallelen Stellung der optischen Achse. Wir müssen deshalb — und es ist jedenfalls gut, denselben selbst bei ausgedehnteren Objecten niemals zu versäumen — zu einem Controlversuche schreiten. Der Gegenstand wird in einer zu der vorigen senkrechten Lage unter das Mikroskop gebracht, d. h. wenn man ihn vorher in seinem Querschnitte beobachtete, betrachtet man ihn jetzt in seinem Längsschnitte. Bleibt das Sehfeld unter allen Umständen absolut dunkel, so ist man zu dem Schlusse berechtigt, dass man es mit einem einfach brechenden Körper zu thun habe.

Die einzige Möglichkeit einer Täuschung, die auch jetzt noch unterlaufen könnte, beruht auf dem Umstande, dass es oft schwierig wird, die niedrigsten Interferenzfarben der ersten Ordnung von dem Tone des dunklen Sehfeldes zu unterscheiden. Hat man nämlich sehr schwach brechende Objecte oder sehr zarte Schnitte, welche zur Beobachtung gelangen, so kann es vorkommen, dass vermöge des durch sie hervorgerufenen geringen Gangunterschiedes der interferirenden Strahlen nur die niedrigsten in verschiedenen Abstufungen eines ziemlich matten, dunklen Grau sich bewegenden Farben der Newton'schen Farbenringe auftreten und gänzlich übersehen würden.

627 **Anwendung verzögernder Plättchen.** Um bei Lösung obiger Frage sicher zu gehen, schaltet man zwischen Object und Polarisator ein Krystallplättchen von bekannter Farbe ein und sieht zu, ob der gefärbte Grund des Gesichtsfeldes nicht in irgend einer Weise durch den Beobachtungsgegenstand geändert wird. Bleibt derselbe auch während der Drehung und in jeder Lage des Gegenstandes unverändert, so darf man, da sich bei der Anwendung solcher verzögernder Plättchen auch noch sehr geringe Spuren von Doppelbrechung verrathen, wohl jede Täuschung für ausgeschlossen halten.

Als solche verzögernde Plättchen wendet man in der Regel dünne Gypsplättchen an, weil diese lebhaftere Farben geben als Glimmerplättchen, welche hier und da noch gebraucht werden. In der Wahl der Farbe ist man nicht gerade beschränkt. Im Allgemeinen hat man aber Plättchen mit Farben der ersten oder zweiten Ordnung zu wählen, weil solche einmal einen weit reineren und lebhafteren Ton geben und diesen, was vorzugsweise zu berücksichtigen ist, bei gleicher Dicke des zu prüfenden, gleich einer Verdünnung oder Verdickung des Plättchens wirkenden Objectes am auffallendsten ändern. Ein Gypsplättchen vom Roth der ersten Ordnung dürfte im Allgemeinen für mikroskopische Untersuchungen das geeignetste sein. Die Aenderungen, welche bei dessen Anwendung durch Einschaltung eines zweiten doppelt brechenden Körpers in der Färbung des Sehfeldes hervorgerufen werden, sind nämlich für das Auge sowohl in der aufsteigenden als in der absteigenden Farbenreihe sehr empfindlich und werden äusserst leicht wahrgenommen. H. v. Mohl hat statt dieses Gypsplättchens für sehr schwach doppelt brechende Körper Glimmerplättchen empfohlen, welche dem Sehfelde neben mässiger Erhellung eine schwach graublaue Färbung ertheilen, bei der die nebeneinander auftretende Erhellung und Verdunkelung in der Substanz des Objectes leicht wahrgenommen werden soll. Nach meinen Erfahrungen reicht man für diesen Zweck nicht allein mit dem Gypsplättchen vollkommen aus, sondern nimmt bei der rothen Färbung des Gesichtsfeldes schwach doppelt brechende Körper weit leichter wahr als bei der graublauen. Als äusserst empfindlich für schwache Farbenänderungen habe ich das Uebergangsviolett erkannt, und kann diese Farbe neben dem genannten Roth empfehlen. Doch mögen hier die Verschiedenheiten in der Beschaffenheit des Auges individuelle Unterschiede in der Farbauffassung bedingen, über die eben jeder Beobachter selbst entscheiden muss.

Für schwierigere Fälle erweist sich die Anwendung eines „gekreuzten“ Gypsplättchens vortheilhaft, welche schon 1855 von Bravais empfohlen worden ist. Zur Herstellung eines solchen verbindet man zwei Gypsplättchen von Roth erster Ordnung an ihren Rändern derart mit einander, dass sich ihre gleichnamigen Elasticitätsachsen unter einem rechten Winkel schneiden. Ein doppelt brechender Körper auf die Grenzklinien beider Plättchen gebracht wird die Farbe des Sehfeldes auf der einen Hälfte zum Steigen, auf der anderen zum Sinken bringen und so einen

Farbenunterschied bedingen, der wegen des grösseren Contrastes auch bei schwächerer Färbung leicht wahrgenommen werden kann.

2. Bestimmung der einachsigen oder zweiachsigen Beschaffenheit.

Ob ein organisches Object ein- oder zweiachsig sei, ist schwieriger zu entscheiden als bei den krystallisirten Körpern. Während man hier in dem Auftreten von Hyperbeln oder anderen Curven während der Drehung senkrecht zur Mittellinie geschliffener Platten ein sicheres Kennzeichen für die Zweiachsigkeit hat, fällt dieses dort weg. Wir arbeiten bei organischen Objecten häufig unter so verwickelten Bedingungen, dass sich für einen bestimmten Entscheid immer nur einzelne, oft ziemlich unbestimmte Anhaltspunkte finden lassen, wenn wir neben dem Mikroskope nicht noch andere complicirte und kostspielige Apparate verwenden wollen, die dann aber wieder für die Erforschung der eigentlichen Elementarstructur ohne alle Bedeutung sind.

In den einfacheren Fällen, welche bei der Untersuchung organischer Elementarorgane vorkommen, und bei denen wir die optische Achse als mit einer der drei Dimensionen des betreffenden Objectes zusammenfallend annehmen dürfen, lässt sich der Entscheid leicht fällen. Er liegt darin, dass, wenn das Object einachsig ist, bei irgend welcher, einer seiner Dimensionen entsprechenden Lage die optische Achse zur Wirkung kommen und die Doppelbrechung nach dieser Richtung hin aufgehoben erscheinen muss, dass dagegen bei zweiachsiger Beschaffenheit in jeder Lage des Objectes Interferenzfarben auftreten. Die einzige Schwierigkeit, welche sich hier geltend macht, liegt darin, dass, wenn die optische Achse bei faserförmigen Körpern mit der Längsachse zusammentrifft und der Querschnitt beobachtet wird, bei einer gewissen Ausdehnung desselben diejenigen Erscheinungen zu Tage kommen können, welche oben bei den senkrecht zur optischen Achse geschnittenen einachsigen Krystallen beschrieben wurden; so dass bei unseren kleinen Objecten ein Unterschied in dem Verhalten von ein- und zweiachsigen Körpern nicht gut festzustellen ist.

Die meisten organischen Elementarorgane sind nach meinen eigenen Erfahrungen und, soweit mir bekannt, nach dem übereinstimmenden Urtheile fast aller der Forscher, welche sich mit deren Untersuchung in polarisirtem Lichte beschäftigt haben, entweder optisch einachsig mit je einer der drei Ausmessungen entsprechender Achsenrichtung, oder es fallen bei zweiachsiger Beschaffenheit die beiden optischen Achsen für ungleiche Ausmessungen zeigende Elementarorgane in eine, die Längenausmessung und eine Querausmessung oder beide Querdimensionen enthaltende Ebene. In selteneren Fällen tritt auch schiefe Richtung der optischen Achse für einachsige Körper, oder eine Neigung der Achsen-

946 Fünfter Abschnitt. Die Anwendung des polarisirten Lichtes etc.
ebene zu der durch je zwei Ausmessungen bestimmten Schnittebene auf. Bei den nachfolgenden Untersuchungen über die Lage der optischen und Elasticitätsachsen etc. werde ich mich vorzugewise auf die Annahme einer senkrechten Stellung derselben stützen. Etwaige, in einzelnen Fällen vorkommende Abweichungen in dieser Beziehung mögen bei den speciellen Untersuchungen der betreffenden Körperformen betrachtet werden.

3. Bestimmung der Achsenrichtung und des positiven oder negativen Charakters.

A. Einachsige Objecte.

Die einachsige Beschaffenheit vorausgesetzt, fällt die Bestimmung der Achsenrichtung und des positiven oder negativen Charakters in eine einzige Aufgabe zusammen, da die Erscheinungen, welche in Folge der verschiedenen Stellung der optischen Achsen und des wechselnden Charakters unter dem Polarisationsmikroskope beobachtet werden, unmittelbar von einander abhängig sind.

629 **Bezeichnung der Achsenrichtung.** Die Lage der optischen Achsen steht wie bei den Krystallen, so bei den organischen Objecten in bestimmten Beziehungen zu deren Structur und Form, und empfiehlt es sich daher, für dieselbe eine bestimmte, möglichst vereinfachte und den letzteren angepasste Bezeichnungsweise ein- für allemal festzuhalten. Nun sind die Formen, unter denen die Elementarorgane auftreten, immer mehr oder minder jenen des soliden oder hohlen Prismas, Cylinders, Polyeders, der Hohl- oder Vollkugel ähnlich oder auf dieselben zurückführbar, und wir können uns die Achsenrichtung bei senkrechter Stellung mit einer der drei Ausmessungen zusammenfallend oder ihr parallel verlaufend denken. Bei den prismatischen Körpern kann die optische Achse daher parallel dem Längendurchmesser, parallel den Seitenflächen, aber senkrecht zum Längendurchmesser, endlich senkrecht zu den Seitenflächen und dem Längendurchmesser dahingehen. Geht das Prisma in den Cylinder über, so fällt die erste Richtung mit der Achse, die zweite mit der Tangente, die dritte mit dem Radius zusammen. Da wir uns ausserdem das Prisma als in einem Cylinder beschrieben denken können, so fällt in beiden Körpern die Längsachse zusammen und es entspricht die mit den Seitenflächen parallele Richtung den mit diesen gleichgerichteten Tangenten des Cylindermantels, die auf jenen senkrechte dem Radius. Es wird daher für das Verständniss ausreichen, wenn wir die drei Achsenrichtungen für alle faserartigen Gebilde als axial oder senkrecht, als tangential und als radial bezeichnen.

Betrachten wir das Verhalten der drei Körperformen näher, so kommen für das Prisma und den Cylinder die aufrechte und liegende Stellung.

also für mikroskopische Präparate der Querschnitt und der Längsschnitt oder die Längsansicht des isolirten Elementarorganes in Betracht, während für die Körper mit gleichen Ausmessungen, insbesondere für Polyëder und Kugel keine besondere Lage hervorzuheben sein dürfte.

D a s P r i s m a .

Es giebt eine nicht unbeträchtliche Anzahl von organischen Präparaten der Elementarorgane, namentlich der Pflanzen, welche sich der Gestalt des hohlen Prismas nähern. Dasselbe kann unter verschiedenen Formen, namentlich als mehr oder minder regelmässiges vier-, fünf-, sechsseitiges Prisma auftreten. Der Einfachheit halber wird es am zweckmässigsten sein, wenn wir von dem vierseitigen Prisma ausgehen, weil sich die Erscheinungen von ihm aus leicht auf die anderen Formen übertragen lassen.

Verhalten des Querschnittes. Der Querschnitt des vierseitigen Prismas bildet im einfachsten Falle ein Quadrat oder Rechteck. Nehmen wir an, die optische Achse eines zur Untersuchung kommenden Prismas verlief parallel dem Längendurchmesser desselben, also axial oder senkrecht, so verhalten sich die Seitenwände gleich einem einfach brechenden Körper, und das Sehfeld bleibt bei jeder Orientirung der letzteren dunkel. Geht die optische Achse tangential, also parallel mit den Seitenflächen, aber senkrecht zum Längendurchmesser, oder radial, d. h. senkrecht zu den Seitenflächen dahin, so erscheinen die Wände des Querschnittes nur bei der Orientirung unter 0° und 90° , in welcher die beiden ausgezeichneten Ebenen mit den Polarisations Ebenen zusammenfallen, dunkel, in jeder anderen Lage mit Interferenzfarben (bei hinreichend dünnen Schnitten hellgrau, weiss bis gelblichweiss glänzend auf dunkeltem Grunde, und zwar in der grössten Helligkeit unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$). Wird der Querschnitt so über einem Gypsplättchen eingeschaltet, dass je zwei seiner gegenüberliegenden Seiten mit der grösseren, die beiden anderen mit der kleineren Elasticitätsachse des ersteren parallel stehen, so zeigen bei positiver Beschaffenheit des Objectes die ersteren ein Steigen, die beiden anderen ein Sinken der Interferenzfarben, wenn die optische Achse tangential dahingeht, die umgekehrten Erscheinungen, wenn dieselbe radial verläuft. Der negative Charakter des Objectes bedingt für beide Lagen eine Vertauschung der Interferenzfarben. Man ersieht hieraus, dass in beiden Fällen weder die Richtung der optischen Achse, noch der positive oder negative Charakter aus dem Verhalten des Querschnittes zu erkennen ist, da ein Wechsel in jener sowohl als in diesem eine Vertauschung der Interferenzfarben bedingt.

Verhalten des Längsschnittes. Erst das Verhalten des Längsschnittes gewährt im Zusammenhange mit jenem des Querschnittes die erforderlichen Anhaltspunkte zur Lösung der vorliegenden Frage. Ist

derselbe so geführt, dass die beiden auf der Achse des Mikroskopes senkrecht stehenden Seitenflächen des prismatischen Objectes hinweggenommen sind und wird er unter $+ 45^\circ$ orientirt, so leuchten die beiden stehenden Seitenwände nur dann auf dem dunklen Grunde des Gesichtsfeldes, wenn die optische Achse senkrecht oder radial gerichtet ist, indem bei tangentialer Richtung die durchgehenden Strahlen keine doppelte Brechung erleiden können. Es bleibt also die radiale Richtung allein übrig, wenn der Querschnitt sich vorher nicht analog einem einfach brechenden Körper verhalten hatte.

Schaltet man jetzt ein Gypsplättchen ein, und es treten parallel der Mittellinie desselben Additionsfarben auf, so ist das Object bei senkrechter Achsenrichtung, also wenn es sich auf dem Querschnitte gleich einem einfach brechenden Körper verhalten hatte, positiv, beim Erscheinen von Subtractionsfarben in derselben Richtung dagegen negativ. Bei radialer Stellung der Achse hat man bei dem Auftreten von Additionsfarben unter $+ 45^\circ$ auf negativen, beim Erscheinen von Subtractionsfarben auf positiven Charakter zu schliessen. Ist endlich die optische Achse tangential gerichtet, so wird der rothe Grund durch die beiden stehenden Seitenwände gar nicht geändert. Für das vierseitige Prisma zeigt sonach bei radialer Richtung der Achse der gleiche Charakter der Interferenzfarben in den gleichnamigen Quadranten für Quer- und Längsschnitt den wahrhaft positiven oder negativen Charakter an.

Etwas complicirter wird das Verhalten des Längsschnittes, wenn derselbe, was bei Macerationspräparaten immer der Fall ist, neben den senkrecht stehenden auch noch eine oder die beiden horizontalen Seitenwände enthält, und wenn diese eine genügende Dicke oder bei geringer Dicke den genügenden Grad von Doppelbrechung besitzen, um zu merkbarer Wirkung zu gelangen. Es wird jedoch durch diese Complication, namentlich bei Anwendung eines verzögernden Plättchens, die Bestimmung der Achsenrichtung und des Charakters nicht behindert.

Nehmen wir zuerst an, die optische Achse sei senkrecht gerichtet, so müssten sowohl die aufrecht stehenden wie die horizontalen Seitenflächen, je nachdem das Object positiv oder negativ wäre, mit Additions- oder Subtractionsfarben bedeckt sein und es würde das Steigen oder Sinken derselben in den beiden gleichnamigen Flächen nur von der Länge des Weges abhängen, welche die Lichtstrahlen in den ersteren oder letzteren zu durchlaufen hätten. Ginge zweitens die optische Achse radial dahin, so würden bei positivem oder negativem Charakter die stehenden Seitenflächen Subtractions- oder Additionsfarben zeigen, während die horizontalen den rothen Gypsgrund unverändert liessen. Wäre endlich die optische Achse tangential gerichtet, so müssten die stehenden Seitenwände die Farbe des Sehfeldes wiedergeben, während die Deckflächen bei positivem Charakter ein Sinken, bei negativem ein Steigen der Interferenzfarben bedingen würden.

Verhalten mehrseitiger Prismen. Die übrigen hohlen prismatischen Formen lassen sich leicht auf die eben betrachtete zurückführen, wenn die Seitenflächen eine mässige Dicke haben, während sie bei starker Verdickung dieser letzteren Combinationen darbieten, welche sich in ihrem optischen Verhalten mehr oder weniger dem hohlen oder soliden Cylinder nähern.

In dem Querschnitte leuchten bei radialer oder tangentialer Stellung der optischen Achsen alle diejenigen Seitenwände auf dunkeltem Grunde, welche nicht mit einer oder der anderen der Polarisations Ebenen parallel laufen, und zwar um so heller, je mehr sich ihre Richtung der von $+$ oder $- 45^\circ$ nähert. Eben diese Wände zeigen denn auch bei Einschaltung eines Gypsplättchens in den diametral gegenüberstehenden Quadranten Additions- und Subtractionsfarben, welche von den weiter oben geschilderten Bedingungen abhängig sind.

Für den Längsschnitt tritt nur dann ein näher zu betrachtendes Verhalten ein, wenn schief geneigte Seitenflächen darin vorkommen.

Nehmen wir an, das Object sei positiv, die optische Achse stehe axial und das Prisma sei unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ orientirt, so werden sämtliche Seitenflächen im ersten Falle ein Steigen der Farben des Gypsplättchens bewirken, also sich in Addition befinden, im anderen Falle aber einen subtractiven Charakter zeigen. Die Interferenzfarben selbst müssen je nach der Lage der Grenzflächen in ihrem Tone verschieden ausfallen. Die horizontal liegenden Seitenflächen werden unter den obigen Voraussetzungen in Bezug auf die Ausmessungen den geringsten Gangunterschied, und somit, sowohl nach der Additions- als Subtractionsseite hin, die geringste Farbenänderung veranlassen, während bei den geneigten Seitenwänden eine ähnliche Wirkung eintritt, wie bei einem, um einen horizontalen, in der Achsenebene gelegenen Durchmesser gedrehten Gypsplättchen. Wir werden in der letzteren ein höheres Steigen der Additionsfarben und ein tieferes Sinken der Subtractionsfarben wahrnehmen als bei den ersteren. Bei den aufrechtstehenden Seitenflächen ist die Farbenänderung von dem Breitendurchmesser derselben abhängig. Da dieser indessen den Dickendurchmesser in der Regel mehrfach übertrifft, so werden wir bei ihnen im Allgemeinen die höchsten Additionsfarben und die tiefsten Subtractionsfarben erhalten. Geht die Achse radial dahin, so werden die auf den Kanten stehenden Seitenwände unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ die stärkste Subtraction oder Addition zeigen, welche in den geneigten Seitenflächen, die sich gleich einem um einen zur Mittellinie senkrechten Durchmesser gedrehten Gypsplättchen verhalten, im Verhältnisse ihrer Neigung abnimmt, um endlich in den horizontalen Flächen in die Farbe des Sehfeldes überzugehen. Ist endlich die optische Achse tangential gerichtet, und das Object unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ orientirt, so geben die auf den Kanten stehenden Seitenflächen die Farbe des Sehfeldes wieder. In den geneigten Seitenflächen macht sich, da wir hier den gleichen Fall haben,

als ob wir das Gypsplättchen um eine auf der Mittellinie senkrechte Linie aus der senkrechten Lage in die horizontale zurückdrehten, eine der Neigung entsprechende Subtraction oder Addition geltend, welche in den horizontalen Wandungen ihr Maximum erreicht.

Der negative Charakter bedingt in allen diesen Fällen eine Vertauschung der Additions- und Subtractionsfarben.

633 Prisma mit geneigter optischer Achse. In den voranstehenden Untersuchungen wurde vorausgesetzt, dass die optische Achse mit einer der drei räumlichen Dimensionen zusammenfalle. Ist dieses nicht der Fall, sondern weicht die erstere in ihrer Richtung mehr oder weniger von den letzteren ab und nimmt eine schiefe Lage an, so ändern sich die Erscheinungen und erschweren die Entscheidung. Das prismatische Object erscheint jetzt weder auf dem Querschnitte noch auf dem Längsschnitte und in keiner Lage dunkel oder giebt den rothen Gypsgrund wieder, während es in der Orientirung von \perp oder $\text{— } 45^\circ$ die lebhaftesten Farben zeigt.

Der einfachere Fall ist der, wo die optische Achse senkrecht auf der dem Radius des umschriebenen Cylinders entsprechenden Linie steht und die Längsachse unter irgend einem schiefen Winkel schneidet, also in einem Tangentialschnitte liegt.

Schaltet man das Prisma über einem Gypsplättchen ein, so äussert diese schiefe Stellung der Achse in Bezug auf die aufrecht stehenden Wände keine auffallende Wirkung, dagegen macht sich dieselbe in den geneigten oder horizontalen Wänden in um so grösserem Maasse geltend, als der Neigungswinkel wächst und die oberen und unteren, d. h. die dem Beobachter zu- und abgewendeten in dem Präparate erhalten sind. Beträgt der Neigungswinkel 45° , so wirken die beiden horizontal liegenden Flächen wie zwei Plättchen, deren homologe Elasticitätsachsen sich unter rechtem Winkel kreuzen, und geben den rothen Gypsgrund wieder, während die schief geneigten Seitenflächen sich je nach dem optischen Charakter des Objectes in geringer Addition oder Subtraction befinden. Sinkt der Neigungswinkel unter 45° , so werden sich die geneigten und horizontalen Seitenflächen in gleicher Weise verhalten, wie die stehenden Wände, nur dass die Farben dort je nach dem Charakter des Objectes einen tieferen oder höheren Ton zeigen. Steigt der Neigungswinkel endlich über 45° , so werden die stehenden und horizontalen Seitenwände das entgegengesetzte Verhalten beobachten lassen, d. h. es befinden sich die Interferenzfarben hier in Subtraction, dort in Addition und umgekehrt. Die geneigten Seitenwände können je nach der Grösse des Neigungswinkels der optischen Achse und ihrer Flächen entweder den rothen Gypsgrund wiedergeben, oder sich analog den stehenden oder horizontalen Seitenwänden verhalten.

Verläuft die radial gestellte Achse schiefwinklig, so können zwei Fälle vorkommen, je nachdem dieselbe die Längenausmessung schiefwinklig schneidet und in den radialen Längsschnitt fällt, oder auf

jener senkrecht steht und in dem senkrechten Querschnitte liegt. Im ersteren Falle ist das Verhalten nicht wesentlich von dem früher geschilderten bei radialer Achsenrichtung verschieden, es ändert sich nur dahin, dass die horizontalen Deckflächen den Gypsgrund nicht wiedergeben, indem in denselben die Lichtstrahlen nirgends mit der Achse parallel sind. Im zweiten Falle verschwinden auf dem Querschnitte die Seitenwände nicht in dem Polarisationsmikroskope, sei es mit, sei es ohne Einschaltung eines Gypsplättchens, wenn dieselben mit den Polarisationsebenen gleich gerichtet sind, ebensowenig zeigen sie ihren höchsten Glanz unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$. Der Abweichungswinkel, unter welchem letzteres Verhalten eintritt, ist hier immer gleich demjenigen Winkel, welchen die optische Achse mit dem Radius des umschriebenen gedachten Cylinders macht. Auf der Längsansicht erscheinen die stehenden Wände ebenso wie bei wirklich radialer Achsenrichtung, die horizontalen Wände aber nicht neutral. Dagegen können die geneigten Seitenwände neutral erscheinen, wenn dieselben gegen die Horizontalebene unter demselben Winkel geneigt sind, wie die optische Achse gegen den Radius des umschriebenen Cylinders.

Hat endlich die optische Achse eine solche Richtung, dass sie weder in dem Längs- noch in dem Radial- oder Tangentialschnitte liegt, so ist zwar das Verhalten des Querschnittes nahezu ähnlich dem soeben geschilderten, aber der Längsschnitt zeigt eine unbestimmbare Farbengebung.

Der Cylinder.

Die bei der Untersuchung organischer Objecte am häufigsten vorkommenden Formen lassen sich auf den hohlen oder soliden Cylinder zurückführen.

Bei Betrachtung dieses Körpers müssen wir von der Voraussetzung ausgehen, dass dessen Wände aus concentrisch optisch gleichwerthigen Schichten gebildet, d. h. die Spannungsverhältnisse und die ganze physikalische Constitution derart seien, dass sie in jedem Punkte aller von dem Centrum ausstrahlender Radien in gleicher Weise zum Ausdrucke kommen.

Wie bei der vorhergehenden, haben wir auch bei dieser Form den Quer- und Längsschnitt, d. h. den senkrecht stehenden und liegenden Cylinder zu betrachten.

Senkrecht stehender Cylinder. Geht die optische Achse axial 634 oder senkrecht dahin, so wird der Querschnitt des hohlen wie des soliden Cylinders sich nur dann gleich einem einfach brechenden Körper verhalten, wenn derselbe eine sehr geringe Ausdehnung besitzt. Ist diese dagegen eine bedeutendere, so tritt, da in dem Mikroskope zum grossen Theile schief durch das Object gehende Strahlen zur Geltung kommen, in demselben, wie in einer senkrecht zur Achse geschnittenen

einachsigen Platte, bei weissem Lichte das unter 0° und 90° verlaufende schwarze Kreuz auf. Die zwischenliegenden Quadranten sind von den gleichen Interferenzfarben (bei dünnen Schnitten grauweiss, weiss, gelblichweiss) erhellt, welche in den unter $+$ oder $- 45^\circ$ dahingehenden Richtungen ihre grösste Intensität zeigen.

Das dunkle Kreuz und die mit Interferenzfarben erhellten Quadranten treten unter allen Verhältnissen bei der radialen oder tangentialen Richtung der optischen Achsen auf, indem dabei immer die beiden aufeinander senkrechten Schwingungsebenen des Objectes mit den Polarisationssebenen der beiden Nicols parallel gerichtet sind.

Beobachtet man den senkrecht stehenden, quersgeschnittenen Cylinder unter Einschaltung des Gypsplättchens, so hat man in demselben, wie bei dem Prisma, die gleichen Interferenzfarben nebeneinander, welche nacheinander auftreten, wenn man ein parallel zur Achsenebene geschnittenes Plättchen um einen senkrechten Durchmesser dreht.

An Stelle des schwarzen Kreuzes tritt jetzt ein solches auf, welches die rothe Farbe des Schfeldes wiedergiebt. Von den zwischen den zwei neutralen Durchmessern liegenden Quadranten zeigen die beiden unter $+$ 45° , ebenso die unter $- 45^\circ$ orientirten, die gleichen, also Additions- oder Subtractionsfarben, welche einerseits von der Richtung der optischen Achsen, andererseits von dem positiven oder negativen Charakter des betreffenden Objectes abhängig sind.

Nehmen wir an, die optische Achse verlaufe radial und der Körper sei positiv, so treffen in dem Durchmesser $+$ 45° die gleichnamigen Elasticitätsachsen des Gypsplättchens und des Cylinderquerschnittes zusammen und es treten in den entsprechenden Quadranten Additionsfarben auf. Unter dem Durchmesser von $- 45^\circ$ dagegen fallen die ungleichnamigen Elasticitätsachsen aufeinander und es müssen in den beiden diesem Durchmesser entsprechenden, mit den ersteren abwechselnden Quadranten Subtractionsfarben erscheinen.

Der negative Charakter bedingt eine Vertauschung der Interferenzfarben, d. h. es erscheinen die Subtractionsfarben unter $+$ 45° , die Additionsfarben unter $- 45^\circ$. Dieselbe Vertauschung muss, wie leicht einzusehen, bei positivem Charakter die auf der radialen senkrechte, tangential Richtung der optischen Achse hervorbringen. Es folgt hieraus, dass radiale Richtung der optischen Achse und positiver Charakter die gleichen Interferenzfarben in denselben Quadranten bedingen, wie tangential Richtung der Achse und negativer Charakter und umgekehrt. Der Querschnitt des doppelt brechenden Cylinders ist also für sich allein keineswegs hinreichend, um mit Sicherheit über die Richtung der optischen Achse, oder über den Charakter eines Objectes zu entscheiden, solange nicht eines dieser Verhältnisse bekannt ist.

Ebensowenig, wie die Einschaltung eines Gypsplättchens, vermag die Ueberführung des linear polarisirten Lichtes in kreisförmig polarisirtes mittelst eines $\frac{1}{4}$ Glimmerplättchens ein entscheidendes Moment

abzugeben. Das schwarze Kreuz wird dadurch in zwei zu einer der beiden ausgezeichneten Ebenen des verzögernden Plättchens senkrechte Büschel übergeführt, die sich von der Mitte des Querschnittes aus nach dessen Umfang verbreitern. Geht die optische Achse radial dahin, so fallen bei der positiven Beschaffenheit des Objectes unter $+ 45^\circ$ die ungleichnamigen, unter $- 45^\circ$ die gleichnamigen Elasticitätsachsen des Glimmerplättchens und des Cylinderquerschnittes zusammen, und wir erhalten die dunkelen Büschel in dem $+ 45^\circ$ entsprechenden Quadranten. Bei negativem Charakter treffen die gleichnamigen Elasticitätsachsen unter $+ 45^\circ$, die ungleichnamigen unter $- 45^\circ$ aufeinander, und wir haben die Büschel in den der letzten Richtung entsprechenden Quadranten. Eine vollständige Umkehrung dieser Resultate muss eintreten, wenn die optische Achse in tangentialer Richtung verläuft.

Liegender Cylinder. Für die Beobachtung des Längsschnittes 635 oder des liegenden Cylinders gestalten sich die Verhältnisse weit complicirter, als bei dem Prisma, indem die optisch wirksamen Elemente in jedem Radius desselben eine andere Neigung gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes, wie gegen die Achsenebene des verzögernden Plättchens erlangen.

Da übrigens die Erscheinungen, welche bei feinen Längsschnitten auftreten, sich entweder auf jene bei dem Prisma beobachteten, oder auf die an dem liegenden Cylinder zu Tage tretenden mit Leichtigkeit zurückführen lassen, so mag es genügen, nur letzterem eine eingehendere Betrachtung zu widmen.

Ist die Wanddicke des Hohlcyllinders nur unbedeutend, so erscheint derselbe während der Drehung um eine senkrechte Achse unter den Durchmessern $+$ und $- 45^\circ$ mit von grauweiss bis zu gelblichweiss wechselnden Farben leuchtend auf dem dunkelen Grunde, während er unter den Durchmessern 0° und 90° auf dem letzteren verschwindet. Bei axialem Verlaufe der optischen Achse zeigt der ganze Cylinder diese Interferenzfarben, während bei radialem auf der Mitte desselben ein dunkeler Streifen erscheint, bei tangentialer Richtung deren zwei an den Rändern auftreten.

Wird die Wanddicke beträchtlicher, oder geht der Hohlcyllinder in den Volleyllinder über, so treten höhere Interferenzfarben von der ersten bis zu den höheren Ordnungen auf, welche an bestimmten Stellen des Umfanges je nach der Dicke der sich summirenden Wandschichten, sowie nach der Lage der optischen Achsen wechseln, im Uebrigen aber der Längsachse des Cylinders parallel verlaufende Streifen bilden.

Ist die optische Achse parallel mit der Cylinderachse, also senkrecht gerichtet, so können wir uns den Cylinder als aus einer unendlich grossen Anzahl parallel zur Achse geschnittener nahezu parallelfächiger oder doch nur schwach keilförmiger Plättchen zusammengesetzt vorstellen, von denen jedes eine andere Neigung gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes besitzt, und von denen, namentlich in der Nähe

der Ränder, Schichten mit den homologen Elasticitätsachsen zusammen-treffender, übereinander gelegter Plättchen repräsentirt werden. Wir haben also einerseits ähnliche Erscheinungen, wie wenn man ein Gypsplättchen um eine horizontale Achse dreht, andererseits jene Wirkungen, welche die Verbindung mehrerer dünner verzögernder Plättchen zu einem einzigen dickeren Platte gleichkommenden Plattensatze hervorbringen, und beide combiniren sich für die einzelnen Stellen des Cylinderumfanges bis zur Mitte hin in bestimmten, durch die, jener Drehung entsprechenden Richtungen der Radien des Querschnittes bedingten Verhältnissen. Die Interferenzfarben beginnen sowohl bei der Orientirung unter $+45^\circ$, als unter -45° am Rande, und steigen über eine kurze Strecke des Breitendurchmessers rasch in der Newton'schen Scale, so dass die der Cylinderachse parallel verlaufenden Streifen nur schmal bleiben. Von da an, bis etwa zu $\frac{1}{4}$ der Breite geht das Steigen allmählig etwas langsamer, so dass die Interferenzstreifen breiter werden. vermindert sich bis zur Mitte für den Volleylinder noch mehr, und es erscheint der grösste Theil der Mitte des Cylinders nur von einer einzigen und zwar der höchsten Interferenzfarbe bedeckt. Für den Hohlcyylinder mit mässig stark bis stark verdickten Wandungen dagegen tritt von da an, wo der Hohlraum zur Ansicht kommt, ein rasches, meist unregelmässiges Sinken der Interferenzfarben ein, so dass die Farbe der Mitte, wo nur die dem Beobachter zu- und abgewendeten Wandstücke zur Geltung kommen, gegen die höchste des Randbezirkes um einige bis mehrere Töne zurücksteht.

Nach Einschaltung eines Gypsplättchens steigen bei positivem Charakter und Orientirung des liegenden Cylinders unter $+45^\circ$ die in Addition befindlichen Interferenzfarben vom Rande aus gegen die Mitte, während dieselben bei der Orientirung unter -45° in derselben Richtung in Subtraction bis dahin sinken, wo sich die beiden gleichen Farben des Gypsgrundes und des (ohne Gypsplättchen beobachteten) Objectes löschen, und dann, immer noch in Subtraction befindlich, wieder steigen, so dass, abgesehen von den für den Hohlcyylinder leicht zu bemessenden Abweichungen, die Mitte die höchste Farbe zeigt. Der negative Charakter bedingt auch hier, wie bei dem Querschnitte, eine Vertauschung der Interferenzfarben, so dass unter $+45^\circ$ Subtractionsfarben, unter -45° Additionsfarben auftreten.

Verläuft die optische Achse radial, so erhalten wir in Folge der Zerlegung des Cylinders in eine unendliche Anzahl von dünnen keilförmigen Plättchen zwei bis zu einem gewissen Grade einander entgegengesetzte Wirkungsweisen dieser. Einmal tritt nämlich dieselbe Erscheinung zu Tage, als ob wir das Gypsplättchen um einen zu seiner Mittellinie senkrechten Durchmesser gedreht hätten, dann aber erscheint auch die Wirkung der einfachen Verdoppelung. In Folge der ersteren würden die Interferenzfarben ein Sinken vom Rande aus gegen die Mitte zeigen, wo der Cylinder wegen der zur Wirkung gelangenden optischen Achse einen

neutralen d. h. dunkelen Streifen haben muss. In Folge der Verdoppelung dagegen müssten die Interferenzfarben vom Rande aus soweit steigen, als diese in Betracht käme. Die Betrachtung des Cylinderquerschnittes zeigt nun, dass in den Randbezirken die Wirkung der Verdoppelung über die der Drehung überwiegt, gegen die Mittelbezirke hin die letztere aber vorzugsweise zur Geltung kommen muss. Der unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ orientirte Cylinder ist daher mit Ausnahme des mittleren dunklen Streifens mit Farbenstreifen bedeckt, welche folgende Anordnung erkennen lassen. Vom Rande aus steigen die Farben schnell bis zu einem gewissen Bezirke hin, und gehen dann für den Vollcylinder in minder rascher, für den Hohlcylinder mit mässig dicken Wänden in rascherer Folge bis zu dem neutralen Streifen zurück.

Auf einem Gypsplättchen steigen bei positivem Charakter und in der Lage $- 45^\circ$ die Farben in Addition vom Rande aus rasch, und gehen dann bis zur Mitte zurück, wo ein die Farbe des Gesichtsfeldes wiedergebender Streifen erscheint. Bei der Orientirung im Durchmesser von $+ 45^\circ$ dagegen findet in Subtraction zuerst ein Sinken, dann ein rasches Steigen, hierauf nochmals ein Sinken und endlich ein Steigen der Farben bis zur Mitte statt. Der negative Charakter bedingt eine Vertauschung der Interferenzfarben.

Der tangentielle Verlauf der optischen Achse verlangt, um die an dem liegenden Cylinder zu beobachtenden Farbenercheinungen zu bestimmen, eine etwas andere Betrachtungsweise, als in den beiden vorhergehenden Fällen. Wir müssen uns denselben als aus unendlich vielen annähernd parallellfächigen, von der Mantelfläche nach der Achse hin keilförmigen Plattensätzen zusammengesetzt denken, deren jeder aus parallel geschichteten, parallel zur Achse geschnittenen Plättchen besteht, und in denen diese letzteren gegen die Achse des Polarisationsmikroskopes unter demselben Winkel geneigt sind, wie der entsprechende Radius gegen die Horizontale. In dem senkrechten Durchmesser des Querschnittes haben die Plättchen eine horizontale, in dem horizontalen eine senkrechte Lage, und es findet somit in jedem Quadranten eine Folge der Neigung derselben gegen die Achse des Mikroskopes statt, als ob man ein Gypsplättchen um einen senkrecht auf der Mittellinie stehenden Durchmesser aus der horizontalen Lage in die senkrechte gedreht hätte. Der Cylinder zeigt, wie leicht einzusehen, dieselben Farbenercheinungen, wie derjenige mit senkrecht gerichteter optischer Achse. Derselbe ist mit farbigen Interferenzstreifen bedeckt, an beiden Rändern aber, da hier die senkrecht stehende optische Achse zur Wirkung kommt, dunkel. Von dem dunkelen Rande aus, der durch die niedrigsten Töne der Farben erster Ordnung, die nur schwer unterscheidbar sind, noch etwas verbreitert wird, steigen die in Addition befindlichen Farben nach der Mitte, wenn der Cylinder unter $+ 45^\circ$ orientirt ist. Ebenso ist das Verhalten bei einer Orientirung unter $- 45^\circ$ und bei Einschaltung des Gypsplättchens das gleiche wie das früher beschriebene, nur dass im letzten

Fälle die Ränder die Farbe des Sehfeldes wiedergeben. Auf dem Gypsplättchen befinden sich die Interferenzfarben unter $+ 45^\circ$ in Subtraction, unter $- 45^\circ$ in Addition, und der negative Charakter macht sich durch die Vertauschung der Additions- und Subtractionsfarben bei $+$ und $- 45^\circ$ geltend.

636 Cylinder mit geneigter optischer Achse. Geht die optische Achse nicht parallel mit Achse, Radius oder Tangente, so kommen bei dem Cylinder dieselben Fälle in Betracht, wie bei dem Prisma. Steht die im Tangentialschnitt liegende optische Achse senkrecht auf dem Radius und schneidet die Längsachse unter einem halben rechten Winkel, so erscheint bei der Orientirung unter 45° auf dem Hohl- und Volleylinder eine neutrale Linie, indem in dieser sich die homologen Schwingungsebenen der unteren und oberen Hälfte des Cylinders unter rechtem Winkel kreuzen. Die Interferenzfarben am Rande, wie nach der Mitte hin, werden aber das gleiche Verhalten zeigen, d. h. je nach dem positiven oder negativen Charakter des Objectes sich in Addition oder Subtraction befinden, was auch für den Fall gilt, dass jener Winkel weniger als 45° beträgt. Steigt der Neigungswinkel über 45° hinaus, so tritt zwischen Randtheilen und Mitte ein ungleiches Verhalten ein. Befinden sich dort die Interferenzfarben in Addition, so erscheinen sie hier in Subtraction und umgekehrt, je nachdem das Object von verschiedenem Charakter ist. Kommt an Stelle des Volleylinders oder des dickwandigen Cylinders ein solcher mit dünnen Wandungen, so treten in letzterem Falle in einer, dem Neigungswinkel entsprechenden Entfernung von der Mitte aus zwei neutrale Streifen auf, welche entweder das dunkle Sehfeld oder den rothen Gypsgrund wiedergeben. Der Querschnitt verhält sich jetzt in keiner Lage und unter keinen Umständen gleich einem einfach brechenden Körper, sondern zeigt das bekannte neutrale Kreuz.

Fällt die optische Achse in den Diametralschnitt und ist zur Längsachse geneigt, so zeigt sich auf dem Querschnitt das Polarisationskreuz, wie bei senkrecht radialer Richtung der Achse. Auf dem Längsschnitt kommt aber die neutrale Mittellinie nicht zum Vorschein, und die Interferenzstreifen zeigen eine nicht genau bestimmte, der Newton'schen Scala entsprechende Folge.

Ist die optische Achse in dem senkrechten Querschnitte gelegen, so erscheint auf dem Querschnitte des Cylinders ein Polarisationskreuz, dessen Arme nicht mit den Projectionen der Polarisationssebenen zusammenfallen, sondern eine, je nach der Grösse des Neigungswinkels der Achse verschiedene Neigung gegen dieselben haben. Der liegende Cylinder ist ganz mit Interferenzstreifen bedeckt, welche zu beiden Seiten der Mitte symmetrisch geordnet sind, da je zwei diagonal einander gegenüberliegende Quadranten die gleiche Wirkung hervorbringen. Die Folge der Farben ist indessen nicht gleich der des Cylinders mit senkrechter radialer Achse, d. h. sie fällt nicht mit jener der Newton'schen Ringe zusammen.

Liegt endlich die optische Achse in keiner der drei Schnittebenen, so beobachtet man auf dem Querschnitt ein gegen die Polarisationssebenen schief gestelltes Kreuz und der Längsschnitt oder der liegende Cylinder erscheint mit unregelmässig angeordneten in ihrer Folge nicht bestimmten Farbstreifen bedeckt.

Die Kugel.

In der Kugel können wir uns die senkrechte und radiale Richtung 637 der optischen Achse in der letzteren zusammenfallend denken, so dass in dieser Beziehung nur zwischen radial und tangential zu unterscheiden wäre. Da aber die letztere Richtung bei den nach allen möglichen Dimensionen des Raumes ausstrahlenden Radien eine stets wechselnde ist, so bietet die Vorausbestimmung der statthabenden Erscheinungen ausserordentliche Schwierigkeiten dar, so dass wir uns auf die Betrachtung der Kugel mit radialem Verlaufe der optischen Achse beschränken müssen.

Bei der Bestimmung der optischen Verhältnisse dieser Kugel wollen wir in Bezug auf die Beschaffenheit der Materie etc. von derselben Voraussetzung ausgehen, wie bei dem Cylinder, und können uns dieselben aus einer unendlichen Anzahl von Diametralschnitten zusammengesetzt denken, von denen jeder einem liegenden Cylinder entspricht und unter einem anderen Winkel orientirt ist, so dass wir bei diesem Körper die Erscheinungen zugleich überblicken, welche bei der Drehung des letzteren in verschiedenen Zeitfolgen auftreten.

Beobachten wir die Kugel auf dem dunklen Sehfelde, so erhalten wir in dem zugekehrten Pole, da in demselben die optische Achse zur Wirkung kommt und in dessen nächster Umgebung nur die niedrigsten Töne der Farbenringe auftreten, Dunkelheit, und von da aus ein in den Richtungen unter 0° und 90° dahingehendes dunkles Kreuz. Die zwischen dessen Armen liegenden Quadranten sind von Interferenzfarben erhellt, die nach den Durchmessern unter $+45^\circ$ und -45° hin an Intensität zunehmen und in diesen ihren höchsten Glanz erlangen. Die Farben selbst haben dieselbe Folge, wie in dem liegenden Cylinder mit radial gestellter Achse, d. h. es steigen dieselben von dem Rande aus bis zu einer gewissen Zone der zugekehrten Oberfläche, und gehen dann langsam zurück bis zu dem indifferenten Mittelpunkt.

Nach der Einschaltung des Gypsplättchens geben die neutrale Mitte und das Kreuz die Farbe desselben wieder. Der positive Charakter bedingt in den beiden dem Durchmesser $+45^\circ$ entsprechenden Quadranten das Auftreten von Additionsfarben, in den anderen beiden dem Durchmesser von -45° zugehörigen das Erscheinen von Subtractionsfarben. Der negative Charakter ruft eine Vertauschung dieser Farben hervor.

B. Zweiachsige Objecte.

638 Bei den zweiachsigen Körpern haben wir es in Bezug auf die Lage der optischen Achsen nicht mehr mit so einfachen Verhältnissen zu thun, wie bei den einachsigen. Wir können hier überhaupt nicht die Richtung der Achsen selbst genau bestimmen, sondern nur untersuchen, in welcher von den drei auf einander senkrechten, durch je zwei der räumlichen Dimensionen bestimmten Ebenen dieselben liegen, wodurch, da immer die Achsen der grössten und kleinsten Elasticität in dieser Ebene enthalten sind, die Richtung der drei Elasticitätsachsen bestimmt ist.

Beziehen wir diese Ebenen auf den Cylinder, so erscheint die eine als Diametral-, die andere als Tangential-, die dritte als Querschnitt. Für die geradflächig begrenzten Körper, d. h. für das Prisma, fällt der erstere mit einer auf den Wandflächen oder Schichten senkrechten, in der Längenausmessung liegenden, der zweite mit einer in derselben Ausmessung dahingehenden mit der Wandfläche oder den Schichten parallelen, der dritte mit einer auf der Längendimension und auf den Wandflächen oder den Schichten senkrechten Ebene zusammen.

Auch hier kommen für das Prisma wie den Cylinder die aufrechte und liegende Stellung (Quer- und Längsschnitt) in Betracht.

D a s P r i s m a.

639 Prisma mit den räumlichen Dimensionen entsprechenden Elasticitätsachsen. Der Querschnitt des Prismas verhält sich jetzt nie gleich einem einfach brechenden Körper, da unter keinen Umständen eine der optischen Achsen zur Geltung gelangt. Diejenigen Wände, welche unter 0° und 90° orientirt sind, geben das dunkle Sehfeld wieder, während alle unter anderen Durchmesser dahingehenden Interferenzfarben zeigen, welche unter $+$ oder $- 45^\circ$ ihre höchste Helligkeit erreichen.

Auf einem Gypsplättchen liegend geben die mit den Schwingungsebenen der beiden Nicols parallel gerichteten Wände den rothen Grund wieder, während die in anderen Richtungen dahingehenden Interferenzfarben zeigen, welche in je zwei $+$ 45° und $- 45^\circ$ entsprechenden Quadranten des Gesichtsfeldes den gleichen additionalen oder subtractiven Charakter besitzen. Ob die gleichnamigen Farben in den einen oder anderen beiden sich diametral gegenüberstehenden Quadranten auftreten, hängt einestheils von der Richtung der Achsenebenen, anderentheils von dem positiven oder negativen Charakter des Objectes ab. Zur Lösung der uns vorliegenden Frage haben wir also hier vom Querschnitte ebensowenig Aufklärung zu erwarten, wie bei den einachsigen Körpern. Wir müssen demnach unsere Anhaltspunkte aus dem combinirten Verhalten von Querschnitt und liegendem Prisma entnehmen.

Dünne Längsschnitte, auf denen bloss die senkrechten Seitenwände erscheinen, lassen für sich auch noch keine Entscheidung zu, indem jene unter $+$ und $- 45^\circ$ dahingehenden unter allen Umständen in den niedrigeren Tönen der ersten Ordnung (Grau bis Gelbweiss) auf dem dunklen Grunde leuchten. Erst die Einschaltung des Gypsplättchens kann die nöthigen Daten liefern. Nehmen wir an, es sei die Achsenebene in einem Diametralschnitt gelegen, es gehe also die Mittellinie parallel der Längsachse, die mittlere Elasticitätsachse in tangentialer Richtung dahin, und es sei das Object von positivem Charakter, so zeigen die stehenden Längswände des Längs- und Querschnittes Additionsfarben, wenn sie unter $+$ 45° , Subtractionsfarben, wenn sie unter $- 45^\circ$ orientirt sind; der negative Charakter ruft eine Vertauschung der Interferenzfarben hervor. Liegt die Achsenebene in dem Tangentialschnitt, und es verläuft die Mittellinie in der Richtung der Tangente, die Achse der mittleren Elasticität radial, so befinden sich die Wände des Längsschnittes, sobald sie unter $+$ 45° orientirt sind und das Object positiv ist, in Subtraction, wenn sie unter $- 45^\circ$ dahingehen, in Addition. Im Querschnitt findet das Umgekehrte statt, und der negative Charakter bedingt für Längs- und Querschnitt eine Vertauschung der Interferenzfarben. Fällt die Achsenebene mit dem Querschnitt zusammen, und es verläuft die Mittellinie radial, die Achse der mittleren Elasticität parallel der Längsachse, so haben wir bei positivem Charakter im Quer- und Längsschnitt unter $- 45^\circ$ Additionsfarben, unter $+$ 45° Subtractionsfarben, während der negative Charakter eine Vertauschung der Interferenzfarben veranlasst. Kommen zu den senkrecht stehenden Seitenwänden noch die horizontalen oder Deckflächen hinzu, so entstehen ähnliche Erscheinungen, wie sie bei den einachsigen Körpern geschildert wurden.

Bei axialer Richtung der Mittellinie zeigen die stehenden sowohl wie die horizontalen und die geneigten Seitenwände unter $+$ 45° Additionsfarben, unter $- 45^\circ$ Subtractionsfarben für den positiven und eine Umkehrung derselben für den negativen Charakter. Die höchsten oder tiefsten Töne der einen und anderen Farben werden sich auch hier wie früher wegen der geringen Dicke der Wandungen in den stehenden Wänden finden. Ebenso wird sich der Längsschnitt für die tangentiale Stellung der Mittellinie verhalten, d. h. es werden die geneigten und horizontalen Seitenwände den gleichen Farbencharakter beobachten lassen, wie die stehenden. Ist die Mittellinie radial gerichtet, so haben die horizontalen Seitenflächen den entgegengesetzten Farbencharakter wie die stehenden, während diese sich in Subtraction befinden, beobachtet man auf jenen Additionsfarben und umgekehrt. Die geneigten Seitenflächen können sich entweder mehr den ersteren oder den letzteren nähern, aber auch unter Umständen, d. h. dann, wenn ihre Neigung eine solche ist, dass eine der optischen Achsen senkrecht zu stehen kommt, neutral verhalten und die Farbe des Gesichtsfeldes wiedergeben. Wir haben nämlich die-

selben Erscheinungen, wie wenn wir ein senkrecht zur Mittellinie geschnittenen, verzögerndes Plättchen vom Rande nach der Mitte hin aus der senkrechten in die horizontale Lage zurückgedreht hätten.

- 640 **Prisma mit geneigten Elasticitätsachsen.** Bei geneigter Stellung der Elasticitätsachsen, von denen entweder je eine mit einer der drei Anmessungen des Prismas oder mit dem Radius, der Tangente oder der Längsachse des umschriebenen Cylinders zusammenfallen, oder welche sämmtlich mit diesen schiefe Winkel bilden können, treten für die zweiachsigen Objecte eine grössere Reihe von Complicationen auf, wie bei den einachsigen. Für den ersten Fall, wo zwei in dem Tangentialschnitte liegende Elasticitätsachsen schief verlaufen, die dritte mit dem Radius oder der auf den Seitenwänden senkrechten Richtung zusammenfällt, giebt es drei Unterfälle, je nachdem die eine oder die andere der ersteren diese Lage annimmt. Stehen die Achsen grösster und kleinster Elasticität auf dem Radius, mit welchem die Achse der mittleren Elasticität zusammenfällt, senkrecht und schneiden die Längenausmessung unter einem schiefen Winkel, so tritt dasselbe Verhalten ein, wie in dem oben bei den einachsigen Körpern geschilderten Falle, wo die optische Achse mit der Längenausmessung einen schiefen Winkel bildete. Fällt die grössere Elasticitätsachse mit dem Radius zusammen und es schneiden die beiden anderen die Längenausmessung schiefwinklig, so haben wir für die stehenden, geneigten und horizontalen Wände des Prismas den gleichen additionalen oder subtractionalen Charakter der Interferenzfarben, wenn der Winkel, welchen die kleinste Elasticitätsachse mit der Längsachse bildet, kleiner als 45° ist. Wird dieser Winkel gleich 45° , so erscheinen die stehenden und geneigten Flächen in gleichem Charakter, die horizontalen neutral. Erreicht derselbe eine Grösse über 45° , so haben die stehenden und horizontalen Wände den entgegengesetzten Farbencharakter, während die geneigten, je nach ihrer Neigung, entweder den ersteren oder letzteren sich nähern oder neutral erscheinen können. Geht endlich die kleinste Elasticitätsachse in dem Radius dahin und wird die Längsachse des Prismas von den Achsen der grössten und mittleren Elasticität unter schiefen Winkeln geschnitten, so haben wir ein ähnliches Verhalten wie bei den optisch einachsigen Körpern, wenn die optische Achse die Längsachse schiefwinklig schneidet.

Fällt im anderen Falle eine der drei Elasticitätsachsen mit der Tangente zusammen und es schneiden die beiden anderen, welche in einem Radialschnitte liegen, die Längsachse des Prismas sowie den Radius unter schiefen Winkeln, so können ebenfalls drei Unterfälle auftreten, je nachdem eine andere der drei Elasticitätsachsen die erstere Lage einnimmt. Alle drei stimmen darin überein, dass weder die Farbenfolge noch deren Vertheilung über die Seitenflächen bestimmt sind. Auf dem Querschnitte erscheinen bald die unter $+ 45^\circ$, bald die unter $- 45^\circ$ dahingehenden aufrecht stehenden Wände in Additions- oder Subtractionsfarben, je nach-

dem die Achsen grösserer oder kleinerer Elasticität mit der Tangente des umschriebenen Cylinders zusammenfallen.

Aehnlich gestalten sich die Unterfälle für den dritten Fall, wo die eine der drei Elasticitätsachsen mit der Längenausmessung zusammenfällt, und die beiden anderen, in dem Querschnitte liegenden mit Radius und Tangente des umschriebenen Cylinders schiefe Winkel bilden. Sie stimmen in der Anordnung der Farben in den verschieden gestellten Seitenflächen überein, wenn das Prisma unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ orientirt ist. Da jedoch hier je zwei einander diagonal gegenüberliegende, schief geneigte Seitenflächen und ebenso die beiden horizontalen Flächen gleiche Wirkung äussern müssen, so ist die Vertheilung der Farben in den Seitenflächen eine nach beiden Seiten hin symmetrische. Unter 0° oder 90° orientirt muss sich das Prisma ebenso verhalten, wie ein solches mit senkrecht gerichteten Achsen, indem die Schwingungsebenen mit den Polarisationssebenen zusammenfallen. Auf dem Querschnitte macht sich die in Frage kommende Stellung der Achsen dadurch geltend, dass die Seitenwände ihren höchsten Glanz nicht mehr in der $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ entsprechenden, sondern in einer unter anderen Winkeln dahingehenden Lage zeigen. Ob die in der einen oder der anderen auf ihr senkrechten Richtung stehenden Wände Additions- oder Subtractionsfarben beobachten lassen, hängt davon ab, ob die grössere der beiden in dem Querschnitte liegenden Elasticitätsachsen den Radius oder die Tangente unter dem kleineren Winkel schneidet.

Haben die Elasticitätsachsen eine solche Lage, dass keine derselben mit einer der drei Richtungslinien des um das Prisma beschriebenen Cylinders zusammenfällt, so ist weder die Farbenfolge noch deren Charakter für die Längswände bestimmt, während der Querschnitt ein ähnliches Verhalten zeigt wie in dem zuletzt beschriebenen Falle.

Der Cylinder.

Cylinder mit den drei Richtungslinien entsprechenden Elasticitätsachsen. In dem Querschnitte haben wir für den zweiachsigen Cylinder dasselbe Verhalten wie bei dem einachsigen. Es erscheinen das mit seinen Armen in den Durchmessern unter 0° und 90° dahingehende neutrale Kreuz und die den Durchmessern unter $+ 45^\circ$ und $- 45^\circ$ entsprechenden mit Interferenzfarben erhellten Quadranten. Nach der Einschaltung des Gypsplättchens giebt das neutrale Kreuz den rothen Grund wieder, während je zwei diagonal gegenüberstehende Quadranten Additions- oder Subtractionsfarben beobachten lassen, welche einestheils von den zur Wirkung kommenden Elasticitätsachsen, anderentheils von dem positiven oder negativen Charakter des Objectes abhängig sind.

Für den liegenden Cylinder ändern sich die Farbenerscheinungen, wenn auch nicht ihrem Wesen, so doch ihrer leichter und genauer zu bestimmenden Folge nach, je nach der Dicke der Wandung.

Ist die Wanddicke nur unbedeutend, so erscheint der Cylinder unter $+$ oder $- 45^\circ$ orientirt, von den niedrigsten Tönen der Interferenzfarben erster Ordnung erhellt, wenn die Achsenebene entweder in einem Diametral-, oder in einem Tangentenschnitte liegt. Fällt die letztere in den Querschnitt, so kommen zwischen den beiden Rändern und der Mittellinie des Cylinders zwei neutrale Streifen zum Vorschein, welche je nach dem Achsenwinkel eine verschieden weite Entfernung von den ersteren haben können. Das Auftreten dieser Streifen wird erklärlich, wenn man im Auge behält, dass wir die Folge jener Farbenerscheinungen haben, welche auftreten, wenn man ein senkrecht zur Achsenebene geschnittenes zweiachsiges Krystallplättchen aus der senkrechten Stellung in die horizontale zurückdreht. Die erscheinenden Interferenzfarben sind hier indessen unter allen Umständen so wenig verschieden, dass sie sich kaum von einander unterscheiden lassen. Sie wechseln in der Regel zwischen Grauweiss, Weiss, Gelblichweiss, und bei Einschaltung eines Gypsplättchens ändern sie in der Additionslage dessen Farbe höchstens bis zu Blau, in der Subtractionslage bis zu Orange oder Gelb um, so dass ein bestimmter Entscheid über die Lage der Achsenebene im Tangential- oder Radialschnitte schwer zu fassen ist, während deren Lage in dem Querschnitte durch die beiden den rothen Grund wiedergebenden Streifen angezeigt wird. Werden die Wände des Hohlcylinders dicker, oder geht dieser in den Volleycylinder über, so treten je nach der Lage der drei Elasticitätsachsen bestimmte, genau zu verfolgende Farbenerscheinungen auf, welche bei einer combinirten Beobachtung des Querschnittes und des liegenden Cylinders einen sicheren Schluss auf die Lage der Elasticitätsachsen zulassen.

Fällt die Achsenebene in den Radialschnitt und ist die Mittellinie parallel der Cylinderachse, so haben wir für den dickwandigen Hohl- und den Volleycylinder analoge Erscheinungen, wie bei dem einachsigen Cylinder mit senkrechter Stellung der optischen Achse, sowohl wenn wir den unter $+$ oder $- 45^\circ$ orientirten liegenden Cylinder für sich, als wenn wir ihn bei der Einschaltung des Gypsplättchens beobachten.

Wird das Verhalten von Quer- und Längsschnitten auf dem Gypsplättchen im Zusammenhang betrachtet, so zeigt der erstere bei positivem Charakter unter $+$ 45° Additionsfarben, unter $- 45^\circ$ Subtractionsfarben, der letztere in den beiden dem Durchmesser von $+$ 45° entsprechenden Quadranten Subtractionsfarben, in den beiden anderen Quadranten aber Additionsfarben, und der negative Charakter bedingt eine Vertauschung der Farben im Längs- und Querschnitt.

Geht bei derselben Lage der Achsenebene die Mittellinie radial dahin, so treten über die Oberfläche des Cylinders einestheils ähnliche Farbenerscheinungen auf, wie wenn man ein dünnes zweiachsiges, parallel zur Mittellinie geschliffenes Krystallplättchen um eine auf der Mittellinie senkrechte, in der Achsenebene gelegene horizontale Achse gedreht

habe, anderentheils wirkt die Verdickung in der Weise wie bei dem einachsigen Cylinder mit radial gestellter Achse. Der liegende Cylinder zeigt daher, mag man ihn für sich allein oder nach der Einschaltung eines Gypsplättchens beobachten, eine analoge Farbengebung und Farbenvertheilung wie der letzterwähnte.

Im Querschnitte haben wir für den positiven Charakter dieselbe Farbenerscheinung in den Quadranten wie bei dem negativen im vorigen Falle und umgekehrt.

Liegt die Achsenebene in dem Tangentenschnitt mit tangential gerichteter Mittellinie und radial gestellter Achse der mittleren Elasticität, so zeigt der liegende Cylinder dieselbe Anordnung der Interferenzfarben wie der einachsige Cylinder mit tangential gerichteter optischer Achse, nur mit dem Unterschiede, dass, da nirgends eine der optischen Achsen zur Wirkung gelangt, die Interferenzfarben schon am Rande beginnen. Wir haben hier nämlich dieselbe optische Wirkung, als wenn wir ein senkrecht zur Mittellinie geschliffenes Plättchen um eine zu dieser senkrechten, in der Achsenebene gelegene horizontale Drehungsachse gedreht hätten, und es geht mit dieser in den Randparthien ausserdem die parallele Verdoppelung Hand in Hand. Auf einem Gypsplättchen befinden sich die Interferenzfarben auf dem liegenden Cylinder in der Orientirung unter $+ 45^\circ$ und bei positivem Charakter in Subtraction, unter $- 45^\circ$ in Addition. Der Querschnitt besitzt unter gleicher Voraussetzung in dem Durchmesser von $+ 45^\circ$ zwei Subtractionsquadranten, unter jenem von $- 45^\circ$ zwei Additionsquadranten. Der negative Charakter bedingt die Vertauschung der Interferenzfarben sowohl im liegenden Cylinder, wie im Querschnitt.

Verläuft bei der eben beschriebenen Lage der Achsenebene die Mittellinie parallel der Cylinderachse, so erhalten wir in den Farbenerscheinungen den gleichen Fall, als ob wir ein parallel zur Mittellinie geschliffenes Plättchen um eine, der letzteren parallele Drehungsachse aus der senkrechten Stellung in die horizontale zurückgedreht hätten. Es müssten demnach die Farben vom Rande gegen die Mitte sinken. Zugleich tritt aber die Wirkung der parallelen Verdoppelung auf. Das Verhalten des liegenden Cylinders wird in Bezug auf die Anordnung der Interferenzstreifen ein gleiches, wie wir es im zweiten Falle für die im Diametralschnitt liegende Achsenebene geschildert haben.

Der Farbencharakter des auf einem Gypsplättchen liegenden Cylinders für die Orientirungen $+ 45^\circ$ und $- 45^\circ$, ebenso die Vertheilung der Quadranten in dem Querschnitte sind für positiven und negativen Charakter des Objectes gegen die im vorigen Falle bei tangentialem Verlaufe der Mittellinie beobachteten vertauscht.

Ist die Achsenebene in dem Querschnitte enthalten, so zeigt der liegende Cylinder dieselben Farbenerscheinungen, wie wenn man ein senkrecht zur Achsenebene geschnittenes zweiachsiges Krystallplättchen um einen, auf der letzteren senkrechten horizontalen Durchmesser aus

der senkrechten Stellung in die horizontale oder aus dieser in jene dreht, indem man sich den Cylinder, ähnlich wie den einachsigen Cylinder mit tangentialer Achse, in eine unendlich grosse Anzahl von in radialer Richtung geschichteter keilförmiger Plattensätze zerlegt denken kann, von denen jeder aus der senkrechten Lage in jene geneigte gedreht worden ist, welche dem Winkel entspricht, den der Radius mit dem horizontalen Durchmesser macht. Auf den beiden Hälften des Cylinders giebt es in den beiden übereinander liegenden Quadranten zwei Radien, wo bei gleicher Neigung der idealen Plattensätze je eine der beiden optischen Achsen senkrecht steht und mit den Polarisationssebenen parallel gerichtet ist, so dass die einfallenden Strahlen keine Polarisation erleiden. Innerhalb der Radien, welche der Neigung der beiden Plattensätze entsprechen, kommt vorzugsweise die Mittellinie, ausserhalb derselben die auf dieser senkrechte Elasticitätsachse zur optischen Geltung, und da die eine ein Voraneilen, die andere ein Zurückbleiben der polarisirten Lichtstrahlen bedingt, so heben sich in einer bestimmten, zum senkrechten Durchmesser parallelen Schnittebene und deren nächster Umgebung die einander entgegengesetzten Wirkungen auf. Wir erhalten sonach zu beiden Seiten der Mittellinie des Cylinders einen neutralen Streifen, dessen Entfernung von jener theils von dem Achsenwinkel, theils von der Lage der Mittellinie in Radius oder in der Tangente abhängig ist. Zwischen den beiden Rändern und den neutralen Streifen sinken die Interferenzfarben und steigen von letzteren aus bis zur Mitte, die je nach der Lage der Mittellinie eine höhere oder tiefere Farbe haben kann, als der am höchsten gefärbte Interferenzstreifen des Randes.

Auf einem Gypsplättchen zeigt der liegende Cylinder, bei positiver Beschaffenheit und unter $+45^\circ$ orientirt, zwischen dem Cylinderrand und den neutralen, den rothen Grund wiedergebenden Streifen Additionsfarben, wenn die Mittellinie radial, Subtractionsfarben, wenn sie tangential gerichtet ist. Zwischen dem neutralen Streifen und der Mittellinie erscheinen im einen Falle Subtractions-, im anderen Additionsfarben. Die Orientirung unter -45° sowie der negative Charakter bedingen in beiden Fällen eine Vertauschung des Farbencharakters. Auf dem Querschnitte befinden sich bei radialer Richtung der kleinsten Elasticitätsachse die dem Durchmesser von $+45^\circ$ entsprechenden Quadranten in Addition, jene dem Durchmesser von -45° entsprechenden in Subtraction. Ist dagegen die grösste Elasticitätsachse radial gestellt, so findet eine Vertauschung der Quadranten statt, die früheren Additionsquadranten werden zu Subtractionsquadranten und umgekehrt.

642 Cylinder mit geneigten Elasticitätsachsen. Bei geneigter Stellung je zweier oder aller drei Elasticitätsachsen haben wir dieselben Fälle zu berücksichtigen, wie für das Prisma.

Ist die mittlere Elasticitätsachse radial gestellt und die in dem Tangentenschnitt liegende kleinste und grösste schneiden die

Längsachse des Cylinders unter schiefen Winkeln, so treten dieselben Farbenerscheinungen auf, die wir für den einachsigen Cylinder mit die Längsachse schneidender optischer Achse kennen gelernt haben.

Trifft die Achse der grössten Elasticität mit dem Radius zusammen und es schneiden die in dem Tangentenschnitt gelegenen Achsen der kleinsten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so haben wir am Rande und auf der Mitte des Cylinders die gleichen Farbencharaktere, wenn der Winkel zwischen der kleinsten Elasticitäts- und Cylinderachse kleiner als 45° ist, es tritt dagegen zwischen Rand und Mitte ein Wechsel in dem Farbencharakter ein, wenn dieser Winkel die Grösse von 45° übersteigt.

Im Querschnitte haben wir für den positiven und negativen Charakter in den Quadranten $+ 45^\circ$ Subtractionsfarben, in jenen $- 45^\circ$ Additionsfarben, da diese lediglich durch die grösste Elasticitätsachse bestimmt werden.

Verläuft die Achse der kleinsten Elasticität radial und es schneiden die beiden in dem Tangentialschnitte gelegenen Achsen der grössten und mittleren Elasticität die Cylinderachse unter schiefen Winkeln, so stimmt der Farbencharakter am Rande und auf der Mitte überein, wenn jener Winkel weniger als 45° beträgt und geht zu einem entgegengesetzten über, wenn derselbe grösser als 45° wird.

Auf dem Querschnitte, dessen Quadranten jetzt hauptsächlich durch die Achse der kleinsten Elasticität bestimmt werden, haben wir in den beiden unter $+ 45^\circ$ Additionsfarben, in jenen unter $- 45^\circ$ Subtractionsfarben.

Werden die beiden, Cylinderachse und Radius unter schiefen Winkeln schneidenden Elasticitätsachsen von dem Radialschnitt aufgenommen und es verläuft die dritte Elasticitätsachse in der Tangente des Cylinders, so fallen auch hier die drei Unterfälle in ihrem Verhalten zusammen, d. h. die Interferenzfarben sind weder ihrer Reihenfolge nach bestimmt, noch zeigen sie eine gleichmässige Anordnung über die einander entsprechenden Stellen der zugekehrten Cylinderoberfläche. Der Querschnitt lässt unter allen Umständen ein neutrales, den rothen Grund wiedergebendes, den Projectionen der Polarisations Ebenen entsprechendes Kreuz beobachten, und die zwischenliegenden Quadranten können sich in Addition oder Subtraction befinden, je nachdem die Achse grösserer oder kleinerer Elasticität mit der Tangente parallel gerichtet ist.

Verläuft die eine der Elasticitätsachsen parallel mit der Cylinderachse und die beiden anderen in den Querschnitt fallenden schneiden Radius und Tangente unter schiefen Winkeln, so sind die Interferenzfarben, gleichgiltig, welche der drei Elasticitätsachsen der ersten Richtung entspricht, in der Oberfläche des unter $+ 45^\circ$ oder $- 45^\circ$ orientirten liegenden Cylinders gleichmässig über dessen beiden Hälften vertheilt, da je zwei einander diametral gegenüberstehende

Quadranten die gleiche optische Wirkung äussern. In der Stellung unter 0° und 90° erscheint der Cylinder neutral, da hier die Schwingungsebenen mit den Polarisationssebenen zusammenfallen.

Auf dem Querschnitte beobachtet man ein neutrales Kreuz mit Additions- und Subtractionsquadranten, und die Arme des ersteren schneiden die Projectionen der Polarisationssebenen unter schiefen Winkeln. Welche zwei von den einander gegenüberstehenden Quadranten Additions- oder Subtractionsfarben zeigen, hängt davon ab, welche von den beiden in dem Querschnitte liegenden Elasticitätsachsen mit dem Radius den kleinsten Winkel macht.

Sind die drei Elasticitätsachsen sowohl gegen den Radius wie gegen die Tangente und die Längsachse des Cylinders geneigt, so erscheint derselbe in liegender Stellung mit Interferenzstreifen bedeckt, die weder ihrer Folge nach bestimmt sind, noch in ihrer Anordnung über die beiden Hälften der zugekehrten Mantelfläche Gleichmässigkeit zeigen. Der Querschnitt giebt ein zwar rechtwinkliges, aber gegen die Projectionen der Polarisationssebenen geneigtes Kreuz und die Quadranten, deren Farbencharakter von den darin zur Geltung kommenden Elasticitätsachsen abhängig ist.

Die Kugel.

- 643 Die optisch zweiachsige Kugel verhält sich für sich, wie nach der Einschaltung eines verzögernden Plättchens, ebenso wie eine einachsige Kugel mit radial gestellter optischer Achse. Wir erhalten auf dem dunklen Gesichtsfelde das dunkle Kreuz mit den den Durchmesser von $+$ und $- 45^\circ$ entsprechenden, von Interferenzfarben erhellen Quadranten, nach der Einschaltung eines verzögernden Plättchens das rothe Kreuz mit den einander diametral gegenüberstehenden Additions- und Subtractionsquadranten, deren Farbencharakter durch den positiven oder negativen Charakter des Objectes bedingt wird.
-

Sechster Abschnitt.

Die Anwendung des prismatisch zerlegten Lichtes.

Erstes Capitel.

Anwendung des prismatisch zerlegten gewöhnlichen Lichtes. Mikro-Spectralanalyse.

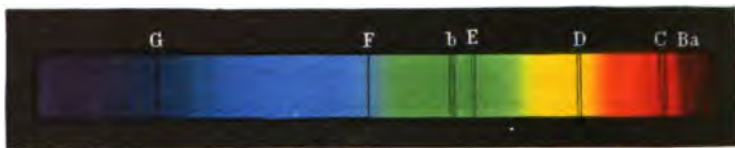
I. Das Absorptionsspectrum.

Die Spectralanalyse ist als Absorptionsanalyse in den letzten Jahr- 644 zehnten bei mikroskopischen Untersuchungen, namentlich über die Pflanzenfarbstoffe etc. vielfach in Anwendung gebracht worden und hat sonach, — ebenso wie für makrochemische Untersuchungen — so auch für die Histologie als Hilfsmittel der mikroskopischen Beobachtung eine hohe Bedeutung erlangt.

Dieser besonderen Art der chemischen Analyse liegt die Erscheinung zu Grunde, dass durchsichtige, gewisse — bei gefärbten Körpern in der Regel die zu den in ihre Färbung eingehenden Farben complementären — Farben absorbirende Körper aller drei Aggregatzustände, wenn man sie in den Gang der in ein Prisma oder Prismensystem übergehenden Strahlen weissen, d. h. gemischten Lichtes einschaltet, in dem durch diese Vorrichtungen erzeugten ununterbrochenen (continuirlichen) Spectrum, welches im Ocularspectrum das Roth links, im objectiven Spectrum rechts (Fig. 561) zeigt, dunkel erscheinende Unterbrechungen hervorrufen, welche man als Absorptionsbanden oder Absorptions-

streifen bezeichnet. Breiten sich diese Unterbrechungen mit anfänglich mehr oder minder langsam und stetig zunehmender Verdunkelung

Fig. 561.



von einer bestimmten Stelle des Spectrums aus nach dem einen (Curcuma-
lösung, Pikrinsäurelösung (Fig. 562), oder nach beiden Enden (Lösung von

Fig. 562.

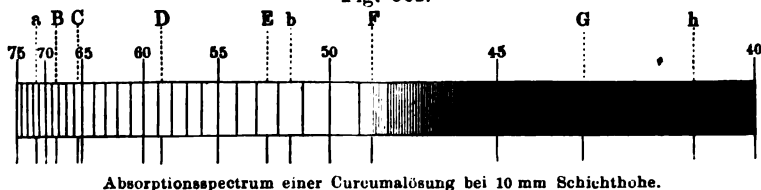
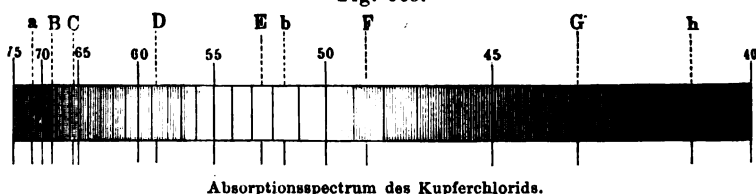


Fig. 563.



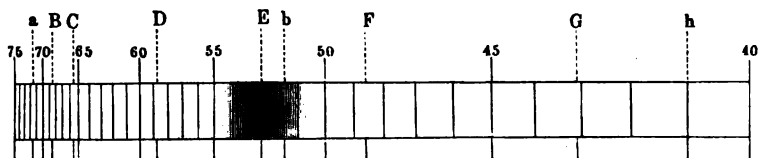
Kupferchlorid) hin aus (Fig. 563), so erscheinen sie als einseitige oder zweiseitige „Endabsorptionen“. Steigen dieselben von einer Stelle aus ganz allmählig an, um dann innerhalb des Spectrums ebenso allmählig wieder abzunehmen, dann entstehen in den mittleren Regionen des letzteren breite, verwaschene Banden, sogenannte „Schatten“, während sie, wenn sie an bestimmten Stellen ziemlich plötzlich zu stärkerer Verdunkelung ansteigen und dann ebenso rasch nach der anderen Seite hin abfallen, in Gestalt von ziemlich scharf begrenzten Banden oder Streifen, im engeren Sinne, auftreten. In den beiden letzten Fällen können dann die Schatten wie die Banden oder Streifen, je nach der Beschaffenheit des absorbirenden Körpers an nur einer (breiteren oder schmälere), Fig. 564, oder an mehreren, Fig. 565, Stellen des Spectrums entweder für sich auftreten, oder auch in Verbindung mit einseitiger oder zweiseitiger Endabsorption zur Erscheinung kommen, Fig. 566 bis 568.

Das Absorptionsspectrum, welches in der Regel bei verhältnissmässig dünnen Schichten und einer gewissen meist geringeren Concentration der Lösungen am reinsten ausgeprägt und damit am meisten charakteristisch erscheint, erleidet unter dem Einflusse gewisser äusserer Umstände be-

stimmte Veränderungen, welche bei den einschlägigen Untersuchungen wohl zu beachten sind.

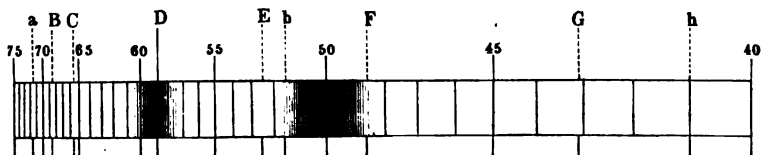
Diese Veränderungen gehen bei Vergrößerung Schichthöhe, sowie bei Steigerung der Concentration dahin, dass einerseits die Absorptions-

Fig. 564.



Absorptionsspectrum der Lösung des rothen Farbstoffes der Blumenblätter von *Paeonia officinalis* bei schwacher Concentration.

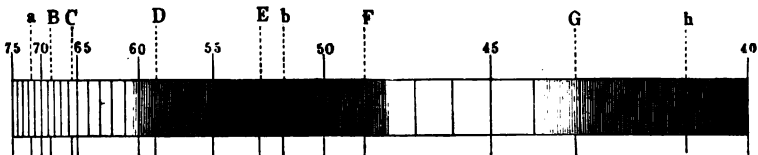
Fig. 565.



Absorptionsspectrum einer wässrigen Lösung des violetten Farbstoffes aus den Blumenblättern von *Oobaea sccondens*. bei 20 mm Schichthöhe.

banden, wie die Endabsorptionen sich mehr und mehr ausdehnen und an Dunkelheit zunehmen, andererseits ganz neue Absorptionsbanden auftreten. So z. B. geht der schmale Streifen des Auszuges aus den Blütenblättern von *Paeonia officinalis* bei Vermehrung der Schichthöhe zunächst in einem viel breiteren Streifen (Fig. 566) über, und es tritt endlich noch Endabsorption hinzu, die sich von dem blauen Ende

Fig. 566.



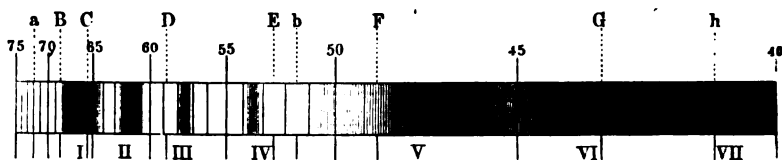
Absorptionsspectrum einer concentrirten Lösung des rothen Farbstoffes der Blumenblätter von *Paeonia officinalis* bei 20 mm Schichthöhe.

her vorschreitend mit dem Bande vereinigt, so dass schliesslich alles Licht bis auf Orange und Hellroth weggenommen wird. Aehnlich geht das Absorptionsspectrum des Chlorophylls, welches bei einer gewissen Schichthöhe und Concentration der Lösung (die je für den stärker brechbaren und dem weniger brechbaren Theil verschieden genommen werden muss) sechs Banden und eine schmale Endabsorption am violetten Ende des Spectrums, bei gleichzeitiger Verdunkelung der Spectralfarben von

970 Sechster Abschnitt. Die Anwendung des prismatisch etc.

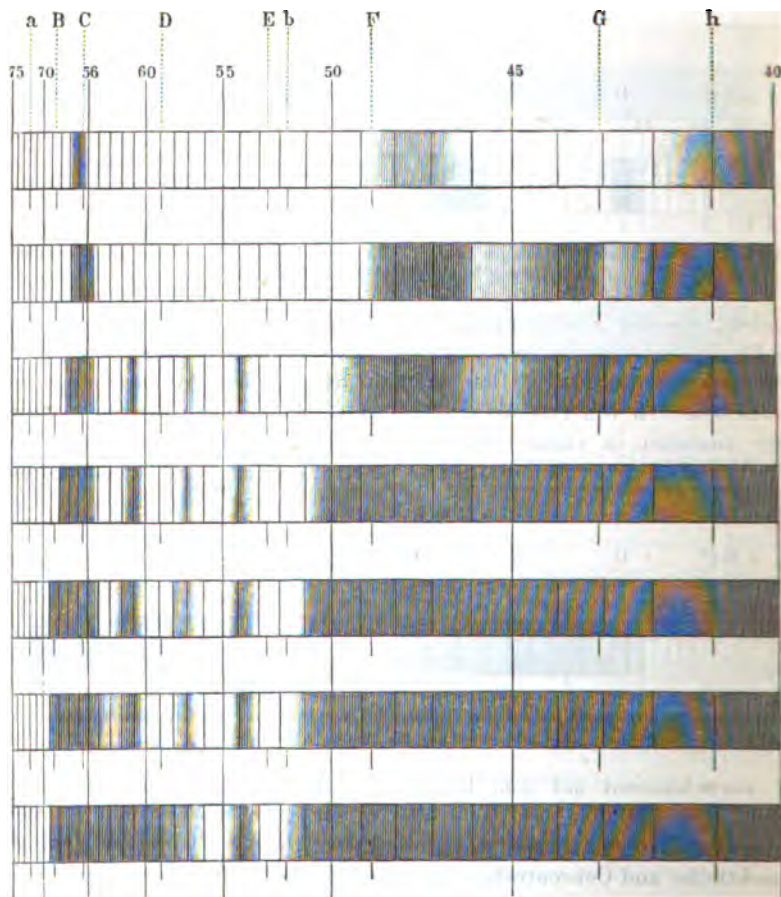
etwa 500 an, zeigt (Fig. 567), bei Vergrößerung der Schichthöhe durch entsprechende Zwischenstufen (Fig. 568) in ein solches über, bei welchem

Fig. 567.



Combinirtes Absorptionsspectrum des Chlorophylls, für die vier ersten Banden bei mittlerer, für die drei letzten bei schwacher Concentration.

Fig. 568.



Absorptionsspectren einer alkoholischen Chlorophylllösung bei Schichthöhen von je 2,5; 5; 10; 20; 40 und 100 mm.

eine Wegnahme aller Farben bis auf das äusserste dunkle Roth und das durch die Bande IV getrennte Grün zwischen den Fraunhofer'schen Linien *D* und *E* auftritt.

Der aus alkoholischem Chlorophyll mittelst Benzins ausgeschüttelte gelbe Farbstoff, das sogenannte „Xantophyll“, zeigt bei einer mittleren Concentration und geringer Schichthöhe nur zwei Absorptionsbanden in Blau, nebst einer Endabsorption, bei nach und nach gesteigerter Schichthöhe aber können die sämtlichen Banden des Chlorophylls erscheinen und zuletzt alle Farben bis auf das Gelb auf *D*, das Roth zwischen *D* und *C* und das äusserste Roth ausgelöscht werden.

Werden die Schichthöhen oder die Concentrationen jede einzeln für sich, oder beide zugleich nach und nach und in gewissem Maasse verringert, so nehmen anfänglich die Banden mehr und mehr an Breite und Dunkelheit ab, dann bleiben bei mehreren Absorptionsbanden nur noch die stärkeren unter diesen sichtbar und es verschwinden endlich auch diese. Das Chlorophyll z. B. lässt bei sehr starker Verdünnung und in dünnen Schichten nur noch die erste Bande in Roth zwischen *B* und *C* erkennen, während an allen anderen Stellen des Spectrums die Farben ungeschwächt erscheinen.

Die Beschaffenheit des Lösungsmittels, welches chemisch möglichst 646 indifferent sein und wenn die Absorption deutlich ausgeprägt erscheinen soll, eine klare ungetrübte Lösung ergeben muss, ändert das Absorptionsspectrum derart, dass bei verschiedenen Lösungsmitteln Endabsorptionen wie Banden um gewisse Entfernungen verschoben werden, schärfer oder minder scharf ausgeprägt erscheinen und bei Vorhandensein mehrerer Banden diese vermehrt oder vermindert werden können. Die Verschiebungen erstrecken sich nach einem von Kundt aufgestellten Gesetze, welchem indessen nicht alle Körper folgen, dahin, dass dieselben um so weiter nach dem Roth hin erfolgen, je grösser der Brechungsindex des Lösungsmittels wird. Auch die Schärfe und Klarheit der Absorption scheint nach mehrfachen Erfahrungen mit dem Brechungsindex in Beziehung zu stehen und ebenso dürfte wohl das Verschwinden vorhanden gewesener, wie das Auftreten neuer Banden, namentlich in den lichtschwächeren Theilen des Spectrums, auf der gleichen Ursache beruhen, d. h. auf Verschiebungen zurückzuführen sein.

So zeigt z. B. das in Wasser gelöste Eosin eine breite Bande zwischen $\lambda = 470$ und 540 , während dieselbe bei einer alkoholischen Lösung etwas weiter nach Roth zwischen $\lambda = 480$ und 552 , bei einer Lösung in Anisöl (es wurde ein Tropfen sehr concentrirter alkoholischer Lösung in Anisöl gegeben) noch weiter nach Roth zwischen $\lambda = 480$ und 560 auftritt. Die gleichen Erscheinungen bieten Chlorophylllösungen. Das Kraus'sche Cyanophyll z. B. zeigt die vier ersten Banden etwa zwischen $\lambda = 650$ bis 680 (I.), $\lambda = 615$ bis 625 (II.), $\lambda = 570$ bis 580 (III.), $\lambda = 535$ bis 540 (VI.) und es rücken dieselben in einer durch Ausschütteln der alkoholischen Lösung mit Monobrom-Naphtalin erhaltenen

Lösung nach $\lambda = 670$ bis 700 , $\lambda = 630$ bis 640 , $\lambda = 585$ bis 595 , $\lambda = 540$ bis 550 .

Der gelbe Farbstoff aus den Fruchtkelchen von *Physalis Alkekengi* giebt nach G. Kraus der orangefarbene Farbstoff der Blumenblätter von *Eschaltzia californica* nach eigener Beobachtung in alkoholischer Lösung drei Absorptionen, während die Lösung in Chloroform noch eine vierte, bei gleichzeitiger Verschiebung aller Banden nach Roth hin, zur Anschauung bringt.

Es ist demzufolge und namentlich dann, wenn es sich um numerische Bestimmungen, oder um die Nachprüfung andererseits gefundenen Resultate handelt, bei Beobachtungen der Absorptionsspectren bestimmter Lösungen wohl darauf Rücksicht zu nehmen, durch welches Mittel die letzteren erzeugt sind und wie sich dessen Brechungsindex demjenigen anderer Mittel gegenüber verhält.

647

Solche Körper, welche an und für sich ein charakteristisches Absorptionsspectrum nicht liefern, oder deren Absorptionsspectren nicht von einander verschieden sind, wie manche gelbe und andere Farbstoffe und dergleichen, können durch die Einwirkung chemisch wirkender Mittel häufig in solche Verbindungen übergeführt werden, welche ganz bestimmte Absorptionen zeigen und so erkannt oder von einander unterschieden werden können. Wir können hier nur im Allgemeinen erwähnen, dass als derartige unterstützende Medien sowohl Alkalien: Kali-, Ammoniak-Natronlösung, als alkalische Salze, sowie Säuren und zwar sowohl organische als anorganische zur Verwendung kommen können. Die Besonderheiten dieses spectralanalytischen Reactionsverfahrens, welches namentlich durch Sorby, Hoppe-Seiler, Hagenbach u. A. eine weitgehende Ausbildung erfahren hat, gehören in die speciellen Untersuchungsmethoden und sollen dort, soweit sie für die Zwecke der mikroskopischen Spectralanalyse von Bedeutung werden, ihre Erledigung finden.

648

Der Einfluss der Temperatur auf die Gestaltung des Absorptionsspectrums äussert sich bei verschiedenen Körpern verschieden. So giebt es eine Reihe von Lösungen, z. B. Fuchsin, Carmin, Anilinblau, bei denen Temperaturveränderungen keinerlei Veränderung in den Absorptionen hervorbringen, während solche bei Lösungen anderer Körper, und zwar sowohl unorganischer Salze, wie organischer Verbindungen, in verschiedener Weise bemerkbar werden. Erstere lassen bei gesteigerter Temperatur eine Verstärkung der Absorption erkennen und es können dabei unter Umständen Banden zum Vorschein kommen, welche bei niedriger Temperatur nicht beobachtet werden (Kobaltchlorür z. B. zeigt nach Melde bei erhöhter Temperatur Streifen in Roth, welche bei kalten Lösungen nicht sichtbar sind). Das entgegengesetzte Verhalten tritt nach Preyer (Max Schulze's Archiv für mikroskopische Anatomie II. Bd. 1866) und G. Kraus (a. a. O.) bei organischen Lösungen ein. Hier kommen nämlich bei Erhöhung der Temperatur gewisse Absorptionen, so z. B. die Banden der gelben Pflanzenfarbstoffe, der Hämatinlösung etc. zum Ver-

schwinden, während dieselben in dem Maasse, als die Lösungen abgekühlt werden, wieder mehr und mehr und endlich bei völliger Abkühlung in voller Schärfe kenntlich hervortreten.

II. Anwendung der Spectralapparate.

Für die spectralanalytischen Untersuchungen ist vor allem recht helles Licht, am besten helles Tageslicht, bei möglichst von Wasserdunst freier Atmosphäre, oder intensives Lampenlicht zu empfehlen. Ausserdem hat man Sorge dafür zu tragen, dass alles störende Seitenlicht möglichst ausgeschlossen wird, was man am besten dadurch erreicht, dass man das Spectromikroskop in dem Flögel'schen Dunkelkasten aufstellt, den ich gerade hier für ein unumgänglich nothwendiges Hilfsmittel für förderliches Arbeiten ansehen muss.

1. Das Spectralocular.

Das Spectralocular, welches zuerst (1865 und 1867) von dessen Er- 649 findern Sorby und Browning und zwar zunächst noch in unvollkommener Gestalt, bei mikroskopischen Untersuchungen in Gebrauch genommen wurde, findet vorzugsweise da Anwendung, wo es sich um die Beobachtung der Absorptionsspectren von gleichmässig gefärbten, keine morphologische Structuren besitzenden Objecten, also z. B. von Lösungen gewisser pflanzlicher oder thierischer Farbstoffe handelt, deren Bilder den Spalt vollständig oder doch in einer bestimmten Ausdehnung ausfüllen. Ferner ist es mit Vortheil zu verwenden, wenn die Absorption nur einer Substanz studirt werden soll, die sich entweder gelöst (gewisse Blumenfarbstoffe etc.), oder an kleinen Körperchen gebunden und gleichmässig vertheilt in den Zellen der lebendigen Gewebe, von hinreichend durchsichtigen Blättern, Blumenblättern, Algen und dergleichen findet, (Chlorophyll, an .geformte Protoplasmakörperchen gebundene Farbstoffe etc.), oder in einer Flüssigkeit gleichmässig vertheilt erscheint (Blut). Endlich kann der Apparat auch für solche Untersuchungen in Gebrauch genommen werden, bei denen es sich um die Absorptionen von einzelnen, gefärbten Inhalt führenden Zellen, von Inhaltskörperchen (Farbstoffkörperchen etc.) handelt. So z. B. zeigen grössere Chlorophyllkörner noch die Bande in Roth und eine Endabsorption von Blaugrün bis zum violetten Ende, ebenso tingirte grosse Zellkerne (Fig. 569 auf Seite 975), Farbstoffkrystalloide, Hämatinkrystalle noch ganz gut die entsprechenden Absorptionen. Indessen gelangt man bei kleinen Körperchen, oder wo die Absorptionen nebeneinander vorkommenden Inhaltskörper untersucht werden sollen, nicht zum Ziele.

Für die erstere Art der Untersuchungen bedarf es eines Objectivsystemes an dem Tubus nicht. Man bringt dabei die betreffende Lösung

und zwar, um dieselbe in verschiedenen genau bestimmbarⁿ Schichthöhen beobachten zu können, am besten in einen engen graduirten Glascylinder gefüllt (dieselben sollten in verschiedenen Grössen, etwa von 50 bis 400 mm Länge und in Millimeter getheilt vorhanden sein) über der Tischöffnung an. Um das Seitenlicht abzuhalten, senkt man den unteren Theil des Cylinders in einen entsprechend durchbohrten Kork von solcher Höhe ein, dass letzterer den Raum zwischen dem in tiefster Stellung befindlichen Tubus und der Ebene des Objecttisches vollständig ausfüllt (wegen der Handhabung der Glascylinder sind bei spectralanalytischen Untersuchungen dieser Art Stative mit schiebbarem Tubus vorzuziehen). Der Gegenstand ist damit zur Beobachtung hergerichtet und es bedarf zur Ausführung der letzteren nichts weiter, als dass man, nachdem man das Licht des Spiegels durch die Flüssigkeit geworfen hat, das Spectralocular einsetzt, die früher erwähnten Regulirungen vornimmt und den Spiegel für die Scala zu der Beleuchtung in die richtige Stellung bringt.

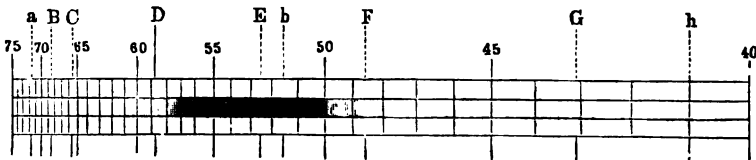
Sollen sehr hohe Flüssigkeitssäulen zur Beobachtung kommen, dann muss der Tubus die erforderliche Verlängerung durch entsprechende Hilfsrohre erfahren, welche man in verschiedenen den Röhrenlängen entsprechenden Längen zur Hand haben muss und die dann entweder an die Stelle des gewöhnlichen Tubus gesetzt, oder mit diesem, wenn die untere Mutterschraube gross genug ist, wie bei dem Stative mit der englischen „society screw“, durch Verschraubung verbunden werden.

651 Bei den Beobachtungen der zweiten Art, die eine recht intensive Durchleuchtung der betreffenden Objecte erfordert (am besten durch eine Mattglasplatte gedämpftes Sonnenlicht), kann man entweder ohne Objectsystem arbeiten, oder nach Bedürfniss ein schwaches Objectsystem von etwa 50 bis 30 mm Brennweite verwenden. Man stellt dann, nachdem man das dreh- oder in anderer Weise abnehmbare Prismensystem über dem Ocular entfernt und den Spalt auf seine volle Weite gebracht hat, wie gewöhnlich den betreffenden, auf einem Objectträger befindlichen, nöthigenfalls eingedeckten Gegenstand, ganze Laub- oder Blumenblätter, oder Theile derselben und dergleichen, ausgebreitete Blutschichten etc. zunächst scharf ein und bringt dann das Prisma wieder über das Ocular, während man den Spalt in dem erforderlichen Maasse, d. h. bis zum Sichtbarwerden der stärkeren Fraunhofer'schen Linie, verengert. Das Spectralbild ist nun allerdings ein wenig geeignetes. Dasselbe erscheint nämlich, ähnlich wie bei Verunreinigungen der Spaltränder, der Länge nach von einer Menge von dunkelen, durch die scharf eingestellten Umrisse der in den betreffenden Objecten enthaltenen Structuren oder der Einzelkörperchen (Chlorophyllkörperchen, Blutkörperchen etc.) hervorgebrachten, Streifen durchzogen, welche sowohl die Absorptionsbanden, als die Fraunhofer'sche Linie nur undeutlich und vielfach unterbrochen hervortreten lassen. Um ein gleichmässiges Spectralbild mit scharfen Fraunhofer'schen Linien und deutlichen Absorptionsbanden zu erhalten, müssen wir mit der Einstellung über die eigentliche Objectebene

hinaus oder unter dieselbe hinabgehen, so dass wir in dem Spalte nicht mehr einen scharfen Streifen des scharfen Luftbildes der Objecte, sondern eines Diffusionsbildes derselben vor uns und damit den Einfluss der scharfen Umrisse ausgeschlossen haben.

Sollen endlich die Absorptionen des gefärbten Inhalts einzelner Zellen, einzelne Chlorophyll- oder Farbstoffkörperchen, einzelne gefärbte Krystalloide und dergleichen beobachtet werden, dann muss man zu stärkerer, dem Ausmaasse der betreffenden Objecte entsprechenden Objectivvergrösserung schreiten. Man verfährt dann wie in dem vorigen Falle, beobachtet aber, indem man den Gegenstand möglichst in die Mitte des Sehfeldes gebracht und den Spalt entsprechend verengert und verkürzt hat, bei scharfer Einstellung. Das Absorptionsbild nimmt dann, falls das Luftbild des Objectes nicht die ganze Länge des (verkürzten) Spaltes ausfüllt, einen von zwei Längsstreifen begrenzten, je nach

Fig. 569.



den Ausmaassen des Objectes verschieden breiten Streifen des Spectrums ein (Fig. 569).

Will man die Spectralbilder verschieden gefärbter Flüssigkeiten, oder die durch Einwirkung des Lösungsmittels, sowie chemischer Reagentien herbeigeführten Aenderungen in den Absorptionen derselben Substanz mit einander unmittelbar vergleichen, so kommt das Vergleichsprisma zur Anwendung. Man bringt dabei die vor dem letzteren einzuschaltende Lösung in sogenannte Präparatengläschen oder in die bekannten käuflichen Fläschchen mit zwei ebenen Seitenflächen von einem der Aufnahmevorrichtung angepasstem Durchmesser und trägt dabei Sorge dafür, dass der Concentrationsgrad, wie die Schichthöhe der Lösungen vor dem Vergleichsprisma und vor dem Tubus beziehungsweise gleiche Wirkung äussern, was annähernd dann erreicht ist, wenn bei durchfallendem Licht die Färbung in beiden Gefässen gleichen Ton und gleiche Intensität zeigt. Liegen Scalenrohr und Spiegelarm vor dem Vergleichsprisma nicht in derselben senkrechten Ebene, also so, wie z. B. bei dem Zeiss'schen Spectralocular, dann setzt man dieses so ein, dass die Halbirungslinie des Winkels, welche erstere mit einander machen, auf die Lichtquelle gerichtet ist.

2. Das objective Spectrum.

Schon bevor das Spectralocular erfunden war, wurde das objective Spectrum, und zwar zunächst bei der Untersuchung des Blutes, in der Mikro-Spectralanalyse verwendet. Auch hier war es Sorby, der, nachdem

schon vorher Valentin (Der Gebrauch des Spectroskopes zu physiologischen und ärztlichen Zwecken. Heidelberg und Leipzig 1860, Seite 117) auf die Anwendbarkeit des Spectroskopes für mikroskopische Untersuchungen hingewiesen hatte, diese Beobachtungsweise in die mikroskopische Technik einführte (Quarterly Journal of science 1865), indem er das zerlegende Prisma unter dem Objecttische anbrachte. Preyer (Archiv für mikroskopische Anatomie 1866, II. Bd.) und nach ihm Stricker (Archiv für die gesammte Physiologie von Pflüger 1868) warfen das Bild, das mittelst des gewöhnlichen Spectralapparates erzeugten Spectrums, ersterer nach Entfernung des Fernrohres mittelst des Planspiegels, letzterer mittelst eines reflectirenden Prismas und des Dujardin'schen Beleuchtungsapparates (so deute ich wenigstens das „Densor des Hartnack'schen Mikroskopes“ in dem betreffenden Texte) in die Objectebene. Die Absorptionen wurden dadurch festgestellt, dass das Spectrum durch Aenderung der Stellung des reflectirenden Apparates unter dem Objecte durchgeführt, d. h. das Sehfeld durch die verschiedenen Spectralfarben beleuchtet und beobachtet wurde, in welchem Farbenbezirke der Gegenstand nicht mehr seine natürliche Färbung erkennen liess, sondern mehr oder minder dunkel bis schwarz erschien. Diese Vorrichtungen waren indessen nur Nothbehelfe und erst mittelst des von Dr. Hartnack construirten Apparates (Seite 603) liess sich bequemer arbeiten, obwohl auch dieser in Folge davon, dass er nur ein Projectionalinsensystem (achromatische Doppellinse) besass und ihm die Messungsvorrichtungen fehlten, noch manche Mängel besass und Unbequemlichkeiten mit sich führte. Genauere und bei schwächeren, wie stärkeren Vergrösserungen ausführbare Beobachtungen im objectiven Spectrum gestatten nur so vollkommene, durch Ausschaltung des polarisirenden Prismas in einfache Spectralapparate umzuwandelnde Apparate, wie sie zur Zeit in dem Rolett'schen, namentlich aber in dem Abbe'schen Spectropolarisator vorliegen, von denen letztere, wenn man als Projectionssystem die obere Linse von System A oder die Systeme A, B und C von Dr. Zeiss benutzt, ein Spectrum von je 2,84, 2,1, 1,6 und 0,92 mm Länge (von $\lambda = 0,70$ bis 0,40 gemessen) gewährt.

655 Was nun den Gebrauchsumfang des objectiven Spectrums und damit der genannten Spectralvorrichtungen, welche für eine Reihe von physiologischen Untersuchungen von höchster Bedeutung werden können, wie dies die schönen Untersuchungen von Engelmann darthun (Botan. Ztg. 1881 und 1882), zu spectralanalytischen Beobachtungen betrifft, so ist selbstverständlich, dass sich mittelst derselben die Absorptionen gleichmässig gefärbter Substanzen, welche das ganze Sehfeld ausfüllen, ebenso gut beobachten lassen, wie mittelst des Spectraloculares, sobald diese Substanzen ausreichendes Licht durchlassen und — sofern es sich um Lösungen handelt — in solchen Dicken der Schichten vorliegen, wie sie durch die Construction des Mikroskopes bezüglich zulässiger Hebung des Tubus, sowie die Möglichkeit der genauen Einstellung auf das Spectrum bei dem Gebrauche von Beobachtungsobjectiven von etwa 50 bis 30 mm

Brennweite und von Projectionssystemen (wie solche bei derartigen Untersuchungen nur in Betracht kommen) von etwa 15 bis 30 mm Brennweite bedingt werden. Wenn ich z. B. das Spectrum mittelst der oberen Linse des Zeiss'schen Objectivsystemes *A* entwerfe (wobei, da das Projectionssystem ziemlich weit unter die Tischfläche zu stehen kommt, zur Abhaltung falschen Lichtes ein entsprechendes, bis zur Tischöffnung reichendes Röhrchen aus schwarzem Carton übergeschoben wird) und mittelst des Systemes für das Abbe'sche Hilfsmikroskop oder eines Systemes von gleicher oder etwas kürzerer Brennweite, z. B. *a* von Zeiss, *a* von Boecker ($f = 36$ und 40 mm) beobachte, so kann ich noch die Absorption von Flüssigkeitsschichten bestimmen, deren Höhe 10 bis 15 cm beträgt.

Concentrirte Lösungen können in Tropfen unter Deckglas untersucht werden und kann man die Schichthöhe etwas erhöhen, indem man Borsten und dergleichen zwischen Objectträger und Deckglas legt. Auch Glaszellen, oder die Glasringe, wie man sie zu feuchten Kammern braucht, liefern aufgekittet passende Behälter, die mit Deckglas bedeckt werden müssen. Für höhere Flüssigkeitsschichten verwendet man entsprechend hohe Cylinder aus etwa 2 bis 2,5 cm weiten Glasröhren, welche oben und unten genau abgeschliffen sind und auf Objectträger aufgekittet und gefüllt, gleich Glaszellen und Ringen bedeckt werden. Als unbedingt erforderlich ist im Auge zu behalten, dass, um Verzerrungen des Spectrums auszuschliessen, die Horizontalflächen absolut eben sein, die Gefässe vollständig gefüllt und Luftblasen sorgfältig vermieden werden müssen, was beim Aufschieben der Deckplatte leicht bewirkt werden kann.

Ganze Laubblätter, auch ziemlich durchsichtige, die noch für das Spectralocular brauchbar sind, ebenso eine Anzahl von Blumenblättern, die ich versuchsweise als Objecte wählte, lassen hier schon nicht mehr Licht genug durch, um das Spectrum und die Absorptionsbanden noch in geeigneter Weise zur Anschauung bringen zu können.

Für Beobachtungen mikroskopischer Objecte muss die Darstellung des objectiven Spectrums, um noch einen hinreichend grossen Theil desselben im Sehfelde und die nöthige Lichtstärke zu haben, mittelst Objectivsystemen von 15 bis etwa 6 mm Brennweite bewirkt werden und zwar kann man für Beobachtungssysteme von 10 bis 6 mm Brennweite, Projectionssysteme von etwa 15 mm, für solche von 6 bis 4 mm von etwa 10 mm, für solche unter 4 mm von etwa 6,5 bis 6 mm verwenden. Die Beobachtung geschieht dabei in der Weise, dass man das betreffende Object: Farbstoff- und Chlorophyllkörperchen, Farbstoffkrystalle und Krystalloide, einzelne, gelöste Farbstoffe enthaltende Zellen etc., wie gewöhnlich scharf einstellt und das Spectrum in seinen verschiedenen Farbenbezirken mittelst Handhabung der entsprechenden Schraube unter denselben hindurchführt.

Die Absorptionen treten hier natürlich nicht, wie bei dem Spectral- 656
ocular im Zusammenhange auf, sondern ergeben sich getrennt in den

einzelnen Farbenbezirken, welche den Gegenstand passiren. Vollständige Absorption giebt sich durch völliges Dunkelwerden des letzteren zu erkennen, während mindergradige je nach deren Grösse eine mehr oder minder starke Verdunkelung desselben herbeiführt. Durch Aneinanderreihung der Einzelabsorptionen nach Stärke und Umfang lässt sich das Absorptionsspectrum in seinem vollen Umfange durch Zeichnung oder Bezifferung darstellen.

Der Vortheil, welchen die Beobachtung im objectiven Spectrum gegenüber derjenigen in dem Spectrum über dem Oculare bietet, liegt vorzugsweise darin, dass man die Absorptionen in derselben Zelle oder in gewisser Gewebetheilen neben einander vorkommender, nicht oder nur schwierig isolirbarer Farbstoffträger zu ermitteln in den Stand gesetzt ist. Die Untersuchungen dieser Art gewähren zwar für das Erkennen schwächerer und die Beurtheilung der Ausdehnung stärkerer, nach einer oder beiden Seiten hin continuirlich abgeschwächter Absorptionen einige Schwierigkeiten, allein es lassen sich dieselben unter Anwendung aller Vorsichtsmaassregeln, namentlich unter Ausschluss allen störenden Seitenlichtes unschwer überwinden. Als Unterstützung dient dabei auch der Vergleich der gleichen Objecte, welche in demselben Präparate vorkommend in einem Farbenbezirke liegen, dessen Farben sie nicht löschen.

3. Lagen- und Intensitätsbestimmung der Absorptionen

657 Um die Lage der Absorptionsbanden genauer zu bestimmen, giebt es verschiedene Wege.

Die einfachste Methode besteht darin, dass man nach Schätzung die Lage gegen die entsprechenden Fraunhofer'schen Linien angiebt. So z. B. würde B bis $\frac{1}{2} C$ bedeuten, dass eine bei der Linie B beginnende Absorption bis nach der Hälfte des Raumes zwischen B und C reicht, während $D \frac{3}{5} E$ bis $E \frac{1}{4} F$ besagen würde, dass die Absorption in dem vierten Fünftel des Raumes zwischen D und E beginnt und sich bis an das zweite Viertel des Raumes zwischen E und F ausbreitet. Neben diesen Daten könnte man dann noch die Stelle der stärksten Absorption angeben, im ersten Falle etwa durch $B \frac{1}{4} C$, im anderen vielleicht $D \frac{4}{5} E$, wobei im ersten Falle gleichmässig Abschattirung nach beiden Seiten hin, im anderen ein rascheres Abfallen nach D hin angezeigt wäre.

Derartige Angaben können natürlich keine Verlässlichkeit gewähren und höchstens als Nothbehelf dienen, ebenso wie diejenigen, die sich auf die verhältnissmässige Lage von neu festzustellenden Absorptionen zu denjenigen bereits bekannter Körper beziehen. Wo es sich um genaue Lagenbestimmung handelt, da muss überall die Messung zur Anwendung kommen.

Bei der auf Seite 613 u. f. beschriebenen Messvorrichtung und der in Fig. 424 dargestellten Scala, welche von dem 0-Punkte der Trommel,

der im äussersten Roth vor *A* liegt, auf den Raum von 100 mm in 100 Theile getheilt ist, deren jeder 10 Theile der Mikrometertrommel entspricht, bei der also die Fraunhofer'schen Linien *B*, *C*, *D*, *E*, *F* und *G* je durch die Zahlen 85, 130, 220, 415, 585 und 945 bestimmt werden, lassen sich die Absorptionsbanden ganz in ähnlicher Weise bestimmen, wie diese Linien und wenn man drei Zahlen verwendet, so kann man Anfang, Mitte und Ende derselben genau beziffern. So z. B. würde die Lage der vier ersten, in Fig. 568 gezeichneten Banden des Chlorophyllspectrum durch folgende Angaben

I	II	III	IV
80 — 115 — 150;	165 — 180 — 195;	230 — 240 — 250;	375 — 385

ziffernmässig bestimmt sein. Wollte man nun unter Zugrundelegung dieser oder einer ähnlichen Scala (bei anderen fällt in der Regel der Nullpunkt der Trommel mit der Fraunhofer'schen Linie *A* zusammen) die Wellenlänge der absorbirten Strahlen kennen, so würden die obigen Zahlen auf die der Wellenlängenscala zu reduciren sein. Es werden aus diesem Grunde wohl allmählig die auf gleiche Theilung basirten Messapparate verdrängt und durch solche ersetzt werden, denen die Angström'sche Scala (Seite 616 und f.) zu Grunde liegt, welche unmittelbar die Wellenlängen angiebt. Da hierbei die Scala über dem Spectrum projecirt wird, so kann die Ablesung — nachdem die *D*-Linie genau auf 589 eingestellt ist — ohne Weiteres vollzogen werden. Die obigen Angaben würden sich in diesem Falle folgendermaassen gestalten:

I	II	III	IV
645 — 658 — 690;	615 — 625 — 635;	570 — 575 — 580;	535 — 543.

Die Bestimmung des Grades der Absorptionen, welcher bei Lösungen **658** von färbenden Substanzen für verschiedene Schichthöhen oder Concentrationen, ebenso bei Farbstoffkörperchen etc. in Wirksamkeit tritt, kann manchmal von Interesse werden und soll daher ein hierzu dienendes, seinen Zweck hinreichend erfüllendes, einfaches Verfahren mitgetheilt werden. Dieses Verfahren, welches zuerst von Waelchli bei der Untersuchung der gefärbten Kugeln in der Retina von Vögeln angewendet wurde (Graefe's Archiv für Ophthalmologie Band XXVII, Abtheilung 2, 1881), ist nur für Beobachtungen bei Lampenlicht und mittelst des mit Vergleichsprisma versehenen Spectraloculares ausführbar, verlangt aber sonst keine besonders complicirte kostspielige Vorrichtungen, so dass es als allgemein anwendbar erscheinen dürfte. Der nöthige Apparat, welcher zur Beleuchtung des Vergleichsspectrum zu dienen hat, besteht nämlich nur aus einer in breitem Rahmen befindlichen, sorgfältig geschliffenen Mattglasscheibe und einer, wohl auch durch eine geeignete Lampe ersetzbaren, bei photometrischen Untersuchungen gebräuchlichen, auf einer etwa 1 m langen, in Centimeter getheilten Scala beweglichen und in einer Blendlaterne aufgestellten Nor-

malkerze, deren Flamme durch die bekannte mechanische Vorrichtung in gleicher Höhe erhalten werden kann.

Als Einheit für die Lichtintensität ist diejenige Erhellung des Vergleichsspectrums zu nehmen, welche bei einem bestimmten — nach Waelchli am geeignetsten 8 cm betragenden — Normalabstande der Normalkerze (beziehentlich der Lampe) von der, etwa 5 bis 6 cm von dem Spiegelchen des Vergleichsprismas entfernt aufgestellten, Mattglas-scheibe auftritt. Hat man diese Erhellung durch die geeignete Spiegelstellung hergestellt, so wird das Hauptspectrum durch entsprechende Regulirung der Beleuchtung auf gleiche Helligkeit mit dem Vergleichsspectrum gebracht, dann das Object eingeschaltet und nun für jede einzelne Absorptionsbande durch Entfernung der Normalkerze (eine Arbeit, welche durch einen Gehilfen zu verrichten ist) auf der Scala die Lichtstärke des betreffenden Farbenbezirkes in dem Vergleichsspectrum soweit vermindert, bis sie nach Schätzung des Beobachtens derjenigen der Bande gleichkommt. Da sich nun die Lichtstärken in den verschiedenen Stellen des Vergleichsspectrums verhalten: umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen der Kerze in der Anfangs- und Endstellung, so erhält man in diesem Verhältniss das Maass für den Grad der Absorption. Sei z. B. die Kerze von ihrer Normalstellung ab bis auf 27 cm Entfernung von dem Nullpunkte der Scala aus verschoben worden, so würde das Verhältniss der Lichtstärke sein:

$$= \frac{8^2}{27^2} = \frac{64}{729} \text{ oder } = 1 : 0,088.$$

Zweites Capitel.

Anwendung des prismatisch zerlegten polarisirten Lichtes. Spectro-Polarisation.

I. Verhalten doppeltbrechender Körper.

659 Der Polarisationsapparat liefert für das prismatisch zerlegte Licht in Bezug auf die Erhellung des Sehfeldes die gleichen Erscheinungen, wie für gewöhnliches Licht. Das Sehfeld leuchtet bei parallelen Polarisations-ebenen des Polarisators und Analysators in den Farben des continuirlichen Spectrums, erscheint aber verdunkelt, sobald jene unter rechtem Winkel gekreuzt werden.

Schaltet man bei der letzteren — für mikroskopische Zwecke allein in Betracht kommenden — Orientirung von Polarisator und Analysator

ein das ganze Sehfeld einnehmendes, oder in seinem Bilde den Spalt voll ausfüllendes doppelt brechendes Object, welches so dünn ist, dass es im einfachen Polarisationsapparat nur die Farben der ersten Ordnung bis zu Weiss zeigt, so ein, dass seine beiden zur Wirkung kommenden Elasticitätsachsen mit den Polarisationsebenen Winkel von 45° bilden, dann wird das Spectrum sofort vollständig in der gleichen Helligkeit sichtbar, wie es an und für sich zwischen den parallel gerichteten Polarisations-ebenen erscheint.

Nimmt das Object dagegen im objectiven Spectrum nur einen Theil des Sehfeldes ein, oder füllt dessen Bild im Spectralocular nur einen Theil der Spaltlänge aus, so wird im letzten Falle ein entsprechend breiter die ganze Länge des Spectrums durchziehender Streifen des letzteren erhellt, während im ersteren Falle der Gegenstand sich ähnlich verhält, wie im einfachen Polarisationsapparat, nur dass er in denjenigen Farben des Objectivspectrum leuchtet, über welchen er liegt. So zeigt z. B. das Stärkekorn im Spectralocular ein der betreffenden Vergrösserung entsprechendes, breiteres oder schmäleres Band sämtlicher Spectralfarben, das je nach der regelmässigen oder unregelmässigen Gestalt des Polarisationskreuzes von einem parallel oder schief durch dasselbe gehenden schmalen dunklen Streifen durchsetzt wird, während es in dem objectiven Spectrum das dunkle Kreuz, wie sonst, erkennen lässt und die vier erhellten Quadranten in Roth, Gelb, Grün oder Blau etc., d. h. in der Spectralfarbe leuchten, über der sie zu liegen kommen. Das ganze Sehfeld durchziehende Faserzellen u. dergl. erscheinen in sämtlichen Spectralfarben, welche innerhalb des Spectrums enthalten sind. Man sieht hieraus, dass die Frage, ob ein organischer Körper einfach oder doppelt brechend ist, auch mittelst prismatischer Zerlegung des polarisirten Lichtes entschieden werden kann.

Für die Beantwortung dieser Frage sowohl, als für die Bestimmung 660 der Richtung der Elasticitätsachsen, beziehentlich des relativ positiven oder negativen Charakters wird aber das Verhalten der zu prüfenden Körper unter Anwendung der sogenannten „verzögernden Plättchen“ von grosser Wichtigkeit und es dürfte die Untersuchung in den mittelst dieser Plättchen erhellten Spectren, welche zuerst und zwar unter Verwendung noch unvollkommener Apparate (es diene dabei das Spectralocular) von Valentin (Max Schultze's Archiv für mikroskopische Anatomie Bd. VII, 1871) in Anregung gebracht, dann aber von Rollet (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Novemberheft 1881) an der Hand des früher beschriebenen vollkommeneren Apparates in die Wissenschaft eingeführt wurde, nach meinen bisherigen Erfahrungen wohl für die Zukunft eine hohe Bedeutung erlangen.

Werden Gyps- oder Glimmerplättchen, welche im polarisirten Lichte höhere Farben — von Roth I. Ordn. an aufwärts — geben, zwischen dem Polarisator und dem Spalt der Prismenvorrichtung eingefügt (man könnte dieselbe auch über dem letzteren anbringen, siehe Seite 618), so

treten die bekannten Müller'schen Streifen (Fig. 570) im Spectrum auf (J. Müller in Poggendorff's Annalen, Bd. 69 u. 71), welche von Rollet

Fig. 570.



zur genauen Bestimmung der Interferenzfarben genannter Plättchen benutzt worden sind (Abhandlungen der Wiener Akademie Bd. 75, 1877 und Bd. 77, 1878, III. Abth.). So z. B. zeigen eine Reihe mir vorliegender Gypsplättchen von Dr. Steeg und Reuter folgende Absorptionsstreifen.

Roth	I. Ordnung	Mittel 505 (Fig. 570)
"	II.	"	" 515 (Fig. 571 I.)
Gelb	II.	"	" 460
Blau	II.	"	" 580
"	III.	"	" 520
"	IV.	"	" 530
Violett	III.	"	" 555
Blau	III.	"	" 575 ¹⁾

Bei Plättchen mit Farben der höheren Ordnungen (V bis VII) oder bei solchen Plättchen, welche bei grösserer Dicke keine bestimmte Farben mehr zeigen, sondern mehr oder minder rein weiss erscheinen, treten mit zunehmender Dicke immer zahlreicher werdende Interferenzstreifen auf. So giebt z. B. ein Gypsplättchen von Fleischroth V. Ordnung drei Streifen:

I.	II.	III.
585	505	450

während eine dickere Platte, welche bei gekreuzten Nicols ein röthlich angehauchtes, bei parallelen ein grünliches Weiss zeigt, sieben Streifen erkennen lässt und zwar in folgender Lage:

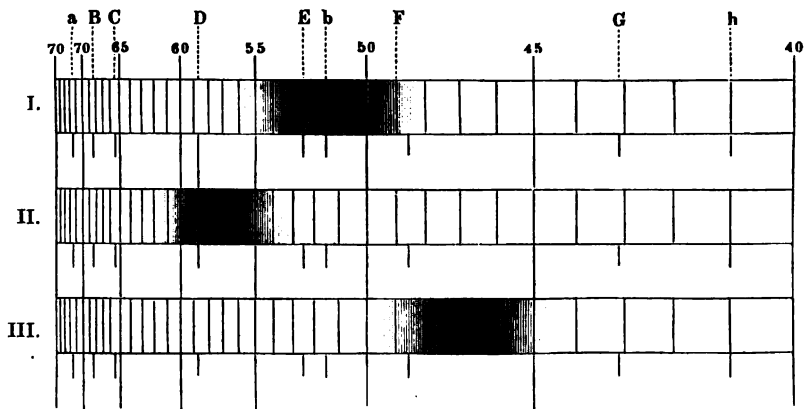
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
625	— 575	— 535	— 500	— 475,	445	422

661 Bringt man nun bei so verändertem Spectrum einen doppeltbrechenden Körper in solcher Lage auf den Objecttisch, dass dessen in der Objectebene liegenden Elasticitätsachsen mit den gleichnamigen Elasticitätsachsen des betreffenden verzögernden Plättchens dahingehen oder dieselbe kreuzen, so werden die Müller'schen Streifen, je nach der

¹⁾ Will man das allmälige Wandern der Müller'schen Streifen bei von Roth aus steigenden und sinkenden Farben neben einander zur Anschauung bringen, so benutzt man eine circular polarisirende Doppelplatte (am besten wie sie Steeg und Reuter aus Gyps und Glimmer liefern) und dreht dieselbe, nachdem man die Trennungslinie in die Mitte des Sehfeldes gebracht hat.

Stärke der Doppelbrechung des Beobachtungsobjectes um eine gewisse Strecke nach Roth oder nach Violett hin verschoben. Orientirt man z. B., um die Verschiebungen neben den ursprünglichen Streifen im Sehfeld zu haben, einen sehr schmalen (etwa 1 mm breiten), aus einem dünnen Glimmerplättchen geschnittenen, in Canadabalsam oder Dammarharz eingelegten Streifen, der für sich bei gekreuzten Nicols etwa Weiss I. O. giebt, so, dass die in der Einstelebene wirksam werdende grössere Elasticitätsachse mit der gleichnamigen Elasticitätsachse eines verzögernden Gypsplättchens von Roth II. O. dahin geht (in welchem Falle dieses Roth in dem einfachen Polarisationsapparate auf Blau III. O. erhöht werden würde), dann wird der ursprüngliche Müller'sche Streifen mit der Mitte auf 515 (Fig. 571 I.) für den, soweit er über dem Glimmerstreifen liegt, die ausgelöschte Spectralfarbe wieder hergestellt wird, nach Roth hin soweit verschoben, dass seine Mitte auf etwa 565 trifft (Fig. 571 II.). Wird hierauf die Orientirung so vorgenommen, dass sich die gleichnamigen Elasticitätsachsen kreuzen (wobei in dem einfachen Polarisationsapparate Gelb II. Ordnung erzeugt worden wäre), so erfolgt die Verschiebung nach Violett hin und es nimmt nun der Absorptionstreifen eine Stellung, bei der seine Mitte auf etwa 470 liegt (Fig. 571 III.). Aus diesem Verhalten ist ersichtlich, wie das Wandern der Müller'schen Streifen von dem violetten nach dem rothen Ende des Spectrums hin ein Steigen, die Bewegung von dem rothen nach

Fig. 571.



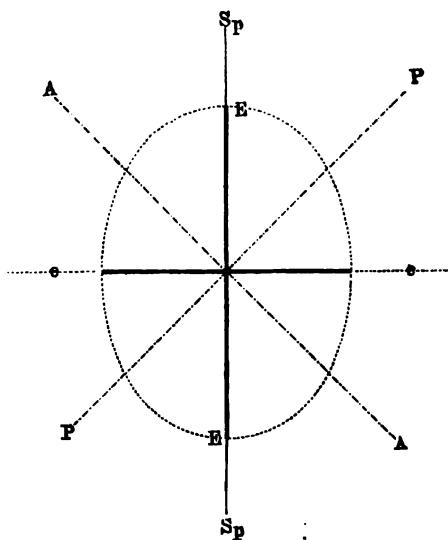
dem violetten Ende hin aber ein Sinken der Farben bedeutet und wie sich im Anschluss hieran die Additions- und Subtractionslage eines in seinen optischen Eigenschaften unbekannten doppeltbrechenden Objectes, d. h. die Lage je der grösseren und kleineren, in je einer der Einstelebene parallelen Schnittebene desselben zur Wirksamkeit gelangenden Elasticitätsachsen bestimmen lässt.

II. Gebrauch des Spectro-Polarisators.

662 Die optischen Theile des Spectro-Polarisators müssen für die damit vorzunehmenden Beobachtungen in folgender Weise angeordnet werden. Stellt $Sp\ Sp$ (Fig. 572) die Richtung des Spaltes vor, so müssen Polarisator und Analysator so orientirt werden, dass ihre Polarisations Ebenen, PP und AA , jederseits mit der Spaltrichtung einen Winkel von 45° machen ¹⁾, während das verzögernde Gypsplättchen so eingeschaltet wird, dass dessen grösste Elasticitätsachse EE mit der Spaltrichtung parallel geht, während die kleinere ee einen rechten Winkel damit bildet.

Ist diese Orientirung vollzogen, so wirft man, nachdem man sich mit Rücksicht auf die Ausmaasse des Beobachtungsgegenstandes für das entsprechende Beobachtungs- und Projectionsobjectiv entschieden und letzteres aufgeschraubt hat, während ein schwaches Objectiv am Tubus angeschraubt ist, mittelst des Spiegels für die Beleuchtung des Spaltrohres volles Licht in den Apparat, beleuchtet die Scala (falls man den Abbe's-

Fig. 572.



chen Spectro-Polarisator verwendet) und rückt das Spectrum durch Handhabung der die Horizontalbewegung vermittelnden Schrauben in die Mitte des Sehfeldes. Hierauf verengt man den Spalt soweit, dass man die Fraunhofer'schen Linien und die durch entsprechende Stellung des Scalenobjectives über das Spectrum projecirten Theilstriche der — nicht zu grell beleuchteten — Scala zugleich mit ihnen scharf sieht.

Nachdem diese Vorbereitungen vollendet sind, bringt man das Object auf den Objecttisch und stellt zunächst das Spectrum mit-

telst des schwachen, noch am Mikroskop befindlichen Systemes durch entsprechende Hebung oder Senkung des Spectro-Polarisators auf die Object-

¹⁾ Es kann zu dem Ende der äusseren, zur Aufnahme des Polarisators dienende Hülse ein Schlitz eingeschnitten werden, der einem an der Fassung des letzteren befindlichen Zapfen zur Führung dient und der so bemessen ist, dass beim Anschlag des Zapfens genau 45° nach der einen oder der anderen Seite erreicht sind.

ebene ein. Hierauf vertauscht man das bislang benutzte Objectiv mit dem zur Beobachtung ausgewählten und bringt das Object genau in den Focus, indem man zugleich die Lage des Spectrums so regulirt, dass man dieses, d. h. die Theilstriche der Scala, die Fraunhofer'schen Linien, sowie die Einzelheiten des Gegenstandes zu gleicher Zeit scharf abgebildet erblickt.

Dreht man jetzt das über den das Spectrum der Breite nach durchziehenden Müller'schen Streifen gebrachte Object in der Einstellebene um die optische Achse des Instrumentes und es bleibt in allen Drehungsrichtungen dunkel, so ist dasselbe einfachbrechend. Giebt es dagegen zwei Stellungen, in denen das erstere in der durch den Interferenzstreifen ausgelöschten Farbe leuchtet, indem es in der einen Stellung gleich einer Verdickung, in der anderen gleich einer Verdünnung des verzögernden Plättchens wirkt, dann ist auf Doppelbrechung zu schliessen. Um zur Entscheidung darüber zu gelangen, in welcher Richtung die grössere und kleinere in der Einstellebene des Objectes zur Wirksamkeit kommende Elasticitätsachse verläuft, muss das Präparat gleichsam in einen dem unter I. besprochenen Glimmerstreifen ähnlichen, das ganze Spectrum durchsetzenden Streifen übergeführt, d. h. es muss das Spectrum mittelst der zur seitlichen Verschiebung dienenden Vorrichtung stetig unter dem Objecte durchgeführt werden, so dass dieses in ununterbrochener Reihenfolge über sämtliche Spectralfarben zu liegen kommt. Tritt dabei eine Verdunkelung des Objectes über einem, dem rothen Ende des Spectrums zugewandten Farbenbezirke ein, so ist dies ein Beweis dafür, dass es sich in der „Additionslage“ befindet und dass seine grössere Elasticitätsachse mit derjenigen des verzögernden Plättchens parallel gerichtet ist. Wird dagegen die Verdunkelung in dem nach dem violetten Ende gelegenen Theile des Spectrums beobachtet, so hat man das Object in der „Subtractionslage“ eingeschaltet und es geht seine grössere Elasticitätsachse mit der kleineren des verzögernden Plättchens parallel.

Bei kugelförmigen Körpern oder Cylinderdurchschnitten, in denen die zur Wirksamkeit kommenden Elasticitätsachsen radial und tangential dahingehen, hat man die Additionslage, sobald die Quadranten unter $+45^\circ$ in den nach Roth, die unter -45° liegenden in den nach Violett gelegenen Farbenbezirken verdunkelt werden, während auf Subtractionslage zu schliessen ist, wenn das umgekehrte Verhalten eintritt.

In Bezug auf die Wahl der verzögernden Plättchen ist hervorzuheben, dass solche von Roth erster oder zweiter Ordnung insofern den Vorzug verdienen, als sie empfindlicher sind, wie solche höherer Ordnung und demgemäss unter ihrer Verwendung schon bei verhältnissmässig geringer Doppelbrechung des Objectes die dadurch bewirkte Verdickung oder Verdünnung entschieden hervortritt. Ein solches von Roth zweiter Ordnung dürfte insofern vorzuziehen sein, als der demselben angehörige Interferenzstreifen schärfer ist, als derjenige des Roth erster Ordnung. Für manche Fälle kann auch das schon früher empfohlene Uebergangs-

violett der dritten Ordnung gute Dienste leisten, da sein Streifen weiter nach dem rothen Ende liegt und demnach für die Subtractionslage hellere Farbenbezirke, wie z. B. das helle Grün verfügbar werden.

Arbeitet man unter den gehörigen Vorsichtsmaassregeln, namentlich unter sorgfältiger Abhaltung alles störenden fremden Lichtes, dann sind die Erscheinungen der Spectro-Polarisation äusserst scharf und klar und es wird möglich, mittelst derselben noch sehr geringe Grade der Doppelbrechung zur Wahrnehmung zu bringen.

Siebenter Abschnitt.

Zeichnung und Aufbewahrung mikroskopischer Präparate.

Erstes Capitel.

Die mikroskopische Zeichnung.

Wie für den Naturforscher überhaupt, so ist für den Mikroskopiker 663 insbesondere das Zeichnen ein wesentliches Erforderniss, und es muss der angehende Beobachter, falls er die nothwendige Fertigkeit in dieser Kunst nicht besitzen sollte, sich dieselbe anzueignen suchen.

Eine jede Beobachtung ist, wenn sie überhaupt der Wissenschaft zu Gute kommen soll, durch eine deutliche und naturgetreue Zeichnung festzuhalten. Letztere kann durch kein anderes Mittel unnöthig gemacht oder ersetzt werden, und eine auch noch so genaue und eingehende Beschreibung des Beobachteten wird ohne die Beigabe der entsprechenden Zeichnung immer mehr oder minder unverständlich bleiben. Die Anfertigung einer brauchbaren mikroskopischen Zeichnung verlangt indessen durchaus keine so grosse Kunstfertigkeit, wie man sich wohl hier und da einbildet. Die Hauptsache bleibt das Richtigsehen, verbunden mit der zur getreuen Wiedergabe erforderlichen Unbefangenheit und Vorurtheilslosigkeit. Eine sichere, feste Hand, über welche der Mikroskopiker ja ohnedem zur Anfertigung seiner Präparate gebieten muss, sowie die nöthige Geduld thun das Uebrige, und man wird, mit beiden ausgerüstet, es niemals schwierig finden, dasjenige mittelst des Bleistiftes, der Feder oder des Pinsels auf dem Papiere festzuhalten, was für eine wissenschaftlich brauchbare Zeichnung unerlässlich ist.

Man mache es sich gleichsam zum Gesetze, bei jeder Beobachtung sorgfältig alles das zu zeichnen, was für dieselbe von Bedeutung erscheint. Niemals lasse man seine Zeichnungen von fremder Hand ausführen, wie das von mehreren Seiten geschehen ist, noch geschieht und von einzelnen Autoren sogar besonders hervorgehoben wird. Es mögen dadurch wohl die Zeichnungen an Eleganz gewinnen, allein die übrigen Anforderungen, welche man an sie zu stellen berechtigt ist, werden dabei meist sehr stiefmütterlich wegkommen. Mit der gerühmten Unbefangenheit ist es in der Regel nicht weit her, und gerade das nothwendigste Erforderniss, d. h. die Fähigkeit, unter dem Mikroskope richtig zu sehen, bleibt unerfüllt. Ausserdem ist, wie wir später sehen werden, zur Wiedergabe einer mikroskopischen Beobachtung nicht bloss eine einzelne Flächeneinstellung hinreichend, sondern es wird die Combination der verschiedenen, durch einen stetigen Wechsel der Einstellung erhaltenen Bilder erforderlich. — Aus allem dem geht mit Nothwendigkeit hervor, dass werthvolle mikroskopische Zeichnungen nur derjenige zu liefern im Stande sein wird, der selber mit der Beobachtung genügend vertraut ist, dass der Mikroskopiker also sein eigener Zeichner sein muss.

Es muss aus diesen Gründen der mikroskopischen Zeichnung an diesem Orte die nöthige Berücksichtigung zu Theil werden. Doch kann natürlich nicht die Rede davon sein, eine ins Einzelne gehende technische Unterweisung zum mikroskopischen Zeichnen zu geben. Wir können vielmehr hier nur eine allgemeine Anleitung geben, welche zunächst Bezug nimmt auf die zu verwendenden Hilfsmittel und Materialien, und deren Verwendung, dann sich weiter erstreckt auf die Anforderungen, welche man an eine gute mikroskopische Zeichnung stellen muss, und auf diejenigen Seiten der Technik, deren Beachtung namentlich dem angehenden Mikroskopiker bei diesem Theile seiner Arbeit einen möglichst günstigen Erfolg zu sichern im Stande ist.

1. Hilfsmittel und Materialien.

664 **Optische Hilfsmittel zum Zeichnen.** Ueber die Anwendung der verschiedenen optischen Hilfsmittel zum Zeichnen habe ich bereits in dem Vorausgehenden gesprochen. Um sich mit deren Gebrauch recht vertraut zu machen, wird immerhin einige Uebung erfordert, die man sich aneignen muss. Eine Hauptbedingung für die sichere und genaue Ausführung der Umrisse etc. bleibt eine zweckmässige Regelung der Beleuchtungsgrade des Sehfeldes und der Zeichenfläche. Soweit es irgend geht, sollten dieselben einander gleich sein. Für schwächere Vergrösserungen wird man mehr oder minder stark abblenden müssen, wozu namentlich die Cylinderblendungen das geeignetste, nicht leicht zu ersetzende Mittel gewähren. Bei stärkeren Vergrösserungen oder auch bei denjenigen Zeichenapparaten, die einen Lichtverlust bedingen, wird es nöthig, das Zeichenpapier etwas zu beschatten, um das projecirte mikroskopische

Bild mit hinreichender Schärfe zu sehen. Dies führt aber wiederum den Nachtheil mit sich, dass man die Bleistiftspitze nicht scharf genug sieht. Für manche Fälle und namentlich auch dann, wenn es nicht möglich ist, das nachfolgende Mittel anzuwenden, ist es daher zweckmässig, dem Vorschlage Harting's zu folgen, und als Zeichenfläche eine Schiefertafel oder schwarzes Schieferpapier zu benutzen, worauf man mittelst eines Schiefer- oder Kreidestiftes zeichnet. Am einfachsten und sichersten wird die gleichmässige Erhellung von Zeichenfläche und Sehfeld hergestellt, wenn man in die Bahn der von der Zeichenfläche nach dem projicirenden Apparate verlaufenden Lichtstrahlen Rauchgläser von geeignetem Tone einschaltet, wie dies bei der Abbe'schen Camera lucida geschehen ist. Für die Camera von Nabet, von Milne-Edward u. Doyère u. A. lassen sich die entsprechenden Vorrichtungen zur Aufnahme der Rauchglasplatten leicht anbringen und müssen für die Art derselben die jedesmaligen Umstände maassgebend sein. Um die Zeichenfläche unverrückt in ihrer Lage zu erhalten, befestigt man dieselbe auf dem Zeichenpulte, dessen man, um die erstere in der richtigen Entfernung zu haben, die hier natürlich mit Rücksicht auf den durch die Sehweite des Beobachters bedingten Abstand der Zeichenfläche von dem Angenpunkte (der Austrittspupille des Mikroskopes) nach der Formel

$$N = \frac{y^*}{y} \cdot \frac{X}{x^*}$$

bestimmt werden muss, auch dann bedarf, wenn die Ca-

mera lucida das Bild auf eine horizontale Ebene projicirt. Sehr gut eignen sich hierfür die kleinen, mit breiten Messingknöpfen versehenen, sogenannten Aufspannzwecken, die man leicht eindrücken und wieder wegnehmen kann. Wenn man nicht Zeichnungen anzufertigen hat, welche die Grösse des Gesichtsfeldes übersteigen, so schneidet man sich Papier oder Schieferpapier in quadratische, etwa jener Grösse gleichkommende Blättchen, weil diese sich am bequemsten behandeln lassen. Um die Originalzeichnungen von der ersten Skizze aus auf die Tafeln zu übertragen, paust man erstere auf die bekannte Weise durch und erhält so in den Umrissen und den relativen Verhältnissen der einzelnen Theile getreue Copien, denen man die nothwendige weitere Ausführung zu Theil werden lässt.

Zeichenmaterialien. Naturgetreue und schöne Zeichnungen be- 665
dingen zu ihrer Ausführung das entsprechende Material. Als solche kommen namentlich Papier, Bleistifte, Zeichenfedern, Pinsel und einige wenige Farben in Betracht.

Für die gewöhnlichen histologischen Zeichnungen, mögen sie mit Stift, Feder oder Pinsel ausgeführt werden, eignet sich ein festes, glattes und weisses Zeichenpapier am besten. Ausgezeichnet ist das Papier von Whatmann, weniger gut habe ich die französischen Zeichenpapiere gefunden. Für Zeichnungen, die mehr Körperlichkeit verlangen und mit Tusche ausgeführt werden sollen, bei denen man also laviren muss, ebenso für alle solche, bei denen Wasserfarben Anwendung finden, ist

ein weniger glattes, feinkörniges Papier (Whatmann) zweckmässiger, weil sich auf diesem die Farben leichter verarbeiten lassen. Die Körnung darf indessen nicht so stark sein, dass die Reinheit der Umrisszeichnung leidet.

Von Bleistiften wähle man nur die anerkannt besseren Sorten. Als sehr brauchbar sind namentlich die bekannten Faber'schen Stifte zu empfehlen. Ihnen ganz nahe kommen die Stifte von Rehbach, sowie von J. S. Staedler in Nürnberg. Will man den Bleistift bloss zur ersten Anlage der Umrisse benutzen, so reicht man mit einer mittelharten Sorte, etwa Nr. 3 von Faber, aus, soll derselbe dagegen zur vollen Ausführung dienen, so muss man auch die weichen Nummern Nr. 2 und 1 von Faber oder diesen entsprechende Nummern anderer Fabrikanten besitzen.

Die Zeichenfeder lässt sich mit gutem Erfolge zur Ausführung der Umrisszeichnungen verwenden, und dürfte deren Handhabung gewiss Manchem weit leichter werden, als die des Pinsels. Es eignen sich als solche vorzüglich die sogenannten lithographischen Federn, ebenso die englischen Zeichenfedern von Bowmann, weil man mit denselben je nach dem Druck die feinsten Nuancen in der Stärke der Striche von den zartesten Contouren bis zu den starken Schattenlinien ausführen kann. Auf keinen Fall wende man sich zu den wohlfeilen Federn dieser Art, die in der Regel nur eine harte Linie geben und für die starken Schatten kaum zu gebrauchen sind.

Der Pinsel wird sowohl für Umrisse wie für Schatten- und Farbenanlagen gebraucht, und muss man je nach der Bestimmung eine Auswahl verschiedener Pinsel besitzen.

Für die Umrisse benutzt man solche mit feiner Spitze und sind zu diesem Zwecke die in der Wassermalerei neuerdings gebräuchlichen feinen, rothen und schwarzen Marderpinsel besonders zu empfehlen. Die Ausführung der Umrisse mittelst des Pinsels fordert allerdings mehr Uebung in dem Gebrauche, dagegen lässt sich mit demselben, wenn man letztere einmal erworben hat, sehr rasch arbeiten, und es erlangen die Figuren eine grössere Weichheit, als wenn jene mit der Feder gezeichnet werden.

Zu den Schatten- sowie zu den Farbenanlagen benutzt man breitere Pinsel; zum Verwaschen endlich eignen sich am besten längere Zeit im Gebrauch gewesene, deren Spitze bereits abgestumpft ist.

In der Auswahl der Pinsel sei man vorsichtig, und lasse sich nicht durch einen etwas hohen Preis abhalten, nur aus den besten und feinsten Sorten seinen Vorrath anzuschaffen oder zu ergänzen. Nichts rächt sich bei der Ausführung der Zeichnungen mehr, als der Gebrauch schlechter Pinsel.

Für die Farbengebung eignen sich für unsere Zwecke eigentlich nur Wasserfarben. Von Oelfarben möchte nur ausnahmsweise und zwar in einzelnen, später zu erwähnenden Fällen Anwendung zu machen

sein, vorausgesetzt, dass man sich mit der Technik dieser Malerei etwas vertraut gemacht hat. Als die besten Farben hebe ich die englischen Wasserfarben von Ackermann und Winsor & Newton und zwar sowohl in Stücken, als in Porzellankästchen (feuchte Wasserfarben) hervor, welche sich namentlich ihrer Durchsichtigkeit halber zu den in Frage kommenden Zeichnungen eignen. Die Pariser Honigfarben, sowie die Farben in Zinnbüchsen, die ich zu anderen Zwecken benutze und hier und da für die mikroskopische Zeichnung versucht habe, eignen sich meinen Erfahrungen nach weniger gut, als jene, und sind auch etwas schwieriger zu behandeln. Man braucht im Ganzen nur wenig Farben, und kommt recht gut mit folgenden aus: Gummigutt oder Indischgelb und Indigo geben die weniger glänzenden Grüne, während man für die glänzenden Grüne Saftgrün, Brown pink oder Gummigutt mit Berlinerblau oder Indigo mischt. Namentlich erhält man durch Brown pink und Indigo wunderschöne Schattengrüne. Berlinerblau wird sowohl für sich, als in Verbindung mit Carmin zu den violetten Mischungen gebraucht. Ultramarin oder Cobaltblau dient namentlich zur Hebung der blauen Farbentöne, und lässt sich geeigneten Falles recht gut verwenden, ebenso liefert dasselbe mit Carmin feurige violette Töne. Für die verschiedenen braunen Farbentöne reicht man mit gebrannter Terra Sienna und Sepia aus, denen man je nach Erforderniss noch gebrannten Ocker oder auch Carmin zur Hebung beimischt. In einzelnen Fällen wird man von dunklerem, als dem obigen Gelb, etwa von Chromgelb, und hier und da von Zinnober Gebrauch machen müssen.

Seit einer Reihe von Jahren sind von H. W. Sussner in Nürnberg farbige Oelkreidestifte unter dem Namen Creta polycolor in den Handel gebracht und auch von anderen Fabrikanten nachgeahmt worden, die sich für manche Farbentöne recht gut eignen, wenn man ein Papier (keineswegs aber Tonpapier) anwendet, das einen guten Auftrag gestattet, und dem nothwendigen Gebrauch des Wischers entspricht. Wo man eine absolut getreue Wiedergabe der Farbentöne verlangt, da ist die Handhabung insofern erschwert, als sich die Mischöne nicht leicht erreichen lassen. Wo es dagegen nur auf eine mehr andeutungsweise Farbengebung ankommt, da lassen sich dieselben empfehlen, indem sie ein rasches Arbeiten gestatten. Von diesen Stiften lassen sich auch die weissen gut gebrauchen, wenn man auf dunkeltem (namentlich Oelgrunde) weiss zu zeichnen hat, wie z. B. bei den Polarisationserscheinungen.

II. Ausführung der Zeichnung.

Erfordernisse einer mikroskopischen Zeichnung. Die Anforderungen, welche an eine gute wissenschaftliche Zeichnung gestellt werden müssen, sind folgende:

1. Es muss dieselbe naturgetreu sein, d. h. genau das wiedergeben, was man beobachtet hat. Um diese Naturtreue zu erreichen, ist

es unerlässlich, dass man für das darzustellende Object selber das richtige Verständniss mitbringt, d. h. dass man das Verhältniss seiner einzelnen Theile zu einander, sowie deren Bedeutung für das Ganze richtig erkannt hat. Mit einem Worte, man muss zuerst richtig beobachtet und den Gegenstand allseitig untersucht haben, und dann erst zur Zeichnung schreiten.

Diese Forderung fällt aber keineswegs mit der zusammen, dass die Zeichnung eben nur das und nichts weiteres enthalte, als was uns eine bestimmte Flächeneinstellung des Gegenstandes zeigt, oder dass Alles, was in dem Sehfelde erscheine, auch von der Zeichnung wiedergegeben werden müsse.

Das Mikroskop dient dazu, unserem Gesichtssinne zu Hilfe zu kommen, und für den Betrachtenden soll eben die Zeichnung momentan dieses Hilfsmittel ersetzen, ohne dass derselbe genöthigt wäre, für sich alle die Einzelanschauungen zu wiederholen, welche zusammen das Resultat der Beobachtung ausmachen und durch die verschiedenen Einstellungen erreicht worden sind. Die mikroskopische Zeichnung soll eine Anschauung gewähren, welche der gewohnten Anschauungsweise mit blossem Auge möglichst nahe kommt. Da wir nun gewohnt sind, die uns umgebenden Gegenstände körperlich, d. h. nach den drei Dimensionen des Raumes ausgedehnt, aufzufassen, so muss jene diese Auffassungsweise soweit als erlaubt und möglich zu unterstützen suchen.

Nun übersehen wir aber mittelst des Mikroskopes bei stärkeren Vergrösserungen nur das in einer ebenen Fläche Befindliche mit voller Bestimmtheit, und müssen die Körperlichkeit der Objecte unserem Sinne mit Hilfe der verschiedenen Einstellungen, die wir oben schon als ein wichtiges Moment der Beobachtung kennen gelernt haben, zur Anschauung bringen. Es wäre sonach eine verkehrte Forderung, wollte man von der mikroskopischen Zeichnung in solchem Falle verlangen, dass sie nur ein einzelnes Moment der Beobachtung darstellte. Ich brauche nur an ein paar leicht verständliche Beispiele zu erinnern, um dies klar zu machen.

Sollen wir z. B. die ziemlich weiten netzförmigen Gefässe der Gartenbalsamine in der Zeichnung wiedergeben, so würde uns das Mikroskop, auf die Ränder derselben eingestellt, nur von den diesen zunächst gelegenen Parthien ein scharfes Bild geben, während die Mitte gleichsam von einem Nebel umhüllt wäre, und umgekehrt müsste auf die Mitte eingestellt nur diese scharf gezeichnet, die Ränder dagegen undeutlich und verwaschen erscheinen. Erst die verschiedenen stetig einander folgenden Einstellungen vermögen eine Gesamtanschauung eines solchen Gefässes zu geben. Diese aber soll gerade die Zeichnung repräsentiren, und sie muss uns mit voller Bestimmtheit in dem auf der Fläche des Papiers ausgebreiteten Bilde entgegentreten.

Man darf sich daher bei solchen Zeichnungen nicht auf einfache Striche beschränken, die immer nur ein flächenhaftes Bild gewähren,

sondern es müssen die der körperlichen Anschauung entsprechenden Licht- und Schattenverhältnisse wohl beachtet werden.

Aehnlich verhält es sich bei der Darstellung von mikroskopischen Krystallen. Für diese gewährt eine einzige Flächeneinstellung ebenfalls niemals eine anschauliche Erkenntniss, und es sind in der Zeichnung immer die Resultate der verschiedenen Durchschnittsansichten zu vereinigen.

2. In den genannten Erfordernissen liegt schon ein Schritt zur Erfüllung der zweiten Anforderung der Deutlichkeit und Verständlichkeit. Diese bedingt aber noch ferner, dass aus der Wiedergabe der mikroskopischen Beobachtung alles dasjenige ausgeschlossen bleibe, was nicht zu dem Gegenstande selbst und dessen Verständniss gehört. Es wird immer nur einzelne Fälle geben, in denen man das eigentliche Object der Beobachtung isolirt von allen umgebenden Gewebe- und Elementartheilen vor sich hat. Alles, was nicht zu dem Objecte selbst gehört, darf daher nicht nur, sondern soll in der Zeichnung entweder ganz wegbleiben, oder doch nur in solcher Weise angedeutet werden, dass es die Anschauung dessen nicht beeinträchtigt, worauf es hauptsächlich und allein ankommt.

Um das Verständniss zu erleichtern, muss die Zeichnung sich so genau als möglich an die Maassverhältnisse des mikroskopischen Bildes halten. Es müssen nicht nur alle nothwendigen Einzelheiten darin erscheinen, sondern gegeneinander auch dieselben Verhältnisse einnehmen, wie in dem letzteren. Namentlich ist die genaueste Beachtung dieser Forderung überall da geboten, wo es sich um zu controlirende Maassbestimmungen handelt. Hier sollte man daher seine Skizzen niemals mittelst der freien Hand, sondern mit Hilfe der Camera lucida entwerfen, und die zu veröffentlichenden Zeichnungen später genau danach ausführen. Es bedarf dann nur der Beisetzung der Vergrösserung, um hiermit dem Leser eine vollkommen sichere Controle der Maassbestimmungen zu ermöglichen.

Schematische Zeichnungen. Ehe ich zu den Angaben über die 667 technische Ausführung der Zeichnungen übergehe, kann ich nicht umhin, auf eine Art von Zeichnungen zurückzukommen, die man selbst noch in der neueren Zeit in einzelnen Abhandlungen und Werken findet und die, vereinzelte Fälle ausgenommen, gänzlich zu verwerfen sind. Es sind dies die sogenannten schematischen Zeichnungen. Durch dieselben lernt man nicht nur Nichts, indem sie keine Anschauung der Natur geben, sondern in den meisten Fällen erwecken sie ganz falsche Vorstellungen, weil in der Regel der Beobachter zu viel von seiner individuellen Anschauung hineinträgt, die Sache mehr zeichnet, wie er sie sich denkt, und so die Natur gleichsam in sein Schema zwingt. Nur in solchen Fällen, wo mehrere Einzelanschauungen, die in der Beobachtung nur getrennt von einander vorkommen, in einer Gesamtanschauung auf einander bezogen werden sollen, oder wo es sich um Wiedergabe

der Anordnung der grössere Gewebemassen (Gefässbündel u. dergl.) zusammensetzenden verschiedenen Elemente handelt, bei der es nicht sowohl auf die feineren Struktureinheiten der Zellen etc., als auf einen Gesamtüberblick ankommt, kann man sich sogenannte halbschematische Figuren gestatten, bei denen z. B. dünnwandige Zellen mittelst einfacher feiner, dickwandige mittelst stärkerer dunklerer Linien angegeben werden u. dergl., die im Uebrigen aber doch ganz und gar auf der Natur beruhen. Dann ist dies aber immer anzugeben. Wo bestimmte Erscheinungen oder Formen wiederzugeben sind, da halte man dieselben nur durch ein getreues Bild fest, lasse sich niemals durch die Mühe, die eine sorgfältig und genau ausgeführte, auf gründliche Beobachtung fussende Zeichnung verlangt, von dieser abhalten, und suche nicht den fremden Beschauer durch ein paar hingeworfene Striche und Zeichen abzufinden, die aus einer meist oberflächlichen Beobachtung geschöpft sind.

2. Art der Ausführung mikroskopischer Zeichnungen.

668 Geben wir zu der eigentlichen Technik, d. h. zu der Ausführung der mikroskopischen Zeichnung über, so muss auch in dieser Beziehung gewissen Anforderungen Genüge geschehen. Obwohl eine streng künstlerische Ausführung nicht verlangt wird und werden kann, so sollte man es sich doch im Allgemeinen zum Gesetze machen, seinen Zeichnungen einen möglichst hohen Grad von Correctheit und Sauberkeit zu geben, und bei deren Ausführung eine geringe Mühe nicht scheuen. Schon die oben gestellten Anforderungen bedingen diese Eigenschaften, indem es ganz und gar nicht gleichgiltig ist, ob eine Linie zarter oder schwächer gezeichnet, ob die Entfernung zweier nebeneinander verlaufender Linien grösser oder kleiner angegeben wird. Ebenso bedingt die Darstellung des Körperlichen eine wohl zu beachtende Wiedergabe der Licht- und Schattenverhältnisse. Wer die Rücksichtnahme auf diese Dinge für Effecthascherei ansieht und dieselbe für unnützes Beiwerk erklärt, der hat meiner Ansicht nach wenig Verständniss für eine getreue und verständliche Zeichnung.

Dass unter einer fleissigen, correcten und schönen Ausführung die Treue leide, wie von manchen Seiten behauptet wird, ist doch wohl keineswegs vorauszusetzen, da gerade sie uns zu einem häufigen Vergleich zwischen Original und Copie veranlasst, und die allseitige Auffassung während der Beobachtung schärft. Wer es nicht zu einer geschickten Führung von Stift, Feder oder Pinsel bringen kann, der möge sich begnügen, durch einfache Striche anzudeuten, was der Andere der Natur entsprechend weiter auszuführen versteht, suche aber nicht besser ausgeführte Bilder herabzusetzen.

Correcte und schöne, mit allen erforderlichen Einzelheiten ausgestattete Figuren gewähren dem Beschauer neben dem besseren Ver-

ständniss eine höhere Befriedigung, als rohe, faserige und schablonenartig steife, nichtssagende Bilder. Es ermüdet bei dem Studium einer wissenschaftlichen, mit Figuren ausgestatteten Abhandlung weit mehr, wenn man erst aus eigener Erinnerung sich ein plastisches Bild construiren muss, als wenn uns dieses schon in der Zeichnung frappant entgegentritt.

Beispiele, welche diesen Unterschied darthun, werden dem in der histologischen Literatur Bewanderten in hinreichender Zahl gegenwärtig sein. Hinter wie viele Figurenerklärungen möchte man nicht, wenn man das Bild mit dem vergleicht, was man selbst im Mikroskope angeschaut hat, ein Fragezeichen setzen? — Freilich ist hieran der Autor nicht immer selbst Schuld, da oft die sorgfältigst ausgeführten Figuren durch den Holzschneider, den Lithographen, oder beim Drucke in der empfindlichsten Weise verdorben werden. Es ist eben nicht Jeder im Stande, eine mikroskopische Figur in der rechten Weise zu copiren, und sollte man daher auch in dieser Beziehung auf die richtige Wahl des Künstlers bedacht sein. Leider aber hängt diese nur in seltenen Fällen von dem Mikroskopiker ab, und er muss sich dem Wunsche der Verleger unterordnen. Am besten würde es allerdings sein, wenn der Beobachter seine Figuren selbst auf den Stein, das Holz oder das Kupfer zu übertragen verstünde. Da das aber einmal nicht immer angeht, weil dazu wieder gewisse Kunstfertigkeiten gehören, so sollten wissenschaftliche Figurentafeln, wo es thunlich ist, unter der Aufsicht der Autoren oder doch fachkundiger Männer ausgeführt werden. Nur wo sich die betreffenden Künstler unter dem Beirathe von Fachmännern herangebildet haben, da kann man ihnen solche Arbeiten mit vollem Vertrauen überlassen.

Umrisszeichnungen. Die meisten Zeichnungen, welche in der mikroskopischen Praxis vorkommen, sind einfache Umrisszeichnungen, wie z. B. bei den fertigen Pflanzengeweben, bei manchen thierischen Geweben und Elementartheilen. Hier wird es in der Regel genügen, die mittelst der Camera lucida entworfenen Umrisse mit Zuhilfenahme des betreffenden Präparates, welches man unter dem Mikroskope hat, zu corrigiren und mit Rücksichtnahme auf Licht- und Schattenseite rein auszuführen. Wo man in Höhlungen hineinsieht, da sind die Schatten immer etwas tiefer, als da, wo die Contouren benachbarter Gewebelemente zusammenstossen. Jene müssen daher auch in der Zeichnung in der entsprechenden Stärke ausgeführt sein, um der Flächenansicht die erforderliche Körperlichkeit zu verleihen. Eine recht genaue Betrachtung des mikroskopischen Bildes wird hierfür die besten Winke an die Hand geben. Wo auf den Schnitten röhrenförmige oder faserförmige Elementarorgane auftreten, die etwa halbirt sind, da muss aus der Zeichnung erkannt werden, ob man jene oder diese, die untere concave, oder die obere convexe Hälfte vor sich hat, indem, den mit blossem Auge erlangten körperlichen Ansichten entsprechend, im ersteren Falle der stärkste Schatten zur rechten, im anderen zur linken Seite der Achse gelegt wird.

In gleicher Weise muss bei anderen Structuren der Unterschied zwischen Vertiefungen und Erhabenheiten in der Substanz der Membranen oder der Oberflächen hervorgehoben werden.

Ob man bei diesen Zeichnungen Stift, Feder oder Pinsel gebrauche, immer hat man auf Präcision der Umrisse sowie auf deren relative Stärke zu achten, und ist dafür, wenn man mit den beiden letzteren zeichnet, namentlich die Consistenz der Tusche von Bedeutung. Hierüber können indessen keine allgemeinen Vorschriften gegeben werden, und muss man sich eben, ehe man an die Ausführung geht, von dem richtigen Flüssigkeitsgrade überzeugen.

Wenn man mit dem Stifte zeichnet, der indessen nach meinen Erfahrungen keine so bestimmte und reine Ausführung der feinsten Details gestattet, als Feder und Pinsel, benutzt man bei der Anlage grösserer und zarter Schattenparthien den Wischer, mittelst dessen sich eine grosse Weichheit erzielen lässt. Bei Feder- oder Pinselzeichnungen führt man dieselben in der bekannten Wasch- oder Lavirmanier aus.

670 Wiedergabe des Zelleninhaltes etc. Neben den Umrissen der Gewebelemente wird in einer grossen Anzahl von Fällen auch die genaue Wiedergabe des Inhaltes erforderlich. Wo dieser für die histologische und physiologische Bedeutung der betreffenden Elementarorgane oder Gewebe sowie für die Entwicklungsgeschichte von Wichtigkeit ist, da muss die Beschaffenheit desselben aus der Zeichnung ohne Mühe erkannt werden. Es ist daher auf dessen Darstellung die erforderliche Sorgfalt zu verwenden, und man darf sich nicht mit einigen flüchtigen Andeutungen begnügen, die dem Beschauer sagen, da ist Etwas, es aber seiner Phantasie überlassen, das Was und Wie sich auszumalen. Gerade diese Darstellung wird dem Anfänger oft die meiste Mühe verursachen, und es hilft zu deren Ueberwindung nur eine wiederholte und eingehende Beobachtung. Wo der Inhalt keine besondere Bedeutsamkeit besitzt, da mag man ihn mehr derart ausführen, dass nur allgemeinere Charaktere fest gehalten werden.

671 Morphologische Zeichnungen. Erfordern schon die Flächenansichten und namentlich die getreue Darstellung des Inhaltes die Wiedergabe der Körperlichkeit, so ist dies in noch höherem Grade bei morphologischen Figuren, sowie bei den Habituszeichnungen der mikroskopischen Pflanzen und Thiere der Fall. Hier muss uns das betreffende Organ oder das dargestellte Geschöpf in seiner vollen Plasticität entgegen treten, was nicht allein die Beachtung von Schatten und Licht, sondern auch der Perspective erfordert. Derartige Zeichnungen sind daher schon etwas schwieriger auszuführen, allein die nöthige Geduld wird bald zum Ziele führen. Das mikroskopische Bild unterstützt uns hier insofern etwas, als derartige Beobachtungen nur bei schwachen Vergrösserungen vorgenommen werden, welche vermöge der grösseren Sehtiefe die Lage der einzelnen Theile zu einander leichter erkennen lassen und keine so absolute Flächenansicht gewähren, wie die stärkeren Vergrösserungen.

Zur Ausführung bedient man sich entweder des Stiftes und Wischers oder des Pinsels, da die Federzeichnung an zu grosser Härte leiden würde.

Anwendung der Farben. Die Anwendung von Farben wird bei 672 der mikroskopischen Zeichnung vorzugsweise für manche Inhaltselemente der Zellen und Gewebe, dann für die Darstellung von injicirten Gefässen, mikrochemischen Färbungen, Reactionen etc. erforderlich. Auch hier kann nur ein unbedingt treues Wiedergeben des Beobachteten empfohlen werden, indem z. B. Art und Ton der Färbung oft sehr bedeutend zum Wiedererkennen einzelliger organischer Wesen beitragen und bei den Reactionserscheinungen die Schlussfolgerung in Beziehung auf Art und Quantität der betreffenden Substanz ausserordentlich erleichtern. Namentlich bei den chemischen Reactionen ist in dieser Beziehung zu beachten, dass der Text einer Abhandlung sich zunächst an die Zeichnung und einzelne Notizen anzulehnen hat, da ein Aufbewahren von Reactionspräparaten nur selten oder gar nicht möglich ist. Man muss daher gerade für diese Art Zeichnungen sich eine vollständig getreue Wiedergabe zum unabhänglichen Gesetze machen. Es wird dabei nur in den seltensten Fällen von reinen Farben Gebrauch gemacht werden können. In der Regel werden Mischungen erfordert. Hierfür muss man allerdings, um den richtigen Ton zu treffen, entweder Farbensinn und einige Kenntniss der Farben und ihrer Verträglichkeit untereinander mitbringen, oder sich durch genaues Studium der Natur aneignen, wozu eine längere Uebung und Erfahrung nöthig sein wird. Allgemeine Vorschriften lassen sich über diesen Punkt nicht geben, weil sie zu weit von unserm Ziele abführen und doch nicht viel nützen würden. Vielleicht werden wir im speciellen Theile Veranlassung nehmen, hier und da einige Winke einzustreuen. Für jeden Beschauer absolut wahre Reactionsfiguren sind übrigens unmöglich, da bekanntlich kein Gebiet unserer anschaulichen Erkenntniss so sehr von der Individualität abhängig ist, als das der Farbe.

Polarisationsfiguren. Eine eigene Technik erfordern die Zeich- 673 nungen, welche der Darstellung von Polarisationserscheinungen dienen sollen. Für die durch gekreuzte Nicols hervorgerufenen Erscheinungen bedarf es der weissen oder farbigen Zeichnung auf schwarzem Grunde, während die Polarisationserscheinungen bei Anwendung des $\frac{1}{4}$ Glimmerplättchens Weiss und Schwarz auf blaugrauem Grunde, bei Anwendung des gewöhnlich gebrauchten Gypsplättchens vom Roth erster Ordnung eine brillante Farbengebung auf rothem Grunde verlangen. Hier reichen wir, wenn wir naturgetreue Figuren liefern wollen, mit den oben erwähnten Zeichenmaterialien nicht aus, indem sich uns entweder zu bedeutende Schwierigkeiten überhaupt entgegenstellen oder doch eine ausreichend lebendige Farbengebung mit ihren Uebergängen ineinander fast unmöglich wird. Um den passenden Zeichengrund zu haben, kann man in einem Falle, d. h. für dunkles Sehfeld, das käuflich zu habende matte schwarze Papier auf Carton aufgezogen, im anderen Falle entsprechend

gefärbten Carton, der in neuerer Zeit sowohl in dem blaugrauen, wie in dem geeigneten rothen Tone zu haben ist, verwenden. Statt dessen kann man auch ein selbst grundirtes Papier benutzen, dessen Zubereitung ziemlich einfach ist. Gewöhnlicher weisser Carton wird, auf ein Zeichenbrett gespannt, mit einer flüssigen Leim- oder Gelatinelösung ein- oder zweimal bestrichen, bis der Grund hinreichend gedeckt ist, und dann mit Oelfarbe von einem der Farbe des Sehfeldes entsprechenden Farbentone grundirt. Die Ebenung der Oberfläche geschieht in derselben Weise wie bei der Ausarbeitung grösserer Flächen in der Oelmalerei. Will man die Fläche noch weiter glätten, so reibt man dieselbe mittelst eines feinen Bimssteines ab.

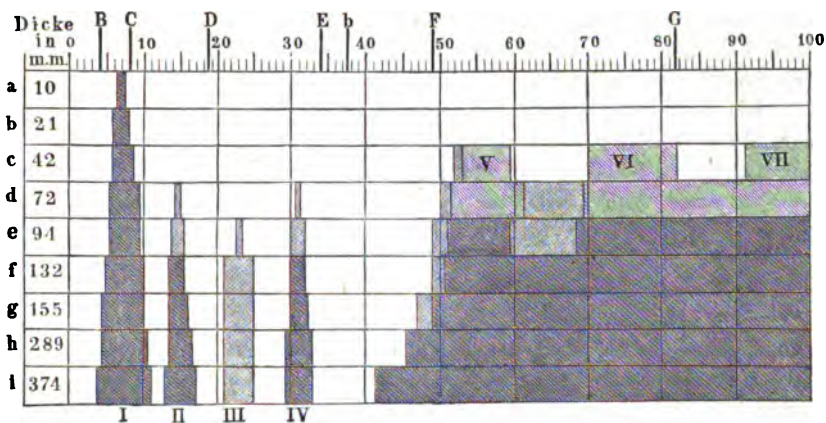
Auf dem erwähnten farbigen Carton lässt sich ausgezeichnet mit Oelkreidestiften zeichnen, namentlich gewähren die weissen Bilder auf schwarzem Grunde, bei Schärfe und Bestimmtheit, einen prächtigen Anblick. Für feines Detail und Contouren verwendet man indessen besser Kremserweiss in Oel, welches für die verschiedenen Abstufungen mit Rebenschwarz gemischt wird. Auf dem blaugrauen Grunde zeichnet man mit schwarzen und weissen Stiften. Für die Farbengebung auf dem rothen Gypsgrunde benutzt man die entsprechenden Farben der genannten Stifte, oder, wenn die Farbe nicht ausdrucksvoll genug wird, Oelfarben. Selbstverständlich muss bei den Oelfarben, falls man nicht den selbstgrundirten Zeichengrund benutzt, Papier oder Carton zuerst mit einer Leimlösung bestrichen werden, damit die Farben nicht einschlagen.

- 674 **Spectralbilder.** Zur Darstellung der Absorptionsbilder im Allgemeinen bedarf es keineswegs der Ausführung der Banden und Absorptionen über dem in Farben ausgeführten continuirlichen Spectrum. Es genügt, wenn dieselben in der bei den nicht farbigen Figuren in Anwendung gebrachten Weise mittelst Bleistiftes und noch besser mittelst Tusche über einer der zur Lagenbestimmung benutzten Scalen, welche man, auf 100 mm vergrössert, sich selbst gezeichnet oder in Lithographie ausführen gelassen hat, an den betreffenden Stellen eingetragen werden. Soll das Auftreten neuer Absorptionsbanden oder das Anwachsen derselben, sowie der Endabsorption bei steigender Concentration oder Schichtenhöhe übersichtlich nebeneinander dargestellt werden, so führt man dieses am geeignetsten in der Weise aus, wie es die Figur 568, Seite 970, für das Absorptionsspectrum des Chlorophylls bei je 2, 5, 10, 20, 40, 60 und 100 mm Schichthöhe von oben nach unten zur Darstellung bringt, oder wie es von Pringsheim bei der Darstellung seiner spectralanalytischen Untersuchungen der Chlorophyllfarbstoffe (Monatsberichte der k. Akademie der Wissenschaften in Berlin, October 1874) geschehen ist (Fig. 573). In etwas einfacherer Weise lassen sich die hier in Frage kommenden Erscheinungen durch untereinander gelegte Curven darstellen, indem man diese auf einer der Scala entsprechend getheilten Horizontallinie als Abscisse von den absorptionsfreien Stellen des Spec-

trums aus um so höher ansteigen, und sich um so weiter ausdehnen lässt, als die Absorptionen stärker werden und sich weiter ausbreiten.

Bei den Darstellungen der im spectral zerlegten polarisirten Lichte sich ergebenden Thatsachen wird wohl für gewisse Fälle das in Farben ausgeführte Spectrum als Unterlage benutzt werden müssen. Aber auch hier dürfte in den meisten Fällen die Benutzung der Scala genügen, indem man den Absorptionsstreifen des Gypsplättchens, sowie die durch die bei Verschiebung des Spectrums durch die doppelt brechenden Objecte

Fig. 573.



herbeigeführten Verdunkelungen in den entsprechenden Farbenbezirken beziehentlich zwischen oder auf den betreffenden Wellenlängen einzeichnet.

Anwendung der Photographie. Schliesslich glaube ich noch 675 auf die seit längerer Zeit von einigen Seiten aufgetauchten Versuche zurückkommen zu müssen, welche die mikroskopische Zeichnung durch photographische Aufnahmen zu ersetzen streben. Für einzelne Gegenstände, wie z. B. die Kieselschalen der Diatomeen etc., ist das photographische Bild ganz passend, dagegen wird dasselbe nach allem, was mir aus eigener Anschauung in der neuesten Zeit bekannt geworden ist — wenigstens vorläufig noch — keineswegs im Stande sein, die von dem Beobachter gefertigte mikroskopische Zeichnung zu ersetzen. Die Photographie mag zwar alles das, was bei einer bestimmten Flächeneinstellung in derselben horizontalen Ebene des Gesichtsfeldes erscheint, mit absoluter Treue wiedergeben. Allein sie wird die im Vorangehenden gestellten Bedingungen der Treue, Deutlichkeit und Verständlichkeit nicht zu erfüllen und somit nicht im Stande sein, unserer productiven Einbildungskraft in der erforderlichen Weise zu Hilfe zu kommen. Ich habe auch keine einzige photographische Darstellung aus der Histologie gesehen, welche dem aus der Beobachtung gewonnenen Gesamtbilde entsprochen

hätte, indem sich mit den scharf und bestimmt gezeichneten Stellen der Einstellungsebene immer verwischte, vergrösserte und oft verzerrte Diffusionsbilder mischen, welche dem ganzen Bilde den Charakter der Unbestimmtheit und Unklarheit aufdrücken. Ganz abgesehen also von den höheren Herstellungskosten und der Ungleichheit der Abdrücke, welche mit der Illustration von einzelnen Abhandlungen oder von ganzen Werken verknüpft sein würden, kann meiner Ueberzeugung nach auch dann die Photographie die zeichnende Hand des Mikroskopikers nicht ersetzen, wenn es gelingen sollte, die Copie derselben unmittelbar auf den Stein abzudrucken. Denn wenn auch aus diesem Verfahren gelungene Darstellungen einzelner Gegenstände hervorgehen können, so werden wir doch bei dem grössten Theile der unseren Beobachtungen zu Grunde gelegten Präparate im Stiche gelassen werden.

Die Bedeutung für die mikroskopische Messung dürfte im Allgemeinen ebenfalls kaum so hoch anzuschlagen sein, wie das von Gerlach hervorgehoben worden ist. Die von mir weiter oben geschilderte Messungsmethode, wobei die Copie des Objectmikrometers als Maassstab benutzt wird, bietet für weitaus die grössere Anzahl der Objecte dieselbe Sicherheit. Nur für sehr kleine Grössenverhältnisse dürfte die Photographie Vortheile bieten.

Eine höhere Bedeutung dagegen mag dieselbe als Hilfsmittel der Untersuchung gewinnen, um sehr feine und schwierig zu ermittelnde Structurverhältnisse aufzuspüren. An dem photographischen Bilde nehmen nämlich auch noch solche stärker brechbare (übeviolette) Strahlen Theil, welche von dem Auge nicht mehr aufgefasst werden. So kommt es, dass das Netzhautbildchen und das auf der empfindlichen Glasplatte des photographischen Apparates entstehende Bild nicht nothwendig identisch sein müssen, sondern dass in jenen noch Einzelheiten festgehalten sein können, welche dem Auge bei der Beobachtung nothwendigerweise entgehen. Einen Beweis hierfür liefern theils die durch englische Mikrophographen namentlich von Wenham, erlangten Resultate, ebenso das, was Gerlach in seinem kleinen vorzüglichen Schriftchen (die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung. Leipzig 1862) S. 12 u. folg. darüber in Erfahrung gebracht hat¹⁾. Mündliche Mittheilungen von Hartnack bestätigen diese Angaben ebenfalls, indem es, gemäss der selben, Bertsch in Paris schon vor Jahren gelungen ist, die Zeichnung der schwierigeren Probeobjecte auf photographischem Wege schon mit solchen Systemen zur Anschauung zu bringen, die bei der gewöhnlichen Beobachtungsweise keine Spur davon zeigen. Ein zweites Moment für die Unterstützung der Forschung liegt in der möglichen Steigerung der Vergrösserung. So ausgezeichnet auch die Wirkung der neueren und

¹⁾ Was die dort angeführte knotenförmige Verdickung der lichten Substanz der quergestreiften Muskelfasern betrifft, so habe ich dieselben auch im Mikroskope bei den Muskeln des Menschen ganz so wahrgenommen, wie sie in der Photographie erscheinen.

neuesten herrlichen Objectivsysteme, namentlich der Eintauchsysteme für Wasser, wie für Cedernholzöl für gerades Licht ist, so giebt es doch eine Grenze, über die wir in Folge der Unmöglichkeit einer weiteren Steigerung der numerischen Apertur und damit der Vergrößerungen nicht hinauskommen können. Dass aber unter Anwendung der Photographie bei viel stärkeren Vergrößerungen, als wir sie bei der normalen Beobachtung anzuwenden vermögen, noch manche, uns bis jetzt entgangene, feine Structurmerkmale aufzuspüren und deutlicher oder doch bequemer zu sehen seien, kann kaum einem Zweifel unterworfen sein. Und gerade in der Wirkung der aktinischen und der Betheiligung der stärker brechbaren Lichtstrahlen liegt ein Mittel, die Vergrößerungen mit wirklichem Vortheile in gewissem Maasse zu steigern. Hätte man z. B. ein Object mittelst eines Eintauchsystemes von etwa 2 mm Brennweite aufgenommen, welches (ohne Ocular gebraucht) bei einer Entfernung von 350 mm des Objectes von der empfindlichen Glasplatte eine 250 fache Vergrößerung gewährt, und nimmt hierauf das erste Negativ bei einer 20 fachen, das zweite (was, um eine richtige positive Copie zu erhalten, nothwendig ist) bei einer nur 5 fachen Vergrößerung auf, so erhält man eine lineare Gesamtvergrößerung von nicht weniger als 25000 fach, bei der noch Structurmerkmale deutlich werden könnten, die man vorher wegen ihrer Kleinheit im photographischen Bilde nicht deutlich oder gar nicht wahrzunehmen vermochte. Eine Grenze findet diese Steigerung der Vergrößerung nur in dem Sichtbarwerden des Silberniederschlages auf der zur ersten Aufnahme verwendeten Glasplatte, und kann die eben erwähnte hundertfache Steigerung der ersten Vergrößerung durch Verdünnung der photographischen Lösungen, sowie durch eine zweckentsprechende, eigenthümliche Behandlung jener Glasplatte noch ganz gut erreicht werden.

Zweites Capitel.

Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate.

Nächst dem Festhalten der mikroskopischen Beobachtungen durch die Zeichnung ist die Aufbewahrung instructiver, für die Untersuchungsergebnisse beweisender Präparate für den Mikroskopiker von der höchsten Wichtigkeit. Dieselben dienen nicht allein dem Unterricht, indem sie ihn weit anschaulicher und leichter verständlich machen, sondern sie unterstützen auch die eigenen Arbeiten und bieten ein für die Wissenschaft reichlich förderndes Material, indem sie zu jeder Zeit eine Vergleichung und damit ein Zurückgehen von späteren auf frühere Beobachtungen gestatten.

Zu letzterem Zwecke sowohl als zu dem belehrender Demonstration kann man natürlich, wenn sich das Material nicht allzusehr anhäufen soll, nur die gelungensten, sowie die klar beweisenden Präparate aufbewahren. Zur Förderung und Unterstützung der eigenen Arbeiten über einen speciellen Gegenstand aber sollte man, so lange als man mit demselben beschäftigt ist, von dem betreffenden Gegenstande Alles das aufbewahren, was von Wichtigkeit für die Schlussfolgerungen erscheint. Man wird daraus einen reichlichen Gewinn ziehen. Erstlich gewähren die so bewahrten Präparate eine wesentliche Unterstützung bei der Vollendung der Zeichnungen. Dann aber muss die wiederholte Durchmusterung die Beobachtung nicht allein festigen, sondern man wird auch häufig Gelegenheit haben, dieselbe in mancher Beziehung zu berichtigen, zu erweitern und das Eine oder das Andere aufzufinden, was einem vielleicht bei der ersten Untersuchung entgangen und worauf man erst durch den weiteren Verlauf hingewiesen worden ist. Die Aufbewahrung braucht für diesen Zweck kaum umständlich und zeitraubend zu sein. Man bringt die Präparate einfach in ein Uhrsälchen oder eine kleine Glasdose mit der passenden Zusatzflüssigkeit, oder legt sie in einen auf den Objectträger gebrachten Tropfen der letzteren und bedeckt mit einem nicht zu kleinen Deckgläschen. Sorgt man hierauf für Beschränkung der Verdunstung und für gehörigen Schutz vor Staub, so kann man wochenlang alle seine ursprünglichen Präparate zur wiederholten Beobachtung zur Hand haben.

Diejenigen Präparate, welche den Inhalt einer geordneten und instructiven wissenschaftlichen Sammlung bilden sollen, verlangen allerdings mehr sorgfältige und vor Verderbniss schützende Aufbewahrungsmethoden. Diese letzteren sind aber in der neueren Zeit durch die vereinten Versuche und Bemühungen unserer tüchtigsten mikroskopischen Forscher so sehr ausgebildet worden, dass es durchaus keiner erheblichen Schwierigkeit mehr unterliegt, Präparate der verschiedensten Art, und von jeder, selbst der zartesten Beschaffenheit mit Sicherheit für lange Zeit zu erhalten.

Was diese Methoden betrifft, so hängen dieselben natürlich von Art und Beschaffenheit des Objectes ab. Im Allgemeinen bewahrt man die mikroskopischen Präparate entweder trocken, oder umgeben von harzigen Substanzen, sowie von wässerigen und anderen Flüssigkeiten auf. Hiernach hat sich denn auch der Verschluss zu richten.

I. Aufbewahrungsmethoden.

1. Trockene und von Wasser befreite Objecte.

677 Trockene Aufbewahrung. Trocken, d. h. von Luft umgeben, lassen sich nur verhältnissmässig wenige Präparate aufbewahren. Dahin gehören von den eigentlich histologischen Objecten die Knochen- und

Zahnschliffe (Welcker), dünne Schichten von Blutserum und einzelnen Blutkörperchen (C. Schmidt), Horn, Fischschuppen, sowie Kiesel- und Kalkskelette und deren Theile von niederen Thieren, endlich Insectenschüppchen und die Kieselshalen der Diatomeen, wenn es nur auf die Structur dieser selbst, oder namentlich wenn es auf die feinen Zeichnungen auf den letzteren ankommt. Man bringt diese Gegenstände, wenn sie dünn genug sind, einfach auf den Objectträger, bedeckt sie mit einem Deckgläschen und umgiebt dessen Rand mit einer verklebenden Masse, wozu dicke Gummilösung, dickflüssiger Canadabalsam, irgend ein Lack, Wachs und dergleichen gleich gute Dienste leisten. Besitzen die Präparate eine etwas stärkere Dicke, so legt man sie in eine kleine Zelle aus Papier, Lackrähmchen oder Streifen dünnen Glases, worüber weiter unten das Nähere angegeben werden wird, und verfährt dann wie oben.

Aufbewahrung in Balsamen und Harzen. Fast ebenso einfach 678 wie die trockene Aufbewahrung ist die von hierzu unmittelbar geeigneten oder gehörig vorbereiteten Gegenständen in harzigen Substanzen, von denen sich namentlich Canadabalsam, Dammar, Terpentin und Copallack als am meisten geeignet erwiesen haben. Alle diese Mittel dienen gleichen Zwecken und werden ziemlich auf die gleiche Weise verwendet und behandelt.

Der Canadabalsam sowie die ihm verwandten Substanzen eignen sich als Aufbewahrungsfüssigkeit nur für solche Gegenstände, welche entweder vollkommen trocken sind, oder ein vorhergehendes Trocknen, beziehungsweise eine vorbereitende Behandlung mittelst Alkohols und flüchtiger Oele vertragen, und bei welchen die durch das Aufbewahrungsmittel hervorgerufene beträchtliche Aufhellung und Durchsichtigkeit nicht Undeutlichkeit herbeiführt. Von pflanzlichen Gegenständen kann man in diesen Mitteln Schnitte und Schliffe harter Samenschalen und Fruchthüllen, Schnitte von Sporen, und Pollenkörner, die Schalen der Diatomeen, sowie Präparate fossiler Hölzer etc. aufbewahren. Von thierischen Objecten vertragen sie namentlich die Panzer von Insekten und Infusorien, Wurzelfüsslern und dergleichen, ferner die Schnitte und Schliffe von festen Theilen, wie von Zähnen, Knochen, Fischbein, Horn, Muschelschalen, ebenso die meisten Objecte, bei denen man Färbungen der Kernsubstanz etc., sodann Imprägnationen und Injectionen vorgenommen hat, sofern derartig behandelte Präparate durch die erwähnten Vorbereitungsweisen nicht leiden. Ausserdem bilden harzige Substanzen das geeignetste Aufbewahrungsmittel für kleine isolirte Krystalle, ebenso für alle solche Präparate, welche zur Untersuchung im polarisirten Lichte sowie zu photographischen Aufnahmen bestimmt sind.

Für diese Aufbewahrungsweise ist die Vorbereitung der betreffenden Objecte von erheblicher Wichtigkeit. Trockene Präparate, in deren Höhlungen die Luft nicht etwa erhalten werden soll, tränkt man vor dem Einlegen durch und durch mit einem flüchtigen Oele, welches, wenn es längere Zeit einwirkt, ähnlich wie der Alkohol, die erstere aus den Höh-

lungen der Zellen, Fasern etc. austreibt. Man verwendet zu diesem Zwecke in der Regel Terpentinöl, es ist aber das vom Professor Rindfleisch empfohlene Nelkenöl oder Bergamottöl vorzuziehen, weil sich der Canadabalsam besser mit demselben mischt. Solche Gegenstände, welche Wasser enthalten und nicht zu empfindlich sind, befreit man von diesem entweder durch Trocknen oder durch Einlegen in absoluten Alkohol. Das Trocknen darf des Schrumpfens wegen nur nach und nach geschehen, und nimmt man dasselbe im Winter bei mässiger Wärme am Ofen, auf dem Wasserbade oder in dem früher beschriebenen Apparate, im Sommer an der Sonne oder, wo die Präparate hierdurch zu sehr schrumpfen würden, unter eine Glasglocke neben oder über einem Schälchen mit concentrirter Schwefelsäure vor. Nach dieser Operation überträgt man das trockene Präparat zuerst in absoluten Alkohol und dann unmittelbar in Nelkenöl oder auch, nachdem es wieder nahezu trocken geworden, in Terpentinöl.

Zarte und wasserreiche Gewebe, welche in Canadabalsam oder Dammar eingeschlossen werden sollen, bedürfen einer etwas umständlicheren und möglichst sorgfältigen Vorbereitung. Man bringt zu dem Ende das betreffende Präparat, um ihm zunächst sein Wasser zu entziehen, für einige bis 24 Stunden in schwächeren, dann in stärkeren, dann schliesslich in absoluten Alkohol und überträgt es von da in Nelken- oder Bergamottöl. Nach kurzer Zeit ist das Object zum Einschluss in das Harz bereit, in welches es unmittelbar und ohne vorheriges vollständiges Abtrocknen aus dem flüchtigen Oele eingelegt werden kann, indem sich der erstere mit diesem in jedem Verhältnisse mischt.

Beim Einlegen bringt man zuerst einen Tropfen der genannten Harze beziehentlich ihrer Lösungen auf den vorher sorgfältig, nöthigenfalls mit Weingeist gereinigten und etwas erwärmten Objectträger, legt das Präparat auf und giebt einen zweiten Tropfen darüber. Hierauf bedeckt man sorgfältig, indem man das gut gereinigte, mittelst einer Pinette schiefegehaltene Deckglas von der hinteren Kante her allmähig in die horizontale Lage überführt und schliesslich mit dem Hefte einer Präparirnadel ganz langsam niederdrückt, so dass die etwa eingeschlossene Luft entweichen kann. Sollte dies dennoch nicht vollständig geschehen, so hilft ein rasches und nicht zu starkes Erwärmen über der Spirituslampe, oder noch sicherer ein längeres Erwärmen über ganz gelindem Ofenfeuer.

Ein besonderer Verschluss ist bei dieser Aufbewahrungsmethode kaum nöthig, da das an den Rändern des Deckglases hervorquellende Einschlussmittel schon nach wenigen Tagen zu einem hinreichend festen Walle eintrocknet. Ich ziehe es indessen vor, die Ränder des Deckglases zuerst mit einer Lösung des Aufbewahrungsmittels zu umziehen und dann mit einem Saume von Lack zu umgeben, und möchte dies um so mehr geboten sein, wenn man statt Canadabalsams Dammar oder Terpentin verwendet, die beide nur langsam trocknen und immer mehr oder weniger klebrig bleiben, was beim Reinigen des Präparates störend ist.

Zweites Capitel. Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate. 1005

Der Canadabalsam, den man je nach Umständen entweder in gewöhnlichem Zustande oder in Form einer Lösung in Aether oder Chloroform anwenden kann, muss zu unserem Behufe vollständig rein, schön durchsichtig, von weisser oder schwach hellgelber Farbe und ziemlich dickflüssig sein. Da derselbe für die oben geschilderte Einschlussmethode vielfach am geeignetsten erscheint, wenn er ziemlich dickflüssig ist, so muss man ihn, damit er Tropfen bildet, etwas erwärmen. Am besten geschieht dies in der Art, dass man eine kleine Menge desselben mittelst eines unten hakenförmig gebogenen Glasstäbchens aus der Flasche zieht und bis zum Flüssigwerden über die Spiritualampe hält. Dieses Glasstäbchen befestigt man zweckmässig der Art in dem Korke, welcher die weithalsige Flasche schliesst, dass man es höher und tiefer schieben und stets etwas in die Oberfläche des Balsams tauchend erhalten kann. Eine bequeme und reinliche Behandlung gestattet der neuerdings von dem Kaiser'schen Institut in Berlin verzeichnete, in Zinkkapseln eingeschlossene, in Terpentin gelöste Balsam, welcher in beliebig grossen Tropfen ausgedrückt werden kann und gerade die erforderliche Consistenz besitzt.

Für zarte Präparate eignet sich besser als der dickliche Balsam die vom Professor Frey zuerst empfohlene Lösung desselben in Chloroform, der ich überhaupt, nachdem ich sie einmal in Gebrauch genommen, vor dem dickflüssigen Balsam den Vorzug für alle Objecte gebe, weil das ganze Verfahren ebenso bequem, als wenig umständlich und zeitraubend ist. Das Einlegen geschieht bei gewöhnlicher Temperatur, und zwar giebt man mittelst eines Glasstabes einen Tropfen der Lösung auf den Objectträger, legt das Präparat ein und lässt einen zweiten Tropfen Flüssigkeit nachfolgen, um dann vorsichtig das Deckglas aufzulegen. Man muss hier nur darauf achten, dass man nach einiger Zeit, wenn das Lösungsmittel verdunstet und Luft zwischen Deckglas und Objectträger tritt, die Lücke sorgfältig mittelst eines neuen Tropfens der Aufbewahrungsfähigkeit ausfüllt.

Die Dammarlösung, welche namentlich für Tinktionspräparate viele Vorzüge besitzt, kann auch, da sie fast farblos ist und die Structur-einzelheiten weniger aufhellt, für andere Präparate mit Vortheil den Canadabalsam, sowie andere Harzlösungen, z. B. Colophonium, ersetzen. Nach einer Notiz von Pfitzner (Morphol. Jahrbuch v. Gegenbauer B. VI) werden gleiche Theile von Dammarharz, Benzin und Terpentinöl miteinander gemischt in gelinder Wärme bis zur Lösung stehen gelassen, dann die klare Flüssigkeit von dem bleibenden (aus Verunreinigungen des Harzes bestehenden) Bodensatze abgegossen und durch Verdunstenlassen in offenem Gefässe die gewünschte Dichte erzielt. Eine andere, wie ich mich überzeugt habe, recht gute Bereitungsweise ist folgende. Man trägt 10 g gepulverten Dammar in 20 g Benzin ein und lässt sich das Harz bei gewöhnlicher Temperatur darin lösen, wozu etwa 24 bis 48 Stunden erforderlich sind. Die über einem unlöslichen Bodensatze

stehende Flüssigkeit wird nach dieser Zeit sorgfältig abgossen und derselben 4 g reines Terpentinöl zugesetzt, womit das Präparat zum Gebrauche fertig erscheint. Statt der beschriebenen Lösungen kann auch der in der Oelmalerei gebrauchte Dammarlack angewendet werden. Die früher mehrseitig empfohlene Lösung von Sandarak in Alkohol, hat sich nach Anderer und meiner Erfahrung nicht bewährt und kann ich vor deren Anwendung nur warnen.

Wo durch die Behandlung mittelst der flüchtigen Oele nachtheilige Einwirkungen auf das Object zu erwarten sind, da verwendet man statt der voranstehenden Einschlussmittel besser verhärtetes und verdicktes Terpentin, welches sich leicht mit Alkohol mischt und welches man leicht erhält, wenn man Terpentinöl vor Staub geschützt in flachen Gefäßen längere Zeit dem Einfluss von Luft und Licht aussetzt.

- 679 **Serienpräparate.** Der Einschluss in reinen Canadabalsam gestattet die für manche Objecte höchst wichtige Anfertigung von Serienpräparaten aus bei Paraffineinbettung hergestellten Schnitten, welche in der zoologischen Station zu Neapel zuerst von Dr. Giesbrecht ausgeführt worden ist. Das hierbei zu beobachtende Verfahren ist nach dem Genannten folgendes:

Eine Anzahl von Objectträgern wird mittelst einer gut filtrirten Lösung von in Alkohol löslichem gebleichtem Schellack (es giebt auch in Alkohol unlöslichen) mit einem ganz dünnen und vollkommen gleichmässigen Ueberzuge versehen, was dadurch geschieht, dass man einen Glasstab in die Lösung taucht, denselben dann der Länge nach auf den vorher schwach erwärmten Objectträger legt und einmal über dessen Fläche hinführt. Derartig vorbereitete Gläser werden vor dem Gebrauche zunächst mit soviel Nelkenöl bepinselt, als gerade hinreicht, um die zu belegende Fläche des Schellacküberzuges schwach anzufeuchten, dann verstreicht man das Oel nach vorherigem, ganz gelindem Erwärmen des Objectträgers so lange, bis es nicht mehr die Neigung zeigt, zusammenzurinnen, sondern überall gleichmässig über die Fläche ausgebreitet erscheint. Die trocken ausgeführten Schnitte werden nun unmittelbar von dem Messer aus aufgelegt, der Objectträger auf ein vorher etwa auf 55° C. erwärmtes Wasserbad, zu welchem sich besonders gut kleine parallelepipedische, etwa 200 ccm Inhalt fassende Blechkästchen eignen, gebracht und darauf so lange liegen gelassen, bis das Wasser sich um etwa 10° abgekühlt hat, oder — was sicherer — bis kein Geruch nach Nelkenöl mehr wahrzunehmen ist. Der durch das Nelkenöl gelöste Schellack hat jetzt die Schnitte an der unteren, zugleich von Paraffin befreiten Seite festgeklebt und es kann nach dem völligen Erkalten und der Entfernung des an den Rändern etwas stärker angesammelten Schellacks durch Abkratzen ohne besondere Vorsicht die Schnittserie mit Terpentinöl übergossen werden, welches das Paraffin vollständig auflöst, ohne dass die einzelnen Schnitte ihre Lage ändern. Den Balsamtropfen

bringt man auf das Deckglas und legt dieses dann, nöthigenfalls unter vorsichtigem Aufdrücken, auf das Präparat.

Einschluss in stark brechenden Flüssigkeiten. Zur Aufbewahrung solcher trockener Objecte, bei denen es gilt, neben vollständiger Ausnutzung sehr hoher numerischer Aperturen die Sichtbarkeit gewisser Structurverhältnisse durch entsprechende Unterschiede in dem Brechungsvermögen des Objectes und des Einschlussmittels zu erhöhen, eignen sich namentlich Cassiaöl, Monobrom-Naphtalin und eine höchst concentrirte Lösung von Quecksilberjodid in Jodkalium, ausserdem aber auch Schwefelkohlenstoff (der indessen durch das Monobrom-Naphtalin überflüssig geworden ist), sowie die Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff, deren Brechungsindices schon auf Seite 397 angegeben worden sind. 680

Zur Verkittung von Präparaten, welche in Cassiaöl und Monobrom-Naphtalin eingelegt werden sollen, eignen sich vorzugsweise dicke Lösung von Schellack in Alkohol (siehe weiter unten), sowie der sogenannte „Porcellankitt“, der eine gelbliche, dickliche, in niedriger Temperatur gelatinirende Masse bildet, welche vor dem Gebrauche gelinde erwärmt werden muss (ich habe denselben aus der Materialhandlung von Fr. Schaefer dahier bezogen). Beim Einlegen verfährt man so, dass man eine vollständig gleich hohe runde oder vierseitige Zelle herstellt, dann bis zu fast vollständigem Erhärten wartet, in die Zelle einen Tropfen der Aufbewahrungsflüssigkeit bringt und nun das Deckglas, an dem man das Object festgeklebt hat (bei Diatomeen u. dergl. kann dies leicht geschehen, indem man einen Tropfen der Flüssigkeit, in der die Schalen suspendirt sind, auf dem Deckglase eintrocknen lässt; andere Objecte, z. B. trockene Gewebe von Pflanzen mit spiralig gestreiften Zellen etc., befestigt man mittelst eines Minimums der Aufbewahrungsflüssigkeit), sorgfältig auflegt. Etwa überfließende Flüssigkeit nimmt man mittelst Fliesspapiere weg und umzieht dann die Ränder mit einem auf Deckglas und Objectträger übergreifenden Rande des betreffenden Kittmittels.

Zum Verschlusse der in Quecksilberjodidlösung eingelegten Objecte verfährt man nach der weiter unten näher beschriebenen Welcker'schen Methode. Die Lösung selbst stellt man am besten dadurch her, dass man in eine geringe Menge — etwa 10 ccm — von destillirtem Wasser, beide Salze nach und nach und so lange einträgt, bis dieselben im Ueberschuss sind, wozu zu obiger Wassermenge mindestens 25 bis 30 g erforderlich werden. Hierbei ist, mit Rücksicht auf die verschiedenen specifischen Gewichte der Salze selbst, wie ihrer Lösungen, zu beachten, dass häufig umgeschüttelt werden muss, um eine vollständige und schneller sich vollziehende Lösung des Quecksilberjodids herbeizuführen. Die klare überstehende Lösung giesst man ab, oder filtrirt. Zur Verkittung der Präparate in Schwefelkohlenstoff-Phosphorlösung verwendet man eine dicke Hausenblaselösung, wie sie zur Verkittung der Schwefelkohlenstoffprismen gebraucht wird und verfährt ähnlich wie oben, lässt aber eine

Stelle der Zelle offen (wenn dieselbe vierseitig, die vierte Seite), legt das Deckglas vor dem Eingeben der Flüssigkeit auf und führt letztere mittelst einer fein ausgezogenen Glasröhre an den offenen Rand, wobei sie vermöge der Haarröhrchenanziehung in den Raum unter dem Deckglas gezogen wird. Sobald dieser Raum erfüllt ist, schliesst man rasch, wobei dann allerdings eine oder einige kleine Luftblasen zurückbleiben können, was bei derartigen Präparaten indessen wenig zu sagen hat.

Sollen bei dieser letztgenannten Einschlussweise, welche immerhin etwas unbequem und auch nicht ganz gefahrlos ist, gute Resultate erzielt werden, so muss man sich die Lösung jedesmal frisch in kleinen Mengen und zwar am besten nach der von Stephenson angegebenen Methode bereiten. In ein Präparatenglas von etwa 5 bis 6 ccm Rauminhalt setzt man einen aus Filtrirpapier durch Aufrollen auf einen passend dicken Holzcyylinder angefertigten, durch Zusammenschlagen des über das Holz überstehenden Papierrandes unten geschlossenen Cylinder, während er sich noch auf dem Holze befindet, so ein, dass derselbe fest an die Wände anschliesst. Nun befeuchtet man das Filter, jeden Ueberfluss vermeidend, mit ein paar Tropfen Schwefelkohlenstoff, bringt rasch ein etwa 5 bis 6 mm langes Stückchen Phosphor hinein und schliesst luftdicht mittelst eines guten Korkstöpsels. Nachdem der Phosphor durch den verdunstenden Schwefelkohlenstoff gelöst ist, zieht man das Filter langsam und sorgfältig mittelst einer Pincette heraus und erhält so eine durch dasselbe gegangene krystallhelle Lösung, welche sofort verwendet werden muss, indem man das kleine Gefäss in der Zwischenpause immer gut verschlossen erhält. Das Filter muss natürlich sofort in ein Gefäss mit Wasser geworfen werden und hat man im Weiteren alle Vorsichtsmaassregeln zu beobachten, welche das Arbeiten mit Phosphor nöthig macht.

2. F e u c h t e O b j e c t e .

Eine weit ausgedehntere Anwendung als die vorhergehende geniesst die Aufbewahrung der mikroskopischen Objecte in feuchtem Zustande, da nur bei dieser Methode dieselben sich in ihrem vollen natürlichen Verhalten zeigen. Als Aufbewahrungsflüssigkeiten werden hier theils wasseranziehende, theils verdunstende angewendet. Von ersteren gebraucht man namentlich Glycerin, Chlorcalcium und essigsäures Kalium, von den anderen ist eine ziemlich grosse Menge von einfachen Flüssigkeiten sowohl als von Gemischen empfohlen worden, von denen wir nur diejenigen hier näher betrachten können, welche sich am besten bewährt haben und in mehr allgemeinen Gebrauch genommen worden sind. Alle diese Flüssigkeiten verlangen einen sorgfältigen Verschluss, der bei den verdunstenden natürlich vollkommen luftdicht sein muss.

681 **Verschlussmittel.** Als Verschlussmittel hat man verschiedene Lacke und Kitte in Vorschlag gebracht, die mehr oder minder gut ihren

Zweites Capitel. Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate. 1009

Zweck erfüllen, und unter denen man je nach Umständen eine Auswahl wird treffen müssen. Die Erfordernisse, welche hierbei zu leiten haben, sind zunächst hinreichende Zähigkeit der Masse, wodurch ein späteres Reissen oder Springen verhindert wird, dann die Eigenschaft, möglichst rasch und gleichmässig zu trocknen.

Zu den am häufigsten in Anwendung gebrachten Kitten gehören der, wenn ich nicht irre, zuerst von Welcker empfohlene Asphaltlack, der durch Schacht bekannt gewordene Maskenlack, sowie der erst in neuerer Zeit in Gebrauch gekommene Mikroskopierlack, der Ziegler'sche Kitt u. a.

Der Asphaltlack bildet eine Auflösung von Asphalt in Leinöl und Terpentin. Will man von demselben Gebrauch machen, so muss man sich vor Allem durch eigene Versuche davon überzeugt haben, dass er zwar leicht trocknet, aber dabei keine Risse und Sprünge bekommt. Auch hat man auf dessen Consistenz zu achten. Ein zu flüssiger Lack zieht sich während des Auftragens leicht zwischen die Deckgläser, verdrängt einen Theil der Aufbewahrungsflüssigkeit, und verunreinigt so das Präparat, während ein zu steifer Lack sich nicht in hinreichend dünnen Schichten auftragen lässt. Hier kann man sich im ersteren Falle durch Offenstehenlassen des Gefässes, im anderen durch Verdünnen mittelst Terpentinöls helfen, das man, wenn zuviel zugesetzt wurde, an der Luft theilweise wieder verdunsten lässt. Für den letzten Lacküberzug empfiehlt H. v. Mohl, dem Asphaltlack etwas fetten Leinölfirnis zuzusetzen, was denselben geschmeidiger erhalten und weniger geneigt machen soll, beim Trocknen zu springen. Die Brauchbarkeit des Asphaltlackes wird sich je nach den verschiedenen im Handel vorkommenden Sorten als verschieden herausstellen, und so mag es kommen, dass ihm manche Mikroskopiker vor anderen Verschlussmitteln den Vorzug geben, während andere gar nichts von demselben wissen wollen. Ich selbst habe mehrere Sorten durchprobt, bin aber von keiner einzigen vollständig befriedigt worden, indem der Verschluss nach längerer Zeit immer mehr oder minder schadhafte wurde.

Weit bessere Erfolge erzielte ich mittelst des schwarzen Maskenlackes Nr. 3, welchen man aus der Lackfabrik von Beseler in Berlin per Fläschchen von 50 bis 60 g zu 50 Pfennige, ebenso von den mikroskopischen Instituten von Boecker, Kaiser, Thum u. A. in Gläsern zu 60 bis 80 Pfennig beziehen kann. Das Lösungsmittel dieses Lackes, dessen übrigen Bestandtheile mir nicht näher bekannt sind, besteht aus Spiritus; derselbe trocknet ziemlich leicht, und hat sich bei mir seit vielen Jahren gehalten, ohne dass der Verschluss der Präparate im Geringsten gelitten hätte. Der einzige Uebelstand, der ihm eigen ist, besteht darin, dass das Trocknen in etwas dickeren Lagen nicht gleichmässig erfolgt und die Oberfläche, obgleich sie anscheinend völlig trocken erscheint, noch einige Zeit klebrig bleibt. Er ist ursprünglich ziemlich dünnflüssig, weshalb man sich eine etwas consistenterere Lösung durch

theilweises Verdunsten des Lösungsmittels herstellen muss. Zu stark eingedickter Lack wird mittelst Alkohols dünnflüssiger gemacht.

Den in verschiedenen Farben von den oben genannten und anderen Handlungen zu Preisen von 50 Pfennig bis 1 Mark verzeichneten „Mikroskopierlack“ habe ich selbst noch nicht erprobt, kann also über dessen Eigenschaften nichts sagen, jedoch habe ich ihn, namentlich den des Institutes von Kaiser in Berlin, von anderen Seiten loben hören.

Die genannten Lacksorten bewahrt man am geeignetsten in etwas weithalsigen Gläsern und streicht sie mittelst eines Pinsels auf, den man durch den Kork geführt beständig in die Flüssigkeit tauchen lässt.

Der in neuerer Zeit mehrfach empfohlene Ziegler'sche Kitt stellt eine weisse dickliche Masse dar, welche durch einen passenden Zusatz von Terpentinöl bei mässiger Wärme leicht nach Wunsch verdünnt werden kann. Ich habe denselben noch wenig verwendet, und besitze daher keine maassgebende Erfahrungen über dessen Brauchbarkeit. Ein Umstand, der seine Anwendung indessen unrathsam macht, ist die Eigenschaft, dass er sehr langsam trocknet und Monate lang klebrig bleibt. Ausserdem scheint er nicht ganz frei von dem Uebelstande des Reissens, denn ich habe längere Zeit bewahrte Präparate gesehen, deren Verschluss mehrfach durch feine Risse und Sprünge beschädigt war.

Verdickte Schellacklösung giebt ein gutes Verschlussmittel fast für alle Präparate. Man bereitet den Kitt, indem man braunen oder blonden Schellack in absolutem Alkohol löst, filtrirt und in gelinder Wärme — vor Staub geschützt — so lange abdunstet, bis die erwünschte Consistenz erreicht ist. Eine ähnliche Masse erhält man nach Poulsen (Botanische Mikrochemie) durch Lösung von 50 g Canadabalsam und 50 g Schellack in 50 g Alkohol und 100 g Aether und Eindicken der Flüssigkeit im Wasserbade bis zu Syrupconsistenz.

Eine Anzahl anderer Kittmittel, wie Copalfirniss, Siegelacklösungen etc. habe ich nicht erprobt gefunden und übergehe sie umsomehr, als obige Massen wohl für alle Fälle ausreichen dürften.

Für gewisse Präparate, auf die wir weiter unten zurückkommen müssen, eignet sich auch der Oschatz'sche Kitt sehr gut, den ich mir aus Copalfirniss bereite, und zwar unter Zugabe von soviel feinstgeschlemmtem Zinkweiss, bis das Ganze etwa die Consistenz des Honigs hat.

682 **Aufbewahrung in Glycerin und Glyceringemischen.** Das Glycerin eignet sich für eine grosse Anzahl von pflanzlichen sowohl als thierischen Präparaten ausgezeichnet, indem es von allen gut angenommen wird. Dies ist namentlich der Fall, wenn sich die aufzubewahrenden Gegenstände in einem etwas feuchten Zustande befinden, weshalb es zweckmässig ist, trockene Objecte vor dem Einlegen anzufeuchten. Das einzige Hinderniss, welches der allgemeinen Anwendung des Glycerins etwa entgegensteht, ist der Umstand, dass es die Objecte weit durchsichtiger macht als die weiter unten zu besprechenden Flüssigkeiten, in Folge dessen zarte Structurverhältnisse darin weniger deut-

licher hervortreten, und dass die zarteren Gewebe durch Entziehung eines Theiles ihres Wassers immer mehr oder weniger schrumpfen. Dagegen hellt es vermöge der ersteren Eigenschaft weniger durchsichtige Gegenstände in wünschenswerther Weise auf, so dass diese ein schönes Bild gewähren. Ebenso erhalten sich in demselben manche Inhaltsparthien besser als in anderen Flüssigkeiten, so namentlich Chlorophyll und Stärkemehl, dessen Schichtung zwar anfangs verschwindet, aber schon nach dem Verlaufe von einem halben bis einem ganzen Tage wieder deutlich hervortritt, worauf auch Schacht seinerzeit hingewiesen hat.

Verdünn't man das Glycerin mit Wasser und setzt ein paar Tropfen Essigsäure zu, so eignet es sich auch für zartere Präparate, indem es nun kein Schrumpfen mehr veranlasst, und an seiner aufhellenden Eigenschaft bedeutend verliert. Allein solche Präparate sind wegen Verdunstens des überschüssigen Wassers nach längerer oder kürzerer Zeit dem Verderben ausgesetzt, wenn man nicht einen absolut luftdichten Verschluss hergestellt hat.

Eine Mischung von 5 Raumtheilen Glycerin mit 1 Theil essigsaurem Alaun und 4 Theilen destillirtem Wasser soll nach Frey zur Aufbewahrung von in Carminlösungen gefärbten Präparaten sehr gute Dienste leisten.

Für die Aufbewahrung äusserst zarter Gegenstände der Histologie, ebenso für die Aufbewahrung von niederen Thieren, Algen und ähnlichen Objecten, deren natürliches, frisches Aussehen man möglichst zu erhalten wünscht, in deren Inhalt also keine oder nur höchst unbedeutende Veränderungen stattfinden dürfen, bewährt sich die von Hantsch empfohlene Aufbewahrungsmethode (Reinike's Beiträge zur neueren Mikroskopie, 3. Heft, S. 37 u. f.) ausgezeichnet.

Man wendet hierbei eine Mischung von 3 Theilen reinem 90procentigem Weingeist mit 2 Theilen Wasser und 1 Theil Glycerin an, die man in einem gut schliessenden Glase aufheben kann. Um die Einwirkung dieser Flüssigkeit für den Anfang soweit als möglich zu mässigen, bringt man das Object zuerst in einem Tropfen Wasser, dem man einen kleinen Tropfen der Mischung zugesetzt hat, auf den Objectträger. Hierauf legt man das Präparat an einen möglichst vor Staub geschützten Ort, an welchem Wasser und Weingeist ungehindert verdunsten können und lässt es so lange ruhig, bis ein Theil der Flüssigkeit verdunstet ist. Nun bringt man einen zweiten Tropfen der Mischung hinzu, und setzt nach jedesmaliger Verdunstung von Wasser und Weingeist dies Verfahren so lange fort, bis auf dem Objectträger soviel Glycerin zurückgeblieben ist, als das Präparat erfordert. Damit die gute Erhaltung des letzteren vollständig gesichert werde, ist es anzurathen, dasselbe, ehe man zum Verschluss schreitet, einige Tage liegen zu lassen, um sich zu überzeugen, dass in der Aufbewahrungsflüssigkeit keine verdunstbaren Bestandtheile mehr vorhanden sind.

Für die Aufbewahrung von niederen Thieren und von Algen leisten auch einige von F. Meyer empfohlene Mischungen recht gute Dienste.

Um diese herzustellen, bereitet man sich zunächst eine Mischung von 100 Raumtheilen Holzessig von 1,04 specifischem Gewicht mit 1 Raumtheil Salicylsäure, verbindet dann je 10 Raumtheile derselben mit je 1 Raumtheil einer der folgenden beiden Mischungen. 1 Raumtheil chemisch reinen Glycerins (1,24 spec. Gew.) mit 2 Vol. destillirten Wassers ergeben eine Flüssigkeit, welche sich für Larven von Hydra, Nematoden etc. eignet, während für Infusorien auf 1 Vol. obigen Glycerins 4 Raumtheile destillirtes Wasser kommen müssen. Für Algen wird 1 Raumtheil der ersten Mischung mit einem Volumen einer zweiten Mischung aus 1 Raumtheil Glycerin und 20 Raumtheilen destillirtem Wasser vereinigt.

Da sich in dem Glycerin beim Eindecken leicht Luftblasen bilden, muss man das Deckglas sehr sorgfältig auflegen. Am besten fasst man dasselbe mit Daumen und Zeigefinger an zwei gegenüberstehenden Kanten, haucht es an, bringt es mit dem Tropfen in Berührung und lässt es dann rasch los. Die Flüssigkeit breitet sich hierbei in der Regel zwischen den Glasflächen aus, ohne dass jene zum Vorschein kommen. Objectträger wie Deckglas müssen natürlich (was in gleicher Weise für alle anderen Aufbewahrungsarten gilt) vor dem Auflegen immer auf das Sorgfältigste, wenn nöthig mittelst Weingeistes gereinigt werden, und hat man sich durch leichtes Anhauchen davon zu überzeugen, ob alle Stellen der Gläser die Feuchtigkeit gut annehmen. Sollten sich trotz aller Vorsicht Luftblasen gebildet haben, so lässt man das Präparat unverschlossen und vor Staub geschützt ein paar Tage liegen, worauf dieselben meist völlig verschwinden.

Das concentrirte Glycerin verlangt zwar keinen luftdichten Verschluss, weil es nicht verdunstet, aber man darf denselben aus anderen Gründen nicht unterlassen. Einmal würden nämlich die betreffenden Präparate ohne Verschluss sehr unbequem aufzubewahren, und dann ohne Beschmutzung der Deckglasoberfläche nicht zu reinigen sein. Verdünntes Glycerin muss unbedingt hermetisch verschlossen werden.

Der Verschluss selbst erfordert grosse Vorsicht, weil er sonst wegen der den Kitt angreifenden Eigenschaft des Glycerins nicht wohl gelingt. Namentlich hat man dafür zu sorgen, dass der anzuwendende Lack oder Firniss niemals auf solche Stellen aufgetragen wird, die noch im geringsten mit Flüssigkeit befeuchtet sind. Man bringt deshalb nie mehr von derselben auf das Präparat, als durchaus nothwendig ist. Etwas zu wenig schadet nicht. Hat man indessen etwas zu viel Glycerin aufgegeben, so muss der Objectträger um den Rand des Deckglases absolut trocken gemacht werden. Man tupft zu dem Ende das überschüssige Glycerin mit zartem Fliesspapier möglichst vollständig auf und wäscht dann mit einem in Alkohol getauchten Pinsel oder Bäschchen aus Fliesspapier um das Deckglas herum den Objectträger so lange ab, bis er von der Benetzung ganz frei geworden ist.

Bei recht dünnen Objecten verfahre ich beim Verschlusse einfach derart, dass ich auf jedes der vier Ecken des Deckglases einen Tropfen

einer etwas concentrirten Lösung des betreffenden Lackes gebe und das Präparat unter eine Glocke beiseite lege, bis der letztere soweit erhärtet ist, dass er das Deckglas festhält. Hierauf werden die Ränder des letzteren mittelst eines Pinsels derart mit dem Kite verstrichen, dass dieser sowohl über jenes als über die Umgebung 2 bis 3 mm übergreift und ein etwa 5 bis 6 mm breiter Lackrand entsteht. Versäumt man das vorherige Antrocknenlassen der vier Lackstützchen, so kann das Deckgläschen beim Aufstreichen des Lackes leicht etwas verschoben werden, wodurch der letztere auf benetzte Stellen trifft und nicht haftet. Würde dabei auch das Deckglas an den anderen Stellen festgehalten, so hat man doch zu gewärtigen, dass an solchen Orten, wo der Verschluss nicht dicht ist, bei dem geringsten Druck, während des Putzens etc., Glycerin hervortritt und die Oberfläche des ersteren verunreinigt.

Für etwas stärkere Präparate kann man auch verfahren, wie Hantsch angiebt. Man bestreicht nämlich die Ränder des Deckglases, indem man es an der einen Ecke mittelst einer gut schliessenden Pincette festhält, an drei Seiten der aufzulegenden Fläche mittelst eines feinen Pinsels mit einer entsprechend dicken, schmalen Lage von Lack, und legt es unter plötzlichem Oeffnen der Pincette vorsichtig auf. Das Glycerin zieht sich dann, namentlich wenn man einen gelinden Druck anwendet, über die ganze untere Fläche des Deckglases hin, ohne Luftblasen zurückzulassen, und der Ueberschuss tritt an der offenen Stelle heraus. Ist die Procedur soweit nach Wunsch gelungen, so reinigt man den Objectträger in der vorhin beschriebenen Weise und schliesst, nachdem die drei stützenden Lackrändchen getrocknet sind, vollständig, indem man die Ränder des Deckglases mit einem 2 bis 3 mm übergreifenden dünnen Lackrande versieht. Noch etwas bequemer ausführbar ist die von Schacht empfohlene, bei dem Einschluss in Chlorcalcium näher zu besprechende Anwendung von zwei parallelen Lackstreifen auf dem Objectträger, bei der man es in seiner Gewalt hat, die Dicke der Streifen der Dicke des Objectes genau anzupassen.

Ist der Lackrahmen des ersten Verschlusses vollkommen trocken, so streicht man zum zweiten, und wenn es nöthig wird noch zum dritten Mal eine neue Schicht eines etwas verdünnten Lackes auf, welche jedesmal über den Rand der vorhergehenden etwas übergreift, wodurch die Haltbarkeit des Verschlusses ungemein gefördert wird.

Ausser in den oben beschriebenen Weisen wird das Glycerin auch noch als Bestandtheil von solchen Gemischen verwendet, welche nach und nach erstarren. Eine derartige Mischung besteht aus gleichen Theilen von arabischem Gummi, Glycerin und gesättigter, wässriger Lösung von arseniger Säure. Eine andere glycerinhaltige Mischung hat Schacht (Das Mikroskop und seine Anwendung 1862) empfohlen. Dieselbe soll sich namentlich für sehr kleine Körperchen eignen, die später ihren Ort in der Aufbewahrungsflüssigkeit verändern könnten. Es besteht dieselbe aus 1 Theil Gelatine, 3 Theilen Wasser und 4 Theilen

Glycerin. Vor der Anwendung muss man diese Mischung, da sie erstarrt, im heissen Wasser erwärmen, um sie wieder in den flüssigen Zustand überzuführen. Ich habe die Mischung auch für andere Objecte versucht, welche sich in Glycerin aufbewahren lassen, weil sie einen leichten Verschluss gestattet, und deshalb dem reinen Glycerin für manche Fälle vorzuziehen sein möchte. Bis jetzt haben sich die Präparate darin gut erhalten und dürften wohl Versuche damit zu empfehlen sein. Holzschnitte, die ich so aufbewahrte, liefern wenigstens ein recht schönes Bild und haben nicht im Geringsten gelitten. Die auf Seite 774 beschriebene Kaiser'sche Glyceringelatine übertrifft die vorgenannten Mischungen noch an Gebrauchsfähigkeit, so dass ihre Anwendung für entsprechende Präparate wohl weiteste Verbreitung verdient. Auch die sonst von den mikroskopischen Instituten verzeichneten Präparate ähnlicher Art, die ich noch nicht in Gebrauch zu nehmen Veranlassung fand, dürften wohl ihren Zweck erfüllen. Der Verschluss von Gelatinepräparaten, obwohl nicht unumgänglich nothwendig, kann mittelst einer einzigen Lage von consistentem Lack vollzogen werden.

- 683 **Aufbewahrung in Gummi arabicum und reiner Gelatine.** In neuester Zeit ist von Hoyer zum Ersatze der Glyceringelatine eine Lösung von Gummi arabicum in essigsauerm Kalium empfohlen worden, die unter Umständen gute Dienste leisten kann und namentlich auch für Tinktionspräparate versucht zu werden verdient. Die Lösung, welche nach einiger Zeit erhärtet, wird bereitet, indem man ein weithalsiges Glas zu $\frac{3}{4}$ mit ausgesuchtem Gummi arabicum in Stücken (nicht gepulvert), den Rest mit der officinellen Lösung des essigsaueren Kaliums füllt, bis zur Lösung stehen lässt und dann durch Wollpapier filtrirt.

Eine reine Lösung von Gelatine oder Hausenblase, welche man bereitet, indem die Substanz 24 Stunden lang in einem Ueberschuss von kaltem Wasser eingeweicht und dann über dem Wasserbade gelöst wird, ist neuerdings für solche thierische Objecte empfohlen worden, welche nicht viel Blut enthalten und bei denen man die natürliche Farbe oder die der Sichtbarmachung dienenden Färbungen, welche häufig durch Diffusion in die umgebende Flüssigkeit geschwächt oder beseitigt werden, wohl erhalten will. Die betreffenden Präparate werden von anhängender Flüssigkeit befreit, in einen Tropfen der Lösung eingelegt, um sie davon durchdringen zu lassen, und nachdem dieses geschehen, ein paar Stunden lang trocknen gelassen, bis die äussere Schicht der Gelatine oder Hausenblase erstarrt ist. Hierauf senkt man den Objectträger in eine flache, mit absolutem Alkohol gefüllte, bedeckte Schale und lässt ihn etwa 24 Stunden darin, wonach die Einschlussmasse vollständig genug erhärtet ist, um das Präparat in früher beschriebener Weise weiter zu behandeln.

- 684 **Aufbewahrung in Chlorcalcium.** Die Chlorcalciumlösung, 1 Theil chemisch reines, wasserfreies Chlorcalcium auf 3 Theile destillirtes Wasser, in welcher sich mir über 20 Jahre alte Präparate prachtvoll er-

halten haben, hat mit Recht, namentlich bei den Pflanzenhistologen, eine weite Verbreitung als Aufbewahrungsflüssigkeit gefunden, da sie sich für alle solche, sowohl härtere, als zartere Objecte eignet, von denen man ein möglichst scharfes Bild haben will und deren Inhalt durch dieselbe nicht zu stark leidet. Für Präparate, in denen man die natürliche Farbe des Chlorophylls oder anderer Pflanzenfarbstoffe zu erhalten wünscht, ist diese Flüssigkeit dagegen durchaus nicht geeignet. Ebenso wenig passt sie zur Aufbewahrung solcher Objecte, in denen das Stärkemehl als Inhalt der Zellen erscheint, und sobald es darauf ankommt, dessen Structur zu erhalten; denn schon nach wenigen Tagen quellen die Stärkekörner auf, verlieren mehr und mehr ihre Schichtung und werden zu einem formlosen Kleister. Auch die Plasmasubstanzen erleiden gewisse Störungen durch diese Lösung, indem sie coaguliren und sich von den Wänden der Zellen und Gefässe zurückziehen. Dieser Umstand kann selbst da, wo an der Erhaltung des Inhaltes in seiner ursprünglichen Form nichts gelegen ist, auf das Präparat nachtheilig einwirken, da das ganze Bild dadurch getrübt wird. Solchen Nachtheilen entgeht man indessen, wenn man das Chlorcalcium in verdünntem Zustande anwendet und ein ähnliches, wie das weiter oben bei der Hantsch'schen Mischung besprochene Verfahren einschlägt, d. h. zuerst mit stark verdünnten Lösungen beginnt, und erst nach und nach zu stärkeren aber immer noch verdünnten Lösungen übergeht. So behandelt halten sich auch sehr zarte Präparate aus der Entwicklungsgeschichte der Pflanzenhistologie, ebenso zarte thierische Gegenstände recht gut.

Manchmal erleidet die Chlorcalciumlösung eine Trübung, indem salzsaurer Kalk auskrystallisirt und das Präparat verdirbt. Es hat namentlich Schacht darauf hingewiesen, und ist mir selbst diese Erscheinung bei manchen, doch nicht bei allen Lösungen vorgekommen. Man entgeht diesem Uebelstande, wenn man dem Chlorcalcium einige Tropfen chemisch reiner Salzsäure zusetzt, und so die Lösung wenig ansäuert.

Obwohl das Chlorcalcium sehr hygroskopisch ist, verdunstet doch immer etwas von dem Wasser, namentlich der verdünnteren Lösungen, so dass es für alle Fälle gerathen erscheint, den Verschluss der Präparate vollkommen luftdicht herzustellen.

Bei recht dünnen Schnitten solcher Gewebe, denen ein durch das Trocknen des Kittes hervorgerufener Druck keinen Schaden zufügt, ist das Verfahren des Einlegens höchst einfach.

Gehörige Reinheit von Objectträger und Deckglas vorausgesetzt, bringt man das Object in einem Tropfen reinen Wassers auf den ersten, nimmt das letztere mit einem Pinsel fast sämmtlich von dem Präparate auf, ohne dieses selbst zu berühren oder zu verrücken, und giebt eine hinreichende Menge des Chlorcalciums mittelst eines Glasstabes, oder noch besser mittelst eines etwas ausgezogenen gleichsam einen Miniaturstechheber vorstellenden Gläseröhrchens zu. Schliesslich legt

man das vorher angehauchte Deckglas langsam auf. Die Flüssigkeit wird dann den Raum zwischen diesem letzteren und dem Objectträger vollständig ausfüllen, ohne dass Luft zurückgelassen wird. Sollten indessen einige Luftbläschen geblieben sein, so lassen sich diese leicht entfernen, wenn man mit dem Hefte einer Präparirnadel schwach auf das Deckgläschen klopft und jene so allmähig nach dem Rande hin- und austreibt.

Ehe man zum Verschluss schreitet, hat man vor allen Dingen dafür Sorge zu tragen, dass um den Rand des Deckglases der Objectträger von aller etwa überfließenden Chlorcalciumlösung befreit und gehörig getrocknet wird, weil sonst der Kitt nicht greift. So gar ängstlich, wie bei Glycerinpräparaten, braucht man indessen hier nicht zu sein, da z. B. der Maskenlack auch recht gut auf noch etwas feuchten Stellen haftet.

Der Verschluss kann einfach durch Auftragen eines etwas breiten Lackrandes bewirkt werden. Man kann aber auch so verfahren, wie ich oben bei den Glycerinpräparaten, angegeben habe, d. h. man giebt auf die vier Ecken des Deckglases auf den Objectträger übergreifende Tropfen von Lack, lässt diese einige Stunden trocknen, und verschliesst dann sämtliche Ränder durch mehrmalige Lacküberzüge. Sollte während des Trocknens der zum vorläufigen Festhalten des Deckglases dienenden Lacktropfen etwas von der Flüssigkeit verdunsten, so lässt sich der Verlust durch einen neuen Tropfen ersetzen, den man mittelst eines feinen ausgezogenen Glasstäbchens an den Rand des Deckglases bringt. Man muss dabei nur die Vorsicht beobachten, dass man die neue Flüssigkeit von der Seite des leeren Raumes, d. h. von den noch benetzten Stellen des Zwischenraumes an einziehen lässt, und diese nicht dicht vor jenen bringt, weil sonst leicht der vordere Theil des leeren Raumes ganz ausgefüllt wird und dahinter ein luftegefüllter Raum bleibt.

Ich habe auf diese einfache und wenig zeitraubende Weise eine grosse Zahl äusserst zarter Pflanzenschnitte aufbewahrt, deren Verschluss sofort nach Wunsch gelang, und sich seit vielen Jahren ausgezeichnet erhalten hat. Es kommt dabei nur darauf an, dass man einen weder zu flüssigen noch zu dicklichen Lack anwendet, und den Rahmen mit sicherer Hand und rasch ausführt, ohne dass das Deckglas eine Verschiebung erleidet.

Wo man es mit etwas dickeren oder solchen Präparaten zu thun hat, welche keinen Druck vertragen, da erleidet das Verschlussverfahren einige Abänderungen, die sich indessen auch für dünnere Schnitte ebensogut anwenden lassen, und dem weniger Geübten den Verschluss erleichtern.

Das von Professor Welcker für derartige Präparate empfohlene Verfahren, den Saum des Deckglases mit einem dünnen Wachsrande zu umgeben, ehe man zum Lackverschlusse schreitet, gewährt sehr befriedigende Resultate, wenn während der Ausführung des ersteren mit der

gehörigen Vorsicht zu Werke gegangen und keine Störung in der Lage des Deckglases hervorgerufen worden ist, so dass das Wachs überall auf von Chlorcalcium freie, trockene Stellen des Objectträgers trifft. Dies ist aber allerdings oftmals gerade sehr schwer zu erreichen, indem man beim Aufbringen des Wachsrandes leicht das Deckglas etwas aus seiner Lage rücken kann. Welcker stellt den Wachstrand einfach mittelst einer kleinen Wachskerze her, deren Docht meisselförmig zugeschnitten und über der Weingeistlampe soweit erwärmt worden ist; dass das Wachs gerade anfängt zu fließen, ohne dass der Docht selbst gebräunt worden ist. Ich verfähre ebenso, habe aber auch die von H. v. Mohl empfohlene Vorrichtung bequem und zweckmässig gefunden, da mittelst derselben der Wachsverschluss gleichmässig und mit grosser Sicherheit hergestellt werden kann. Dieselbe besteht aus einer kleinen Messingröhre von etwa 5 bis 6 cm Länge und 1,5 cm Weite, an die vorn ein in eine ziemlich feine Spitze endigender hohler Kegel angelöthet ist, während der hintere Theil einen Holzstiel aufnimmt. Wird in das Rohr Wachs gebracht, und dasselbe über der Spirituslampe erwärmt, so fliesst letzteres aus der feinen Oeffnung in geringer Menge und sehr gleichmässig aus, während man mit der Spitze den Rand des Deckglases umfährt. Die Hauptsache bei diesem ersten Verschlusse ist, dass der Wachstrand nicht zu dick wird, weil er sonst den weiteren Verschluss mittelst des Lackes hindert. Der möglichst flache Wachstrand darf, wenn er als ganz gelungen zu betrachten sein soll, nur etwa 2 mm breit sein und etwa 1 mm über den Deckglasrand übergreifen. Beim Verstreichen mit Lack, was niemals unterlassen werden darf und wozu man den Oschatz'schen Kitt oder den nach v. Mohl abgeänderten Asphaltlack nehmen sollte, da sich der Maskenlack z. B. nicht gut eignet, muss darauf geachtet werden, dass dieser etwas über die Wachsränder übergreift, weil anderenfalls der Verschluss nicht fest genug haften würde. Die späteren Lackschichten werden ganz so behandelt wie oben angegeben.

So empfehlenswerth auch dieses Verfahren im Ganzen ist und so befriedigende Resultate man durch dasselbe erhält, so laborirt es doch an einer gewissen Umständlichkeit und Unbequemlichkeit, welche Manchem die Ersetzung durch eine andere Verfahrungsweise wünschenswerth machen dürften. Ich selbst habe es längere Zeit allgemein befolgt, bin aber aus den genannten Gründen schliesslich für die meisten Fälle zu einem rascheren und bequemerem Verfahren übergegangen, welches ich zuerst bei Professor Schacht gesehen, und welches dieser auch in der zweiten Auflage seines „Mikroskopes“ näher beschrieben hat.

Dieses Verfahren, wobei zum Schutze des Präparates gegen Druck auf dem sorgfältig gereinigten Objectträger Streifen des zur Verkittung dienenden Lackes angebracht werden, auf denen das Deckglas ruht, bietet nach meinen langjährigen Erfahrungen hinreichende Sicherheit für einen untadelhaften Verschluss und ist höchst einfach und bequem, so dass es sich für weitere Kreise empfehlen dürfte.

Schacht zieht zwei etwa 5 mm breite parallele Lackstreifen, deren Entfernung sich nach den Dimensionen des Deckglases richtet und immer etwas kleiner sein muss, als dessen Seitenlänge. Ich ziehe in der Regel drei Lackstreifen, welche ein nach der vierten Seite offenes Quadrat bilden, und bei denen sich der freie Raum auf dem Objectträger nach der Grösse des Deckglases richtet, dessen Ränder etwas über die Streifen übergreifen müssen. Die Dicke der Streifen hat sich natürlich nach dem einzulegenden Objecte zu richten. Für dünnere Schnitte genügt meistens ein einmaliges Auftragen des Lackes, während dickere Präparate eine öftere Wiederholung dieser Operation verlangen, nachdem vorher die frühere Lage fast getrocknet war.

Sind die Streifen sauber ausgeführt, so lässt man sie soweit eintrocknen, dass der Lack zwar nicht mehr zu weich ist und fliesst, doch aber einem leichten Druck auf das Deckglas nachgiebt und gut an diesem klebt.

Auf den so hergerichteten Objectträger bringt man in den freien Raum zwischen den Streifen eine hinreichende Menge der Chlorcalciumlösung und in diese das Präparat. Das Deckglas legt man mittelst einer Pincette vorsichtig derart auf, dass man es, mit seinem hinteren Rande auf der der offenen Seite des Rahmens gegenüberliegenden Seite dieses letzteren ruhend, langsam niedersinken lässt. So zieht sich die Flüssigkeit gleichmässig unter dem Deckglase hin, und es wird nur selten vorkommen, dass Luftblasen zurückbleiben. Der etwa vorhandene Ueberschuss der Lösung tritt an der offenen Seite heraus, und kann mittelst weichen Fliesspapiere oder eines etwas breitgedrückten Pinsels entfernt werden. Ebenso kann man auf die weiter oben erwähnte Weise Flüssigkeit nachgeben, wenn diese in zu geringer Menge vorhanden war, so dass der Zwischenraum zwischen Objectträger und Deckglas nicht vollkommen ausgefüllt wurde. Der vollständige Verschluss wird sofort nach der Befreiung des Objectträgers von aller Feuchtigkeit in der Art vorgenommen, dass man zuerst die offene Seite des Quadrates und dann die übrigen mittelst diekeren Lackes verstreicht. Nach Verlauf von einem halben Tage ist der letztere soweit trocken geworden, dass man mittelst wiederholten Auftragens einer zweiten und dritten Schicht des dünneren Lackes den Verschluss in der oben geschilderten Weise vollenden kann.

685

Aufbewahrung in essigsaurem Kalium. Statt der Chlorcalciumlösung ist von Dr. Sanio (Bot. Zeitung. 1863, Nr. 47, Seite 359) für Pflanzenpräparate, namentlich für sehr zarte Objecte der vegetabilischen Entwicklungsgeschichte, eine gesättigte Lösung des durch seine wasseranziehende Kraft ausgezeichneten essigsauren Kaliums empfohlen worden. Man verwendet hierzu am zweckmässigsten die officinelle Lösung und lässt davon unter Luftzutritt soviel Wasser abdunsten, dass sie gerade gesättigt ist. Ich habe diese Aufbewahrungsfähigkeit mehrfach angewendet und kann nach jahrelangem Gebrauche derselben die Angaben Sanio's bestätigen. Vorzugsweise schön finde ich darin be-

wahrte Theilungszustände von *Ulothrix zonata*. Die Fäden sind nach Monaten noch so gut erhalten, als ob sie frisch eingelegt seien; es ist darin weder eine Schrumpfung der Zelle noch eine merkliche Veränderung der Farbe des Chlorophylls wahrzunehmen. Für manche solcher vegetabilischer Präparate, in denen man das Chlorophyll zu bewahren und in dem Inhalt die möglich geringste Störung hervorgerufen wünscht, dürfte sich das essigsäure Kali ganz besonders empfehlen; es wird aber ebenso gut auch für alle anderen Objecte der Pflanzenhistologie verwendet werden können. Ueber sein Verhalten den thierischen Geweben gegenüber habe ich selbst keine Erfahrungen gemacht, dagegen hat der verstorbene Max Schultze dasselbe für gewisse Objecte, namentlich bei Osmiumpräparaten, welche das Glycerin nicht vertragen, erprobt gefunden. Er gab dabei das Mittel bei den in Wasser oder einer indifferenten Flüssigkeit liegenden und eingedeckten Objecten an den Rand des Deckglases und kittete erst ein, nachdem das verdunstende Wasser vollständig durch die Salzlösung ersetzt war.

Aufbewahrung in einfachen, verdunstenden Flüssigkeiten. 686

Von den einfachen verdunstenden wässerigen Aufbewahrungsflüssigkeiten sind vorzugsweise Lösungen von Zucker, Kreosot und Salzen, verdünnte Essigsäure, verdünnter Alkohol und dergleichen im Gebrauche.

Die Zuckerlösung, welche zuerst von Schleiden und dann auch von Schacht empfohlen worden ist, bereitet man sich aus 1 Theil Syrupus simplex auf 2 Theile Wasser, denen man, um Gährung zu verhindern, etwas Sublimatlösung oder Chloralhydrat zufügt. Sie eignet sich für alle sehr zarten Präparate, indem sich dieselben, abgesehen von einer geringen Aufhellung, darin fast unverändert erhalten. Für diese Lösung dürfte indessen in dem essigsäuren Kalium ein um so willkommener Ersatz gefunden sein, als bei dem letzteren der Verschluss weit sicherer und ein Verdunsten nicht zu fürchten ist.

Die Kreosotlösung erhält man durch Vermischen einer filtrirten gesättigten Kreosotlösung mit gleichen Theilen 32 gradigen Weingeistes und 20 Theilen destillirten Wassers. Es eignet sich dieselbe nach Harting namentlich für manche thierische Präparate, z. B. von Muskeln, Bindegewebe, Sehnen, Knorpel, für Durchschnitte von Knochen und Zähnen, für die Fasern der Krystalllinse etc.

Für diese Objecte kann man indessen statt der Kreosotlösung eine Lösung von arseniger Säure benutzen, in der sich auch solche Gewebe aufbewahren lassen, welche das Kreosot nicht vertragen. Man bereitet sich diese Flüssigkeit nach Harting, indem man einen Ueberschuss arseniger Säure mit Wasser kocht, nach der Abkühlung filtrirt und das Filtrat mit der dreifachen Menge Wassers verdünnt.

Verdünnte Kochsalzlösung von 1 Theil Salz auf 200 Theile Wasser wurde von manchen Beobachtern zur Aufbewahrung zelliger thierischer Gewebe empfohlen.

Eine Lösung von kohlenisaurem Kalium in 200 bis 500 Theilen destillirtem Wasser wird von Harting als ausgezeichnete Aufbewahrungsflüssigkeit für die Nervenprimitivröhren empfohlen, und soll sich auch gut für andere faserige Gewebe eignen, bei denen eine Aufhellung nicht schadet oder gar erwünscht ist.

Die Lösung von doppelt chromsaurem Kalium eignet sich in mässiger Verdünnung recht gut zur Aufbewahrung mancher thierischer Präparate. Vor allem aber dürfte sie für solche Präparate aus der vegetabilischen Gewebelehre geeignet sein, in denen man die Vertheilung der Gerbstoffe zur Anschauung bringen will, und die man vorher schon mit einer concentrirteren Lösung des Salzes behandelt hatte. Auch das Stärkemehl erhält sich ganz schön darin, und es tritt seine Schichtung sehr deutlich hervor.

Stark verdünnte Lösungen von Sublimat sind von Harting als Aufbewahrungsflüssigkeit sowohl für vegetabilische als thierische Präparate empfohlen worden, und bewähren sich auch in mancher Hinsicht recht gut, namentlich wenn man den von Harting gegebenen Rath befolgt und erst durch Versuche denjenigen Concentrationsgrad ermittelt, welchen ein bestimmtes Object am besten verträgt.

Harting hebt namentlich die Brauchbarkeit dieser Lösungen für die Aufbewahrung von Blutkörperchen hervor und empfiehlt für das Blut des Menschen und der Säugethiere eine Lösung von 1 : 200, für das der Vögel von 1 : 300, für jenes des Frosches von 1 : 400. Ausser für das Blut eignet sich Sublimat nur noch für Präparate von Knorpel, Muskeln und der Krystalllinse.

Was die Anwendbarkeit für Pflanzenpräparate betrifft, so kann ich die Angaben von Harting nicht bestätigen. Das Stärkemehl erhält sich wohl darin, das Chlorophyll aber verblasst, und selbst bei Lösungen von 1 : 600, wie ich sie angewendet habe, treten hier und da in den zarten Algenzellen ziemlich bedeutende Schrumpfung ein. Dagegen eignen sich solche verdünnte Lösungen sehr gut für Präparate, in denen man die Kerne nebst den von ihnen ausstrahlenden Protoplasmaströmchen zur Anschauung bringen will, die darin bedeutend dunkler werden.

Verdünnte Essigsäure dürfte sich vor allen da empfehlen, wo man das Hervortreten mancher Elementartheile, z. B. der Zellkerne, der Nervenröhren, bewirken oder gewisse, mittelst derselben aufgehellte Structurverhältnisse in diesem Zustande erhalten will.

Alkohol in einer 5- bis 8 maligen Verdünnung mit Wasser findet nur für einzelne Präparate der thierischen Gewebelehre Anwendung, die man von in demselben Mittel bewahrten Körpertheilen etc. gewonnen hat und welche dann bestimmte Structuren zeigen. Derartig aufgelegte Präparate sind am allerschwersten luftdicht zu verschliessen, weshalb man den Alkohol als Aufbewahrungsflüssigkeit schon aus diesem Grunde so viel als thunlich umgehen wird.

In neuerer Zeit ist auch Levulose, welche aus chemischen Fabriken

in geeigneter Beschaffenheit bezogen werden kann, als Aufbewahrungsmittel für Hartgebilde, Knochen und namentlich für in Anilinelösungen gefärbte Präparate, welche ihre Färbung darin gut bewahren sollen, empfohlen worden (Frey).

Aufbewahrung in zusammengesetzten, verdunstenden Mischungen. Von zusammengesetzten Mischungen sind im Laufe der Zeit eine ganze Menge empfohlen worden, deren Werth zum Theil ein illusorischer ist, indem sie ohne Schaden für das Präparat durch eine oder die andere der erwähnten einfacheren Flüssigkeiten vertreten werden können. Ich werde mich daher auch auf einige wenige der für gewisse Objecte besonders geeigneten und erprobten beschränken.

Zunächst verdienen die sogenannten Pacini'schen Gemische Beachtung, welche Abänderungen des „Liqueur conservatoire“ darstellen, der sich als Aufbewahrungsfüssigkeit für durchsichtige Präparate als ziemlich unbrauchbar erwiesen hat. Pacini hat zwei verschiedene Mischungen empfohlen. Die erste derselben soll sich namentlich für alle zarte proteinhaltige Gewebe, für Blutkörperchen, Nerven, Ganglien, Krebszellen, Retinapräparate etc. eignen. Sie besteht aus 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Kochsalz, 13 Theilen Glycerin (von 25° Beaumé) und 113 Theilen destillirtem Wasser. Vor dem Gebrauche wird das Gemisch wenigstens 2 Monate stehen gelassen, dann 1 Theil davon mit 3 Theilen destillirten Wassers verdünnt und filtrirt. Die andere Mischung, welche aus 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Essigsäure, 43 Theilen Glycerin und 215 Theilen destillirtem Wasser besteht, und ähnlich behandelt wird wie die erste, zeichnet sich namentlich dadurch aus, dass sie die farbigen Blutkörperchen zerstört, während die farblosen unversehrt erhalten bleiben.

Einige Abänderungen dieser Gemische, welche ich dem Werke von Frey entnehme, werden in dem physiologischen Institute zu Berlin für verschiedene Gewebe in Anwendung gebracht und dürften zu weiteren Versuchen umsomehr zu empfehlen sein, als sie sich leicht herstellen lassen.

So dient z. B. eine Mischung von 1 Theil Sublimat, 2 Theilen Kochsalz und 100 Theilen Wasser zur Aufbewahrung gefässreicher Gewebe der warmblütigen, eine solche von 1 Theil Sublimat, 5 Theilen Kochsalz und 200 Theilen Wasser für jene der kaltblütigen Thiere, ein Gemisch von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Kochsalz und 300 Theilen Wasser für Eiterkörperchen und verwandte Gebilde, von 1 Theil Sublimat und 300 Theilen Wasser für Blutkörperchen, von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Epithelialzellen, Bindegewebe und Eiterzellen, in denen die Kerne hervortreten sollen, von 1 Theil Sublimat, 3 Theilen Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Bindegewebe, Muskeln und Nerven, von 1 Theil Sublimat, 5 Theilen Essigsäure und 300 Theilen Wasser für Drüsen, von 1 Theil Sublimat, 1 Theil Phosphorsäure und 30 Theilen Wasser für Knorpelgewebe.

Für Pflanzengewebe sind von Grönland, Cornu und Rives („De

preparations microscopiques tirées du regne vegetale etc. Paris 1772) einige Mischungen empfohlen worden, von denen diejenigen, welche sich für zartere Structuren eignen, hier erwähnt sein mögen.

Chloroform 2 g in 100 cem destillirtem Wasser etwa 5 bis 10 Minuten geschüttelt, bis sich etwa 1 g des ersteren gelöst hat, während der zu Boden gesunkene Rest dazu dienen kann, die Lösung gesättigt zu erhalten, giebt ein Einschlussmittel, in welchem sich entwicklungsgeschichtliche Präparate, wie z. B. Vorkeime, Archegonien etc. in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien aufbewahren lassen. Werden dieser Lösung 4 bis 5 g Essigsäure zugefügt, so können Conferven, deren Chlorophyll allerdings etwas bräunlich gefärbt wird, mit guter Erhaltung des Zellkörpers darin erhalten werden. Für solche Präparate, welche Luft enthalten, dürfte sie sich ebenfalls empfehlen, da schon nach wenigen Tagen die Luftblasen und Lufteinschlüsse aufgesogen erscheinen. Eine gesättigte Lösung von Campher in Chloroform, die, nachdem aller überschüssige Campher entfernt worden, mit der gleichen Menge des Lösungsmittels verdünnt worden ist und von der dann 4 g in einem Liter destillirten Wassers gelöst wurden, giebt eine Flüssigkeit, welche den Plasmakörper nur wenig alterirt und daher für solche frische Präparate verwendet werden kann, in denen man diesen möglichst zu erhalten wünscht. So können z. B. Desmidiaceen, Diatomeen etc. in dieselbe eingeschlossen werden. Zarte Fadenalgen sollen ihre Structur sehr gut bewahren in einer Mischung von 75 g Campherwasser, 75 g destillirtem Wasser und 1 g Eisessig.

Alle die beschriebenen Lösungen haben das mit einander gemein, dass sie, um vor dem Eintrocknen geschützt zu werden und die ursprüngliche Zusammensetzung der complicirteren Gemische zu bewahren, einen vollkommen luftdichten Verschluss verlangen. Als recht geeignet hierfür habe ich den O s c h a t z 'schen Kitt aus Zinkweiss und Copalfirnis gefunden, der, wenn er zu stark eingetrocknet ist, mittelst Copals wieder auf den gehörigen Consistenzgrad gebracht werden kann. Man erreicht indessen seinen Zweck auch ganz gut mittelst Anwendung der oben genannten Verschlussmittel, wenn man nur mit der gehörigen Vorsicht verfährt und namentlich die Lackstreifen nicht zu stark eintrocknen lässt, so dass das Deckglas etwas in dieselben eindrückt, und wenn man die offene Seite mit einem etwas consistenten Lack verschliesst. Dabei hilft ein kleiner Kunstgriff nicht wenig. Man giebt nämlich nur soviel Aufbewahrungsflüssigkeit zu dem Präparate, dass dieselbe den Innenraum nach dem Auflegen des Deckglases nicht ganz ausfüllt und nach der offenen Seite hin ein schmaler Streifen zwischen Objectträger und Deckglas trocken bleibt, was mittelst einiger Vorsicht leicht erreicht wird. Nun streicht man den Lack etwas scharf in die Kante. Es füllt dann ein Theil desselben den frei gebliebenen Raum aus, und man erzielt, nachdem man den Lackrahmen noch 2 bis 3 Mal erneuert hat, einen vollkommen dichten Verschluss.

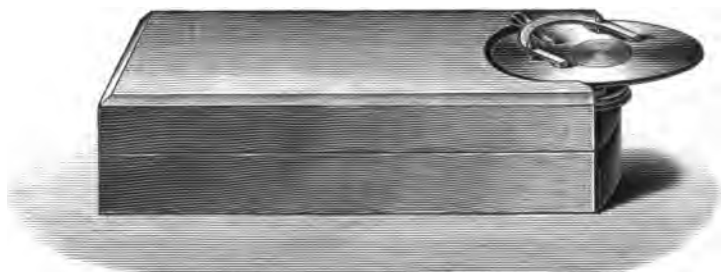
Ich bewahre derart mittelst des Maskenlackes verschlossene Präpa-

rate, welche in sehr verdünnter Sublimatlösung liegen, nun schon seit mehreren Jahren auf, ohne dass der geringste Fehler im Verschluss bemerkbar wäre.

Hier dürfte sich auch die Welcker'sche Verschlussmethode mittelst Wachses als vorzugsweise geeignet empfehlen.

Verschluss bei runden Deckgläsern. In neuerer Zeit hat man zur Bedeckung der Dauerpräparate mehrseitig runde Deckgläser empfohlen, deren Vortheile ich dahin gestellt sein lassen will, obwohl ich mich nicht dafür begeistern kann. Der Verschluss erfordert dann für sämtliche Einschlussmittel eine etwas andere Handhabung und die Anwendung des kleinen Apparates (Fig. 574), welcher unter dem Namen „Drehtisch“

Fig. 574.



bekannt ist und von den meisten optischen Werkstätten um den Preis von 9 bis 12 Mark geliefert wird. Das zu verkittende Präparat wird, nachdem man das Deckglas in der oben beschriebenen Weise durch etwa 2 bis 3 Lacktropfen vorläufig festgelegt hat, mittelst der auf der drehbaren Scheibe befindlichen Federklammer eingeklemmt und so orientirt, dass das Deckglas genau centrirt ist, was durch die auf der Scheibe verzeichneten concentrischen Kreise erleichtert wird. Hierauf füllt man einen ziemlich dünnen Pinsel mit leichtflüssigem Lack mässig an, so dass sich keine Tropfen bilden, drückt denselben in senkrechter Stellung leicht an den Rand des Deckglases und setzt die Scheibe mittelst der linken Hand in langsame Drehung. Nach und nach kann man während der Scheibenbewegung dem Pinsel einen etwas verstärkten Druck geben und wird so nach einiger Uebung bald einen guten Lackrahmen zu Wege bringen.

Aufbewahrung voluminöser Präparate. In der Regel wird man mit den geschilderten Verfahrungsweisen für die Aufbewahrung histologischer Objecte ausreichen. Für einzelne Fälle jedoch, namentlich für Injectionspräparate sowie manche andere Objecte aus der thierischen Gewebelehre und Entwicklungsgeschichte, für morphologische Präparate des Pflanzenreiches, für durchsichtige niedere Thiere und Pflanzen, die ganz oder in gewissen Theilen aufbewahrt werden sollen, und die eine ziemlich bedeutende Dicke besitzen, verlangt das Verfahren eine entsprechende Abänderung. Man reicht hier mit dem einfachen Objectträger,

Deckglas und Kitt nicht mehr aus. Es muss vielmehr ein mehr oder minder tiefer Hohlraum auf dem ersteren hergestellt werden, welcher das betreffende Object sammt der es umspülenden Flüssigkeit aufnimmt. Diese Hohlräume sind unter dem Namen der Zellen bekannt und mancherlei Vorschriften zu deren Anfertigung im Umlauf. So hat man Zellen aus Guttapercha, Kautschuk, Stanniol, Glas und verschiedenen dickflüssigen Kittmassen. Zu Kautschuk- und Guttaperchazellen kann ich kein grosses Vertrauen fassen, ausserdem ist die ganze Manipulation zu ihrer Herstellung mit allerlei Umständlichkeiten verknüpft, so dass ich dieselben nicht zu empfehlen vermag und mich daher auf deren Anfertigung auch nicht weiter einlasse. Ich ziehe, wo es irgend geht, die aus dem auch zum Verschlusse dienenden Kite oder Lack verfertigten Zellen vor, greife aber da, wo diese nicht ausreichen, zu Glaszellen, die ich mir entweder auf die weiter unten beschriebene Weise herstelle oder fertig beziehe.

Die aus Kitt oder Lack angefertigten Zellen sind überall da anwendbar, wo die Dicke des aufzubewahrenden Präparates keine sehr bedeutende, etwa eine in der Grenze zwischen $\frac{1}{2}$ bis 1 mm sich bewegende ist. Man verfährt bei deren Herstellung ebenso, wie es oben von den Lackstreifen und Lackringen beschrieben wurde, und giebt ihnen die passende Höhe durch mehrfaches Auftragen. Höhe und Form müssen sich natürlich nach dem aufzubewahrenden Objecte richten und kann die letztere je nach Umständen ein Quadrat, ein Rechteck oder einen Kreis bilden, wobei der Lackwall etwa die Breite von 5 bis 6 mm erhält. Diese Zellen fertigt man sich am besten jedesmal beim Bedarf an und lässt den Lack oder Kitt gerade soweit trocken werden, dass er dem Druck des Deckglases nach nachgiebt und so eine vollständig ebene Unterlage dieses letzteren bildet.

Fig. 575.



Will man sich Zellen vorrätig anfertigen, so ebnet man den Rahmen dadurch, dass man ihn in dem oben erwähnten Stadium des Trocknens auf eine Glasplatte aufdrückt, wobei man ausserdem erreicht, dass derselbe auf allen Seiten von gleicher Höhe wird, was bei trockenen Zellen nicht ohne Einfluss auf einen vollkommen dichten Verschluss ist.

Glaszellen erhält man für dünnere Objecte in verschiedener Dicke von 0,5 mm an. Hat man dickere Objecte aufzubewahren, so greift man zu aus verschieden dickem Glase bestehenden Zellen. Am billigsten und einfachsten stellt man sich dieselben eigenhändig her. Man lässt sich nämlich 3 bis 4 mm breite Glasstreifen aus entsprechendem Spiegelglas schneiden, von denen die einen eine Länge von etwa 20 bis 25 mm, die anderen von 12 bis 16 mm haben und baut daraus seine Zellen in recht-

eckiger oder quadratischer Form auf, indem man die Glasstreifen entweder mittelst Canadabalsams, einer dicken weingeistigen Schellacklösung oder des zum Verschlusse dienenden Lackes auf dem Objectträger festkittet (Fig. 575).

Die fertig bezogenen Glaszellen wählt man je nach der Form der verwendeten Deckgläschen von rechteckiger, quadratischer oder runder

Fig. 576.



Fig. 577.



Form mit rundem oder länglichrundem Ausschnitt (Fig. 576 und 577), und befestigt dieselben in angegebener Weise auf dem Objectträger.

Zellen aus Guttapercha- und Gummiplatten erhält man ebenfalls käuflich. Dieselben sind aber — schon wegen des Befestigens — meiner Ansicht nach weniger zu empfehlen, als diejenigen aus Glas.

Beim Aufbringen der Präparate hat man hier mit besonderer Vorsicht zu verfahren, um einen dichten und vollkommen haltbaren Verschluss zu erreichen.

Zunächst ist die Grösse des Deckglases so zu wählen, dass dasselbe den Innenrand des Zellwalles um mindestens 1 bis $1\frac{1}{2}$ mm überragt, von dem Aussenrand aber ebensoweit zurückbleibt. Dann hat man darauf zu achten, dass der innere Raum der Zelle vollständig mit Flüssigkeit erfüllt wird und durchaus keine Luft zurückbleibt, die gerade hier sehr störend wirken würde. Um dieses zu erreichen, schiebt man am besten das Deckglas von dem einen Rande her allmählig und vorsichtig über den Zellwall hin, wobei die überschüssige Flüssigkeit aus der Zelle verdrängt wird, ohne dass Luft hinzutreten kann. Einige Uebung wird in dieser Manipulation bald die nöthige Fertigkeit gewähren, so dass das Auflegen ganz nach Wunsch gelingt.

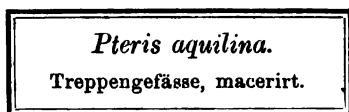
Ist das Deckglas aufgelegt, so entfernt man mittelst Fliesspapier oder Pinsels die auf den Rand der Zelle getretene Flüssigkeit, trocknet denselben vollständig rein ab, verstreicht zuerst die oberen Ränder von Deckglas und Zelle und umgiebt dann die letztere auch noch von aussen mit einer Lackschicht. Die weitere Behandlung erfolgt in der oben ge-

schilderten Weise, und kann man das Präparat als gelungen betrachten, wenn nach mehrere Tage langem Liegen sich keine Luftblasen zeigen.

2. Bezeichnung und Einordnung der Präparate.

690 Bezeichnung der Präparate. Die letzte Arbeit, welche bei den aufzubewahrenden Präparaten stattzufinden hat, besteht in deren Bezeichnung. Diese bringt man am zweckmässigsten auf — zur leichteren Vermeidung des Beschmutztwerdens — farbigen Papier- oder Cartonstreifen an, welche man in der bekannten Form käuflich erhält, oder sich selbst — und zwar der Form der verwendeten Objectträger entsprechend — zuschneidet. Eine derartige Etikette, welche an einer, oder auch an den beiden schmalen Seiten des Objectträgers mittelst Gummilösung aufgeklebt wird, muss zunächst den Namen der Pflanze oder des Thieres, wovon das Präparat abstammt, und dann seine nähere Bezeichnung enthalten z. B.:

Fig. 578.



Ist auf derselben (bei zweien ist dies selbstverständlich besser zu erreichen) noch Raum vorhanden, so ist es zweckmässig, unter anderen auch die Fixierungsmethode, das Färbungsmittel, sowie Aufbewahrungsfüssigkeit anzumerken. Dies lässt sich leicht durch ein paar Buchstaben bewerkstelligen, indem man z. B. Pik. Alc. für Pikrinsäure oder Alkohol, Cm. für Carmin, Hx. für Haematoxylin, C. B. für Canadabalsam, Gl. für Glycerin, Chl. C. für Chlorcalcium setzt u. s. w.

691 Schutzleisten. Manche Mikroskopiker versehen ihre Präparate zu beiden Seiten mit sogenannten Schutzleisten, d. h. mit kleinen Glasleisten, welche mittelst Wasserglases, Canadabalsams oder Gummi arabicum auf den Objectträger befestigt werden. Ich kann dieselben nur für den Fall empfehlen, dass Präparate beim Versenden auf einander gelegt werden sollen. Bei der hie und da noch vielfach üblichen Einordnungsmethode der Präparate sind diese Leisten allerdings nöthig, um Druck, Zerbrechen und andere Beschädigungen zu vermeiden. Sie führen indessen beim Betrachten der fertigen Präparate in Folge ihrer Dicke eine grosse Unbequemlichkeit mit sich, indem sie, wenn man dem Objecte nicht eine für die Beobachtung oft unpassende Lage geben will, verhindern, dass man den Abstand des Objectivsystemes von der Oberfläche des Deckglases beobachten kann. Hierdurch aber wird, namentlich bei stärkeren Systemen, die Einstellung erschwert und zeitraubend gemacht. Besser ist es, die

Etiketten durch Aufkleben auf passenden Carton soweit zu verstärken, dass deren Dicke eben hinreicht, um bei der Einordnung die Berührung der Unterseite des überliegenden Objectträgers mit der Verkittungsmasse zu verhüten. Man erreicht dann den erforderlichen Schutz der Präparate, ohne bei der Beobachtung allzusehr gehindert zu sein. Da die Präparate der Beobachtung wegen vorhanden sind, so sollte man sich diese auf jede mögliche Weise zu erleichtern und zeitersparend zu machen suchen. Statt der Einordnungsweise halber die Handlichkeit des Präparates zu beeinträchtigen, sollte man lieber der letzteren halber die erstere in geeigneter, gleich näher zu beschreibender Weise einrichten.

Einordnung der Präparate. Die Einordnung der Präparate geschieht in aus Holz oder Pappe gefertigten Kästchen. Manche Mikroskopiker benutzen flache, schiebladenähnliche Kästchen, in denen entweder nur eine Lage von Präparaten (Harting) oder mehrere Lagen übereinandergeschichtet (Schacht) untergebracht werden. Andere gebrauchen prismatische Kästchen (wie sie von Vogel in Giessen zu beziehen sind), in denen 40 bis 50 mit Schutzleisten versehene Präparate übereinander stehen und welche ihrerseits wieder derart in grössere Kästen eingesetzt werden, dass jene eine horizontale Lage erhalten.

Ich habe aus oben genannten Gründen schon lange die altgewohnten Kästen verlassen und mir die meinigen so einrichten lassen, dass nicht nur jene unbequemen Glasleisten wegfallen, sondern auch die Uebersicht über sämtliche Präparate sehr erleichtert und damit eine gewisse Eleganz verbunden wird. Vielleicht darf ich hoffen, manchem Mikroskopiker einen Dienst zu erweisen, wenn ich meine schon in der ersten Auflage bekannt gegebene Einrichtung auch hier nochmals näher beschreibe ¹⁾.

Die aus starker Pappe gefertigten Kästchen, in denen die Präparate zunächst untergebracht werden, bilden kleine Schränkchen, welche, da meine Objectträger 45 mm lang und 30 mm breit sind, im Lichten eine Länge von 120 mm, eine Tiefe von 35 bis 40 mm und eine Höhe von 80 mm haben. Im Inneren befinden sich 3 Träger *aaa*, welche in der, in der Fig. 579 (a. f. S.) angedeuteten Weise eingeschnitten sind, so dass jedes Kästchen 24 Präparate aufnehmen kann. (Man könnte allerdings auch mehr, etwa 50 Präparate in einem Kästchen unterbringen; allein ich glaube, dass dadurch die Handlichkeit sowie die Festigkeit leiden würde.) Die Vorderwand des Kästchens bildet eine Klappe und der Verschluss geschieht mittelst eines von oben her etwas über Wände und Klappe greifenden Deckels, der auf seiner Oberseite die allgemeinere Bezeichnung trägt (z. B. Kryptogamen, Lebermoose, Coniferen, Histologie des Holzkörpers etc.). Die speciellere Bezeichnung wird in der in der Figur an-

¹⁾ Aehnliche Kästen sind in verschiedenster Ausstattung und Form von den meisten Präparatenhandlungen, namentlich aber in gediegener Ausführung von Theodor Schröter in Leipzig (Grosse Windmühlenstrasse Nr. 27), welcher Preisverzeichnisse gratis versendet, zu beziehen.

gedenteten Weise auf die, innen weiss überklebte Klappe geschrieben. Die Durchmusterung der Präparate ist nun ausserordentlich einfach und kann man sich dieselbe noch erleichtern, wenn man die einzelnen Einschnitte numerirt, und auf der Innenseite der Klappe, zu beiden Seiten der eben erwähnten Aufschrift und neben die gleichen Nummern die nähere Bezeichnung der entsprechenden Präparate hinschreibt.

Diese Kästchen kommen nun, zu etwa sechs bis zwölf, aufrechtstehend in einen länglichen Holzkasten, so dass sich die Präparate in

Fig. 579.



horizontaler Lage befinden. Will man sich das Herausnehmen aus den grösseren Kästen erleichtern, so darf man nur zwischen je zwei Kästchen eine bis zur halben Höhe reichende Scheidewand anbringen lassen.

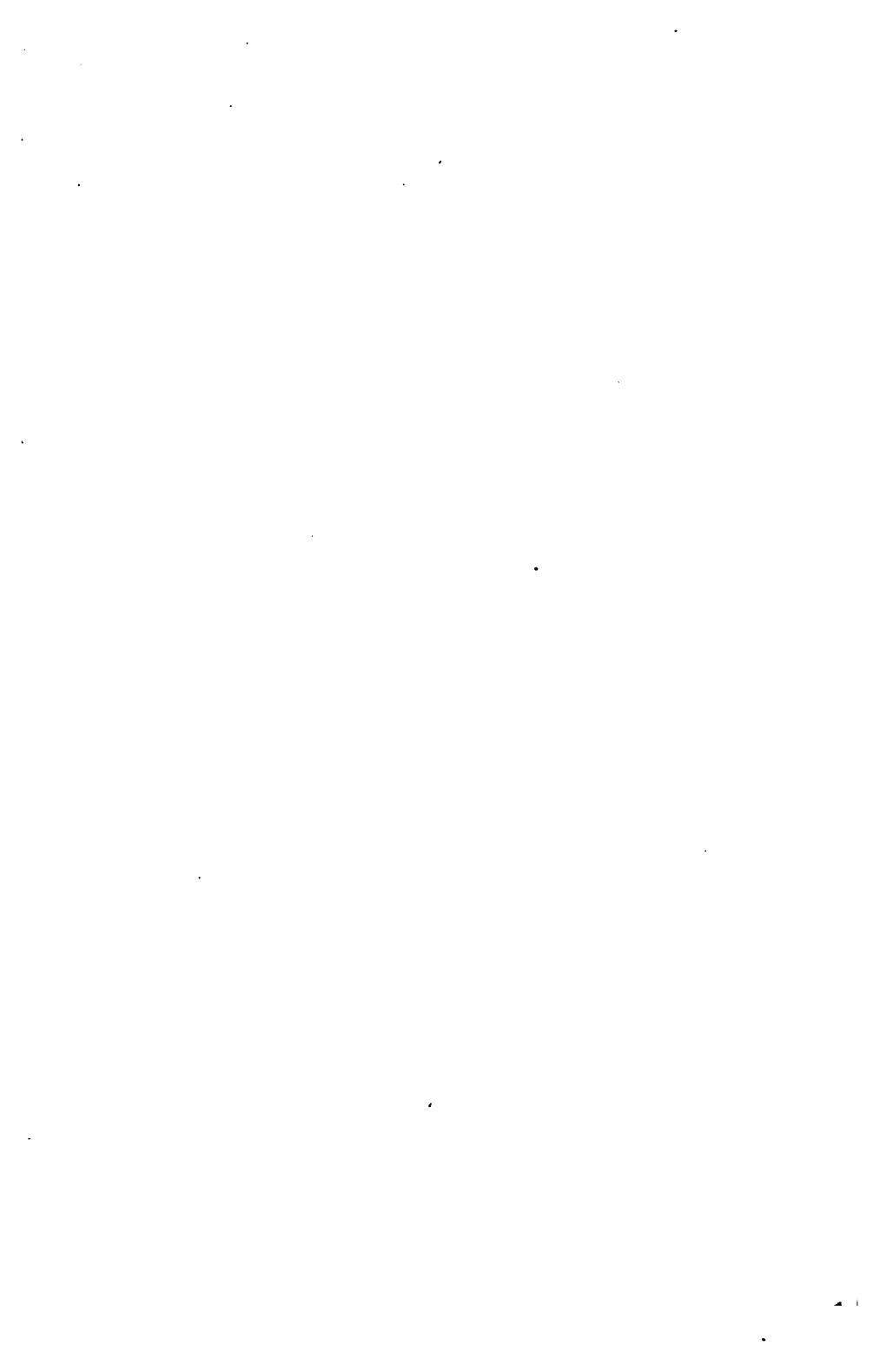
Auch zum Transportiren lassen sich ähnliche, nur kleinere Kästchen verwenden, bei denen die vordere Klappe füglich wegfallen und — während die vierte schmale Seite ebenfalls geschlossen wird — durch einen dieselbe vertretenden, übergreifenden Deckel ersetzt werden kann.

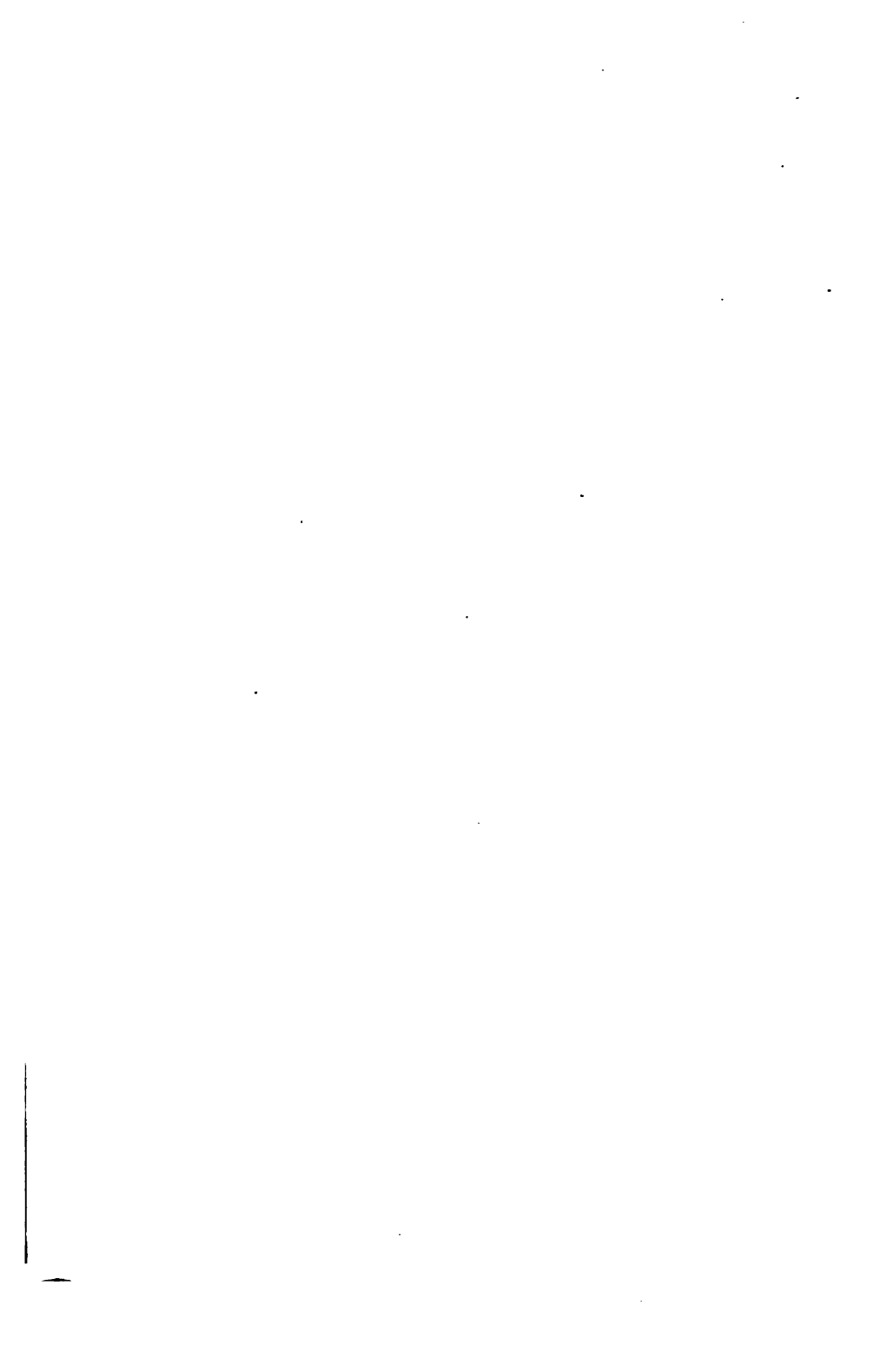
D r u c k f e h l e r .

- Seite 12 Fig. 7 ist bei dem Querschnitt Q_1^* neben (h_1^*) zu setzen y_1^* .
- " 12 ist in der Gleichung für y_1 zu setzen $\frac{y^*}{N_1}$ statt $\frac{y_1^*}{N_1}$.
- " 15 Zeile 11 von oben ist statt hinziehen hinzielen zu lesen.
- " 15 " 14 " unten ist statt „auszuführen“ zu setzen „einzuführen“.
- " 20 Zeile 10 von oben ist statt $-\frac{n^*}{n} \cdot \left(\frac{y^*}{y}\right)^2 \cdot \frac{f^*}{f}$ zu setzen
- $$= -\left(\frac{y^*}{y}\right)^3 \cdot \frac{f^*}{f}.$$
- " 24 Fig. 13 sind die Winkel statt mit α und α^* mit u und u^* zu bezeichnen.
- " 26 Zeile 4 von unten ist zwischen den beiden Gleichungen für f_1^* und f_2^* der Punkt zu streichen.
- " 28 Fig. 15 ist das Δ zwischen F_1^* und F_2^* zu streichen.
- " 30 Fig. 17 ist statt n_1 und n_1^* zu setzen n und n^* .
- " 31 ist nach der Gleichung für f_2 zu setzen $z_2 = -f_2$.
- " 35 Fig. 22 ist das — Zeichen vor x zu streichen.
- " 44 ist statt $(2 P)$ zu setzen (P) .
- " 66 Zeile 5 von oben ist statt von der Schicht zu setzen vor der Schicht.
- " 66 Zeile 7 von oben ist statt Strahlenglanz zu setzen Strahlengang.
- " 150 Zeile 1 von oben ist statt links unten und rechts oben zu setzen rechts unten und links oben.
- " 206 ist in Fig. 140 und in der ersten Gleichung statt X zu setzen X_1 .
- " 208 unten ist statt $\frac{1}{300}$ zu lesen $\frac{1}{350}$.
- " 219 Zeile 23 von oben lies Steigung statt Steigerung.
- " 235 Zeile 5 von oben lies bildet statt bidet.
- " 249 Zeile 1 von oben ist statt 15^2 zu setzen $29,4^2$.
- " 312 unter Formel statt $e_1 \cos t$ zu setzen $e_1 \cos i$.
- " 327 Zeile 6 von oben lies 250 . 0,000582 statt 250 . 0000582.
- " 342 Zeile 9 von unten lies angehören statt angehört.
- " 352 Zeile 8 von oben lies steigt statt steigen.
- " 354 in der Tabelle, letzte Columnne auf 10μ zu setzen.
- " 385 Zeile 7 und 8 von unten muss stehen der einzelnen Vergrößerung statt der Vergrößerungen.

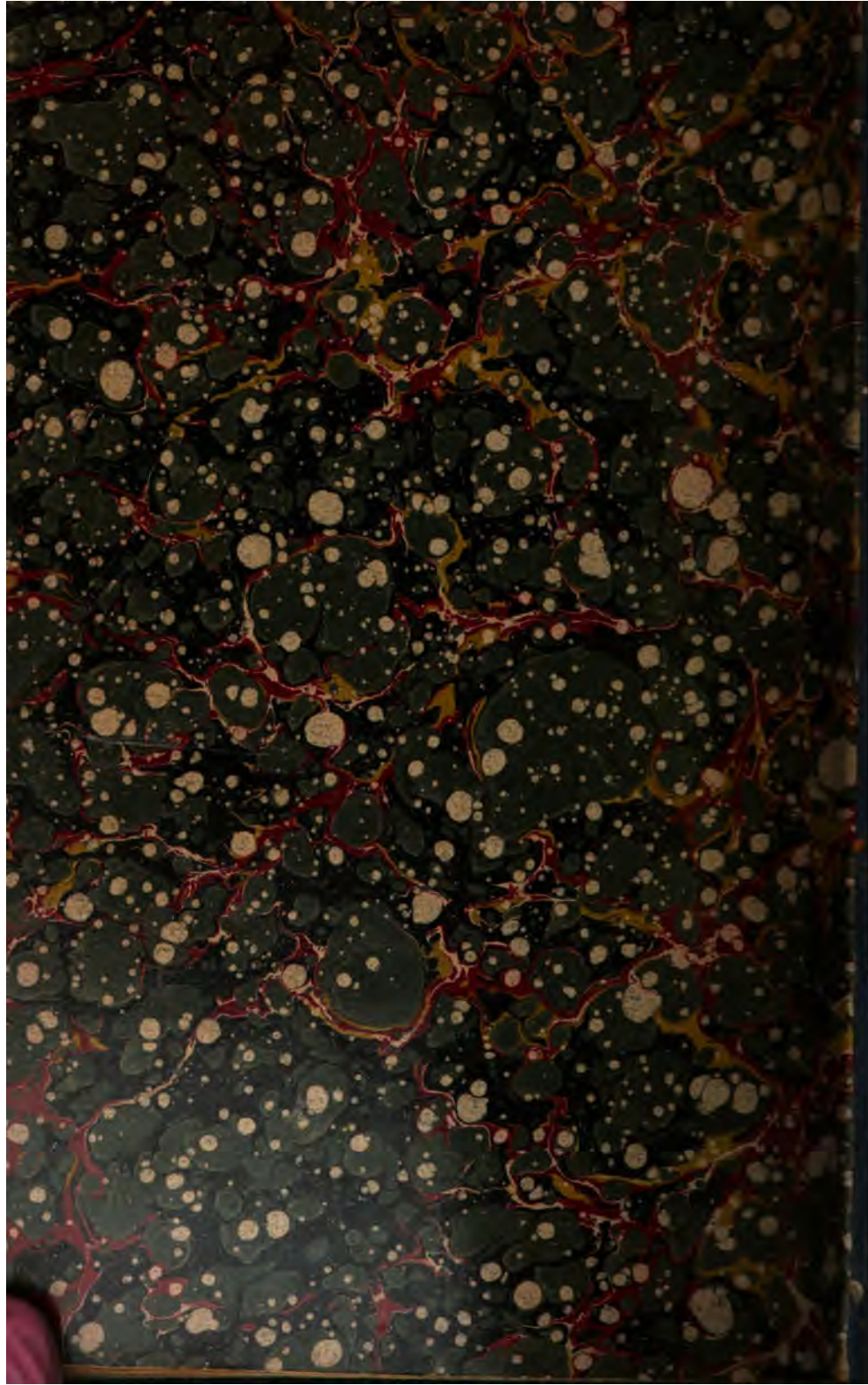
Seite 607 Zeile 14 von unten statt Prazmowsky'schen Prisma lies Abbé'schen Prisma.

- „ 610 Zeile 5 von oben ist Prazmowski'sche zu streichen.
- „ 614 Zeile 2 von unten lies backen statt bocken.
- „ 679 Zeile 13 von unten ist statt 0,03 zu setzen 0,01.
- „ 702 ist in Nr. 402 zweitem Absatz am Schlusse des zweiten Satzes hinzu-
zufügen: während nach Angabe von Hähnel dies
nicht oder doch nur schwer geschieht.
- „ 770 Zeile 17 von unten ist statt Ctemphoren zu setzen Ctenophoren,
ebenso statt Rhabdococlen Rhabdocoelen.
- „ 804 Zeile 11 von oben lies Wand der Haargefässe statt Wurzel der
Harngefässe.
- „ 814 Zeile 11 von oben lies Dicke statt Stärke.
- „ 832 Zeile 14 von unten ist statt Seite 557 zu setzen Seite 752.
- „ 842 Zeile 5 von unten ist in der Formel für N zu lesen $= \frac{145,5 \mu}{e}$.
- „ 879 ist in der Figur unten statt $P_1 P^* P_2$ zu setzen $P_1 P P_2$.









THE BORROWER WILL BE CHARGED
AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT
RETURNED TO THE LIBRARY ON OR
BEFORE THE LAST DATE STAMPED
BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE
NOTICES DOES NOT EXEMPT THE
BORROWER FROM OVERDUE FEES.

WIDENER
BOOK DUE

JUL 10 1982

CANCELLED
39359
MAR 4

1982