



## Corona in Zeitlupe (2)

von den Herausforderungen, die Bewegungen kleiner Organismen zu erfassen

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Fakten lassen sich mit einer handelsüblichen Kamera und wenig aufwendiger Beleuchtung Zeitlupenaufnahmen an Mikroorganismen machen bzw. dokumentieren.

Dabei werden anschließend Beobachtungen vorgestellt, die mit folgenden Eckdaten aufgenommen wurden:

Beleuchtung: Cree XHP 70.2 12V 1000mA >>> 2000 lm

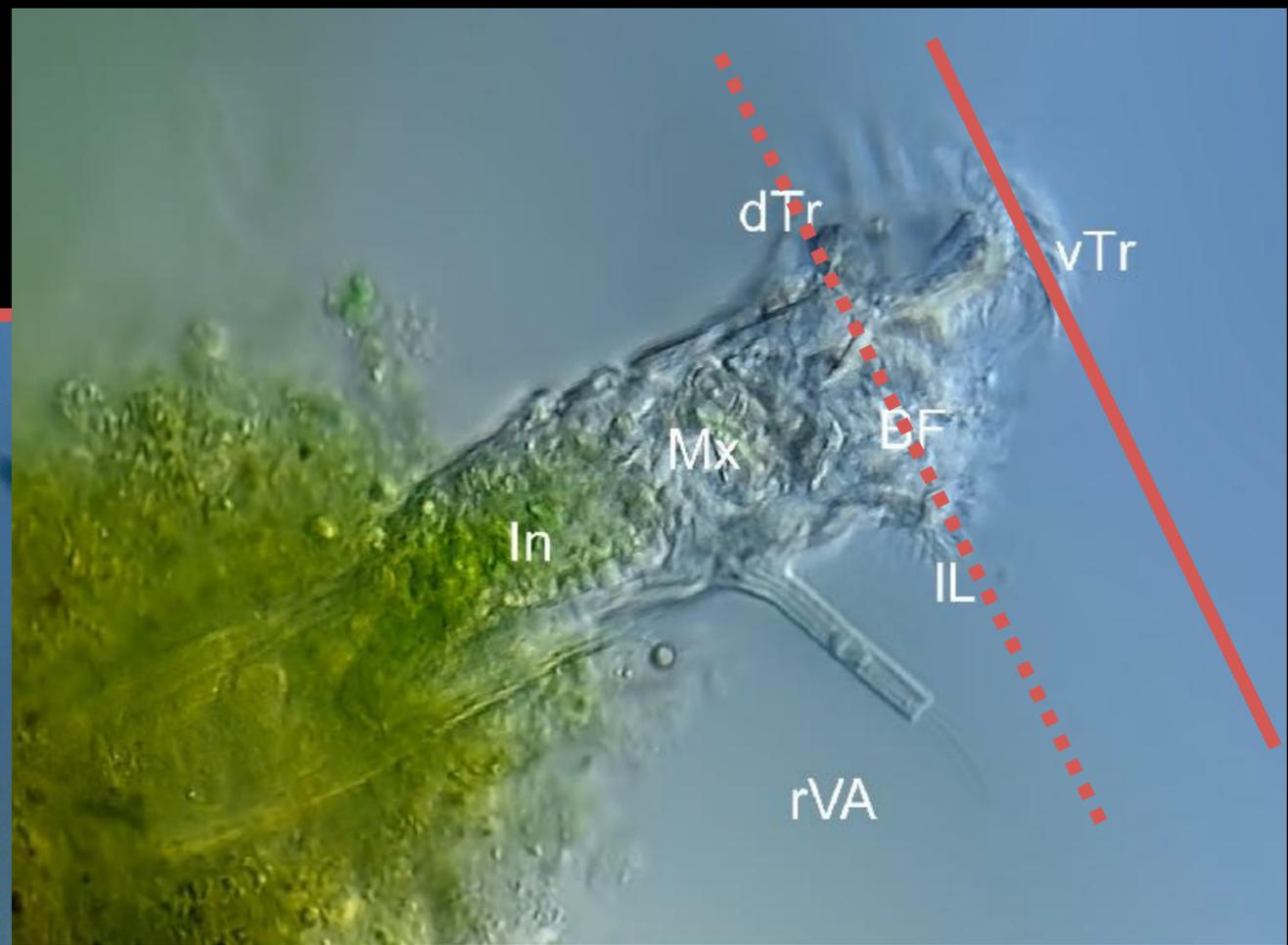
Kontrast: DIC

Video: **FHD** (≈ 2 Mpix!!!) 180 fps ISO 1600 (GH5) >>> Zeitlupe ≈ 7x

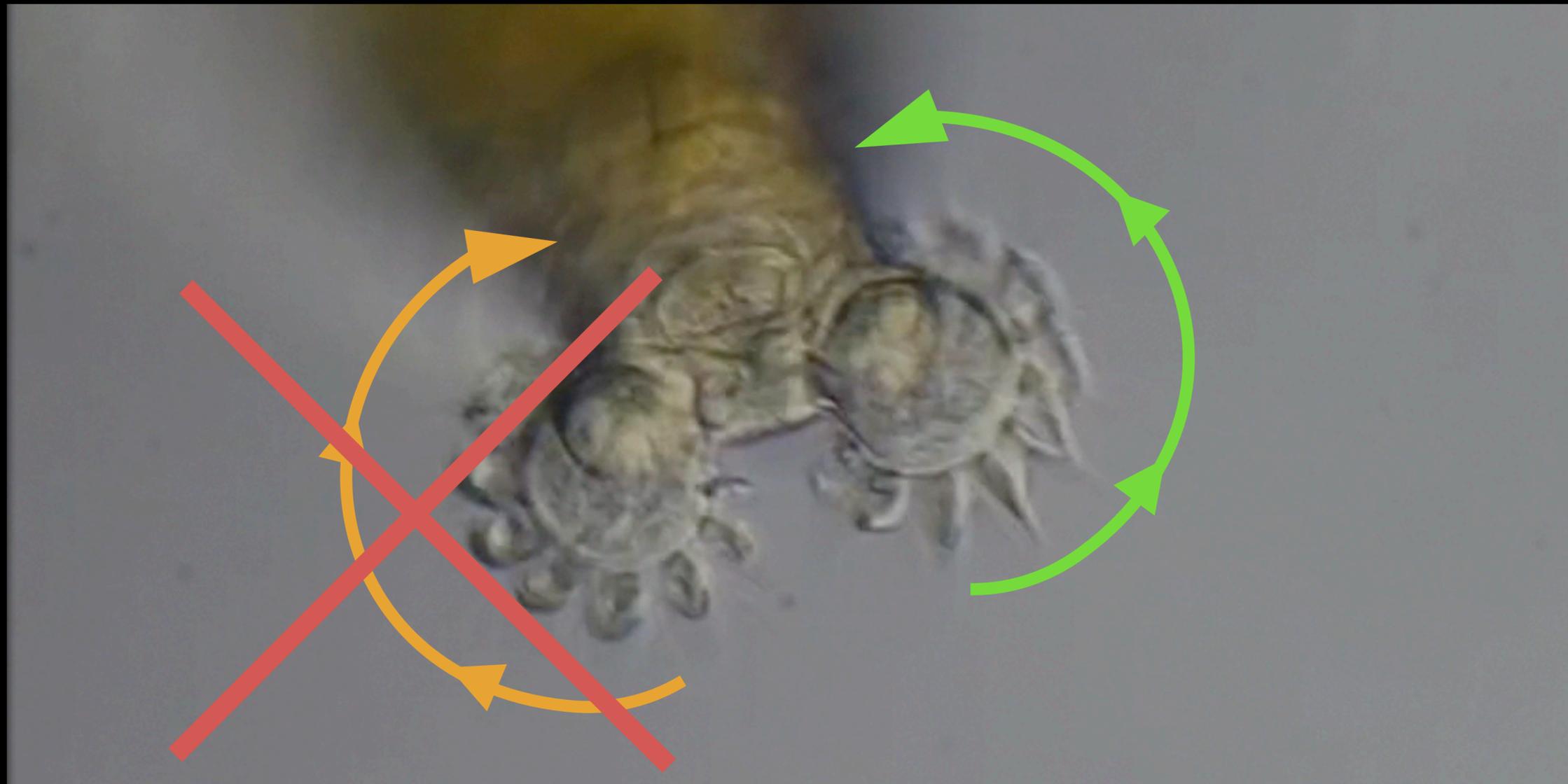
**FHD** (≈ 2 Mpix!!!) 300 fps ISO 3200 (GH6) >>> Zeitlupe ≈ 12x

Editor: DaVinci Resolve (kostenlose Version, sehr komplex; Manual: > 4000!!! Seiten)  
>>> Bild-Ausschnitte; Video-Schnitt, Bildkontrast, Schärfe

Beobachtung 1. die Richtung der metachronen Wellenbewegung ist artspezifisch.

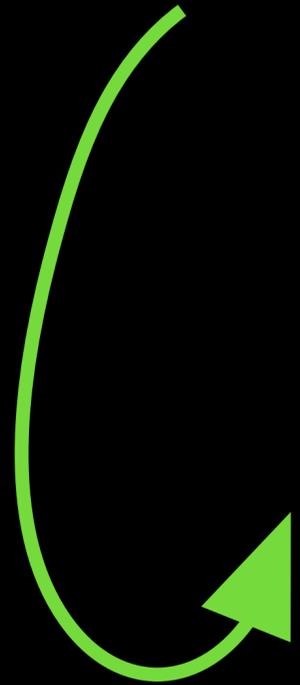


Beobachtung 2. keine Spiegelsymmetrie bei Bdelloiden



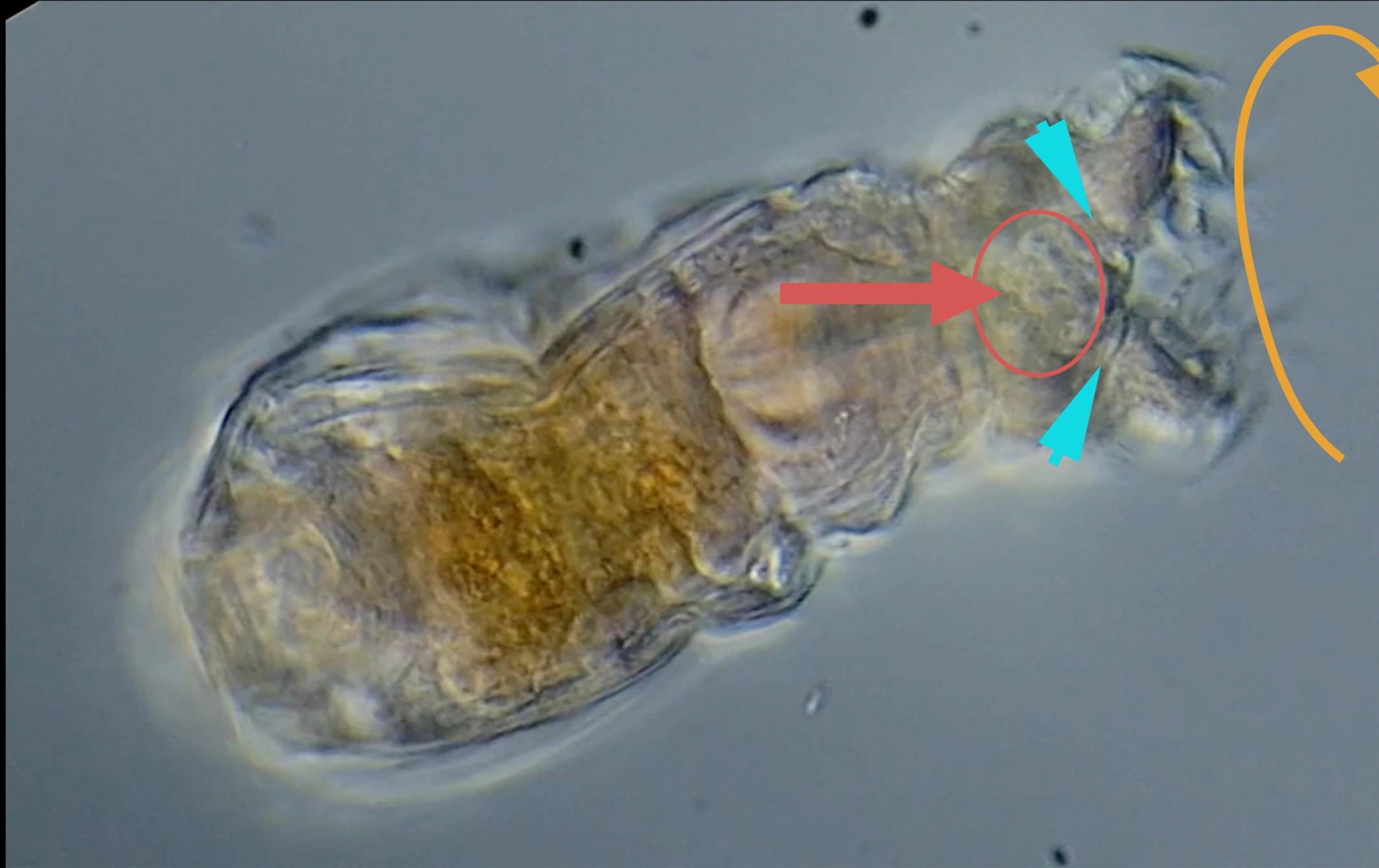
12x langsamer

3. die Richtung der metachronen Wellenbewegung ist für **alle bdelloiden** Rädertiere gleichartig **entgegen** dem Uhrzeigersinn (**GUZS**)



Fokusebene auf die Rückenseite mit **Rüssel** und **Oberlippe**

3. die Richtung der metachronen Wellenbewegung ist für **alle bdelloiden** Rädertiere gleichartig **entgegen** dem Uhrzeigersinn (**GUZS**)



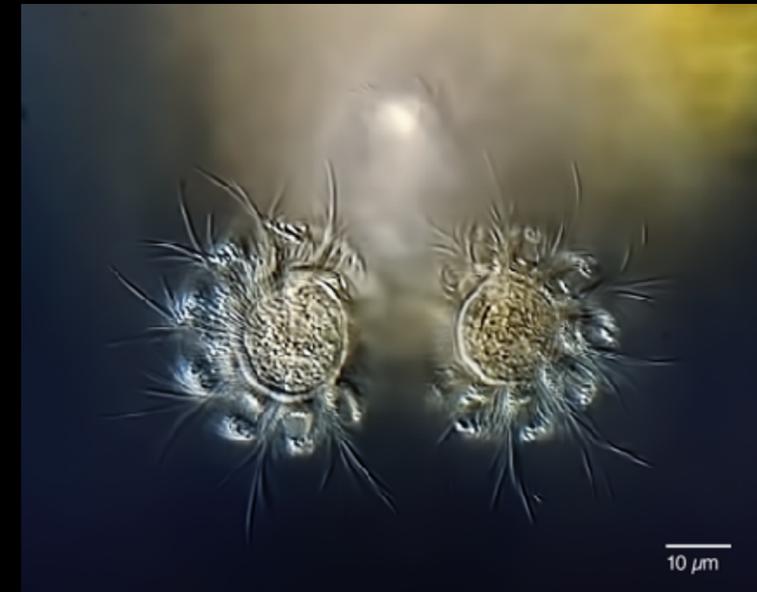
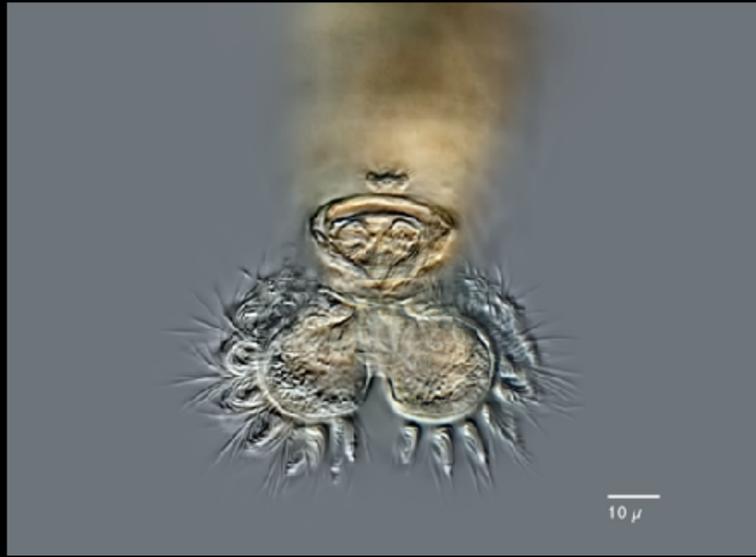
Steht die hier sichtbare **Drehrichtung** ,

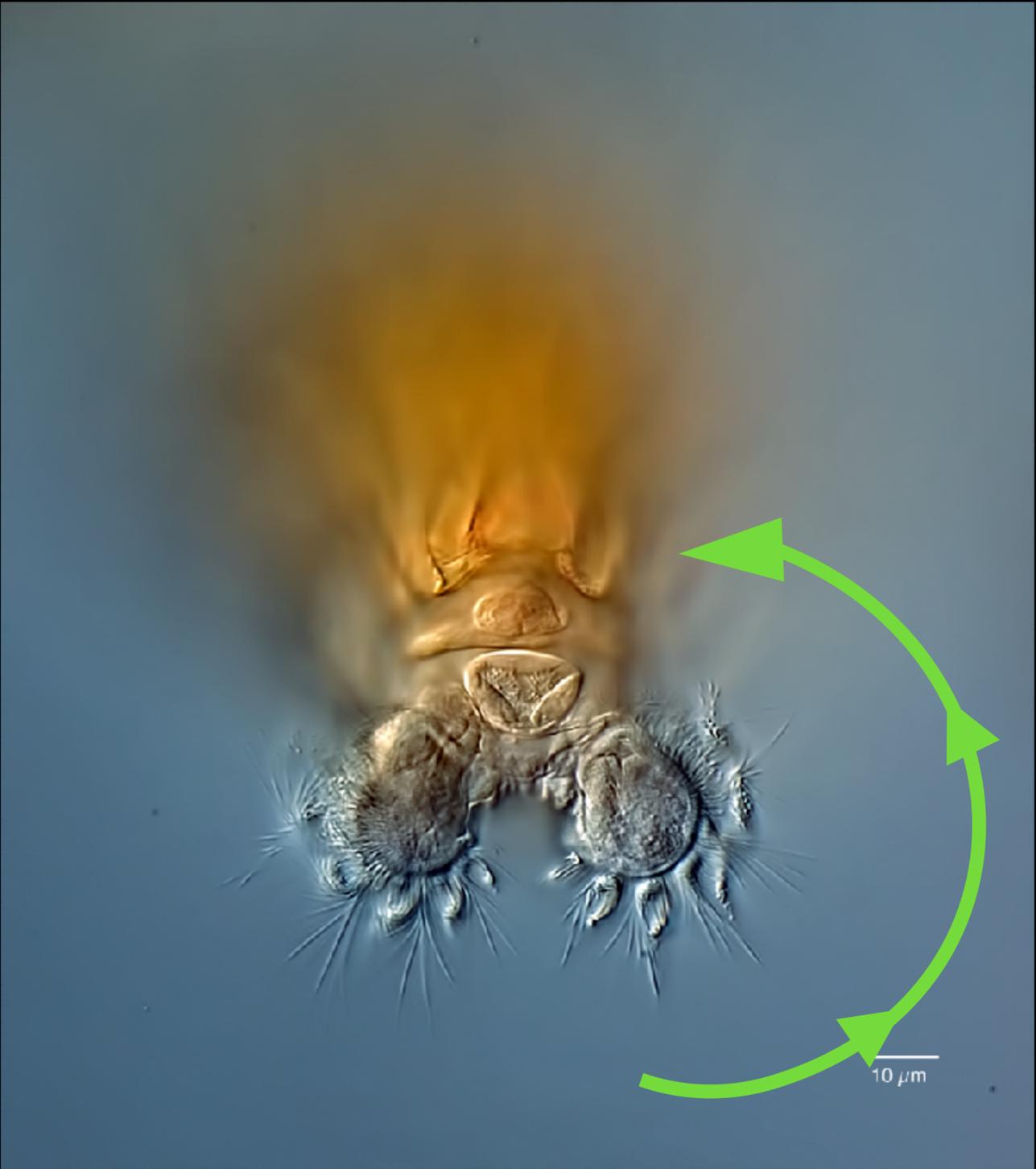
die **im UZS**

verläuft, nicht im **Widerspruch** dazu?

Fokusebene auf die Rückenseite mit **Rüssel** und **Oberlippe** 12x TXp

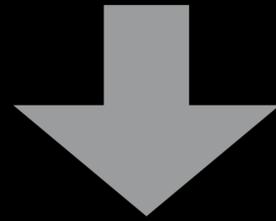
# Wiederholung: Frontalansichten bdelloider Rädertiere



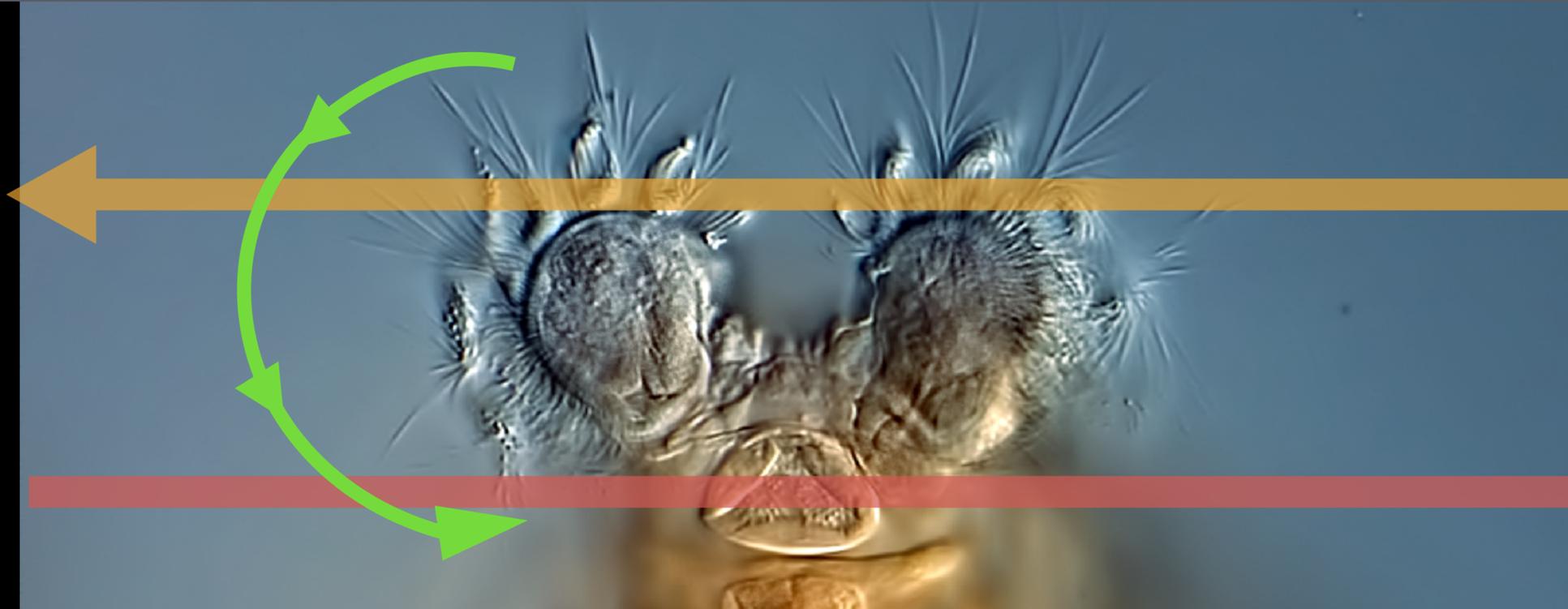


Zur **Dokumentation** der Metachronie müssen Fokusebene und Lage des Organismus bekannt sein

Blickrichtung



Deckglas



**wahrnehmbare** Richtung  
der  
metachronen Wellen:

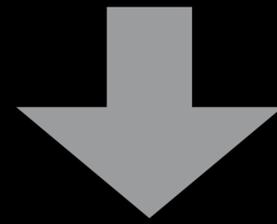
Fokusebene ventral  
**GUZS**

Fokusebene dorsal  
**UZS**

Objektträger

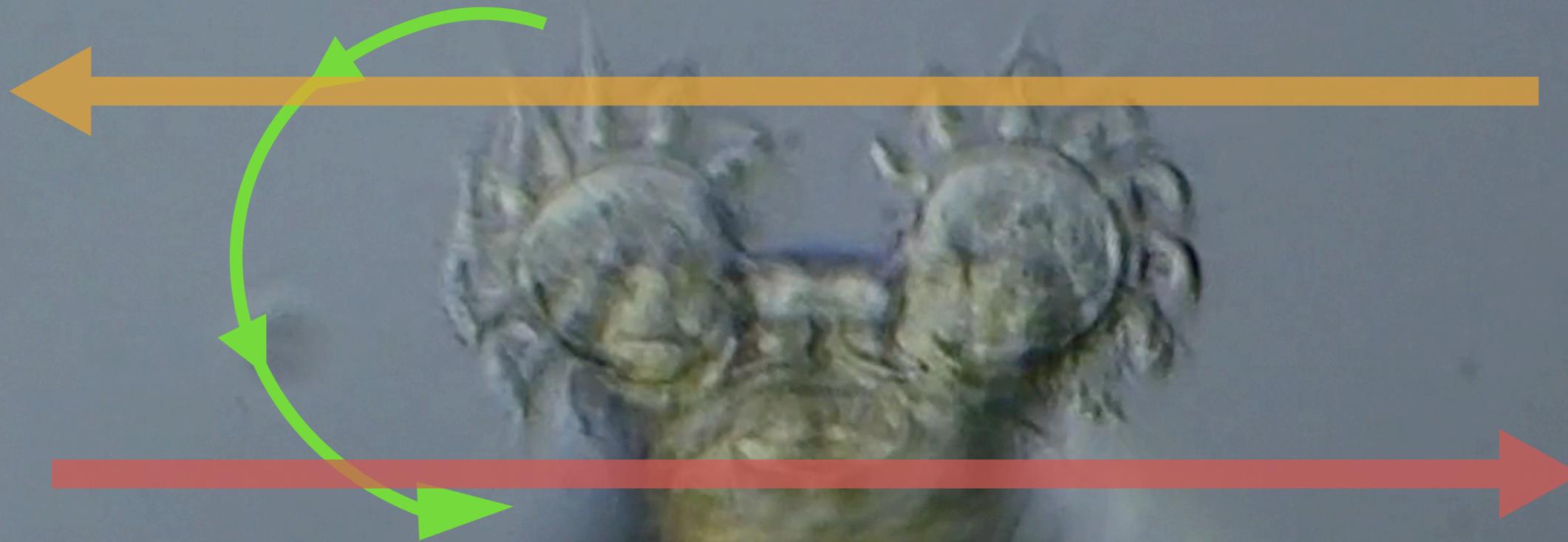
Zur **Dokumentation** der Metachronie müssen Fokusebene und Lage des Organismus bekannt sein

Blickrichtung



**wahrnehmbare** Richtung  
der  
metachronen Wellen:

**Deckglas**



Fokusebene ventral

**GUZS**

Fokusebene dorsal

**UZS**

**Objektträger**

3. Fazit: die Dokumentation der Blickrichtung (und damit der „realen“ Bewegungsrichtung) ist problematisch



reale  
**Drehrichtung**  
**GUZS**  
der metachronen Welle

Fokusebene auf die Bauchseite mit „Unterlippe“ (=Teil vom **Cingulum** )

4. Im Gegensatz zur zuvor gezeigten Philodina verläuft die metachrone Bewegung des Cingulums / Bukkalfelds bei *Abrochtha intermedia* nach **vorn**.
- 4b. Das cirkumapikale Band ist viel stärker ausgeprägt als bei den Philodinida.
- 4c. Die metachrone Bewegung des Cingulums ist bei allen (bisher beobachteten) Rädertieren im Bereich des Bukkalfelds spiegelsymmetrisch



5. Eine Umkehr der Richtung der metachronen Wellenbewegung bei Rädertieren wurde bisher nicht beobachtet

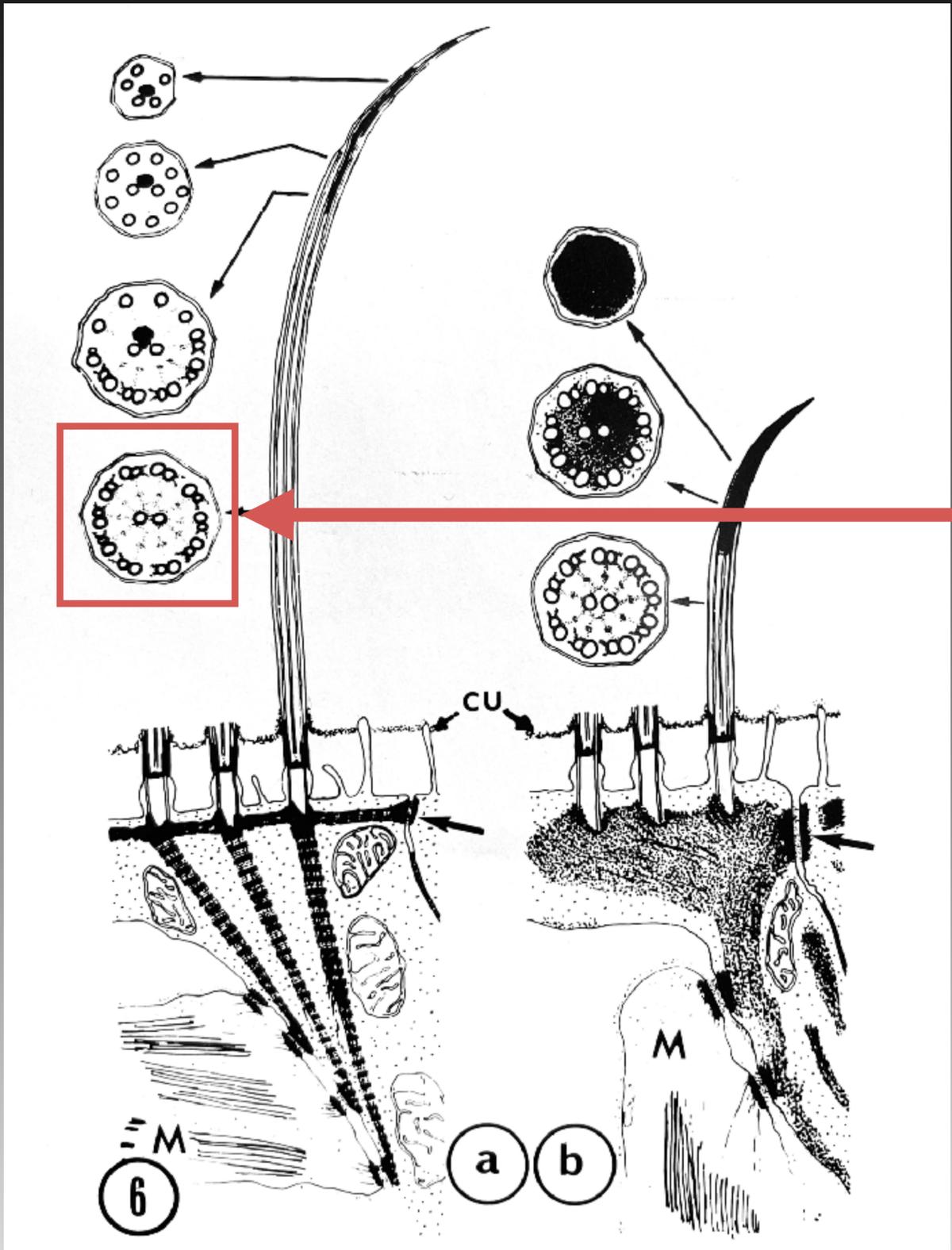
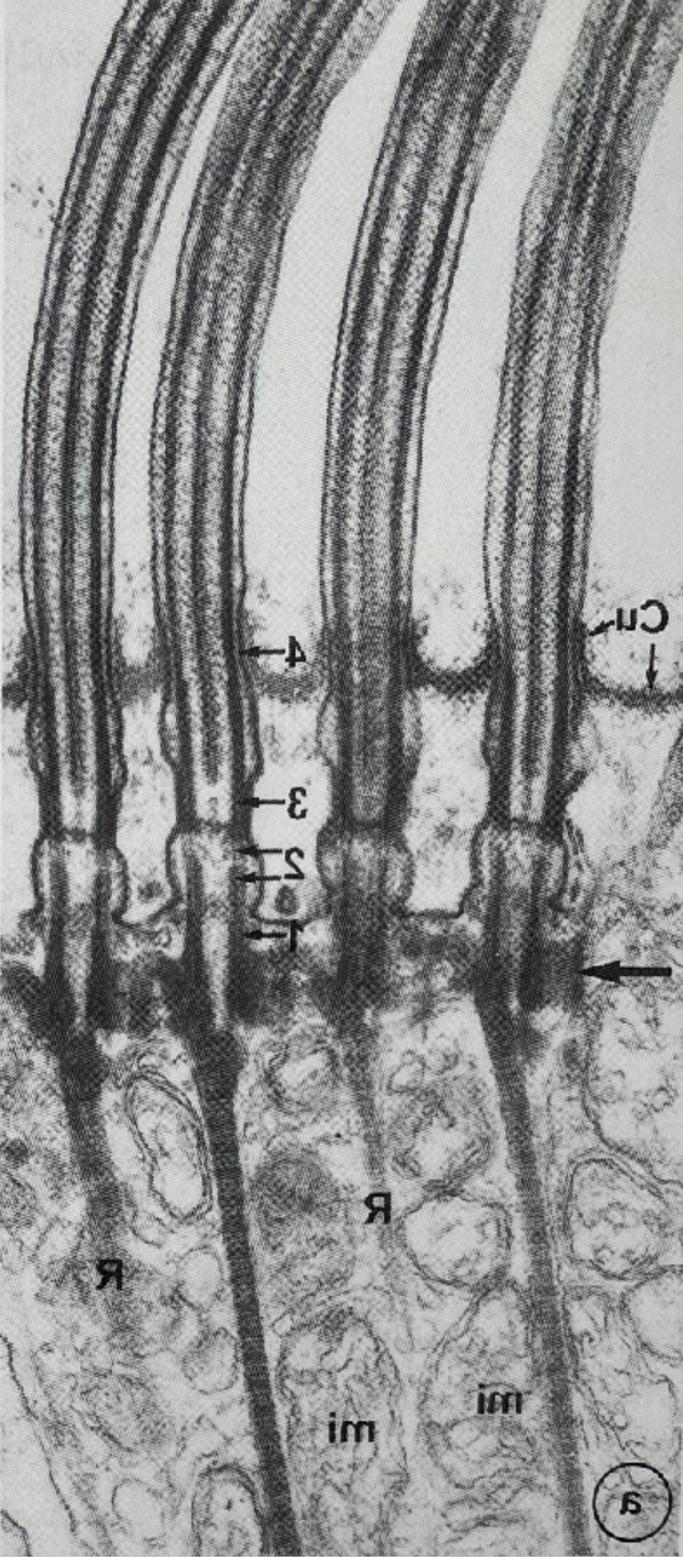


12x langsamer

# Schlussfolgerung

1. Für die eindeutige und invariante Richtung der Wellenbewegung bei Rädertieren muss es eine morphologische/ physiologische Ursache geben.
2. alle (bdelloiden) Rädertiere müssen ein gleichartiges „Gewebe“ haben, welches diesen Effekt bewirkt.
3. Dieses Gewebe mit dieser Eigenschaft ist genetisch bedingt

Rädertiere besitzen Cilien, die nach dem gleichen **9x2+2 -Prinzip** aufgebaut sind wie diejenigen von Ciliaten, aber....

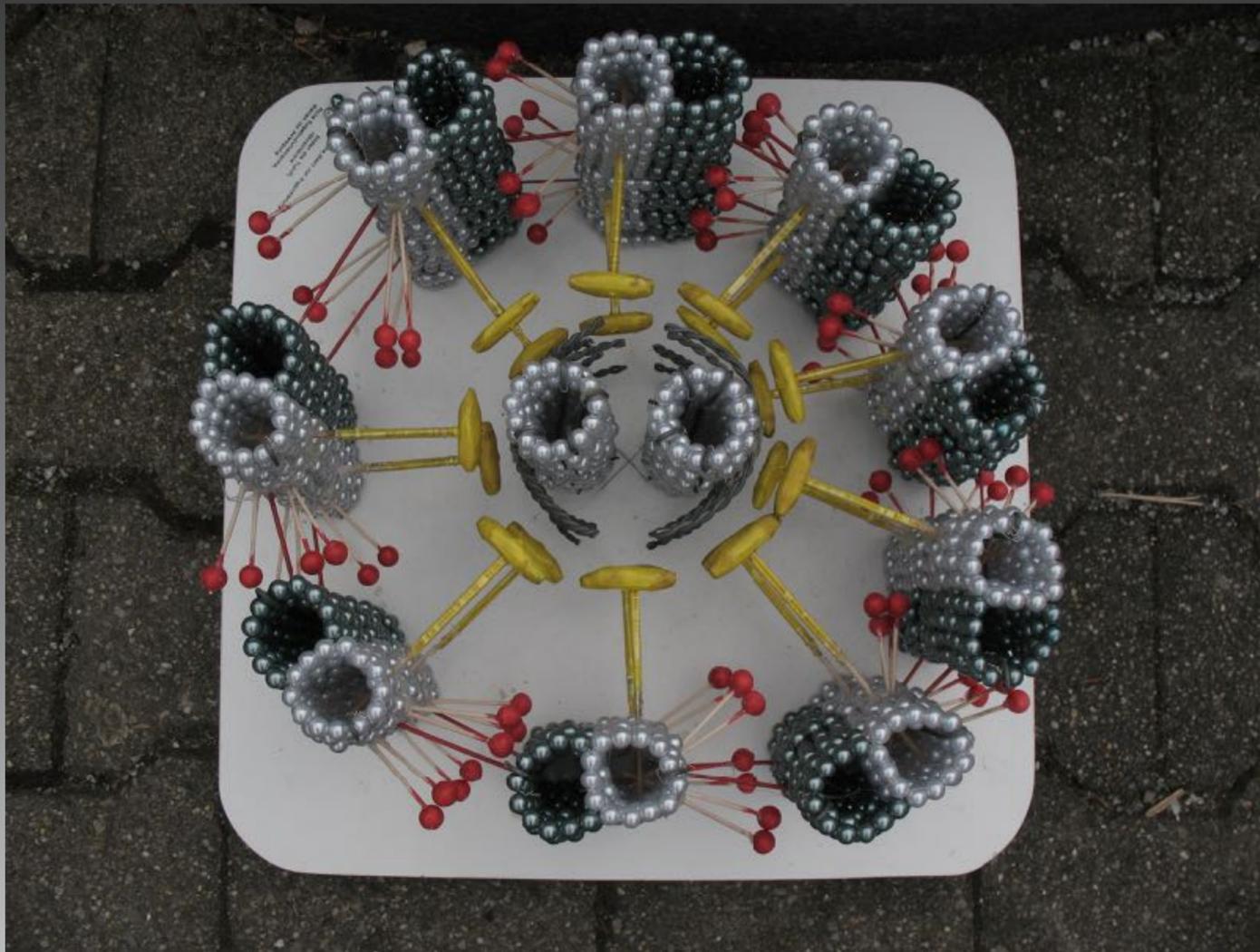


**9x2 + 2 - System**

... die **asymmetrische** Bewegung eines einzelnen Ciliums wird nur unzureichend durch das 9x2 +2-Modell erklärt

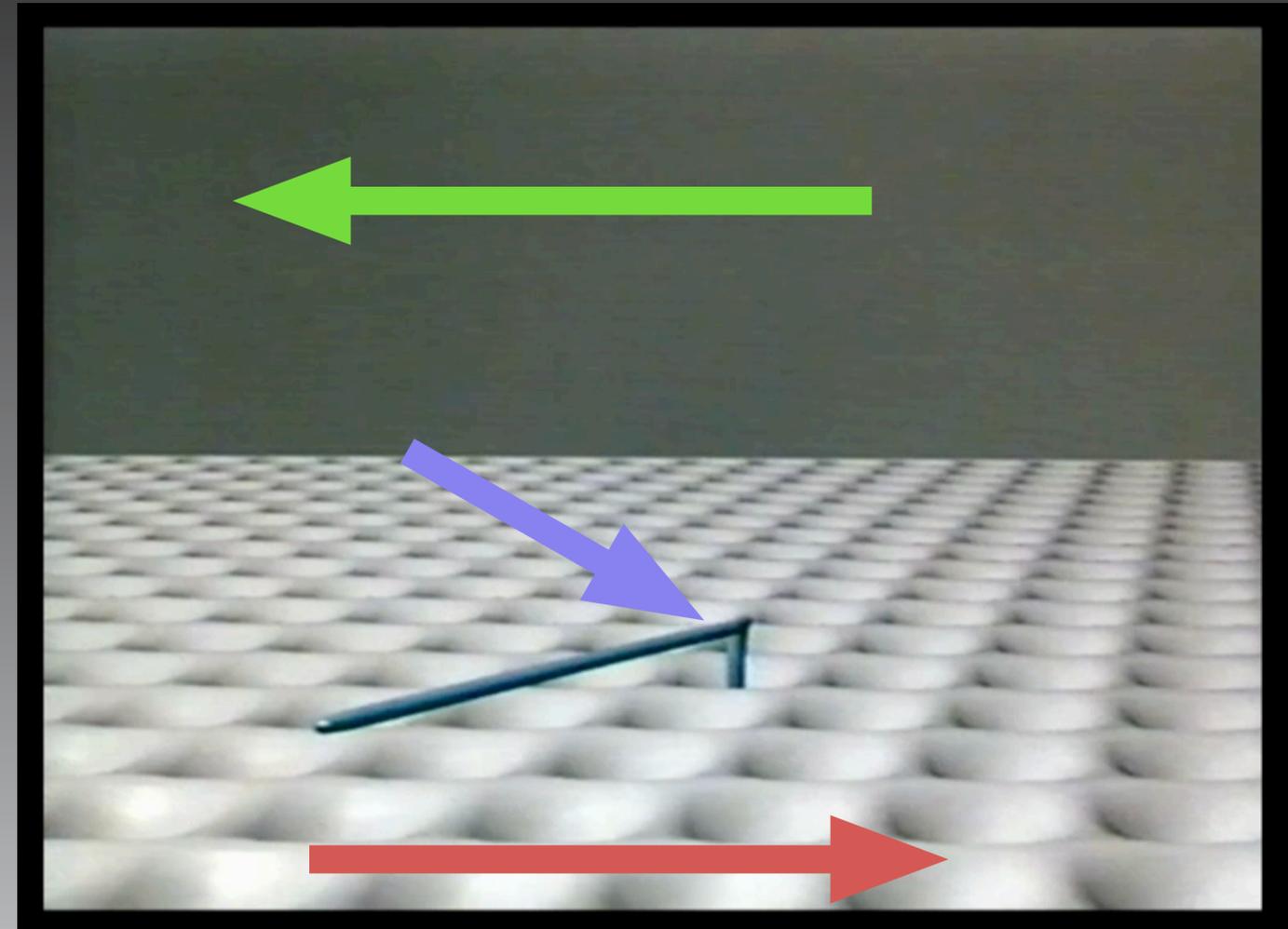
9x2 +2-Modell:

**symmetrischer** Aufbau



**Effektiver Schlag:**

- Cilium bleibt gerade
- Biegung (Kraft) lokal

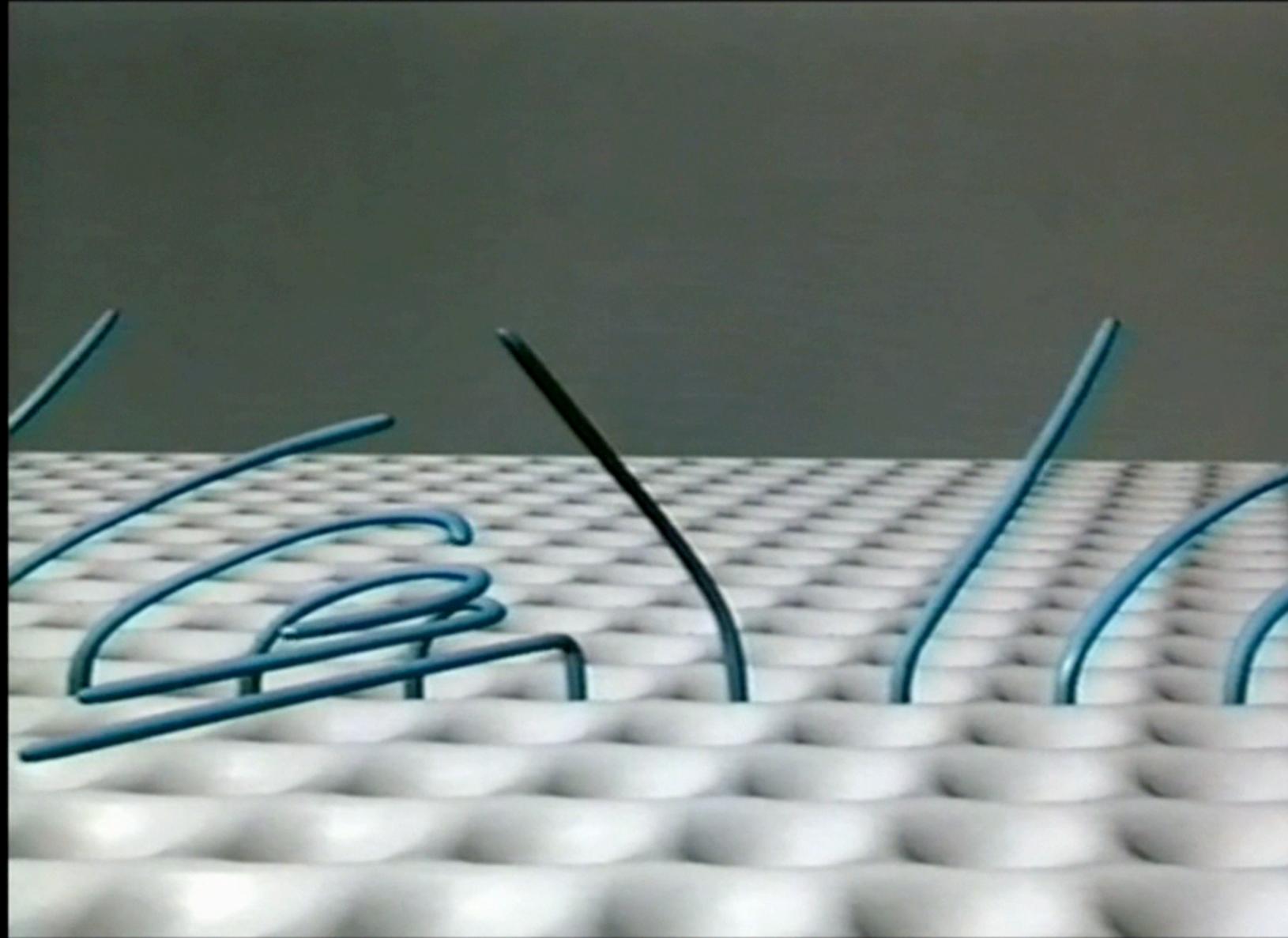


Video: Hausmann/ IWF

**Rückholschlag**

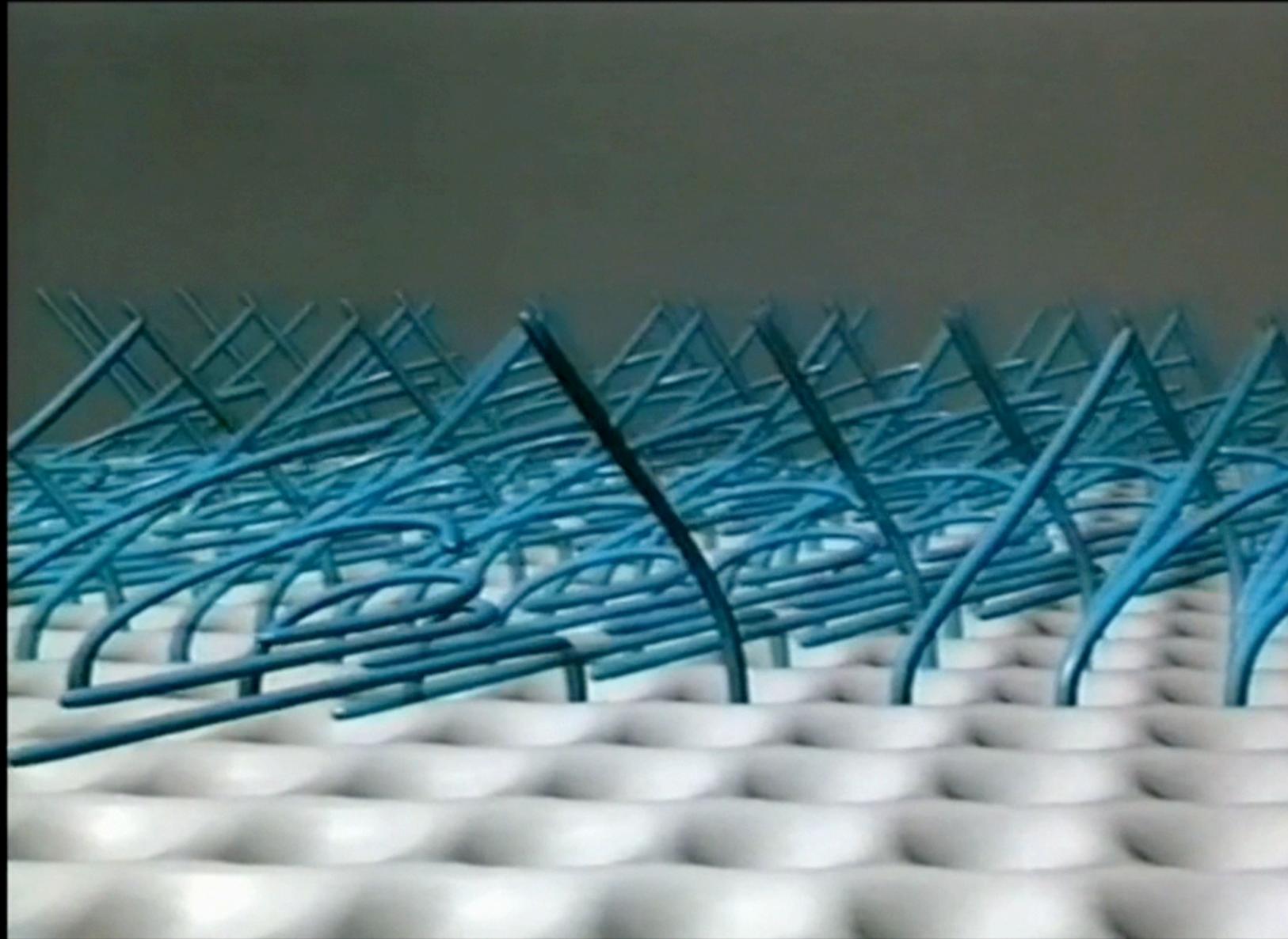
- Cilium verbiegt sich auf ganzer Länge
- Drehung an „**Knick**“stelle

Der räumlich bzw. zeitlich aufeinanderfolgende Schlag dieser Cilien-Reihe (=Metachronie) wird mit hydrodynamischen Effekten erklärt:



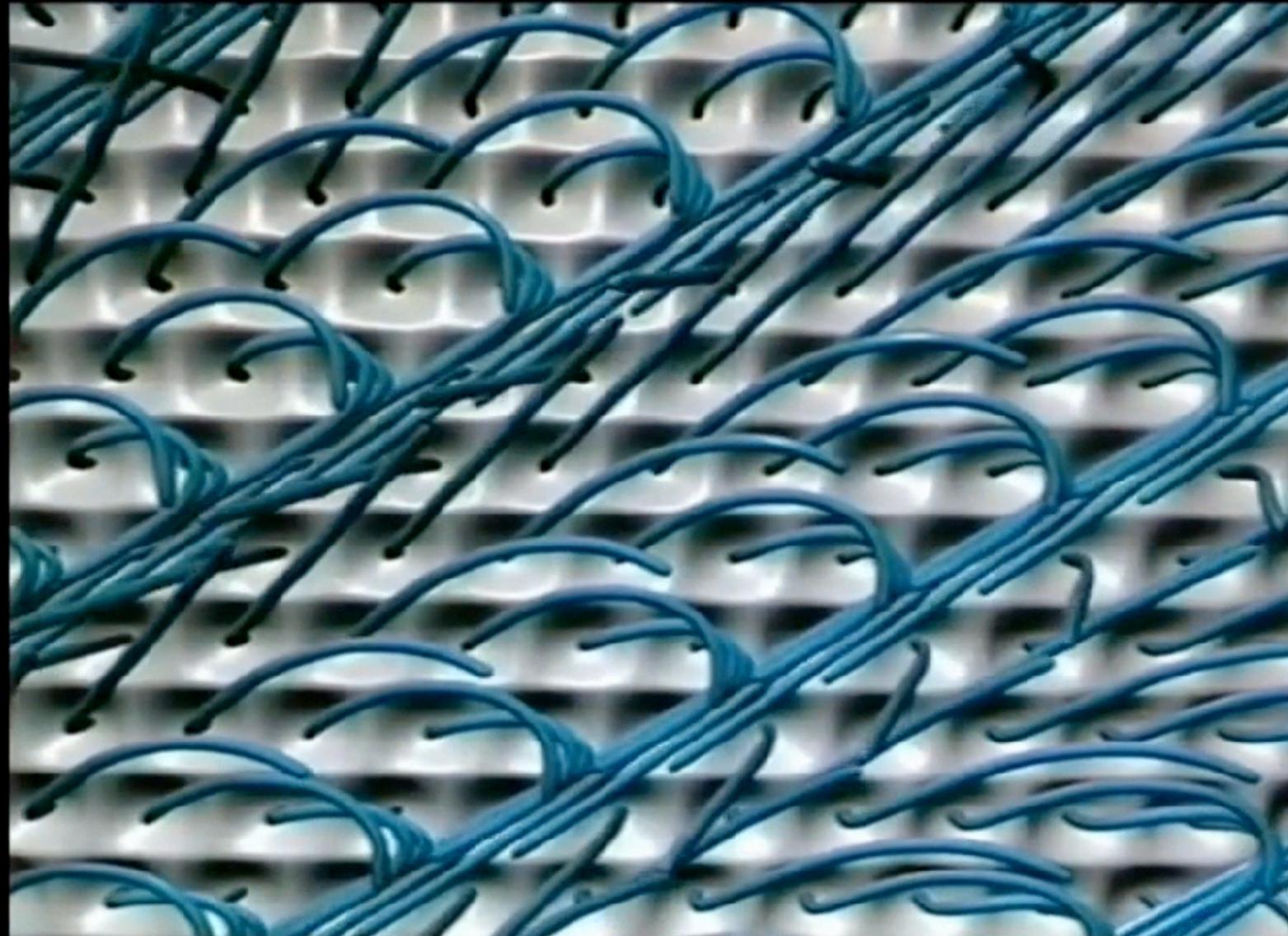
Video: Hausmann/ IWF (Ausschnitt)

Bei einer Fläche von Cilien sieht das Modell dann so aus:



Video: Hausmann/ IWF (Ausschnitt)

....und das Gleiche von oben:

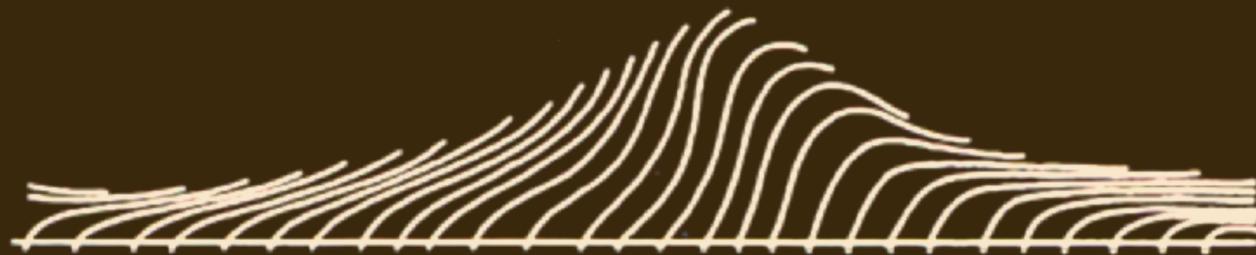


Video: Hausmann/ IWF (Ausschnitt)

Wiederholung: Bei der Cilienbewegung lassen sich 2 Fälle unterscheiden:

symplektisch

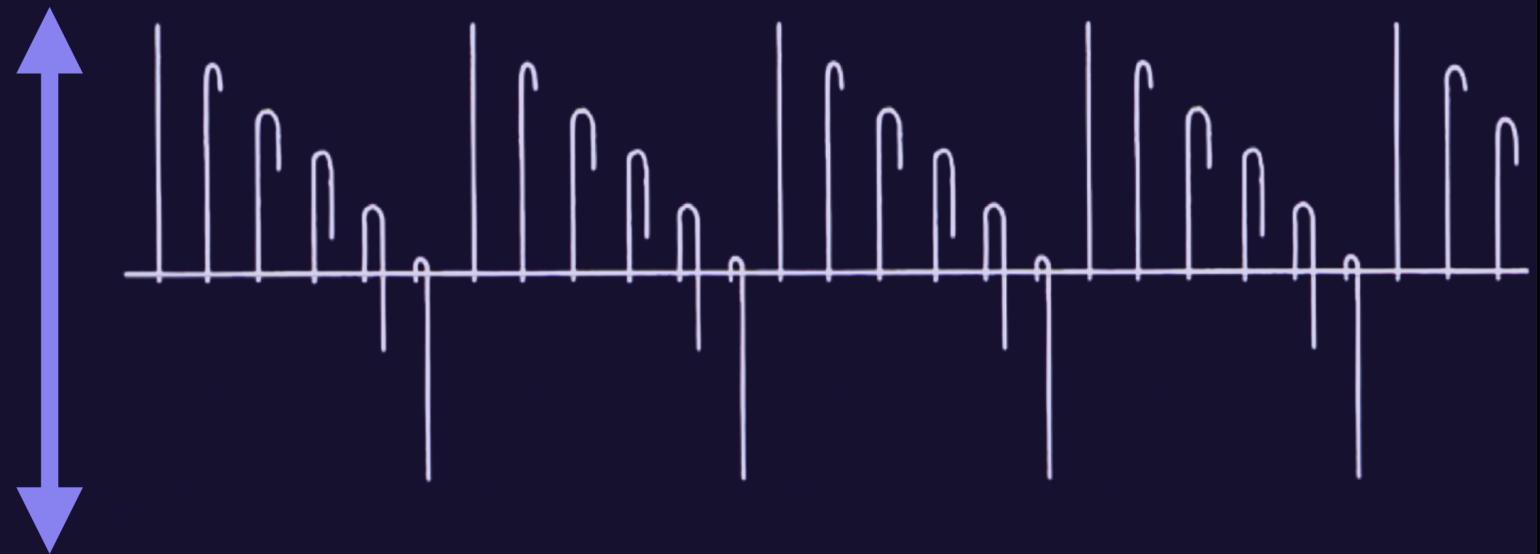
Richtung der Wellenbewegung



Schlagrichtung (Seitenansicht)

diaplektisch

Richtung der Wellenbewegung



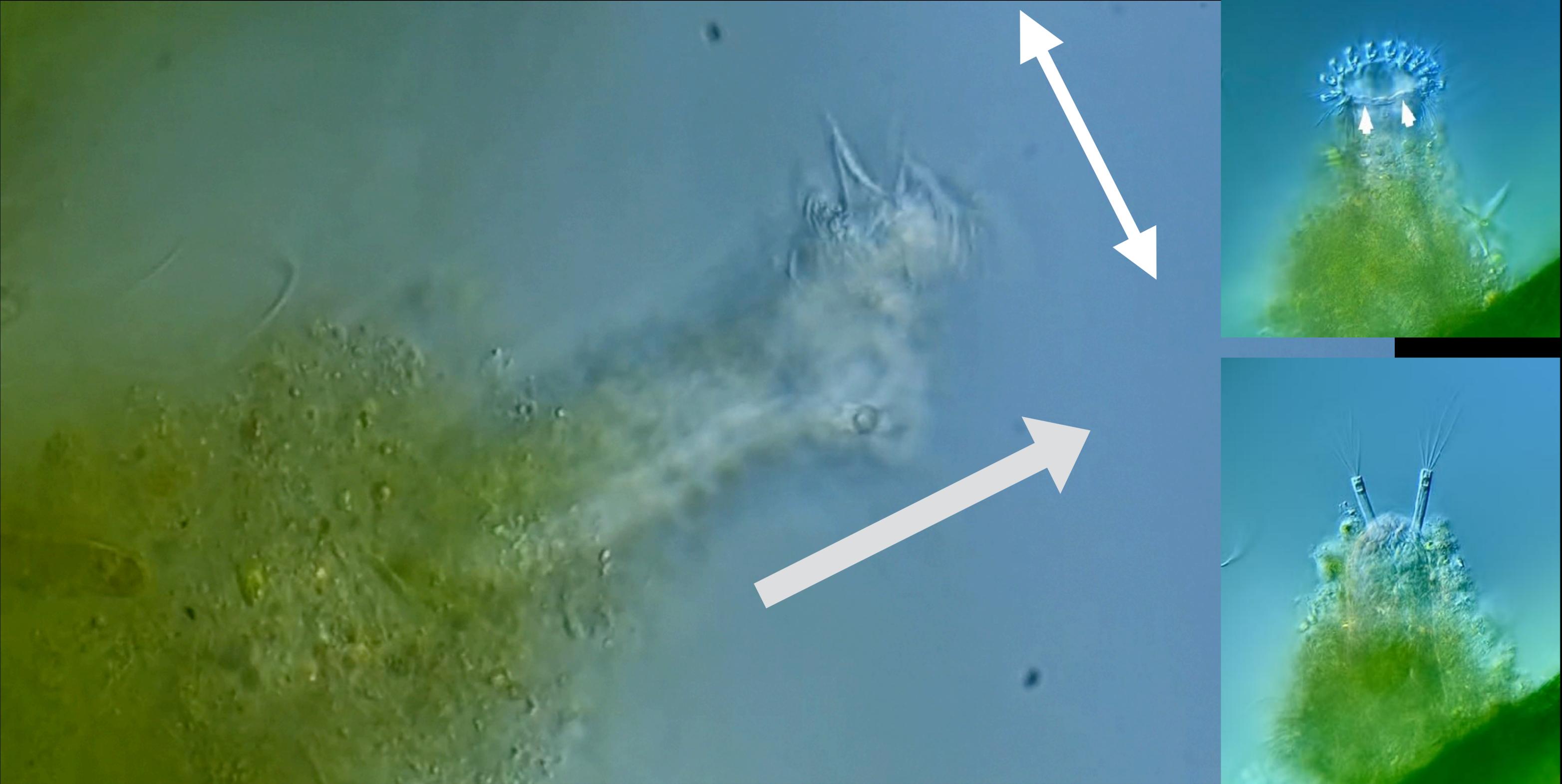
Schlagrichtung (Aufsicht)

Wiederholung: Beispiel für **symplektische Metachronie**



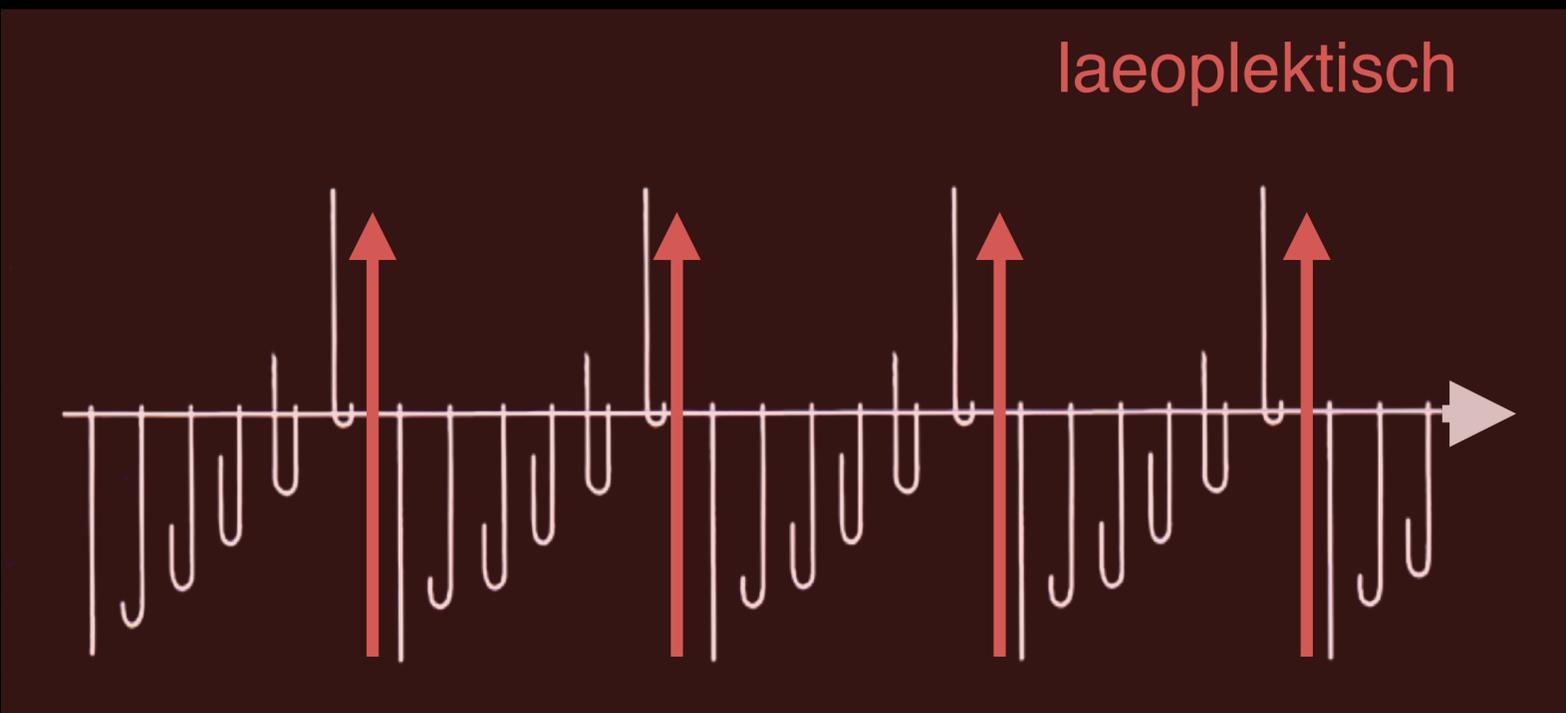
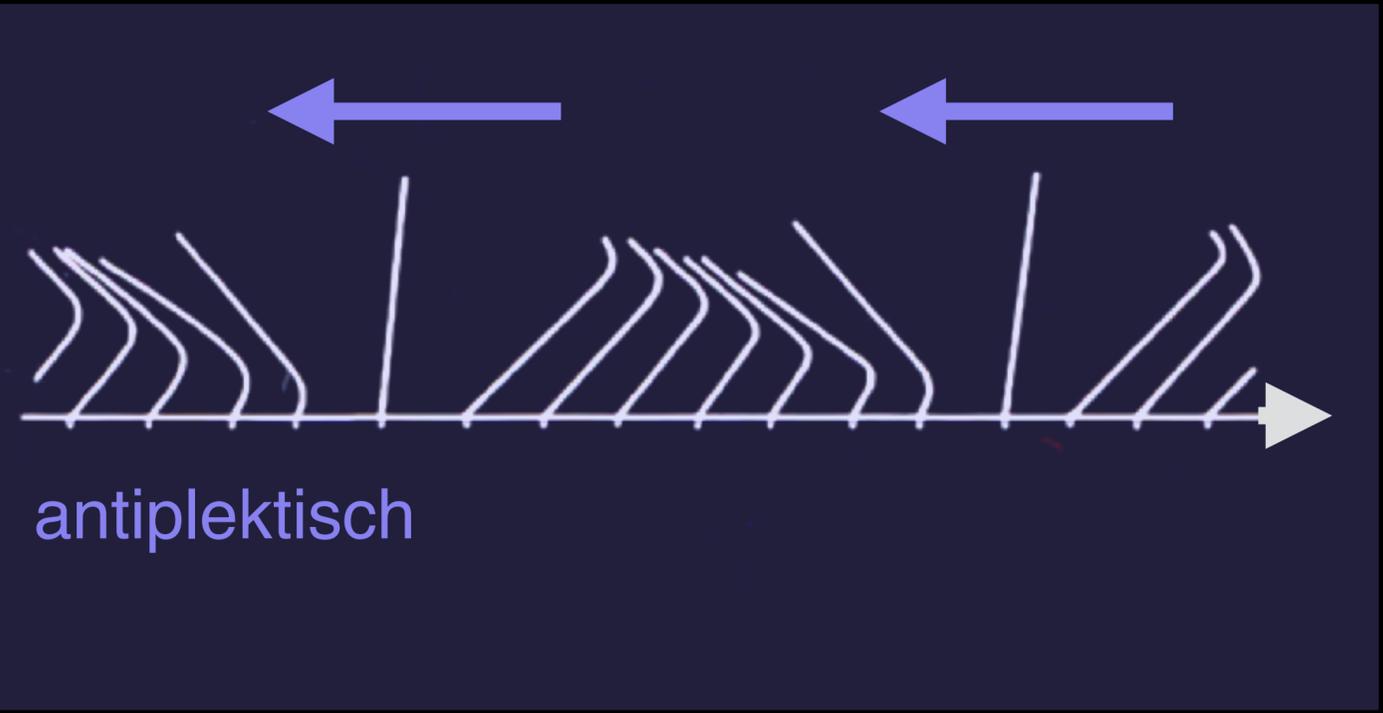
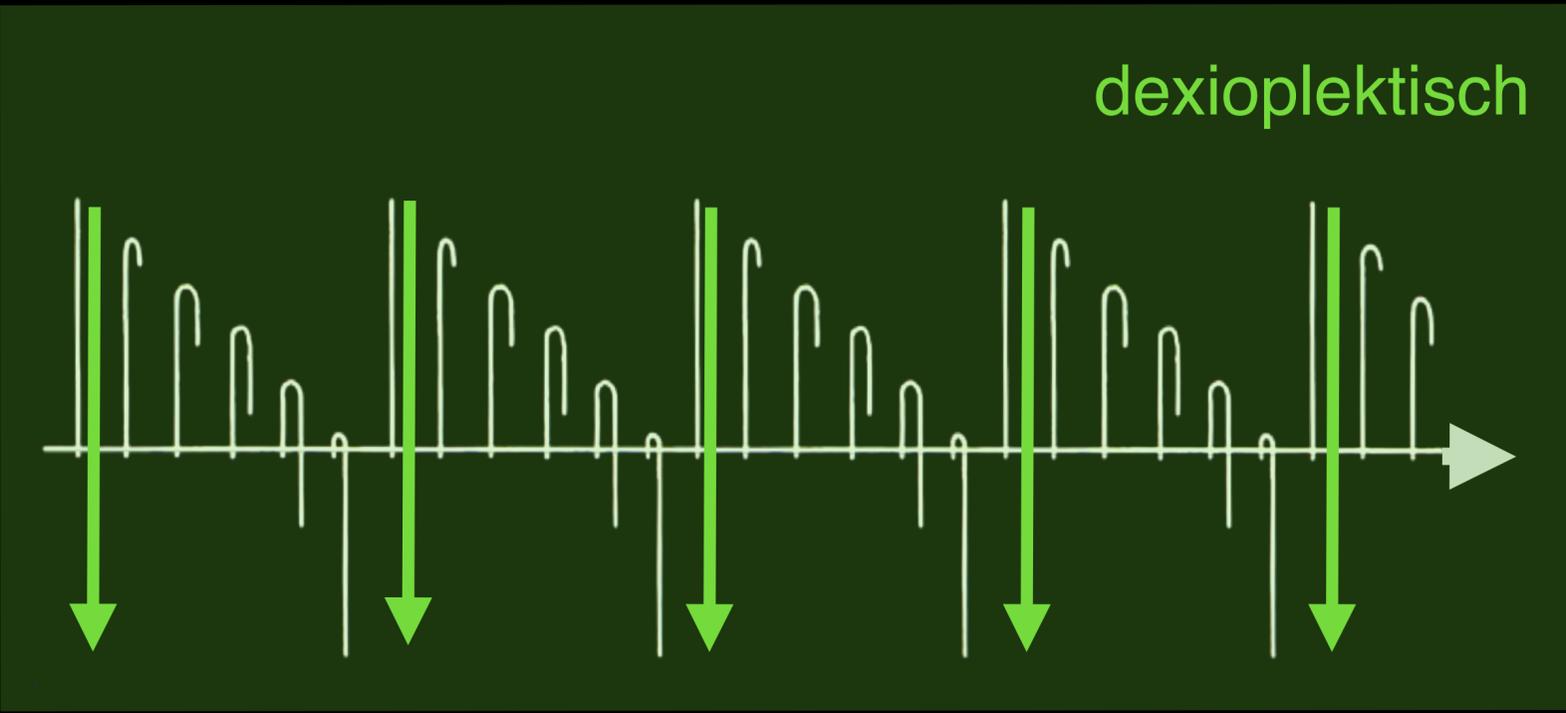
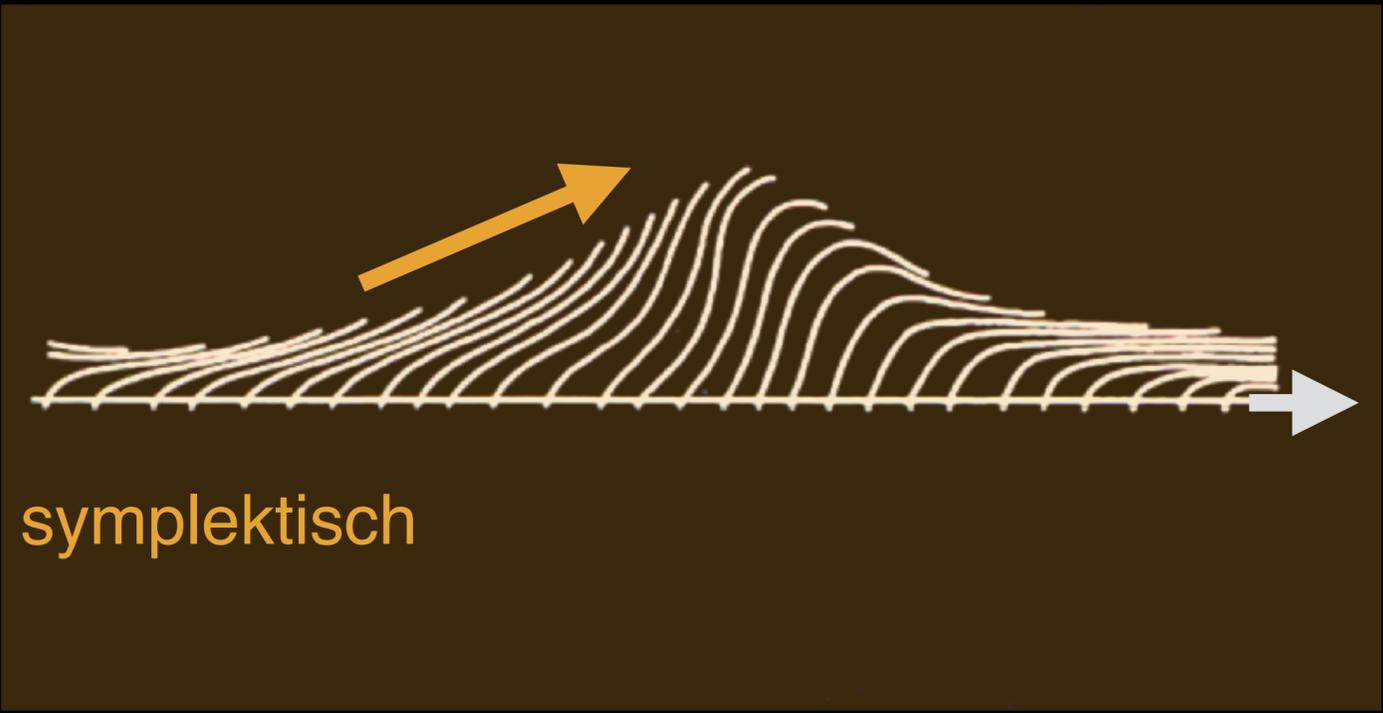
*Epiclintes cf. ambiguus*

Beispiel für **diaplektische Metachronie**

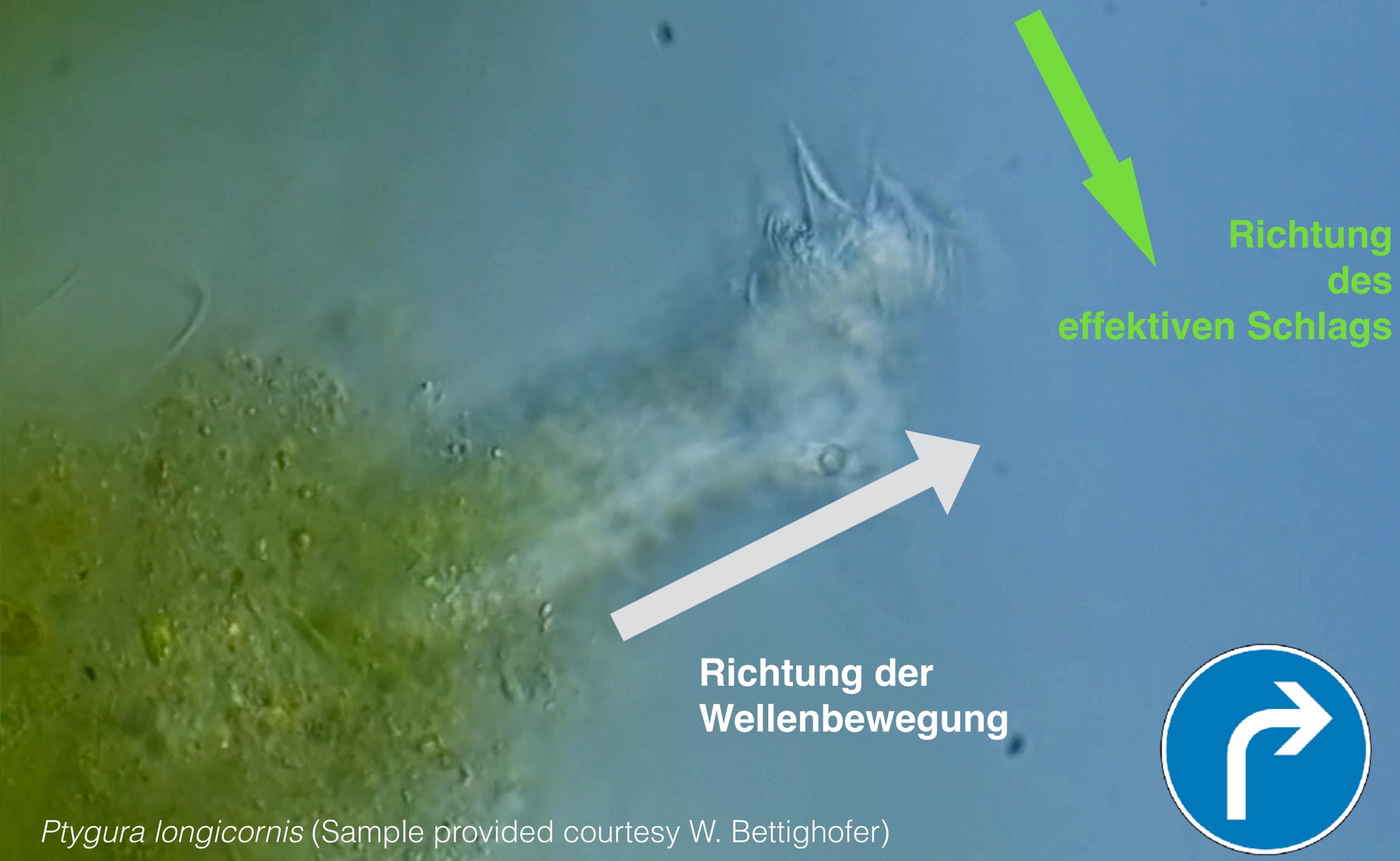


*Ptygura longicornis* (Sample provided courtesy W. Bettighofer)

Die Richtung des effektiven Schlags relativ zur Richtung der metachronen Welle ergibt zwei weitere Fälle: **dexioplektisch** und **laeoplektisch**



Beispiel für **dexioplektische** Metachronie



Richtung  
des  
effektiven Schlags

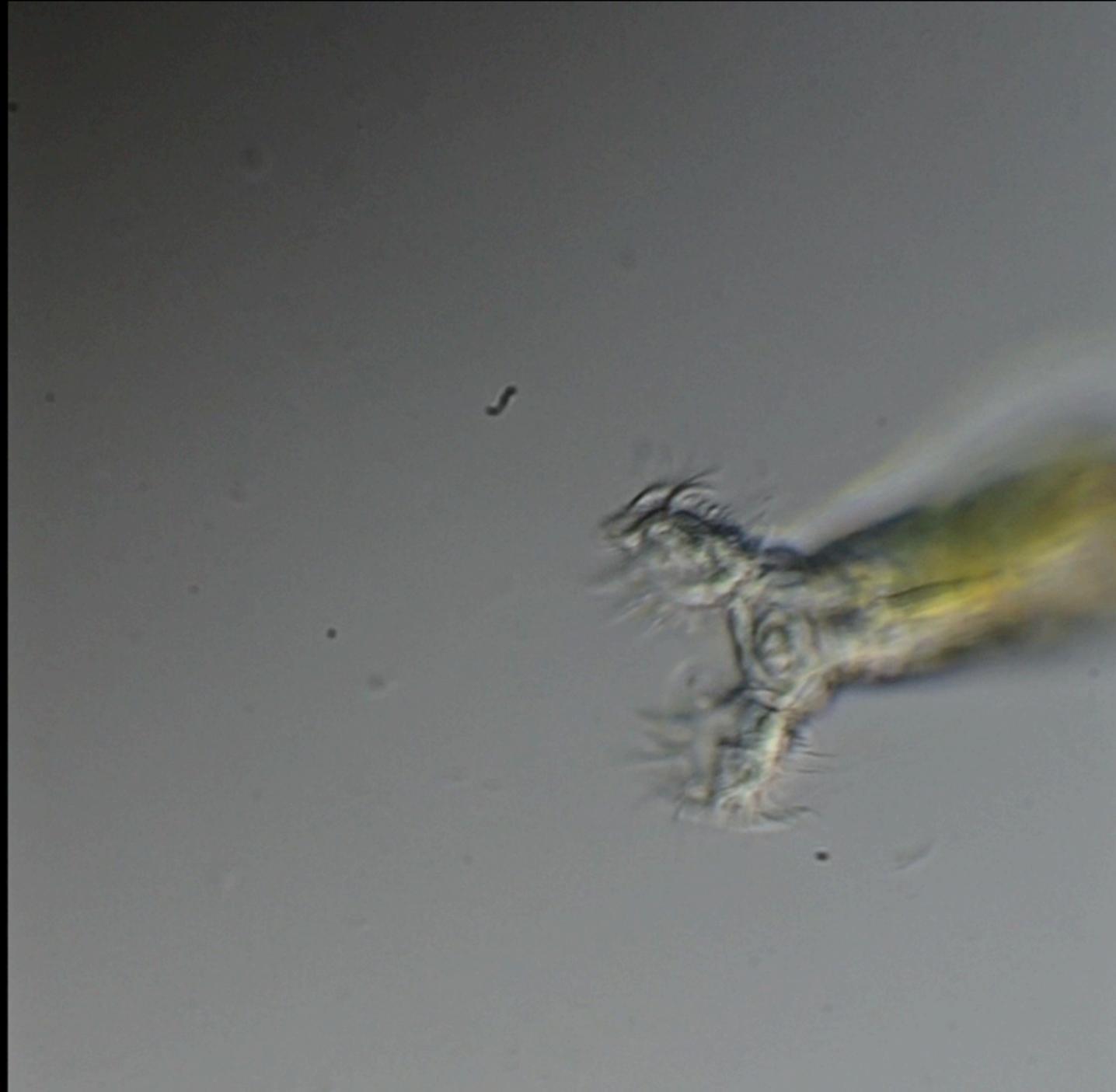
Richtung der  
Wellenbewegung



*Ptygura longicornis* (Sample provided courtesy W. Bettighofer)

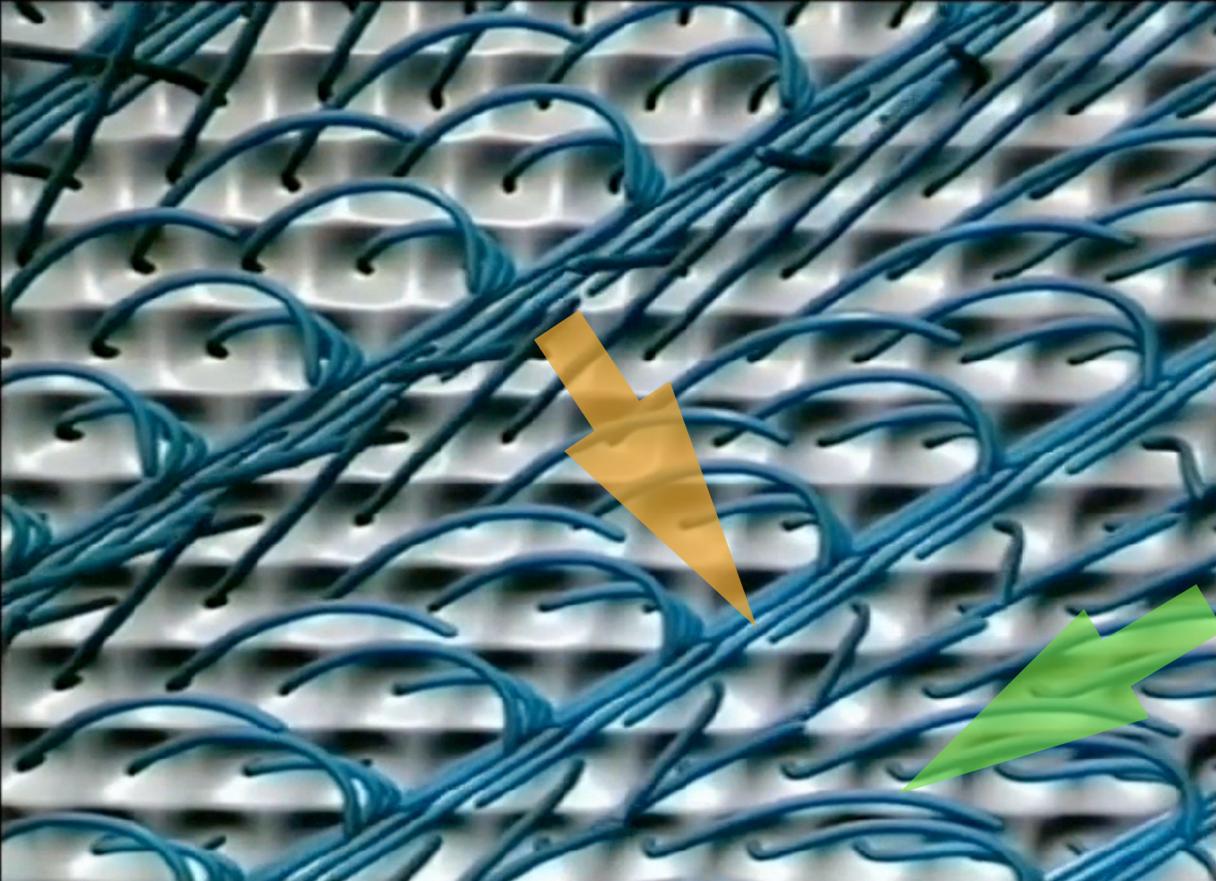
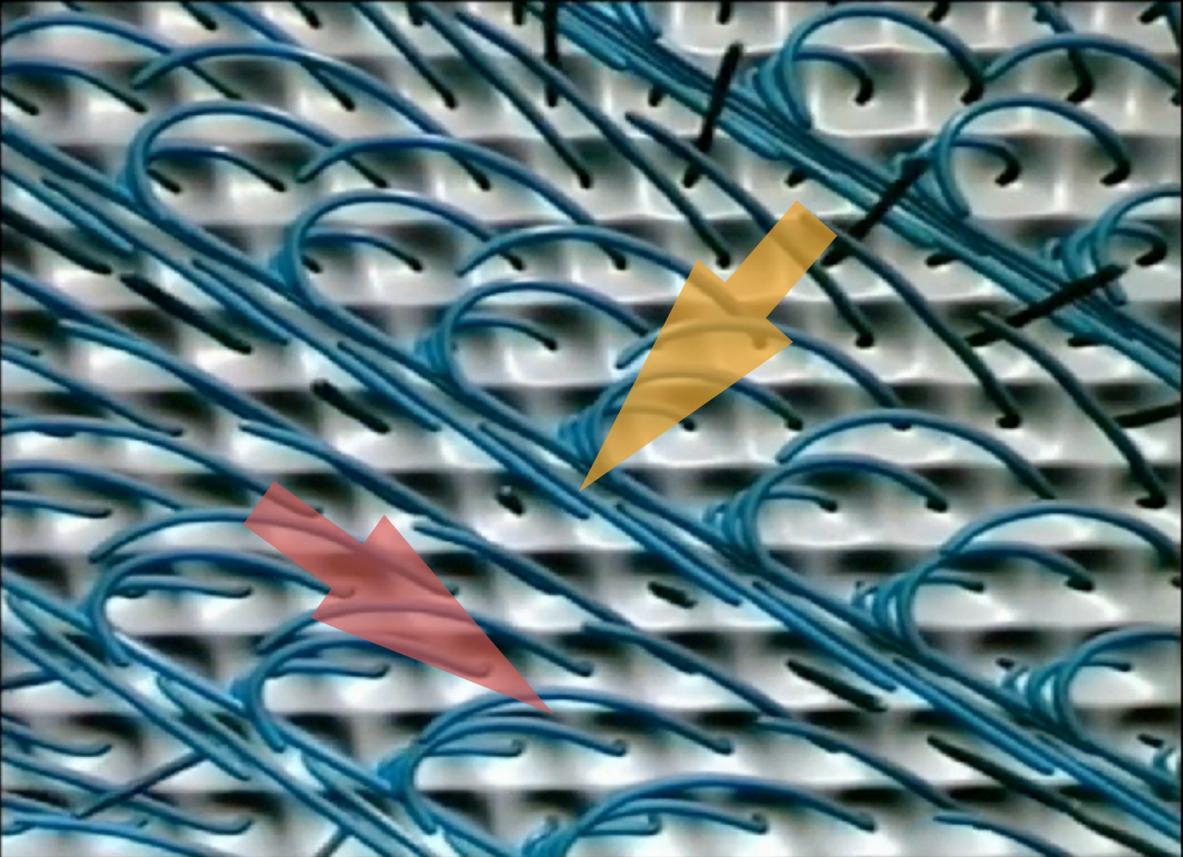
Bei bdelloiden Rädertieren ist

1. die metachrone Wellenbewegung immer entgegen dem Uhrzeigersinn (GUZS)
2. die effektive Schlagrichtung dexioplektisch



*Embata laticeps* (Bdelloides Rädertier)

Die Frage bleibt aber: gibt es auch die Alternative?



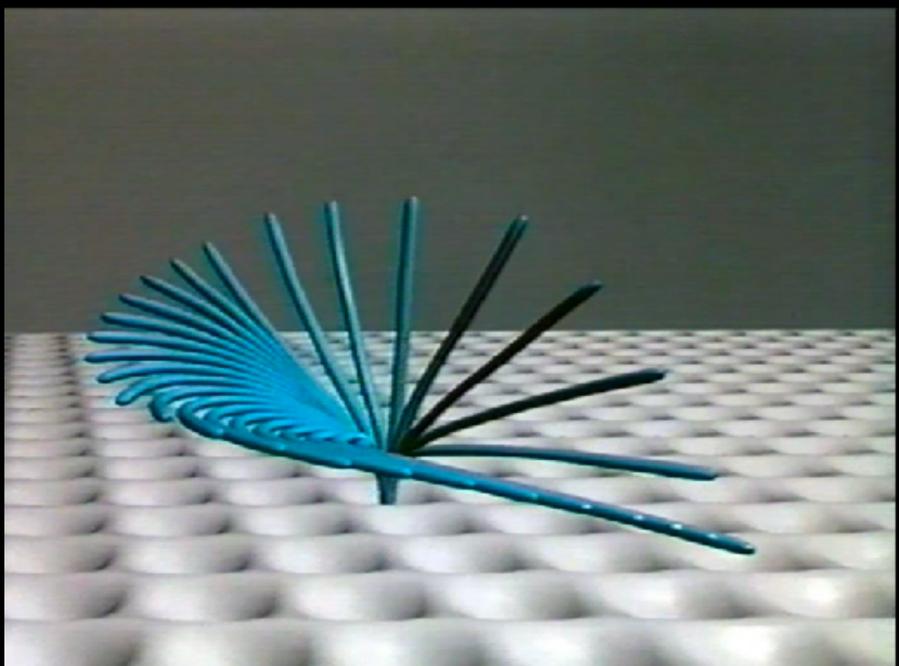
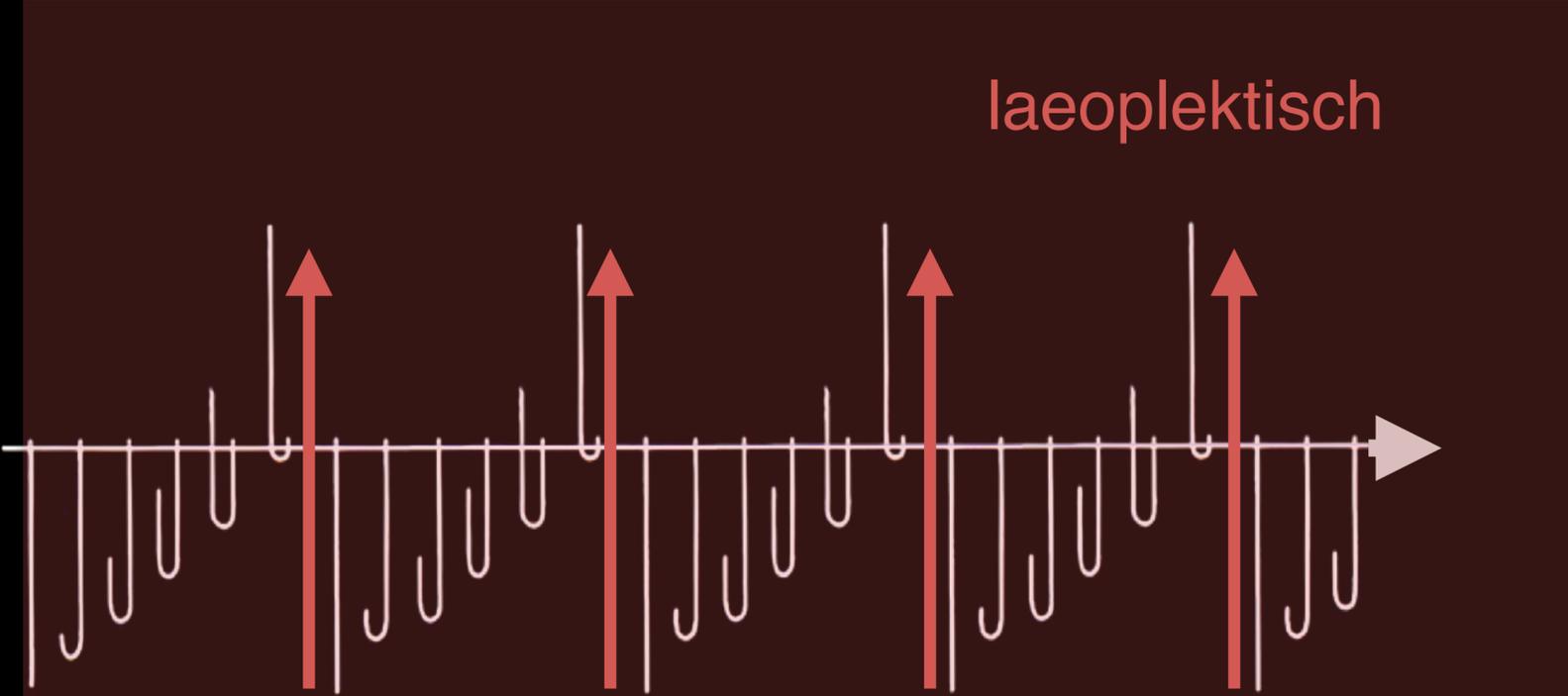
Richtung des effektiven Schlags

metachrone Welle

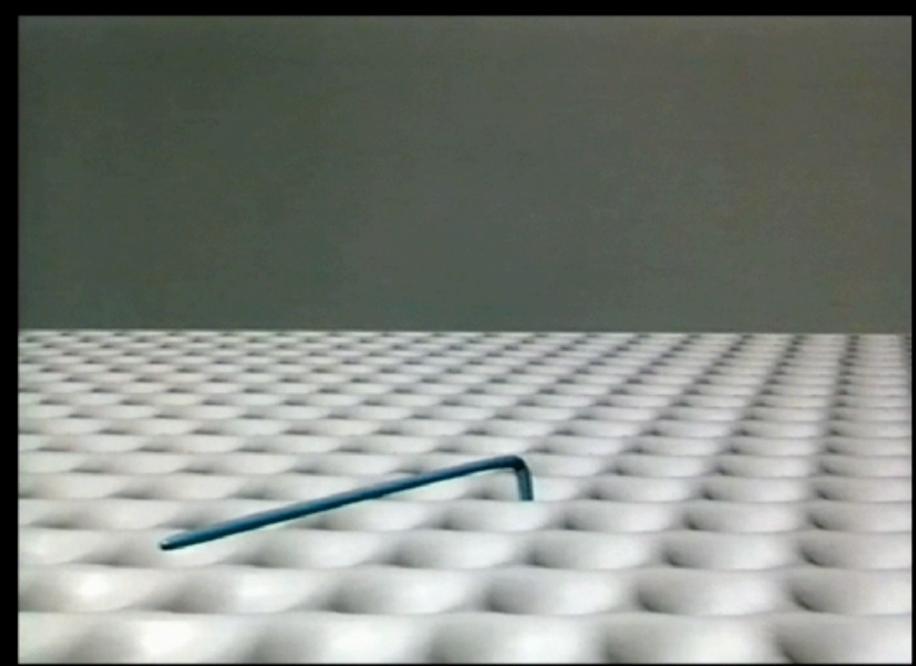
Richtung des effektiven Schlags

metachrone Welle

Welche Ursache **dexioplektische** und **laeoplektische** Koordination haben, ist (mir) nicht klar: unterschiedliche Cilien? unterschiedliche Cilienbasis? unterschiedliche Steuerung an der Cilienbasis?

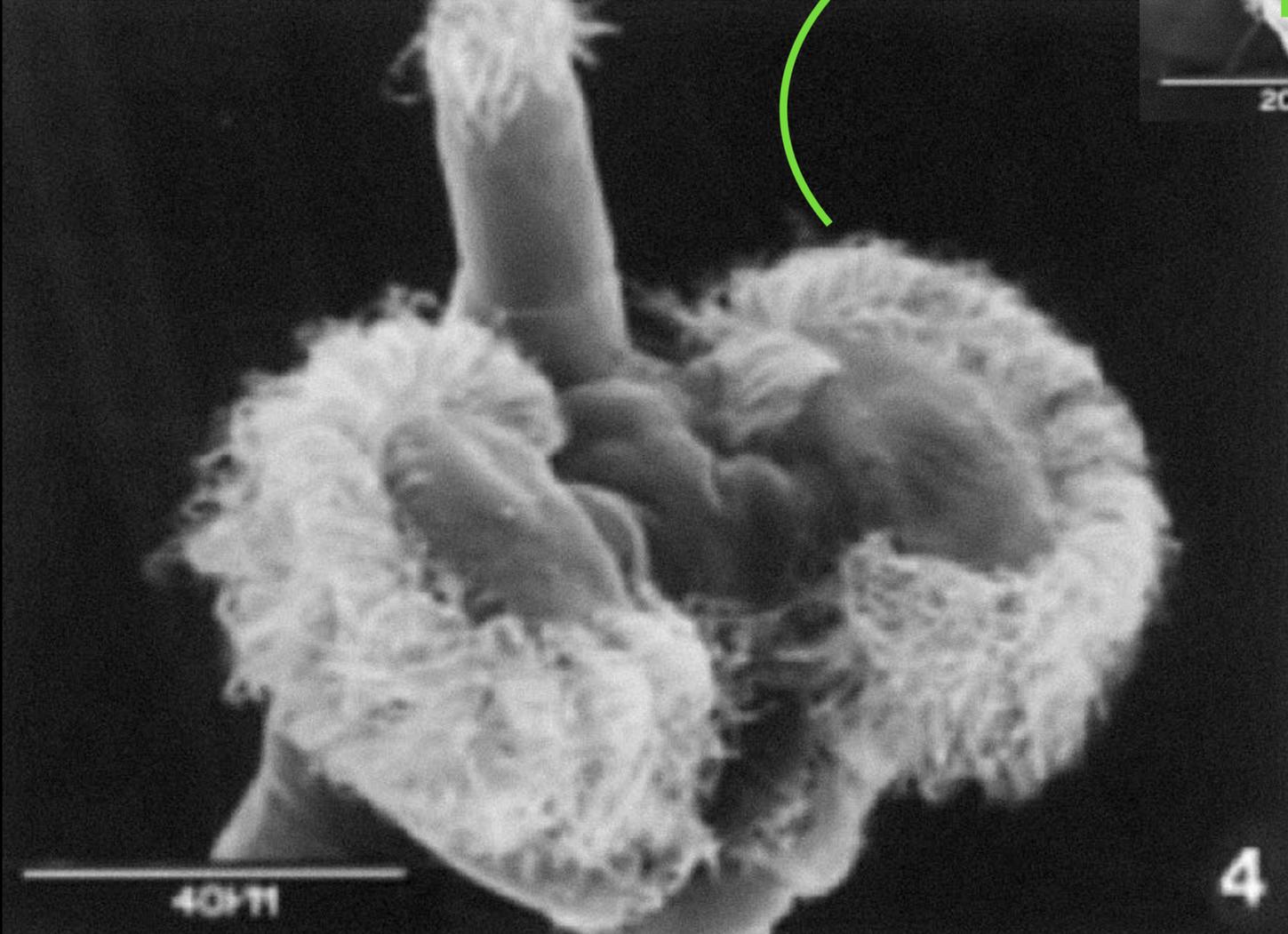
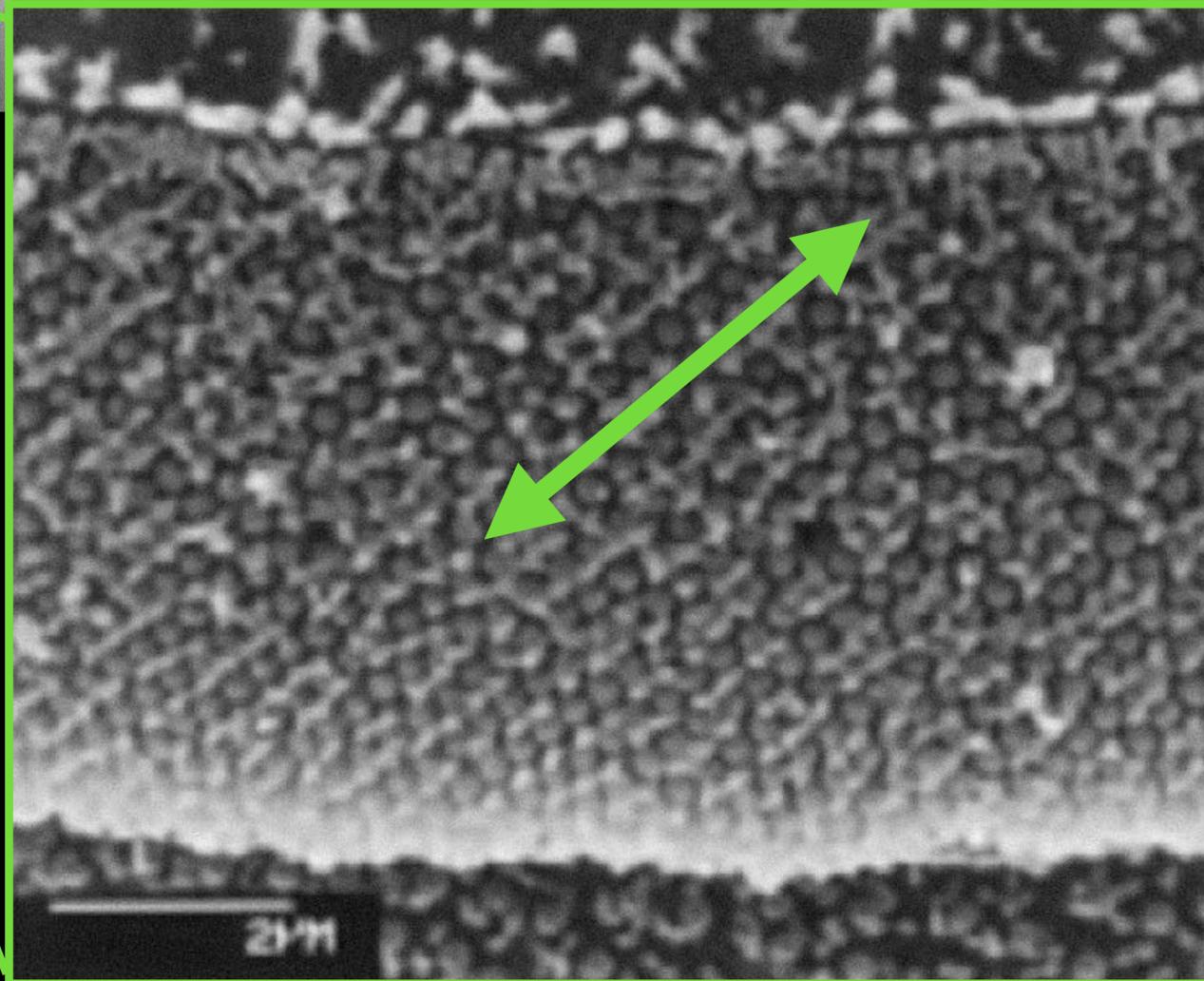
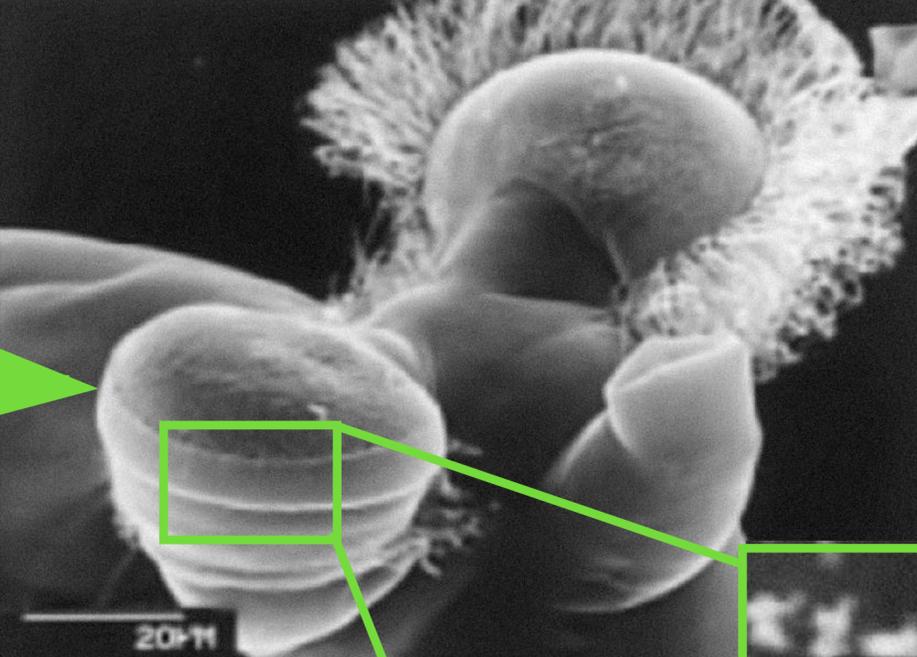


??



Die Anordnung der CilienBasen im Trochus eines bdelloiden Rädertiers ist im Winkel von **ca. 45 °** zur Trochalebene

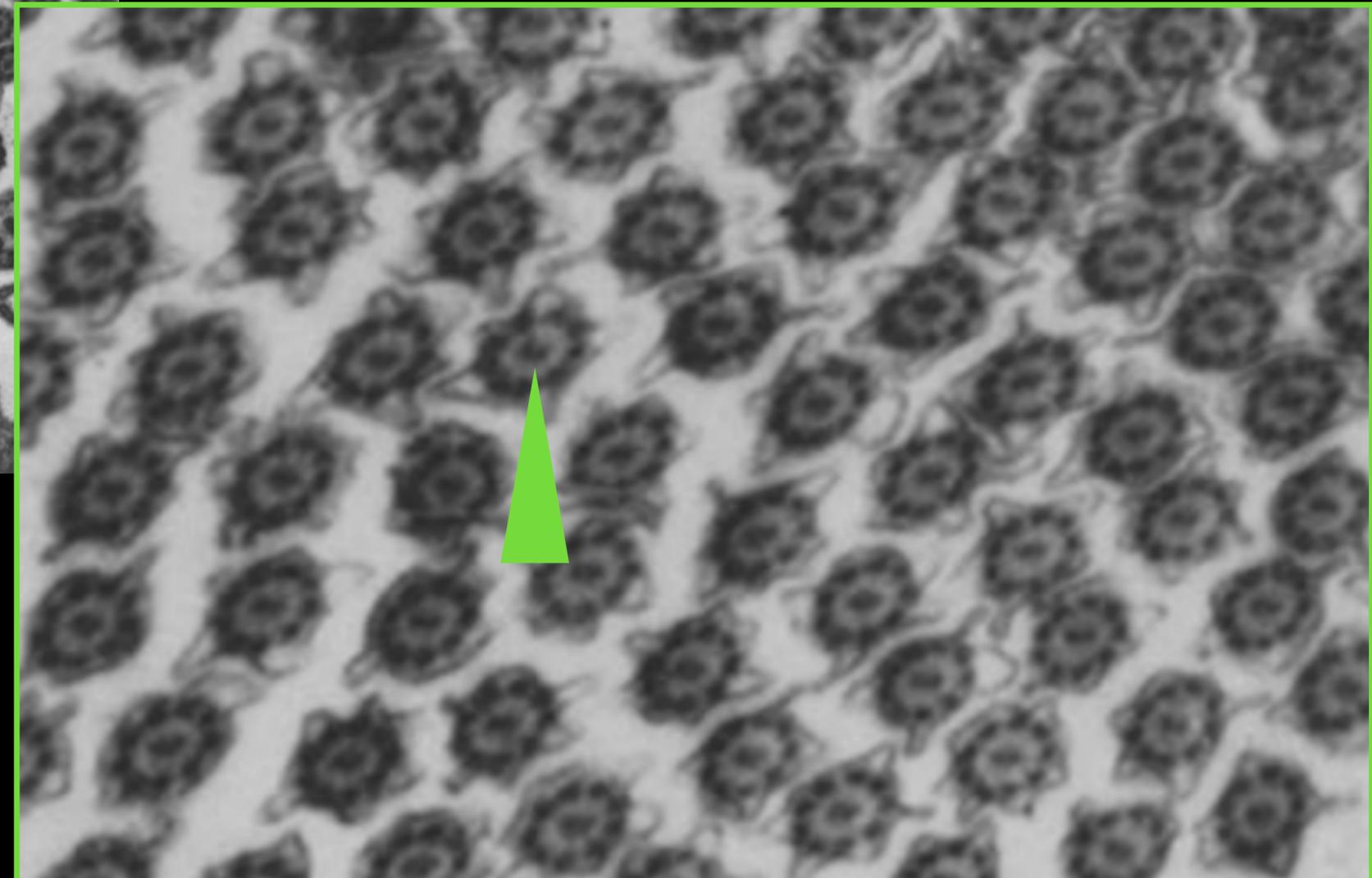
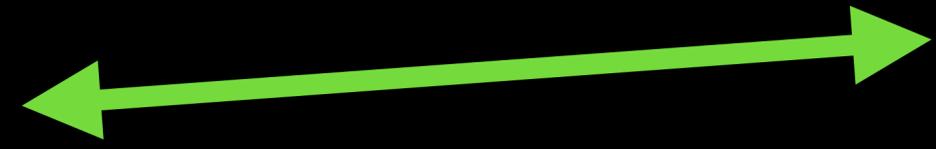
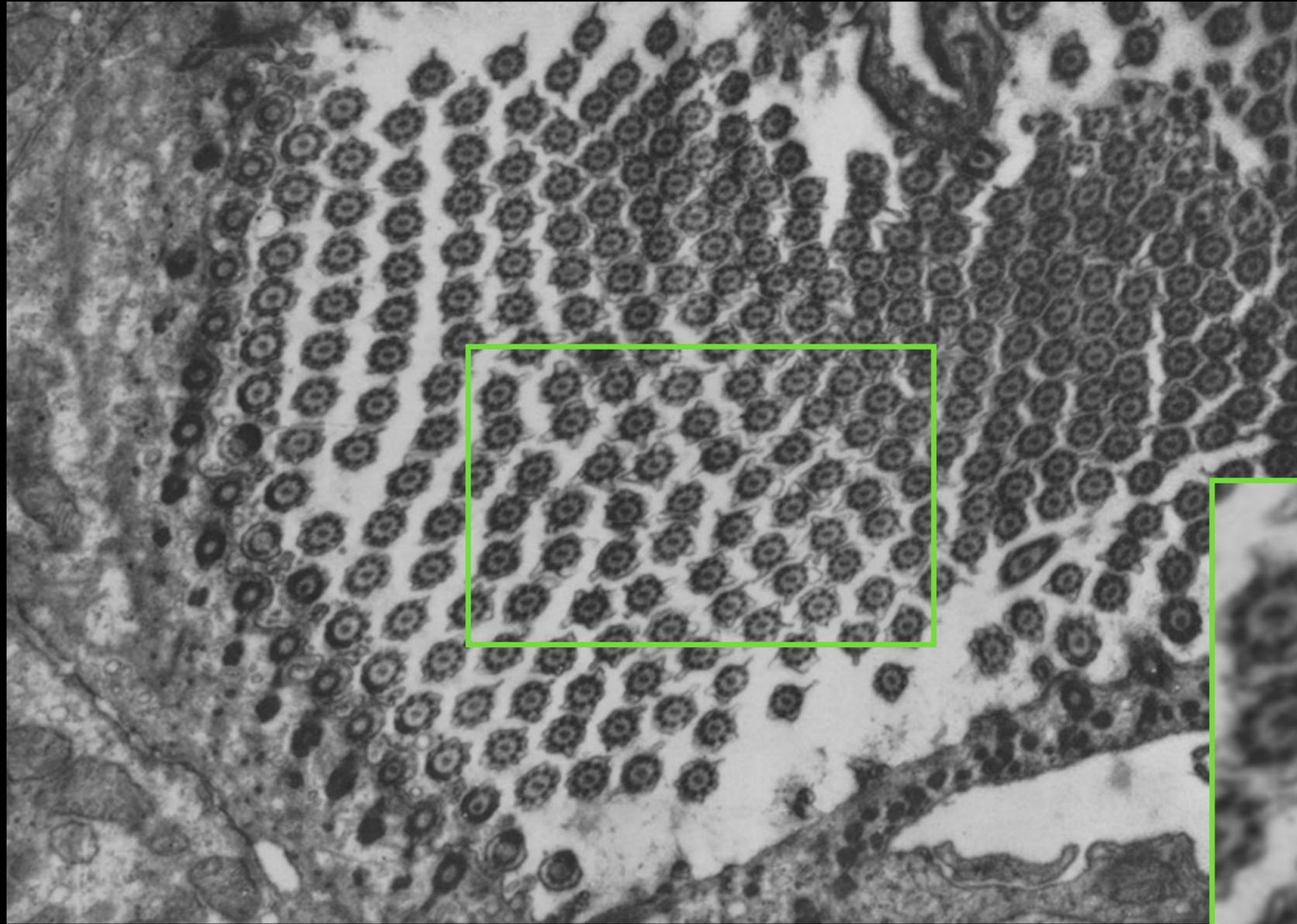
Entfernen  
der Cilien



*Rotaria macrura*

SEM-Fotos: G. Melone (1998)

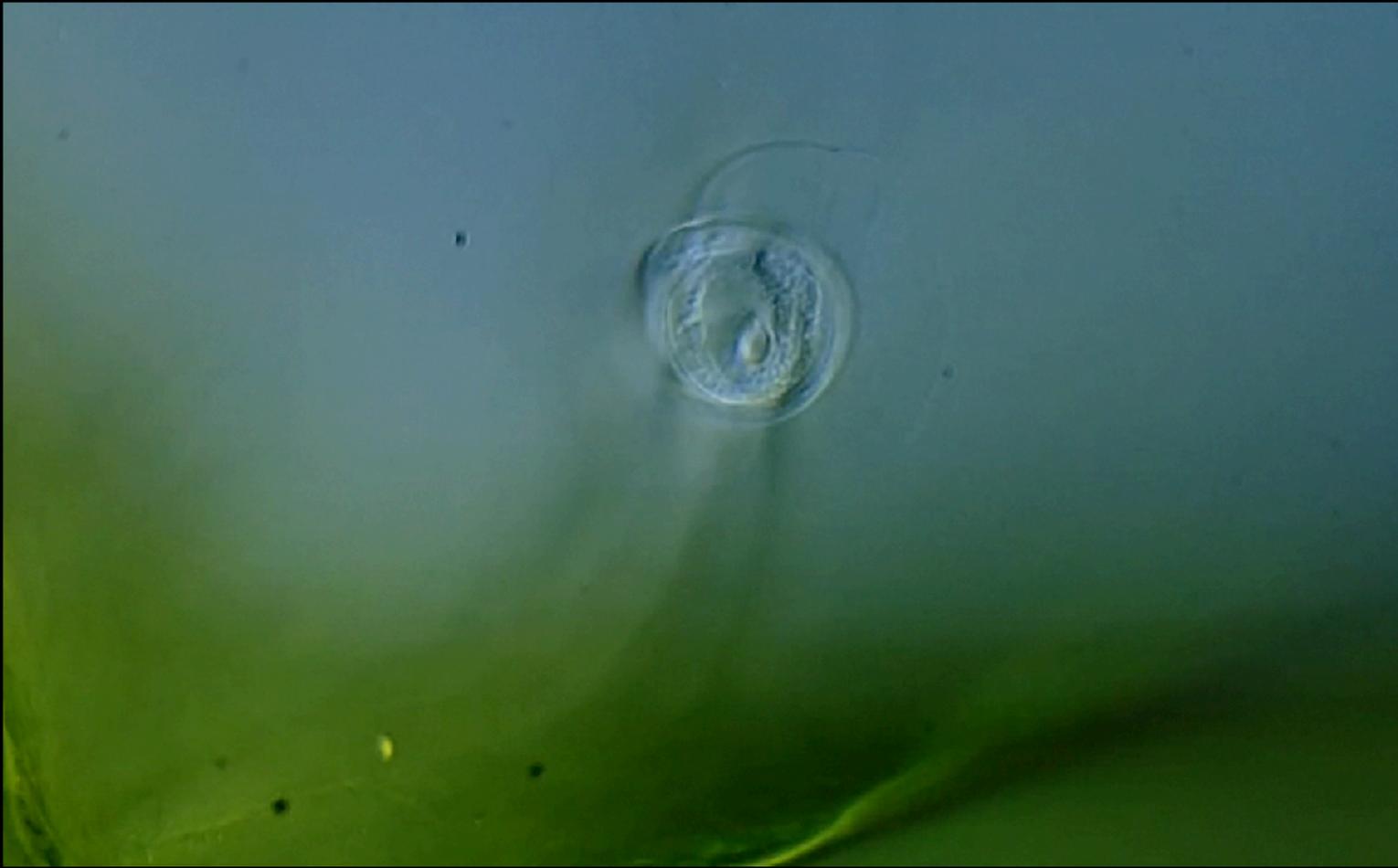
Die **Ausrichtung der zentralen Tubuli** der Axoneme scheint nicht zufällig zu sein



EM-Fotos: Lansing & Lamy 1961

*Philodina citrina*

**Dexioplektische Metachronie** gibt es auch bei Ciliaten (ein weites Feld!!!!):



*Platycola sp.*



Beispiele für **laeoplektische** Metachronie  
bei Ciliaten ????

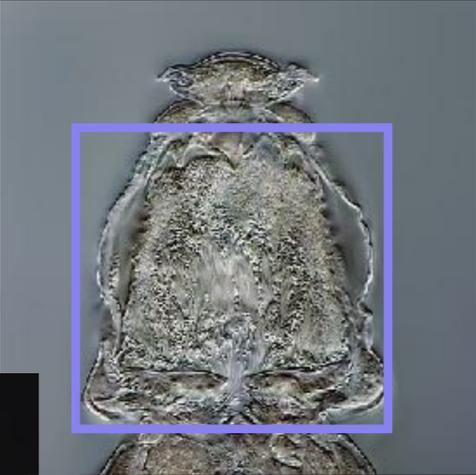
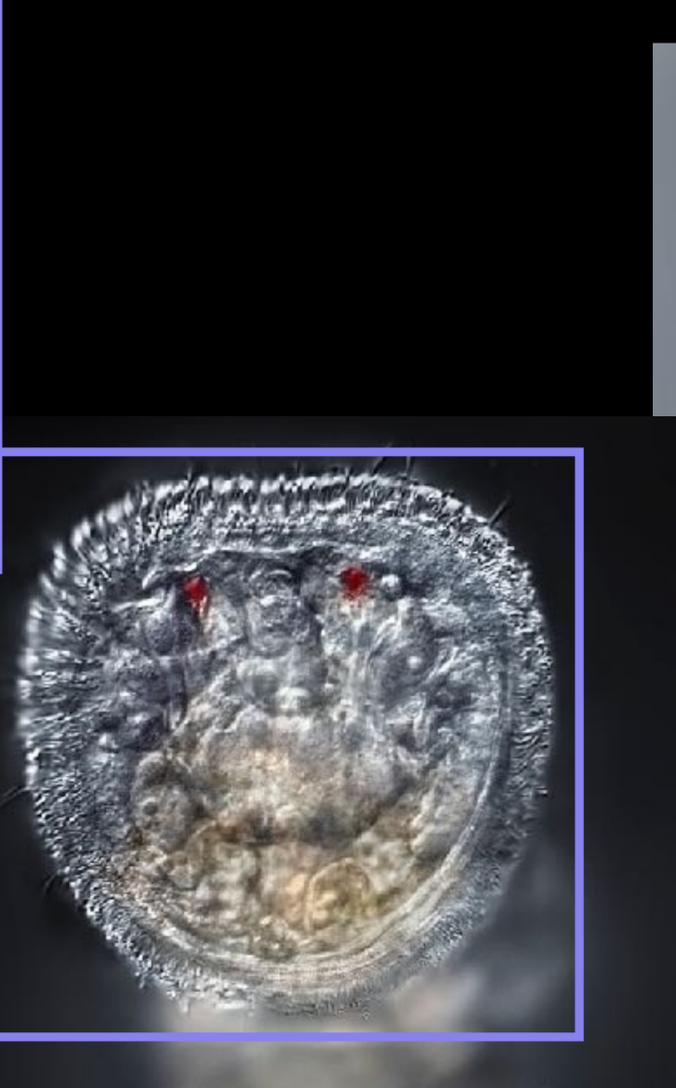
(werden im Buch von Hausmann nicht genannt)

Die Richtung der metachronen Wellenbewegung ist in beiden Trochalscheiben gleichartig entgegen dem Uhrzeigersin (GUZS), d. h. **nicht** spiegelsymmetrisch

Welche  
**ursächliche**  
Erklärung?



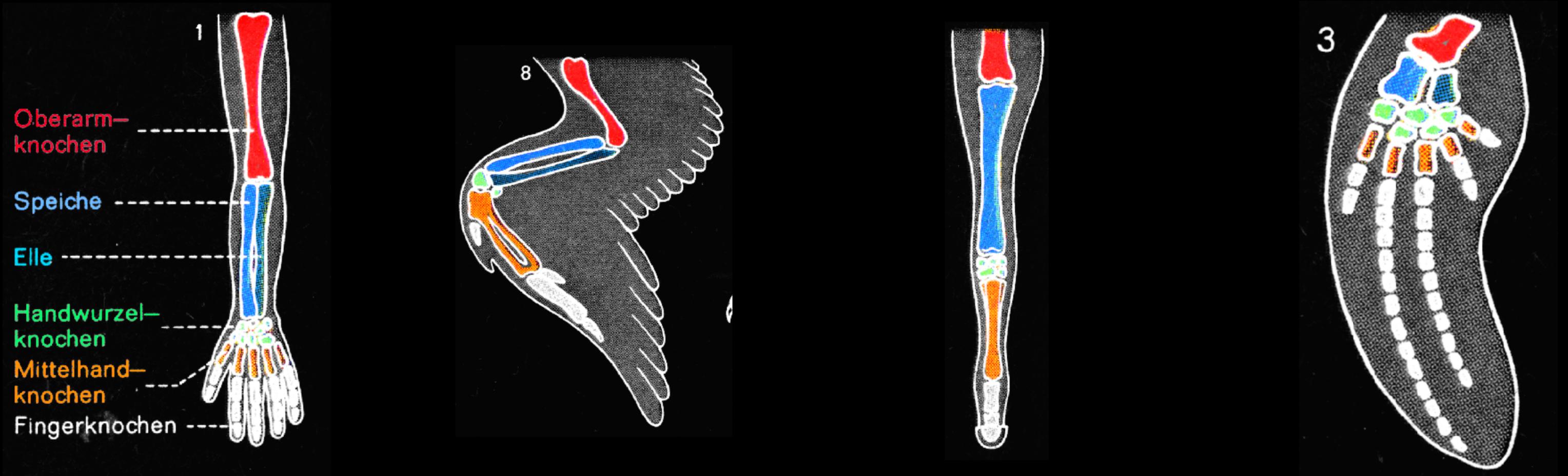
Die zuvor gezeigten Variationen der **Corona** haben sich im Lauf der Evolution gebildet



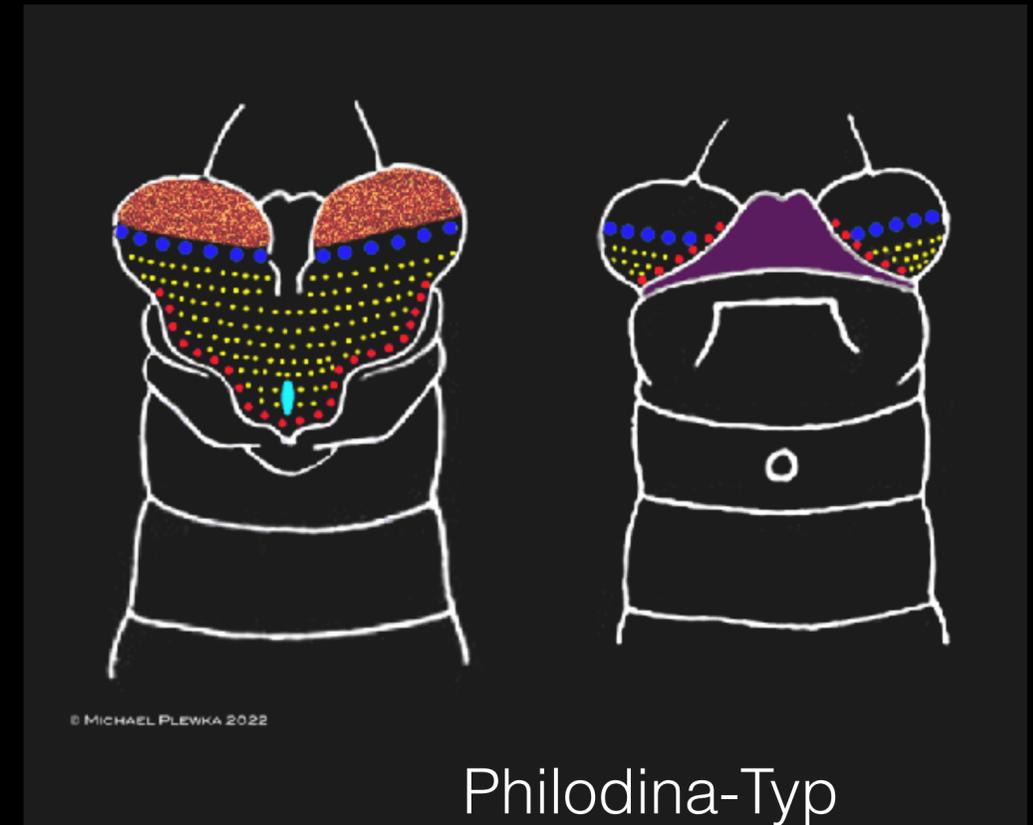
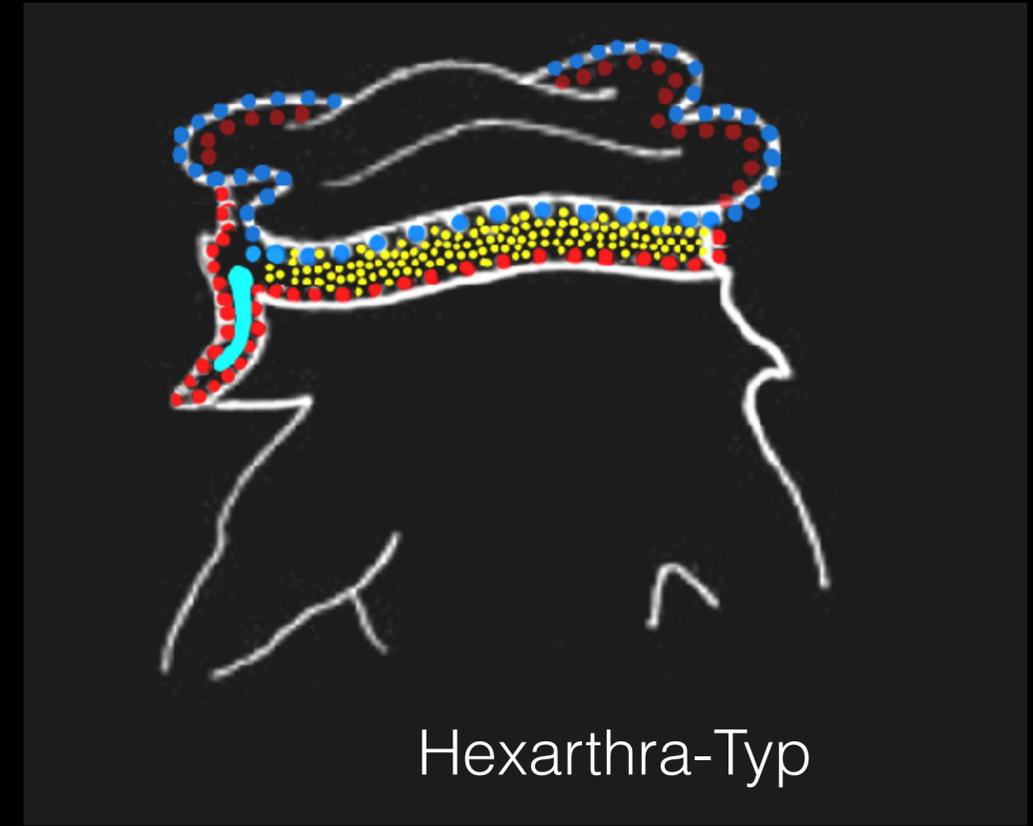
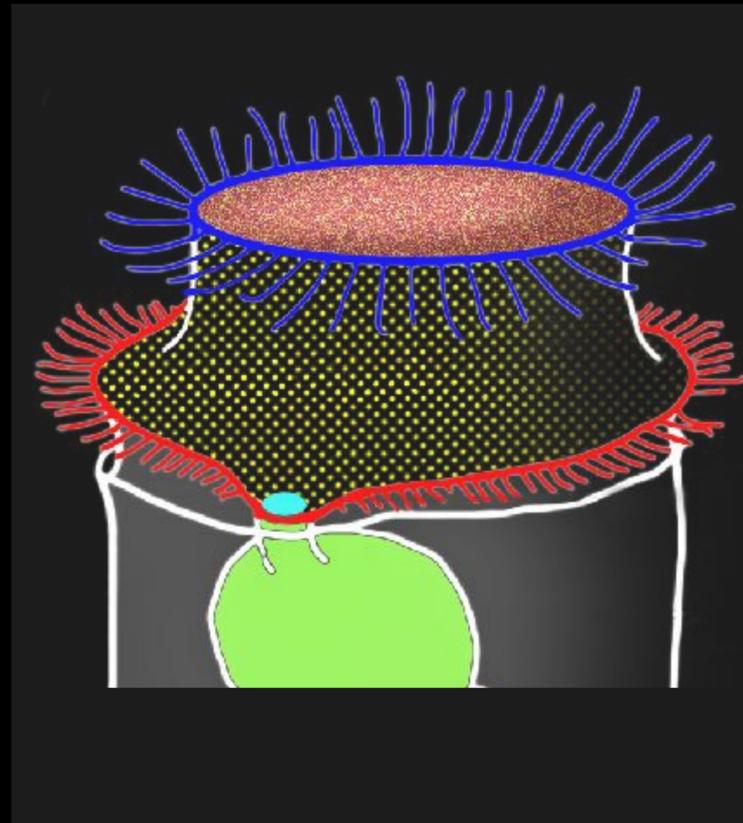
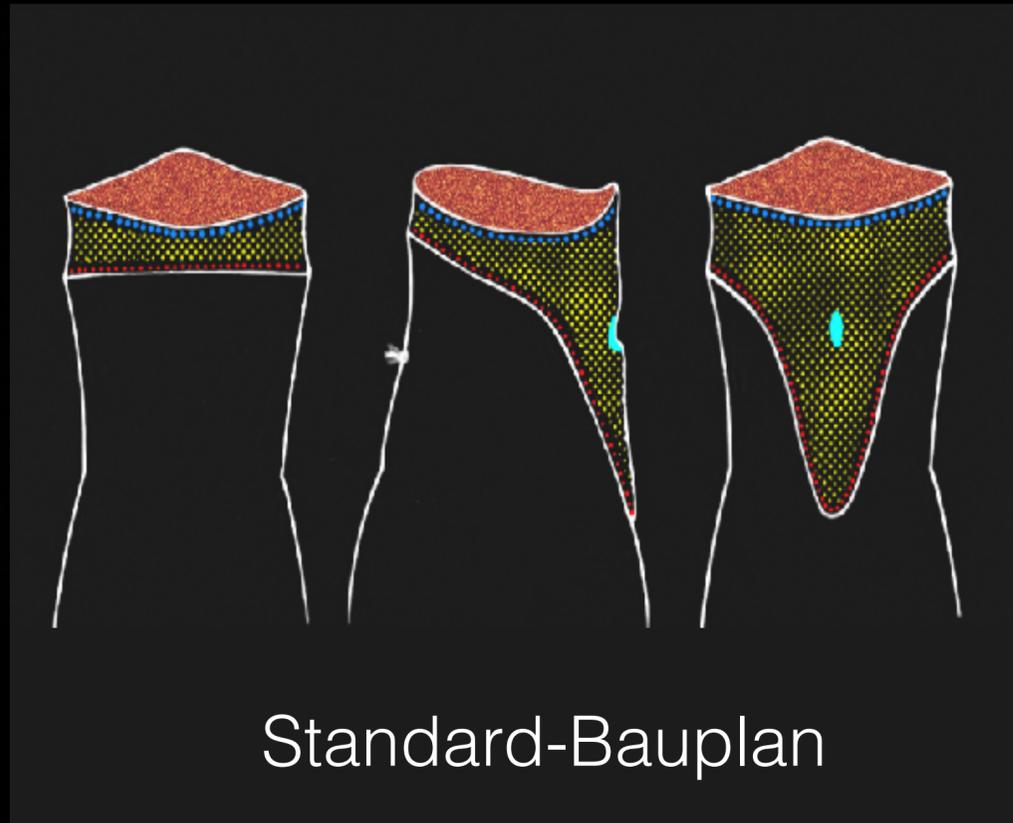
# Homologiekriterien (Remane) ermöglichen Einblicke in die Evolution einer Organismengruppe

1. Kriterium der Lage
2. Kriterium der spezifischen Qualität (z.B. Stoffe (Chitin/Cellulose, Chlorophyll), bestimmte Eigenschaften (Muskel-/ Nervenfasern, Richtung des Cilienschlages))
3. Kriterium der Stetigkeit bzw. Zwischenformen

Beispiel:

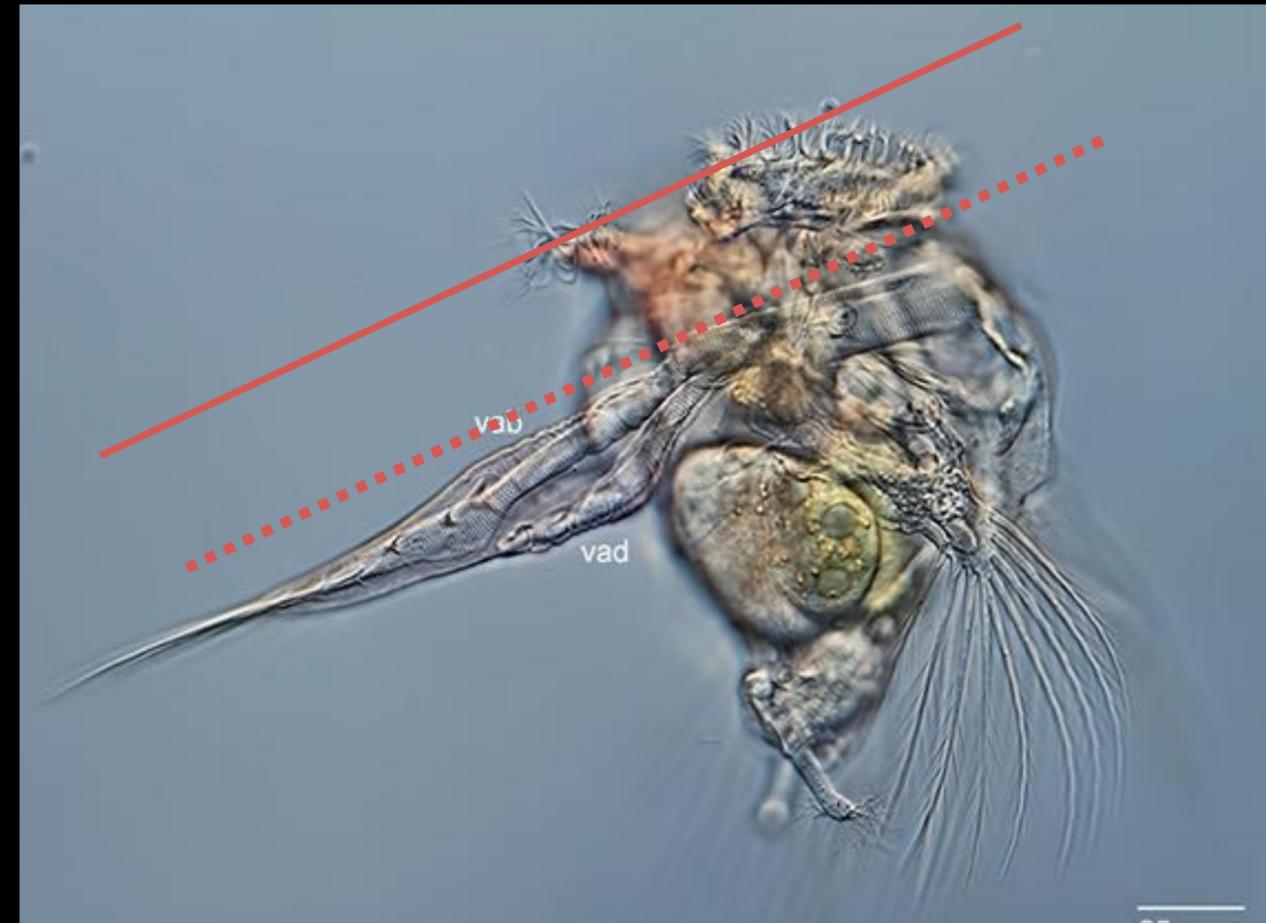


Hypothetische Evolution der **Corona** einiger Rädertiergruppen.



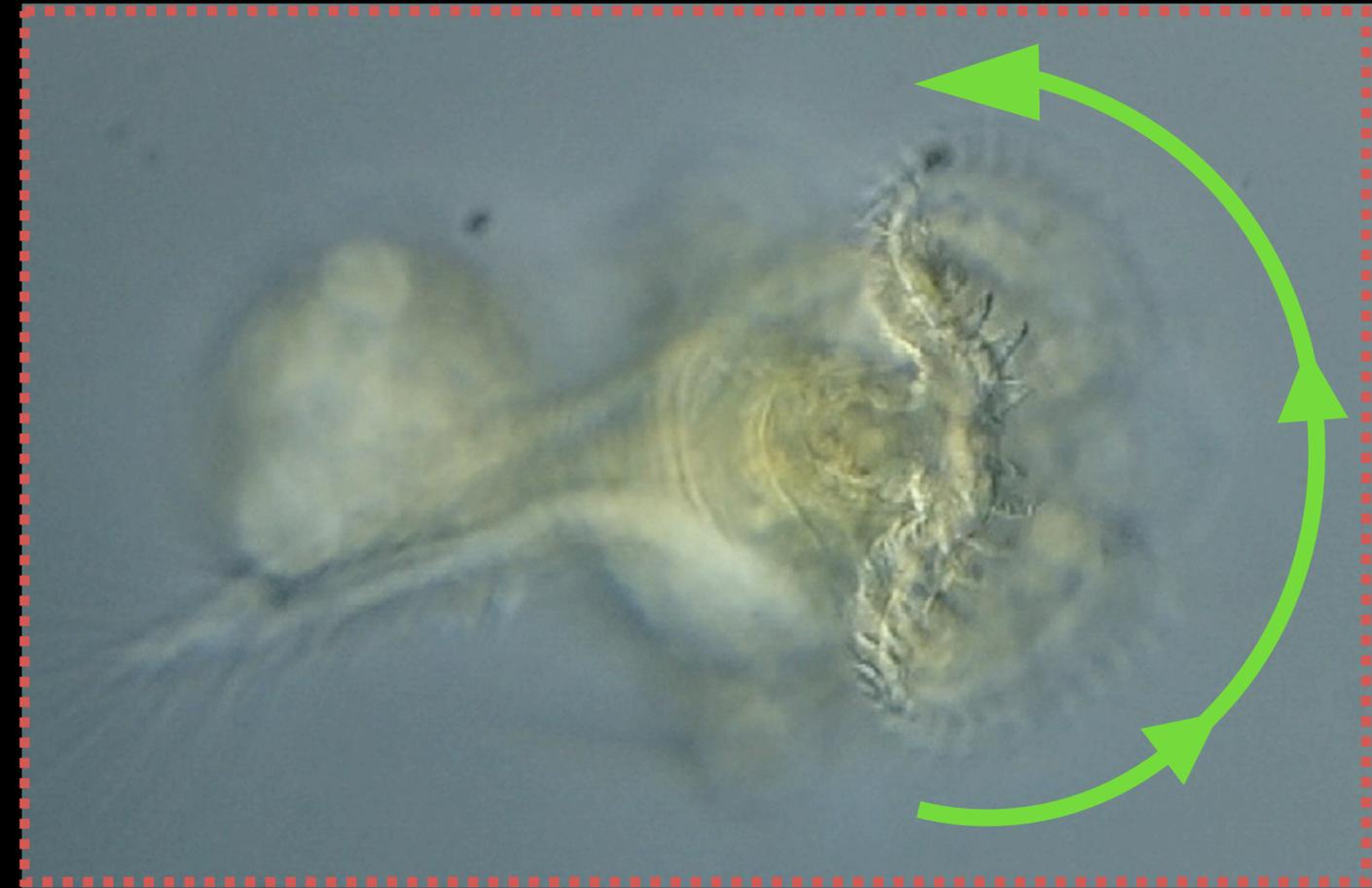
Corona von *Hexarthra mira*:

metachrone Bewegung: **GUZS**



Seiten-  
-ansicht

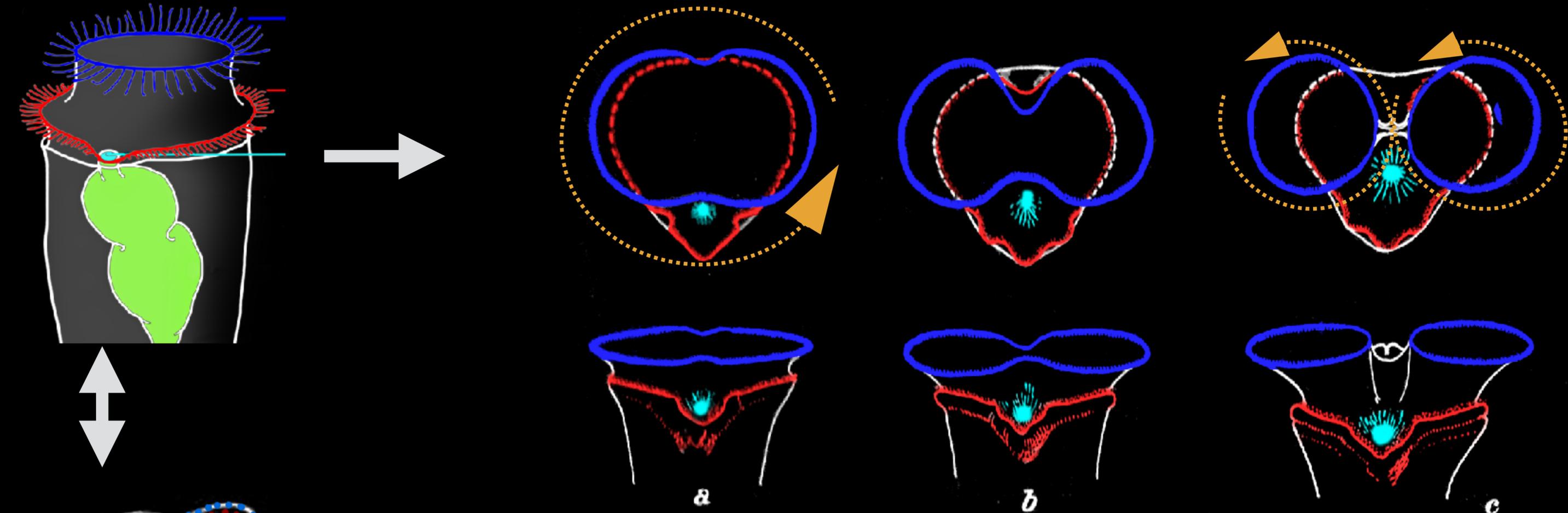
Bauch-  
-ansicht



Hexarthra-Typ



Die Hypothese der Entwicklung der 2 Räderräder der Bdelloiden aus einer einzigen Trochalscheibe des Ursprungstyps im Lauf der Evolution erklärt die gleichsinnige Drehrichtung (Remane)



Hexarthra-Typ

-  Trochus
-  Cingulum
-  Mund



Gegenüberstellung *Hexarthra mira*:

Philodina



Hexarthra-Typ

Philodina-Typ

Was ist mit anderen Rädertieren?

Das „Kugel-Rädertier“ Conochilus ist eine der wenigen Rädertiergattungen, bei der koloniale **pelagische** Formen auftreten



*Conochilus hippocrepis*

100  $\mu\text{m}$



Die Video- Dokumentation des Verhaltens des Räderorgans ist problematisch:

optimale Schichtdicke für Bildqualität

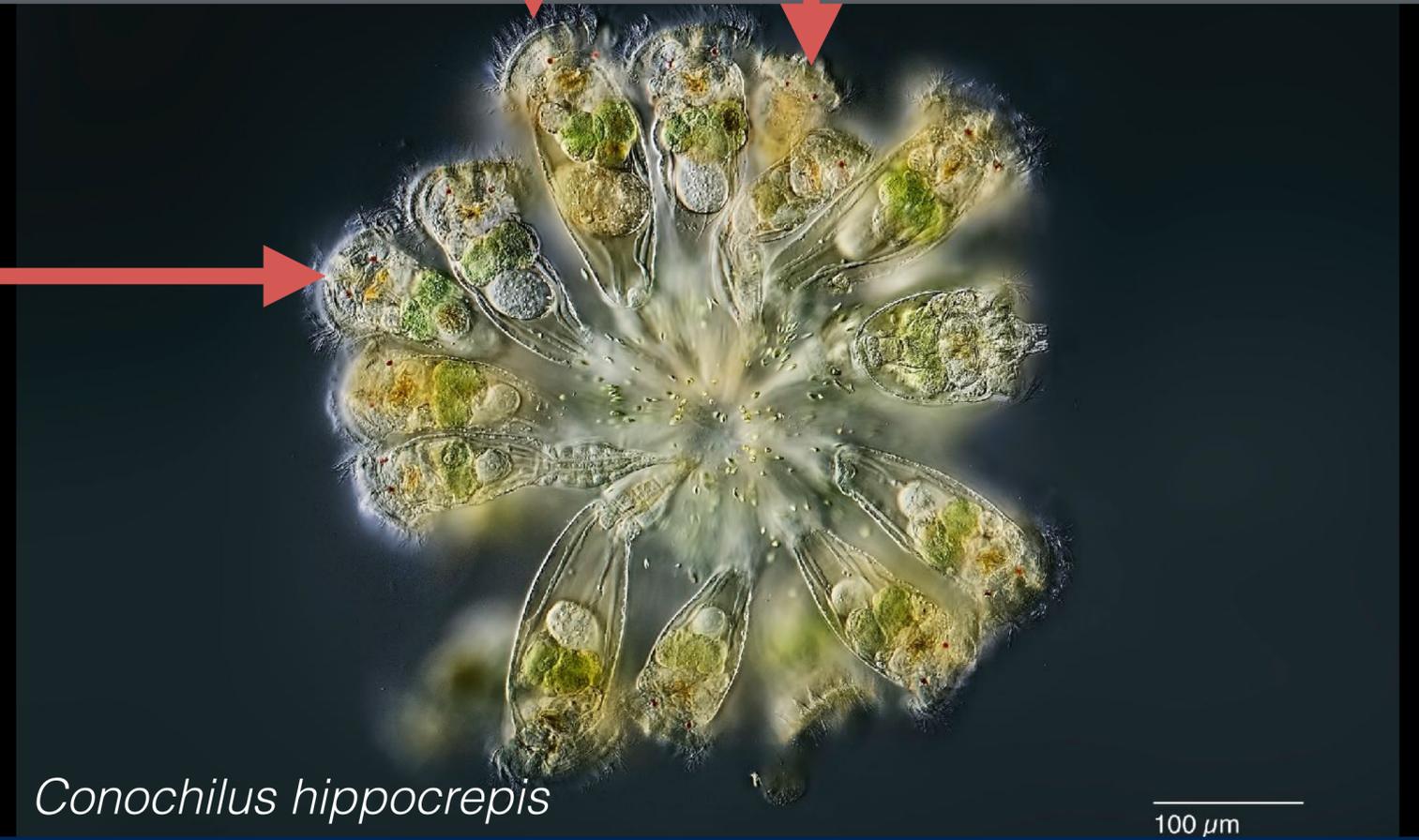
>>> unbrauchbar für die Fragestellung

(die Cilien-Bewegung wird durch das Deckglas gestört)

optimal für die Fragestellung

problematisch für die Bildqualität:

- sphärische Aberration
- wegen der Bewegungsfreiheit der Organismen: wechselnde Fokusebene

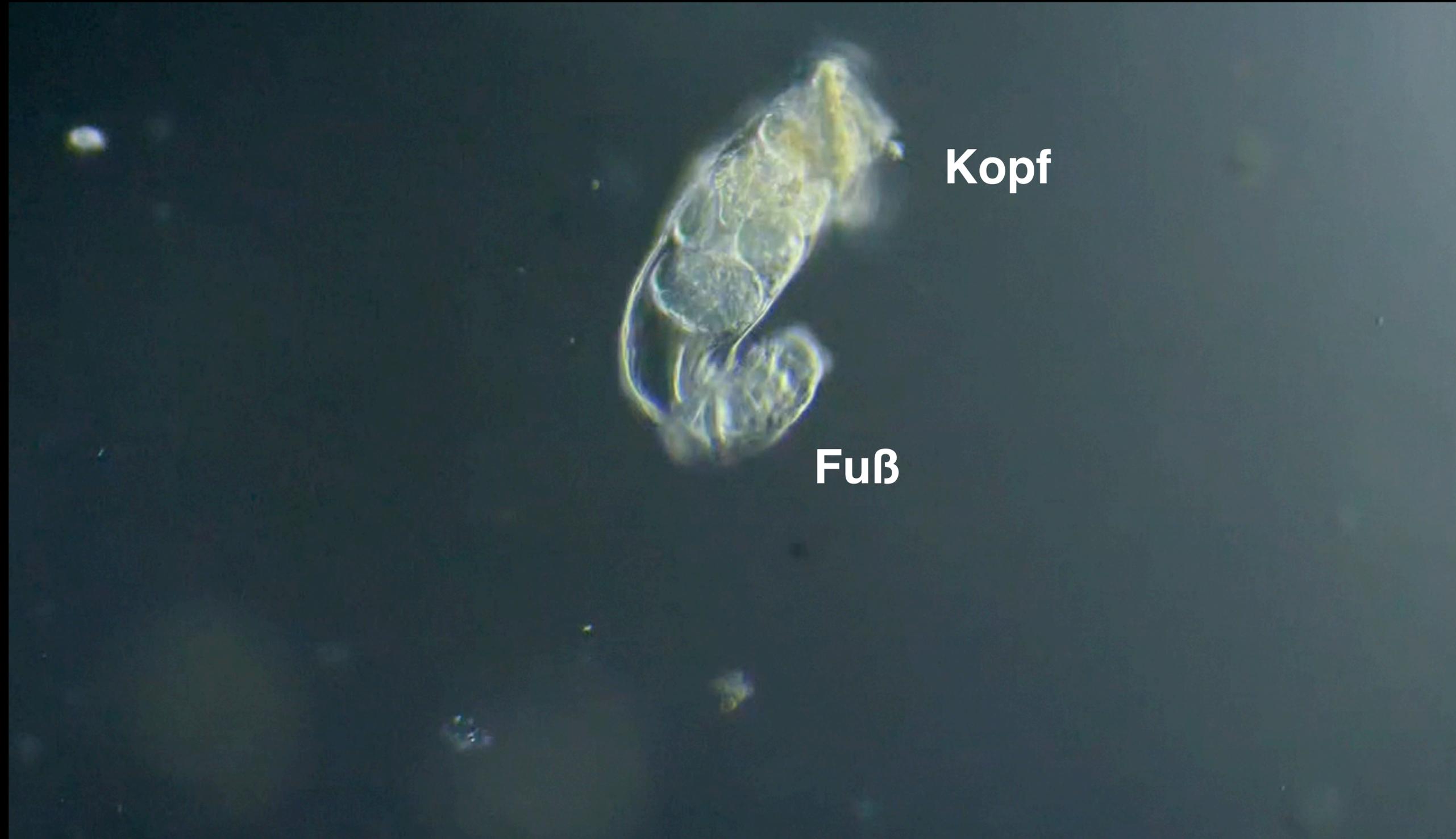


*Conochilus hippocrepis*

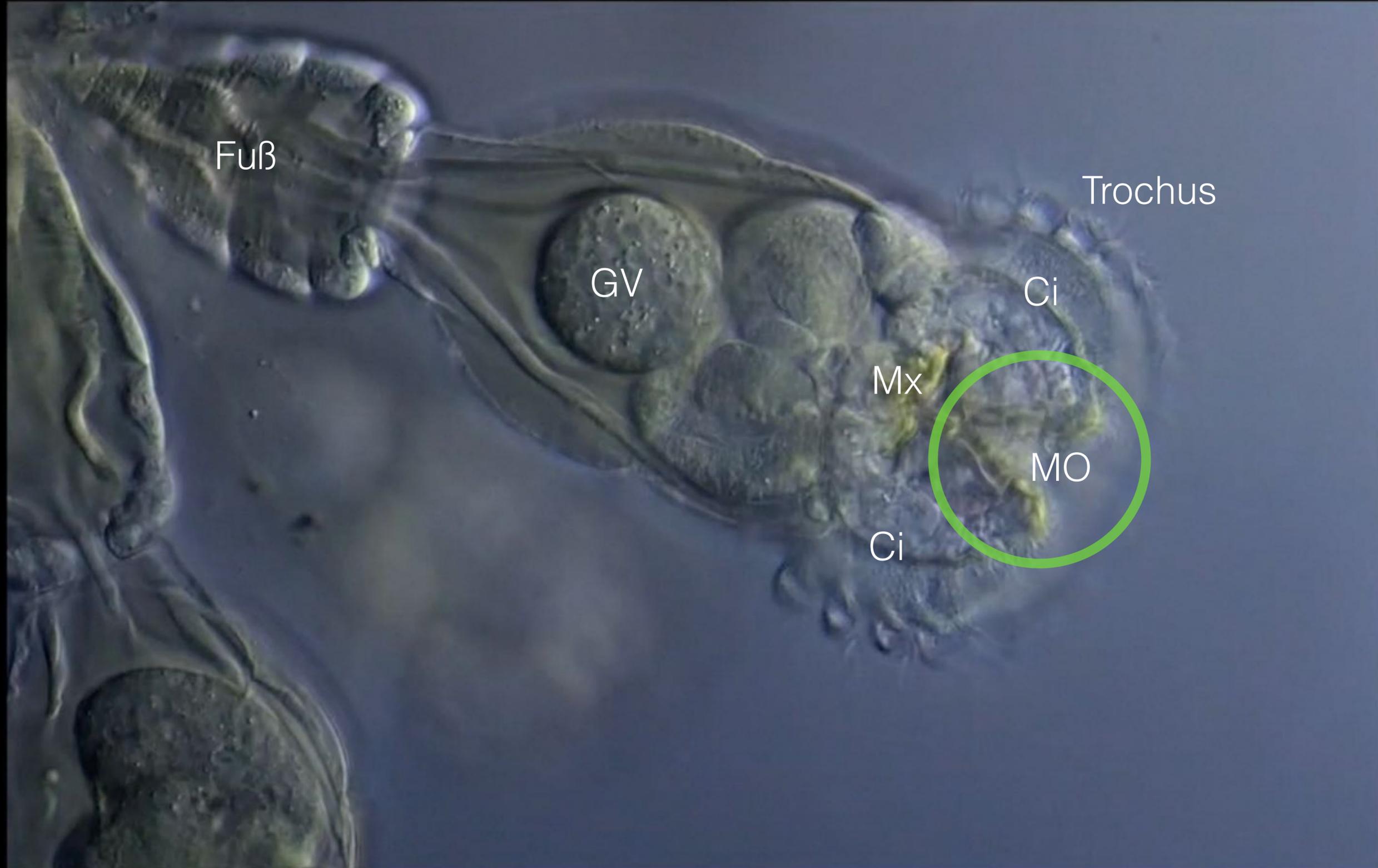
100 µm

Objektträger

Schon im „Wassertropfen“ wird die einzigartige Schwimmrichtung nach „rückwärts“ erwähnt



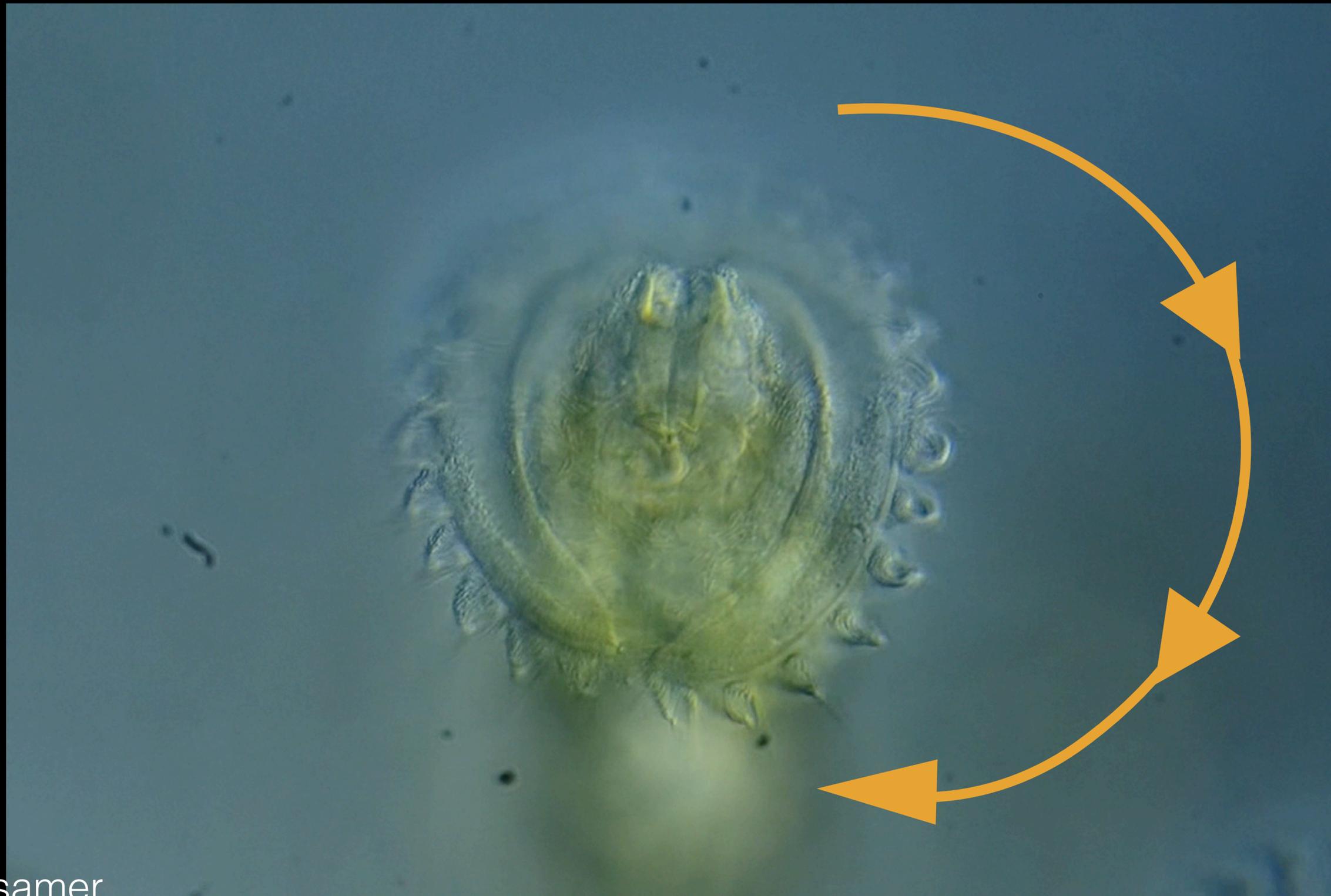
Einzel tier einer Kolonie



Die metachrone Wellenbewegung beim Kugel-Rädertier (Conochilus hippocrepis) scheint anders zu laufen als bei den bisher gezeigten Rädertieren, nämlich **im UZS** >>>> **???? Laeoplexie ????**



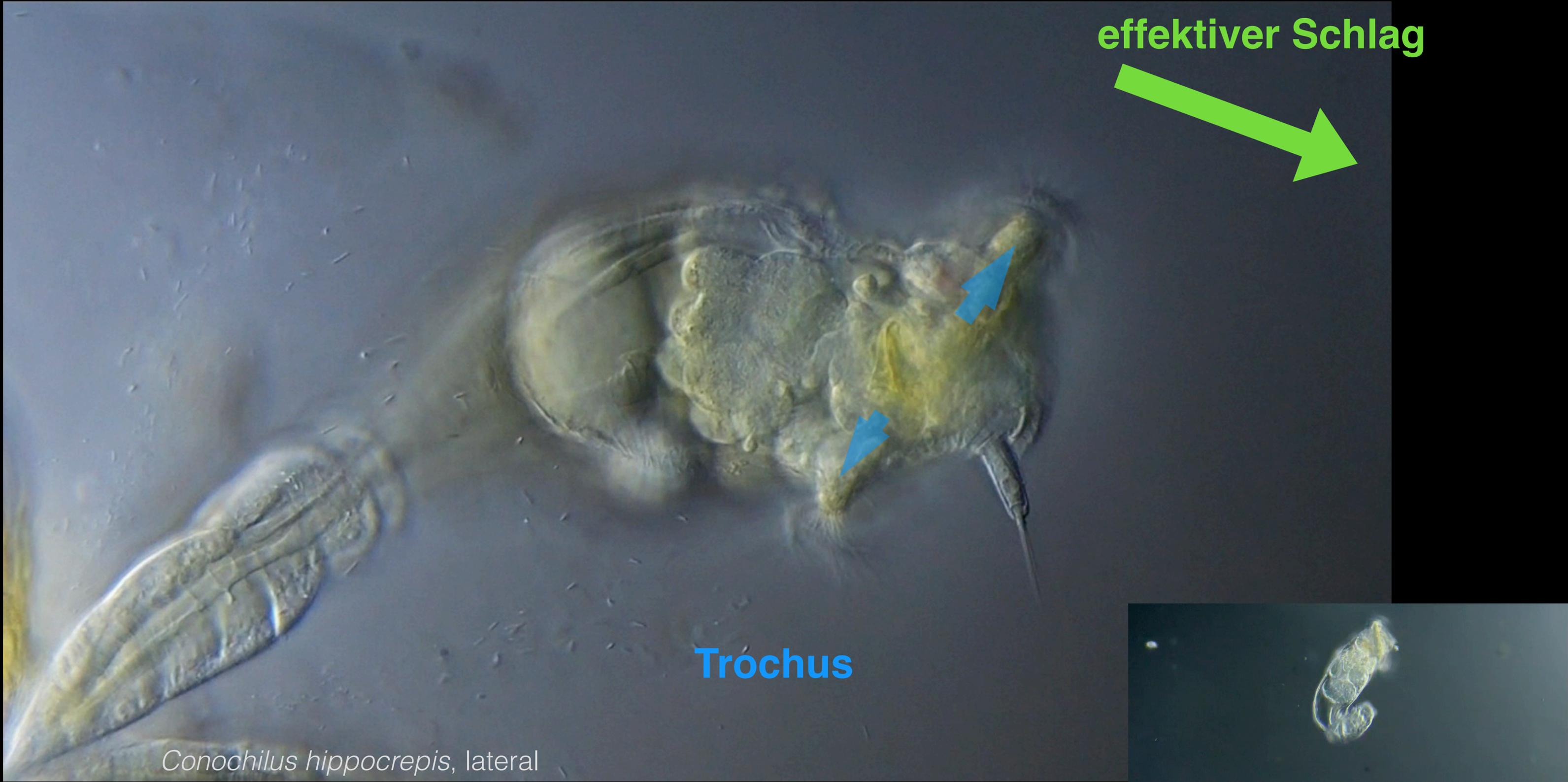
Die metachrone Cilienbewegung beim Kugel-Rädertier (*Conochilus hippocrepis*) läuft **zweifelsfrei**  
im **UZS**



12x langsamer

Was ist die  
Erklärung für  
die Drehung  
im UZS?

Im Gegensatz zu anderen Rädertieren ist bei Conochilus der **effektive Schlag** nach vorn gerichtet...



**effektiver Schlag**

**Trochus**

*Conochilus hippocrepis*, lateral

woraus das Schwimmen nach rückwärts resultiert



Auch bei Conochilus ist die spezifische Qualität: **dexioplektische** Metachronie

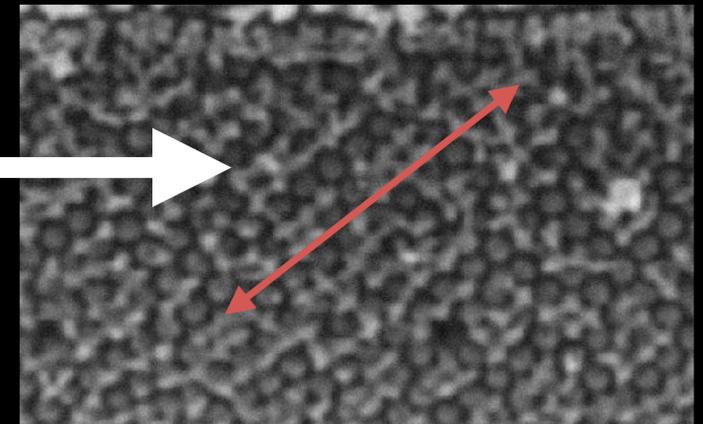
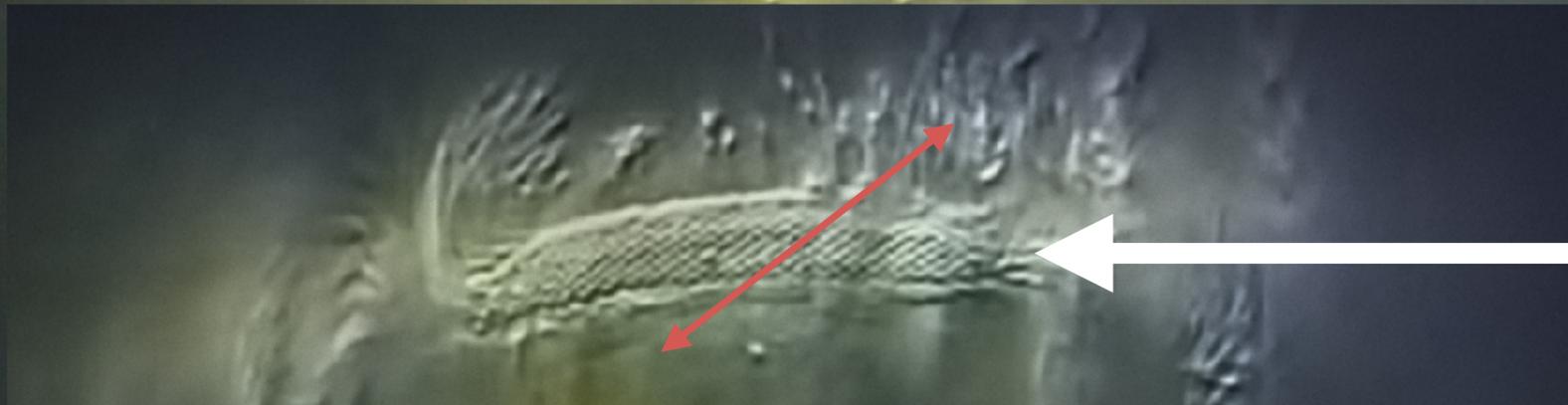


**effektiver Schlag**



Richtung der **metachronen Welle**

**Anordnung** der Cilien des Trochus  
wie bei Bdelloiden



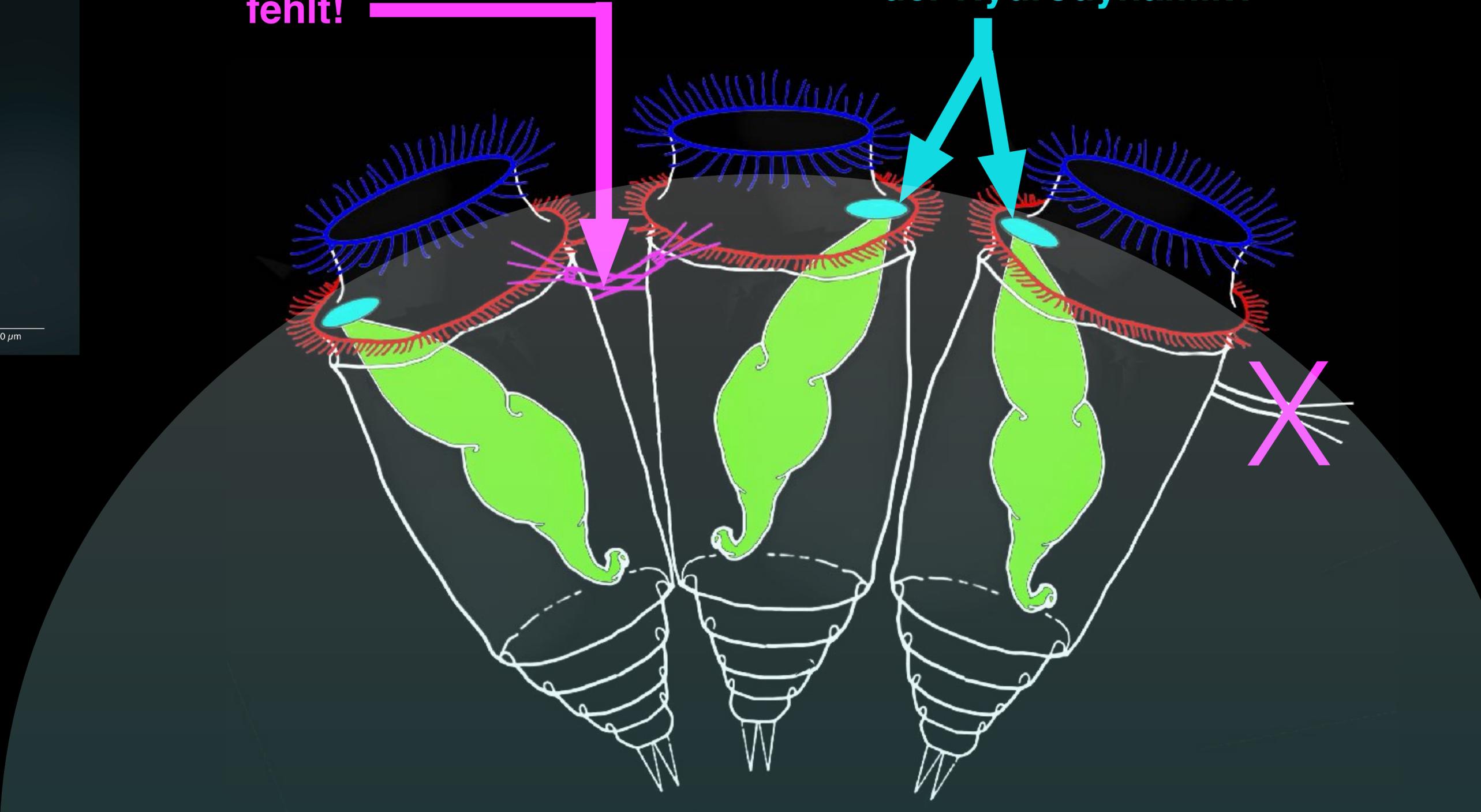
*Rotaria macrura*

Die Lebensweise als Kolonie hat (möglicherweise) Auswirkungen auf die Morphologie und somit auf den Selektionsdruck:



Dorsalantenne  
fehlt!

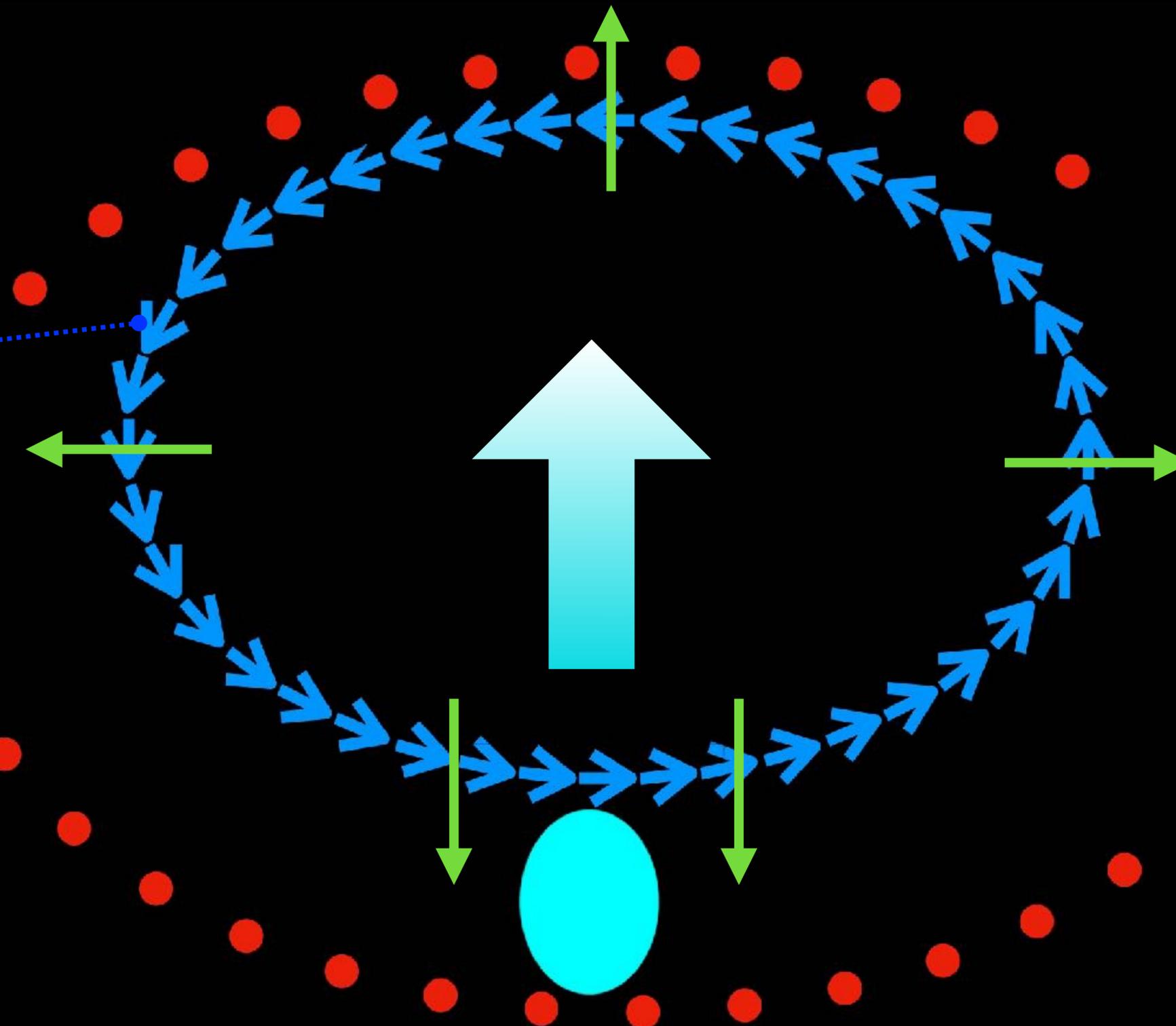
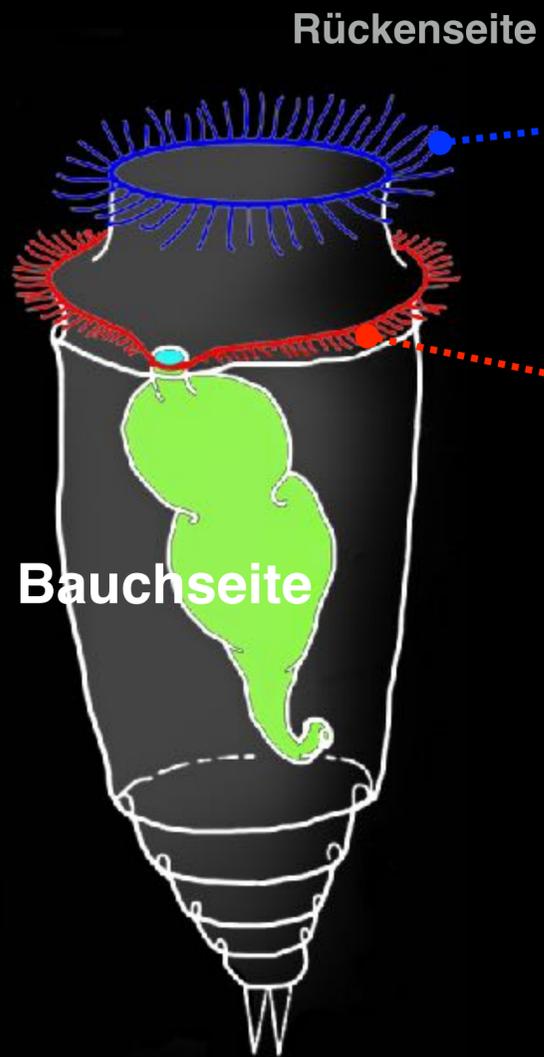
Behinderung beim  
Fressen? Interferenz  
der Hydrodynamik?



Der Lösungsansatz zur Erklärung der Drehrichtung bei Conochilus ist die Verlagerung des **Munds**



dorsal

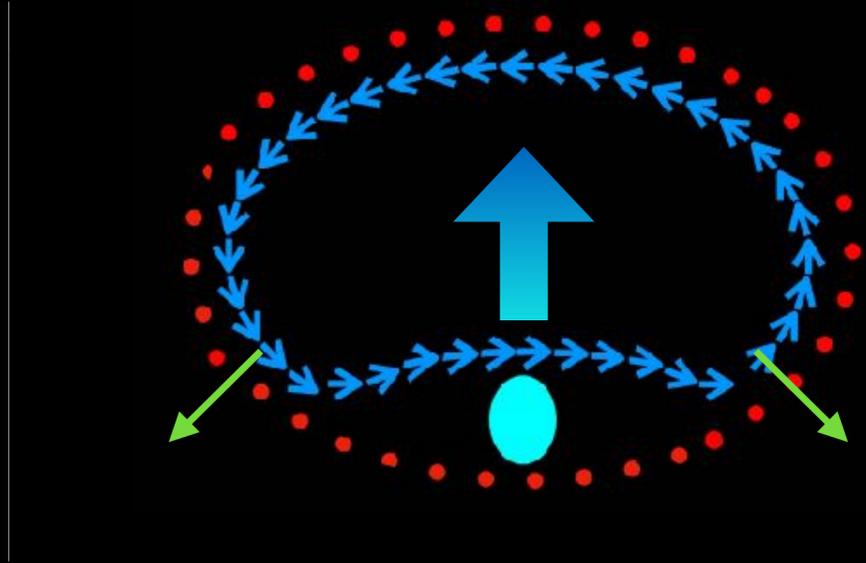
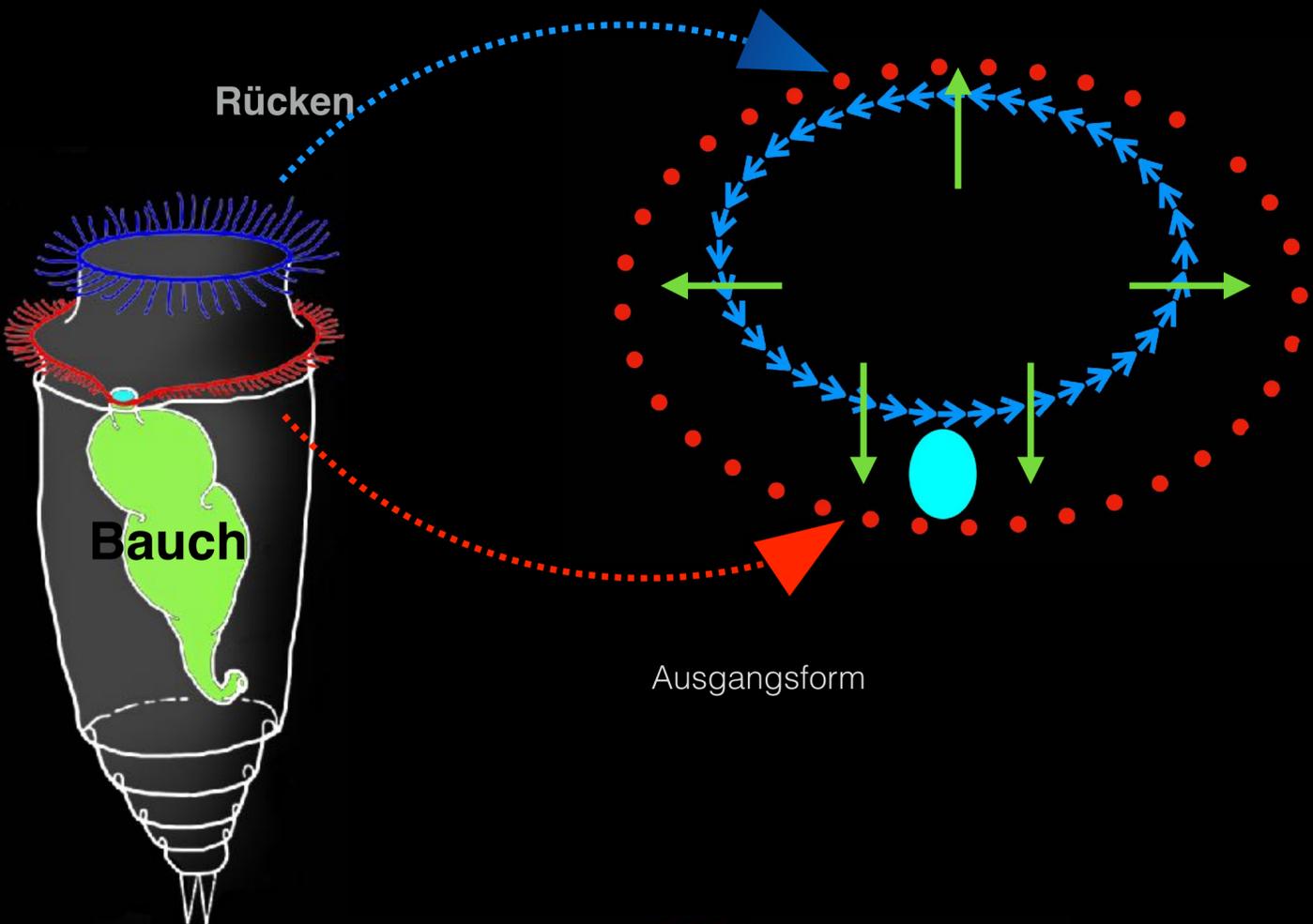


ventral

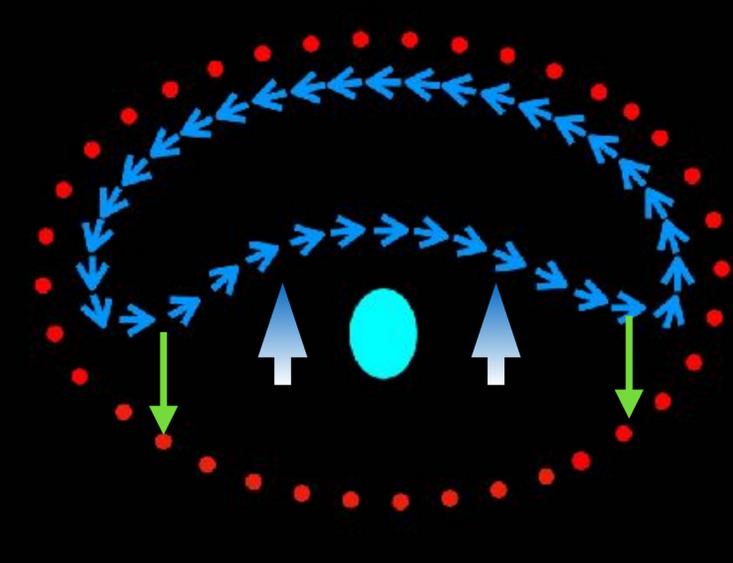
→ Richtung des effektiven Cilienschlags

-> -> -> Richtung der metachronen Welle

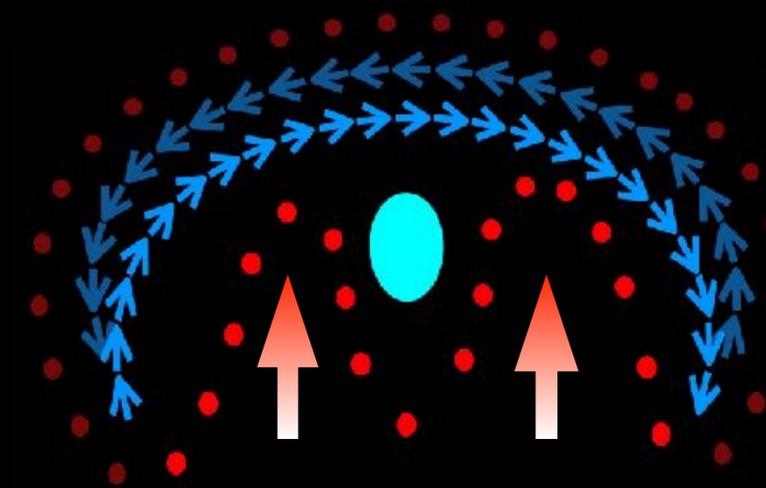
# Hypothese zur Entstehung der metachronen Drehrichtung im **UZS** bei den Cilien des **Trochus**



Im Lauf der Evolution wird der an der Bauchseite liegende **Mund** zur Rückenseite verschoben



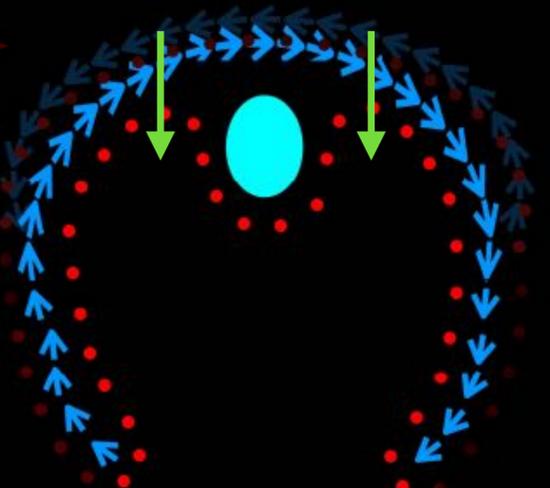
der ventral liegende **Trochusteil** wird dadurch zur Rückenseite verschoben



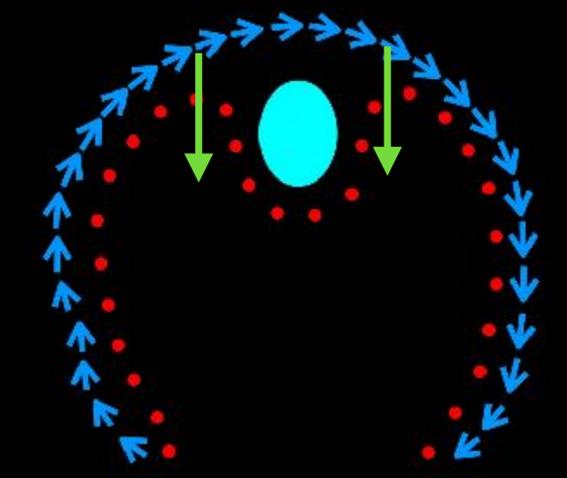
Der ventrale Teil des **Cingulums** umgibt den Mund.



Die dorsalen Bereiche von **Trochus** und **Cingulum** werden zurückgebildet.

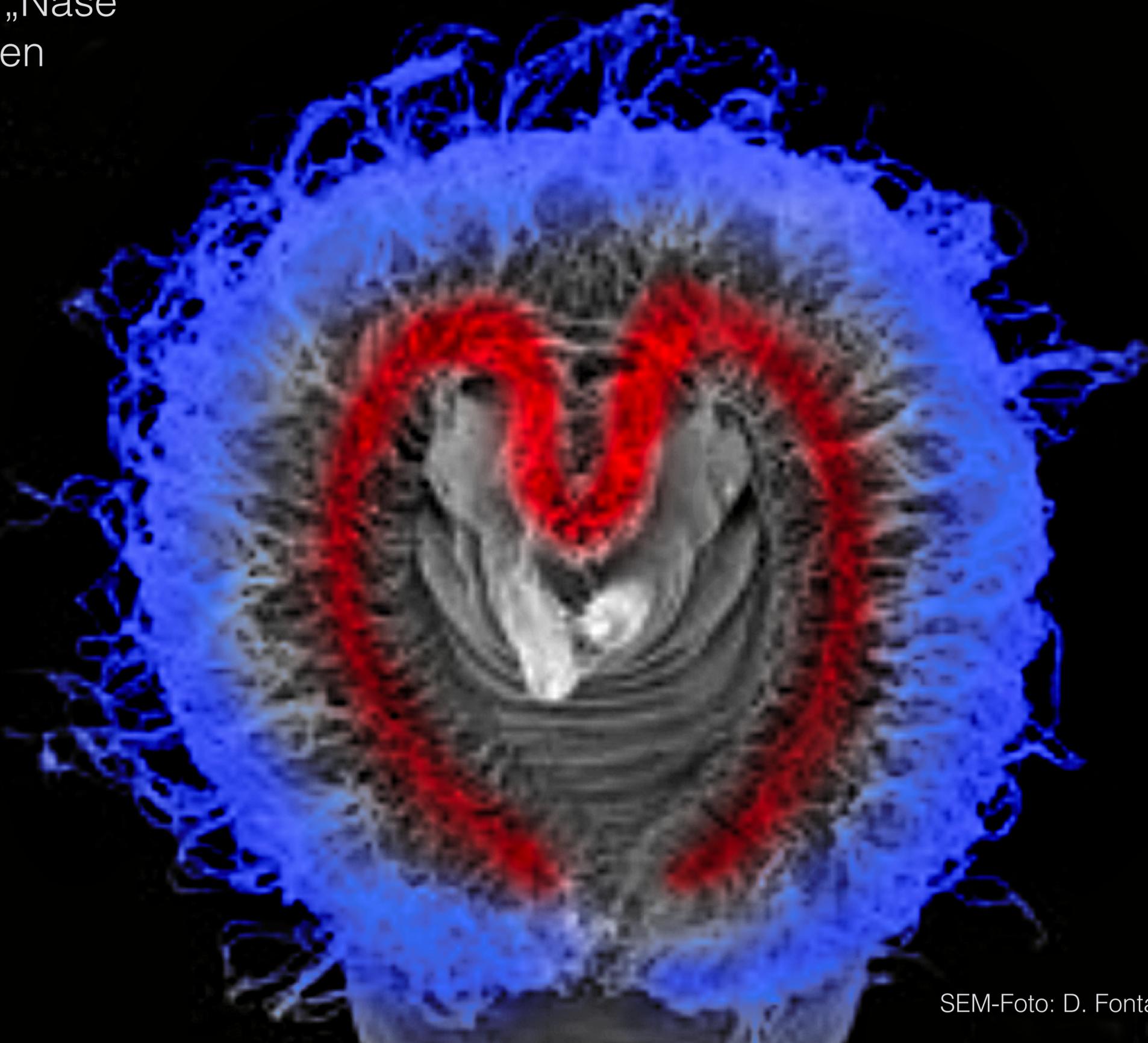


Der ventrale Teil des **Cingulums** transportiert Nahrung zum **Mund**



Die dorsalen Bereiche von **Trochus** und **Cingulum** sind zurückgebildet.  
Richtung der metachronen Welle: **UZS**  
>>>> **Dexioplexie**

Die evolutive Verschiebung des Munds zur Rückenseite bei *Conochilus* ist vergleichbar mit der Verschiebung der „Nase“ (=Atemloch) bei den Walen



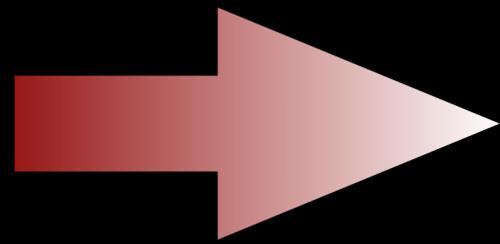
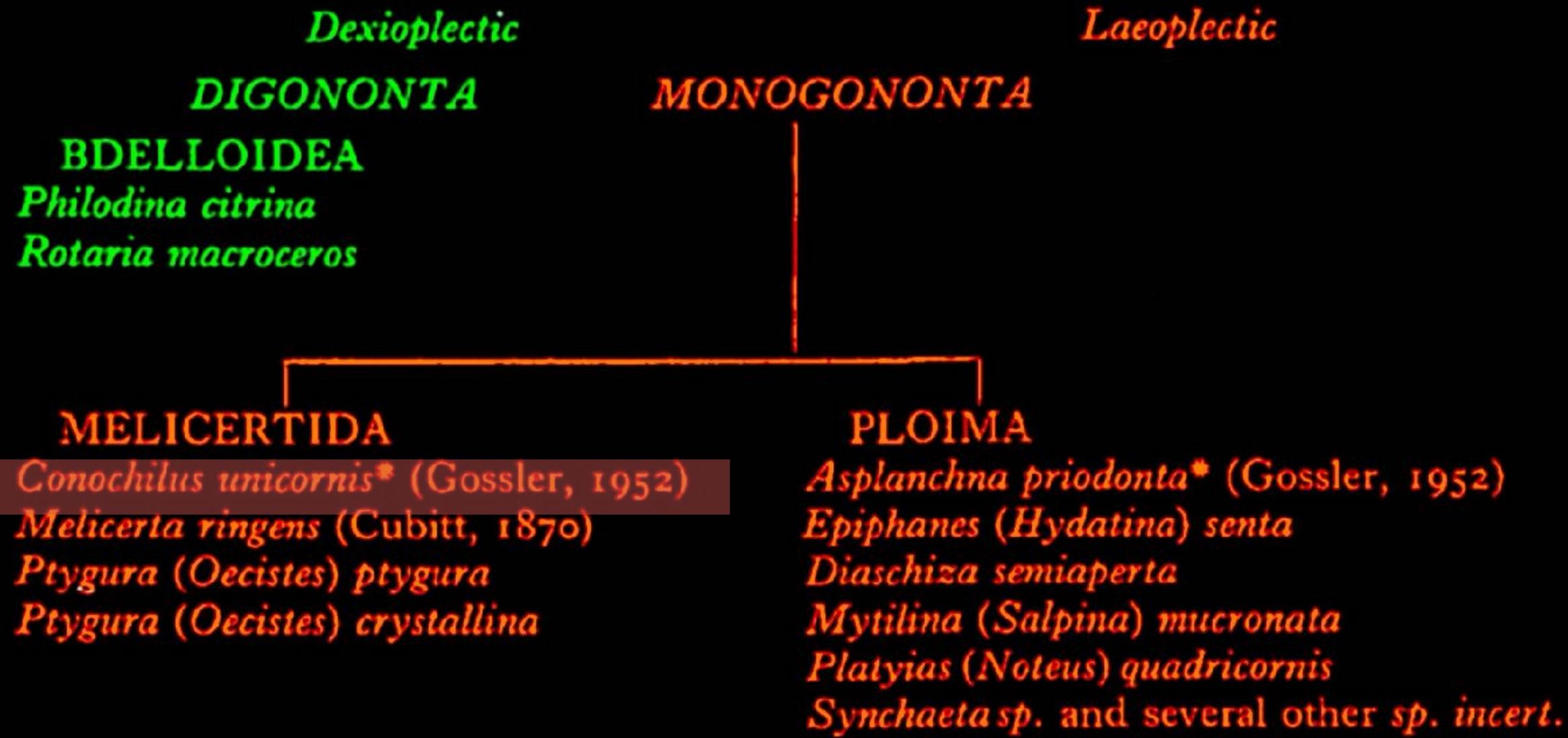
Die metachrone Cilienbewegung beim Kugel-Rädertier (*Conochilus hippocrepis*) läuft im UZS, ist aber im Gegensatz zu einigen Literaturstellen **dexioplektisch**



12x langsamer

Aus dieser falschen Beobachtung haben sich falsche Aussagen zur Phylogenie der Rädertiere ergeben

In Rotifera, the metachronal waves of the trochal disk may be either dexioplectic (anticlockwise when viewed anteriorly) or laeoplectic (clockwise) as follows:

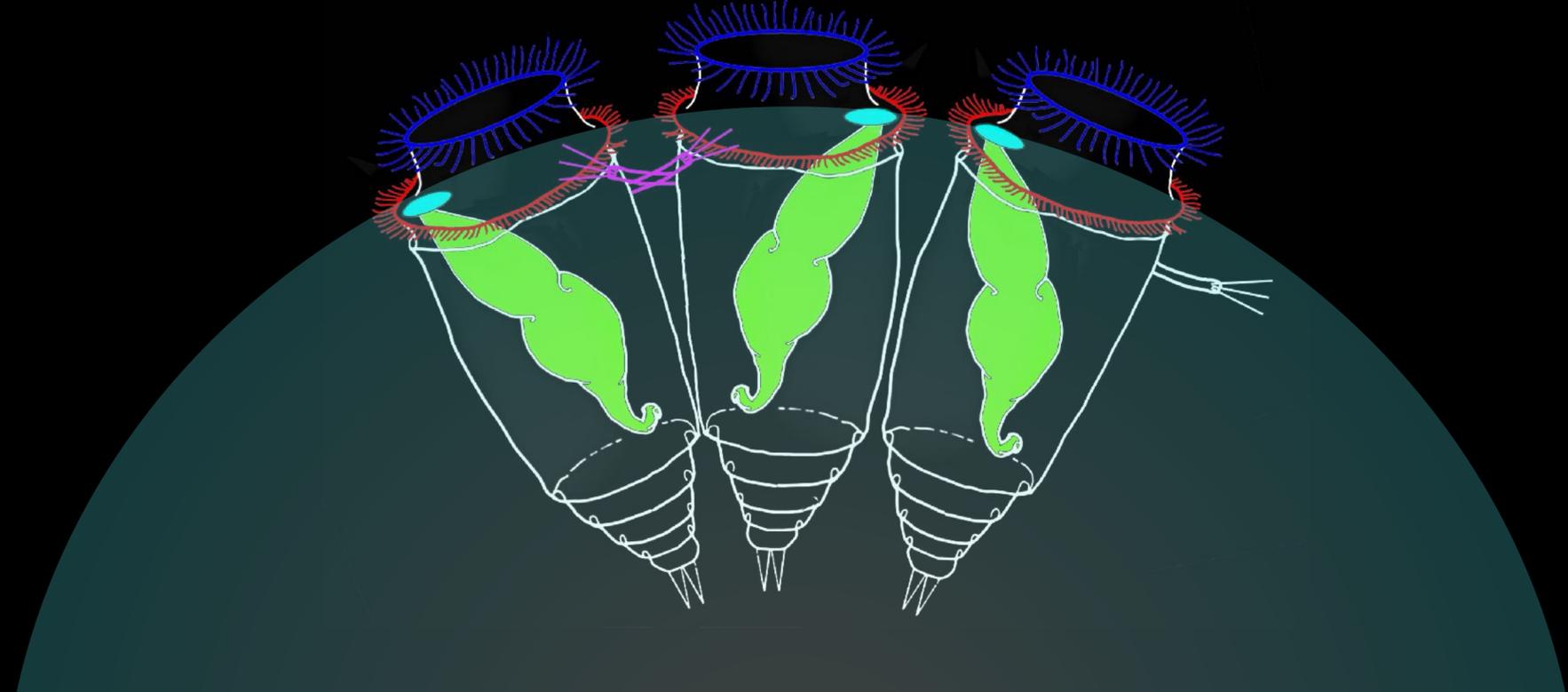
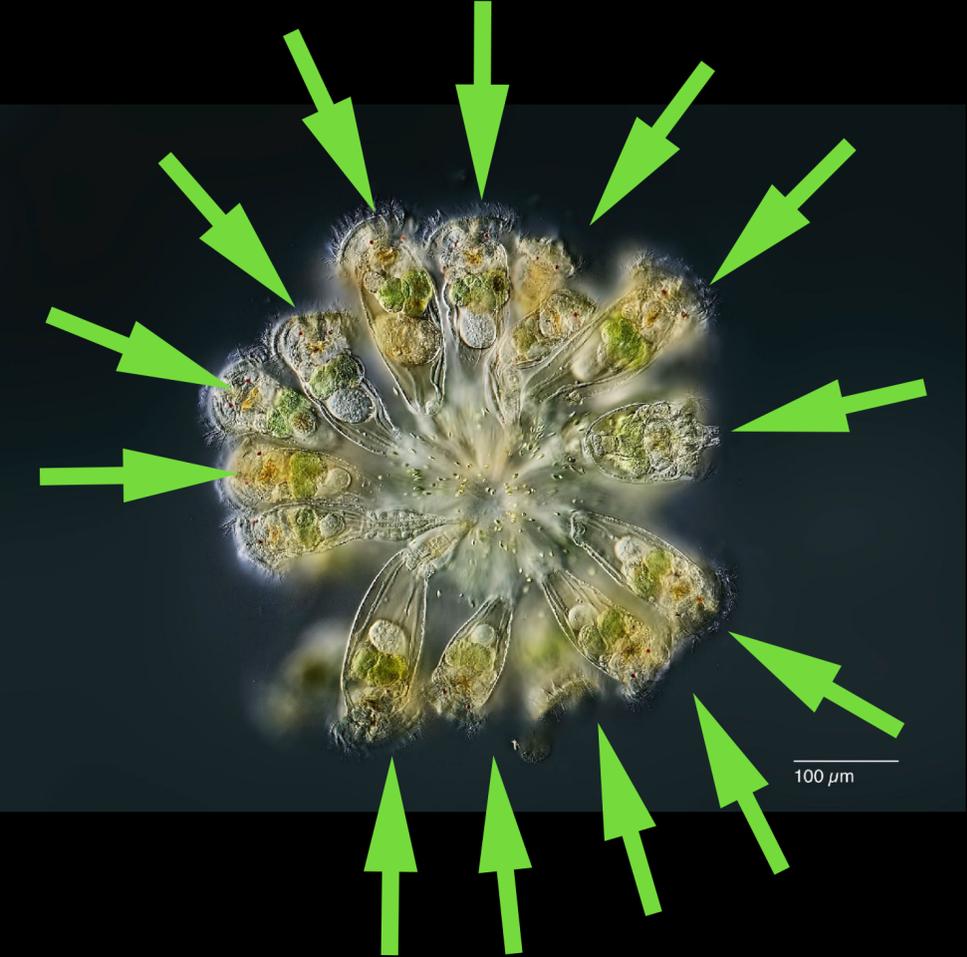


*Conochilus unicornis\** (Gossler, 1952)

No ciliary activity could be observed in *Collotheca (Floscularia) regalis*.

Ein weiterer Aspekt ergibt sich für Conochilus aus der einzigartigen Schlag/ Schwimmrichtung:

durch den Cilienschlag entsteht eine Kraft, die nach **innen** gerichtet ist; d.h. es entstehen keine Zugkräfte, welche die Kolonie auseinanderreißen könnten



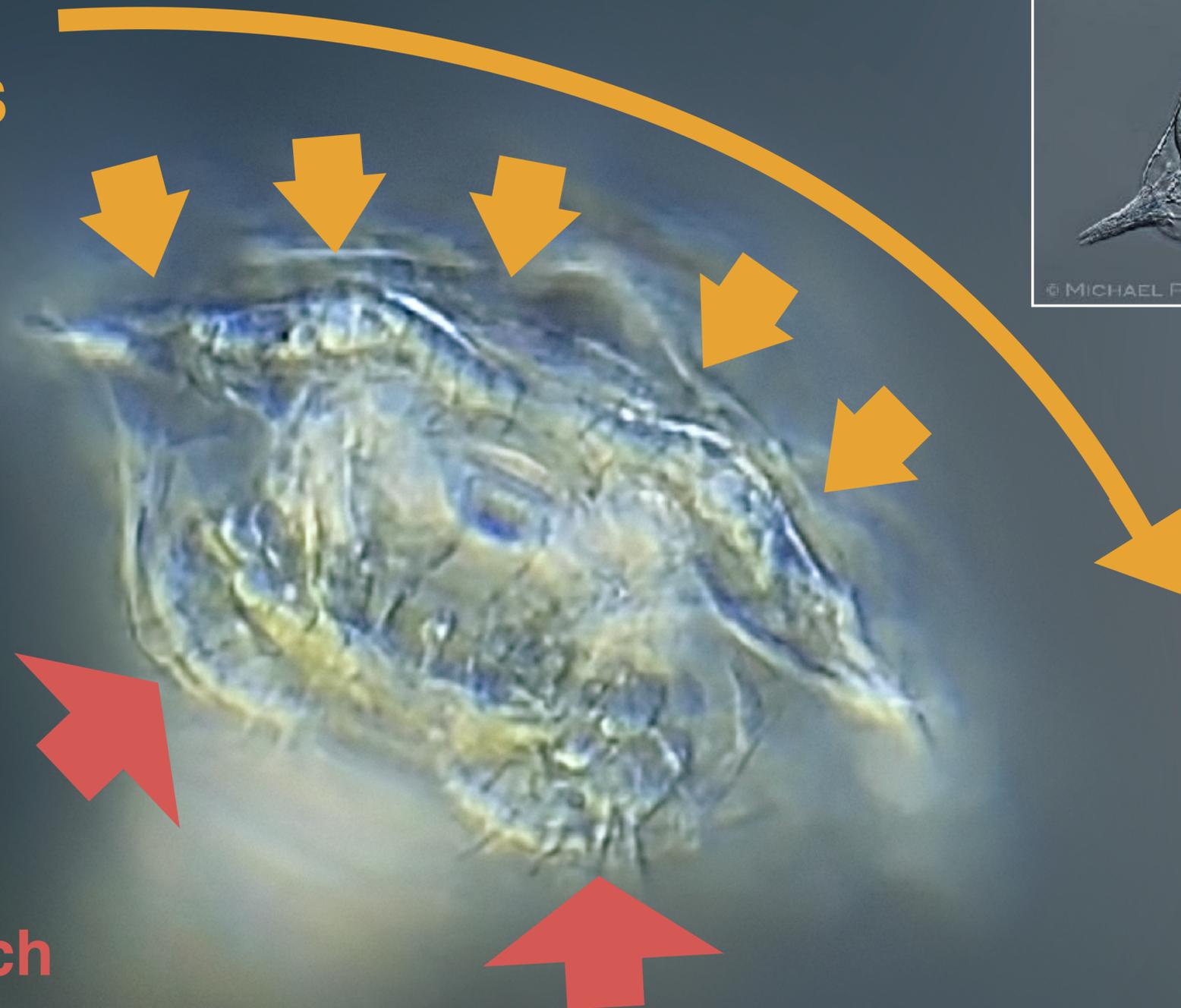
# Beobachtungen an anderen Rädertieren

Beim „Drachen-Rädertier“ *Synchaeta* treten sowohl **spiegelsymmetrische** metachrone Bewegungen als auch solche **im UZS** auf.



*Synchaeta longipes*

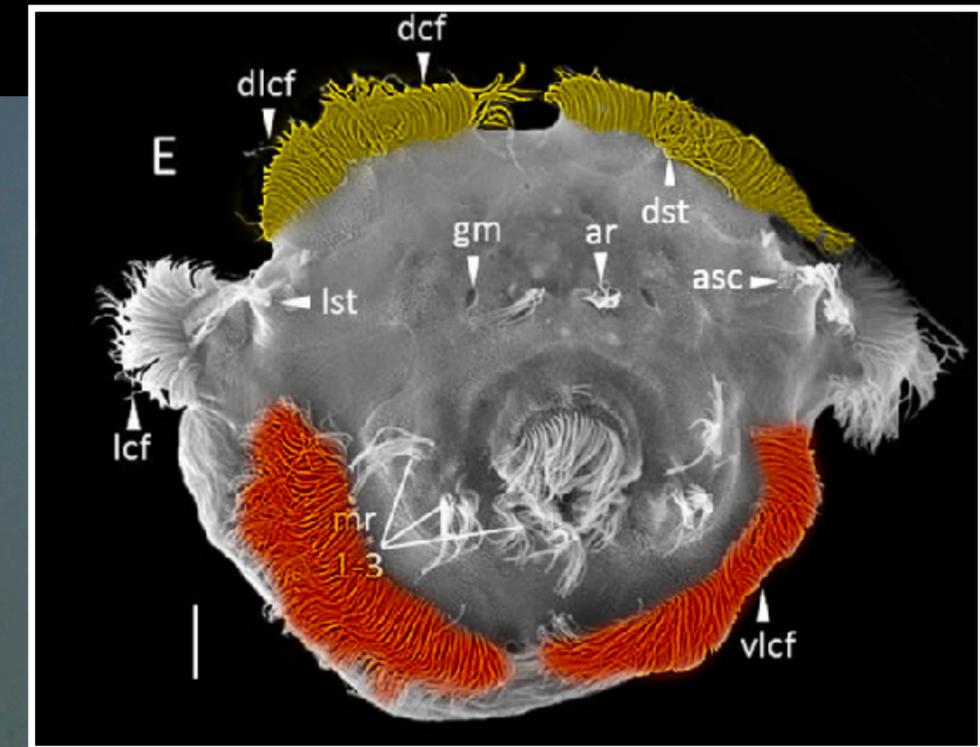
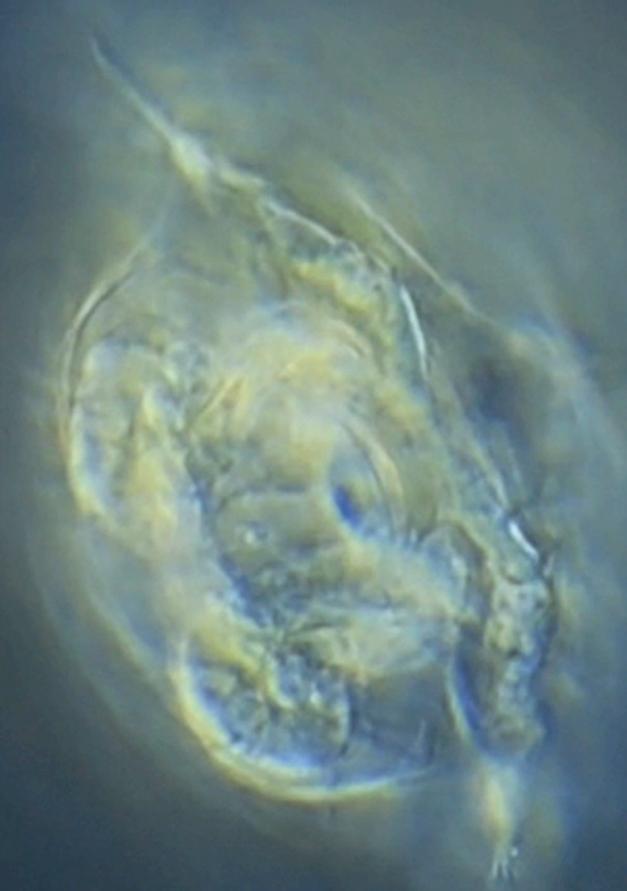
**Drehrichtung: UZS**



**Bewegung:  
spiegelsymmetrisch**

Beim „Drachen-Rädertier“ *Synchaeta* treten sowohl **spiegelsymmetrische** metachrone Bewegungen als auch solche **im UZS** auf.

**Drehrichtung: UZS**



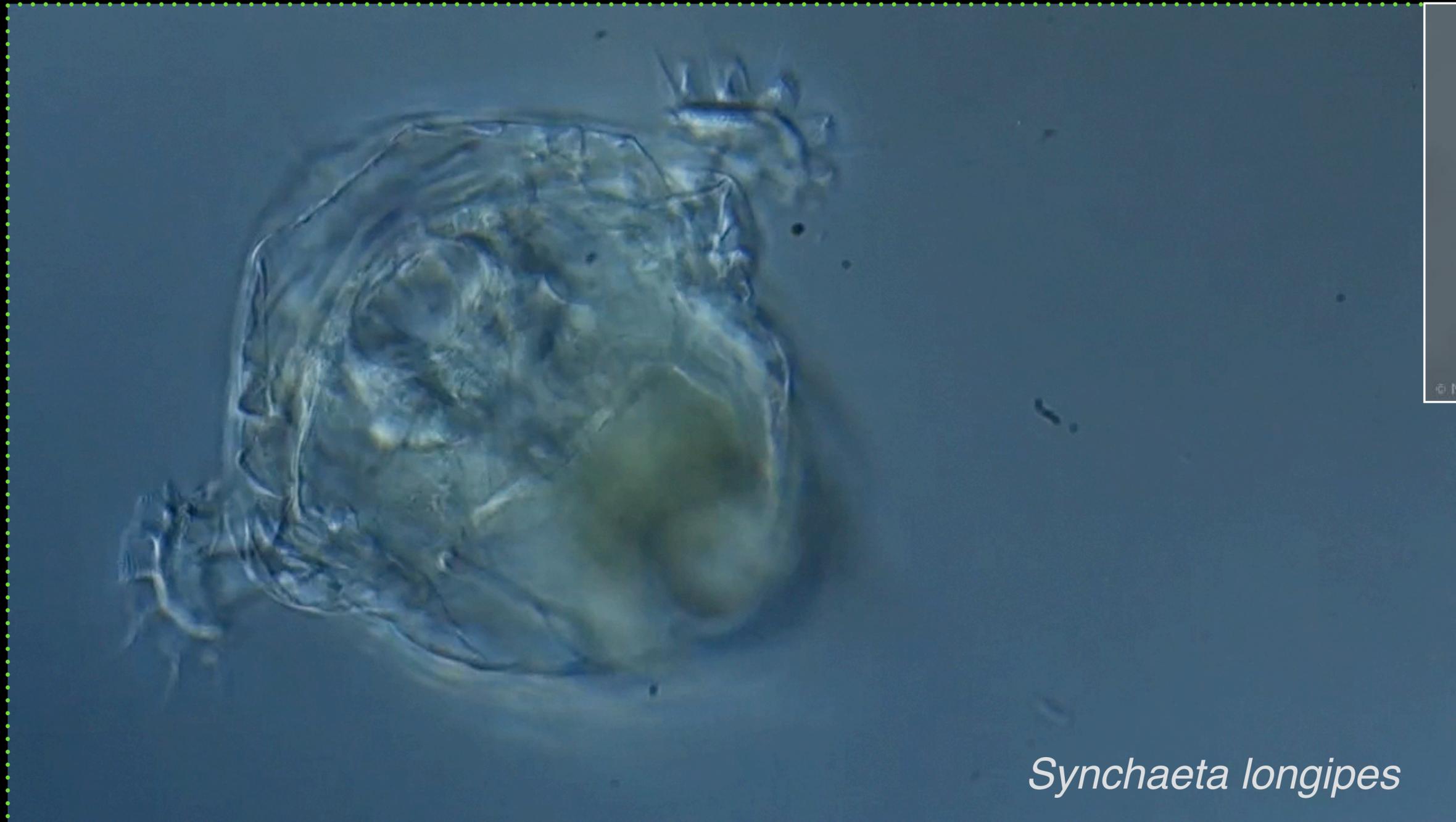
SEM-Foto: W. Ahlrichs  
(verändert)

**Bewegung:**  
**spiegelsymmetrisch**

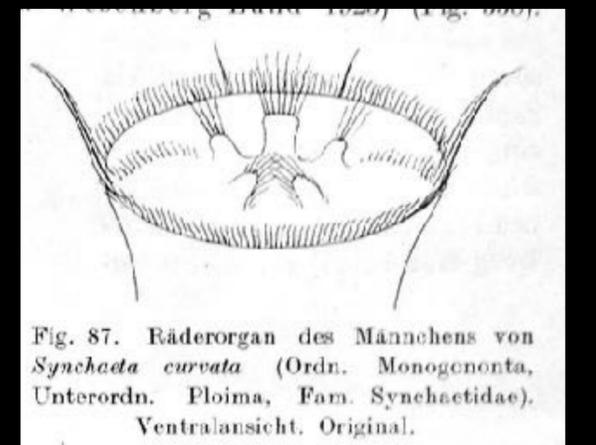
*Synchaeta longipes*

# Weitere Beobachtungen am „Drachenrädertier“ *Synchaeta*:

Metachrone Bewegung der Cilien der Aurikel ist nicht spiegelsymmetrisch:

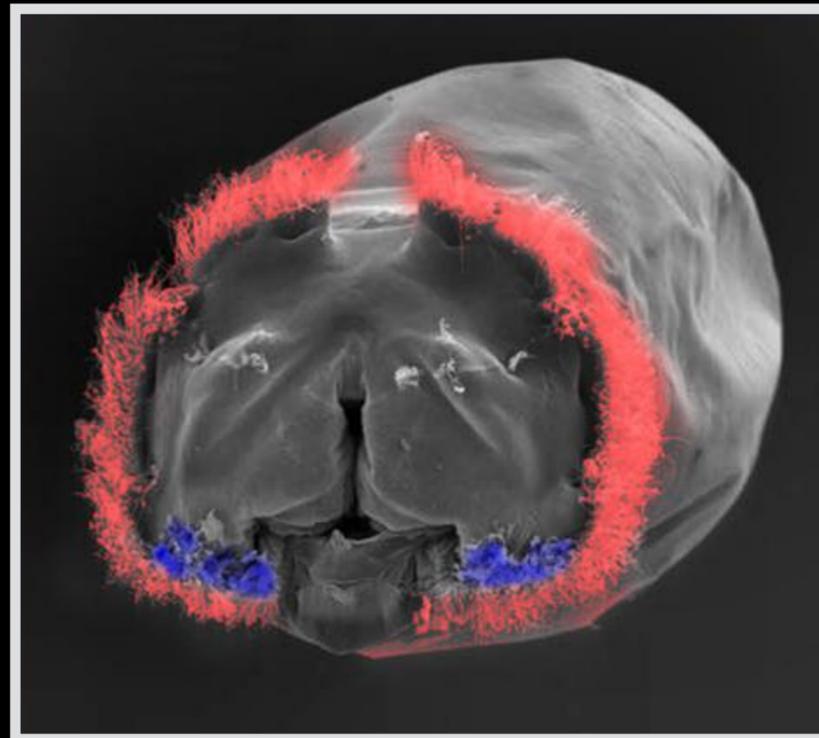


*Synchaeta longipes*

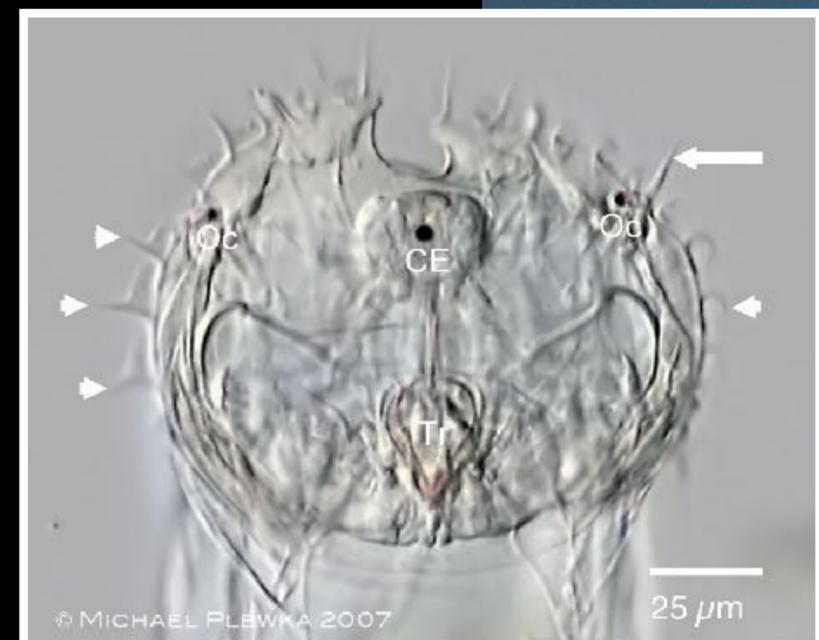


Rudiment des ursprünglichen Cilienkranzes (Trochus? Cingulum?) ???

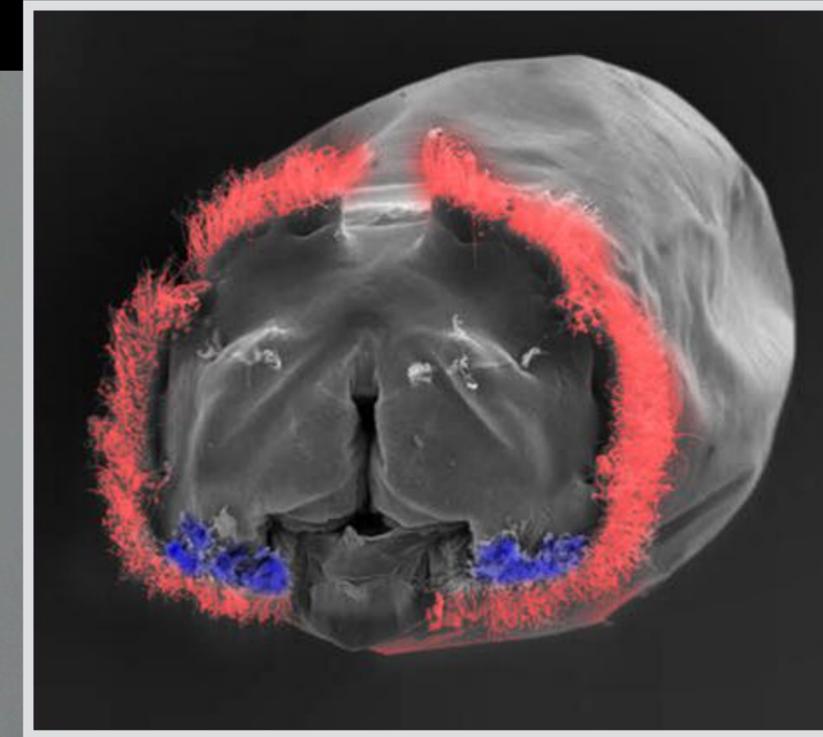
# Asplanchna priodonta: Metachronie im **UZS** am **Cingulum**



SEM-Foto: W. Ahlrichs  
(verändert)

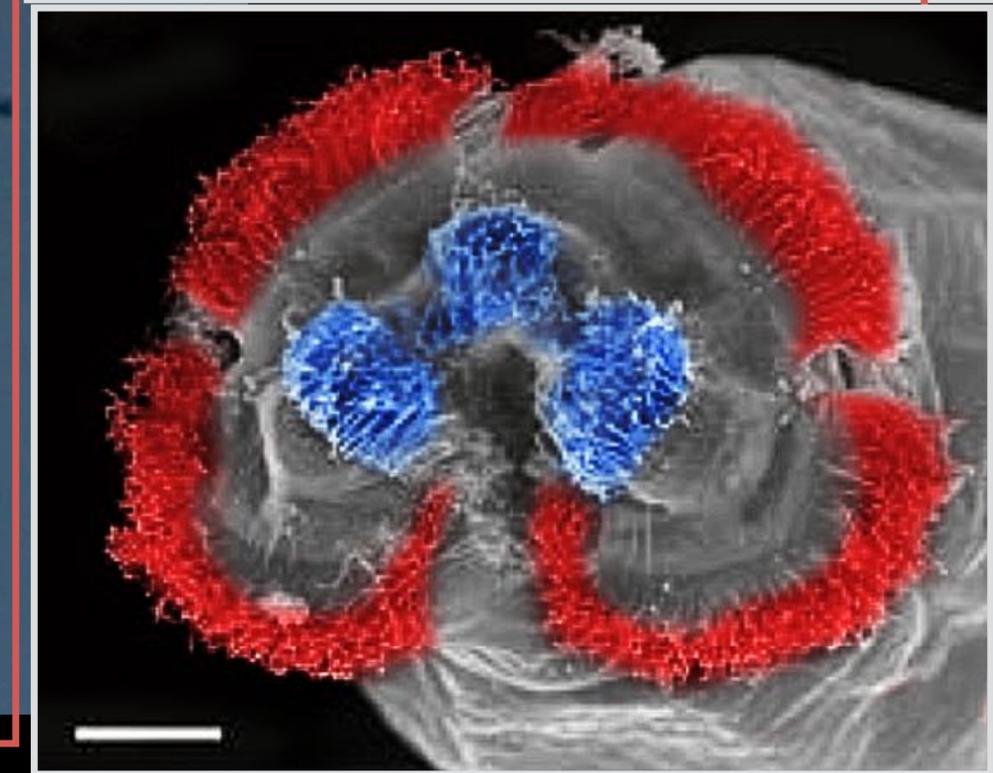


# Asplanchna priodonta : **spiegelsymmetrische** Metachronie des Pseudotrochus



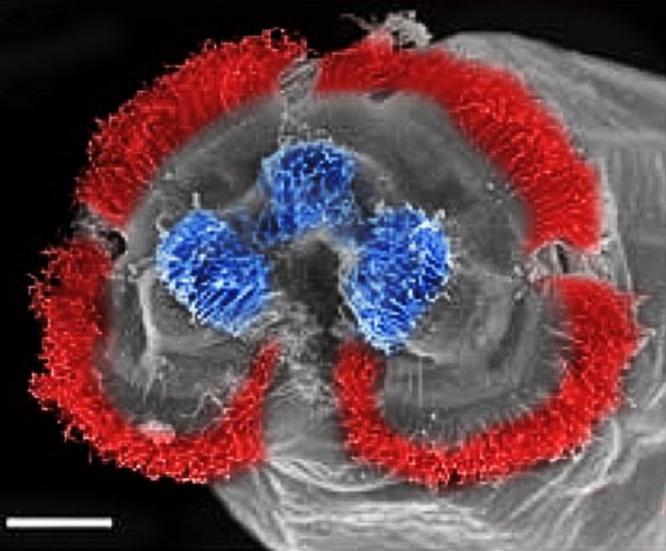
SEM-Foto: W. Ahlrichs  
(verändert)

# Brachionus calyciflorus : metachrone Wellen des Cingulums im UZS.

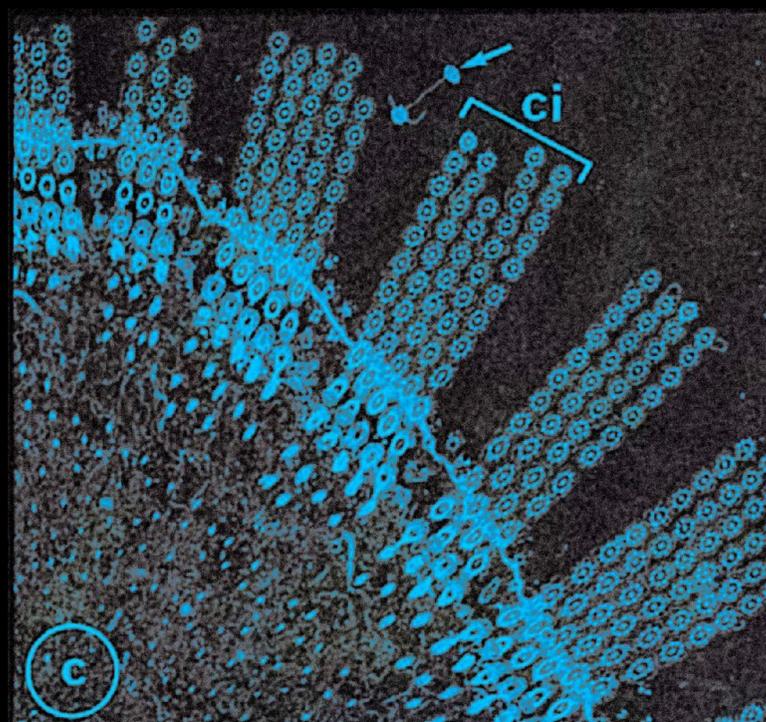
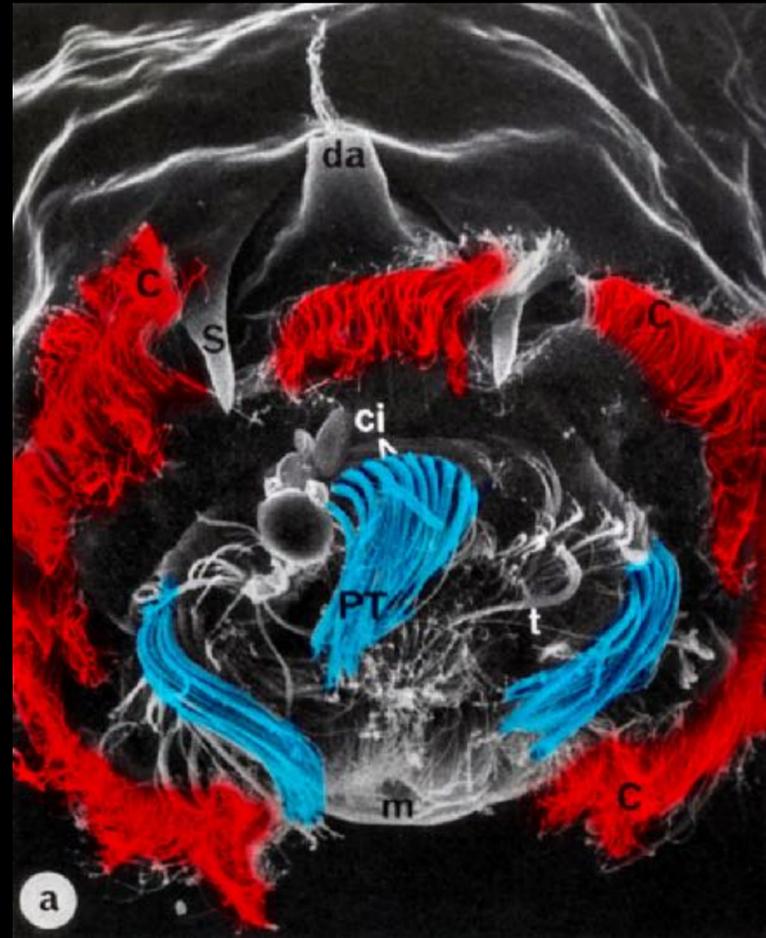


SEM-Foto: G. Melone (verändert)

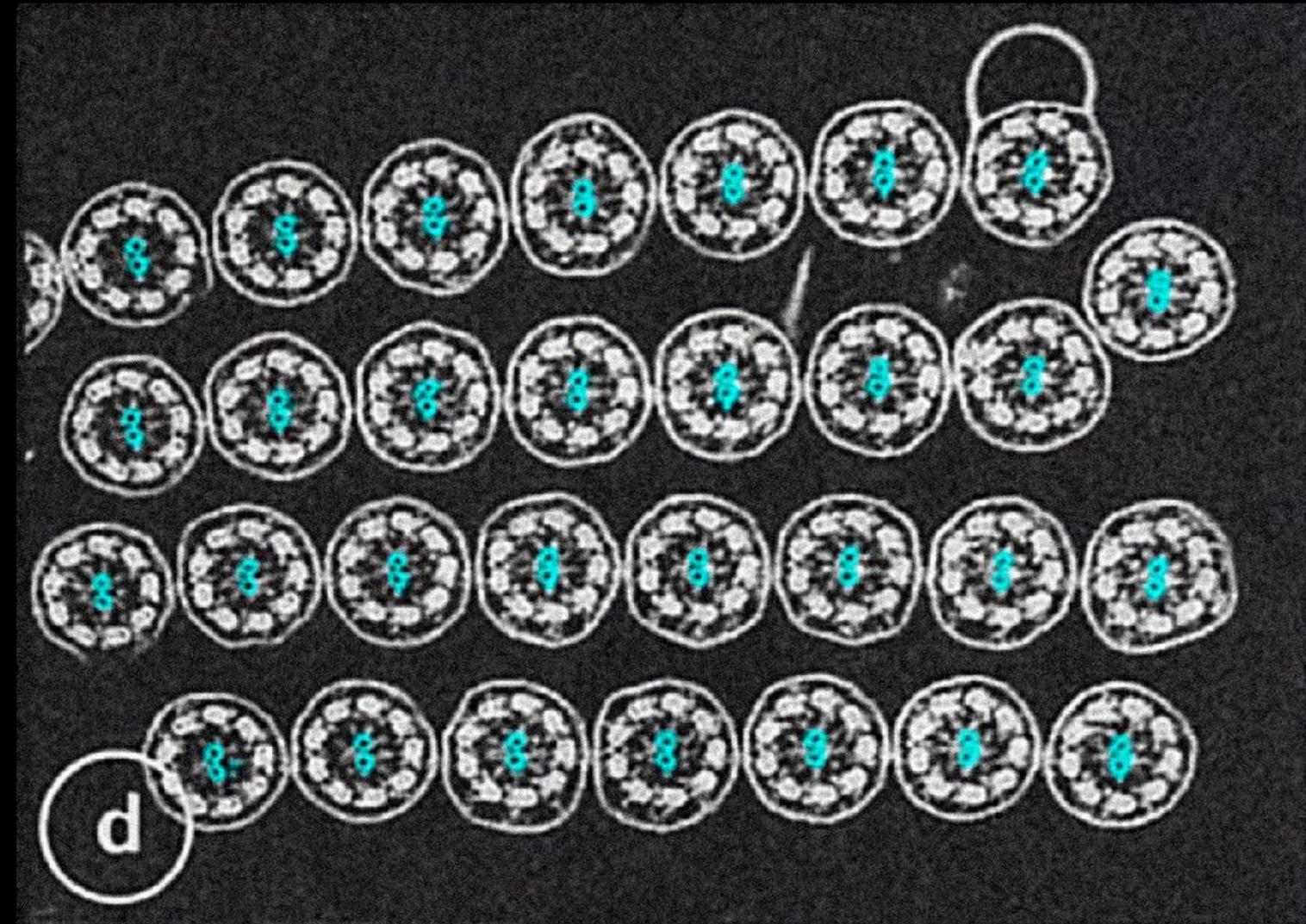
# Die **zentralen Tubuli** der Axoneme sind alle in der gleichen Richtung orientiert



SEM-Foto: G. Melone (verändert)



< SEM-Foto: Clement & Wurdak 1991



EM-Fotos: Clement & Wurdak 1991

**Cingulum**  
**(Pseudo)Trochus**

Es scheint in den letzten 3 genannten Gattungen

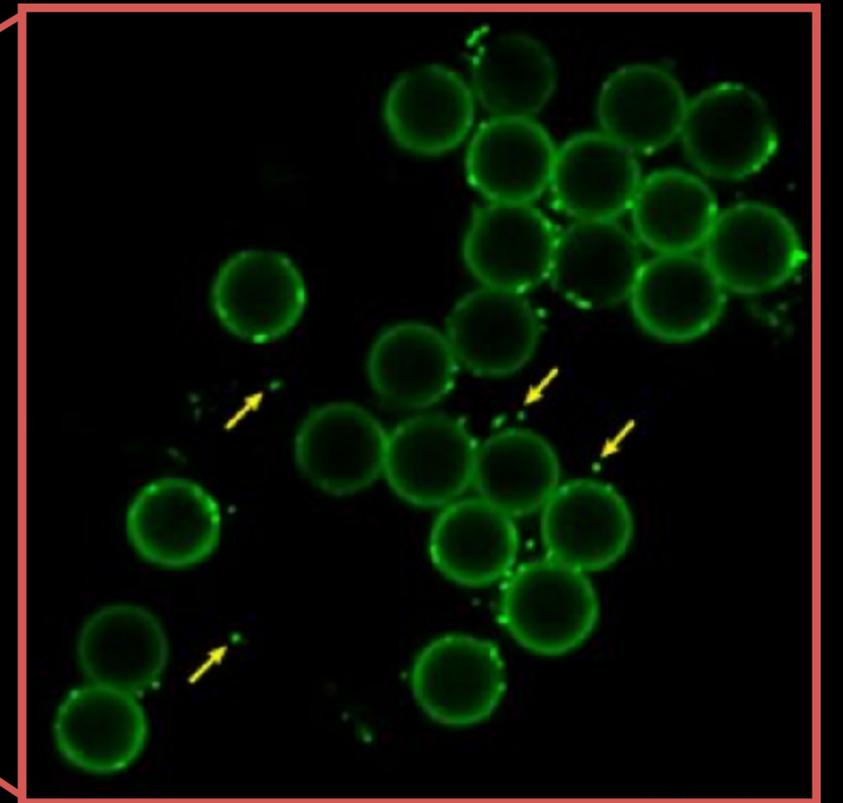
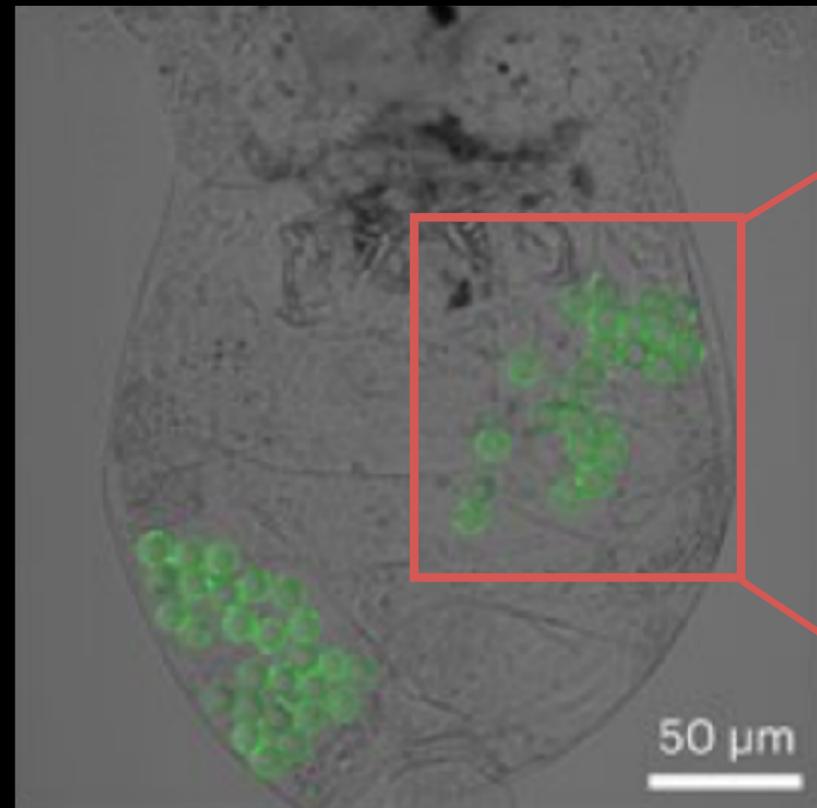
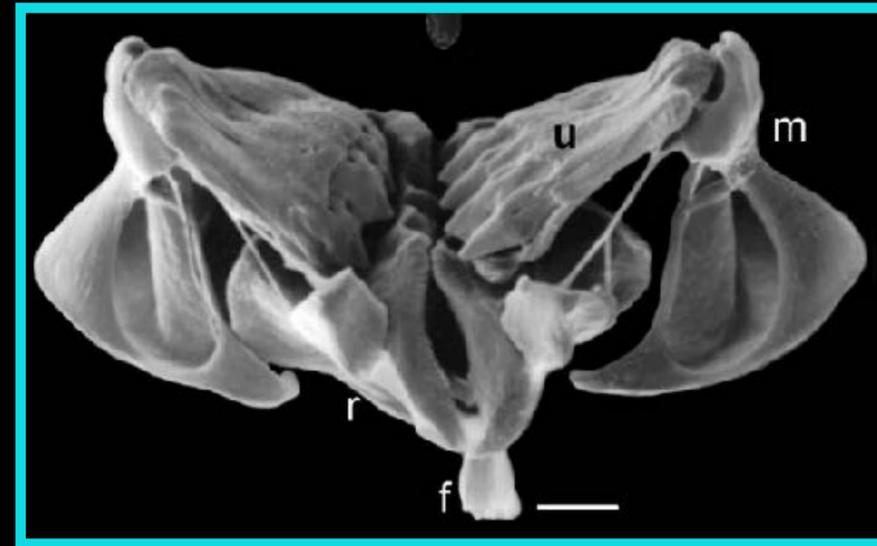
*Synchaeta, Asplanchna, Brachionus*

so zu sein, dass zwar eine Bewegung des Cilienkranzes im UZS zu beobachten ist; dieser Kranz ist aber das Cingulum (oder ein Derivat davon) und nicht der Trochus.

Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welche Richtung der effektive Schlag dort hat. Erst dann ist eine Aussage möglich, ob Dexioplexie oder Laeoplexie vorliegt.

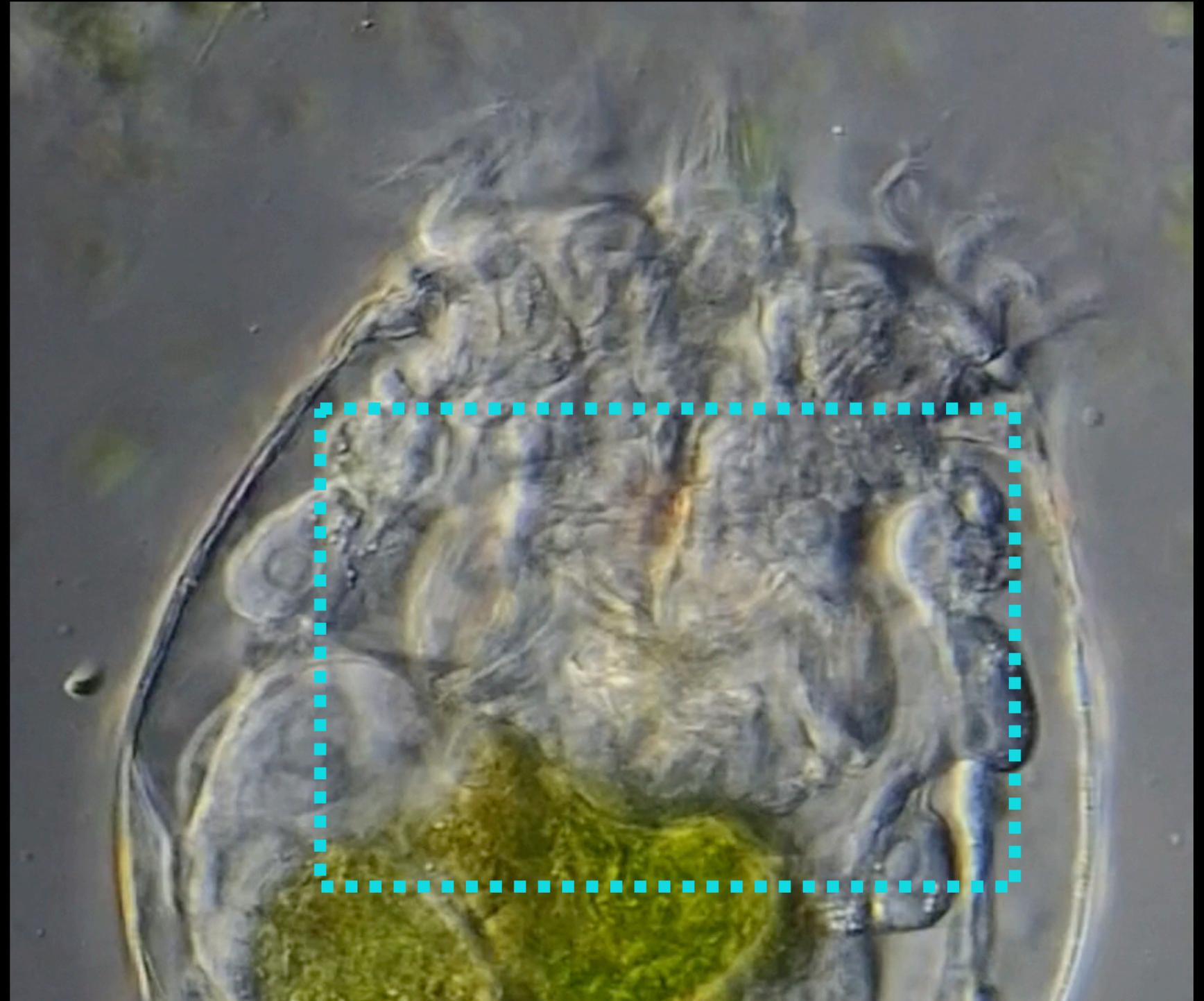
Auf der Basis dessen ergibt sich dann möglicherweise ein weitere Hinweis zur Klärung der Frage, inwieweit Cingulum und Trochus homologe Strukturen sind.

Einige **Plankton**-Rädertiere: verwechseln den vom Menschen erzeugten Plastikmüll mit Nahrung und zerkleinern diesen. Beispiel Brachionus



# Plankton-Rädertiere: fressen Mikroplastik und machen daraus Nano-Plastik (10/2023)

## Bewegung des Kauers:



# Fake News:

„Rädertierchen /Rotifer **sind auch nicht mehr das, was sie einstmals waren**“ (**Mikroforum 10.11.2023**)

„Rädertierchen **erzeugen** Mikroplastik“ (**Mikroforum 16.11.2023**)

Studie warnt vor Rädertierchen – sie **produzieren schädliche Partikel** <https://utopia.de/news>

Rädertierchen **produzieren Unmengen** an Nanoplastik (**n-tv 13.11.2023**)

**Alle Aussagen sind unwahr!**

Wenn Rädertiere so gefährlich wären, wäre die Lösung: Ausrotten!!!

Der Harkenapparat ist ein besonders Merkmal der Gattung Adineta



# Zusammenfassung

1. Die derzeitige Video Technik ermöglicht eine genauere mikroskopische Untersuchung von Bewegungsvorgängen bei Protisten und Mikroinvertebraten als zuvor.
2. Die zur Zeit üblichen Datenkompressions-Verfahren der Videos ermöglichen zwar bereits hochaufgelöste Videos bei recht geringem Speicherbedarf. Andererseits ist durch diese Kompression der Spielraum zur nachträglichen (Einzel)Bildoptimierung gegenüber einem (noch nicht einmal optimal !!!) geblitzten Einzelbild (**raw-Datei!!!**) (momentan noch) deutlich eingeschränkt.
3. Die Untersuchung/ Dokumentation von Bewegungsvorgängen stellt besondere Anforderungen an die Präparationstechnik
4. Die mittels ZeitlupenVideo beobachtete metachrone Koordination ist bei einer Gruppe von Rädertieren anders als bisher dargestellt
5. Die metachrone Koordination kann als morphologisches/ physiologisches Merkmal aufgefasst werden, welches als Indikator zur Untersuchung von evolutiven Veränderungen eingesetzt werden kann/ sollte

# Quellen (Literatur)

Clément, P.; Wurdak, E. (1991). "Rotifera". In Harrison, F.W.; Ruppert, E.E. (eds.). *Microscopic Anatomy of Invertebrates. Aschelminthes*, vol. IV. Wiley-Liss. pp. 219–97.

Dong, X. et al.: Bioinspired cilia arrays with programmable nonreciprocal motion and metachronal coordination . *Science Advances* (2020)

Elgeti, J. Gompper G.; Emergence of metachronal waves in cilia arrays *PNAS*, Vol 110, No. 12 (2013)

Fontaneto, D., & De Smet, W. H. (2015). Rotifera, chapter 4: Handbook of Zoology, Gastrotricha, Cycloneuralia and Gnathifera, Volume 3, Gastrotricha and Gnathifera Schmidt-Rhaesa, Andreas.

Gossler (1948): Eine Mikrozeitlupe für Direktbeobachtung

Gossler (1949): Funktionsanalysen am Räderorgan...

Hausmann, K.; Radek, R.: *Cilia and Flagella - Ciliates and Flagellates*; Schweizerbart Science Publishers ISBN 978-3-510-65287-7 (2014)

Hlava, S. (1908): Böhmens Rädertiere: Monographie der Familie Melicertidae "Archiv für die naturwissenschaftliche Landesdurchforschung von Böhmen" Bd. 12-13

Knight-Jones (1954): Relations between Metachronism and the Direction of Ciliary Beat in Metazoa

Kolisko, A., 1939. Über *Conochilus unicornis* and seine Koloniebildung. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 39: 78-98.

Koste W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt. Überordnung Monogononta. 1. Textband, 673 pp., 2. Tafelband, 234 pls. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Kutikova, L.A.: parallelism in the evolution of rotifers *Hydrobiologia* 104 (1983)

Kutikova, L.A.; Markevich, G.I. : Principal directions of the evolution of Monimotrochida *Hydrobiologia* 255/ 256 (1993)

Lansing, A.I. ; Lamy, F. : Fine structure of the cilia of rotifers *The Journal of Biophysical and Biochemical cytology* Vol 9 (1961)

# Quellen (Literatur)

Melone, G.: The Rotifer Corona by SEM *Hydrobiologia* 387/388: 131–134, 1998.

MEKSUWAN, P.; PHOLPUNTHIN P.; & SEGERS, H. : Molecular phylogeny confirms Conochilidae as ingroup of Flosculariidae (Rotifera, Gnesiotrocha) (2015)

Remane, A.: Rotatoria; Dr H G Bronns Klassen und Ordnungen des Tier-Reich wissenschaftlich dargestellt in Wort und Bild (1929)

Santo, N.: External morphology and muscle arrangement of *Brachionus urceolaris*, *Floscularia ringens*, *Hexarthra mira* and *Notommata glyphura* (Rotifera, Monogononta) *Hydrobiologia*(2005)

Sleigh, M. A. and Kerkut, G. A.(Auth.) :The Biology of Cilia and Flagella. International Series of Monographs on Pure and Applied Biology\_ Zoology, Vol. 12 (1962)

Segers, H. Wallace, R.L.: Phylogeny and classification of the Conochilidae (Rotifera, Monogononta, Flosculariacea) *Zoologica Scripta* (2000)

Wallace, R.L.: Coloniality in the phylum Rotifera by R. L. Wallace *Hydrobiologia* 147 (1987)

Wallace R.L., Snell TW, Ricci C, Nogrady T. 2006. "Rotifera. Vol. 1. Biology, ecology and systematics, 2nd edition". In Dumont HJF (ed.) *Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world*, vol. 23. Kenobi Productions, Ghent, pp. 1–299.

Wilke, T. ; Ahlrichs, W. Bininda-Emonds, O.; The evolution of Synchaetidae (Rotifera: Monogononta) with a focus on Synchaeta: An integrative approach combining molecular and morphological data

Zhao, J. et al.: Microplastic fragmentation by rotifers in aquatic ecosystems contributes to global nanoplastic pollution. *Nature nanotechnology* 2023

Zelinka, C.: Studien über Räderthiere (1866)

# Quellen

web:

Cilienbewegung:	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=9nZYlyFGm50">https://www.youtube.com/watch?v=9nZYlyFGm50</a>
Cilien-Film: Motilität (früher: IWF)	<a href="https://av.tib.eu">https://av.tib.eu</a> (Hausmann >>> Cilien-Film (früher: IWF))
Cilien (Wikipedia):	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Zilie#">https://de.wikipedia.org/wiki/Zilie#</a>
Chronos-Kameras	<a href="https://www.krontech.ca">https://www.krontech.ca</a>
Farbunterabtastung	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Farbunterabtastung">https://de.wikipedia.org/wiki/Farbunterabtastung</a>
Fotografie:	<a href="https://www.dpreview.com">https://www.dpreview.com</a>
High-Speed-Video	<a href="https://www.youtube.com/@theslowmoguys">https://www.youtube.com/@theslowmoguys</a>
Mikroplastik:	<a href="https://utopia.de/news">https://utopia.de/news</a> <a href="https://www.theguardian.com/environment/2023/nov/09/microplastic-eating-plankton-worsening-crisis-oceans-plastic-pollution">https://www.theguardian.com/environment/2023/nov/09/microplastic-eating-plankton-worsening-crisis-oceans-plastic-pollution</a>
Rädertiere:	<a href="https://www.plingfactory.de">https://www.plingfactory.de</a>
Tümpelorganismen	<a href="https://realmicrolife.com/">https://realmicrolife.com/</a>
Rolling-Shutter-Effekt:	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Rolling-Shutter-Effekt">https://de.wikipedia.org/wiki/Rolling-Shutter-Effekt</a>

