

II 90372

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; <http://www.elsevier.de/>

E 20582

# MIKROKOSMOS

84. Jahrgang/Heft 4

Juli 1995



**GUSTAV  
FISCHER**

ISSN 0026-3680

# MIKROKOSMOS

## Zeitschrift für Mikroskopie

Herausgegeben von Klaus Hausmann (Berlin)

und Bruno P. Kremer (Köln)

Redaktionsassistentin: Annett Burzlaff (Berlin)

Mitteilungsorgan für Arbeitskreis Mikroskopie im Freundeskreis Botanischer Garten Köln, Arbeitskreis Mikroskopie im Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen, Berliner Mikroskopische Gesellschaft e.V., Deutsche Mikrobiologische Gesellschaft Stuttgart, Mikroskopische Vereinigung Hamburg, Mikrobiologische Vereinigung München, Mikrophische Gesellschaft Wien, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V., Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Hannover, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Stuttgart, Mikroskopische Gesellschaft Zürich.

### Inhalt

#### Artikel

- 195** Pollenkörner in Spinnweben  
*Hans Ferdinand Linskens*
- 197** Eine modifizierte schiefe Beleuchtung  
*Martin Kreutz*
- 205** Modifizierte Einbettung nach Spurr in der botanischen Mikrotechnik  
*Heinz Vermathen*
- 211** Leben im Faulschlamm  
*Philipp Mayer*
- 219** Sand unter dem Mikroskop  
3. Eine kleine Einführung in die Kristallographie für Mikroskopiker  
*Paul Gangloff*
- 225** Der Strandhafer (*Ammophila arenaria*) – ein Beispiel für eine optimierte Konstruktionsform  
*Uwe Markstahler*
- 235** Astrablau-Fuchsin-Färbung nach Roeser  
*Michael Breithaupt*
- 239** Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie – die andere Art des Sehens  
*Annett Burzlaff*
- 249** Digitale Bildverarbeitung in der Mikroskopie  
*Siegfried Kürten*

#### Rubriken

- 193**  
Editorial
- 199, 218, 238, 246, 251**  
Kurze Mitteilungen
- 201**  
Mikro-Galerie
- 204**  
Mikro-Lyrik
- 209, 210**  
Nachrichten
- 234**  
Aus der Industrie
- 247**  
Mikro-Quiz
- 253**  
Buchbesprechungen
- 255**  
Aus den  
Arbeitsgemeinschaften
- 255**  
Mikro-Markt

*Umschlagabbildung:* Querschnitt durch ein Rollblatt des Strandhafers *Ammophila arenaria*. Siehe Artikel Markstahler, S. 225–234.

*Bezugsbedingungen:* Sechs Hefte bilden einen Band. Bezugspreis pro Band DM 108,- (Sonderpreis für Schüler und Studenten DM 78,-), Einzelheft DM 22,- (jeweils zuzüglich Porto und Versandkosten).

Folgende Kreditkarten werden zur Zahlung akzeptiert: Visa/Eurocard/Mastercard/American Express (Bitte Kartennummer und Gültigkeitsdauer angeben).

*Anzeigenpreise:* Es gilt die Anzeigen-Preisliste 1. 10. 1994.

*Verlag:* Gustav Fischer Verlag GmbH & Co. KG, Wollgrasweg 49, 70599 Stuttgart, Tel. 07 11/45 80 30

Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk- und Fernsehendung, im Magnettonverfahren oder ähnlichem Wege bleiben vorbehalten. Fotokopien für den persönlichen oder sonstigen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden.

© Gustav Fischer Verlag · Stuttgart · Jena · New York · 1995

Satz: Mitterweger Werksatz GmbH, Plankstadt

Druck und Einband: Gulde-Druck GmbH, Tübingen; gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

## Mikroskopieren – eine aussterbende Kunst?

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

*nichts ist so beständig wie der Wandel. Diese alte Einsicht, die in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens gilt, wäre eine gar treffliche Kurzformel auch für die biologische Evolution in Raum und Zeit, die Bewährtes und Erprobtes erwiesenermaßen nicht innerhalb starrer Konturen konserviert, sondern durch vorsichtige, tastende Anpassung jeweils an sich verändernde Umfelder anpaßt. Auch eine traditionsreiche Zeitschrift wie der MIKROKOSMOS wäre wie ein Fossil verloren, würde er sich nicht diversen Herausforderungen stellen, um auch weiterhin Bestand zu haben.*

*Unsere Gesellschaft verfügt über Möglichkeiten und Formen der Freizeitgestaltung, die zuvor in diesem Maße niemals realisierbar waren. Ob die schrittweise hinzugewonnene und sehr beträchtliche Quantität verfügbarer Zeit allerdings sinnvoll zu qualitativ gesteigertem Erleben und Erfahren genutzt wird, beschäftigt zunehmend Pädagogen, Psychologen und Soziologen. Wir wollen hier nicht in diese schwierige, sicher auch sehr umfassende zu führende, aber manchmal etwas lamentierende Diskussion eingreifen und schon gar nicht bestimmte Erscheinungsformen des Freizeitverhaltens gegeneinander aufwerten, möchten aber doch ausdrücklich feststellen, daß unser gemeinsames Hobby Mikroskopie unbedingt neue Freunde braucht.*

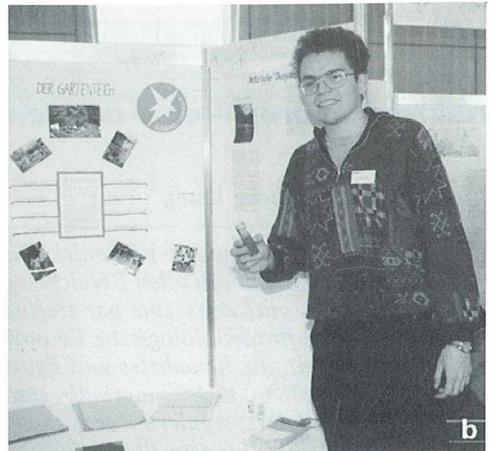
*Mikroskopieren als bestandsbedrohte Freizeitbeschäftigung aus der Roten Liste der Hobbys und Liebhabereien? Im reinen Profibereich, in der Forschung und Dokumentation, nimmt die Mikroskopie mit ihren geradezu fantastischen technischen Möglichkeiten auch künftighin einen unangefochtenen Rang ein. Im Schulunterricht ist die Sache schon etwas brenzlicher. Es gibt immer noch zahllose Schulen, die zwar mit einem aufwendigen, für sich betrachtet sicher sehr nützlichen Sprachlabor oder einem ansehnlichen Computerpark ausgestattet wird, auf der anderen Seite aber nicht einmal die Billigstversion eines Kaufhausmikroskopes in Klassen- oder Kursstärke haben. Dabei lassen*

*die Lehrpläne für fast alle Jahrgangsstufen bei zahlreichen Themenfeldern auch den Einsatz von Mikroskopen zu.*

*Erzeugt die gängige Praxis hier nicht unnötig Brachland, indem sie der nachwachsenden Generation spannende Abenteuer und Einblicke in die sehr kleinen Welten vorenthält? Mit anderen Worten: Junge Menschen im begeisterungsfähigen Alter lernen eher elektronische Computer-Ersatzwelten kennen als die nicht minder gut erfahrbare und zweifellos bewundernswerte Vielfalt ihrer natürlichen Umwelt. Damit die Mikroskopie in der neuen Vielfalt von Hobby und Freizeitspaß nicht untergeht, muß man den Grundstein sicher sehr rechtzeitig legen. Wir sehen hier eine wichtige Aufgabe beispielsweise für unsere Arbeitsgemeinschaften, die – nach bewährtem Vorbild – mit einem Tag der offenen Tür oder anderen Publikumsaktivitäten das Faszinosum mikroskopischer Kleinwelten auch denjenigen vorführen kann, die bisher keinen Zugang dazu hatten und das Staunen wieder lernen möchten.*

*Aber auch Sie, liebe Leserinnen und Leser, können bei Ihren Freunden, Bekannten oder Verwandten werben für die Mikroskopie als grenzenloses Freizeitabenteuer und natürlich auch für MIKROKOSMOS: In der Mitte dieses Heftes finden Sie einen Beihefter mit einer neuen Runde unserer Leser werben Leser-Aktion. Werben Sie dem MIKROKOSMOS einen neuen Abonnenten oder verschenken Sie ein Jahresabonnement zum Beispiel an Paten- oder Enkelkinder. Der Verlag belohnt Ihre Mühe mit einer wertvollen Buchprämie Ihrer Wahl.*

*Die Redaktion hat ihrerseits einen neuen Weg beschritten, um der Mikroskopie zu neuen Freunden zu verhelfen. Im Rahmen des nunmehr schon seit 30 Jahren bestehenden Wettbewerbs **Jugend forscht** haben wir einen MIKROKOSMOS-Sonderpreis ausgelobt für Arbeiten, die vor allem unter Einsatz des Lichtmikroskopes zustande gekommen sind. Der mit insgesamt 400,- DM bemessene Sonderpreis wird jährlich bei den Landeswettbewerben von einer unabhängigen Jury in je einem alten und neuen Bundesland vergeben. In*



**Melanie Müller (a, links) und Aline Lichter (a, rechts) aus Remscheid erhielten beim Landeswettbewerb Nordrhein-Westfalen von Jugend forscht den MIKROKOSMOS Sonderpreis, so wie auch Jörg Jacobs aus Cottbus (b) beim Landeswettbewerb Brandenburg.**

*der gerade abgeschlossenen Wettbewerbsrunde 1995 haben den MIKROKOSMOS-Sonderpreis erhalten*

- beim Landeswettbewerb Nordrhein-Westfalen Melanie Müller und Aline Lichter vom Städtischen Leibniz-Gymnasium Remscheid (Abb. a) für ihre bemerkenswert gründliche Untersuchung der Bodenmikrofauna einer Obstwiese mit alten und neu gepflanzten Obstbäumen sowie

- beim Landeswettbewerb Brandenburg Jörg Jacobs (Abb. b) aus Cottbus, der eine ökologische Untersuchung in einem Gartenteich durchführte.

*Die Redaktion gratuliert den Ausgezeichneten auch auf diesem Wege sehr herzlich. Im kommenden Jahr steht der MIKROKOSMOS-Son-*

*derpreis in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung. Ermuntern Sie doch jetzt schon interessierte Jugendliche aus Ihrem Umkreis, ein kleines eigenes Untersuchungsprojekt in Angriff zu nehmen und den Anmeldetermin (November 1995) nicht zu verpassen.*

*Redaktion und Verlag haben einen Fond eingerichtet, aus dem der Geldbetrag für den Sonderpreis **Jugend forscht** oder etwaige weitere Wettbewerbe zu bestreiten sein wird. Dieser Fond hat kürzlich einen ganz unerwarteten Zuwachs erhalten: Ein MIKROKOSMOS-Autor hat ausdrücklich auf sein Honorar verzichtet und dieses für Fördermaßnahmen zur Verfügung gestellt – ein Entschluß, über den wir uns sehr gefreut haben und den wir als als bedenkenswertes Beispiel werten. Vielleicht ist auch diese Idee ausbaufähig, indem Sie, die Sie vielleicht nicht mehr so sehr auf das eingehende Honorar angewiesen sind, dieses dem Fond zur Verfügung stellen. Sie würde die Reichweite unserer Mikroskopie-Förderung deutlich verbessern.*

*Ihre Redaktion MIKROKOSMOS*

# Pollenkörner in Spinnweben

Hans Ferdinand Linskens

**Viele Spinnenarten sind in der Lage ein Netz zu bauen, das aus dünnen, proteinartigen Fäden besteht. Das Material dieser seidigen Spinnwebfäden gehört zu den Fibroinen und ist außerordentlich elastisch. Die Spinnweben dienen dem Beutefang. Die verschiedenen Spinnenarten haben verschiedene Strategien des Beutefanges entwickelt, was sich in den verschiedenen Formen der Spinnweben ausdrückt. Vielfach besteht das Spinnweb aus radialen Fäden, die ein mehr oder weniger konzentrisches System von klebrigen Fangfäden tragen. Die meisten Spinnweben werden vertikal angelegt; andere Arten bauen ihre zwei- oder dreidimensionalen Netze in der horizontalen Ebene (Foelix, 1979).**

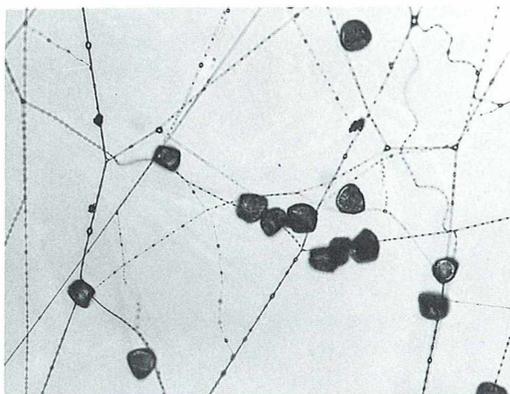
**E**s ist nicht verwunderlich, daß sich in den Spinnweben nicht nur Beutetiere verhaspeln, sondern auch andere in der Luft sich herumtreibende Teilchen hängen bleiben, die der Ernährung der Spinnen dienen. So ist bekannt, daß sich in Spinnnetzen auch atmosphärisch transportierte Feinstäube fangen, so daß Spinnweben als Monitore für die Schwermetallbelastung der Luft dienen können. Außer diesen anorganischen Partikeln werden aber auch Blütenstaubkörner festgehalten. Pollenkörner in einer Größenordnung zwischen etwa 10–200 µm Durchmesser und einem Gewicht von 10–1000 ng lassen sich lichtmikroskopisch leicht nachweisen. Eine dankbare Aufgabe für den Mikroskopiker!

## Materialgewinnung

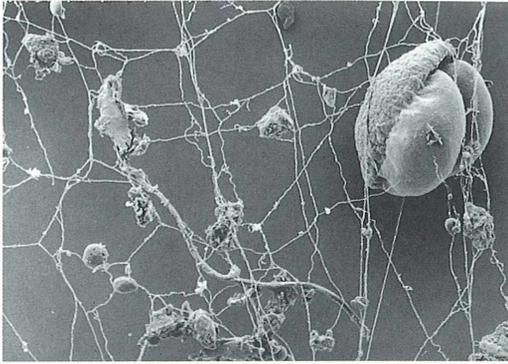
Die Gewinnung des Materials für die mikroskopische Beobachtung (Vergrößerung zwischen 100 und 1000fach) ist denkbar einfach. Man kann mit der Pinzette einen gläsernen Objektträger oder besser noch ein Deckglas von hinten vorsichtig an einen Sektor der klebrigen Spirale andrücken. Einige Fäden bleiben an der Oberfläche des Glases kleben. Da die Fäden elastisch sind, benötigt man vorsichtigen Druck, bis die Fäden an den scharfen Kanten abgeschnitten werden oder reißen. Sie kleben jetzt auf der Glasoberfläche und können direkt trocken oder in einer Immersionsflüssigkeit beobachtet werden.

Will man freihängende Fäden beobachten, dann konstruiert man sich aus einem dünnen

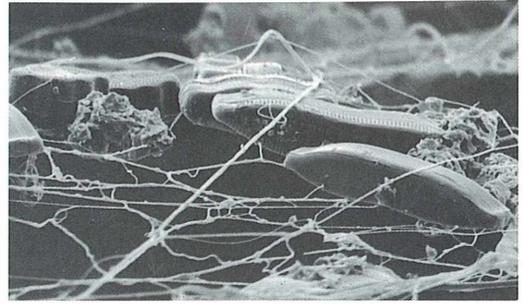
Eisendraht durch dreimaliges Abknicken einen viereckigen Rahmen (ca. 1 × 1 cm). Diesen benutzt man mit Hilfe einer Pinzette zum Herausschöpfen eines Stückchens des Spinnnetzes. Das Rähmchen mit dem Ausschnitt des Netzes wird auf den Objektträger gelegt und kann direkt beobachtet werden. Manchmal schaut die Spinne, wenn man behutsam vorgeht, bei dieser teilweisen Zerstörung ihres Netzes zu. Denn Zerstörungen am Netz kommen auch in der freien Natur vielfältig vor: die an den klebrigen Fäden festgehaltenen Beutetiere versuchen verzweifelt dem Netz zu entkommen. Größere In-



**Abb. 1: Blick in ein Spinnweb mit mehreren darin aufgefangenen Pollenkörnern. Man beachte die zahlreichen Tröpfchen, welche die Fangfäden charakterisieren. In diesen befindet sich eine wäßrige Flüssigkeit, welche die Elastizität der Seidenfäden garantiert.**



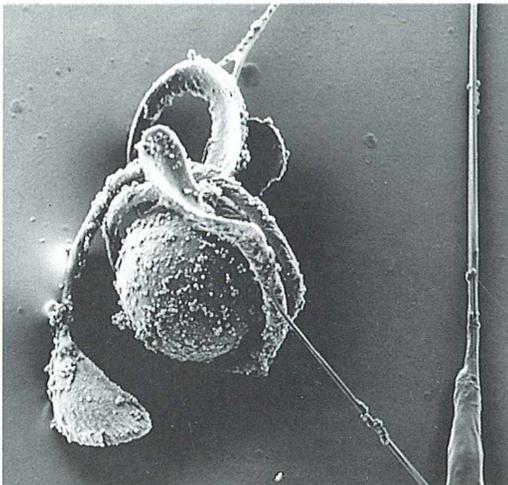
**Abb. 2:** Vergrößerter Ausschnitt aus einem Spinnwebgewebe. Rechts ein Kiefernpollenkorn, kenntlich an den beiden nach rechts ausbeulenden Luftsäcken. Außerdem sind mehrere eingefangene Pilzsporen zu sehen. 450 $\times$ .



**Abb. 4:** In einem Spinnwebgewebe, das in einer feuchten Mauerspalte gebaut war, fanden sich einzelne Kieselalgen. Diese pennaten Diatomeen sind an den in Reihen angeordneten, aus winzigen Kämmerchen bestehenden Strukturen des Gürtelbandes der Kieseläureschalen zu erkennen. 600 $\times$ .

sekten, wie Hummeln, können sich oft befreien. Kleinere Beutetiere werden von der wachsenden Spinne blitzschnell umgarnt.

Man wird überrascht sein, was man in einem Spinnwebgewebe alles finden kann: neben Resten von Beutetieren, die bereits ausgesogen wurden, findet sich viel Staub aus der Luft in den Netzen, zum Beispiel häufig auch Schuppen von Schmetterlingen.



**Abb. 3:** Eine Spore des Schachtelhalmes (*Equisetum*) hat sich im Spinnennetz verfangen. Man beachte die beiden teilweise ausgefalteten Schraubenbänder (Elateren) des Perisporis, die in feuchtem Zustand schraubig um die Spore aufgewunden sind. 420 $\times$ .

### Pollenkörner

Am interessantesten sind aber die zahlreichen Pollenkörner! Diese Sammlung der Pollenkörner stellt nämlich eine Momentaufnahme der in unmittelbarer Nähe der Spinnennetze im Augenblick blühenden Pflanzen dar. Da man die betreffenden Pflanzenarten an Hand der Größe und Exinestruktur des einzelnen Pollenkornes identifizieren kann, läßt sich also deren Herkunft ermitteln. Da die Spinnen normalerweise ihr Netz täglich erneuern, indem sie die proteinhaltigen Seidenfäden auffressen (ca. 90 % des Netzmaterials wird wiederverwendet), gibt die Pollenbelastung eines Spinnwebes eine aktuelle Pollenwarnung.

Natürlich werden von den klebrigen Fäden des Spinnennetzes auch allerlei andere biologischen Materialien eingefangen. So kann man zahlreiche verschiedene Pilzsporen, Sporen vom Schachtelhalm (*Equisetum*) oder an feuchten Stellen gar einzelne Kieselalgen in Spinnweben wiederfinden.

### Literaturhinweise

Foelix, R. F.: Biologie der Spinnen. Thieme Verlag, Stuttgart 1979.

Linskens, H. F., Ciampolini, F., Cresti, M.: Spider webs as pollen traps. Proceedings of the Koninkl. Nederl. Akademie van Wetenschappen (Amsterdam) 96, 415–425 (1993).

*Verfasser:* Prof. Dr. Hans Ferdinand Linskens, Oosterbergweg 5, NL-6573 EE Beek-Ubbergen, Niederlande

# Eine modifizierte schiefe Beleuchtung

Martin Kreutz

**Mitunter können schon einfache Veränderungen an einer bestehenden kontraststeigernden Methode zu einer wesentlichen Verbesserung des Verfahrens führen. Auch die schon lange bekannte schiefe Beleuchtung bietet in dieser Hinsicht noch Möglichkeiten.**

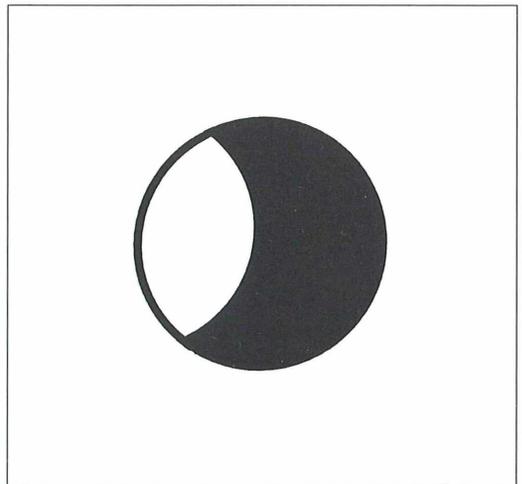
**D**ie schiefe Beleuchtung ist eine Methode zur Auflösungs- und Kontraststeigerung im Mikroskop, die bereits in den Anfängen der Mikroskopie angewendet wurde. Sie liefert ein reliefähnliches Bild, was vom Auge als sehr angenehm empfunden wird, da unser Form- und Räumlichkeitsempfinden dadurch besonders angesprochen wird. Dieser Reliefeffekt wird auch beim Interferenzkontrastverfahren erzeugt, allerdings aufgrund völlig anderer optischer Eingriffe in die Bildentstehung, was sich auch im hohen Anschaffungspreis dieser Methode widerspiegelt. Im Gegensatz dazu ist die schiefe Beleuchtung ohne größeren Kostenaufwand durchzuführen, weshalb sie insbesondere von Hobbymikroskopikern gerne eingesetzt wird. Zu ihrer Erzeugung kamen bisher hauptsächlich zwei Möglichkeiten zur Anwendung:

1. die Verwendung einer Lochblende,
2. das Dezentrieren der Aperturblende.

Diese beiden Methoden haben allerdings ihre Nachteile. Zum einen werfen besonders undurchsichtige Objekte (Algen) einen sehr dunklen und großflächigen Schatten, der bei ausgehnten Objekten auch innerhalb des Objektes liegen kann und dadurch eventuell Details verdunkelt. Zusätzlich ist besonders bei kleinen Vergrößerungen ein mehr oder weniger starker Helligkeitsgradient im Bildfeld sichtbar. Um überhaupt ein homogenes und ausreichend helles Bildfeld erzeugen zu können, muß mit geköhlerter Beleuchtung gearbeitet werden. Dadurch gerät der Kondensor in Stellungen, wo seine volle Apertur nicht genutzt werden kann. Die Nutzung der vollen Kondensorapertur ist aber bei schiefer Beleuchtung erwünscht, um einen möglichst schrägen Einfallswinkel des Lichtes in das Präparat und dadurch einen starken Reliefeffekt zu erhalten.

## **Aufbau der modifizierten schiefen Beleuchtung**

Es wäre also anzustreben, die maximale Apertur des Kondensors bei allen Objektiven zu nutzen, gleichzeitig ein helles und gradientenfreies Bildfeld zu erzeugen und den Schattenschwurf der Objekte zu mildern. Dies alles kann mit einer einfachen Anordnung erreicht werden. Dabei wird ein herkömmlicher Mattfilter mit einer schwarzen Blende versehen, die einen kreisförmigen Ausschnitt aufweist, so daß eine linsenförmige Fläche frei bleibt (Abb. 1). Durch diesen Filter kann der Kondensor jetzt für alle Objektive, außer dem Lupenobjektiv ( $4\times$ ), in die oberste Stellung gebracht werden. Es wird mit voll geöffneter Aperturblende gearbeitet.



**Abb. 1: Filter für die modifizierte schiefe Beleuchtung.**

### Wirkungsweise des Filters

Durch den Mattfilter muß die Beleuchtung nicht mehr geköhlet werden, da die Lichtquelle praktisch in die Ebene des Filterhalters gelegt wurde. Beim Blick durch den Tubus nimmt die Blende etwa 70 % des Bildfeldes ein. Trotz dieser Konstellation tritt kein Dunkelfeld mit einseitiger Beleuchtung auf. Die mattierte Fläche des Filters streut das Licht homogen in alle Richtungen und sorgt so für ein praktisch gradientenfreies Bildfeld. Die Schatten der Objekte werden aufgehellt. Der Relieffekt ist sehr stark, da die volle Kondensorapertur genutzt wird. Mit einer Niedervoltleuchte (15 W oder mehr) ist eine ausreichend helle Beleuchtung problemlos möglich. Beim Objektivwechsel muß diese Art der schiefen Beleuchtung nicht mehr durch Nachjustieren des Filters oder des Kondensors neu eingestellt werden. Sie liefert nicht nur für die visuelle Beobachtung ein kontrastreiches Bild, sondern eignet sich auch hervorragend für die Mikrofotografie. Als Beispiel sind einige Objekte aus Planktonuntersuchungen abgebildet (Abb. 2–4). Alle Aufnahmen entstanden bei schiefer Beleuchtung mit achromatischen Objektiven.

### Bau und Justierung des Filters

In zahlreichen Versuchen hat sich gezeigt, daß nicht nur das Ausmaß, sondern auch die Form der Blende einen erheblichen Einfluß auf die Qualität der schiefen Beleuchtung hat. Als besonders günstig hat sich dabei eine Blende mit kreisförmigem Ausschnitt erwiesen. Benötigt wird ein Mattfilter und schwarze Selbstklebefolie (Haushaltswaren oder Bastelbedarf).

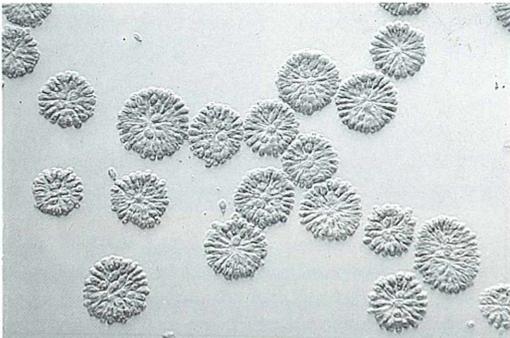


Abb. 2: *Synura uvella*.

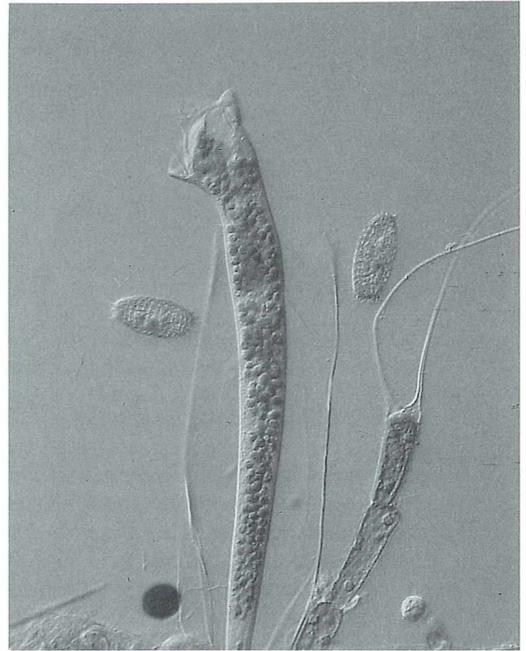
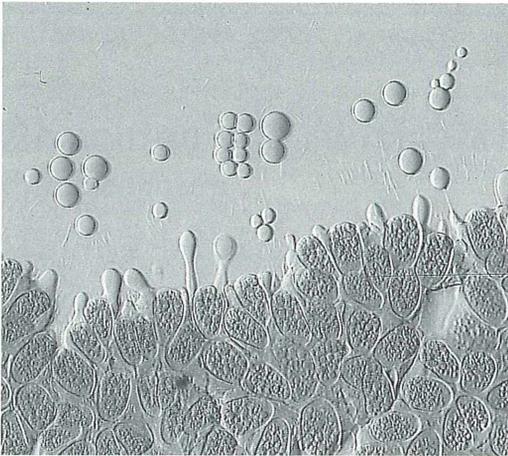


Abb. 3: *Thuricola folliculata*.

Durch Nachziehen des Umrisses des Mattfilters wird ein kreisförmiges Stück Folie ausgeschnitten. Der Mattfilter wird ein zweites Mal verwendet, um ein Kreissegment zu markieren, welches ca. 30 % der Gesamtfläche des Kreises ausmacht. Wie groß letztendlich das freigelassene Stück Mattfilter sein muß, hängt vom jeweiligen Mikroskop- und Kondensortyp ab und muß ausprobiert werden. Es empfiehlt sich, eine Art Griff (z. B. aus Holz oder Aluminium) an den fertigen Filter zu kleben, um ihn nachher bequem im Filterhalter drehen zu können. Dadurch können dann später alle Details eines Objektes sichtbar gemacht werden. Nach Einlegen des Filters wird der Kondensor in die höchste Stellung gebracht. Nun wird ein geeignetes Objekt (z. B. *Spirogyra* oder *Paramecium*) scharf eingestellt und durch vorsichtiges Senken und Heben des Kondensors der maximale Relieffekt eingestellt. Bei dem Objektiv 10 × darf höchstens ein schwacher Helligkeitsgradient durch das Bildfeld laufen. Ist dies nicht der Fall, muß das Ausmaß der Blende durch vorsichtiges Verkleinern korrigiert werden (wegschneiden mit Rasierklinge), bis die Abschattung durch die Blende gerade außerhalb des Bildfeldes liegt.



**Abb. 4:** Freisetzung von Öl unter Deckglasdruck bei *Botryococcus braunii*.

## Anwendungsgebiete

Der Filter kann in allen Mikroskopen eingesetzt werden, die mit einem mindestens zweilinsigen Kondensator ausgerüstet sind. Besonders anbieten würde sich das Verfahren für Schul- und Kursmikroskope sowie bei Mikroskopen, die nicht für die Nachrüstung mit anderen Kontrastverfahren vorgesehen sind.

## Literaturhinweise

Gerlach, D.: Das Lichtmikroskop. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1976.  
 Kaufmann, M.: Die schiefe Beleuchtung. Mikroskopos 68, 299–302 (1979).

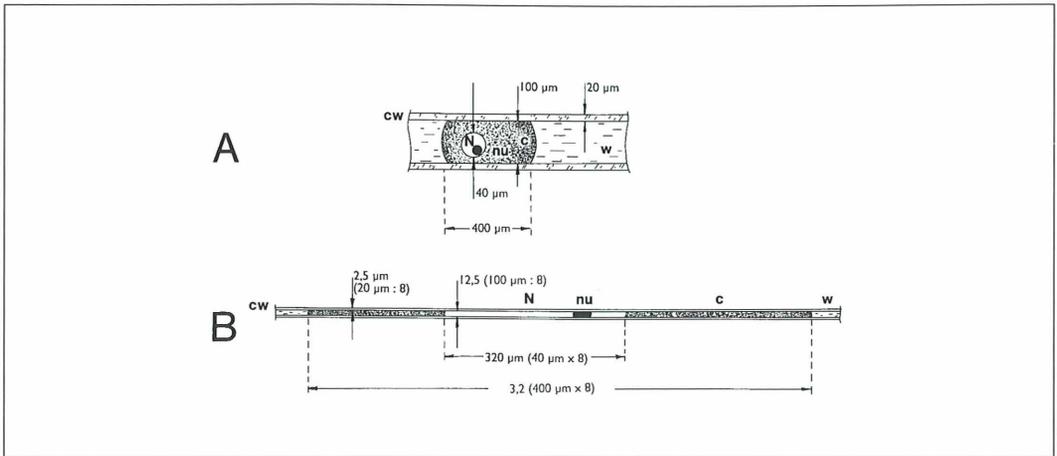
*Verfasser:* Dr. Martin Kreutz, Magdeburger Str. 2, D-78467 Konstanz

## Kurze Mitteilung

### Kapillarmikroskopie

Die mikroskopische Untersuchung von Einzelzellen, die sich im Innern von Glaskapillaren befinden, ist seit den zwanziger Jahren eine gelegentlich angewandte Methode. Die runden Glaskapillaren haben jedoch den Nachteil, daß die Glaswände wie zwei halbrunde Zylinderlinsen wirken, die zu einer beträchtlichen Störung des Bildes führen. Man hat versucht, diese Störung durch Einbetten der Glaskapillaren in Wasser zu verbessern. Wasser ist mit einem Brechungsindex von 1,35 dem des Glases mit 1,50 näher als dem Brechungsindex der Luft (1,00). Erst das Eintauchen der Glaskapillare in ein Öl mit dem Brechungsindex 1,5 hat die Bildstörung weitgehend aufgehoben. Diese Methode ist aber mühsam und unpraktisch. Zudem bleiben natürlich die durch die Rundung des Kapillarinnenraumes verursachten Abweichungen bestehen. Außerdem haben die starren Glaskapillaren den Nachteil, daß darin befindliche Zellen für Experimente weitgehend unzugänglich bleiben. Diese Nachteile konnten nun durch die Einführung elastischer Kapillaren überwunden werden. Solche elastischen Kapillaren aus Polyurethan, Silikon oder Latex müssen die folgenden Bedingungen erfüllen:

1. Sie müssen streckbar sein. Diese Extensibilität wird als Ausdehnungsindex bezeichnet. Dabei ist anzunehmen, daß der Durchmesser der Kapillare umgekehrt proportional der Streckung ist. Wenn man zum Beispiel eine elastische Kapillare um das Achtfache ihrer ursprünglichen Länge streckt, vermindert sich der Durchmesser auf ein Achtel. Diese Extensibilität ist experimentell schwierig zu bestimmen. Eine Zelle, zum Beispiel eine Amöbe, die man in die Kapillare aufgesogen hat, mit einem ursprünglichen Durchmesser von 100  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 400  $\mu\text{m}$ , wird durch das Strecken um das Achtfache verlängert; sie wird also 3,2 Millimeter lang und gleichzeitig auf einen Durchmesser von 12,5  $\mu\text{m}$  reduziert. Solche Streckung kann mit Kapillaren aus Latex, Silikon oder Polyurethan ausgeführt werden. Deren elastische Wand von z. B. 20  $\mu\text{m}$  ursprünglicher Dicke wird durch das Strecken auf 2,5  $\mu\text{m}$  verkleinert. Man kann dann den Einfluß der Streckung auf die in der elastischen Kapillare befindlichen Zelle, deren Kern und das Cytoplasma mikroskopisch untersuchen.
2. Die Kapillare muß optisch transparent sein. Diese Transparenz ist bei den meisten Elastomeren, wie Latex, synthetischem oder Silikon-Gummi, gegeben. Diese sind lichtdurchlässig,



**Die elastische Kapillare (A) mit einer Wanddicke von 20 µm und einem Durchmesser von 100 µm wird um die achtfache Länge gestreckt (B), so daß die Wanddicke auf 2,5 µm und der Durchmesser auf 12,5 µm reduziert werden. Die ursprüngliche Länge des Zellkerns von 40 µm wurde ausgedehnt auf 320 µm, die Zelllänge wurde durch die Streckung von 400 µm auf 3,2 mm vergrößert. Die Zellstrukturen wurden durch die Streckung für die quantitative Mikroskopie aber auch für mechanische, chemische und optische Manipulation zugänglich gemacht. CW Wand der elastischen Kapillare, W Wasser, N Nukleus, nu Nukleolus, C Cytoplasma (Abbildung nach Moroz, 1994, verändert).**

wenn auch etwas opaleszent und trübe, wenn sie in dickeren Schichten vorliegen. In dünneren Lagen sind solche Elastomere für sichtbares und teilweise auch für UV-Licht transparent.

3. Die elastischen Kapillaren sollten eine gewisse reduzierte Härte haben. Die Kapillärwände müssen so weich sein, daß die eingeschlossene Zelle für eine Mikroinjektion zugänglich ist. Auf diese Weise können bestimmte Stoffe in die Zelle oder deren Organellen gerichtet eingeführt werden. Auch Farbmarkierungen sollten möglich sein. Besonders interessante Beobachtungen des Cytoskeletts unter den Streißbedingungen der elastisch gestreckten Kapillare sind zu erwarten.

Die manipulierten Zellen können aus der Kapillare leicht mittels Luftdruck herausgedrückt werden. Sie sind dann für weitere mikroskopische Untersuchungen zugänglich.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten solche elastischen Mikrokapillaren auch mit rechteckiger Geometrie (im Querschnitt quadratischem Innenraum und parallelen Außen- und Innenwänden) herzustellen. Eine Methode ist das Eintauchen von im Querschnitt quadratischen Glasnadeln oder Metallfäden in ein verflüssigtes (geschmolzenes) oder in Lösung gebrachtes Elastomer. Nach der Verfestigung der elastischen Kapillare kann der harte Kern aus Glas oder Metall herausgezogen werden wie der Fuß aus einem Strumpf. Solche rechteckigen Metallfasern werden z.B. von der Firma Molecu Wire, Farmingdale, New Jersey 07727, USA, geliefert. Das Abflachen der Außenflächen erfolgt durch Ausspannen der weichen Fäden über einer konvexen Glasfläche. Eine andere Methode wäre das Abflachen vorgefertigter elastischer Kapillaren aus Polyurethan (Lieferant z.B. Dunn Industries, Manchester, New Hampshire 03103, USA), Silikon (Dow Corning, Midland, Michigan 48641-9928, USA) oder Latex (Kent Latex Products, Kent, Ohio 44240-0668, USA).

Durch Streckung können die in elastischen Plastik-Kapillaren eingeschlossenen Zellen lichtmikroskopisch beobachtet werden, ohne mit dem Kern und anderen Zellstrukturen zu interferieren. Die Kapillarmikroskopie scheint daher neue Möglichkeiten der mikroskopischen Beobachtung zu bieten.

Moroz, P. E.: Microscopy and manipulation of cells in elastic capillaries. *Trans. Amer. Microscop. Soc.* 113, 412–414 (1994).

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

## Ansichten von Aufsichten Pflanzenhaare

Mario Mezler, Stefan Beinroth, Thomas Kappel und Ralf H. Anken

**P**flanzenoberflächen scheinen auf den ersten Blick nicht besonders aufregend zu sein. Bei genauerem Hinsehen erkennt man jedoch viele interessante Strukturen.

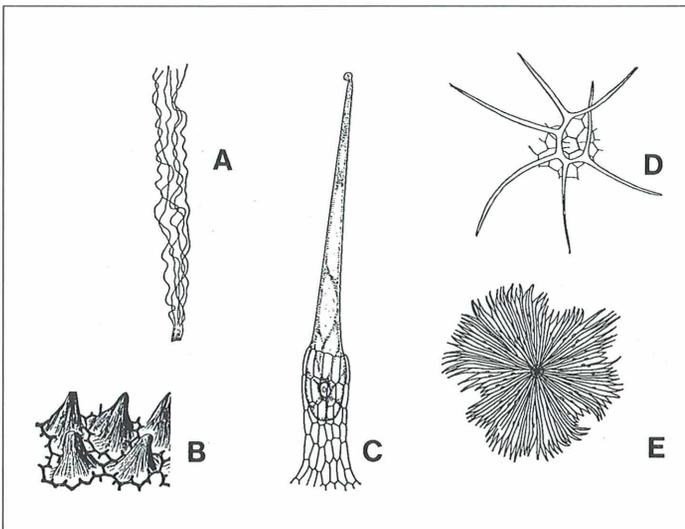
Alle epidermalen Anhänge werden als Haare oder Trichome bezeichnet. Dabei zeigen die Trichome eine bemerkenswert weite Variationsbreite sowohl in Bezug auf ihre Form und Funktion als auch in Bezug auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften. So gibt es beispielsweise Samenhaare, Schuppenhaare, Geweihhaare, Drüsenhaare, Sternhaare und viele mehr (Abb. 1). Die Anpassung der Pflanzen an verschiedenste Lebensbedingungen führt zu dieser enormen Vielfalt. Die verschiedenen Aufgaben der Pflanzenhaare reichen von Schutz vor übermäßiger Transpiration, direkter Sonneneinstrahlung, über Ausscheidung von Stoffen verschiedener Art bis hin zu einfachem mechanischem Schutz (z. B. Fraßschutz). Von allgemeiner und größter Bedeutung für die Pflanze sind die allseits bekannten Wurzelhaare.

Sie dienen der Versorgung der Pflanze mit Nährstoffen und Wasser und sorgen für eine enorme Vergrößerung der Wurzeloberfläche. Diese Wurzelhaare sind auch die Invasionsstellen für Knöllchenbakterien, die in vielen Pflanzenarten, unter anderem auch in der Ölweide (*Elaeagnus angustifolia*) und vor allem in Leguminosen (Schmetterlingsblütler), als Symbionten den freien Luftstickstoff assimilieren können und dadurch die Pflanze mit zusätzlichen organischen Stickstoffverbindungen versorgen (Bosco et al., 1992).

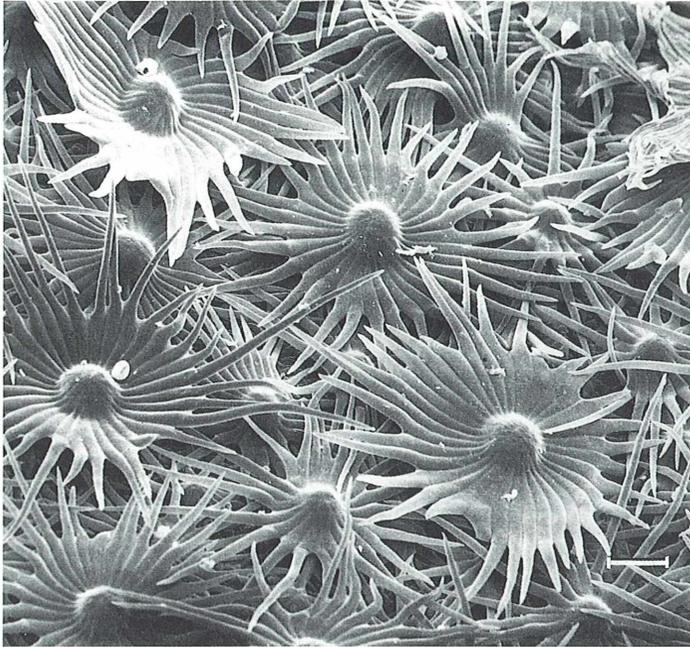
### Sternhaare

Am Beispiel der schmalblättrigen Ölweide (*Elaeagnus angustifolia*) wollen wir kurz einen bestimmten, besonders bizarren Haartyp vorstellen, das Sternhaar.

Mit dem Rasterelektronenmikroskop lassen sich selbst auf ein und demselben Blatt struk-



**Abb. 1:** A Samenhaare der Baumwolle (*Gossypium herbaceum*). B Epidermispapillen des Blütenkronblattes des Stiefmütterchens (*Viola tricolor*). C Brennhaar der Brennessel (*Urtica dioica*). D Geweihhaar von der Blattunterseite einer Levkoje (*Matthiola annua*). E Schuppenhaar der Blattunterseite einer Elaeagnacee (*Shepherdia canadensis*). A: 1 x, B: 125 x, C: 30 x, D: 45 x, E: 90 x. (aus Strasburger (1983) nach verschiedenen Autoren)



**Abb. 2: Sternhaare auf der Blattoberseite von *Elaeagnus angustifolia*, Maßstab: 50  $\mu$ m.**

turelle und damit funktionelle Unterschiede aufspüren.

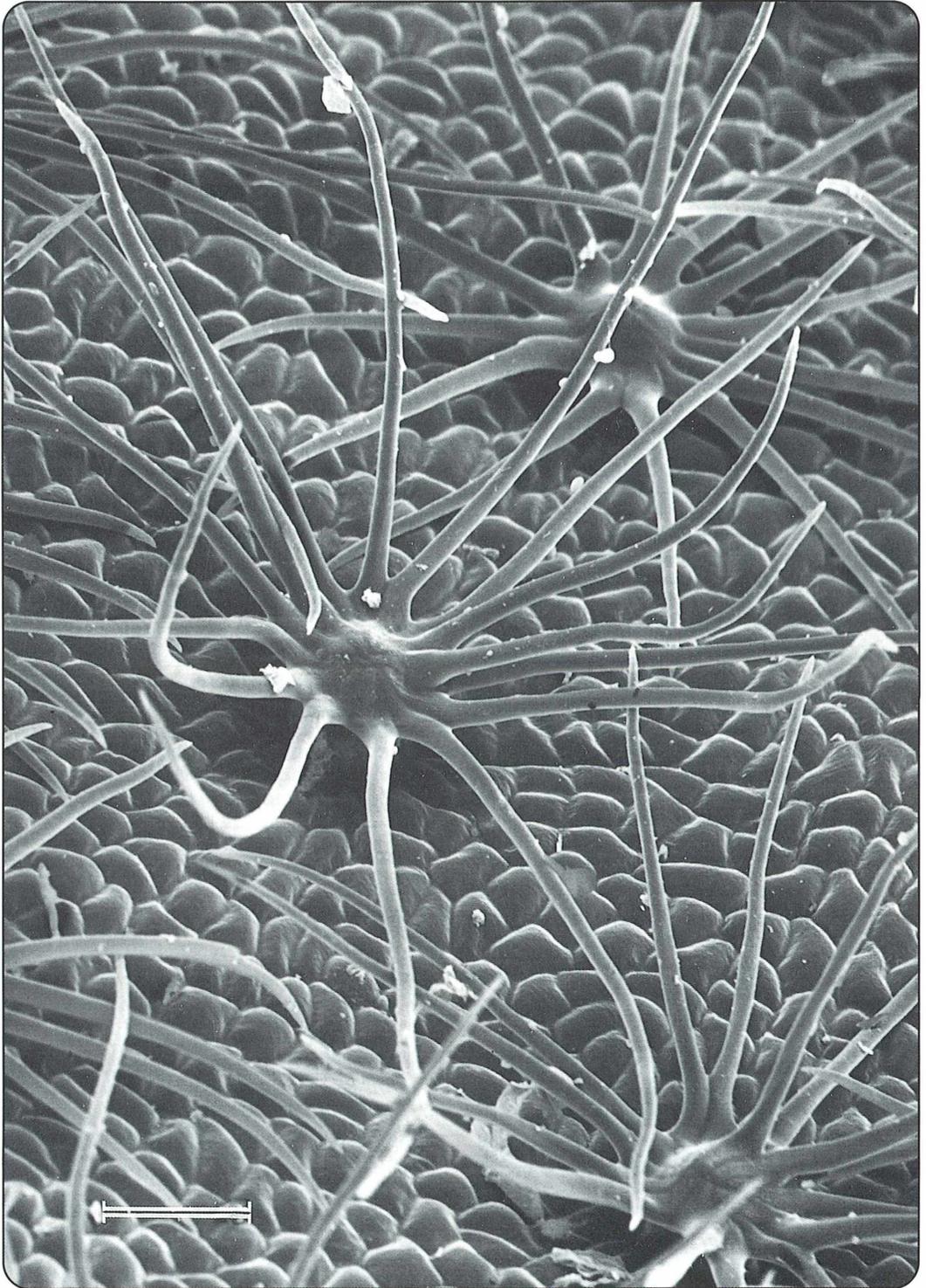
So tragen z.B. die Blattoberseiten grazile, schmale Sternhaare (Abb.2), während die Haare der Blattunterseite breiter und damit flächendeckender angelegt sind (Abb.3). Dieser Unterschied erklärt sich aus der Tatsache, daß sich bei dieser Art ausschließlich auf der Blattunterseite Spaltöffnungen befinden. Die flächendeckende Behaarung auf der Blattunterseite sorgt durch Luftströmungsberuhigung für ein Mikroklima mit hoher Luftfeuchtigkeit, wodurch die Verdunstung drastisch verringert wird. Auf der spaltöffnungslosen Blattoberseite wäre ein solch dichter „Pelz“ jedoch hinderlich. Die lockere Behaarung ermöglicht hier eine optimale Ausnutzung des Sonnenlichtes zur Photosynthese, aber auch ein Festhalten von Flüssigkeitströpfchen mit der Möglichkeit der Absorption durch die Epidermis, womit der direkte Wasserbedarf, der durch die Wurzeln zur Verfügung gestellt werden muß, verringert wird.

**Abb. 3: Sternhaare auf der Blattunterseite von *Elaeagnus angustifolia*, Maßstab: 50  $\mu$ m.** ►

#### Literaturhinweise

- Rodriguez, E., Healy, P. L. and Mehta, I.: Biology and chemistry of plant trichomes. Plenum Press, New York and London 1980.
- Bosco, M., Fernandez, M. P., Simonet, P., Materassi, R. and Normand, P.: Evidence that some *Frankia* sp. are able to cross boundaries between *Alnus* and *Elaeagnus* host specificity groups. Appl. Environ. Microbiol. 58, 1569–1576 (1992).
- Uphof, J. C. T. and Hummel, K.: Plant hair. Gebrüder Bornträger, Berlin-Nikolassee 1962.
- Strasburger, E.: Lehrbuch der Botanik, 32. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1983.

*Verfasser:* Mario Mezler, Stefan Beinroth, Thomas Kappel und Ralf H. Anken, Universität Hohenheim, Institut für Zoologie (220), Garbenstraße 30, D-70599 Stuttgart



## Mikro-Lyrik

**Anlässlich des Jubiläums zum vierzigjährigen Bestehen der Mikrobiologischen Vereinigung Hamburg kleidete Max Winkler seine Begeisterung für die Mikroskopie in poetische Worte.**

*Die Welt, das läßt sich nicht bestreiten  
Mit Wäldern, Fluren, Tälern, Höh'n,  
Ist doch, trotz aller miesen Zeiten,  
Im Ganzen und im Großen schön.*

*Nach oben scheint sie ohne Grenzen:  
Bewundernd blickt der Mensch hinaus,  
Wo die Gestirne leuchtend glänzen  
Und ruhig ziehen ihren Lauf.*

*Doch was zu seinen Füßen krabbelt,  
Erscheint ihm wenig interessant.  
Das Kleine, was da kreucht und zappelt,  
Heißt ‚Ungeziefer‘ kurzerhand.*

*Gemach! Die Flöhe und die Wanzen,  
So sagt schon Goethe klipp und klar,  
Gehören schließlich auch zum Ganzen, –  
Und wenn's auch juckt, trotzdem ist's wahr!*

*Doch was in Wasserfluten wimmelt,  
In Schlamm und Moder sich verkriecht,  
Was, abgestorben, nun verschimmelt,  
Was dort zu Haus, wo's übel riecht. –*

*Das haben wir uns vorbehalten.  
Auch das, was von der Außenhaut  
Umschlossen, dient verborg'nem Walten,  
Wird stark vergrößert angeschaut.*

*Die ganze Kleinwelt steht uns offen:  
Ob Tier und Pflanze – ganz nach Lust  
Wird hier die Auswahl stets getroffen.  
Für keinen gilt das Wort: „Du mußt!“*

*Doch der Gewinn aus uns'rem Streben  
Reißt uns von Alltagsorgen los:  
Wie ist – bewundernd wir's erleben –  
Die Schöpfung auch im Kleinen groß!*

**Eigentlich ist es nicht verwunderlich, daß von Studenten Praktika primär als belastend empfunden werden, da es ja in der Regel darum geht, bislang unbekannten Wissensstoff zu verinnerlichen. Bisweilen weckt aber offenbar das nach Wissenserweiterung strebende Bemühen mit den Einzellern auch lyrisches Empfinden, wie es das folgende Gedicht von Sabrina Schroeckh (Berlin) belegt.**

### Condyllostoma magnum

Von der Pechmarie zur Goldmarie

*Kleine Pechmarie aus Amerika  
kommt nach Deutschland  
mit der „Hual Ingrita“.  
Wochenlang im dunklen Ballasttank,  
ist Pechmarie ein großer Fang.*

*Hefe und Algen,  
feiner Nikotinschleier,  
Liebesspiel bei Walzermelodie,  
welch süßes Leben  
am Institut für Protozoologie.*

*Dann Pipettenangriff in Schale  
Zweihundertachtundachtzig,  
Pechmarie, ein Fall für Systematik?*

*Es gibt viele Fragen,  
jetzt geht es  
um Peristom und Kragen.*

*Mit EGTA relaxiert,  
in Pikrinsäure fixiert,  
wird Pechmarie schließlich dehydriert.  
Kritisch ist noch die Trocknung,  
doch Studenten haben große Hoffnung.*

*Goldener Elektronenbeschuß,  
wunderbarer Traum,  
im Vakuum fliegen  
durch Zeit und Raum.*

*Goldmarie, welch bizarres Muster  
grünlich schimmernd im Raster.*

# Modifizierte Einbettung nach Spurr in der botanischen Mikrotechnik

Heinz Vermathen

**Gegenüber konventionellen Einbettungsverfahren (z.B. Paraffin) bietet die Verwendung von Kunstharzen vielerlei technische Vorteile. Der vorliegende Aufsatz stellt ein abgewandeltes Verfahren vor, mit dem hervorragende Ergebnisse zu erzielen sind, wie die Bildbeispiele des Autors zeigen.**

In einer früheren Arbeit wurde in dieser Zeitschrift (Vermathen, 1993) die Einbettung von Pflanzengewebe in Glykolmethacrylat (GMA) und in das niedrigvisköse Einbettungsgemisch nach Spurr für lichtmikroskopische Untersuchungen beschrieben und kritisch verglichen. Beide Methoden zeigen Vor- und Nachteile, wobei aber die Vorteile bei der Einbettung nach Spurr überwiegen. Besonders nachteilig bei der GMA-Methode ist die schlechte Haftung der Kunststoffmatrix an der Cuticula, wodurch die Herstellung einwandfreier Schnitte häufig zum Glücksfall wird. Andererseits schließt das im Einbettungsgemisch nach Spurr vorhandene toxische Vinylcyclohexendioxid eine breite Anwendung dieser Methode aus, da man unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen arbeiten muß. Man möchte daher versuchen, das Vinylcyclohexendioxid durch eine andere, weniger toxische Komponente in dem Einbettungsgemisch nach Spurr zu ersetzen, wobei die Vorteile dieser Einbettung erhalten bleiben sollten.

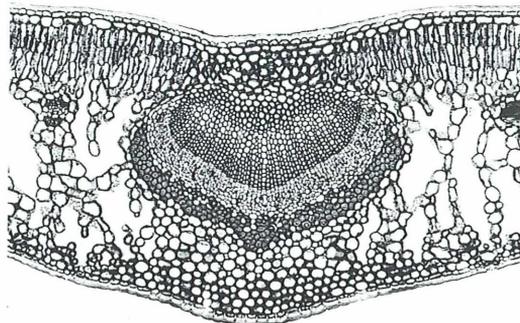
Ein ideales Mittel für Kunststoffeinfaltungen hätte folgende Eigenschaften:

- niedrige Viskosität des Monomers (der Monomeranteile),
- Monomer (Monomergemisch) gut mischbar mit Wasser und/oder Alkohol,
- langsam einsetzende Polymerisation bei Raumtemperatur, auch nach Zugabe eines Beschleunigers,
- rasche, blasenfreie und gleichmäßige Polymerisation bei höheren Temperaturen oder UV-Bestrahlung,
- keine oder nur geringfügige Volumenänderung bei der Polymerisation,

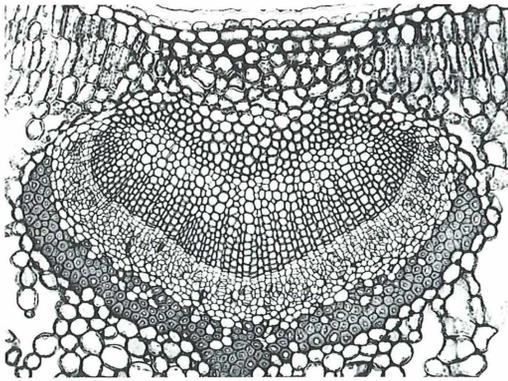
- hoher Dampfdruck des Monomers (Monomergemisches), damit auch bei der Wärmepolymerisation wenig Verdunstung auftritt und die Präparate in offenen Gefäßen eingebettet und ausgerichtet werden können,
- gute Schneidbarkeit des Blockes,
- Möglichkeit der Anpassung der Blockhärte an das Präparat durch Variation der Monomeranteile oder durch Weichmacher.

## Verwendung von Epoxidharzen

Für die Einbettung von Pflanzengewebe erfüllt nun das niedrigvisköse Einbettungsgemisch nach Spurr einen großen Teil der eben genannten Bedingungen bzw. kommt diesen recht nahe. Es ist daher gut für die pflanzliche Mikrotechnik geeignet.



**Abb. 1: Stechpalme (*Ilex aquifolium*), Blatt quer. Dicke Cutinschicht, auffallend ist eine stark entwickelte Sklerenchymkappe unterhalb des Phloems. 55x.**



**Abb. 2:** Ausschnitt aus Abbildung 1 bei stärkerer Vergrößerung. An das Xylembündel schließt sich nach unten das zartwandige Phloem, darunter die nach oben offene Sklerenchymkappe mit ihren starkwandigen Zellen an. Bei dieser Vergrößerung wird deutlich, daß sowohl die dick- als auch die zartwandigen Zellen unverletzt sind. 95x.

Epoxidharze sind im allgemeinen visköser als Methacrylate und deren Abkömmlinge. Sie dringen daher langsamer in die Präparate ein als diese. Bei weichen tierischen Geweben mag das weniger gravierend sein. Pflanzliches Material wird jedoch in der Regel schlechter als zoologisches und humanes Weichgewebe von den verschiedenen Einbettungsmitteln durchdrungen, so daß hier eine vollständige und gleichmäßige Durchtränkung nicht so leicht gelingt. Der besondere Vorteil des Einbettungsgemisches nach Spurr für die Kunststoffeinfettung von Pflanzengewebe besteht nun darin, daß die in ihm enthaltenen und aufeinander abgestimmten Epoxidanteile einen für diese Klasse sehr niedrigen Viskositätsgrad aufweisen. Dies führt zu einer schnelleren und gleichmäßigeren Einbettung auch härterer Gewebe.

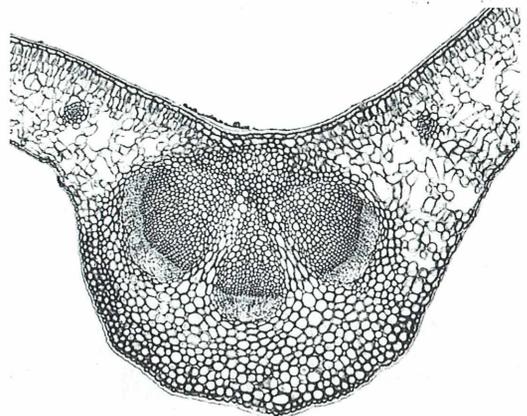
Bei einem Vergleich der im Handel erhältlichen Epoxide erscheint das unter der Bezeichnung Epon 812 von verschiedenen Firmen vertriebene Produkt am ehesten geeignet, das toxische Vinylcyclohexendioxid zu ersetzen, da dieses Harz ebenfalls einen verhältnismäßig niedrigen Viskositätsgrad besitzt. In den daraufhin angestellten Versuchen wurden die übrigen Komponenten des Einbettungsgemisches nach Spurr in den Mengenverhältnissen variiert, im übrigen aber belassen. Basis dieses modifizierten Gemisches ist das Epoxidharz Epon 812, das im Ver-

gleich zum Vinylcyclohexendioxid (ERL-4206), dem Grundbestandteil des Einbettungsgemisches nach Spurr, weniger toxisch ist. Als Härter fügt man wie dort Nonenyl-Bernsteinsäureanhydrid (NBA), als Weichmacher Polypropylen glykol-Diglycidylether (D.E.R. 736) und als Beschleuniger Dimethylaminoethanol (S-1) hinzu. Durch Variieren der Mengenverhältnisse von NBA und D.E.R. 736 kann man die Härte des Blockes steuern. Härtere Blöcke erlauben sehr dünne, weniger harte auch dickere Schnitte.

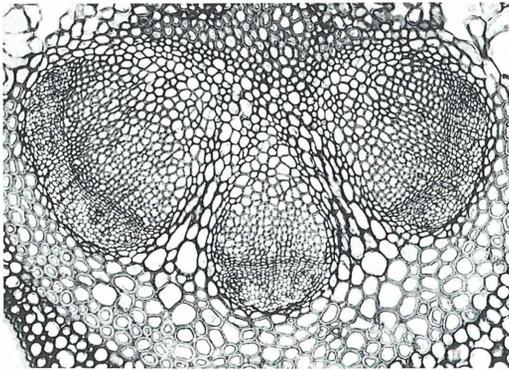
Für die Einbettung von Präparaten für pflanzenanatomische Untersuchungen zeigt ein Gemisch folgender Zusammensetzung gute Ergebnisse:

Epon 812	12,0 g
D.E.R.	6,0 g
NBA	30,0 g
S-1	0,15 g

Die fixierten Präparate werden über Alkoholstufen mit ansteigender Konzentration schrittweise in das Gemisch übertragen (Vermathen, 1993) und darin 24 Stunden belassen. Man bringt sie danach in eine frisch hergestellte Einbettungslösung. Die Polymerisation erfolgt bei 70 °–80 °C über mehrere Stunden im Wärmeschrank, am einfachsten in Kunststoffeinfettungsmulden, aus denen man die Blöcke nach Abkühlung herausdrückt. Ein Luftabschluß ist



**Abb. 3:** Mahonie (*Mahonia aquifolium*), Querschnitt durch das untere Drittel des Blattes. Übersicht. Das Leitbündel ist dreigeteilt, kräftige Mittelrippe. 55x.



**Abb. 4: Ausschnitt aus Abbildung 3 bei stärkerer Vergrößerung. Beim Mahonienblatt ist das Gefäßbündel von einer mächtigen, geschlossenen Sklerenchymscheide umgeben. Auch hier erscheinen stark- und zartwandige benachbarte Zellen unverletzt. 90×.**

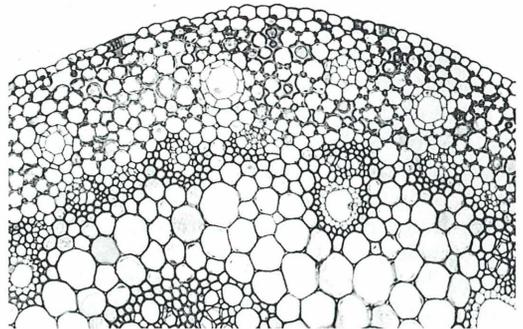
nicht erforderlich. Die durchsichtigen bis durchscheinenden, blasenfreien und homogenen Blöcke, in denen das Präparat gut zu erkennen ist, klebt man auf Hartholzklötzchen auf. Für das Gelingen der Einbettung ist eine restlose Entfernung der Luft aus den Präparaten Voraussetzung.

### **Schnittherstellung und Weiterbehandlung**

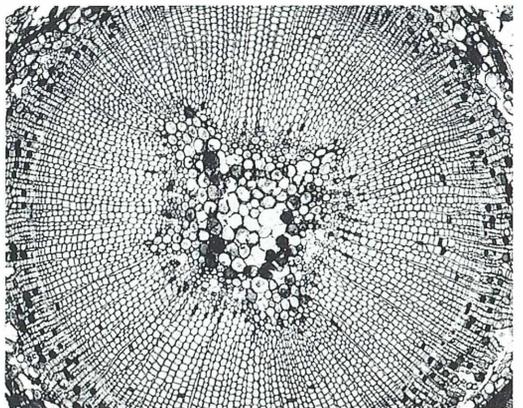
Geschnitten wird auf einem Rotationsmikrotom entweder mit Einwegmessern oder mit einem normalen Mikrotommesser der Schliffart c oder d. Nach einiger Übung gelingt fast jeder Schnitt, so daß man auch Serienschritte anfertigen kann. Allerdings muß jeder Schnitt einzeln vom Messer abgenommen werden, „Bändern“ ist nicht möglich.

Im Gegensatz zu den Angaben in der Literatur und anders als bei Paraffin- und GMA-Schnitten können Epoxidharzschnitte nicht einfach mit Wasser auf Objektträger aufgebracht oder aufgezogen und in der Wärme gestreckt werden, da sie so nicht genügend haften. Damit sie bei den nachfolgenden Behandlungen nicht abschwimmen, müssen sie aufgeklebt werden. Am einfachsten und sichersten gelingt dies mit Glycerin-gelatine, der man etwas Formalin zusetzt. Hierzu stellt man sich bei 50 °C (Wasserbad oder Wärmeschrank) eine einprozentige wäßrige Gelatinelösung her. Nach Abkühlung

wird filtriert und zu 100 ml der Gelatinelösung 7 ml Glycerin zugefügt. Diese Lösung mischt man im Verhältnis 1:1 mit einer einprozentigen wäßrigen Formalinlösung. Man verbringt hier von einen genügend großen Tropfen auf einen Objektträger und legt den Schnitt vorsichtig darauf. Bis hierher verfährt man also wie bei der Paraffinmethode. Anders als dort muß bei diesem Verfahren jedoch bei Raumtemperatur gestreckt werden, was 30–60 Minuten dauert.



**Abb. 5: Querschnitt durch den Stengel des Froschlöffels (*Alisma plantago-aquatica*). Seine Biegestabilität erhält der Stengel durch das an seinem Rand entwickelte Eckenkollenchym. Kollenchymgewebe ist nach Paraffin-einbettung nur schwer ohne Artefakte schneidbar. 85×.**

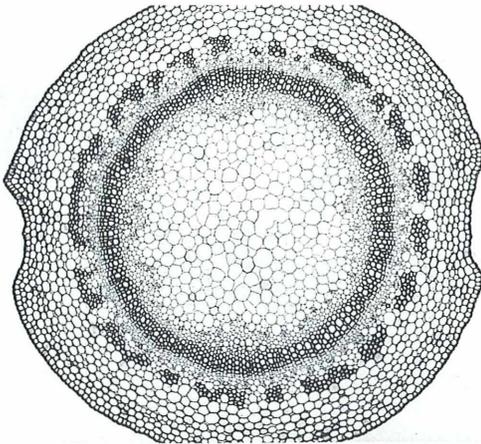


**Abb. 6: Urweltmammutbaum (*Metasequoia glyptostroboides*), Zweig quer. In der Mitte Markgewebe, daran anschließend das konzentrisch angeordnete Xylem, nach außen Phloem bzw. Rindenparenchym. 55×.**

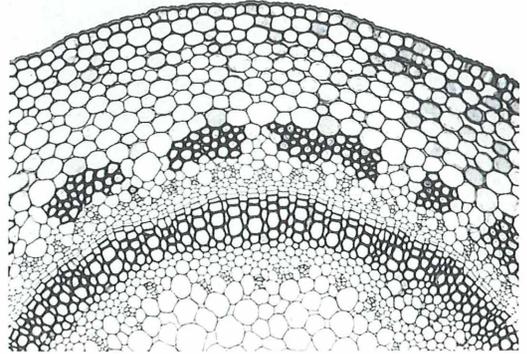
Erst danach läßt man die überschüssige Flüssigkeit ablaufen und stellt die Präparate am besten über Nacht bei 35 °-40 °C zum Trocknen auf. Versucht man, in der Wärme zu strecken, bilden sich zahlreiche kleine Luftblasen, die den Schnitt für die Weiterverarbeitung unbrauchbar machen, da sie ihn stellenweise vom Objektträger abheben.

Ebenso wie das Einbettungsmittel nach Spurr löst sich auch das oben angegebene Epon-Einbettungsgemisch ohne Rückstände innerhalb von ein bis zwei Stunden durch Einstellen der Objektträger in eine gesättigte Lösung von KOH oder NaOH in wasserfreiem Methanol. Die Schnitte schwimmen auch bei Behandlung mit aggressiveren Lösungen nicht ab. Sie können mit allen bekannten Verfahren gefärbt werden, wobei sich die Glyceringelatine bei den meisten Färbungen nicht oder nur wenig anfärbt. Mögliche leichte Anfärbungen der Glyceringelatine verschwinden beim nachfolgenden Differenzieren.

Die in der oben genannten Mischung eingebetteten Pflanzenpräparate lassen sich bis herunter zu 8 µm gut schneiden, aufziehen und weiterverarbeiten. Für anatomische Untersuchungen reicht diese Schnittstärke aus, da bei dünneren Schnitten die Färbbarkeit nachläßt bzw. sehr lange Färbezeiten erforderlich werden. Wenn man cytologische Einzelheiten bei stärkeren



**Abb. 7:** Stengel des Kleinen Immergrün (*Vincetoxicum*) bei schwacher Vergrößerung. Von innen nach außen: zentrales Markgewebe, ringförmig ausgebildetes Xylem und Phloem, durch Rindengewebe unterbrochene Sklerenchymstränge, Rindenparenchym und Epidermis. 45x.



**Abb. 8:** Ausschnitt von Abbildung 7 bei stärkerer Vergrößerung. Zwischen Xylem und Phloem kommt das aus sehr dünnwandigen Zellen bestehende Kambiumgewebe deutlich zur Darstellung. Es zeigen sich weder bei den dickwandigen Xylem- und Sklerenchymelementen noch bei den dünnwandigen Zellen des Kambiums und des Phloems Artefakte oder Deformationen. 85x.

Vergrößerungen und unter Ausnutzung hochaperturiger Objektive untersuchen will, muß man einen härteren Block gießen, indem man den Anteil des Härters NBA vergrößert oder des Weichmachers D.E.R. 736 verringert.

### Methodische Vorzüge

Auch in der botanischen Mikrotechnik werden sich die Kunstharzeinbettungen, die in der humanen und zoologischen Weichteilhistologie inzwischen routinemäßig angewandt werden, durchsetzen. Ursprünglich entwickelt zur Anfertigung ultradünner Schnitte für die Elektronenmikroskopie, eignen sie sich durch den Zusatz von Weichmachern auch zur Herstellung von dickeren Schnitten für lichtmikroskopische Untersuchungen, wobei die im Vergleich zu den konventionellen Einbettungsmethoden bessere Strukturhaltung, die geringere Schrumpfung und die Möglichkeit, auch härtere Gewebe einwandfrei zu schneiden, von Vorteil sind. Gegenüber der Paraffinmethode besitzen sie daher einen breiteren Anwendungsbereich, wofür die Abbildungen einige Beispiele zeigen. Dargestellt sind ausnahmslos Schnitte von härteren Präparaten oder von solchen, die harte und

weiche Gewebeanteile nebeneinander enthalten. Ohne grobe Artefakte können die hier abgebildeten Präparate nach Einbettung in Paraffin nicht geschnitten werden.

### Literaturhinweise

Glauert, A.M.: Fixation, dehydration and embedding of biological specimens. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford 1975.

Kosakai, H.: Epoxy embedding, sectioning and staining of plant material for light microscopy. *Stain Technol.* 48, 111–115 (1973).

Randall, J.A.: A method for the preparation of serial thick sections of plastic-embedded plant tissues. *Stain Technol.* 51, 17–24 (1976).

Romeis, B.: *Mikroskopische Technik*. Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore 1989.

Spurr, A.R.: A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultrastruct. Res.* 26, 31–43 (1969).

Vermathen, H.: Einbettung von Pflanzengewebe in Kunststoffe. *Mikrokosmos* 82, 235–242 (1993).

*Verfasser:* Dr. Heinz Vermathen, Dorfstr. 30, D-59320 Ennigerloh-Ostenfelde

## Nachricht

### Biologisches Zentrum Ahreifel

Biologisches Zentrum Ahreifel,  
Dipl.-Biologen Barbara Düll und Jörg Wunder,  
Funkenstraße 13,  
53902 Bad Münstereifel-Ohlerath,  
Tel./Fax 0 22 57/15 86.

Folgende Kurse sind für Mikroskopiker von Interesse:

#### Mooskurs für Anfänger

30. September – 3. Oktober 1995

Leitung: B. Düll, J. Wunder

Kursgebühr: DM 270,–

Anmeldeschluß: 7. August 1995

Unterkunft: ÜF DM 35,– pro Tag, HP DM 45,– pro Tag

#### Mooskurs für fortgeschrittene Anfänger

16. – 20. Oktober 1995

Leitung: B. Düll, J. Wunder

Kursgebühr: DM 340,–

Anmeldeschluß: 21. August 1995

Unterkunft: ÜF DM 35,– pro Tag, HP DM 45,– pro Tag

#### Mooskurs für Fortgeschrittene

3. – 5. November 1995

Leitung: Prof. Dr. R. Düll

Dieser Kurs richtet sich an Interessenten, die schon eine gute Grundkenntnis besitzen. Diese wird auf Exkursionen erweitert und durch die Nachbestimmung des gesamten Materials im Kursraum gefestigt.

Kursgebühr: DM 250,–

Anmeldeschluß: 11. September 1995

Unterkunft: ÜF DM 40,– pro Tag, HP DM 50,– pro Tag

### Wissenschaftliches Zeichnen

11. – 12. November 1995

Leitung: J. Wunder

Eine gute wissenschaftliche Zeichnung kann trotz aller Perfektionierung der Fotografie durch ein Foto meist nicht ersetzt werden. Oft erschließt sich dem Beobachter die genaue Struktur eines Merkmals erst beim Zeichnen und nur durch eine Zeichnung lassen sich wichtige Merkmale akzentuiert darstellen.

Im Kurs werden einige ausgewählte Objekte gezeichnet und hieran Techniken und Tips zur Perspektive, zur Umsetzung von Oberflächenstrukturen, zu verschiedenen Schattierungstechniken, zur Bildgestaltung usw. geübt.

Ein Schwerpunkt des Kurses liegt in der Anfertigung reproduzierbarer Vorlagen, sei es für Kopien einer Diplomarbeit oder als Druckvorlagen für Publikationen. Ohne die Beachtung bestimmter Regeln und zumindest grundlegender Kenntnisse drucktechnischer Verfahren bleiben Reproduktionen von Zeichnungen leider oft unbefriedigend oder werden sehr teuer. Im Kurs wird gezeigt, was hierbei beachtet werden sollte.

Kursgebühr: DM 150,–

Anmeldeschluß: 18. September 1995

Unterkunft: ÜF DM 40,– pro Tag, HP DM 50,– pro Tag

Schülern/Studenten gewähren wir bei Vorlage eines Nachweises 20 % Ermäßigung auf die Kursgebühr. Die Unterbringung erfolgt im Doppelzimmer. Einzelzimmer sind jedoch auf Wunsch erhältlich (Aufschlag DM 5,– pro Tag). Da nur eine begrenzte Anzahl an Einzelzimmern zur Verfügung steht, kann die Unterbringung aber u.U. nicht im selben Haus erfolgen und dann auch nicht zu obigen Preisen. Für Studenten besteht ggf. auch die Möglichkeit der Übernachtung auf einem Campingplatz.

## Nachricht

### Ehrenberg Jubiläums-Ausstellungen in Delitzsch und Berlin

Anlässlich des 200. Geburtstages des Naturforschers Christian Gottfried Ehrenberg gestaltete das Schloßmuseum seiner Vaterstadt Delitzsch (bei Leipzig) eine umfangreiche Jubiläums-Ausstellung, die noch bis



Abb. 1: Impressionen der Ausstellung in Delitzsch. Fotos: Christel Moltrecht, Delitzsch.

zum 30. 11. 1995 besucht werden kann. Die Ausstellung würdigt Leben und Werk dieses herausragenden Naturforschers, indem seine Lebensstationen durch Bild- und Kartenmaterial nachgezeichnet werden. Dabei sind Gegenstände aus dem persönlichen Besitz des Forschers von besonderem Interesse (Abb. 1). Schwerpunkte der Ausstellung sind die Bildwerke sei-



Abb. 2: Zwei der vier Vitrinen der Berliner Ausstellung. Foto: Axel Grambow, Berlin.

ner Afrikareise, die als „Symbolae Physicae“ die Tier- und Pflanzenwelt des Vorderen Orients in naturgetreu kolorierten Kupferstichen belegen, weiterhin sein 1838 erschienenes Hauptwerk „Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen“ sowie die 1854 erschienene „Mikrogeologie“.

Die Ausstellung kann dienstags, mittwochs, donnerstags und sonntags von 10–12 und 14–17 Uhr besichtigt werden. Gruppenbesuche sind nach vorheriger Anmeldung auch zu anderen Zeiten möglich (Tel.: 03 42 04/2 23 08).

Das Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität Berlin erinnert an Ehrenberg, der den größten Teil seines Lebens in Berlin verbracht hat, in einer Sonderausstellung (Abb. 2). Diese nimmt ebenfalls auf seine Expeditionen Bezug und läßt seine bis in die heutige Zeit reichende Bedeutung als Mikroskopiker in den Fachdisziplinen Protozoologie und Mikropaläontologie durch eindruckliche Original-Exponate lebendig werden. Die Ausstellung kann zu den normalen Öffnungszeiten des Museums besucht werden.

# Leben im Faulschlamm

Philipp Mayer

**Wenn im Sommer die Sonne die Außentemperatur klettern läßt, sind wohl viele von uns auf der Suche nach einem schön gelegenen See mit klarem, blau bis grün schimmerndem Wasser und möglichst einem sauberen, sandigen Ufer. Solche unseren Idealvorstellungen entsprechenden Seen sind selten im Flachland Deutschlands. In der ökologischen Fachsprache werden derartige Seen oligotroph genannt. Sie sind gekennzeichnet durch Armut an Pflanzennährstoffen und Plankton. Der Schlamm am Boden dieser meist tiefen Seen enthält nur wenig oder gar kein organisches Material, entsprechend ist die Sauerstoffzehrung in der Tiefe gering. Der hohe Sauerstoffgehalt des Wassers ermöglicht die rasche Umsetzung abgestorbener Organismen zu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{O}$ . Der Stoffkreislauf ist geschlossen.**

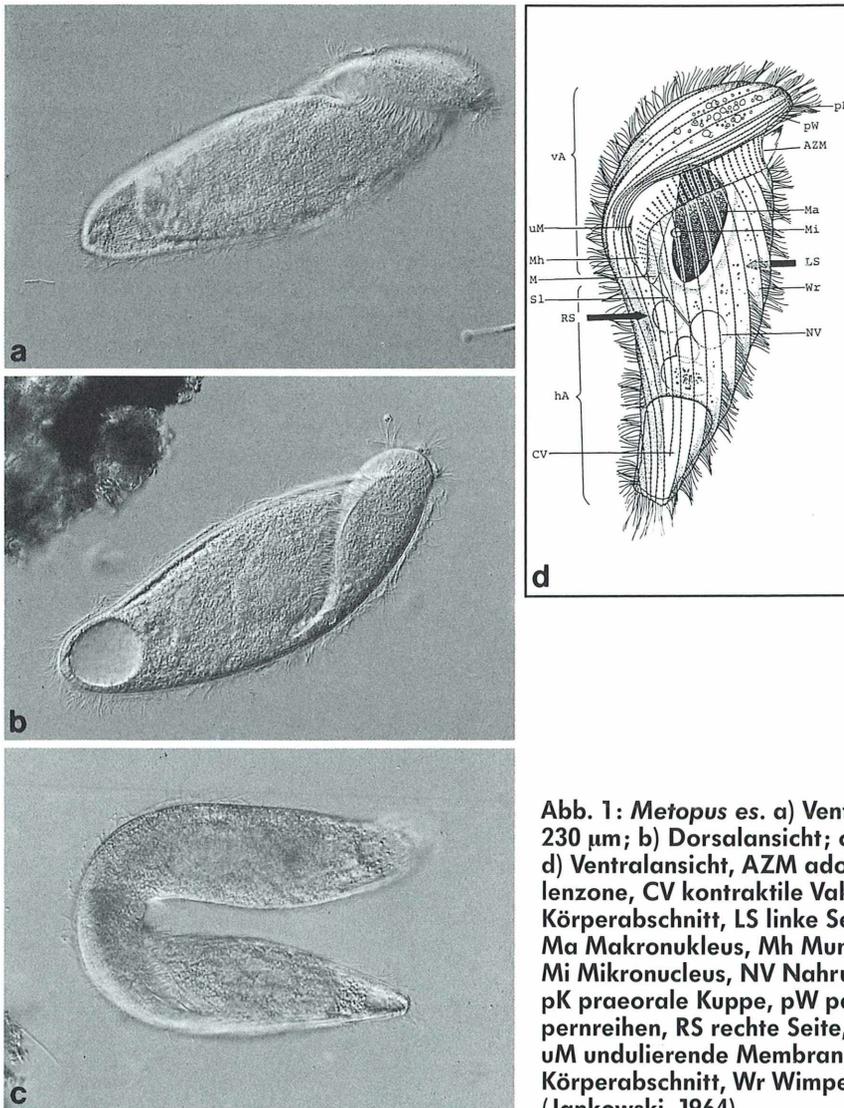
**W**eitaus häufiger sind sogenannte eutrophe Seen. Ihr Wasser enthält ein reiches Angebot an Pflanzennährstoffen. Dementsprechend gibt es eine üppige Ufervegetation mit stark entwickeltem Phytoplankton. Das Phytoplankton bietet wiederum die Lebensgrundlage für viele Tierarten. Große Mengen an organischer und anorganischer Substanz sinken zum Grund des Sees und bilden den Bodenschlamm. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung unterscheidet man verschiedene Typen von Schlamm: 1. Faulschlamm (Sapropel). Durch das Überangebot an organischen Stoffen erfolgt die bakterielle Umsetzung nur noch unvollständig. Sauerstoffzehrende Prozesse bei den Umsetzungsprozessen entziehen dem Wasser den Sauerstoff. Dies fördert weitere Ablagerungen. Das Sapropel entsteht unter anaeroben Bedingungen, riecht stark nach Schwefelwasserstoff und enthält Eisensulfid. Der hohe Gehalt an Eisensulfid verleiht dem Sediment eine dunkle Farbe. Durch Umwandlung entstehen aus Ölen und Fetten Wachse und Bitumen. Dies macht die Sapropel interessant für die technische und industrielle Nutzung. In manchen Gebieten stellt aus Sapropel gewonnenes Benzin und Kerosin eine Alternative zu Erdölprodukten dar. Seit langem bekannt ist die heilende Wirkung mineralischer Erden. Sie werden beispielsweise zur Heilung chronischer Gelenkerkrankungen eingesetzt. 2. Torfschlamm (Dy) enthält einen hohen Anteil an saurem Humus. Die Ablagerungen bestehen

zum größten Teil aus pflanzlichen Überresten, die aufgrund der sauren Reaktion des Wassers kaum abgebaut werden. In relativ kurzer Zeit wächst das Sediment daher stark an, was zu einem Verlanden des Sees führt. Typischerweise verwandeln sich Gewässer mit einem Torfschlamm sediment in ein *Sphagnum*-Hochmoor. 3. Seeschlamm (Gyttja) ist aerob, von heller Farbe und im frischen Zustand eine fettige und weiche Masse. Sie enthält nur angefaulte Substrate und riecht daher weniger intensiv als Sapropel. Die Feindetritus-Gyttja enthält vor allem Überreste von Grünalgen und Diatomeen sowie Arthropoden. Die Grobdetritus-Gyttja ist durch Reste höherer Pflanzen gekennzeichnet.

Entsprechend den unterschiedlichen Zusammensetzungen und Lebensbedingungen unterscheidet sich auch die Besiedelung von Sapropel, Dy und Gyttja. Im folgenden wollen wir uns näher mit der Ciliatenfauna speziell des Sapropels beschäftigen.

## Schlamm am Grund des Sees

Über einen Zeitraum von vier Monaten, Dezember 1993 bis März 1994, habe ich die Faulschlammzone eines Parkteichs in Waldkirch/Brsg. untersucht und war fasziniert von den vielen verschiedenen Ciliaten, die darin leben. Auffallend bei allen Faulschlammciliaten ist die oft bizarre Ausbildung der Körperform.



**Abb. 1: *Metopus es.* a) Ventralansicht, 230 µm; b) Dorsalansicht; c) Konjugation; d) Ventralansicht, AZM adorale Membranelnzone, CV kontraktile Vakuole, hA hinterer Körperabschnitt, LS linke Seite, M Mund, Ma Makronucleus, Mh Mundhöhle, Mi Mikronucleus, NV Nahrungsvakuole, pK praeorale Kuppe, pW perizonale Wimpernreihen, RS rechte Seite, Sl Schlund, uM undulierende Membran, vA vorderer Körperabschnitt, Wr Wimpernreihe (Jankowski, 1964).**

### Probenahme und Mikroskopie

Die Nase sagt uns, daß der Bodensatz Schwefelwasserstoff enthält; darum sind auch stets die Schwefel ausscheidenden Schwefelbakterien mehr oder weniger reichlich vorhanden, sie liefern die Hauptnahrung für diese Ciliaten. Die Probenentnahme erfolgte mit einem Saugrohr und Schöpfer aus verschiedenen Tiefen. Die Proben wurden alle 8–10 Tage entnommen und über einen Zeitraum von etwa 14 Tagen untersucht. Dies ist wichtig, da die verschiedenen Arten auf die ihnen zusagenden Lebensbedin-

gungen so fein abgestimmt sind, daß sehr viele erst bei Zimmertemperatur (bei abgedecktem Glas) auftreten. Die Temperatur hat einen wesentlichen Einfluß auf die Zersetzung des organischen Materials. Sobald die Bedingungen optimal sind, schlüpfen die Ciliaten aus ihren Cysten und vermehren sich.

Für die Beobachtung und Mikrofotografie sollte man sehr viel Zeit und Geduld aufwenden, da sich diese Ciliaten meist sehr schnell und oft rotierend fortbewegen und sich sehr gerne in den Detritusflocken festsetzen. Eine Probe über zwei bis drei Stunden zu beobachten und nur

eine ganz geringe Menge Wasser nachzutropfen, hat sich sehr gut bewährt, da dann der Bewegungsablauf etwas gehemmt wird. Bei den Abbildungen handelt es sich ausschließlich um Lebendaufnahmen, die im Interferenzkontrast angefertigt wurden. Die Hauptvertreter der Faulschlammzone, die im Waldkircher Parkteich zu finden waren, mögen hier genannt werden: *Metopiden*, *Brachonella*, *Caenomorpha*, *Trichospira uniserialis* und *Plagiopyla nasuta*.

*Metopus* es

Starke Torsion des Körpers; kurz und dicht bewimpert, längere Cilien am vorderen Rand des Mundfeldes und am Hinterende (Abb. 1). Vorne eine Ansammlung stark lichtbrechender Granula, die einen dunklen Fleck bilden. Charakteristisch für die Gattung *Metopus* ist die quer über den Körper ziehende adorale Membranellezone und die praeorale Kuppe mit dem mähenartigen perizonalen Wimperband.

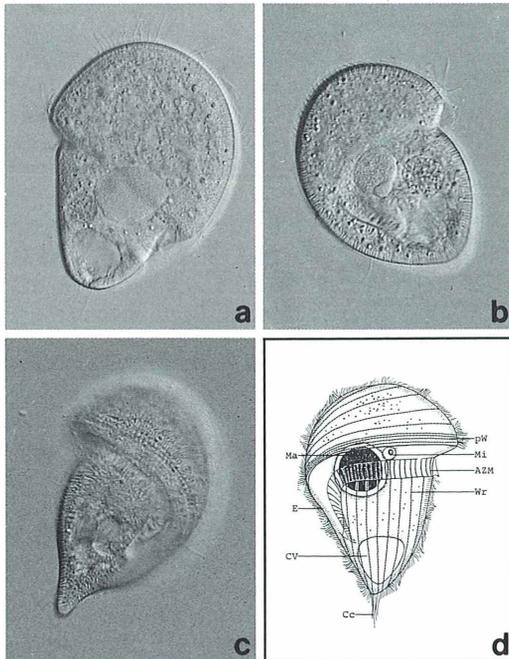


Abb. 2: *Metopus striatus*. a) pilzförmig; b) Ventralansicht, 75 µm; c) Dorsalansicht; d) Ventralansicht, AZM adorale Membranellezone, Cc Caudalwimpern, CV kontraktile Vakuole, E Extrusome, Ma Makronucleus, Mi Mikronucleus, pW perizonale Wimperreihen, Wr Wimperreihe (Jankowski, 1964).

Die undulierende Membran besteht aus einem vorderen unbewimperten und einem hinteren bewimperten Teil. Große kontraktile Vakuole am Hinterende, sehr langsam pulsierend. Größe 120–160 µm.

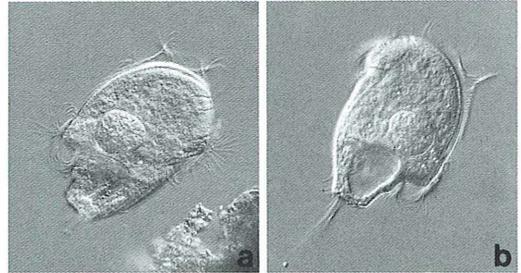


Abb. 3: *Metopus cf. caducus*. a) Ventralansicht, 90 µm; b) Dorsalansicht.

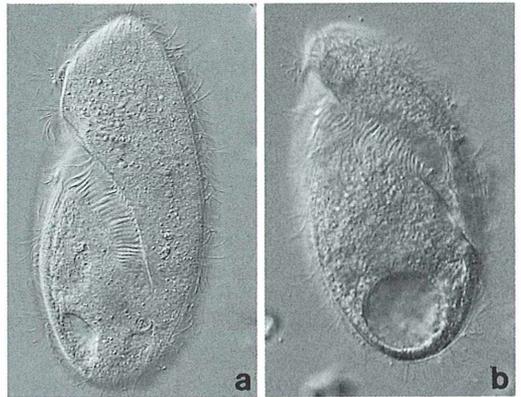


Abb. 4: *Metopus cf. pulcher*. a) Ventralansicht, 150 µm; b) Dorsalansicht.

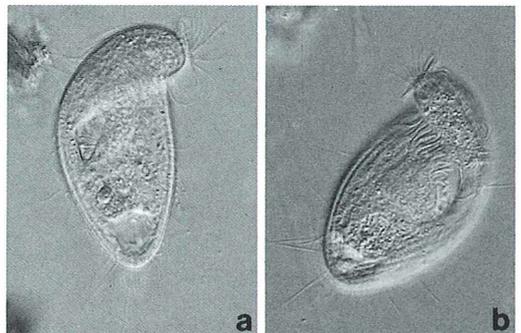


Abb. 5: *Metopus cf. contortus* var. *pellitus*. a) Ventralansicht, 65 µm; b) Dorsalansicht.

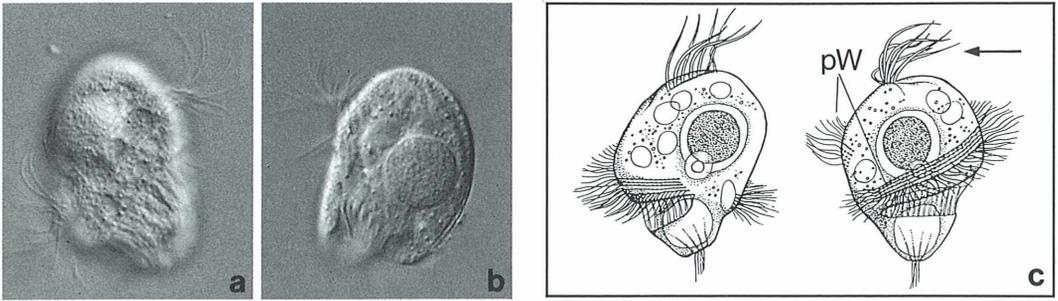


Abb. 6: *Cirranter*. a) Ventralseite, 40 x 30 µm; b) Dorsalseite, Makro- und Mikronucleus sind gut zu erkennen; c) A Dorsalansicht, B Ventralansicht, pW perizonale Wimpernreihen, auffällig ist der „Cirren“-Schopf (Pfeil) (Jankowski, 1964).

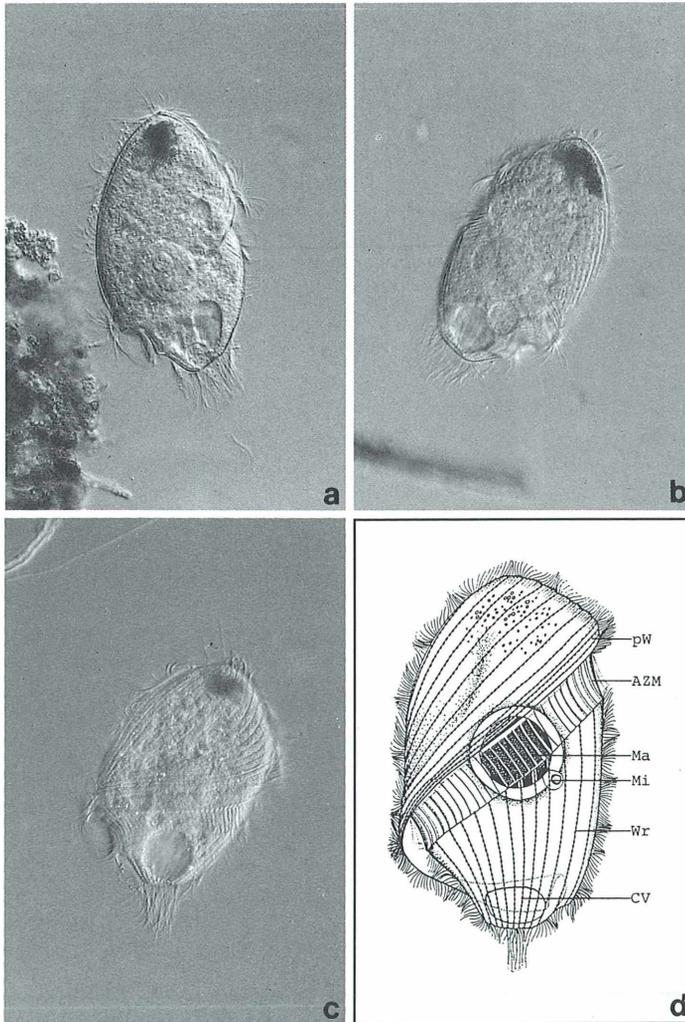
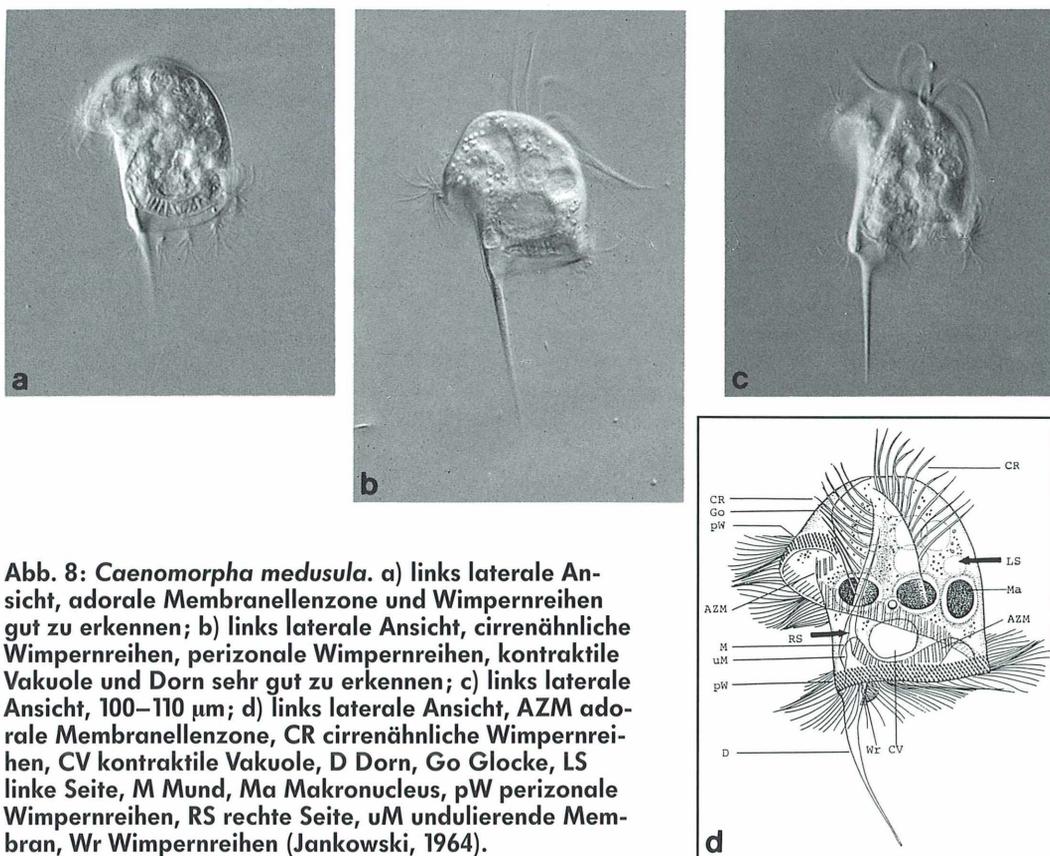


Abb. 7: *Brachonella spiralis*. a) Ventralseite, 130 µm, Makro- und Mikronucleus sind gut zu erkennen; b) Dorsalseite; c) Ventralseite, auf die AZM fokussiert; d) Ventralansicht, AZM adorale Membranellenzone, CV kontraktile Vakuole, Ma Makronucleus, Mi Mikronucleus, pW perizonale Wimpernreihe, Wr Wimpernreihe (Jankowski, 1964)



**Abb. 8:** *Caenomorpha medusula*. a) links laterale Ansicht, adorale Membranellzone und Wimpernreihen gut zu erkennen; b) links laterale Ansicht, cirrenähnliche Wimpernreihen, perizonale Wimpernreihen, kontraktile Vakuole und Dorn sehr gut zu erkennen; c) links laterale Ansicht, 100–110 µm; d) links laterale Ansicht, AZM adorale Membranellzone, CR cirrenähnliche Wimpernreihen, CV kontraktile Vakuole, D Dorn, Go Glocke, LS linke Seite, M Mund, Ma Makronucleus, pW perizonale Wimpernreihen, RS rechte Seite, uM undulierende Membran, Wr Wimpernreihen (Jankowski, 1964).

#### *Metopus striatus*

Größe: sehr wechselnd, 60–120 µm. Große Tiere bräunlich, kleine mehr farblos (Abb. 2). Das Peristom bleibt auf der Ventralfläche.

#### *Metopus cf. caducus*

Größe: 60–90 µm. Unterscheidet sich von *M. striatus* durch das stets scharf abgestutzte Hinterende, das an der linken Ecke eine dornartig erscheinende Wimpergruppe trägt (Abb. 3).

#### *Metopus cf. pulcher*

Größe: 60–100 µm. Bei *M. pulcher* reicht die adorale Membranellzone bis nahe an die kontraktile Vakuole am Hinterende (Abb. 4).

#### *Metopus cf. contortus var. pellitus*

Größe: 75 µm. Zu beachten sind die verlängerten Caudalwimpern (Abb. 5).

#### *Cirranter*

Größe: 30–40 µm. *Cirranter* gehört trotz der *Metopus*-ähnlichen Gestalt zu den Caenomor-

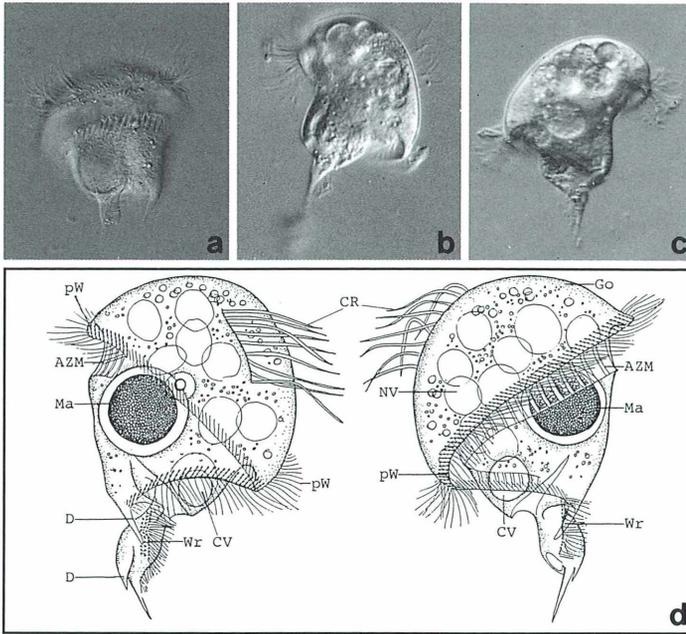
phiden (Abb. 6). Diese Art besitzt außer dem apikalen Cirrenschopf und den perizonalen Wimpern keine Wimpernreihen.

#### *Brachonella spiralis*

Größe: 120–140 µm. Besonders auffallend ist die riesige adorale Membranellzone, die einen Umgang beschreibt und fast bis zum Hinterende reicht (Abb. 7). Am Vorderende ganz deutlich eine Ansammlung stark lichtbrechender Granula, die einen dunklen Fleck bildet.

#### *Caenomorpha*-Arten

*Caenomorpha*-Arten können wegen ihrer bizarren Gestalt kaum mit anderen Ciliaten verwechselt werden. Vorderer Körperabschnitt schmal bis breit glockenförmig, hinterer deutlich schmaler als der Glockenrand, spiralig tordiert und stets mit einem oder mehreren Dornen. Die Bewimperung ist stark reduziert. *Caenomorpha*-Arten leben immer mit anderen anaeroben Protozoen vergesellschaftet (z. B. *Metopus*, *Brachonella*, *Epalxella*).



**Abb. 9: *Caenomorpha uniserialis*.** a) rechts laterale Ansicht in Drehung; b) links laterale Ansicht, 80 µm; c) links laterale Ansicht in Drehung; d) 1 links laterale Ansicht, 2 rechts laterale Ansicht, AZM adorale Membranellenzone, CR cirrenähnliche Wimpernreihe, CV kontraktile Vakuole, D Haupt- und Nebendorn, Go Glocke, Ma Makronucleus, NV Nahrungsvakuole, pW perizonale Wimpernreihen, Wr Wimpernreihen (Jankowski, 1964).

*Caenomorpha*-Arten fressen überwiegend Schwefel- und Rhodobakterien. Die saprobielle Einstufung = 4,0 E.

#### *Caenomorpha medusula*

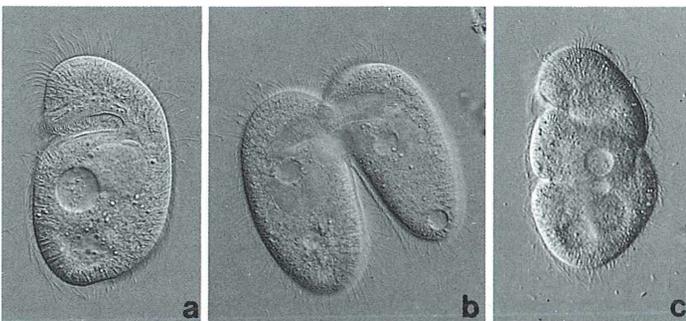
Größe: 90–150 µm. Vorderkörper glockenförmig, Hinterkörper zylindrisch, in einen langen Stachel ausgezogen (Abb. 8). Körperbewimpfung auf vier Felder reduziert. Eine breite, achtreihige Cilienzone umzieht außen den Glockenrand; zwei Reihen langer Cirren schlagen im vorderen Bereich der Glockenkuppel; das dritte Feld umfaßt dichtstehende, nach hinten schlagende Wimpern, die spiralig um die Basis des Schwanzstachels stehen; Glockenrand überwölbt adorale Membranellenzone.

#### *Caenomorpha uniserialis*

Größe: 65–75 µm (ohne Dorn), 110–125 µm mit Dorn (Abb. 9). Kennzeichen dieser Art sind der zu einer schraubig, verdickten Platte verbreiterte Mittelteil des Hauptdorns, der Nebendorn und die einzelne Cirrenreihe auf der Glocke.

#### *Plagiopyla nasuta*

Größe: ca. 90 µm. Zum bauchseitig gelegenen Mund führt als Hohlkehle eine Peristomrinne, die den rechten Körper Rand deutlich einkerbt. Dicht vor dem Einschnitt wölbt sich das Plasma zu einem „Schnäuzchen“ (Abb. 10). Die rinnenständigen Cilien sind gegenüber den übrigen Cilien verkürzt, mit Ausnahme derjenigen, die am Vorderrand der Rinne stehen, ge-



**Abb. 10: *Plagiopyla nasuta*.** a) Peristomrinne, Makro- und Mikronucleus sowie kontraktile Vakuole sehr gut zu erkennen, 90 µm; b) Konjugation; c) Teilung.

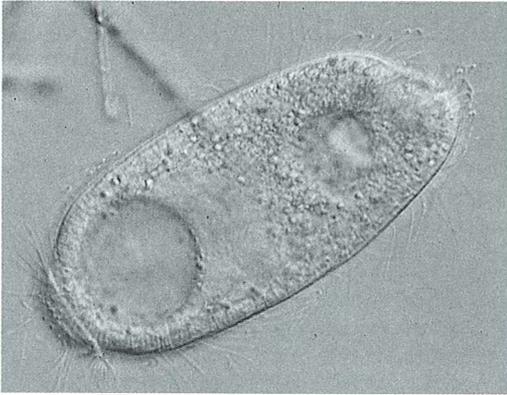


Abb. 11: *Trichospira inversa*. 90  $\mu\text{m}$ .

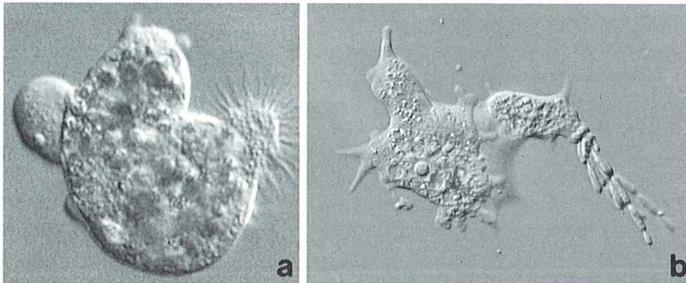


Abb. 12: a) *Trichamoeba villosa*. 70  $\mu\text{m}$ ; b) unbekannte Amöbe. Ohne stäbchenförmigen Fortsatz 100  $\mu\text{m}$ , mit Fortsatz 150  $\mu\text{m}$ .

genüber den Körpercilien verlängert sind und sich über die Mundhöhlung krümmen. Auf die Rinne folgt ein bewimperter Pharynx. Kontraktile Vakuole terminal. Makronucleus rundlich.

Lebt in der lockeren Schicht des Faulschlamm und ernährt sich überwiegend von Bakterien und Algen.

#### *Trichospira inversa*

Größe: etwa 90  $\mu\text{m}$ . Körper vorne abgestutzt, hier mündet die Mundgrube, die von einem zweireihigen Wimpernband umzogen wird (Abb. 11). Das Band läuft schwach spiralg nach hinten, biegt plötzlich in quere Schraubenreihe um. Lebt im Faulschlamm und frißt Bakterien.

#### *Trichamoeba villosa*

Größe: ca. 200  $\mu\text{m}$ . Zottige Quastenamöbe (Abb. 12a). Körper lappig gebuchtet, Form daher unregelmäßig. Bewegung durch langsam entstehende Plasmavorbrüche im Vorderende. Am Hinterende eine Quaste aus langen, feinen Plasmastrahlen.

#### Unbekannte Amöbe

Größe: 100–150  $\mu\text{m}$ , ohne die Fortsätze. Diese Amöbe, mit stäbchenförmigen Fortsätzen, war häufig in den Proben zu finden (Abb. 12b).

#### Dank

An die Autoren der Bände I, II und III „Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems“, Herrn Prof. Dr. Foissner, Herrn Dr. Berger und Herrn Dr. Kohmann, herzlichen Dank. Die Zeichnungen (aus Jankowski, 1964) wurden Band II dieser Dokumentation entnommen.

Ohne die ausführliche, auch für Amateure leicht verständliche Bestimmungsliteratur, hätte ich diesen Bericht nicht verfassen können.

Ich danke der Redaktion des MIKROKOSMOS recht herzlich für die wissenschaftliche Überarbeitung und Ergänzung des Manuskripts.

#### Literaturhinweise

Foissner, W., Berger, H., Kohmann, F.: Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band II: Peritrichia, Heterotrichida, Odontostomatida. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 1992.

Matthes, D., Wenzel, F.: Wimpertiere (Ciliaten). Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1978.

Sernow, S.A.: Hydrobiologie. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1958.

Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen. Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart 1978.

Uhlmann, D.: Hydrobiologie. Ein Grundriß für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1982.

Verfasser: Philipp Mayer, Heimeckerstr. 2 a, D-79183 Waldkirch/Breisgau

## Kurze Mitteilung

### Modifizierte Aufklebemethode

Die Standardliteratur der mikroskopischen Technik (z.B. Romeis, 1989) empfiehlt zum Festkleben von Mikrotomschnitten besondere Klebebänder, die man zum Ende des Verfahrens jedoch in giftigen Lösungsmitteln wie Xylol oder Tetrachlorkohlenstoff auflösen muß. Auf der Suche nach einer alternativen und vor allem ungefährlichen Methode habe ich folgendes Verfahren entwickelt: Verwendet wird das Klebeband Filmoplast P, ein transparentes Papierband von 20 mm Breite, das mit einem wasserlöslichen Kleber beschichtet ist und schwach alkalisch (pH 8,5) reagiert. Hergestellt wird dieses Band von der Firma Hans Neschen GmbH u. Co KG, Windmühlenstr. 6, D-31675 Bückeburg. Für das modifizierte Aufklebverfahren benötigt man einen fettfreien Objektträger, bestricht ihn mit einem kleinen Tropfen Eiweißglycerin, hält ihn mit der unbehandelten Seite über eine kleine Flamme, bis weißer Rauch aufsteigt und läßt ihn anschließend auskühlen.

Dann folgen die weiteren Arbeitsschritte:

1. Klebeband auf dem Einbettungsblock blasenfrei andrücken
2. am Mikrotom schneiden
3. Band mit dem Schnitt auf den vorbereiteten Objektträger andrücken und eventuell vorsichtig glätten
4. Objektträger mit Schnitt im Wärmeschrank einige Stunden trocknen lassen
5. Objektträger in eine Schale mit Leitungswasser geben
6. der Kleber löst sich in circa 20 Minuten, den Schnitt mit einem Papiertaschentuch säubern und im Wärmeschrank gründlich trocknen lassen
7. übliche Weiterbehandlung mit Xylol, Alkoholgehe, destilliertes Wasser, Färbepapier etc.

Dieses Verfahren eignet sich besonders gut für Material, welches sich beim Schneiden zusammenschiebt oder einrollt bzw. leicht wegbröckelt. Eine Streckung der Schnitte ist nicht notwendig.

Romeis, B.: Mikroskopische Technik. Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore 1989.

Hermann Adelwandsteiner, Wien (Österreich)

### Die Moos- und Farnpflanzen Europas

Von Prof. Dr. W. Frey, Berlin,  
Prof. Dr. J.-P. Frahm, Duisburg, Dr. E.  
Fischer und Dr. W. Lobin, Bonn

6., völlig neubearb. Aufl. 1995. XII, 426 S.,  
149 Abb., geb. DM 78,-

**Inhalt: Moose - Bryophyta** • Schlüssel für die Verwandtschaftsgruppen Bryophyta (Moose) und Pteridophyta (Farnpflanzen) • Schlüssel für die Hauptgruppen der Bryophyta nach dem Sporophyten (Sporogon) • Schlüssel für die Hauptgruppen der Bryophyta nach dem Gametophyten (Moospflanze) • Systematischer Teil • Artenschlüssel • **Farnpflanzen - Pteridophyta** • Schlüssel zu den Gattungen der europäischen Farnpflanzen • Systematischer Teil • Artenschlüssel

Seit über 50 Jahren ist der Band IV des "Gams" das einzige Werk, in dem die gesamte Moos- und Farnflora Europas dargestellt wird. Er bildet eine verlässliche Grundlage für die Bestimmung und für die Kenntnis der Moos- und Farnpflanzen. Die kompakte Darstellung erlaubt dem Benutzer ein schnelle Übersicht; die aufgeführte Spezialliteratur weist den Zugang zu ausführlichen Beschreibungen.

Preisänderungen vorbehalten.

Kleine Kryptogamenflora, Band IV  
Begründet von H. Gams

# Sand unter dem Mikroskop

## 3. Eine kleine Einführung in die Kristallographie für Mikroskopiker

Paul Gangloff

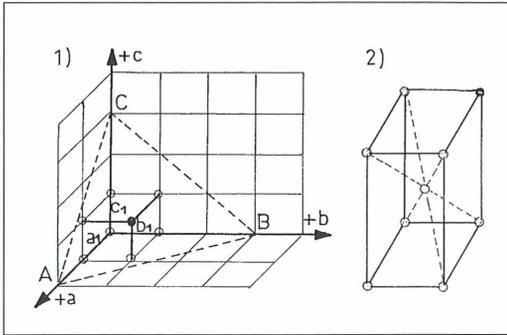
**Im zweiten Teil dieser Artikelserie hatte ich über morphologische Bestimmungskriterien, Brechungsindexvergleiche, Löschschiefe und die grundlegende Methode der Feststellung der Doppelbrechung berichtet. Jetzt bleibt noch die Beschreibung der optischen Verfahren für die Bestimmung der optischen Orientierung, des optischen Charakters, der Dispersion, der optischen Achsen und deren gegenseitigen Winkel. Auch in diesem Teil bedeutet für die Polarisation (+Pol): Analysator und Polarisationsfilter eingeschaltet, (–Pol): nur Analysatorfilter eingeschaltet.**

**D**as Ziel meiner früheren Artikel (siehe Literaturhinweise) sowie dieser Reihe war, nicht spezialisierten Lesern einen Einstieg in die Anwendungsverfahren des Mikroskopes auf den Gebieten der Mineralogie und der Petrographie zu ermöglichen. Der Stellenwert des Mikroskopes ist auf diesen Gebieten äußerst groß, da es, außer der visuellen Beobachtung der Objekte auf optischer Basis Rückschlüsse auf deren chemischen Aufbau, Entstehungsgeschichte, Umwandlungen und ihrer Rolle im geologischen Umfeld ermöglicht. Schon die bereits beschriebene Ermittlung der Doppelbrechung mittels der Polarisationsfarben ist ein rein optisches Verfahren. Ebenso wie ein histologischer Schnitt, mit Azan gefärbt, Bindegewebe hellblau, Kerne rot, Muskulatur violett usw. zeigt, erscheint ein Quarzkristall, 30 µm dick, bei gekreuzten Polfiltern sehr leicht gelblich, Augitkristalle je nach chemischem Aufbau gelb über rot, blau-grün bis zu einem matten Purpur. Diese Farben sind allerdings abhängig von der Dicke des Minerals, deren Bestimmung mit Hilfe des Mikroskopes im zweiten Teil dieser Reihe erläutert wurde. Das erwähnte histologische Verfahren setzt einige Kenntnisse über die allgemeine Anatomie voraus. Die weiter beschriebenen optischen Methoden sind von der „Anatomie“ unserer Objekte, ihrem atomaren Aufbau abhängig. Ohne einen kleinen mineralogischen Einblick wäre die Beschreibung der Methode eine reine, vielleicht wenig verständliche Rezeptur, wobei ich mich auf die für die mikroskopischen Methoden notwendigen Kenntnisse beschränken werde.

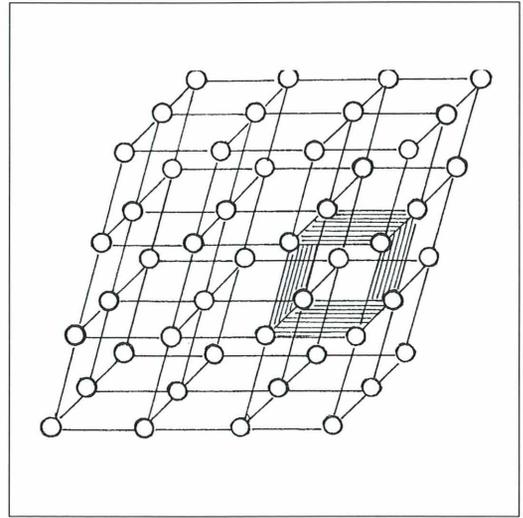
Die Mineralogie ist die Lehre von den weitaus überwiegend kristallinen Bausteinen der festen Materie. Dies umfaßt nicht nur den größten Teil der Grundstoffe unserer Erde, sondern auch der außerirdischen Himmelskörper wie Planeten, Satelliten, Meteorite usw. Unsere Sande sind detritische, das heißt, abgebaute Überreste von Gesteinen, die durchweg aus Mineralien bestehen. Ein sehr kleiner Teil kann aus Gesteinsgläsern bestehen, wie etwa Obsidian, die streng genommen keine Minerale sind. Sie entstehen aus schlagartig abgekühltem Magma bei Vulkanausbrüchen, deren Viskosität so groß ist, daß Kristallkeime zuerst gar nicht entstehen können. Im Mikroskop sind sie leicht zu erkennen, doch darüber mehr im nächsten Teil über die Praxis der Bestimmungen.

### Struktur und Form der Kristalle

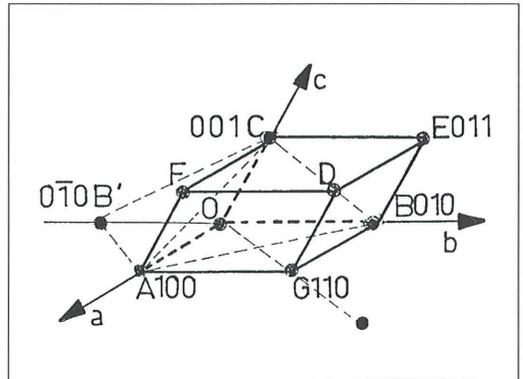
Kristalle, aus denen unsere Minerale überwiegend bestehen, sind Festkörper, die aus kleinsten atomaren Bausteinen, die einer streng räumlich-geometrischen Ordnung unterliegen, aufgebaut sind (Abb. 2 und 4). Da die Form des Minerals von seinem atomaren Aufbau abhängt, gibt es eine Übereinstimmung zwischen der Symmetrie des Atomaufbaus und der makroskopischen Symmetrie. Betrachten wir nun in Abbildung 1.1 die kleinste räumliche Einheit, begrenzt durch acht Bausteine, die als Elementarzelle bezeichnet wird. Eine Aneinanderreihung solcher Zellen, wie sie bei der Kristallbildung erfolgt, ergibt ein Raumgitter (Abb. 2.). Die entstehende Ordnung wird von



**Abb. 1:** 1) Die prinzipiellen Verhältnisse im dreiaxigen Koordinatensystem, das zur Darstellung der sieben Kristallsysteme in Abbildung 4A dient. Es können ebenso Einzelpunkte wie Flächen (hier A, B, C) dargestellt werden. Die Winkel  $\alpha, \beta, \gamma$  zwischen den Achsen variieren je nach Kristallsystem ebenso, wie das Verhältnis  $a_1, b_1, c_1$ , die als Maßeinheiten dienen. Die Figur  $a, b, c$ , durch je ein Atom an den acht Knoten begrenzt, wird als Elementarzelle bezeichnet. Ein Kristall entsteht durch immer weiter räumliche Angliederung der gleichen Zellenform. 2) Translationsgitter, auch als Bravaisgitter bezeichnet. Bei Anwendung der sieben Achsensysteme der Abbildung 4A können 14 Translationsgitter abgeleitet werden. Hier ist als Beispiel ein innenzentriertes rhombisches Gitter gezeigt. Die Punkte dieser Gitter sind in der Realität mit Atomen, Ionen und Molekülen besetzt. Die Bravaisgitter sind in jedem kristallographischen Lehrbuch abgebildet.



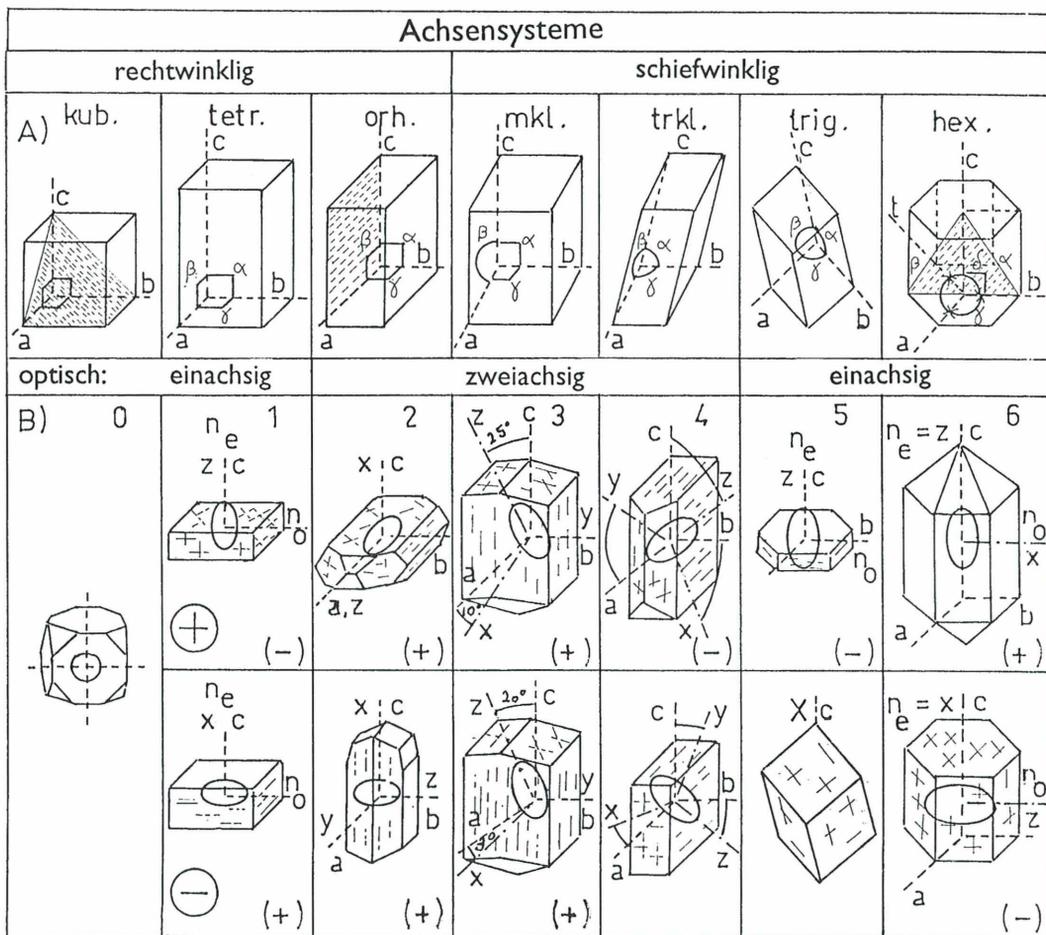
**Abb. 2:** Schematische Darstellung eines Raumgitters mit eingetragener Elementarzelle. Der geordnete, in bestimmten Richtungen sich systematisch wiederholende Aufbau von Atomen und Molekülen der Minerale läßt sich in allgemeiner Form auf diese Weise darstellen.



**Abb. 3:** Indizierung von Kristallflächen nach Miller (siehe Text). Im Bild ist eine beliebige Elementarzelle mit der Indizierung der Knotenpunkte eingezeichnet. Die Flächen werden nach Miller wie folgt nummeriert: BEDG (010), AFDG (100), CFDD (001), ABC (111), AB'C (111). Als Beispiel für die Berechnung der Millerschen Werte nehmen wir die Fläche ABC in Abbildung 1:  $2a:3b:3c$ : übliche Indizierung nach Weiß,  $1/2:1/3:1/3$ : (reziproke Werte),  $3/6:2/6:2/6$ : (gemeinsamer Nenner),  $3\ 2\ 2$ : Verhältnis der Zähler, (322): Flächensymbol nach Miller.

der Größe der Bausteine (Atome) und von der Art ihrer Bindung (Anziehung) bestimmt. Die Form der Elementarzelle läßt sich in sieben Kristallklassen zusammenfassen (Abb. 4A). Das ist wichtig für uns, da wir diese Klassen mit polarisationsoptischen Methoden unter dem Mikroskop bestimmen können. Die absolut strenge Einhaltung der Form der Elementarzelle der Kristalle ist der Grund ihrer Winkelkonstanz, eines der wichtigsten Gesetze der Kristallographie. Es besagt, daß die Messung der Winkel zwischen den gleichen Flächen einer Kristallart immer zu den gleichen Werten führt. Deren Messung auf dem Drehtisch des Mikroskopes kann zur Bestimmung benützt werden (Abb. 7 und 8).

In Bestimmungsbüchern, wie etwa in dem klassischen Werk von W. E. Tröger (1971), ist die

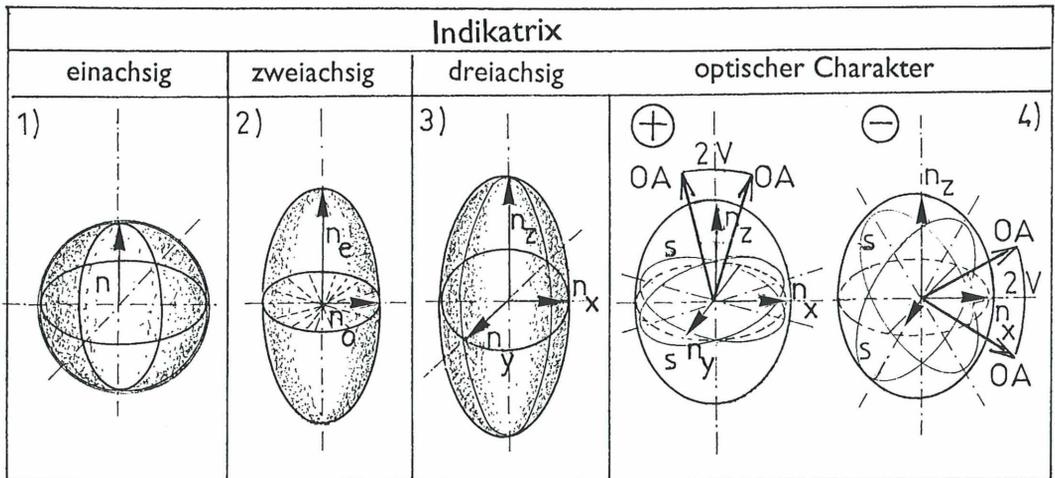


System	Achsen- system	Achsenwinkel
0. kubisch	(kub) $a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
1. tetragonal	(tetr) $a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
2. orthorhombisch	(orh) $a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
3. monoklin	(mkl) $a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma > 90^\circ$
4. triklin	(trkl) $a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
5. trigonal	(trig) $a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 120^\circ, \gamma = 90^\circ$
6. hexagonal	(hex) $a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 120^\circ, \gamma = 90^\circ$

kristallographische Form der Minerale aufgezeichnet. Auf jeder Fläche befinden sich etwas kabbalistisch anmutende dreistellige Zahlen. Es handelt sich um die heute meist benutzte Indizierung nach Miller (um 1846). Die Abbildungen 1 und 3 dienen dem Verständnis des Lesers, der zum ersten Mal solche Bestimmungsbücher benutzt. Die Beschreibung der Form der Kristalle wird auf Koordinatensysteme wie in Abbildung 1 bezogen. Die Abschnit-

◀ **Abb. 4: A) Die sieben Kristallsysteme**

**B) Beispiele von Mineralen entsprechend den Systemen, die in der gleichen Spalte darüber gezeichnet sind. Die morphologischen (geometrischen) Koordinaten a, b, c entsprechen denen in der Reihe A. Die Koordinaten x, y, z bezeichnen die optischen Achsen der „Indikatrix“ (siehe Abb. 5). Diese sind als kleine Ellipsoiden eingezeichnet. O: Fluorit (Isotrop). Obere Reihe: Minerale mit positivem optischen Charakter. Die optische Orientierung (1) bzw. (1') (siehe Text) ist jeweils zwischen Klammern eingetragen. 1) Ackermanit. 2) Baryt (Sulfat). 3) Pargasit (Amphibol). 4) Labradorit (Feldspat). 5) Koenenit. 6) Quarz. Untere Reihe: Minerale mit negativem optischen Charakter: 1) Melinophan. 2) Aragonit. 3) Hastingsit (Amphibol). 4) Analbit (Feldspat). 5) Chabasit (Zeolith). 6) Apatit.**



te  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  wiederholen sich bei dem Kristallaufbau unzählige Male in alle Richtungen weiter (Translation der Zellen) und werden dementsprechend als Einheiten gebraucht. Der Nichtmineraloge wird zweifellos versuchen die Fläche A, B, C mit  $2a$ ,  $3b$ ,  $3c$  zu bezeichnen. Für kristallographische Berechnungen ist es einfacher die Millerschen Indizes zu benutzen. Ihre Entstehung ist im Abbildungskommentar erklärt. Wie man sowohl Punkte und Flächen bezeichnen kann, ist in Abbildung 3 erklärt. Zu beachten ist, daß sämtliche existierende Minerale sich in die sieben Symmetriesysteme der Abbildung 4 eingliedern lassen.

### Optische Eigenschaften

Der beschriebene atomare Aufbau der Kristalle ist für unsere Zwecke äußerst wichtig, da er für einen sehr eigenwilligen Verlauf von Lichtwellen verantwortlich ist. Die Geschwindigkeit der Lichtstrahlen – und damit die Lichtbrechung (als reziproker Wert) – in einem Mineral hängt vom Gitterfeinbau ab. Reziprok besagt, daß einer kleinen Lichtbrechung  $n$  eine hohe, einer hohen  $n$  eine kleine Lichtgeschwindigkeit entspricht. Isotrope Minerale haben nur einen Brechungsindex. Trifft Licht dagegen auf ein anisotropes durchsichtiges Mineral, wird es in zwei senkrecht zueinander schwingende, also polarisierte Wellen zerlegt. Das Licht hat in jeder Richtung im Mineral eine andere Geschwindigkeit und entsprechend eine andere Lichtbrechung. Daraus entsteht die für uns so ausschlaggebende Doppelbrechung. Die Vertei-

**Abb. 5: Die Indikatrix. Sie zeigt die Verteilung der Brechungsindizes  $n$  in Mineralen.** 1) Kugel.  $n$  ist in allen Richtungen gleich. 2) Rotationsellipsoid. Zwei Hauptbrechungsindizes  $n_e$  und  $n_o$ , die mit den kristallographischen Achsen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  übereinstimmen. 3) Dreiaxiges Ellipsoid  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$ , die mit den kristallographischen Achsen übereinstimmen können. 4) Die Unterscheidung des positiven und negativen Charakters (siehe Text). Mit  $s$  sind kreisförmige Schnittlagen im dreiaxigen Ellipsoid bezeichnet, in denen die Lichtbrechung  $n$  in alle Richtungen gleich ist. Die optischen Achsen OA, mit dem konventionell  $2V$  genannten Winkel, stehen senkrecht auf diesen Flächen.

lung der Lichtbrechungswerte im Kristall wird üblicherweise durch eine räumliche Indikatrix wiedergegeben (Abb. 5). Für den Mikroskopiker bildet diese Darstellung den Schlüssel zum Verständnis der optischen Bestimmung. Zeichnen wir von irgendeinem Punkt in einem Kristall, mit einem gewählten Maßstab, die Lichtbrechungen  $n$  in alle Richtungen ein, dann entsteht immer ein Ellipsoid wie in Abbildung 5. Im allgemeinen Fall (Abb. 5,3) sind die Lichtbrechungen in Richtung der drei Hauptachsen  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  ungleich. Alle Minerale, bei denen dies zutrifft, werden zweiachsig genannt. Einachsig ist ein Mineral, wenn der Äquatorialschnitt (Abb. 5,2) einen Kreis darstellt (Rotationsellipsoid). Wir haben nur noch zwei Hauptlichtbrechungen, die in diesem Fall  $n_e$  (außerordentliche Welle,  $e = \text{extra}$ ) und  $n_o$  (ordentliche Welle) bezeichnet werden. Der Son-

derfall eines Ellipsoids mit gleichen Hauptachsen in alle Richtungen ist bekanntlich eine Kugel (Abb. 5,1). Alle Minerale, die diesem Fall entsprechen, sind isotrop, also nicht doppelbrechend.

### Hauptachsen

Man nennt die Hauptachsen des Ellipsoides  $n_x$ ,  $n_y$  und  $n_z$  die optischen Achsen und bezeichnet sie in der Regel mit X, Y, Z. Die Abbildung 6 zeigt, daß diese nur bei den optisch einachsigen und zweiachsigen Mineralen mit den morphologischen Achsensystemen a, b, c übereinstimmen. Bei optisch zweiachsigen Systemen können die optischen Hauptrichtungen völlig von den kristallographischen Achsen abweichen (Abb. 6,3 und 6,4).

Der springende Punkt für uns liegt nun darin, daß wir mit dem Polarisationsmikroskop auf einfache Art a) die Richtungen der optischen Achsen X, Y, Z mittels der Löschwinkel feststellen können, b) mit kleinen Zusatzgeräten, den Kompensatoren, die X- und die Z-Achse unterscheiden können. Das heißt, daß wir die Richtung der größten und der kleinsten Brechungsindizes herausfinden. Dadurch wird es möglich, unsere Minerale, sei es im Dünnschliff, sei es am Sandkorn, in isotrope, optisch ein- oder zweiachsige Minerale (Abb. 6) einzuzeilen.

Darüber hinaus hat man konventionell den Mineralen einen positiven oder negativen Charakter

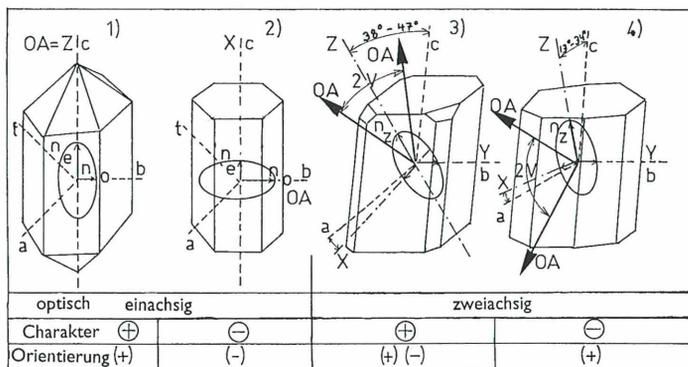
zugeteilt. Der Leser wird wohl sofort auf Abbildung 6,1 feststellen, daß bei positivem Charakter die optische Achse OA (= Z) mit der kristallographischen Achse c übereinstimmt im Gegensatz zu der negativen Kombination X/c in Abbildung 6,2. Bei zweiachsigen Mineralen ist die Definition etwas komplexer. Deren praktische Feststellung ist hingegen im Mikroskop sehr einfach. Zum theoretischen Verständnis betrachten wir die Abbildungen 5,4 sowie 6,3 und 6,4. In einem zweiachsigen Ellipsoid gibt es äquatorial eine kreisrunde Schnittlage, als ob wir ein Ei senkrecht zur Längsachse aufschneiden (Abb. 5,2; s). Im dreiachsigen Ellipsoid gibt es immer zwei kreisförmige Schnittlagen (Abb. 5,4; s). Senkrecht zu diesen Flächen stehen die optischen Achsen OA. Der spitze Winkel ( $< 90^\circ$ ) zwischen den Achsen OA wird  $2V$  genannt. Der optische Charakter eines Minerals ist positiv, wenn die Winkelhalbierende von  $2V$  mit der Achse Z (größte Lichtbrechung) übereinstimmt. Ist es hingegen die Achse X, so ist der Charakter negativ. Dem aufmerksamen Leser wird es vielleicht auffallen, daß die Einachsigkeit nur ein Sonderfall mit dem Winkel  $2V = 0$  darstellt. Für die Praxis ist es nun maßgebend, daß der Blick in Richtung der optischen Achsen OA im Mikroskop bei (+Pol) immer gelöscht ist und ihre Position somit für uns feststeht. Doch darüber mehr im nächsten praktischen Teil.

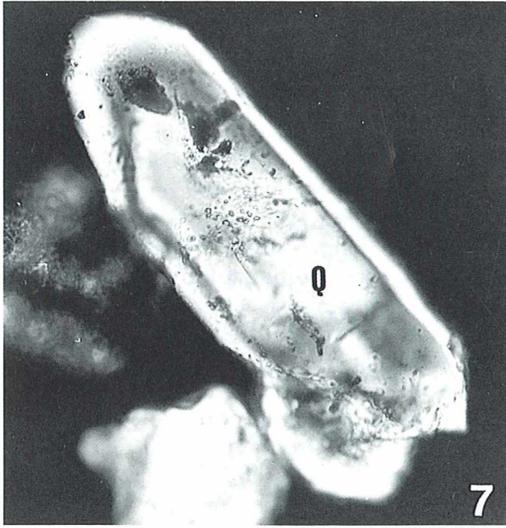
### Optische Orientierung

Nun bleibt noch, die optische Orientierung zu definieren. Lesen wir zum Beispiel im Bestimmungsband Tröger (1971): „Sie ist positiv l = (+), wenn bei säulig oder tafelig ausgebildeten Kristallen Z genau parallel zur Säulenachse,

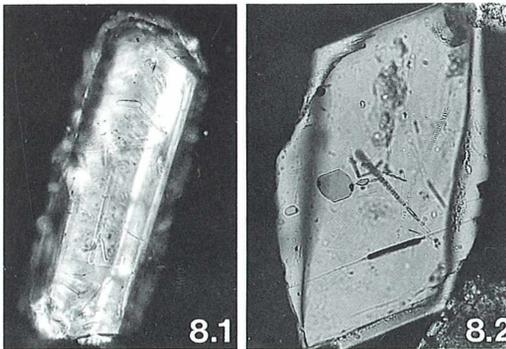
**Abb. 6: Unterscheidung des optischen Charakters und der optischen Orientierung bei einachsigen und zweiachsigen Kristallen mit eingezeichneter Indikatrix. 1) Quarz.**

**2) Apatit. 3) Augit (Pyroxen). 4) Hornblende (Amphibol).** Bei einachsigen Mineralen stimmen die kristallographischen Achsen a, b, c mit den optischen Achsen überein. Bei zweiachsigen Mineralen können diese Achsen, wie hier Z von c und X von a, abweichen. Zu beachten ist, daß hier Y mit b übereinstimmt. Dies ist ein Kennzeichen für monokline Minerale, wie im folgenden Artikel über die Praxis gezeigt wird (siehe auch Abb. 4B3).





**Abb. 7:** Sand aus einer Kiesgrube bei Strasbourg. Auch bei sehr stark verwitterten Sanden finden wir, besonders in der Siebfraction unter 0,1 mm, Minerale mit gut erkennbaren kristallinen Formen, wie hier das Quarzkristall (Q). Als Ergänzung zu den optischen Methoden erleichtern diese Formen oft die Bestimmung.



**Abb. 8:** 1) Ein Augitkristall und 2) ein Phillip-sitkristall (Zeolith) aus vulkanischem Seesand bei Sorrent mit gut erhaltenen Kristallformen, trotz mindestens fünfzigjährigem Aufenthalt seit dem letzten Vesuvausbruch im bewegten Seewasser.

beziehungsweise X senkrecht zur Tafel liegt. Analog  $l = (-)$ , das heißt, daß hier X parallel zur Säulenachse und Z senkrecht zur Tafel liegt. Wenn die optischen Hauptrichtungen von den kristallographischen abweichen, gilt  $l' = (+)$  oder  $l' = (=)$ .“ Der Quarz in Abbildung 6,1

ist säulig, die Orientierung entsprechend  $l = (+)$ . Der Akermanit in Abbildung 4B4 wird als tafelig bezeichnet, die Orientierung ist entsprechend  $l = (-)$ . Bei der Hornblende, die in Abbildung 6,4 in Richtung c säulig ausgebildet ist und deren Achse Z in einem Winkel kleiner als  $45^\circ$  liegt, schreiben wir  $l' = (+)$ . Augit hingegen (Abb. 6,3) kann eine positive Orientierung  $l' = (+)$  aufweisen, wenn der Winkel von Z zu c kleiner als  $45^\circ$  und  $l' = (-)$ , wenn dieser Winkel größer ist.

Zusammenfassend können wir also auf optischer Basis, zusätzlich zu den im Teil 2 der Artikelserie erwähnten Methoden, die optische Ein- und Zweiachsigkeit, den optischen Charakter, die optische Orientierung und die Zugehörigkeit zu den sieben Kristallsystemen ermitteln. Das Mikroskop erspart hier in vielen Fällen aufwendige und physikalische Analysemethoden. Wie, das soll im nächsten Teil erörtert werden.

#### Literaturhinweise

- Devismes, P.: Atlas photographique des minéraux en grains. Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières 95, 1978.
- Gangloff, P.: Bestimmung von Gesteinen unter dem Mikroskop. Mikrokosmos 73, 105–110 (1984); 73, 238–245 (1984); 74, 298–302 (1985); 74, 358–366 (1985); 75, 135–140 (1986); 75, 200–207 (1986); 75, 331–334 (1986); 75, 331–334 (1986); 75, 200–207 (1986); 83, 45–51 (1994).
- Gangloff, P.: Feldspäte und ihre Bestimmung. Mikrokosmos 77, 200–206 (1988).
- Jubelt, Schreiber: Gesteinsbestimmungsbuch. VEB Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1972.
- Neubert, W.: Verbesserung der Selbstbau-Polarisationsmikroskopie durch Optimierung der Dunkelstellung. Mikrokosmos 82, 75–77 (1993).
- Nickel, E.: Grundwissen in der Mineralogie. Band 1, 2 und 3, Ott-Verlag, Thun, Schweiz 1983.
- Parfenoff, A., Pomerol, C., Tourenq, J.: Les minéraux et grains. Méthodes d'étude et détermination. Masson et C<sup>ie</sup>, Editeurs 1970.
- Roubault, M.: Détermination des minéraux des roches. Edition Lamarre-Pointal, Paris, 1963.
- Tröger, W. E.: Spezielle Petrographie der Eruptivgesteine. Verlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Stuttgart 1969.
- Tröger, W. E.: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Mineralien, Band 1 und 2. E. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1969, 1971.
- Wolley, A. R., Bishop, A. G., Hamilton, W.: Der Kosmos-Steinführer. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1977.

Verfasser: Paul Gangloff, 13 Chemin du Gliesberg, F-67200 Strasbourg

**Sie haben *Freude* am Mikroskopieren?**

**Sie haben *Freude* am MIKROKOSMOS?**

**Sie haben *Freunde*, die auch gern mikroskopieren,  
den MIKROKOSMOS aber noch nicht kennen?**

**Sie können sich vorstellen, daß Ihre *jüngeren  
Freunde, Enkel oder Paten* ebenfalls begeistert sein  
werden von der großen WELT IM KLEINEN - dem  
MIKROKOSMOS?**

**Dann bereiten Sie ihnen doch eine *Freude* und  
schenken ihnen für ein Jahr den MIKROKOSMOS.**

**Oder Sie werben einen neuen Leser  
und lassen sich von uns beschenken.**



**GUSTAV  
FISCHER**

Als Prämie für einen neuen MIKROKOSMOS-Abonnenten erhalten Sie eines der folgenden Bücher Ihrer Wahl:

- **Röttger, Praktikum der Protozoologie**  
1994. XIV, 227 S., 462 Abb., kt.
- **Cockburn, Evolutionsökologie**  
1995. XVI, 357 S., zahlr. Abb., kt.
- **Fujita/Tanaka/Tokunaga, Zellen und Gewebe**  
Ein REM-Atlas für Mediziner und Biologen  
1986. XII, 240 S., 142 Bildtaf., kt.

### MIKROKOSMOS-Themen, die für sich sprechen:

(Auswahl aus den beiden letzten Jahrgängen)

- Altersbestimmung bei Fischen anhand von Schuppenproben
- Sand unter dem Mikroskop
- Verbreitungsorgane bei Samen und Früchten
- Verhaltensstudien an Ciliaten
- Was ist drin im Vollkornmehl?
- Dickenwachstum der Drachenbaum-Wurzel
- Digitale Bildverarbeitung in der Mikroskopie
- Schöne Kieselalgen aus der Ostsee
- Metaphern aus der Mikrowelt
- Einzeller als hochorganisierte Lebewesen
- Metalle unter dem Mikroskop
- Geburt, Leben und Tod eines Rädertieres

...

# Das Geschenkabonnement

Ich möchte mit Beginn des Jahrgangs 85/1996 (6 Hefte pro Jahrgang) folgender Person mit einem Abonnement der Zeitschrift MIKROKOSMOS eine Freude machen:

Name, Vorname

Institut, Schule etc.

Straße, PLZ, Ort

Die Kosten für das Abonnement 1996 (Preis zzgl. Porto DM 108,-/ DM 78,- Sonderpreis für Studenten und Schüler bei Vorlage eines Ausweises) begleiche ich:

Name, Vorname

Institut, Schule etc.

Straße, PLZ, Ort

Datum, Unterschrift

Mir ist bekannt, daß ich diese Bestellung innerhalb von 8 Tagen (Datum des Poststempels) durch schriftliche Mitteilung an den Gustav Fischer Verlag, Postfach 72 01 43, 70577 Stuttgart widerrufen kann. Ich weiß, daß sich das Abonnement automatisch verlängert, wenn es nicht bis zum 31.10. des laufenden Jahres gekündigt wird.

Datum, 2. Unterschrift

# Das "Leser werben Leser"-Abonnement

Ich möchte mindestens einen vollen Jahrgang der Zeitschrift MIKROKOSMOS abonnieren. Der Jahrgang 85/1996 (6 Hefte pro Jahrgang) kostet (zzgl. Porto) DM 108,-/ DM 78,- Sonderpreis für Schüler und Studenten bei Vorlage eines Ausweises

Name, Vorname

Institut, Schule etc.

Straße, PLZ, Ort

Datum, Unterschrift

Mir ist bekannt, daß ich diese Bestellung innerhalb von 8 Tagen (Datum des Poststempels) durch schriftliche Mitteilung an den Gustav Fischer Verlag, Postfach 72 01 43, 70577 Stuttgart widerrufen kann. Ich weiß, daß sich das Abonnement automatisch verlängert, wenn es nicht bis zum 31.10. des laufenden Jahres gekündigt wird.

Datum, 2. Unterschrift

Ich bin bereits MIKROKOSMOS - Leser und habe den neuen Abonnenten geworben:

Name, Vorname

Institut, Schule etc.

Straße, PLZ, Ort

Zusätzlich bestelle ich über meine Buchhandlung:

**Ude/Koch, Die Zelle**

2., völlig neubearb. u. erw. A. 1994. 309 S. mit 238 elektronenmikroskop. Aufn., 43 Farbtaf., 53 zweifarb. Textabb., 4 Tab., kt. DM 78,- (3-334-60532-9)

**Braune/Leman/Taubert,  
Pflanzenanatomisches Praktikum I**

7., durchges. A. 1994. 283 S., 427 Teilbilder in 95 Abb. u. Randleistenschemata auf 29 S., geb. DM 56,- (3-334-60473-X)

**Braune/Leman/Taubert,  
Pflanzenanatomisches Praktikum II**

3., überarb. A. 1990. 392 S. mit 758 Teilbildern in 137 Abb. u. Randleistenschemata auf 51 S., geb. DM 58,- (3-334-00301-9 / 3-437-20429-7)

**Wichard/Arens/Eisenbeis, Atlas zur  
Biologie der Wasserinsekten**

1995. XII, 338 S., 912 REM-Bilder auf 148 Taf., 156 Abb. im Text, geb. DM 128,- (3-437-30743-6)

Preisänderungen vorbehalten. MK84/4.5/95.1.9.Th.dtp.SD

ausreichend  
frankieren

Werbeantwort/Postkarte

Gustav Fischer Verlag

Postfach 72 01 43

D-70577 Stuttgart

Als Prämie für den neuen Abonnenten möchte ich mit folgendem Gustav Fischer Buch beschenkt werden (bitte ankreuzen):

**Röttger, Praktikum der Protozoologie**  
(3-437-30754-1)

**Cockburn, Evolutionsökologie**  
(3-437-30775-4)

**Fujita et al., Zellen und Gewebe**  
(3-437-11052-7)

Zusätzlich bestelle ich über meine Buchhandlung:

ausreichend  
frankieren

Werbeantwort/Postkarte

Gustav Fischer Verlag

Postfach 72 01 43

D-70577 Stuttgart

Preisänderungen vorbehalten. MK84/4.5/95.1.9.Th.dtp.SD

# Der Strandhafer (*Ammophila arenaria*) – ein Beispiel für eine optimierte Konstruktionsform

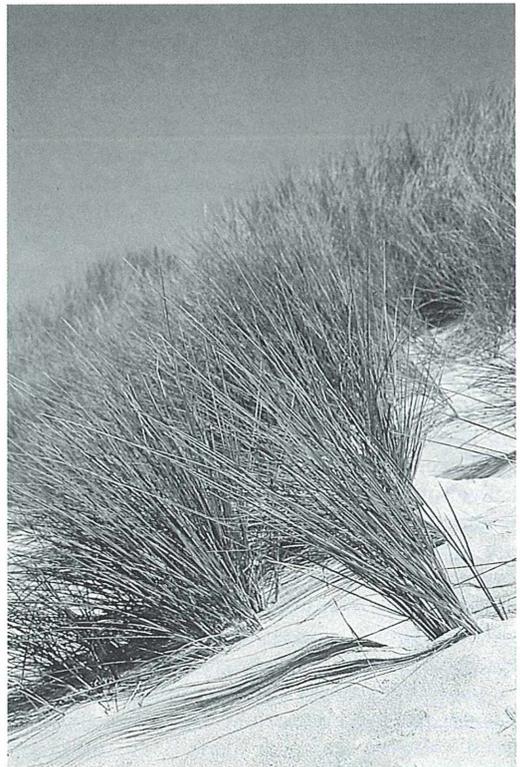
Uwe Markstahler

**Landpflanzen sind im Laufe ihres Lebens andauernd Belastungen durch Außenkräfte ausgesetzt. Trockenheit, Wind, Regen, Wasserströmung oder Bodenverschiebungen sind mögliche Störgrößen, mit denen sie fertig werden müssen. Der folgende Beitrag betrachtet solche Zusammenhänge an einer eindrucksvollen heimischen Graspflanze.**

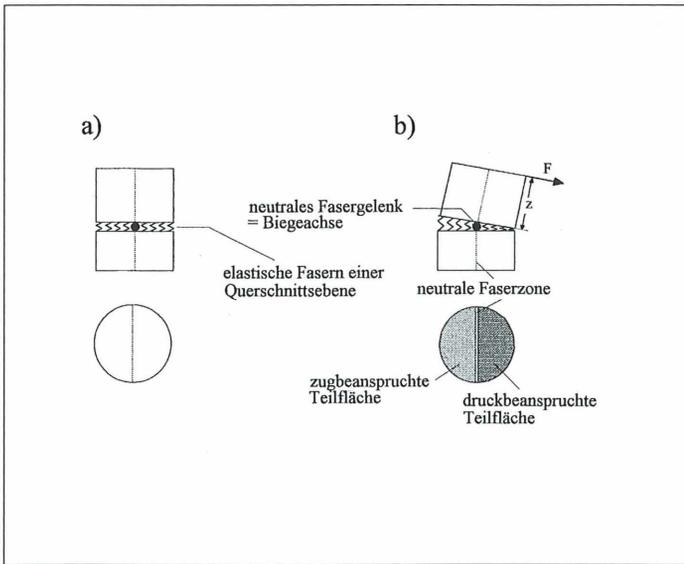
Im Laufe einer millionenjährigen Entwicklungsgeschichte haben die Landpflanzen bezüglich solcher Selektionsfaktoren entsprechende physiologische Regulationsstrategien zur Erhaltung ihres Gleichgewichts, Festigungsmaterialien (Cellulose, Lignin) und Konstruktionsformen entwickelt, die ihnen eine für das Überleben auf dem Land ausreichende Stabilität gewähren. Dabei gelten für die durch Wind und Wetter mechanisch beanspruchten Pflanzen die gleichen baustatischen Gesetzmäßigkeiten wie für künstliche von Bauingenieuren entworfene Turm- oder Brückenkonstruktionen.

Im folgenden Beitrag sollen Überlebensstrategien einer Pflanze vorgestellt werden, die sich an einen Extremstandort angepaßt hat. Es handelt sich hierbei um den Strandhafer *Ammophila arenaria*. Als Pionierpflanze besiedelt er natürlicherweise Böschungen von Sanddünen der Küstenlandschaften (Abb.1). Er wird deshalb auch gerne zur Dünenbefestigung eingesetzt. Das Verbreitungsgebiet umfaßt die Küstenstreifen Europas, Nordafrikas und Nordamerikas. Dieses riesige Gebiet weist auf eine sehr erfolgreiche Anpassung dieser Pflanze bezüglich der in ihrem Lebensraum vorkommenden extremen physiologischen und mechanischen Belastungen hin. Starke Schwankungen der Luft- und der Bodenfeuchtigkeit aber auch große Windkräfte, welche die Pflanze mechanisch zerstören könnten, stellen in einer solchen Umgebung potentiell lebensbedrohende Faktoren dar. Um so interessanter erschien die Frage, ob sich irgendwelche strukturellen Besonderheiten an dieser Pflanze auffinden ließen, die ihr das Überleben am Problemstandort

ermöglichen. Zur Beantwortung dieser Frage wurden Dünnschnitte angefertigt, um auf anatomischer Ebene spezielle Konstruktionsmerkmale aufzufinden, die mit den erwähnten Beanspruchungen in Beziehung stehen.



**Abb. 1: Der Strandhafer (*Ammophila arenaria*) als Dünenpflanzung**



**Abb. 2:** a) Unbelasteter stabförmiger Träger. – b) Durch eine Außenkraft belasteter Träger. Die Kraft „F“ erzeugt im Abstand „z“ ein Drehmoment „ $M_A$ “, welches das Kippen der oberen Querschnittsfläche um die neutrale Faserzone bewirkt. Dieses Modell greift aus Gründen der Übersichtlichkeit willkürlich nur eine einzige Querschnittsebene heraus. Diese Überlegung gilt gleichermaßen für jede andere Querschnittsebene, wobei zu beachten ist, daß die wirksamen Drehmomente in jeder Ebene auf Grund der Beziehung  $M = F \cdot z$  einen anderen Betrag annehmen.

### Ein wenig Bau- und Biostatik

Um eine für das Verständnis der biostatistischen Konstruktionsverhältnisse ausreichende Diskussionsgrundlage zu haben, sollen zunächst die dafür notwendigen Begriffe aus der Festigkeitslehre erläutert werden.

Windexponierte Dünenpflanzen sind starken Biegebelastungen ausgesetzt. Zur quantitativen Angabe der Biegefestigkeit eines Bauteiles existieren die aus der Festigkeitslehre stammenden Kenngrößen: Elastizitätsmodul  $E$  und axiales Flächenträgheitsmoment  $I$ .

Was versteht man unter diesen Größen? Wird ein Bauteil durch eine von außen wirkende Kraft gebogen, dann entsteht auf der konkaven Seite des Bauteilquerschnitts eine Zone, die sogenannten Druckspannungen ausgesetzt ist, wohingegen auf der konvexen Seite eine Zone erhöhter Zugspannungen auftritt. Durch den Schwerpunkt des Bauteiles verlaufend, erstreckt sich ein Bereich der zug- bzw. druckspannungsfrei ist. Man nennt diesen Bereich die neutrale Faserzone (Abb. 2). Betrachten wir anhand eines stark vereinfachten Modells, was sich prinzipiell in jeder Querschnittsebene abspielt, wenn eine Außenkraft an einem stabförmigen Körper eine Biegung verursacht.

Aus dem Physikunterricht ist wahrscheinlich noch bekannt, daß eine Kraft  $F$ , die auf einen Hebel mit der Länge  $z$  wirkt, an diesem ein Drehmoment  $M$  erzeugt, das sich als Produkt  $M = F \cdot z$  berechnen läßt (Abb.2). Da der An-

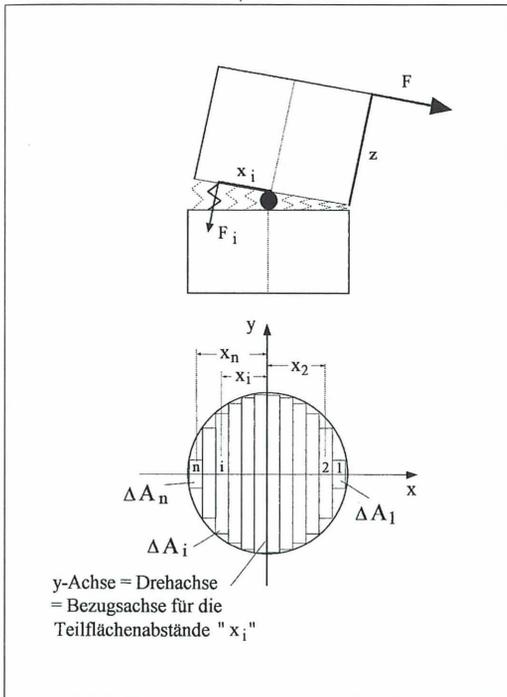
griff der Kraft  $F$  von außen erfolgt, bezeichnet man das auftretende Drehmoment als äußeres Moment  $M_A$ . Es verursacht ein Kippen der oberen Querschnittsfläche um die neutrale Faserzone, die im Modell die Funktion einer Drehachse besitzt. Im selben Augenblick wie  $M_A$  eine Biegung um das neutrale Fasergelenk bewirkt, baut sich ein inneres Gegenmoment  $M_i$  auf. Ursache dafür sind die elastischen Fasern des Baustoffes, die im Modell durch parallel geschaltete elastische Stahlfedern symbolisiert werden (Abb. 3).

Da jedes einzelne elastische Flächenelement ( $\triangle$  Feder)  $\Delta A_i$  eine Zug- bzw. Druckkraft  $F_i$  entwickelt, je nachdem ob es bei der Querschnittsdrehung gezogen oder gepreßt wird, läßt sich für jedes dieser Flächenelemente ( $\triangle$  Federn) ein inneres Teildrehmoment  $M_i$  berechnen, wenn man als Hebelarmlänge  $x_i$  den Abstand des betreffenden Flächenelements  $\Delta A_i$  von der neutralen Faserzone zugrunde legt (Abb. 3).

In allen folgenden Zeichnungen wird die neutrale Biegeachse als  $y$ -Achse bezeichnet. Die Größe dieses inneren Teildrehmoments  $M_i$  errechnet sich aus

$$M_i = F_i \cdot x_i \quad (1)$$

Aus der Addition aller inneren Teildrehmomente  $M_i$  ergibt sich schließlich das gesamte innere Moment  $M_i$ , das dem äußeren Moment  $M_A$  entgegenwirkt.



**Abb. 3:**  $F_i$  = Kraft, die das  $i$ -te elastische Flächenelement  $\Delta A_i$  (= Feder) bei Verformung durch Biegung erzeugt.  $x_i$  Abstand des  $i$ -ten elastischen Flächenelements (= Feder) von der neutralen Faser = Drehachse = Bezugsachse.  $F$  Außenkraft (z. B. Windkraft), die im Abstand  $z$  auf die gerade betrachtete Querschnittsfläche wirkt.  $n$  Anzahl der elastischen Flächenelemente  $\Delta A_i$

$$M_I \approx \sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i \quad (2)$$

Das Kippen der betreffenden Querschnittsfläche bzw. das Durchbiegen des Trägers an der Stelle  $z$  erfolgt nun so lange, bis das innere Moment auf die Größe des dort vorhandenen Außenmoments angewachsen ist. Bei Erreichen dieses Zustandes befindet sich das Bauteil im statischen Gleichgewicht (dann gilt:  $M_I = M_A$ ). Es ergibt sich von selbst, daß dieser Gleichgewichtszustand um so früher, also bei einer geringeren Durchbiegung erreicht wird, je größer das innere Gegenmoment ist. Je größer das innere Moment  $M_I$  eines Trägerquerschnitts, desto stärker ist das Bauteil gegen eine irreversible Verbiegung und Knickung abgesichert.

## Biegesteifigkeit von Bauteilen

Durch welche Faktoren wird das innere Moment bzw. die Biegesteifigkeit eines mechanisch beanspruchten Trägers in seiner Größe bestimmt?

Das innere Moment  $M_I$  ist immer dann groß, wenn die lastaufnehmenden Fasern des Trägerquerschnitts bei Verformung eine große Gegenkraft erzeugen können. Diese Art, das innere Moment in seiner Größe zu modulieren, hängt daher von der Materialeigenschaft der absichernden elastischen Fasern ab. In der Festigkeitslehre hat man zur Quantifizierung der Verformbarkeit eines Werkstoffes das Elastizitätsmodul  $E$  definiert. Ein großes  $E$  bedeutet, daß ein Werkstoff bei Belastung durch eine bestimmte Kraft nur wenig verformt (verlängert oder gestaucht) wird, ein kleines  $E$  bedeutet, daß ein Werkstoff bei gleicher Belastung dagegen stark verformt wird.

Pflanzen haben mit der Erfindung des Lignins in Kombination mit Cellulose einen optimalen Verbundwerkstoff entwickelt, der den Vorzug besitzt, daß er sowohl die hohe Zugfestigkeit der Cellulosefasern als auch die große Druckfestigkeit des Lignins in sich vereinigt, wodurch druck- und zugbelastete Querschnittszonen gleichermaßen gegen irreversible Quetschungen und Reißbildungen geschützt sind. Es ist sehr bemerkenswert, daß der Festigkeitswert dieses natürlichen Verbundmaterials (Holz) größenordnungsmäßig dem von Stahl durchaus gleichkommt. Zudem besitzt dieser Werkstoff ein verhältnismäßig großes  $E$ -Modul, weshalb sich große Werte für das innere Gegenmoment  $M_I$  ergeben, so daß ein Träger bei Belastung durch eine Außenkraft nur geringfügig verbogen oder gar abgeknickt wird.

Es gibt aber noch eine zweite Möglichkeit, auf die Größe des inneren Moments Einfluß zu nehmen. Diese besteht darin, daß man das elastische Festigungsmaterial so weit wie möglich in die Peripherie einer zur Verfügung stehenden Querschnittsfläche verlagert. Auf diese Weise werden die inneren Hebelarmlängen  $x_i$  der festigenden Flächenelemente im Mittel groß gehalten. Wegen der Beziehung  $M_i = F_i x_i$  erhöht sich damit jedes innere Teilmoment  $M_i$  und infolgedessen auch das innere Gesamtmoment  $M_I$ .

Allein über eine geschickte Anordnung einer gegebenen Menge Festigungsmaterials läßt sich also die statische Effizienz zur Absicherung ge-

gen Verbiegung enorm erhöhen. Oder anders ausgedrückt: Ein Träger mit einer vorgeschriebenen Biegefestigkeit läßt sich auf der Grundlage dieses Anordnungsprinzips mit weit weniger Material herstellen, als es sonst der Fall wäre. Bauträger, die über dieses intelligente, baustatische Prinzip entworfen wurden, zeichnen sich durch eine große Leichtigkeit bei gleichzeitig hoher Biegefestigkeit aus, weshalb man sie als optimierte Leichtbaukonstruktionen bezeichnen kann.

Zur quantitativen Angabe der biegestatisch relevanten Anordnung des Festigungsmaterials in einer Querschnittsfläche, wurde in der Festigkeitslehre das sogenannte Flächenträgheitsmoment  $I$  definiert. Es lautet:

$$I \approx \sum_{i=1}^n \Delta A_i \cdot x_i^2 \quad (3)$$

$\Delta A_i$  =  $i$ -te festigende Teilfläche  $\Delta A$  mit dem Abstand  $x_i$  von der neutralen Faser (vgl. Abb. 3). Die Genauigkeit für  $I$  steigt wenn die Querschnittsfläche in möglichst kleine Teilflächen  $\Delta A_i$  zerlegt wird. Dies ist der Fall wenn die Zahl  $n$  groß gewählt wird. Eine genaue Bestimmung von  $I$  ist nur über Integralrechnung möglich.

Je weiter entfernt das Festigungsmaterial von der neutralen Faser angeordnet wird, desto größere Werte ergeben sich für das Flächenträgheitsmoment  $I$ . Je größer wiederum das Flächenträgheitsmoment, desto größer ist das Innenmoment  $M_i$  und damit einhergehend die Biege- und Knickfestigkeit eines Trägers. Bemerkenswert ist zudem, daß schon eine geringe Außenverlagerung des festigenden Baumaterials eine starke Erhöhung des Flächenträgheitsmoments bewirkt, da  $I$  quadratisch mit der Zunahme des Teilflächenabstandes  $x_i$  wächst.

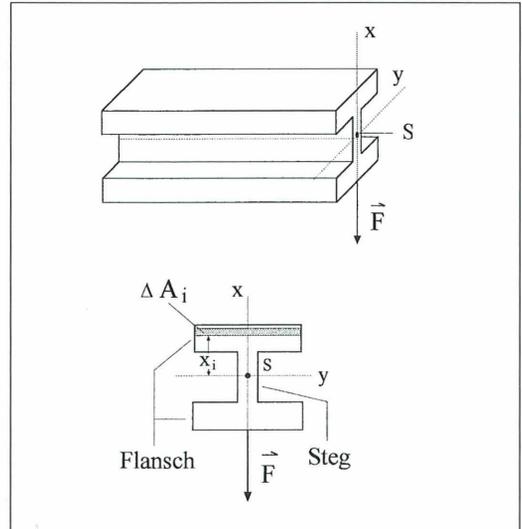
Für eine Pflanze, deren Konstruktion auf diesem Prinzip basiert, ergeben sich daraus, außer der Erhöhung der Biegesteifigkeit, zwei weitere Vorteile: Erstens wird wegen der Reduktion des benötigten Festigungsmaterials der damit einhergehende Aufwand an Syntheseenergie minimiert – sicherlich kein unbedeutender Faktor für das wirtschaftliche Haushalten lebender Systeme, deren Energiebudget begrenzt ist. Zweitens reduziert der geringere Materialeinsatz das Eigengewicht der Gesamtkonstruktion, so daß die lichthungrige Pflanze höher hinaus wachsen kann, ohne unter sich selbst zusammenzubrechen. Alle Faktoren zusammen maximieren die

Überlebenschancen einer Pflanze, die in dauerndem Wettbewerb mit Konkurrenzarten steht.

### Biegesteife Leichtbautechnik

An dieser Stelle sollen einige Leichtbauelemente mit großem Flächenträgheitsmoment und hoher Biegefestigkeit vorgestellt werden, die häufig in der Technik Verwendung finden, die aber auch bei biologischen Leichtbaukonstruktionen zu beobachten sind. Bei der Diskussion der biostatischen Verhältnisse des Strandhaferblattes wird auf diese hier vorgestellten Bauelemente zurückgegriffen.

Ein typisches Beispiel für eine biegeefeste Leichtbaukonstruktion ist der sogenannte Doppel-T-Träger (Abb. 4). Bei Doppel-T-Trägern ist die Biegefestigkeit allerdings nur für eine einzige Außenkrafttrichtung maximal. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Verbiegung um die  $y$ -Achse erfolgt, das heißt, wenn die Außenkraft  $F$  einseitig und orthogonal zur  $y$ -Achse an-

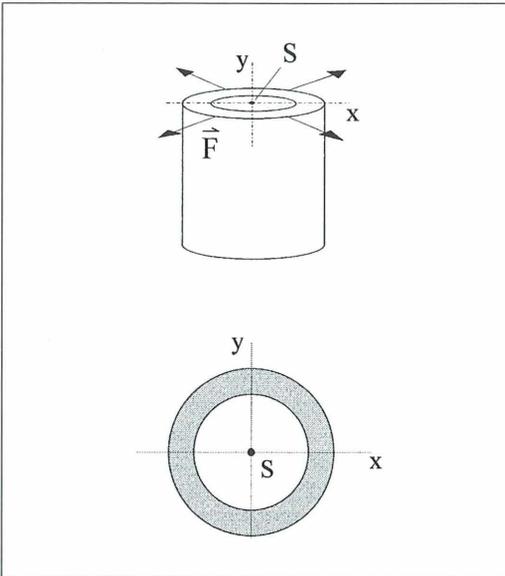


**Abb. 4:** Beim Doppel-T-Träger als Leichtbaukonstruktion hat man das Prinzip ausgenutzt, das Festigungsmaterial möglichst weit von der Bezugsachse zu entfernen, um auf diese Weise große Flächenträgheitsmomente zu erhalten. Biegestatisch uneffizient wäre es, das Festigungsmaterial in der Nähe der Bezugsachse zu belassen. Der Steg dient nur dazu, die festigenden Flansche auseinanderzuhalten.

greift. Der Steg hat bei T-Trägern die Aufgabe, die Flansche auseinanderzuhalten. Je weiter die Flansche von der neutralen Biegeachse entfernt sind, desto größer ist aufgrund der mathematischen Beziehung (siehe Formel 2) das Flächenträgheitsmoment bzw. die Biege- und Knickfestigkeit des Trägers. Die Biegesteifigkeit wird also weitgehend durch die Lage der festigenden Flansche bestimmt.

Blattstiele, welche die einseitig wirkende Gewichtskraft der Blattspreiten aufzufangen haben, besitzen daher oft T-, U-, V- oder ovalförmige Profile.

Auch bei Hohlzylindern handelt es sich um Leichtbauformen mit großen Flächenträgheitsmomenten. Der Vorteil dieses Profils gegenüber dem Doppel-T-Träger besteht darin, daß die Biegefestigkeit allseitig gleich groß ist (Abb. 5). Bei Pflanzen findet man diesen Konstruktions-typ deshalb auch bei den Vertikalkonstruktionen der Sproßachsen, die potentiell von allen Seiten mit Windbelastungen zu rechnen haben. Das biologische Paradebeispiel für extreme Leichtbauweise sind die Halme der Gräser, aber auch die Stengel vieler Doldenblütengewächse und Korbblütengewächse weisen diese Konstruktionsidee auf.

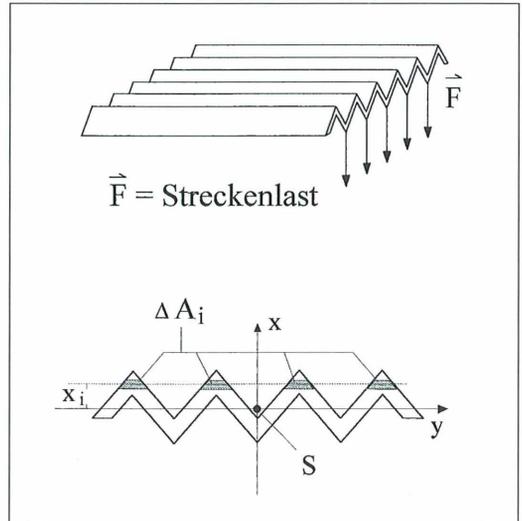


**Abb. 5:** Röhrenförmige Strukturen besitzen für jede Krafrichtung das gleiche Flächenträgheitsmoment. Ursache: Es existieren unendlich viele Symmetrieachsen, die gleichzeitig neutrale Bezugsachsen darstellen.

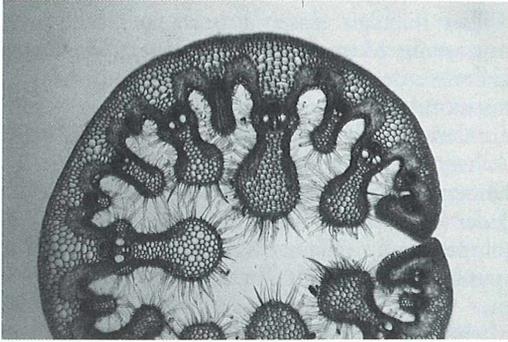
Sollen flächige einseitig belastete Strukturen mit wenig Material gegen Verbiegung abgesichert werden, so empfiehlt es sich, diese ziehharmonikaartig anzuformen. Auf diese Weise erhalten Flächenstrukturen bezüglich der y-Achse als Biegeachse ein großes Flächenträgheitsmoment (Abb. 6).

Jeder kennt die enorme Tragfähigkeit von Wellpappe, die ihre Eigenschaft durch dieses Anformungsprinzip erhält, so daß aus dünnem Papier Obstkisten mit einer beachtlichen Stabilität hergestellt werden können. Genauso erhält dünnes Blech – zu Wellblech angeformt – eine außergewöhnlich hohe Flächentragfähigkeit. In der Natur versteifen sich beispielsweise die Riesenblätter der Fächerpalmen nach diesem Prinzip. Manche Blätter von Gräsern sind ebenfalls zickzackartig angeformt. Da diese Blätter zur statischen Absicherung keine besondere Halterung – wie zum Beispiel Blattstiele – benötigen, bezeichnet man solche Strukturen als selbsttragende Konstruktionen.

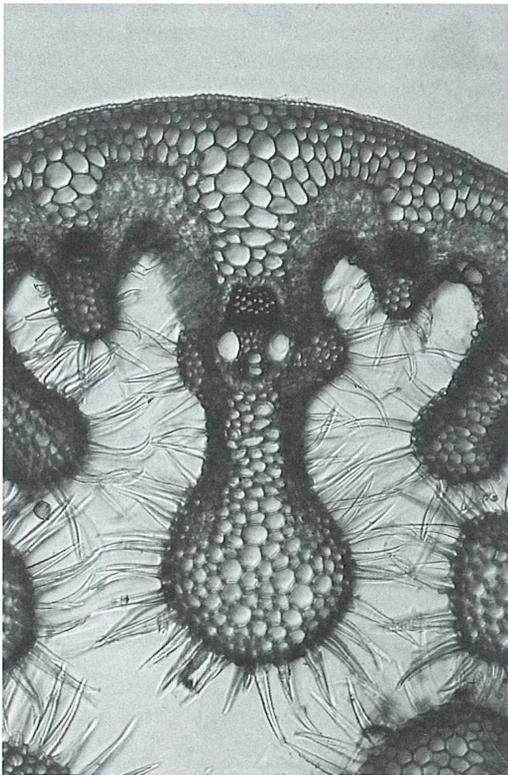
Betrachten wir jetzt die Konstruktionsverhältnisse des Strandhaferblattes.



**Abb. 6:** Leichte aber biegefesten Flächenformen erhält man, indem man das Material zickzackartig oder wellig konstruiert. Durch diese Anformung wird ein großer Teil des Baumaterials von der Biegeachse entfernt, wodurch das Flächenträgheitsmoment vergrößert wird.



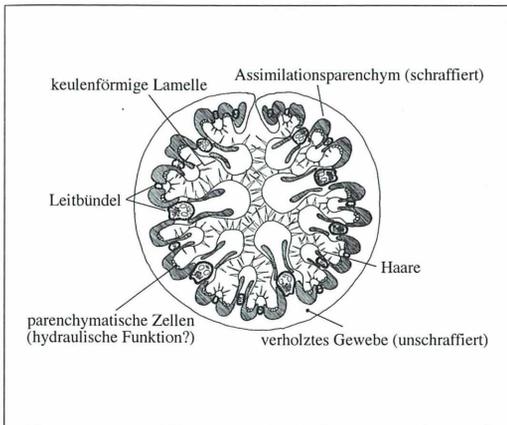
**Abb. 7: Eine mikroskopische Betrachtung des Strandhaferblattes offenbart eine erstaunliche Strukturiertheit und Symmetrie im Blattprofil.**



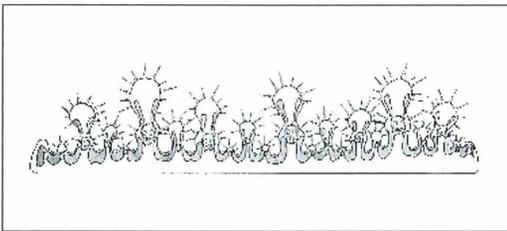
**Abb. 8: Das Blatt ist röhrenförmig eingerollt. Keulenförmige Auswüchse zeigen ins Röhreninnere. Die Auswüchse sind mit borstenartig verdickten Haaren besetzt. Im basalen Teil dieser keulenförmigen Lamellen befinden sich die mit einem Sklerenchymring umfaßten Leitbündel.**

### **Strandhafer – ein starkes Stück**

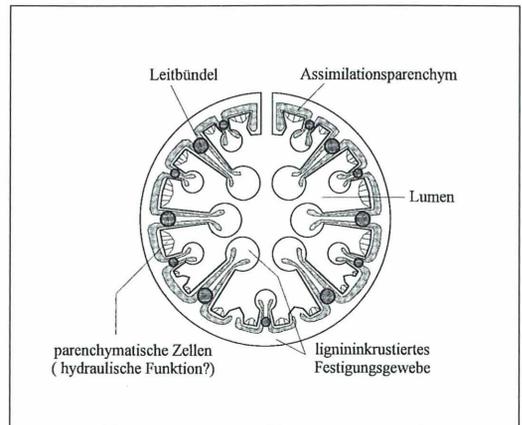
Betrachtet man das makroskopisch eher unscheinbar aussehende Strandhaferblatt unter dem Mikroskop, ist man zunächst über die hohe Strukturiertheit und Symmetrie des Blattprofils verwundert (Abb. 7 und 9). Man erkennt an dem röhrenförmig eingerollten Blatt keulenförmige Auswüchse, die in das Röhreninnere zeigen. Auf diesen Auswüchsen befinden sich borstenartig verdickte Haare. Im basalen Teil dieser keulenförmigen Lamellen sind die mit einem Sklerenchymring umfaßten Leitbündel lokalisiert (Abb. 7–9). Die Stomata, die den Gas- und Wasserhaushalt der Pflanze regulieren, sind lumenseitig angeordnet. Das chlorophyllhaltige Assimilationsparenchym ist nicht wie üblich in der lichtzugewandten Blattperipherie zu finden, sondern in das Blatinnere verlagert, um lignininkrustiertem Festigungsgewebe Platz zu machen (Abb. 8). Das lebende Blatt kommt sowohl mit geschlossener, abgerollter als auch mit geöffneter, abgeflachter Blattspreite vor (Abb. 9 und 10). Eigene Beobachtungen an den an ihrem natürlichen Standort lebenden Pflanzen, legen die Vermutung nahe, daß der Öffnungszustand der Blattspreite wetterabhängig ist. Hierbei scheinen sowohl der Lichtfluß als auch der Wassergehalt der Luft oder des Dünnensandes potentielle Regelgrößen für den Öffnungszustand der Blattspreite zu sein. Die Rollblattstruktur konnte ich zu meist an heißen Schönwettertagen oder an dunklen Regentagen vorfinden – entrollte flächige Blattspreiten dagegen meist immer nur an diesen, leicht verhangenen Tagen. Wenn diese Hypothese stimmen sollte, würden die vermuteten Regelfaktoren Licht und Wasser, jeweils für sich alleine betrachtet, noch keine ausreichenden Stimuli für das Öffnen der Blattspreite ergeben. Treffen aber beide wirkenden Faktoren synergistisch zusammen, so werden die inneren Turgorverhältnisse des Blattes so verändert, daß sich die Blattspreite entrollt und abflacht. Betrachtet man das Schnittpräparat, dann fallen parenchymatische Zellen auf, die in den Lamellenbuchten lokalisiert sind (Abb. 8 und 9). Mit großer Wahrscheinlichkeit stehen diese Zellen im Dienst der Regulation der Blattspreitenöffnung. Unterstützt wird diese Annahme durch folgende Tatsachen: Die betreffenden Zellen sind sehr dünnwandig, unverholzt und folglich leicht verformbar – sie sind groß und wären als hydraulische Schließ- bzw.



**Abb. 9:** Das Strandhaferblatt im abgerollten Zustand. Dies ist die wassersparende und biegestabile Überdauerungsform.



**Abb. 10:** Strandhaferblatt im abgeflachten Zustand in der photosynthetisch aktiven Arbeitsform.



**Abb. 11:** Idealisierter Blattprofil des Strandhaferblattes im eingerollten Zustand. Das Assimilationsparenchym ist lumenwärts angeordnet. Das lignifizierte Festigungsgewebe ist aus biegestatischen Gründen peripher angeordnet. Die Hohlzylinderstruktur stellt eine biegegesteigte Leichtbaukonstruktion dar. Sie besitzt für alle Belastungsrichtungen die gleiche Biegefestigkeit.

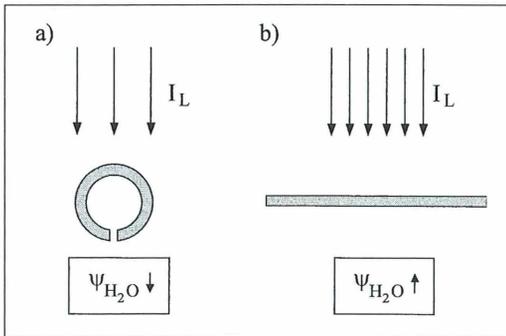
angesprochen, in der Peripherie des zylinderförmigen Rollblattes auf (Abb. 8 und 9). Abbildung 11 faßt die wesentlichen Strukturen graphisch idealisiert zusammen.

Biologische Strukturen können beobachtet und objektiv beschrieben werden. Anders jedoch als in der Physik, die es nicht mit selbsterhaltenden, homöostatischen Systemen zu tun hat, existiert in der Biologie zusätzlich die Frage nach dem Zweck, den eine Struktur für den Gesamtorganismus erfüllt. Wozu ist das Strandhaferblatt so strukturiert, weshalb besitzt die Pflanze die Möglichkeit, das Profil ihrer Blattspreite von der Rollblattstruktur bis hin zur Flächenstruktur zu ändern?

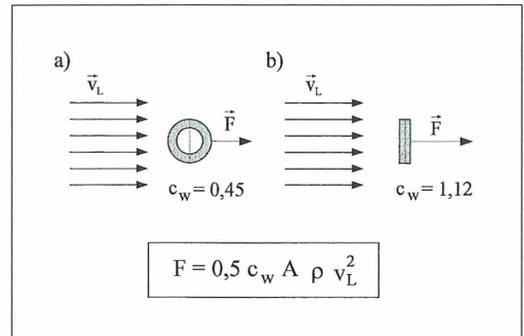
Die Rollblattstruktur tritt immer dann auf, wenn die Bedingungen für die Assimilation ungünstig sind. Dauernde auflandige Winde und Sonneneinstrahlung führen schnell zu einer Austrocknung des ungeschützten Sandbodens und zu einem erhöhten Transpirationsfluß über die Stomata, so daß der Organismus einem latenten Wasserstreß unterworfen ist. Die Wasserhomöostase stellt deshalb eine der vordringlichsten Aufgaben für eine Dünenpflanze dar. Das Zusammenrollen des Blattes erfüllt gleichzeitig zwei Aufgaben: Zunächst wird dadurch

Öffnungsapparate gut geeignet. Sie besitzen kein Chlorophyll, sind dort angeordnet, wo die vom mechanischen Aspekt her günstigste Stelle für eine Scharnierwirkung läge, und grenzen an diejenigen Orte (Zylinderlumen → Feuchtigkeit; Assimilationsparenchym → Licht), aus denen sie Licht- und Feuchtigkeitsdaten über einen kurzen Signalweg direkt beziehen könnten. Diese Hypothese müßte allerdings noch durch eingehendere Untersuchungen verifiziert werden.

Zur Differenzierung des Festigungs- vom parenchymatischen Restgewebe wurden neben Astrablau/Safranin-Färbungen, ligninspezifische Phloroglucin-Färbungen hergestellt. Ligninhaltiges Festigungsgewebe tritt hiernach in erhöhter Konzentration in den lumenwärts gerichteten Keulenköpfen und, wie zuvor schon



**Abb. 12:** a) Bei geringer Lichtintensität  $I_L$  und einem geringen Wasserpotential  $-\Psi_{H_2O}$  in Luft oder Boden begibt sich das Strandhaferblatt in die biegestabile und wassersparende hohlzylindrische Überdauerungsform. b) Bei hoher Lichtintensität und erhöhtem Wasserpotential in Luft oder Boden flacht das Blatt ab und begibt sich in die photosynthetische Arbeitsform, die allerdings mit einer geringeren Biegestabilität bezahlt werden muß.



**Abb. 13:**  $c_w$  Widerstandsbeiwert,  $A$  Querschnittsfläche des umströmten Körpers senkrecht zur Strömung,  $\rho$  Dichte der Luft,  $v_L$  Windgeschwindigkeit.

a) Zylinderförmiger Körper der von Luft mit der Geschwindigkeit  $v_L$  angeströmt wird erfährt die Kraft  $F$ .

b) Ebener Körper, der von Luft mit der Geschw.  $v_L$  angeströmt wird, erfährt eine doppelt so große Kraft wie im Fall a), da dessen Widerstandsbeiwert ungefähr doppelt so groß ist

$$F = 0,5 c_w A \rho v_L^2$$

ein Diffusionswiderstand geschaffen, der die Regulation des Wasserpotentialgradienten zwischen Interzellularraum und Luminarraum gestattet. Über den Öffnungsgrad der Blattspreite erhält die Pflanze die Möglichkeit, den mikroklimatischen Raum der Stomata zu kontrollieren. Hiermit existieren nun zwei für den Wasserhaushalt zuständige Kontrollsysteme. Einmal geschieht die Wasserregulation wie üblich über die Stomata, und zum anderen erfolgt sie über den Öffnungsgrad des eingerollten Blattes. Dieser zweite Mechanismus ist deshalb notwendig, weil sonst die starken Winde eine Feinregulation des stomatären Apparates unmöglich machen würden und vielleicht sogar zu einer Überlastung des Arbeitsbereichs dieses Steuersystems führen könnten.

Zum zweiten ist die Pflanze durch das Abrollen der Blattspreite gut gegen ein Abknicken durch Windbelastungen geschützt. Indem sich das Blatt einrollt, erhält die Blattspreite ein Hohlzylinderprofil (Abb. 5), das sich durch ein großes Flächenträgheitsmoment auszeichnet. Sind also die Assimilationsbedingungen ungünstig (starke Winde  $\rightarrow$  Gefahr des Austrocknens), so begibt sich das Blatt in eine biomechanische, von allen Seiten gleich gut belastbare Überdauerungsform, mit hohlzylindrischem Querschnitt (Abb. 12). Jetzt ist auch zu verstehen, weshalb

ein großer Teil des Festigungsgewebes im Zylinderdarm, also in der Peripherie des Rollblattquerschnittes, lokalisiert ist. Wie wir nun wissen, entfaltet es nur in der Peripherie ein maximales Flächenträgheitsmoment und sichert optimal gegen Verbiegung und Knickung.

Die innere Behaarung besitzt sowohl physiologische als auch biomechanisch unterstützende Funktionen. Sie schafft an der Blattoberfläche windstille Zonen, erhöht den Diffusionswiderstand und setzt dadurch den stomatären Diffusionsfluß herunter. Von biomechanischer Seite betrachtet, wirkt die in sich verhakte Behaarung wie ein Klettverschluss und unterstützt die Widerstandsfähigkeit gegen Verbiegung. Und drittens macht sie das Rollblatt unempfindlicher gegen Beulung und Knickung, indem sie das Lumen von innen her aussteift.

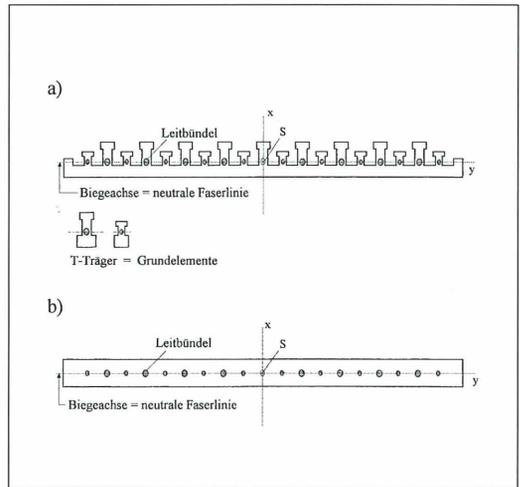
Damit sind die Vorzüge der Rollblattstruktur als Überdauerungsform aber noch nicht vollständig aufgezeigt. Bei starken Winden erzeugt nämlich ein zylinderförmiger Körper einen geringeren Reibungswiderstand als eine geöffnete abgeflachte Blattspreite, da der Widerstandsbeiwert ( $c_w$ -Wert) kleiner ist als beim abgeflachten Körper. Auf diese Weise wird die belastende Windkraft bzw. das Außenmoment  $M_A$  zusätzlich bis zu 80 % reduziert (Abb. 13).

Bei günstigen Licht- und Wasserverhältnissen (d.h. bei geringen Windstärken), also bei optimalen Assimilationsbedingungen, gibt das Blatt seine wassersparende und allseitig belastbare Hohlzylinderstruktur auf. Das Blatt entfaltet die Spreite, wodurch eine Vergrößerung der beleuchteten Blattfläche und damit einhergehend eine Maximierung der photosynthetischen Aktivität erzielt wird. In gewissem Sinne könnte man deshalb die entfaltete Blattstruktur als photosynthetische Arbeitsform bezeichnen (Abb. 12). Dies trifft natürlich nur bedingt zu, da die Pflanze auch in eingerolltem Zustand Photosynthese betreibt, wenn auch nicht mit gleicher Rate wie im abgeflachten Zustand.

Vom biostatistischen Gesichtspunkt betrachtet, stellt die entrollte Blattstruktur im Vergleich zur hohlzylindrischen Form eine weniger stabile Konstruktion dar. Jedoch hat der evolutive Erfindergeist auch für diesen Fall Vorkehrungen zur baustatischen Absicherung getroffen. Die keulenförmigen Lamellen, deren Köpfe aus lignifiziertem Festigungsgewebe bestehen, führen beim entfalten des Blatts zu einer enormen Vergrößerung des Flächenträgheitsmoments. Das entfaltete Blattprofil ähnelt der zuvor schon beschriebenen Wellblechkonstruktion. Dabei kann man sich das Profil als aus vielen T-Träger-Grundelementen zusammengesetzte Flächenkonstruktion vorstellen (Abb. 14a). Wir haben es also auch im entfaltenen Zustand mit einer baustatisch abgesicherten, biegesteifen und selbsttragenden Leichtbaukonstruktion zu tun.

Wie oben erläutert wurde, treten im Bereich der neutralen Faserzone keine Zug- oder Druckspannungen auf. Bestimmt man für das entfaltete Blatt die Lage der neutralen Biegeachse, so fällt auf, daß alle Leitbündel im Nahbereich der neutralen Faserzone lokalisiert sind. Welchen Grund hat diese Art der Anordnung? Wenn man bedenkt, daß die Siebröhren des Phloems, die für den lebenswichtigen Assimilattransport in der Pflanze zuständig sind, stark zug- und druckempfindlich sind und bei geringen Belastungen reißen, läßt sich das Anordnungsprinzip sofort verstehen: Leitbündel werden zum Schutz des Phloems im Gewebequerschnitt dort angeordnet, wo bei Biegung die geringsten schädigenden Zug- bzw. Druckspannungen zu befürchten sind – also im Bereich der neutralen Faserzone.

Vergleicht man eine nicht angeformte Blattspreite mit der vorliegenden Blattspreite von



**Abb. 14:** a) Idealisiertes Blattprofil des Strandhaferblattes im abgeflachten Zustand. Man kann sich das Blattprofil als eine aus Doppel-T-Trägern zusammengesetzte Flächenkonstruktion vorstellen, die prinzipiell der Leichtbauweise einer Wellblechkonstruktion ähnlich ist. Die zugempfindlichen Leitbündel liegen im Bereich der neutralen Faser. b) Unangeformtes Blattprofil. Eine Vergleichsrechnung ergibt, daß ein unprofilirtes Blatt mit den gleichen biegestatischen Eigenschaften wie ein Strandhaferblatt bis zu 40 % mehr Festigungsmaterial benötigt

*Ammophila arenaria* unter der Voraussetzung, daß beide Profile gleiche Biegesteifigkeit besitzen, ergibt die Berechnung, daß zur Herstellung einer solchen Blattkonstruktion bis zu 40 % weniger Festigungsmaterial eingesetzt werden muß, als es für eine unprofilirte Trägerkonstruktion gleicher Belastbarkeit nötig wäre (Abb. 14). Dieses Ergebnis unterstreicht nochmals die in vieler Hinsicht raffinierte und optimierte Konstruktionsform dieser Dünenpflanze.

Welche Schönheit und welche Wunder in einem auf den ersten Blick völlig unscheinbar aussehenden Geschöpf verborgen liegen, verrät sich meist erst durch ein tieferes Hinschauen und Hineindenken. Dann aber ist man sprachlos über die Fülle an sinnvollen, sich wechselseitig ergänzenden Strukturen und Funktionen. Die Mikroskopie – das Sehen auch der kleinen Dinge – ist nicht zuletzt ein Weg, das Staunen zu lernen.

**Literaturhinweise**

- Böge, A.: Mechanik und Festigkeitslehre. Vieweg-Verlag, Braunschweig 1984.
- Braune, W., Leman, A., Taubert, A.: Pflanzenanatomisches Praktikum I. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1983.
- Glaser, R.: Biophysik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1986.
- Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach-Verlag, Freiburg 1993.
- Meyer, A.: Erstes mikroskopisches Praktikum, eine Einführung in den Gebrauch des Mikroskopes und in die Anatomie der höheren Pflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena 1915.
- Mohr, H., Schöpfer, P.: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1978.

- Nachtigall, W.: Biostrategie. Hoffmann und Campe, Hamburg 1983.
- Roeser, K.-R.: Pflanzenstatik. Mikrokosmos 64, 238, 1975.
- Strasburger, E., et. al.: Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991.
- Vogellehner, D.: Baupläne der Pflanzen. Herder-Verlag, Freiburg 1981.
- Wunderlich, K.: Natur als Konstrukteur. Edition Leipzig, Leipzig 1977.

Verfasser: Dipl.-Biol. Uwe Markstahler,  
Weiherstr. 24, D-78050 Villingen

**Aus der Industrie****Micro Life Objektträger**

Von der Firma Hecht, Sondhofen, wurde ein neuartiger Objektträger entwickelt, der speziell für die Untersuchung von Planktonorganismen geeignet ist.

**Funktion und Handhabung**

Micro Life-Objektträger funktionieren nach dem physikalischen Prinzip kommunizierender Röhren – hierbei sind zwei Gefäße mit einer Flachkapillare, die als Beobachtungsfeld für mikroskopische Untersuchungen dient, verbunden. Flüssigkeit mit den zu untersuchenden Partikeln wird in ein Gefäß gefüllt. Durch Aufdrehen des zweiten Verschlusses erfolgt ein Druckausgleich, der den Einfluß in das Beobachtungsfeld bewirkt. Hier befinden sich die Partikel in geeigneter Tiefenschärfe für mikroskopische Beobachtungen. Zudrehen des Verschlusses verlangsamt und stoppt den Vorgang des Durchflusses. Dies kann während des Mikroskopierens erfolgen, bis der Flüssigkeitsgrad ausgeglichen ist. Partikel, die sich als Bodensatz in den Gefäßen befinden, können durch Schräghalten in das Beobachtungsfeld geschwemmt werden. Eintrieb zäher Flüssigkeiten oder Durchmischung eingebrachter Substanzen kann durch Pumpbewegungen der dichtend in die Gefäße gesteckten Spezialpipette erfolgen. Weiterhin können mit dieser Funktion Partikel wieder ausgetrieben und Micro Life nach Gebrauch, einfach unter Wasser gehalten, vor Wiederverwendung gereinigt werden. Ausschütteln entfernt Flüssigkeitsreste nach der Reinigung aus den Gefäßen.

**Technische Daten**

Objektträger: 76 mm × 26 mm × 1 mm

Volumen der Gefäße: je 1 ml

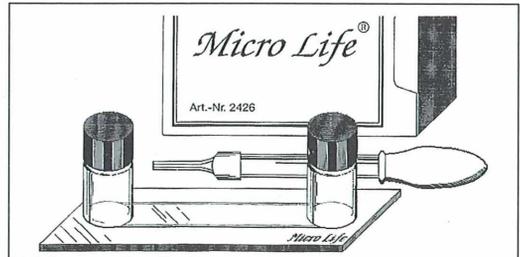
Gefäßverschlüsse: Schraubkappen mit Teflondichtungen

Beobachtungsfeldgröße: 40 mm × 8 mm × 0,25 mm

Obere Deckscheibe: Deckglas 0,17 mm

Sterilisierfähigkeit: Dampf 134 °C

Dieser empfehlenswerte Objektträger ist zu einem Preis von knapp 50,- DM über den einschlägigen Fachhandel zu beziehen.



Der Micro Life Objektträger. ►

# Astrablau-Fuchsin-Färbung nach Roeser

## Eine Modifikation für Pflanzengewebe nach Einbettung in GMA-Kunststoff

Michael Breithaupt

**Die Kunststoffeinkbettung von Pflanzengewebe (beispielsweise in Methacrylat) bietet vielerlei technische Vorteile. Allerdings können bewährte Färbeverfahren nicht immer ohne Abwandlungen übernommen werden. Der Autor hat eine Abwandlung der Astrablau-Fuchsin-Färbung entwickelt und stellt hier sein neues Verfahren vor.**

**M**ikrotomschnitte von botanischen Objekten, die in Paraffin eingebettet wurden, sind mitunter problematisch, wenn das Gewebe der Objekte sehr inhomogen ist. Beispielsweise läßt sich der kambiale Bereich eines Pflanzensprosses oft schlecht darstellen, weil dem zarten meristematischen Gewebe des Kambiums unmittelbar die mechanisch anders reagierenden Festigungselemente der Rinde sowie Tracheiden oder Tracheen im Holz benachbart sind.

Es ist daher naheliegend, derartige Objekte in ein Kunststoffmaterial einzubetten, das beim Schneiden andere Eigenschaften aufweist als Paraffin. Die Firma Kulzer bietet dafür ein Polymerisationssystem an, das auf der Grundlage von 2-Hydroxyethyl-Methacrylat (GMA) beruht. Vermathen berichtete über die Eigenschaften dieses Kunststoffes (Vermathen, 1993).

In der Produktbroschüre für den GMA-Kunststoff „Technovit 7100“ stellt Kulzer fest, daß in der Paraffintechnik bewährte Verfahren für die Färbung von GMA-Schnitten übernommen werden können, wenn die Färbezeiten angepaßt werden. Darüberhinaus werden in einem Sonderdruck Färbungen aufgeführt, die sich im Firmen-Labor bewährt haben. Diese Färbungen beziehen sich jedoch zumeist auf die Färbung von Schnitten von tierischem oder menschlichem Gewebe. Histochemischen Färbungen und dem Nachweis von Enzymaktivitäten wird der Vorrang gegeben.

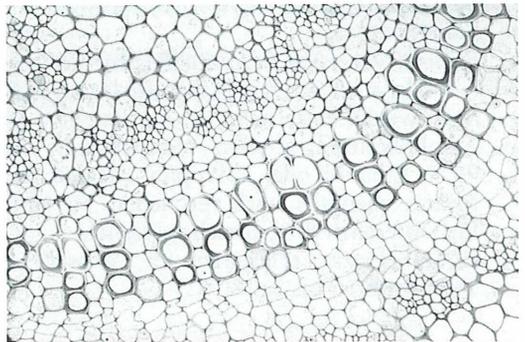
Um die Färbetechnik für GMA-Schnitte kennenzulernen, wurden von den Kulzer-Vorschriften zwei Färbungen ausgewählt, die für die botanische Anatomie geeignet erschienen:

- Färbung nach Giemsa

Diese Färbung ist einfach und schnell durchzuführen. Im Ergebnis erhält man Farbkontraste zwischen Blaugrün und Blau bei verholztem und nicht verholztem Gewebe. Die Kunststoffmatrix wird etwas rötlich angefärbt.

- PAS-Hämatoxylin

Die Färbung ist zeitlich recht aufwendig. Hämatoxylin ergibt eine sehr gute Kontrastierung der Kerne und Chromosomen und ist daher gut geeignet für meristematische und reproduktive Gewebe. Die PAS-Reaktion färbt alle polysaccharidhaltigen Gewebe, Cellulose und Stärke, während verholzte Elemente weitgehend ungefärbt bleiben. Auch hierbei muß eine schwache Färbung der Matrix durch Hämatoxylin in Kauf genommen werden.



**Abb. 1: *Nerium oleander*. Ein Querschnitt durch die Blattrippe zeigt das Leitgewebe. Schnittdicke 3 µm.**

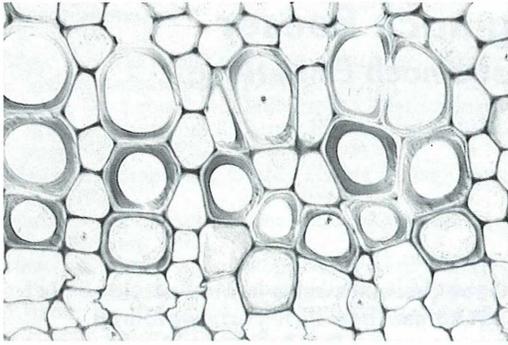


Abb. 2: *Nerium oleander*. Leitgewebe im Querschnitt durch eine Blattrippe. Schnittdicke 3  $\mu\text{m}$ .

### Astrablau-Fuchsin-Färbung

In der Paraffintechnik hat sich die Astrablau-Fuchsin-Färbung nach Roeser bewährt. Sie ist bekannt für ihre einfache und schnelle Durchführung sowie für den farbenprächtigen Rot-Blau-Kontrast bei verholztem und nicht verholztem Gewebe. Der Versuch war daher reizvoll, gerade diese Färbung für GMA-Schnitte zu modifizieren. Als Testobjekte dienten Sproßteile des Blütenstandes (Quer- und Längsschnitte) und Blätter (Querschnitte) vom Oleander (*Nerium oleander*). Das Material wurde in AFE fixiert, die Schnittdicke lag zwischen 3 und 5  $\mu\text{m}$ .

Wie zu erwarten, mißlang die Anwendung der ursprünglichen Vorschrift. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

1. Astrablau in weinsaurer Lösung ist nicht geeignet. Die Matrix des GMA-Schnittes quillt auf, der Schnitt verwirft und wird unbrauchbar.
2. Fuchsin wie auch Safranin färben die Matrix sehr stark an. Die Farbstoffe lassen sich nicht wieder entfernen.
3. Alkoholkonzentrationen mit weniger als 96 % Ethanol oder 2-Propanol lassen die Matrix ebenfalls stark verquellen. Sie sind für Differenzierungen nicht geeignet.
4. GMA-Schnitte tolerieren im Wasserbad Temperaturen bis ca. 80 °C.

### Variation der Astrablau-Fuchsin-Färbung

Auf der Grundlage dieser Beobachtungen gelang es schließlich, die Färbung nach Roeser so zu ändern, daß sie auch für GMA-Schnitte anwendbar wurde. Die Mitfärbung der Matrix ist nur noch schwach und kann vollständig beseitigt werden. Die Farbkontraste sind denen bei Paraffinschnitten durchaus ebenbürtig.

- Stammlösungen der Farbstoffe
 

Astrablau FM (Chroma)	1 g
demin. Wasser	100 ml
Fuchsin, bas. (Chroma)	0,2 g
demin. Wasser	1000 ml
- Gebrauchslösung
 

Astrablau 1:100	10 ml
Fuchsin, bas. 1:5000	20 ml
demin. Wasser	70 ml
- Methode
 

Färben	15 min bei 60 °C
Abspülen in Leitungswasser	
Spülen in demin. Wasser	3 × 15 min
Entwässern in Ethanol 96 %, 2 Portionen	je 2–3 sec
2-Propanol 100 %, 3 Portionen	je 2 min
Xylol, eindecken in Malinol	

Im Unterschied zur ursprünglichen Färbemethode von Roeser wurde die Konzentration des Fuchsin in der Farblösung erheblich herabgesetzt. Bei Raumtemperatur zieht der Farbstoff in dieser Konzentration allerdings wesentlich schlechter auf die Schnitte auf. Das kann aber durch die Färbung bei erhöhter Temperatur ausgeglichen werden.

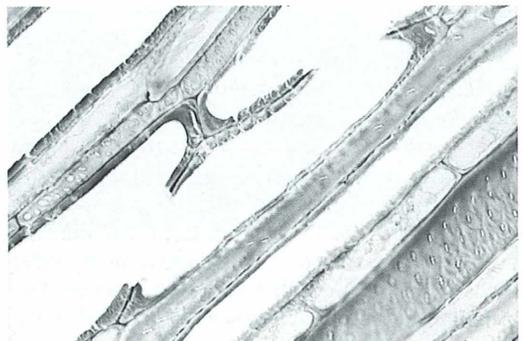
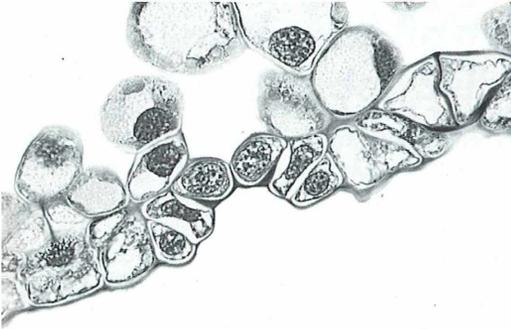


Abb. 3: *Nerium oleander*. Längsschnitt durch den Stengel mit Xylem und Gefäßzellen nach Auflösung der Querwände. Schnittdicke 3  $\mu\text{m}$ .



**Abb. 4: *Abies concolor*, Coloradotanne. Der Querschnitt durch das Nadelblatt zeigt den Spaltöffnungsapparat. Schnittdicke 4  $\mu$ m.**

Die Gewebestrukturen haben eine höhere Affinität zum Fuchsin als die Kunststoffmatrix, so daß diese nur geringfügig mitgefärbt wird. Beim Wässern des Schnittes wird der Farbstoff aus der Matrix wieder vollständig herausgelöst, während die Färbung des verholzten Gewebes erhalten bleibt. Allerdings muß das Wässern der Schnittdicke angepaßt werden. Insofern ist die diesbezügliche Zeitangabe nur ein Anhaltspunkt. Ebenfalls ist der Zeitaufwand für das Wässern vom Farbstoff abhängig. Für Safranin beispielsweise wurden nur 20 Minuten benötigt, während bei einem Versuch mit Gentianaviolett bzw. Viktoriablau etwa acht Stunden erforderlich waren. In jedem Fall konnte aber die Matrix vollständig entfärbt werden, ohne die Gewebefärbung zu beeinträchtigen.

Bei der Originalmethode nach Roeser wird die Färbung mit Pikrinsäure differenziert. Versuche ergaben, daß weder die Vor- noch die Nachbehandlung der Schnitte einen Einfluß auf das Färbeergebnis haben. Bei der beschriebenen Methode wurde daher auf Pikrinsäure verzichtet.

Die Reihenfolge Ethanol-Isopropanol beim Entwässern der gefärbten Schnitte muß unbedingt eingehalten werden. Der Versuch, auf eine Ethanolstufe zu verzichten, führt sofort zur Verquellung der Kunststoffmatrix.

Fuchsin gehört zur Gruppe der Triarylmethan-Farbstoffe, bei denen das Kation die färbende Komponente liefert. Andere vergleichbare Farbstoffe sind z. B. Gentianaviolett, Kristallviolett, Methylviolett, Malachitgrün oder Viktoriablau. Versuche mit diesen Farbstoffen verliefen auf Anhieb erfolgreich, wenn auch Astrablau als Gegenfarbe nicht immer geeignet ist. Es wäre insofern interessant, für Astrablau andere Farbstoffe zu finden.

Interessierten Mikroskopikern, die sich mit GMA-Schnitten beschäftigen oder beschäftigen wollen, stellt der Verfasser gern Präparate zur Verfügung und ist selbst auch für jede Anregung dankbar.

#### Literaturhinweise

- Etzold, H.: Eine kontrastreiche, simultane Mehrfachfärbung für pflanzenanatomische Präparate. *Mikrokosmos* 72, 213–219 (1983).
- Gerlach, D.: *Botanische Mikrotechnik*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1977
- Gerrits, P. O.: Verfahren zur Färbung von Gewebe, das in 2-Hydroxyethylmethacrylat eingebettet wird. 2. Auflage, Sonderdruck der Firma Kulzer & Co. GmbH 1985.
- Harms, H.: *Handbuch der Farbstoffe für die Mikroskopie*. Staufen-Verlag Paul Bercker, Kamp-Lintfort, Germany 1965.
- Krauter, D.: Roesers Astrablau-Fuchsin-Färbung. *Mikrokosmos* 65, 149 (1976).
- Roeser, K. R.: Die Nadel der Schwarzkiefer – Massenprodukt und Kunstwerk der Natur. *Mikrokosmos* 61, 33–36 (1972).
- Romeis, B.: *Mikroskopische Technik*. Urban und Schwarzenberg München, Wien, Baltimore 1989.
- Vermathen, H.: Einbettung von Pflanzengewebe in Kunststoffe. *Mikrokosmos* 82, 235–242 (1993).

Verfasser: Michael Breithaupt, Lange Str. 55, D-37127 Dransfeld

## Kurze Mitteilungen

### Eisaktiver Stoff aus Kieselalgen

An der Unterseite des Eises, das auf der Wasseroberfläche des Meeres schwimmt, kommt es zu einer Anhäufung von Algen, vor allem von Kieselalgen. Diese dichten Populationen tragen in hohem Maße zur Produktivität der polaren Ozeane bei. Es besteht offensichtlich eine gewisse Anziehung zwischen den Algenzellen und den wachsenden Eisplättchen. Man hat nun in der Kontaktzone zwischen Eis und Seewasser, in der sich mit Diatomeen angereicherte Eisplättchen befinden, eine eisaktive Substanz gefunden, die offensichtlich von den Algen ausgeschieden wird. Es handelt sich dabei um ein Protein oder eine proteinhaltige Komponente, nicht aber um ein Kohlenhydrat oder Nucleinsäuren. Diese aktive Substanz, welche kleine Aushöhlungen an der Eisunterseite verursacht, wird nur in diatomeenreichem Wasser gefunden. Die Substanz wird durch Erhitzen auf 40 °C und durch die Einwirkung von bestimmten Enzymen (Proteasen) zerstört. Sie findet

sich vor allem in den Zellen von monospezifischen Populationen der Kieselalgen *Nitzschia stellata* (Pennatae) und *Porosira pseudodenticulata* (Centrales). In algenfreiem Eis wurde der Stoff nicht gefunden. Er verursacht kleine Löcher von 100 bis 500 µm Durchmesser in wachsendem Eis und weist ein Molekulargewicht von etwa 30 kD auf. Zwar ist bekannt, daß Kieselalgen organische Moleküle ins Wasser abgeben, aber die nun entdeckte Sekretion, die das Eiswachstum beeinflusst, ist neu und überraschend. Man sucht die mögliche Funktion der eisaktiven Substanz in einem Aufrauhren der Eisoberfläche, so daß Anheftung erleichtert wird. Andererseits könnten die aufgerauhten Eisflächen auch die Lichtstreuung für die Algenzellen verbessern, deren primäre Produktion lichtabhängig ist.

Raymond, J. A., Sullivan, J. A., DeVries, A. L.: Release of an ice-active substance by Antarctic sea ice diatoms. *Polar Biology* 14, 71–75 (1994).

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

### Der Duft des Weißklee

Viele durch Insekten bestäubte (entomophile) Blüten senden einen Duft aus, der den potentiellen Bestäuber anlockt. Dies ist vor allem auch für Nachtbestäuber, wie Fledermäuse und Falter, ein wichtiges Orientierungsmittel. Gleichzeitig zeigen die Duftwolken den Blütenbesuchern auch an, daß die Blüten bereit sind zur Bestäubung und Befruchtung. Daher kann man annehmen, daß die maximale Emission des Blütenduftes gleichzeitig auch das Maximum der Flugaktivität der Bestäuber bedeutet. Die Duftwolke des Weißklee (*Trifolium repens* L.) besteht hauptsächlich aus Produkten des Zimtsäurestoffwechsels, nämlich Phenethylacetat (54–60 %), Benzylalkohol, Phenethylalkohol, Eugenolmethylester (jeweils 8–12 %). Außerdem kommen in Spuren noch andere Duftstoffe vor, die zum Terpenstoffwechsel gehören, wie z. B. β-Caryophyllen (2–5 %), Perillen, β-Bourbonen, δ-Cadien, β-Cuvoben, Thuiopsen (in Spuren) sowie Ethyl-1-hexanol (9–13 %).

Alle Duftkomponenten sind sehr flüchtig. Das erklärt auch, warum bei niedriger Temperatur (10 °C) viel weniger Duftstoffe von den Blütenköpfchen ausgehen als bei höherer Temperatur (20 °C). Diese Unterschiede sind durch die Temperaturabhängigkeit der Sekretion bedingt. Vor allem das Licht beeinflusst die Ausscheidung der Duftstoffe der Blüten stark: bei starker Einstrahlung werden reichlich Duftstoffe ausgeschieden, während die Luftfeuchtigkeit keinen Einfluß hat. Die Emission der Duftstoffe der aus 15–20 Einzelblüten bestehenden Blütenköpfchen wird durch den Licht-Dunkel-Rhythmus bestimmt: tagsüber ist die Duftwolke am stärksten 7 bis 12 Stunden nach Sonnenaufgang. Das Duftspektrum bleibt aber Tag und Nacht gleich.

Jakobsen, H. B., Olsen, C. E.: Influence of climatic factors on emission of flower volatiles in situ. *Planta* 192, 365–371 (1995).

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

# Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskopie – die andere Art des Sehens

Annett Burzlaff

**Seit mehr als vierhundert Jahren bemühen sich Menschen, mit Hilfe optischer und technischer Hilfsmittel immer tiefer in den Mikrokosmos vorzudringen. Anfangs standen nur einfache Vergrößerungsgläser zur Verfügung. Antony van Leeuwenhoek führte erstmals wissenschaftliche Beobachtungen mit dem Mikroskop durch. Es dauerte bis in unsere Zeit, bis Mikroskope so weit entwickelt waren, daß sie einzelne Moleküle und sogar Atome für das Auge sichtbar machten.**

Von den Anfängen der Mikroskopie bis in das 20. Jahrhundert hinein beherrschten optische Systeme die Mikroskopie. Dies hat sich im 20. Jahrhundert grundlegend gewandelt. Die optischen Mikroskope sind in ihrer Entwicklung an ihre Leistungsgrenze gestoßen. Dies hängt mit der Wellenlänge des Lichts zusammen. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts ist mit 380 bis 780 nm 2000mal größer als der Durchmesser eines Atoms mit etwa drei Ångström (ein Ångström ist ein zehnmillionstel Millimeter). Das Licht als Informationsträger zur Erforschung atomarer Strukturen ist in seiner Beschaffenheit folglich viel zu grob. Die Elektronenmikroskopie nutzt als Informationsträger hochenergetische, d.h. kurzwellige Elektronen. In der Transmissionselektronenmikroskopie werden dünne Schnitte des Objekts oder fein aufgedampfte Schichten des zu untersuchenden Materials (z.B. Kohlenstoff) mit Elektronen durchstrahlt. Damit ist es möglich, Atome sichtbar zu machen. Derartig hochenergetische Elektronen durchschlagen jedoch leicht die Oberfläche des Objekts und dringen in tiefergelegene atomare Schichten ein. Senkt man die Energie der Elektronen, so werden sie von den elektrischen und magnetischen Feldern sowie Ladungen abgelenkt. In beiden Fällen sind Aussagen über die atomare Oberflächenstruktur des Objekts nicht möglich. Erst das Rastertunnelmikroskop eröffnet mit seinem im Vergleich zu den bisherigen Mikroskopen völlig verschiedenen Funktionsprinzip die Sichtbarmachung einzelner Atome. Gerd Binnig und Heinrich Rohrer entwickelten das Rastertunnelmikroskop. Bereits

1986 bekamen sie dafür den Nobelpreis verliehen. Das Lichtmikroskop nutzt als Informationsträger Photonen aus einer Lichtquelle, das Elektronenmikroskop Elektronen aus einer Elektronenquelle, das Rastertunnelmikroskop dagegen arbeitet mit den Elektronen aus dem Objekt selbst, den sogenannten Tunnelelektronen. Linsensysteme, Elektronen- oder Photonenquellen sind daher überflüssig.

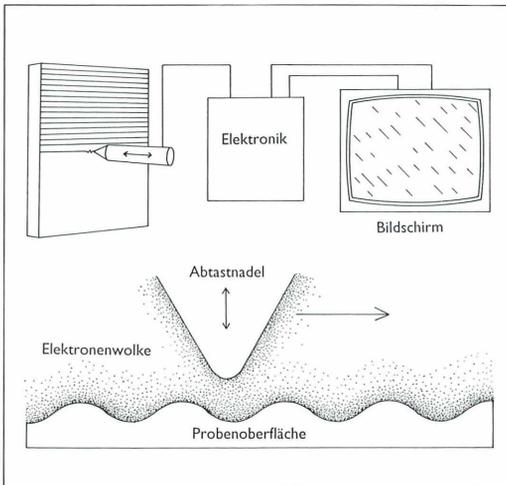
## Tunneleffekt

Elektronen treten aus der Oberfläche eines Objektes aus und bilden in ihrer unmittelbaren Nähe eine Elektronenwolke. Dieses Phänomen begegnet uns in der Physik häufig, beispielsweise bei der Emission von Elektronen aus Metallen. Dieser Vorgang widerspricht den Vorstellungen der klassischen Physik. Um aus dem Objekt auszutreten, muß ein atomares Teilchen eine schmale Zone, den Potentialwall, durchdringen, in der die potentielle Energie höher ist als seine kinetische Energie. Es ist unwahrscheinlich, daß ein Elektron in diese Zone eindringt. Statt dessen wird es nach dem Gesetz der klassischen Physik in das Objekt reflektiert. Ein Austreten des Teilchens aus dem Objekt ist nur dann möglich, wenn seine kinetische Energie höher ist als die Energie des Potentialwalls. Erklärung bietet hier die wellenmechanische Betrachtungsweise. Sie faßt ein Elektron als Welle auf. Danach besteht auch für total reflektierte Wellen die Möglichkeit durch den Potentialwall hindurchzuzickern. Das Elektron gräbt sich gewissermaßen einen Tunnel durch den

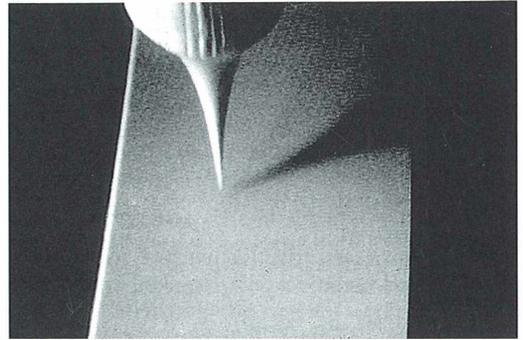
Potentialwall. Dieser Effekt heißt „tunneln“. Die Dichte der aus dem Objekt ausgetretenen Elektronen ist nahe der Objektfläche am größten. Mit zunehmender Distanz zur Oberfläche nimmt gleichzeitig die Anzahl der Elektronen ab.

### Aufbau eines Rastertunnelmikroskops

Der Grundaufbau eines Rastertunnelmikroskops sieht folgendermaßen aus: Es gibt zwei Elektroden, die durch Vakuum, Gas oder eine Flüssigkeit gegeneinander isoliert sind (Abb. 1).



**Abb. 1: Funktionsprinzip des Rastertunnelmikroskops:** Der untere Teil der Abbildung zeigt die Probenoberfläche und die Abtastnadel. Im Raum dazwischen befindet sich die Elektronenwolke. Diese Wolke entsteht nach der wellenmechanischen Erklärung aus der Unbestimmtheit des Aufenthaltsorts eines Elektrons. Der Aufenthaltsort eines Elektrons ist „verschmiert“. Die Dichte der Elektronenwolke nimmt mit zunehmendem Abstand vom Objekt ab. Folglich läßt auch der Tunnelstrom in seiner Intensität nach. Um den Tunnelstrom konstant zu halten, wird der Abstand zwischen der Abtastnadel und der Probe über piezoelektrische Elemente so angepaßt, daß die Nadel der Oberflächenstruktur der Probe folgt. Die Signale werden elektronisch verarbeitet. Zeile für Zeile entsteht auf dem Monitor ein dreidimensionales Bild der Oberflächenstruktur des Objekts. (Nach Binnig, Rohrer, 1985). Zeichnung: Cornelia Falk, Recklinghausen.

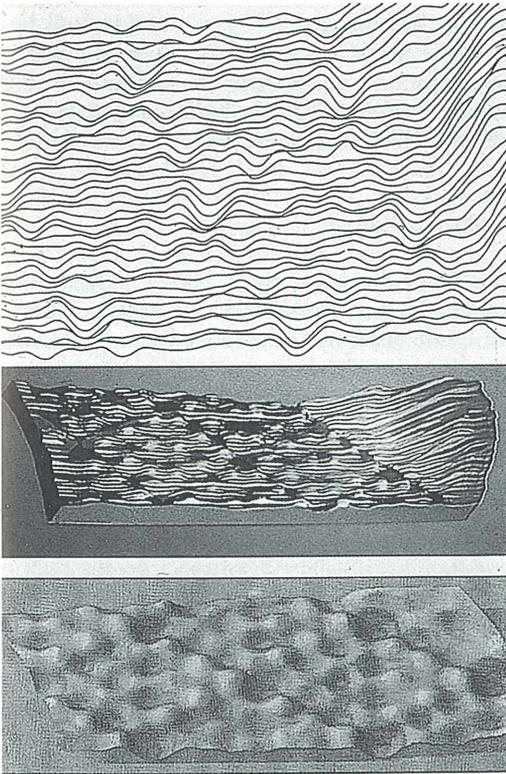


**Abb. 2: Eine Rastertunnelmikroskopspitze und eine Probe unter dem Elektronenmikroskop. Foto: IBM Research Laboratory, Zürich.**

Die eine Elektrode besteht aus einer sehr spitzen Abtastnadel (Abb. 2), die zweite Elektrode stellt das zu untersuchende Präparat dar. Wird nun Spannung an dieses System angelegt, fließt ein Strom, der Tunnelstrom, zwischen den beiden Elektroden. Die Elektronen fließen durch einen engen Kanal, den Tunnel, innerhalb der Elektronenwolken. Wie bereits beschrieben, nimmt die Dichte der Elektronenwolken mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche ab. Folglich schlagen sich kleinste Abstandsänderungen zwischen der Abtastnadel und dem Präparat in der Intensität des Tunnelstroms nieder. Wird die Entfernung zwischen der Nadel und dem Objekt um nur einen Atomdurchmesser vergrößert, so verringert sich die Intensität des Tunnelstroms um den Faktor Tausend. Ein derartig empfindliches System ist bestens geeignet, um geringste vertikale Änderungen auf der Probenoberfläche wahrzunehmen.

### Abtasten der Objektoberfläche

Die Abtastnadel wird über die Oberfläche des Objekts bewegt. Die dabei auftretenden Änderungen im Tunnelstrom werden gemessen. Ein Regler sorgt mit Hilfe dieser Information für einen immer gleich bleibenden Abstand zwischen der Objektoberfläche und der Abtastnadel. Die Nadel folgt durch Heben und Senken genau dem Oberflächenrelief des Präparates. Auf diese Weise fährt die Spitze die Oberfläche auf parallelen Linien ab. Ihre Bewegungen werden

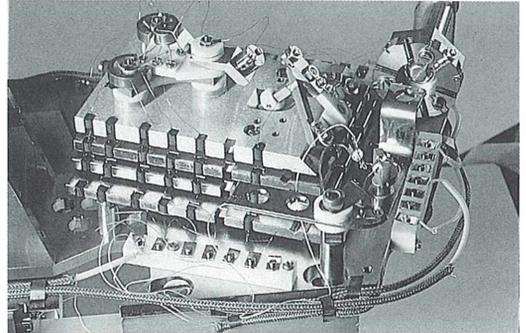


**Abb. 3:** Zeile für Zeile rastert die Spitze eine Siliziumoberfläche ab. Auf diese Weise wird eine millionenfache Vergrößerung erreicht. Das mittlere Bild entstand durch Ausschneiden und Zusammenkleben von Papierbahnen entsprechend den Rasterlinien. Das untere Bild ist das Produkt der heute üblicherweise angewandten Computerbildbearbeitung. Deutlich sind die rhombenförmigen sogenannten  $7 \times 7$ -Zellen erkennbar. Jede Kante einer Einheitszelle mißt sieben Atomabstände. Eine Einheitszelle enthält zwölf Hügel, von denen jeder offenbar einem einzelnen Oberflächenatom entspricht. Foto: IBM Research Laboratory, Zürich.

von einem Computer registriert und von einem Schreiber oder Bildschirm in ein dreidimensionales Bild umgesetzt. Bewegt sich die Abtastnadel in lateraler Richtung um 10 Ångström, so entspricht dies auf dem Bildschirm einer Abstandsänderung von 10 Zentimetern. Die Objektfläche wird damit hundertmillionenfach vergrößert wiedergegeben (Abb. 3).

### Dämpfung von Erschütterungen

Ein derart empfindliches System ist anfällig für vielerlei Störungen aus der Umwelt. Eine wichtige Voraussetzung für das reibungslose Funktionieren dieser Technik ist der absolut erschütterungsfreie Stand des Gerätes. In der Anfangszeit der Rastertunnelmikroskopie wurden Erschütterungen durch Schall oder Schritte in einem Raum über ein kompliziertes System von Metallfedern und Glasstangen aufgefangen. Diese Konstruktion machte das Rastertunnelmikroskop sehr unhandlich und störungsanfällig. 1984 wurde von IBM das Rastertunnelmikroskop im Taschenformat entwickelt (Abb. 4). Vibrationen werden durch einige Metallplatten, zwischen denen Gummistücke eingelagert sind, gedämpft.



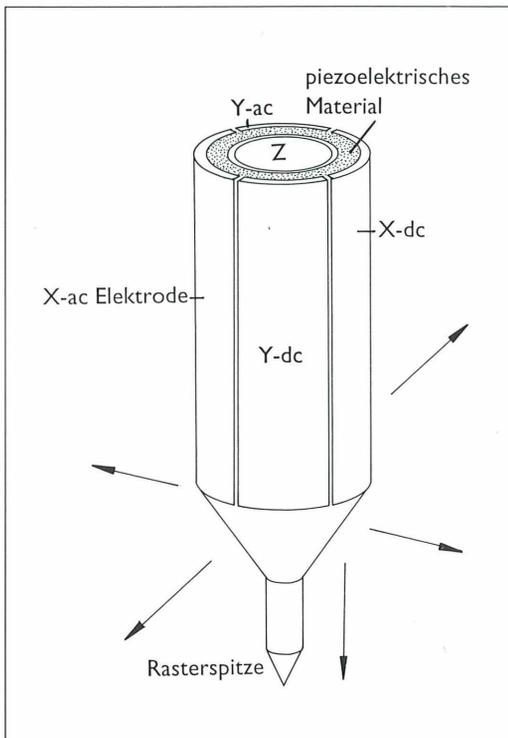
**Abb. 4:** Rastertunnelmikroskop im Taschenformat. Es ist so klein, daß es mühelos mit anderen Geräten, z.B. einem Elektronenmikroskop, kombiniert werden kann. Foto: IBM Research Laboratory, Zürich.

### Die Abtastnadel

Die Abtastnadel ist an einem röhrenförmigen Scanner befestigt. Ein Querschnitt macht den Aufbau des Scanners deutlich (Abb. 5). Der Scanner besteht aus piezoelektrischen Elementen. Piezoelektrisches Material hat die Eigenschaft, auf das Anlegen einer Spannung mit Deformationserscheinungen zu reagieren. Das piezoelektrische Material ist außen von vier, der Längsachse des röhrenförmigen Scanners parallel laufenden Elektroden umfaßt. Legt man an eine dieser Elektroden eine Spannung an, so dehnt sich das entsprechende Röhrensegment senkrecht zum elektrischen Feld aus. Als Folge davon verbiegt sich das gesamte

Röhrchen senkrecht zu seiner Längsachse. Da die Abtastnadel am Röhrchen befestigt ist, folgt sie dieser Bewegung. Die x-y-Bewegung wird durch zwei benachbarte Elektroden (X-ac und Y-ac) erreicht. Jeder ac-Elektrode, an die eine Wechselfspannung angelegt wird, liegt eine dc-Elektrode gegenüber, die entweder geerdet sein kann oder an der eine Gleichspannung anliegt. Eine einzelne Elektrode kleidet die innere Seite des Röhrchens aus. Wird an dieser Elektrode eine Spannung angelegt, so hat dies eine Ausdehnung des Röhrchens in z-Richtung, also parallel zur seiner Längsachse, zur Folge. Auf diese Weise kann die Abtastnadel in der x-y-Richtung parallel und in der z-Richtung senkrecht zur untersuchenden Objektoberfläche bewegt werden.

Je spitzer die Nadel ist, desto höher ist ihr Auflösungsvermögen (Abb. 2). Eine Wolframnadel



**Abb. 5:** Über ein aus vier Piezoelementen zusammengesetztes Röhrchen wird die Rasterspitze in alle Richtungen bewegt. Die piezoelektrischen Elemente reagieren auf das Anlegen einer Spannung mit Verformung um ein bis zehn Picometer pro Millivolt. (Ein Picometer ist ein Milliardstel Millimeter). Foto: IBM Research Laboratory, Zürich.

wird spitz zurechtgeschliffen. Im Idealfall besteht die Spitze aus einem einzigen Atom. Mit einem Ionenstrahl werden im Vakuum Atome aus der Spitzenoberfläche herausgeschlagen. So ist es möglich, die Nadel gezielt zu schärfen.

### Probenhalter

Die Probe wird auf einen Halter aufgebracht und dicht an die Abtastnadel herangefahren. Im Laufe der Entwicklung des Rastertunnelmikroskops wurden verschiedene Möglichkeiten zur Bewegung des Probenhalters entwickelt. Die Schwierigkeit besteht darin, daß erstens eine Grobjustierung im Millimeterbereich möglich sein muß, um die Probe in die Nähe der Abtastnadel zu bringen. Zweitens ist es wichtig, das Objekt in Nanometerschritten so dicht wie möglich an die Abtastnadel heranzubewegen, ohne diese zu berühren. Feder-, Hebel- und Schraubenkonstruktionen wurden erdacht, die sowohl die relativ groben als auch die sehr feinen Bewegungen mit Hilfe eines Motors oder von Hand ermöglichten. In neueren Konstruktionen bedient man sich zu diesem Zweck piezoelektrischer Elemente.

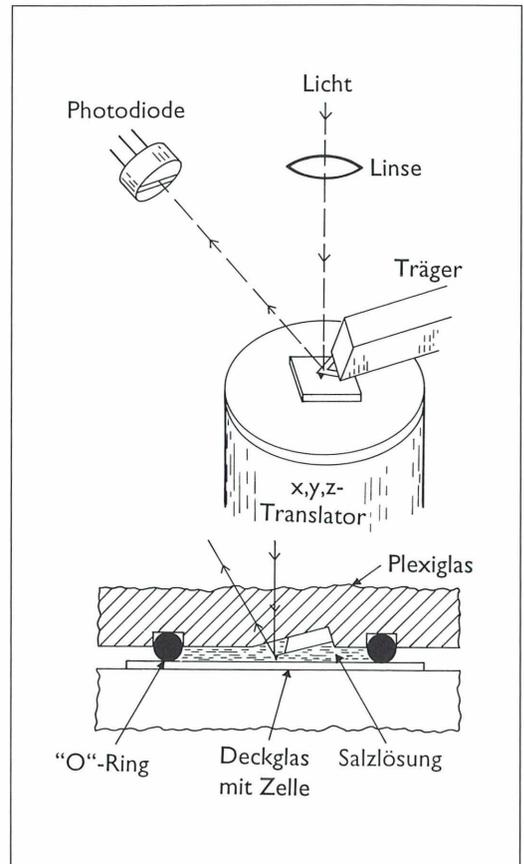
### Anwendungsbereiche

Die Oberfläche von Strukturen zu analysieren, ist in der Physik, Chemie und Biologie von großer Bedeutung. Die Rastertunnelmikroskopie erlaubt neben der topographischen Analyse der atomaren Oberfläche auch eine qualitative Analyse. Der Tunnelstrom wird nicht nur vom Abstand zwischen Nadel und Objekt beeinflusst, sondern auch von der Beschaffenheit der Elektronenstruktur, die für jedes Element charakteristisch ist. So wurde es möglich, die Anordnung von Sauerstoffatomen auf Nickel zu analysieren, den Bildungsprozeß eines Goldkristalls nachzuvollziehen oder neue Erkenntnisse über Supraleiter zu gewinnen. Eine Abkühlung supraleitender Materialien führt zu Änderungen in der Elektronenstruktur, die vom Rastertunnelmikroskop sichtbar gemacht werden können. Da die Rastertunnelmikroskopie mit den niederenergetischen Elektronen des Tunnelstroms arbeitet, ist es sogar möglich, genau fokussiert einzelne chemische Reaktionen auszulösen. Dies eröffnet neue Wege zur Manipulation chemischer Reaktionen.

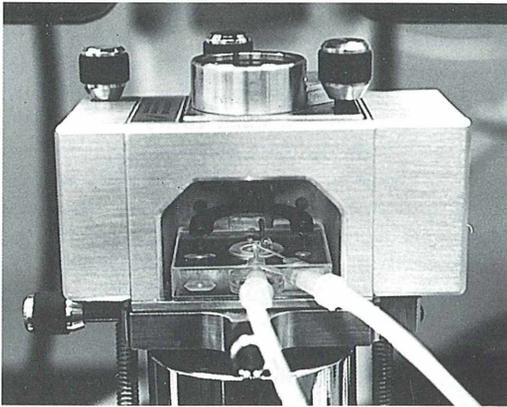
Bei der elektronenmikroskopischen Untersuchung biologischer Strukturen ist es notwendig, das Objekt zu töten und zu entwässern. Dies löst nicht kalkulierbare Veränderungen im Objekt aus. In der Rastertunnelmikroskopie lassen sich derartige Artefakte umgehen. Es ist möglich, Flüssigkeit als Isolator zwischen der Probe und der Abtastnadel einzusetzen. Eine Entwässerung des Objekts ist somit nicht notwendig. Auf diese Weise konnte die Struktur von Viren oder die Helixanordnung der DNA sichtbar gemacht werden. Die Anwendung des Rastertunnelmikroskops in der Biologie ist aufgrund der stark schwankenden Leitfähigkeit des Objekts nur beschränkt möglich. In Kombination mit dem Rasterkraftmikroskop jedoch lassen sich Erkenntnisse über die verschiedenen Oberflächenparameter gewinnen. Neue Möglichkeiten der Manipulation im Nanometerbereich erschließen sich dem Benutzer des Rastertunnelmikroskops. Schon vor Jahren war es gelungen, einzelne Atome aus ihrem Verband zu lösen, zu verschieben und gezielt zu plazieren. Es ist beispielsweise möglich, einen Schalter zu konstruieren, dessen Schaltelement aus einem einzigen Atom besteht. Unterschiedliche Spannungsstöße lassen ein Xenon-Atom von einer Nickeloberfläche an die Rastertunnelmikroskopspitze und zurück springen. Dem Tunnelstrom wirkt in Abhängigkeit von der Position des Atoms ein unterschiedlicher Widerstand entgegen. Das Schalten kann beliebig oft wiederholt werden.

### Vom Rastertunnel- zum Rasterkraftmikroskop

Erst vor wenigen Jahren wurde aus dem Rastertunnelmikroskop das Rasterkraftmikroskop entwickelt. Beide Mikroskoptypen sind vom Aufbau ähnlich. Der wesentliche Unterschied ist, daß das Rastertunnelmikroskop seine Information aus elektrischen Strömen bezieht, das Rasterkraftmikroskop dagegen aus den mechanischen Eigenschaften der Objektoberfläche. Das Untersuchungsobjekt wird auf einem sogenannten  $x, y, z$ -Translator aufgebracht (Abb. 6 und 7), der sich durch piezoelektrische Elemente in alle drei Richtungen bewegen läßt. Eine pyramidenförmige Rasterspitze tastet die Oberfläche des Objektes ab. Dabei bewegt sich nicht die Rasterspitze, sondern der  $x, y, z$ -Translator bewegt das Objekt rasterartig an der



**Abb. 6:** Der  $x, y, z$ -Translator trägt das zu untersuchende Objekt und ist über piezoelektrische Elemente in alle drei Richtungen beweglich. Der Translator bewegt das Objekt unter der Rasterspitze entlang. Die Rasterspitze ist an der Unterseite des dreieckigen Federbügels befestigt und dem Objekt zugewandt. Beim Abtasten des Objekts hebt und senkt sich die Scannerspitze. Ein Laserstrahl, der auf den Federbügel gerichtet ist, wird entsprechend der Auslenkung der Scannerspitze in unterschiedlichen Winkeln reflektiert und von einem Photodiodensystem erfaßt. Die Flüssigkeitskammer (unten) enthält physiologische, temperierte Elektrolytlösung und erlaubt Beobachtungen an der lebenden Zelle. Da ein ständiger Austausch der Lösung möglich ist, können Auswirkungen, die beispielsweise durch ein verändertes ionales Milieu hervorgerufen werden, direkt an der Zelle beobachtet werden. Die Scannerspitze tastet das Objekt in der Elektrolytlösung ab. (Oberleithner, 1993). Zeichnung: Cornelia Falk, Recklinghausen.



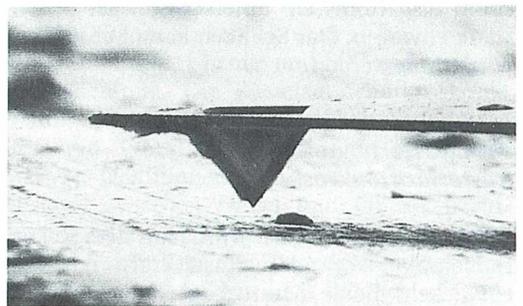
**Abb. 7:** Blick in das NanoScope III, Digital Instruments. Der stabile, zigaretenschachtelgroße Metallblock enthält die Flüssigkeitskammer, die über einen zu- und einen abführenden Schlauch ständig mit frischer Elektrolytlösung versorgt wird. Durch die Öffnung an der Oberseite des Blocks ist eine lichtmikroskopische Beobachtung der Flüssigkeitskammer möglich, um die Rasterspitze genau über dem Objekt zu positionieren. Der Block sitzt einem Stahlzylinder auf, der die drei piezoelektrischen Elemente trägt. (Oberleithner, 1993).

Spitze vorbei. Die Rasterspitze sitzt an einem dreieckig geformten Federbügel, der sich entsprechend den Strukturgegebenheiten des Objekts verformt. Diese Verformung wird über einen Laserstrahl registriert. Der Laserstrahl ist auf die spiegelnde Oberfläche des Federbügels gerichtet. Verformt sich dieser nun, ändert dies die Auslenkung des Laserstrahls. Diese Veränderung im Winkel des reflektierten Lichts wird über eine Photodiode wahrgenommen. Zeile für Zeile wird so das Objekt abgerastert und aus der Auslenkung des Federbügels in z-Richtung elektronisch ein dreidimensionales Bild der Oberfläche erstellt.

### Mikromechanische Kräfte

Die pyramidenförmige Rasterspitze besteht aus Silizium (Abb. 8). Auch hier gilt wie beim Rastertunnelmikroskop: je schärfer die Spitze, desto höher die Auflösung. Im Idealfall bilden nur wenige Siliziumatome die äußerste Spitze. Wirken beim Rastertunnelmikroskop elektrische Kräfte zwischen Oberfläche und Abtast-

nadel, so sind es beim Rasterkraftmikroskop mechanische Kräfte, die auf die Rasterspitze wirken. Die genaue Zusammensetzung dieser Kräfte ist noch nicht geklärt. Es sind die verschiedenen mikromechanischen Kräfte, die zwischen Atomen und Molekülen herrschen, beteiligt: die van der Waals-Kräfte, Kernabstoßung, Coulombkräfte, Wasserstoffbrücken und andere. Voraussetzung für das Funktionieren der Rasterkraftmikroskopie ist, daß die Kraft, die aufgewendet werden muß, um den Federbügel zu verbiegen, geringer ist als die atomaren Bindungskräfte zwischen den Atomen des Objekts. Die Federkonstante (Kraft in Newton, die eine Feder um einen gewissen Betrag in Metern dehnt) des Bügels muß entsprechend niedrig gewählt werden. Die Federkonstante für interatomare Bindungskräfte liegt etwa bei 10 N/m. Die im Rasterkraftmikroskop verwendeten Federbügel haben eine Federkonstante von 0,1 N/m. Die zwischen Rasterspitze und atomarer Oberfläche interagierenden Kräfte lösen winzige Verbiegungen des Federbügels aus. Die Kräfte liegen dabei im Bereich von Milliardstel Newton. Sie sind damit geringer als die interatomaren Bindungskräfte. Die Rasterspitze folgt auf diese Weise genau den Formen der Oberfläche, ohne gegen sie zu stoßen und Atome aus ihrem Verband zu reißen.

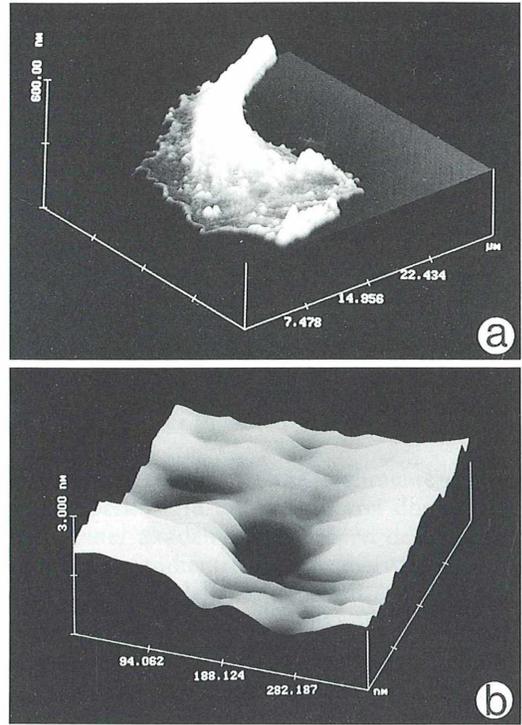


**Abb. 8:** Der pyramidenförmige Scanner besteht im Idealfall an seiner Spitze nur noch aus wenigen Siliziumatomen und wird durch die Unebenheiten der Objektoberfläche ausgelenkt. Auf den Federbügel ist ein Laserstrahl gerichtet, dessen Reflexionswinkel den Auslenkungen des Federbügels und somit der Oberflächenstruktur korreliert ist. Die Auflösung des Rasterkraftmikroskops ist im Wesentlichen von drei Faktoren abhängig: 1. Feinheit der Rasterspitze, 2. Scangeschwindigkeit, 3. Anzahl der Scanlinien pro Fläche. (Oberleithner, 1993).

### Anwendung in der Biologie

Die Rasterkraftmikroskopie ist geeignet zur Erforschung biologischer Strukturen, z.B. Membranen oder organische Moleküle. Speziell zur Darstellung lebender Zellen wurde eine Flüssigkeitskammer entwickelt. Die Kammer ist angefüllt mit entsprechend temperierter Elektrolytlösung, die in ihrer Konzentration und Zusammensetzung sekundenschnell den Erfordernissen angepaßt werden kann. Dies ermöglicht die direkte Betrachtung physiologischer Reaktionen an der Zelloberfläche auf Umwelteinflüsse. Diese Flüssigkeitskammer ist kleiner als ein Pfennig und sitzt in einem Metallblock von Zigarettenschachtelgröße (Abb. 7). Die Beobachtung von lebenden Zellen stellt hohe Ansprüche an die Rastermikroskopie. Die Kraft der Rasterspitze muß so gering sein, daß sie nicht die weiche Plasmamembran der Zelle verletzt. Ein weiteres Problem ist die Abtastgeschwindigkeit. Ist sie zu hoch gewählt, „rennt“ die Rasterspitze die Oberflächenstrukturen der Membran „um“, ist sie zu niedrig, so bewegt sich die Zelle unter der Rasterspitze fort. Diese und viele andere Probleme mußten bewältigt werden, bis es Oberleithner und seinen Mitarbeitern (1993) gelang, erstmals die Wanderung einer lebenden kultivierten Nierenzelle darzustellen (Abb. 9). Klar sind Berge und Täler als Ausdruck ständiger Umbauprozesse einer dynamischen Membran auf der Zelloberfläche zu erkennen. Durch Änderungen im Calcium-Spiegel des Puffers konnten Exo- und Endocytosevorgänge induziert und beobachtet werden. Calcium-Entzug hatte die Bildung von Mikrorissen in der Membran zur Folge, die jedoch schon nach wenigen Sekunden repariert waren. Die biologische Membran stellt an die Rasterkraftmikroskopie hohe Anforderungen. Bei idealen Proben liegt die laterale Auflösungs-grenze bei einem zehnmillionstel Millimeter, die vertikale Auflösung ist noch zehnmal höher. Die Elastizität einer biologischen Membran senkt die Auflösung. Was zunächst als Nachteil scheint, eröffnet jedoch auch die Möglichkeit, durch Änderung des Abstands zwischen Probe und Rasterspitze bewußt Kraft auf die Membran auszuüben und ihre elastischen Eigenschaften zu messen.

Die Rasterkraftmikroskopie erlaubt sogar, intrazelluläre Elemente sichtbar zu machen. Kürzlich gelang es erstmals, mit der Rasterspitze durch die Membran zu stoßen und das unter



**Abb. 9:** a) Dreidimensionale Darstellung des Lamellipodiums am vorderen Teil einer lebenden, wandernden Nierenzelle. x- und y-Achse sind in Mikrometern (ein Tausendstel Millimeter) angegeben, die z-Achse in Nanometern (ein Millionstel Millimeter). – b) Ausschnitt der Plasmamembran des Lamellipodiums. Die Grübchen sind Ausdruck dynamischer Prozesse in der Membran. Sie werden fortlaufend gebildet und verschwinden wieder. x-, y-, und z-Achse sind in Nanometern angegeben. (Oberleithner, 1993).

der Plasmamembran liegende Cytoskelett abzutasten, ohne der Zelle nennenswerten Schaden zuzufügen.

Die Rastertunnel- und speziell die Rasterkraftmikroskopie werden in Zukunft beachtlichen Anteil an der Erforschung lebender Strukturen auf molekularer Ebene haben.

## Dank

Für die zur Illustration dieses Artikels freundlicherweise bereitgestellten Abbildungen und für weitere Informationen danke ich Herrn Martin Hug (IBM Laboratory, Zürich) und Herrn Prof. Oberleithner (Physiologisches Institut der Universität Würzburg).

## Literaturhinweise

Binnig, G., Rohrer H.: Das Rastertunnelmikroskop. *Spektrum der Wissenschaft* 10, 62–68 (1985).  
 Binnig, G., Smith, D. P. E.: Single-tube three-dimensional scanner for scanning tunneling microscopy. *Rev. Sci. Instrum.* 57, 1688–1689 (1986).  
 Graewe, H.: *Atomphysik*. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn 1963.

Hug, M.: Rastertunnelmikroskop – ein Schlüssel zur Nanotechnologie. *IBM Panorama* 21, 4–15 (1992).

Oberleithner, H.: Rasterkraftmikroskopie: Sehen durch Fühlen. *BIUZ* 23, 377–382 (1993).

Radmacher, M., Tillmann, R. W., Fritz, M., Gaub, H. E.: From Molecules to Cells: Imaging Soft Samples with the Atomic Force Microscope. *Science* 257, 1900–1905 (1992).

Welland, M. E., Taylor, M. E.: Scanning Tunnelling Microscopy. In: Duce, P. J., Michette, A. G. (eds.): *Modern Microscopies. Techniques and Applications*. Plenum Press, New York, London 1990.

*Verfasserin:* Dipl.-Biol. Annett Burzlaff, Institut für Zoologie, Königin-Luise-Str. 1–3, D-14195 Berlin

## Kurze Mitteilung

### Isolierung pflanzlicher Embryosäcke

Seit kurzem ist es möglich, aus dem Fruchtknoten von Blütenpflanzen die Embryosäcke und aus den Pollenkörnern die Spermazellen zu isolieren. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten der Beobachtung des Befruchtungsprozesses unter dem Mikroskop. Die Anwendungsmöglichkeiten liegen auf dem Gebiete der kontrollierten Pflanzenzüchtung.

Die neue Methode kombiniert die enzymatische Mazeration mit dem osmotischen Schock. Sie wurde beim Tabak entwickelt und liefert in kurzer Zeit lebende Embryosäcke mit einer ermutigenden Ausbeute.

Die Methode umfaßt die folgenden Schritte: Aus einem reifen Fruchtknoten werden die Samenanlagen herausgenommen und in eine Enzymlösung gelegt; diese besteht aus 1–1,5 % Cellulase R-10, 0,5 % Mazeroenzym R-10, die auch durch 1 % Pektinase (von Serva) ersetzt werden kann, gelöst in einer 13 %igen Lösung von Mannitol. Diese Suspension wird 2,5 Stun-

den lang vorsichtig geschüttelt (Schüttelmaschine). Danach wird der osmotische Schock angewendet: 15 bis 30 Minuten lang werden die Samenanlagen in einer enzymfreien 8 %igen Mannitollösung bewegt; dies erfolgt durch vorsichtiges Aufsaugen und wieder Auslaufenlassen mit Hilfe einer Pipette. Die freigelegten Embryosäcke können dann unter dem Binokular mit einer Kapillarpipette (Pasteur-Pipette) herausgefischt werden. In einer Stunde kann man so 50 bis 70 lebende Embryosäcke mit der Hand einsammeln. Aus diesen isolierten Embryosäcken lassen sich auch die nackten Protoplasten der Eizelle und der anderen Zellen des Embryosackes isolieren. Interessant ist, daß infolge des osmotischen Schockes ein hoher Prozentsatz (9–71 %) der Protoplasten, der Eizellen und der Synergiden in situ verschmelzen.

Men-xian, S., Hong-yuan, Y., Chang, Z.: A new method for embryosac isolation and in situ fusion of egg and synergid protoplasts in *Nicotiana tabacum*. *Acta Bot. Sin.* 35, 893–900 (1993).

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

## Mikro-Quiz

### Gesucht wird...

... ein bedeutender, in Potsdam geborener Mikroskopiker und Zoologe, der die Zeit des Ersten Weltkriegs gerade noch überlebte. Die Familie seines Vaters stammte aus dem schlesischen Kunersdorf und betrieb dort eine Leinwandbleiche, die Familie der Mutter war am linken Niederrhein in Kleve ansässig und stellte über mehrere Generationen hochrangige Verwaltungsjuristen. Der Vater des Gesuchten, ebenfalls Jurist, wurde Oberregierungsrat für Schul- und Kirchenangelegenheiten in Merseburg, und so zog die Familie nach Sachsen in ein geräumiges Haus mit großem Garten. Hier befaßte sich der Gesuchte schon in Kindertagen mit allem, was die Natur hergab, vor allem – unter Anleitung seines Privatlehrers – mit den wildwachsenden Pflanzen der Umgebung. „Das kleine Herbarium... wurde bald mein teuerster Schatz“, schrieb er in seinen Lebenserinnerungen (die nur als Manuskriptsammlung vorliegen), und weiter: „Das Trocknen, Aufkleben, Benennen und Ordnen der Pflanzen war meine Lieblingsbeschäftigung.“ – ein bemerkenswertes Selbstbekenntnis, denn ähnlichen Enthusiasmus entwickelte er auch während seiner beruflichen Karriere als Hochschullehrer und Forscher, wobei die Objekte fallweise auch sehr viel kleiner wurden. Das „kleine Herbarium“ des späteren Zoologen existiert übrigens noch; es ist mit 4367 Bögen der berühmten Sammlung Haussknecht in Weimar eingegliedert.

Entscheidende Anregungen für Studium und Beruf erhielt der gesuchte Zoologe auch weiterhin aus der Botanik, vor allem durch M. J. Schleidens Buch „Die Pflanze und ihr Leben“, das ihm die Eltern schenkten. Hieraus erlernte er übrigens auch den Umgang mit dem Mikroskop. Begeistert nahm er nach dem Abitur in Berlin das Studium der Medizin auf, wozu ihm der Vater sehr geraten hatte. Ein Jahr später ging er für mehrere Semester nach Würzburg, von wo er den Eltern berichtete: „Heute erzähle uns z. B. Koelliker von Infusionstierchen Sachen, daß wir Maul und Nase aufsperrten und uns ins Reich der Märchen versetzt glaubten.“ Und wenig später: „Erst heute komme ich dazu, Euch wieder zu schreiben, da die wunder-

vollen Polypen, Quallen, Korallen etc. mich die ganze vorige und jetzige Woche von früh 5 bis abends 10 beschäftigt haben.“ Ein eigenes, von Schieck in Berlin für ihn gefertigtes Mikroskop ermöglichte es dem eifrigen Studenten, den Vorlesungsstoff durch eigene Untersuchungen zu vertiefen. Auch bei dem berühmten Mediziner Virchow besuchte er Vorlesungen und Kollegs: „Über die Zellentheorie geht mir nichts!... Vivant cellulae!! Vivat Microscopia!“, schrieb er in einem weiteren Brief an die Eltern.

Das Sommersemester 1854 verbrachte er wieder in Berlin und unternahm von dort mit einem seiner akademischen Lehrer, dessen Sohn und einem Studienfreund eine vierwöchige Studienreise nach Helgoland. Spätestens hier reifte der Entschluß heran, die Zukunft nicht in der Medizin zu suchen, sondern die Lebensarbeit der Meeresbiologie zu widmen. Als Ergebnis seines ersten Helgolandaufenthaltes veröffentlichte er seine erste wissenschaftliche Arbeit, eine mikroskopische Untersuchung über die Eier von Knochenfischen. Im Folgejahr kehrte er für drei Semester nach Würzburg zurück, um am berühmten Juliusspital seine klinische Ausbildung abzuschließen, blieb aber dennoch seinen zoologischen Neigungen sehr verhaftet. So konnte er auch einer Einladung Koellikers kaum widerstehen, ihn auf eine Reise ans Mittelmeer zu begleiten und dort Seetiere zu untersuchen. Ursprünglich sollte es nach Triest gehen, aber schließlich brach man nach Nizza auf.

Erstaunlich ist, daß der Gesuchte für seine Doktorarbeit nicht die marine Tierwelt wählte, sondern die Gewebe des Flußkrebses untersuchte. Mit dieser Arbeit wurde er in Berlin unter dem Dekan Christian Gottfried Ehrenberg zum Doktor der Medizin promoviert. Nach dem medizinischen Staatsexamen wurde ihm die Approbation als praktischer Arzt, Wundarzt und Geburtshelfer erteilt. Er eröffnete sogar (mit mäßigem Erfolg) eine ärztliche Praxis, widmete sich aber – zunächst noch als Privatgelehrter – überwiegend der Zoologie.

Für das nächste Frühjahr plante er zusammen mit Carl Gegenbaur aus Jena eine gemeinsame Forschungsreise nach Messina, trat diese jedoch alleine an und kaufte sich in Florenz in der da-

mals sehr bekannten optischen Werkstatt von Giovanni Battista Amici ein sehr teures, aber leistungsfähiges Mikroskop mit Wasserimmersionsobjektiv, das sich für seine späteren Planktonuntersuchungen als äußerst hilfreich erweisen sollte. Dem Vater, der die Reisekosten übernommen hatte, verschwieg er diese teure Anschaffung.

Unter dem Eindruck der süditalienischen Landschaft, vor allem während eines mehrwöchigen Besuchs auf Ischia, war der Gesuchte nahe daran, die Wissenschaft aufzustecken und Landschaftsmaler zu werden, arbeitete dann aber doch sechs Monate lang sehr intensiv über das artenreiche Plankton der Bucht von Messina, wobei er sich insbesondere den formschönen, kieselpanzertragenden Einzellern widmete und gleich im ersten Anlauf 20 neue Arten fand.

Eine gesicherte berufliche Existenz hatte er damit aber noch nicht. Er interessierte sich am (damals so genannten) akademischen Gymnasium für die Stelle des Zoologen und bewarb sich wenig später in Berlin sogar an der Akademie der Künste, orientierte sich aber schließlich wieder stärker nach Jena, wohin er schon seit geraumer Zeit intensive Kontakte entwickelt hatte. Hier habilitierte er sich mit einer 16seitigen Schrift über Rhizopoden, hielt während der folgenden Semester Vorlesungen in Zoologie und wurde im Folgejahr (1862) schließlich außerordentlicher Professor für Zoologie. Im gleichen Jahr erschien seine große Radiolarienmonographie als prächtig ausgestatteter Folioband mit einem Atlas von 35 Kupfertafeln, der sehr bald größte Anerkennung fand. „Der Atlas... ist das Schönste, was in artistischer Beziehung von naturforscherlichen Werken über niedere Thiere je geleistet worden ist“ schrieb ein begeisterter Rezensent. Dieses Werk war sicherlich auch maßgebend für die erste wissenschaftliche Ehrung des gerade erst 29jährigen, die Aufnahme in die Kaiserlich Leopoldino-Carolinische Deutsche Akademie der Naturforscher. Sein Ansehen wuchs, und so trug ihm die Universität Jena schon wenige Monate später die ordentliche Professur für Zoologie an. Da er aber den medizinischen Doktorgrad erworben hatte, verlieh ihm die Fakultät angesichts seiner allseits anerkannten Leistungen die erforderliche philosophische Doktorwürde.

Sein weiteres Wirken umfaßt zahlreiche bemerkenswerte Stationen, darunter eine Reise zu den Kanarischen Inseln (unterwegs Zusammentreffen mit Charles Darwin und Thomas

Huxley), eine Forschungsreise nach Dalmatien mit den Gebrüdern Hertwig (Forschungen über Kalkschwämme), nach Aufhalten am Roten Meer (Korallenstudien) und in der Bretagne (Arbeiten über Medusen) ausgedehnte Reisen in den Orient (Türkei, Syrien) und in die Tropen (Indien, Sri Lanka). Immer wieder hat er in Vorträgen, vor allem auf den Versammlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte oder auf Internationalen Zoologenkongressen die von Darwin begründeten Evolutionsgedanken aufgegriffen und dabei auch die Phylogenie des Menschen nicht ausgeklammert. Dies mußte zu Zerwürfnissen mit den Kirchen führen, brachte aber auch mancherlei Ärgernisse im politischen Raum, beispielsweise heftige Attacken durch den Kieler Botaniker Johannes Reinke im Preußischen Herrenhaus. Mit spitzer Feder und deutlichen Worten wußte der Gesuchte sich zur Wehr zu setzen. Seine letzten Lebensjahre waren praktisch nur noch von scharfen Auseinandersetzungen im fachwissenschaftlichen, politischen, klerikalen und philosophischen Umfeld geprägt.

Bruno P. Kremer, Redaktion MIKROKOSMOS

Haben Sie die zu ratende Person erkannt?

Schreiben Sie Ihre Lösung auf eine Postkarte an Redaktion MIKROKOSMOS, Prof. Dr. Klaus Hausmann, Zoologisches Institut der Freien Universität, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin. Einsendeschluß ist der 30.7.1995.

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Unter den richtigen Einsendungen wird dieses Mal je ein Exemplar folgender Bücher verlost:

- Kleinig/Sitte, Zellbiologie
- Mehlhorn/Ruthmann, Allgemeine Protozoologie
- Jacobs/Renner, Biologie und Ökologie der Insekten.

Der Gesuchte aus Heft 84/3 dem als Zeitgenosse von Robert Hooke, Jan Swammerdam oder Reinier de Graaf bereits in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts mit einem nach heutigen Maßstäben primitiven Selbstbauinstrument die Entdeckung wesentlicher biologischer Phänomene gelang, obwohl er eigentlich Kaufmann und Hobbybastler war, ist der Delfter Tuchhändler Antony van Leeuwenhoek (1632–1723). Er gilt auch als Erstbeobachter von Infusorien.

Die Gewinner des Mikro-Quiz sind:

- Rolf Karl Henckel, Rendsburg
- Nicole Hesse, Wesseling
- Hans van Eijk, Zoetermeer (Niederlande)

Die Redaktion gratuliert sehr herzlich!

# Digitale Bildverarbeitung in der Mikroskopie

## II. Betrachtungen und Erfahrungen mit der Scan-Kamera Praktica-Scan

### Praktica-Scan

Siegfried Kürten

Im Gegensatz zur bisher besprochenen Bildverarbeitung mittels Fernsehkamera oder Photo-CD mit der Standard-Video-Auflösung von  $768 \times 512$  Pixeln gibt es seit einiger Zeit auch CCD-Scanner-Zeilen-Kameras mit Auflösungen um  $3500 \times 2400$  Pixel zu einem für diese Güteklasse im Vergleich zu ähnlichen Produkten durchaus vertretbaren Preis (etwa 3000,- DM statt 15.000,- DM für ähnliche Produkte). Es war somit naheliegend, auch diese in die vorliegende Berichtsreihe mit aufzunehmen und die Ergebnisse unseren Lesern vorzustellen.

Zur Verwendung und Erprobung gelangte die Scan-Kamera PrakticaScan der Firma Jos. Schneider GmbH & Co. KG, Feinwerktechnik, 01277 Dresden (ehemals Pentacon). Diese Kamera ist seit circa zwei Jahren verfügbar und braucht einen Vergleich mit wesentlich teureren Wettbewerbszeugnissen durchaus nicht zu scheuen. Die Firma Schneider repräsentierte zu DDR-Zeiten solide Spiegelreflexkameras zu günstigen Preisen. Mit der hochauflösenden Graustufen-Digitalkamera PrakticaScan hat die Dresdener Firma jetzt mit ihrer Tradition gebrochen und sich auf das Innovationsgebiet digitale Fotografie begeben. Was blieb, sind die günstigen Preise.

### Technische Ausrüstung

Ein großer Vorteil, besonders für diejenigen, die bereits eine Practica-Foto-Ausrüstung besitzen, liegt darin, daß an der Scan-Kamera das gesamte Zubehör der Practica-Foto-Kameras verwendet werden kann.

Voraussichtlich ab Sommer 1995 ist die Scan-Kamera nicht nur als Graustufen-, sondern auch als Colorversion erhältlich.

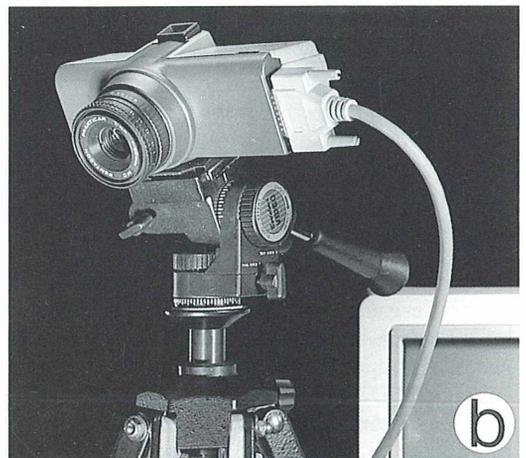
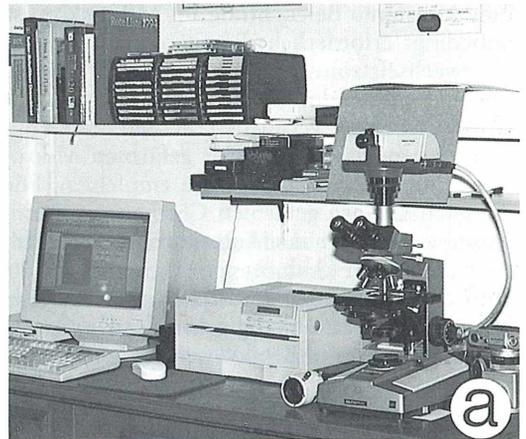


Abb. 1: a) Olympus-Mikroskop mit Scan-Kamera und Bildbearbeitungsanlage.  
b) PrakticaScan-Kamera. Werksfoto.

Ein Mikroskopaufsatz für Standardtubendurchmesser, mit oder ohne Zwischenringe, bildet die Verbindung zwischen Mikroskop und Scan-Kamera. Die Verbindung von der Scan-Kamera zum Rechner erfolgt über das mitgelieferte Kabel zur ebenfalls mitgelieferten Framegrabberkarte, die in einem Steckplatz im Rechner untergebracht wird.

Die Software übernimmt die Initialisierung der Kamera.

Wie aus der Bezeichnung Scan-Kamera bereits hervorgeht, wird das Bild des Objekts durch zeilenweises Abrastern erzeugt. Die Kamera benötigt für diese Abrasterung einige Minuten, so daß Momentaufnahmen von sich bewegendem Objekten nicht möglich sind. Aus diesem Grund muß das Mikroskop einen ausreichend stabilen Fuß besitzen, sonst treten bei starken Vergrößerungen Erschütterungen auf, hervorgerufen durch den Scannermotor. Der Autor verwendete ein Mikroskop der Baureihe BH der Firma Olympus (Abb. 1).

Eine konstante Beleuchtung im Mikroskop ist unbedingt erforderlich. Bereits die 50 Hz des Netzwechselstroms ergeben störende Strichmuster und sollten durch eine stabilisierte Gleichstromversorgung vermieden werden. Zur kontrastreichen Darstellung der gefärbten Mikropräparate ist ein Grünfilter zu empfehlen. Für die nach Giemsa gefärbten Chromosomenpräparate verwendete der Autor ein Interferenzfilter von 543 nm (Abb. 2).

Die Scharfeinstellung des Bildes mit dem eingebauten Sucher ist abhängig von der Dioptrienzahl der Augen des Beobachters und sollte mittels einer auf Wunsch gelieferten Software zur

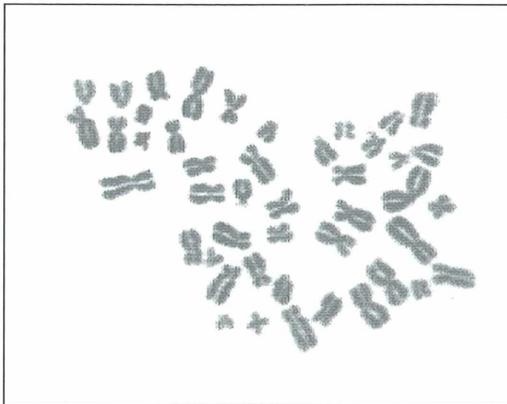


Abb. 2: Chromosomen aus einem Rattentumor.

Scharfeinstellung (Fokussierung) korrigiert werden (Abb. 4). Unter Berücksichtigung dieser Hinweise ist es möglich, einwandfrei gescannte Fotos zu erhalten. Für technisch interessierte Leser möge die folgende Information von Interesse sein:

Jede Scan-Zeile beinhaltet 2592 Elemente, die in 3272 Scan-Schritten das Bild abtastet, so daß sich eine Maximalauflösung von 8,84 Millionen Bildpunkten bei 256 Grauwerten ergibt.

Die eingescannten Bilder können problemlos als \*.pcx, \*.tif usw. Files abgespeichert oder mittels der mitgelieferten Software weiter bearbeitet werden. Denken Sie aber bitte auch an den Speicherbedarf auf Ihrer Festplatte. Der Experimentierfreudigkeit sind keine Grenzen gesetzt; doch auch hier gilt: Übung macht den Meister, der Autor ist auch gern bereit, Hilfestellung zu geben.

Das mitgelieferte Handbuch beantwortet alle auftretenden Probleme.

Wer als computerbewaffneter Graustufenfotograf der essigsaurigen Dunkelkammer endgültig adieu sagen will, findet in der PrakticaScan ei-

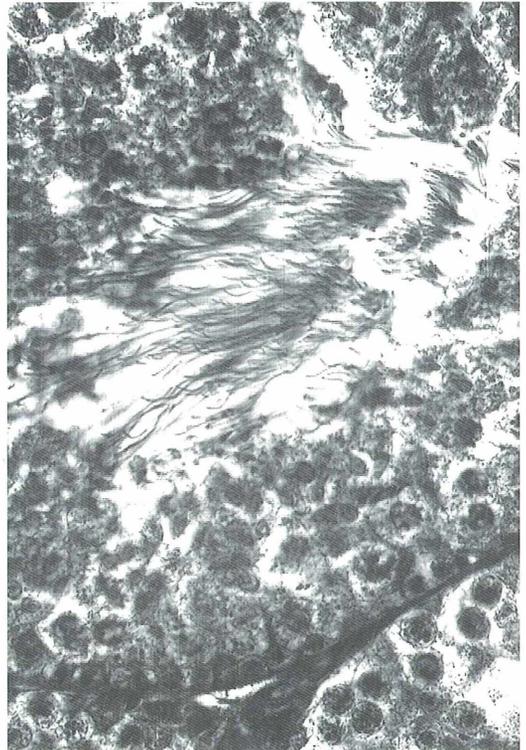


Abb. 3: Ausschnitt aus einem Hamsterhoden.

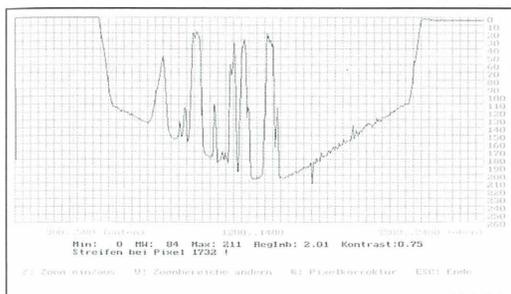


Abb. 4: Focustest.

ne ebenso preiswerte wie professionelle Lösung, um hochwertige, digitale Mikroaufnahmen zu produzieren.

Der Autor ist gerne bereit, Fragen bezüglich der Kamera und ihrer Anwendung zu beantworten.

### Bezugsadressen für Bildverarbeitungsprogramme

**Ad Oculos, Image Pro Plus, PCprocess-M:** MATRIX Vision GmbH, Talstr. 16, 71570 Oppenweiler

**Image P2:** H & K Meßsysteme GbR, Köpenicker Str. 325, 12555 Berlin

**OPTIMAS:** Stemmer, PC-Systeme GmbH, Gutenbergstr. 11, 82178 Puchheim

**Picture Base:** Bilddatenbank, CHEOPS, Bildverarbeitung GmbH, Jeschkenstr. 32, 82538 Geretsried

**VisiLab 1.0:** Graphikon GmbH, Mandelstr. 16, 10409 Berlin

**Visual Workshop for Image Processing:** Leutron Vision Systemhaus GmbH, Maisacherstr. 27a, 82216 Gernlinden

### Literaturhinweise

Kürten, S.: Digitale Bildverarbeitung in der Mikroskopie. Mikrokosmos 84, 111–115 (1995).

*Verfasser:* Prof. Dr. h. c. Siegfried Kürten, Niersteiner Str. 6, D-14193 Berlin

## Kurze Mitteilungen

### Pollenschläuche in Herbarmaterial

Taxonomische Untersuchungen sind häufig auf getrocknetes Pflanzenmaterial angewiesen, wie man es in Herbarien vorfindet. Für biosystematische Studien benötigt man jedoch auch Informationen über das Fortpflanzungssystem. Diese sind aber an totem Material nicht zu gewinnen. Oft stammen auch die untersuchten Pflanzenarten aus fernen Ländern, so daß man sie nicht im Versuchsgarten aufziehen kann. In den letzten Jahren hat man aber versucht, auch das Androezeum und das Gynoezeum von getrockneten Blüten zu untersuchen, um so einige Informationen über das Fortpflanzungsverhalten zu bekommen. Dabei hat sich der Pollen-Samenanlagen-Index (P:O-ration, pollen-ovule ratio) als hilfreich erwiesen, da er einige Schlußfolgerungen auf das Fortpflanzungssystem zuläßt. So läßt sich aus dem Prozentsatz der gekeimten Pollenkörner auf der Narbe von getrockneten Blüten eine direkte Korrelation zum Fortpflanzungssystem nachweisen. Dazu

waren natürlich vergleichende Untersuchungen an frischem und an getrocknetem Material der gleichen Pflanzenart vorausgegangen.

Die Benutzung des Fluoreszenzmikroskopes zum Nachweis von Pollenschläuchen in Narbe und Griffel hat neue Möglichkeiten eröffnet. Dabei wird das im Pollenschlauch niedergeschlagene Polysaccharid Kallose, das in der Schlauchwand und als Kallosepfropfen vorliegt, sichtbar gemacht. Da Kallose sich auch in getrocknetem Pflanzenmaterial über Jahre hält, konnte sie im Herbarmaterial als Indikator für die Anwesenheit von Pollen und Pollenschläuchen benutzt werden.

Die Methodik ist ziemlich einfach: Die aus den getrockneten Blüten herausgezupften Griffel werden zunächst für einige Minuten in kochendes Leitungswasser gelegt, so daß sie ihre ursprüngliche Form und Größe teilweise wiedererlangen. Gleichzeitig wird das Gewebe aufgehellt und damit die weitere Manipulation vereinfacht. Sehr dünne und kleine Griffel brauchen nicht gekocht zu werden. Alkoholfixierung ist nicht notwendig.

Zur Färbung werden die Griffel zunächst etwa 18 h lang in 8 N Natronlauge aufgehellt, in Leitungswasser abgespült, in Tris-Glyzerin-Puffer überführt und mit Toluidin-Blau (0,01 %) 10 min lang gefärbt. Dann werden die Griffel 22 h lang in entfärbte Anilin-Blau-Lösung eingelegt. Bereits nach 4 h können die angefärbten Pollenschläuche im Mikroskop beobachtet werden. Sogar in 50 Jahre altem Herbarmaterial konnten Pollenschläuche gesehen werden, wenngleich sie etwas blasser waren als in frischem Material. Die Tiefe des Eindringens der Schläuche in den Griffel ist ein Hinweis auf das

Fortpflanzungssystem: Vorwiegend autogame Arten weisen eine größere Anzahl Schläuche im unteren Griffelabschnitt auf, während vorwiegend xenogame Arten insgesamt weniger Pollenschläuche besitzen, diese aber vorwiegend in der oberen Hälfte des Griffels vorliegen.

Plitmann, A.: Assessing functional reproductive traits from herbarial material: the test case of pollen tubes in pistils of Polemoniaceae. *Taxon* 43, 63–69 (1994).

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

## Wie lange bleiben Samen keimfähig?

An natürlichen Standorten gelangen, zum Beispiel durch die Bodenbearbeitung wie Pflügen, stets Samen in tiefere Bodenschichten, von wo aus sie die Oberfläche aus eigener Kraft nicht erreichen können, um zur Keimung zu gelangen. Dieser natürliche Vorrat des Bodens an Samen wird in Anlehnung an einen englischen Fachausdruck als Samenbank beschrieben. Besser wäre im Deutschen die Bezeichnung Saatgutpotential im Boden. Es ergibt sich nun die Frage, wie lange solche Samen lebensfähig bleiben. Man kann das Saatgutpotential des Bodens vergleichen mit der Lebensfähigkeit von Samen, die unter mehr oder weniger kontrollierten, trockenen Bedingungen aufbewahrt worden sind, wie dies z. B. in Samensammlungen und in Herbarien der Fall ist. Es gibt eine umfangreiche Literatur zur Lebensfähigkeit von Samen (Milberg, 1990). Daraus kann man sehen, daß die Keimkraft der Samen im Boden im allgemeinen schneller abnimmt als von Samen, die unter trockenen Bedingungen aufbewahrt wurden. Es gibt nur wenige Pflanzenarten, deren Samen noch nach einem halben Jahrhundert Verbleib im Boden einige Prozente Keimkraft bewahrt haben, z. B. der Krause Ampfer (*Rumex crispus*, nach 80 Jahren noch 2 %), die Moschus-Malve (*Malva moschata*, nach 60 Jahren etwa 1 %), die Gewöhnliche Nachtkerze (*Oenothera biennis*, nach 80 Jahren 10 %), die Schaben-Königskerze (*Verbascum blattaria*, nach 100 Jahren 42 %), die kleinblütige Königskerze (*V. thapsus*, nach 100 Jahren 2 %). Kürzlich konnten von trocken

aufbewahrten Samen des Böhmisches Storchschnabels (*Geranium bohemicum*) nach 83 Jahren noch 25 %, nach 129 Jahren drei von zehn Samen zur Keimung gebracht werden. Wichtig war, daß es sich dabei um gesunde, nicht infizierte Samen mit sehr harter Samenschale handelt, die durch Vorbehandlung mit heißem Wasser (90 °C, in 3–4 Stunden auf Zimmertemperatur abgekühlt) durchlässig gemacht werden mußte, so daß die Samen quellen konnten. Es gibt allerlei Angaben über sehr alte und dennoch keimfähige Samen; nicht alle sind zuverlässig. Einige gut belegte Berichte sind zu nennen. So hat man im Grundstein des ehemaligen Nürnberger Stadttheaters 1957 beim Wiederaufbau 125 Jahre alte Karyopsen von Gerste (*Hordeum sativum*) und Hafer (*Avena sativa*) aufgefunden – und diese noch zur Keimung bringen können. Die ältesten bekannten, noch keimfähigen Samen stammen vom Blumenrohr (*Canna compacta*); man hat diese bei einer archäologischen Grabung in Argentinien gefunden. Auf Grund von Radiokohlenstoffdatierung konnte deren Alter mit  $620 \pm 60$  Jahren ermittelt werden. Die Berichte über noch keimfähigen Mumienweizen waren nicht verifizierbar.

Milberg, P.: Hur länge kan ett frö leva? *Svensk Botan. Tidskr.* 84, 323–352 (1990).

Milberg, P.: Germination of up to 129-year old, dry stored seeds of *Geranium bohemicum* (Geraniaceae). *Nordic Bot.* 14, 27–29 (1994).

Aufhammer, G., Simon, U.: Die Samen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Grundstein des ehemaligen Nürnberger Stadttheaters und ihre Keimfähigkeit. *Acker- und Pflanzenbau* 103, 454–472 (1957)

H. F. Linskens, Nijmegen (Niederlande)

## Buchbesprechungen

**Düll, R. Exkursionstaschenbuch der Moose.** IDH-Verlag, Bad Münstereifel, 1993, 4. verbesserte, ergänzte Auflage, 338 Seiten, 70 Tafeln, broschiert, DM 49,00, ISBN 3-925425-00-4.

Als „Eine Einführung in die Mooskunde mit besonderer Berücksichtigung der Biologie und Ökologie der wichtigsten Moose Deutschlands und für die Lupenbestimmung der leicht erkennbaren Arten im Gelände.“ erschien nun in 4. Auflage ein Buch, das einer der besten Mooskenner Deutschlands speziell für denjenigen geschrieben hat, der eine verständliche, bei der Artenfülle noch übersichtliche und dennoch fundierte Anleitung sucht. Auf 50 Seiten wird zunächst eine knappe, aber informationsdichte Hinführung zum Thema geboten. Biologie, Schutzwürdigkeit, Nutzen, ökologische Bedeutung, Verbreitung, Methodik der Bestimmung und Herbarisierung, Systematik und Stammesgeschichte werden angesprochen, wobei die persönliche Erfahrung des Autors in viele Abschnitte einfließt. Weitere 50 Seiten entfallen auf eine ausführliche Erklärung der vorkommenden Fachausdrücke und den dichotomen Schlüssel nach Lupenmerkmalen. Angaben zu Größe, Ökologie und Färbung erleichtern neben den anatomischen Details die Bestimmung der in diesem Buch aufgenommenen typischen Vertreter. Querverweise sichern ein Ergebnis ab. Der spezielle Teil umfaßt die ausführliche Darstellung der im Schlüssel vertretenen Arten, angeordnet nach dem z. Zt. gültigen System. Die Besprechung jeder Art beginnt mit ausführlichen Hinweisen zur Anatomie und zur Ökologie mit Zeigerwerten. Unter „Besonderes“ steht darüber hinaus Interessantes und Wissens-

wertes. Es folgen ähnliche Arten mit hervorgehobenen Unterschieden zur Leitart. Ganzseitige Tafeln mit Strichzeichnungen ergänzen die Artbeschreibungen. Den Schluß des Buches bilden Tabellen mit Verbreitungs- und Häufigkeitsangaben aller in Deutschland bisher gefundenen Moosarten, ein kurzes Literaturverzeichnis mit Hinweisen auf weiterführende Schriften und ein Register mit den lateinischen (inklusive gebräuchlichen Synonymen) und deutschen Namen. Von den fast 1000 in Deutschland registrierten Arten behandelt der Autor 142 ausführlich und weitere 281 kurz. Da sich schon im Gelände viele davon mit diesem Buch sicher zuordnen lassen, sollte es jeder botanisch Interessierte zur Hand haben. Der Titel „Exkursionstaschenbuch“ besteht zu Recht.

Klaus von der Dunk, Hemhofen

### **Herder Lexikon der Biologie.**

Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1994, 10 Bände mit je etwa 480 Seiten, 450 farbige Bildtafeln, 5000 Abbildungen, über 2000 Tabellen, Softcover, DM 598,00, ISBN 3-86025-156-2

Das zehnbändige Lexikon der Biologie liegt bereits als gebundene Version vor und bedarf aus diesem Grund kaum noch einer Vorstellung. Dieses Lexikon bietet in kompakter Weise auf allen Gebieten der Biologie den aktuellen Wissensstand. Die Erklärungen der einzelnen Begriffe sind verständlich geschrieben. Querverweise und Literaturangaben ermöglichen das vertiefte Studium einzelner Aspekte. Der Registerband erleichtert die Suche nach dem passenden Stichwort. Ein

derartiges Lexikon kann besonders den Studentinnen und Studenten der Biologie und Medizin als Grundstock der eigenen Bibliothek und als Studienbegleiter wärmstens empfohlen werden. Der relativ niedrige Preis erlaubt gerade dieser Zielgruppe die Anschaffung des Nachschlagewerks. Aber auch nach Abschluß des Studiums wird sich dieses Lexikon als Quelle schneller, kompakter Information bewähren. Eine lohnende Investition, die durch die regelmäßig herausgegebenen Ergänzungsbände noch über viele Jahre hinweg ihre Aktualität nicht einbüßen wird.

Annett Burzlaff, Berlin

### **Sommer, U.: Planktologie.**

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1994, XII, 274 Seiten, 117 Abbildungen, broschiert, DM 58,00, ISBN 3-540-57676-2.

Planktonorganismen haben gerade für Mikroskopiker ihren besonderen Reiz, überraschen sie doch immer wieder mit einer ungewöhnlichen Formenfülle und zudem mit äußerst ansprechenden, weil recht bizarr erscheinenden Kleinstrukturen. Aber auch im Naturhaushalt fällt den Planktonern eine sehr bemerkenswerte Rolle zu, denn Planktonbiozöosen sind die im globalen Maßstab am weitesten verbreiteten Lebensgemeinschaften. Erstmals wird hier diesem faszinierenden Thema ein umfassendes und aktuelles Lehrbuch gewidmet, in dem alle wichtigen Teilbereiche von der physiko-chemischen Lebensraumbeschreibung der Plankter über Form-/Funktionsbeziehungen, Ernährungsweisen und Populationsdynamik bis zur Einbindung in weiträumige Stoffzyklen weltweit der Ausmaße zusammengefaßt

werden. Angesichts der Allgemeingültigkeit vieler übergeordneter Zusammenhänge behandelt das Buch konsequenterweise Süßwasser- und Meeresplankton gemeinsam. Ein außerordentlich themenreiches Lehrbuch mit hervorragend aufbereiteter Faktenfülle, welche für die eigene Beobachtungs- und Untersuchungspraxis eine Menge nützlichen Wissens bereithält. Vielleicht hätte – um dem behandelten Gegenstand noch angemessener zu sein – die äußere Gestaltung etwas betont animativer ausfallen können.

Thomas Waßmann, Bonn

**Seckbach, J. (Hrsg.): Evolutionary Pathways and Enigmatic Algae: *Cyanidium caldarium* (Rhodophyta) and Related Cells.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994, 349 Seiten, zahlreiche Tabellen und Abbildungen, gebunden, DM 250,00, ISBN 0-7923-2635-0.

Mikroorganismen faszinieren, wie Mikroskopiker wissen, nicht nur durch schöne Formen, sondern häufig auch durch sehr ungewöhnliche Lebensweisen. Der vorliegende Sammelband ist einem Einzeller gewidmet, der weltweit verbreitet ist und nur in schwefelsauren, heißen Vulkanquellen vorkommt. Man hat ihn früher zu den Cyanobakterien, dann zu den Grünalgen oder Cryptophyceen gestellt und ordnet ihn heute aus gutem Grunde wieder den Rotalgen zu. *Cyanidium caldarium* ist ein sehr auffälliger Vertreter seiner Klasse, über den in letzter Zeit annähernd 1000 Veröffentlichungen erschienen sind. Dieser Band fasst die moderne Forschung über diese Alge zusammen. Der Herausgeber, der selbst grundlegende Originalarbeiten über *Cyanidium* beigezeichnet hat, konnte für den Sammelband namhafte Fachautoren gewinnen. In 22 Kapiteln wer-

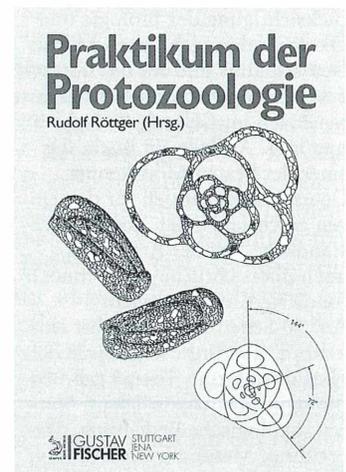
den die zellbiologischen, morphologischen, biochemischen und ökologischen Eigenheiten dieser Spezies (sowie einiger vergleichbar exotischer Algenarten oder der auch im MIKROKOSMOS schon einmal näher vorgestellten Glaucocystophyceae) abgehandelt. Besonders aufschlussreich und verständlicher Weise auch teilweise kontrovers sind die Diskussionen zur phylogenetischen Stellung von *Cyanidium*, die der Buchherausgeber gerne als Brückenorganismus zwischen Pro- und Eukaryoten bezeichnet und die sicher ganz nahe der Basis der Rotalgenentwicklung steht. Ein bemerkenswertes, informationsreiches Buch, das insbesondere für Algenspezialisten eine reiche Fundgrube neuester Befunde und Deutungen ist.

Bruno P. Kremer, Köln

**Röttger, R. (Hrsg.): Praktikum der Protozoologie.** Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1995, 227 Seiten, 462 Abbildungen, kartoniert, DM 58,00, ISBN 3-437-30754-1.

Das vorliegende Werk greift die Tradition eines zu Beginn dieses Jahrhunderts unter gleichem Titel und im gleichen Haus erschienenen, sehr erfolgreichen Praktikums auf: Der Kieler Protozoologe Rudolf Röttger hat die komplexe Aufgabe übernommen, für dieses Vorhaben eine beträchtliche Anzahl renommierter Fachautoren zu gewinnen. In 25 Einzelbeiträgen behandeln diese bemerkenswerten und wichtige Verwandtschaftsgruppen von den Flagellaten über die Foraminiferen, Heliozoen, Gregarinen, Haemosporidien und Ciliaten bis zu den Suctorien und Tintinniden. In diese Revue allgemein interessierender und wichtiger Einzeller wurden sinnvollerweise auch Chrysophyceen, Dinoflagellaten oder Euglenophyceen und damit

Formenkreise aufgenommen, von denen zahlreiche im allgemeinen als Algen angesehen werden. Wie der Herausgeber im Einführungskapitel zu Recht betont, sind die autotrophen und heterotrophen Einzeller gemeinsame Basisgruppen aller höheren Organismen; eine orthodoxe systematische Trennung in Protozoen und Protophyten (einzellige Algen) ist schon allein wegen zahlreicher Gemeinsamkeiten der Zellorganisation nicht mehr zeitgemäß.



Die einzelnen Buchkapitel bieten jeweils Kurseinheiten mit einer abgerundeten Kennzeichnung der jeweiligen Verwandtschaftsgruppe in Text und detaillierten Bildtafeln an. Sie gehen ferner auf die Ökologie der behandelten Taxa ein, geben Hinweise zur Materialbeschaffung oder über besondere mikroskopische Bearbeitungsverfahren. Von daher ist das Buch für den Einsatz in Unterricht und das Selbststudium exzellent gerüstet. Für Mikroskopiker, die naturgemäß ein besonderes Faible für die eigenartige Welt der einzelligen Lebewesen haben, ist das neue „Praktikum“ zweifellos eine ungemein wertvolle Fundgrube, aus der zahlreiche Anregungen für die intensivere Beschäftigung mit den Protisten im weitesten Sinne zu schöpfen sind.

Patrick Haller, Köln

## Aus den Arbeitsgemeinschaften

### **An alle Arbeitsgemeinschaften**

**Um in Heft 84/6 wieder eine Übersicht der aktuellen Kontaktadressen aller Mikroskopischen Vereinigungen abdrucken zu können, informieren Sie uns bitte bis spätestens Mitte September, wenn sich Anschrift, Treffpunkt oder Termine geändert haben.**

## Mikro-Markt

**Kleinanzeigen im MIKRO-MARKT** kosten DM 20,- (bis 4 Zeilen); jede weitere Zeile DM 5,-. Chiffregebühr DM 5,-. Senden Sie Ihren Anzeigenauftrag an den: GUSTAV FISCHER VERLAG, Anzeigenabteilung, Postfach 7201 43, 70577 Stuttgart.

**Verkaufe** zweiarmige Schott-Kaltlichtleuchte sowie von Zeiss: Binokularer Fototubus mit Schiebepisma 30°; Leuchte 60 komplett, Glarex-Projektionsaufsatz sowie binokulares Standard-Mikroskop mit Phasenkontrast. Tel. 070 73/39 98

**Verkaufe:** 1. Optik/Zubeh. (Zeiss Germany/Op-ton/Jena), 2. s.v. Literatur (Mikroskopie/Botanik/Pilze/Plankton etc.), 3. alte Prospekte/Kataloge (Zeiss G./O./J., Leitz, Hertel & Reuss etc.), 4. Mikrokosmos 81-95 (kompl. DM 675,-) – Chiffre 495-2

**Verkaufe gegen Gebot: American Optical** Stereozoom -150X. **Reichert Fluoropan**, Glycerinimmersionsobjektive, Auf-Durchlichtfluoreszenz. **Zeiss Phomie II**, Hellfeld, Phase, wahlw. DIK, Sonderbeleuchtung für Durchlichtfluoreszenz. **Zeiss Phomie III**, Hellfeld, Phase, wahlweise DIK. **Zeiss IM**, Invertmikroskop, Hellfeld, Phase, DIK, Fluoreszenz, Trinokular mit OM4, seitlicher Videoausgang. **Zeiss Dikeinrichtung**, Schieber, Zwischenringe, Objektive. **Zeiss-Diskussionswürfel**. Geräte in erstklassigem Zustand, Liste anfordern. Chiffre 495-1

**Mikroskopische Präparate** aus Zoologie und Botanik in **besten Qualität direkt vom Hersteller**. Wir liefern auch **Semi-Dünnschnitte** (1 µm). Bitte Liste anfordern. Labor f. mikroskop. Technik u. mikroskop. Fotografie Ingrid Neureuther, Brentanostr. 7a, 85055 Ingolstadt, Tel.: 08 41/5 43 98. FAX: 08 4 1/5 68 53

**Probleme beim Ausbau des Mikroskops?** Unsere Liste „Zubehör für die Mikroskopie und Mikrofotografie“ enthält die passende Optik und viele Bauteile. In unserer „Präparate-Liste“ finden Sie u.a. auch Test-Präparate zur Überprüfung des Leistungsvermögens Ihres Mikroskops.  
**R. Göke, Bahnhofstraße 27, 58095 Hagen, Telefon 0 23 31/3 17 54.**

**Histor. Messing-Mikroskope** (vor 1900). Informativ Fotoliste auf Anfrage. Björn Kambeck 05 11/ 80 17 48, Fax 88 90 60

**Anwender aufgepaßt!** Handgefertigte Micro-Präzisionswerkzeuge für alle Arbeiten unter dem Mikroskop. Möchten Sie mehr wissen? Mikrotechnik Herbst, Nerotal 16, 65193 Wiesbaden, Tel.: 06 11/ 59 01 15. FAX: 06 11/59 06 35

Wir liefern aus dem PZO-Programm:

**Kursmikroskop STUDAR**  
**Labormikroskop STUDAR-lab**  
**Universalmikroskop BIOLAR**  
**Großfeld-Stereomikroskope**  
**MST 131/132**

Mikroskopische Optik und Mikrofotografische Geräte

**R. Göke - Mikroskope**  
**Bahnhofstraße 127, D-58095 Hagen**  
**Telefon 0 23 31 / 3 17 54**

Verkaufe **Leitz Objektive**, neuwertig für Tubuslänge 170 mm, NPL und PLFL, Phaco und Hellfeld. **Okulare** PPGF und GW, Pol-Analysator Schieber, Plezy-Zwischenringe. Für Tubuslänge 160 mm: NPL Fluotar 10 Ph, 40 Ph. Tel.: 0 40/5 20 21 07

Verkaufe versch. **Leitz Forschungsmikroskope** (schwarz) + MPV-Photometer. Angebote und Anfragen unter Chiffre 495-3

**AB SOFORT: NEUER DIN A4 PRODUKTKATALOG "MICRO/MACRO"**

100 Seiten: Mikroskope - Teleskope - Sonderoptik (Schutzgebühr DM 10.-)

**BW OPTIK DIREKTVERSAND unschlagbar PREISWERT**

Langner-Voss • Lindenstraße 52 • D-45894 Gelsenkirchen TEL. / FAX 0209 / 39 47 45



1. Der MIKROKOSMOS veröffentlicht Aufsätze, Übersichtsbeiträge, Erfahrungsberichte, Kurzmitteilungen, Hinweise auf interessante neue Arbeitsverfahren oder Präparationsanleitungen sowie technische Innovationen aus allen Teilbereichen der Mikroskopie. Beiträge, die zur Veröffentlichung angeboten werden, dürfen nicht gleichzeitig anderweitig zum Druck eingereicht werden.

2. Die Redaktion bittet, Manuskripte grundsätzlich nur maschinenschriftlich auf einseitig beschriebenen, fortlaufend nummerierten DIN A4-Bögen einzureichen. Jede Manuskriptseite sollte mit doppeltem Zeilenabstand beschrieben werden und jeweils 30 Zeilen mit höchstens 60 Anschlägen pro Zeile umfassen. Bitte am rechten Rand des Manuskriptes die ungefähre Platzierung der Abbildungen und Tabellen angeben. Computergeschriebene Manuskripte bitte entsprechend einrichten. Am Ende des Manuskriptes steht die vollständige Autorenadresse.

3. Tabellen und Bildlegenden (beide jeweils fortlaufend nummerieren) bitte nicht in den Haupttext einbauen, sondern als Anhang auf eigenen Manuskriptseiten schreiben.

4. Bildvorlagen sind Farbdias (für die sw-Reproduktion) jeglicher Größe, kontrastreiche sw-Fotos und druckfertig gezeichnete Strichzeichnungen (Graphiken, vorzugsweise in tiefschwarzer Zeichentusche angelegt). Bitte alle Materialien namentlich kennzeichnen. Beschriftungen nur mit Anreibebuchstaben (Endgröße nach Vergrößerung/Verkleinerung der jeweiligen Bildvorlage ca. 3 mm) anbringen. Die Bilder werden in drei verschiedenen Breiten (1spaltig, 1,5spaltig, 2spaltig) reproduziert. Es können mehrere Bilder zu Tafeln kombiniert werden.

5. Alle Bildvorlagen bleiben Eigentum des Autors und werden mit den Korrekturfahnen des Beitrags wieder zurückgesandt.

6. Literaturzitate in alphabetischer Reihenfolge nach folgendem Schema anordnen:

Zitate von Zeitschriftenbeiträgen:  
Kappel, T., Anken, R.H.: Zur Biologie des Schwertträgers *Xiphophorus helleri*. Mikrokosmos 81, 241–244 (1992).

Buchzitate:

Schwoerbel, J.: Einführung in die Limnologie. 5. Aufl., UTB 31, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1984.

Zitate von Buchbeiträgen:

Caspers, N.: Die Insektenfauna im unteren Hochrhein und im Oberrhein – Stand Sommer 1987 In: Kinzelbach, R., Friedrich, G. (Hrsg.): Biologie des Rheins, S. 349–359. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1990.

7. Jeder Autor erhält von seinem Beitrag vor dem Druck eine Korrekturfahne zum Gegenlesen. Korrekturen müssen sich auf Satzfehler beschränken. Umfangreiche Textnachträge oder Umstellungen (Autorenkorrekturen) sind aus Kostengründen nicht möglich. Bei stärkerer redaktioneller Bearbeitung eines Manuskriptes erhält der Autor zuvor eine Kopie des druckfertigen Manuskriptes zur Freigabe.

8. Jeder Autor erhält von seiner im MIKROKOSMOS veröffentlichten Arbeit kostenlos 25 Sonderdrucke sowie ein Belegheft.

9. Der Verlag honoriert jede volle Druckseite mit DM 50,—, Kurzbeiträge bis zu einer halben Druckseite mit DM 25,— und Farbmikrofotos, die auf der Titelseite erscheinen, mit DM 100,—.

10. Text- und Bildbeiträge bitte einsenden an Redaktion MIKROKOSMOS  
Prof. Dr. Klaus Hausmann  
Zoologisches Institut der Freien Universität  
Königin-Luise-Straße 1–3  
14195 Berlin  
(Manuskripte zu zoologischen Themen);  
oder an  
Redaktion MIKROKOSMOS  
Dr. Bruno P. Kremer  
Johann-Henk-Straße 35 a  
53343 Wachtberg  
(Manuskripte zu botanischen Themen).

Mikrokosmos alle Rechte vorbehalten; <http://www.elsevier.de/>

Heft 4/95

1 Bote(6)

300229

Bibliothek des OÖ. Landesmuseum

Museumstraße 14  
4020 Linz

# tragung

ohl des Menschen geht, steht



Mitsubishi Electric der Medizin hilfreich

**BV-2000 E, professioneller S-VHS Video-Recorder**

zur Seite. In Form ausgereifter S-VHS/VHS Video-

Systeme für aussagefähige Live-Übertragungen:

Recorder, Monitore und Printer mit zertifizierter



Med.GV-Qualifikation. Das heißt,

**CP-50 E (H), Farb-Videoprinter**

jede Systemkomponente ist für sich ein

Spezialist, und alle gemeinsam bilden

sie ein perfekt eingespieltes

Team. Sicher in der Unter-

stützung von Diagnosen oder zur



bildbrillanten Dokumentation. Mehr Detail-

**EM-1490 E, Videomonitor**

informationen über die abgebildeten Produkte erhalten

Sie unter der Rufnummer: (021 02) 468-684. Wir sen-

den Ihnen die gewünschten Informationen sofort zu.

 **MITSUBISHI**  
ELECTRONIC VISUAL SYSTEMS

MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE GMBH  
Electronic Visual Systems  
Gothaer Straße 8, D-40880 Ratingen  
Tel. (021 02) 486-684, Fax (021 02) 486-112