

A microscopic image showing numerous diatoms of the species Frustulia vulgaris. The diatoms are elongated, rod-like structures with a distinct central region and tapered ends, appearing in various orientations and some forming chains. They are set against a light blue background.

# Beobachtungen an der Röhren- bewohnenden *Frustulia vulgaris*

Architekt und  
Häuslebauer unter  
den Diatomeen

Teil I

Thomas Harbich  
<https://diatoms.de/en>

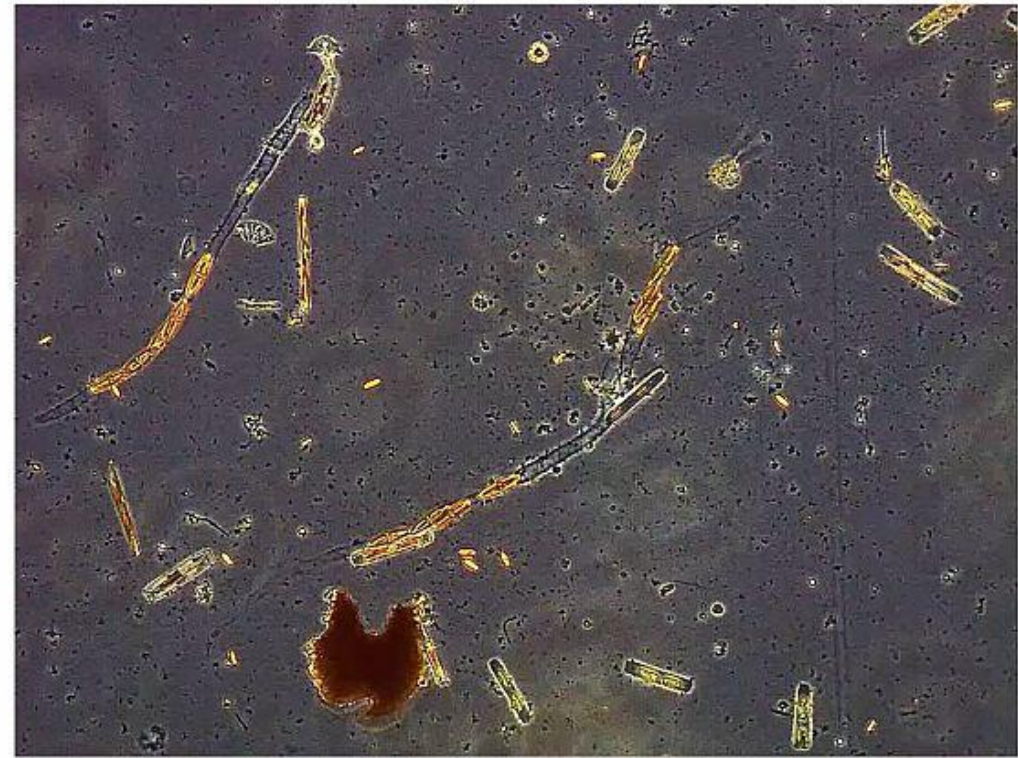
## Inhalt Teil I

- Röhrenbewohnende Diatomeen – Leben in Gallertschläuchen in zwei Beispielen
- Kultivierung von *Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni (1891)
- Beobachtungen und Überlegungen zum ökologischen Nutzen der Röhren
- Beobachtete Formen von Kolonien
- Bewegung und Kollisionen
- Vortrieb und eine mögliche Erklärung mit stochastischer Modellierung
- Beweglichkeit der Vortriebsspitze und ihre Bedeutung bei der Kolonienbildung

# Beispiele von röhrenbewohnenden Diatomeen im Süßwasser



*Encyonema caespitosum* in einer Probe aus dem Neckar bei Lauffen im Zeitraffer (4-fach)



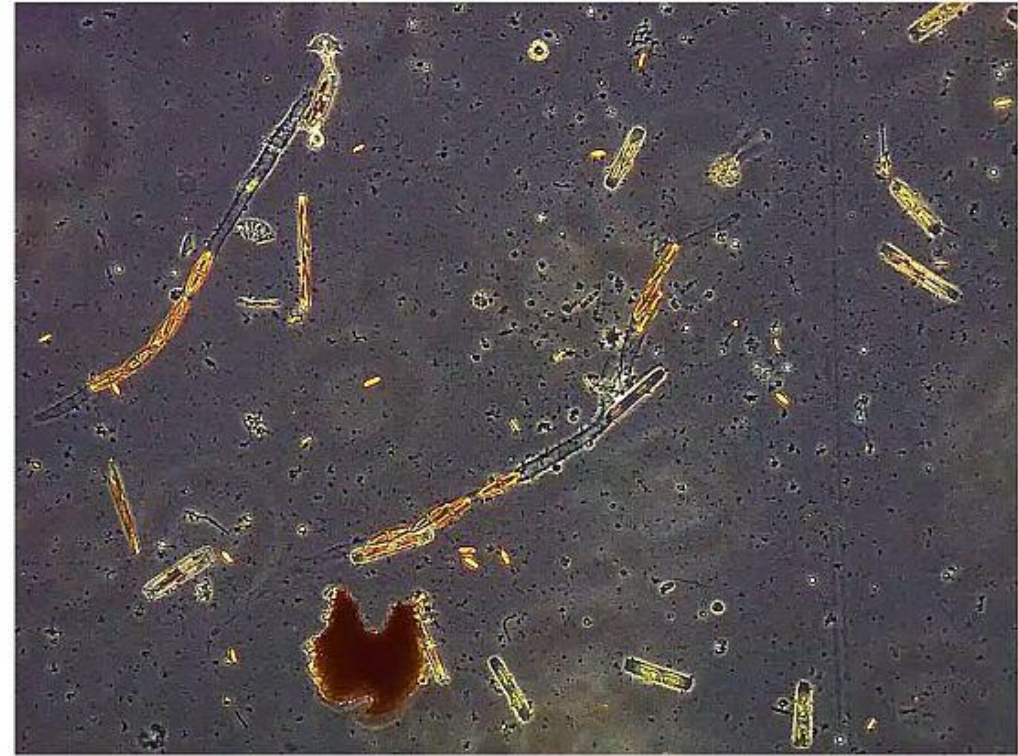
Probe mit *Frustulia vulgaris* - Kolonien aus einem kleinen Bach im Schwäbisch-Fränkischen Wald im Zeitraffer (125-fach)

Wichtige Gattungen Röhren-bauender Diatomeen sind *Navicula*, *Berkeleya*, *Nitzschia*, *Parlibellus*, *Haslea*, *Gyrosigma* und *Frustulia*. Daneben gibt es Diatomeen, die Röhren besiedeln, welche von anderen Diatomeen hergestellt wurden. Im Sinne des Begriffs Kohabitation, sind auch diese Mitbewohner Röhren-bewohnende Diatomeen.

# Beispiele von röhrenbewohnenden Diatomeen im Süßwasser



*Encyonema caespitosum* in einer Probe aus dem Neckar bei Lauffen im Zeitraffer (4-fach)



Probe mit *Frustulia vulgaris* - Kolonien aus einem kleinen Bach im Schwäbisch-Fränkischen Wald im Zeitraffer (125-fach)

Wichtige Gattungen Röhren-bauender Diatomeen sind *Navicula*, *Berkeleya*, *Nitzschia*, *Parlibellus*, *Haslea*, *Gyrosigma* und *Frustulia*. Daneben gibt es Diatomeen, die Röhren besiedeln, welche von anderen Diatomeen hergestellt wurden. Im Sinne des Begriffs Kohabitation, sind auch diese Mitbewohner Röhren-bewohnende Diatomeen.

# Kultivierung von *Frustulia vulgaris*

- Isolation einer Kolonie, Teilen davon oder einzelner Diatomeen mit einer entsprechend feinen Pipette
- In der Regel ist mehrfaches Reinigen durch Überführen in sauberes Wasser erforderlich.
- Nährlösung für Phytoplankton (bevorzugt f/2 nach Guillard)
- Bei Batch-Kulturen regelmäßiges „Umtopfen“ etwa alle zwei Wochen
- Lichtexposition (Leuchtstofflampe) mit Tag- und Nachtphase, jeweils ca. 12 Stunden lang
- Hellphase mit ca. 400 lx bis 1000 lx
- Kultivierung Petrischalen (Polystyrol) erlaubt Langzeit-Beobachtungen.
- Aufwuchspräparate durch Einlegen von Deckgläschen in die Petrischalen vor dem Beimpfen. Diese werden gewendet und auf einen Objektträger aufgelegt.

Die Kultivierung gelang problemlos mit einer Probe aus dem Neckar bei Lauffen.

Kulturen aus einem Bach im Schwäbisch-Fränkischen Wald konnten aus unbekannter Ursache nur über wenige Generationen erhalten werden.



# Zum ökologischen Nutzen röhren- oder schlauchförmiger Kolonien für Diatomeen

## Nachteile:

- Energetischer Aufwand für Produktion des Baumaterials und die Aktivitäten bei Bau und Erhaltung der Schläuche.
- Einschränkung der Migration auf den Ort der Kolonie, so lange sich die Diatomeen innerhalb der Kolonie befinden.
- Beschränkung auf einen „effektiv“ eindimensionalen Lebensraum <sup>(1)</sup>. Je nach der Gestalt der Kolonie kann dies die Suche nach Licht und Nährstoffen erschweren.

**Vorteile:** Den Nachteilen müssen Vorteile gegenüberstehen, welche diese insgesamt überwiegen. In der Literatur findet man insbesondere:

- Zugang zu Licht und Nährstoffen bei Kolonien-Formen, die sich über das Substrat erheben. Drehmöglichkeit um Apikalachse zur Optimierung der Lichtausbeute.
- Schutz vor Beweidung, also vor Fressfeinden
- Schutz vor Krankheiten <sup>(2)</sup>
- Schutz vor starken Änderungen der Salinität bei marinen Spezies <sup>(3)</sup>
- Schutz bei kurzzeitigem Trockenfallen <sup>(4)</sup>

(1) Bewegungsfreiheit nur in Richtung des Schlauches. Es existieren jedoch meist Verzweigungen.

(2) Junge *F. vulgaris* – Kolonien könnten axenisch zu sein.

(3) Die Kolonie muss jedoch hochgradig permeabel für Nährstoffe und Stoffwechselprodukte sein.

(4) Ein effektiver Schutz konnte bei *F. vulgaris* – Kolonien experimentell nicht beobachtet werden. Ein dicker Belag trocknet jedoch nicht schnell aus.

# Kolonie als Schutz vor Fressfeinden



Amöbe in Probe aus Bach im Schwäbisch-Fränkischen Wald im Zeitraffer (250-fach)



Amöbe in derselben Probe beim Versuch, eine *Frustulia vulgaris* – Kolonie zu umfließen im Zeitraffer (30-fach)  
Die Phagozytose wird erfolglos abgebrochen.

# Kolonie als Schutz vor Fressfeinden

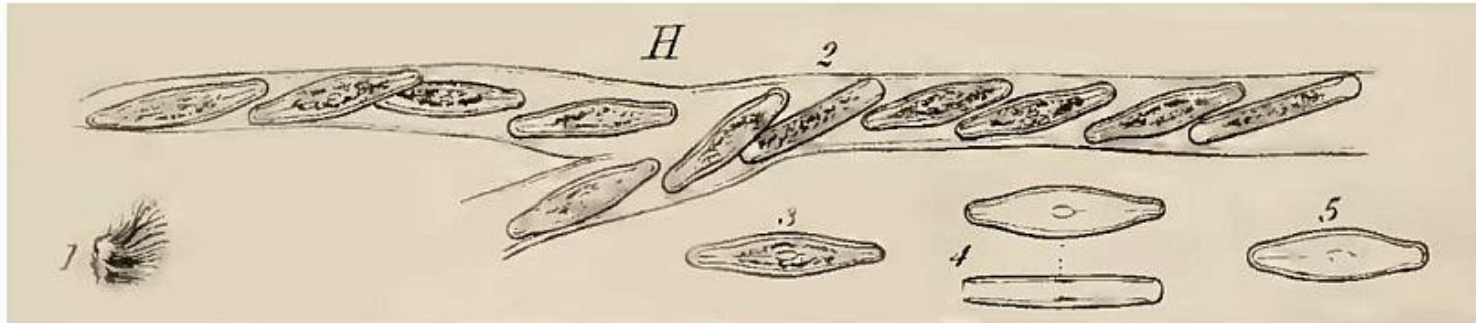


Amöbe in Probe aus Bach im Schwäbisch-Fränkischen Wald im Zeitraffer (250-fach)



Amöbe in derselben Probe beim Versuch, eine *Frustulia vulgaris* – Kolonie zu umfließen im Zeitraffer (30-fach)  
Die Phagozytose wird erfolglos abgebrochen.

# Form der Kolonien von *Frustulia vulgaris* in natürlichen Gewässern



*Frustulia vulgaris* (Thwaites) De Toni (1891)

Basionym:

*Schizonema vulgare* Thwaites (1848)

Links unten ist eine in der Natur beobachtete Kolonie dargestellt.

Darstellung einer *Frustulia vulgaris* Kolonie mit Verzweigung nach Thwaites, G.H.K. (1848)

Further observations on the Diatomaceae with descriptions of new genera and species. *Annals and Magazine of Natural History*, Series 2 1, 161-172

“The species is most abundant in shallow streams, covering stones, &c. with a dark brown gelatinous coating, but in which a linear arrangement of the frustules may frequently be detected. When the plant occurs in deeper water, the ordinary *Schizonema* filaments make their appearance, which are much-branched when growing in rapid streams, but when occurring in still water, or where there is only a slight current, are simple or nearly so.”

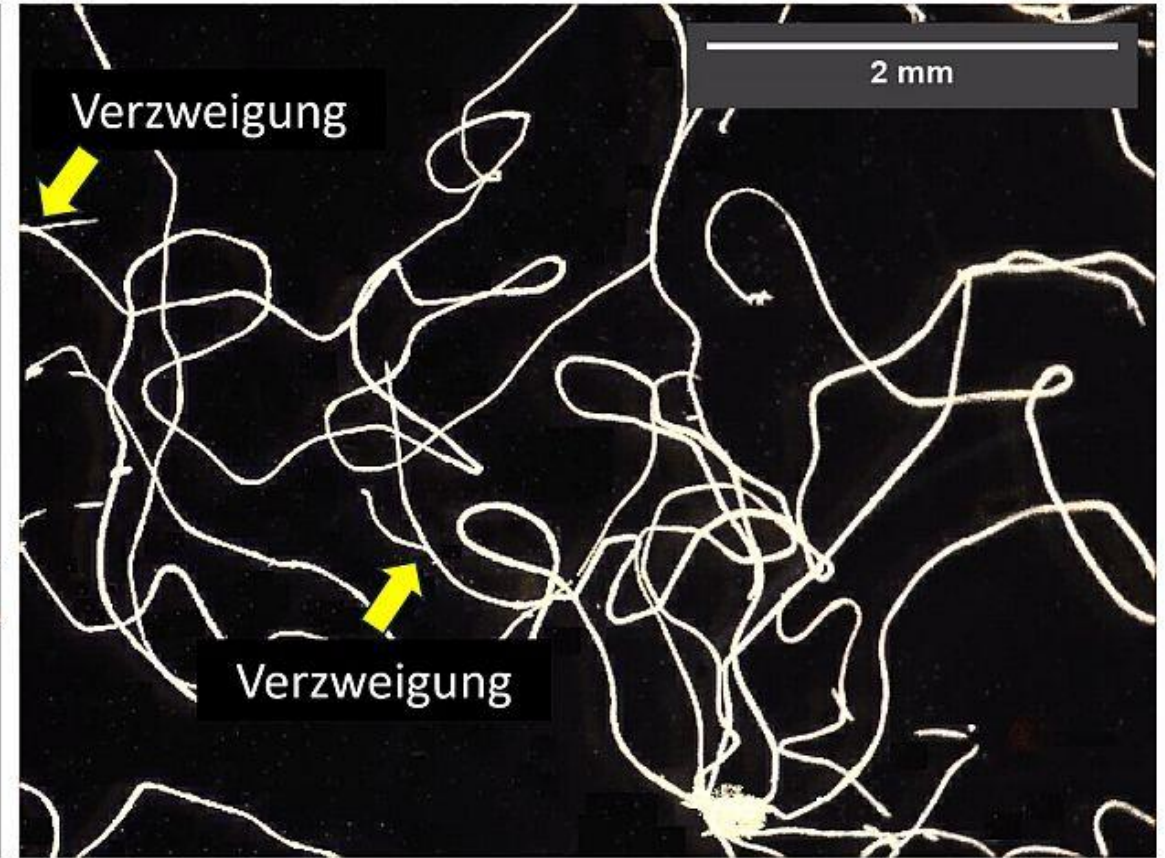
Wie bei Krammer, K. und Lange-Bertalot, H. (1986) ausgeführt wird, treten *Frustulia vulgaris* Kolonien auch aerisch auf nassen Felsen auf, sowie planktisch als freischwebende Gallertschläuche.

*F. vulgaris* ist eine kosmopolitische Diatomee, die in Süßwasser, aber auch schwachem Brackwasser (Krammer, K. und Lange-Bertalot, H. 1986) vorkommt und insbesondere in Fließgewässern weit verbreitet ist.

# Form der Kolonien in Kultur auf glattem Substrat



Übersichtsaufnahme einer Kolonie mit dem Stereomikroskop im Dunkelfeld

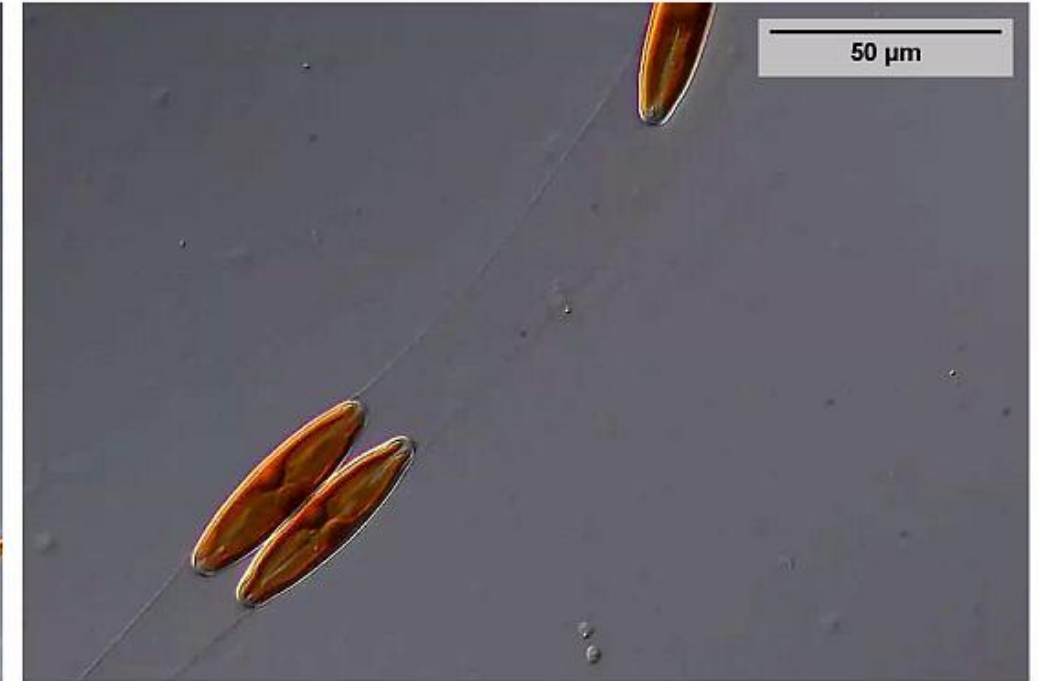


Überlagerung von Aufnahmen über einen Zeitraum von einer Stunde.

# Form der Kolonien in Kultur auf glattem Substrat (DIC)



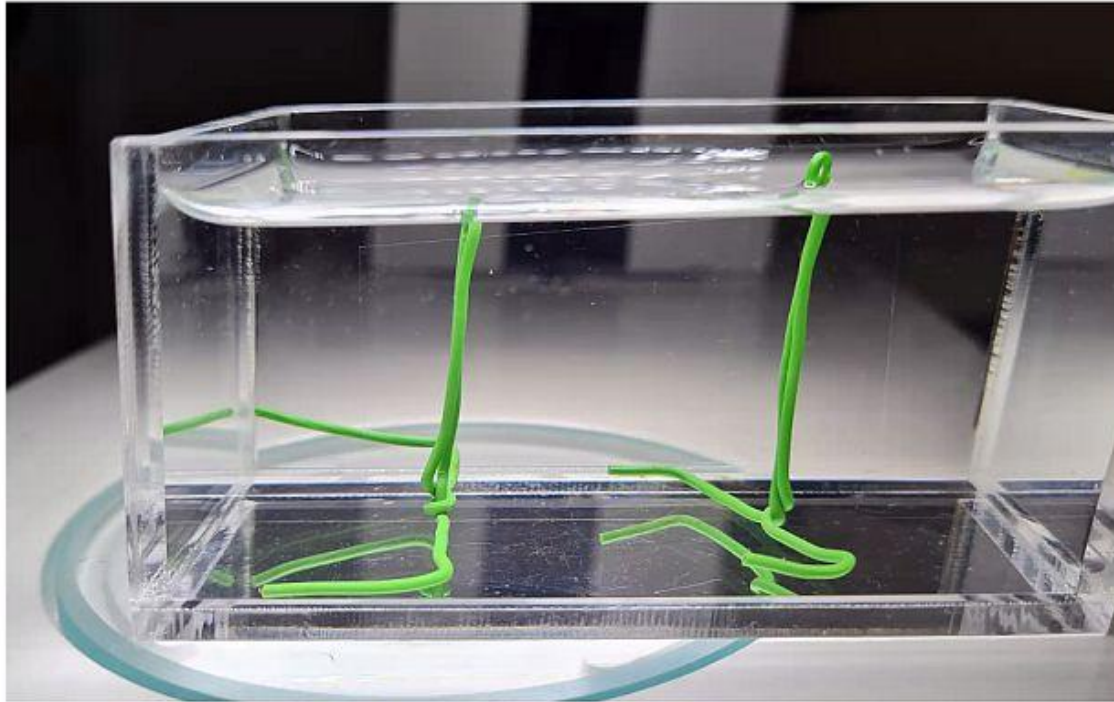
Ein Aufwuchspräparat im DIC. Alle sich optisch kreuzenden Schläuche liegen in verschiedenen Ebenen. Verzweigungen sind nicht eindeutig zu erkennen.



Detailaufnahme im DIC. Links unten überholt eine Diatomee die andere. Dies setzt einen ausreichenden Durchmesser der Röhre voraus. Die apikale Länge der Diatomeen beträgt ca. 50 µm.

Junge *Frustulia vulgaris* Kolonien sind überall geschlossen, haben also keine Öffnungen. Anders ist dies bei alten Kolonien, die Verfallserscheinungen zeigen. Insbesondere bei hohen Dichten können Röhren aufbrechen und viele Diatomeen freisetzen. Es wurde keine Röhren innerhalb von Röhren und andere Sekundärstrukturen gefunden (wie bei *Berkeleya rutilans*).

# Form der Kolonien bei komplizierter Stützstruktur



Einfache Struktur aus beschichtetem Draht und einem vertikales großes Deckglas, die in eine Küvette eingesetzt wurde.



Das Deckglas wird über die „Füße“ besiedelt. Es entsteht dort ein ebenes Netz wie bei der Besiedlung einer Petrischale.

## Form der Kolonien bei komplizierter Stützstruktur

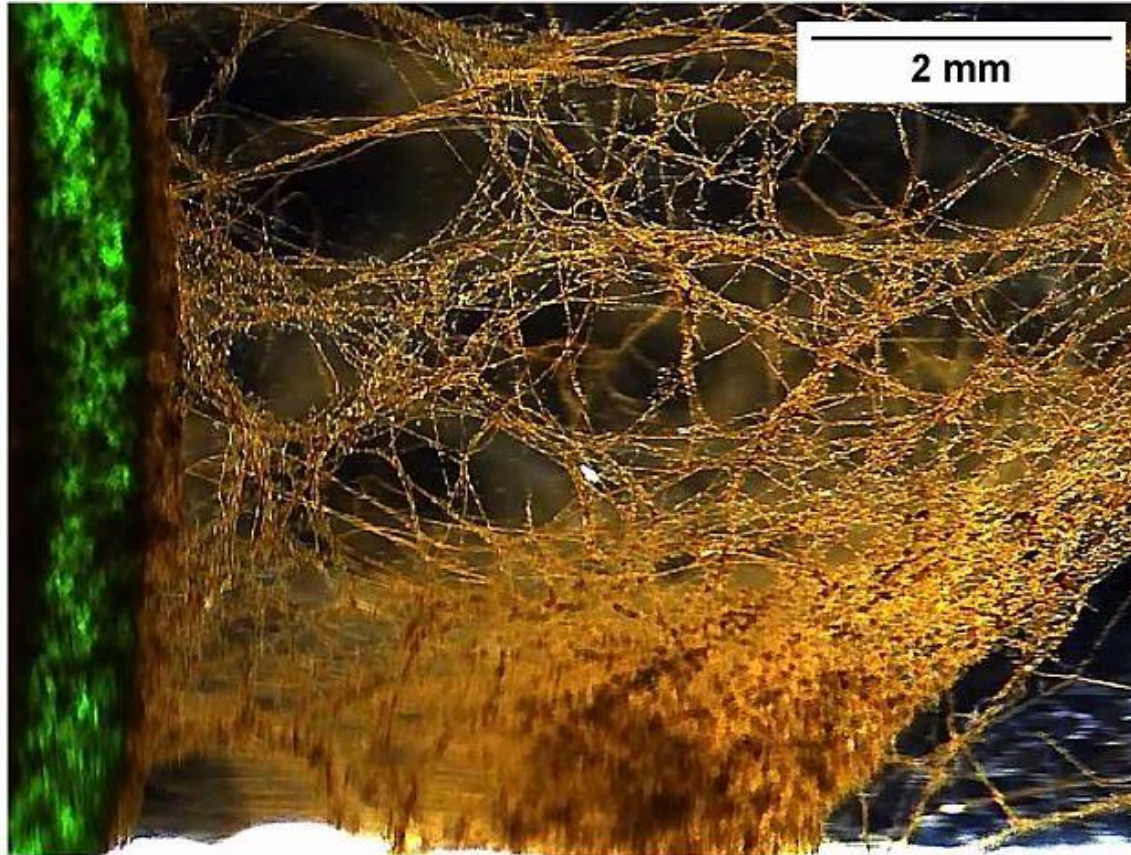


Es kommt zur Ausbildung netzartiger räumlicher Strukturen. Mit dem Stereomikroskop erzeugte Aufnahme im Hell- und Dunkelfeld bei horizontaler Blickrichtung (500-facher Zeitraffer).

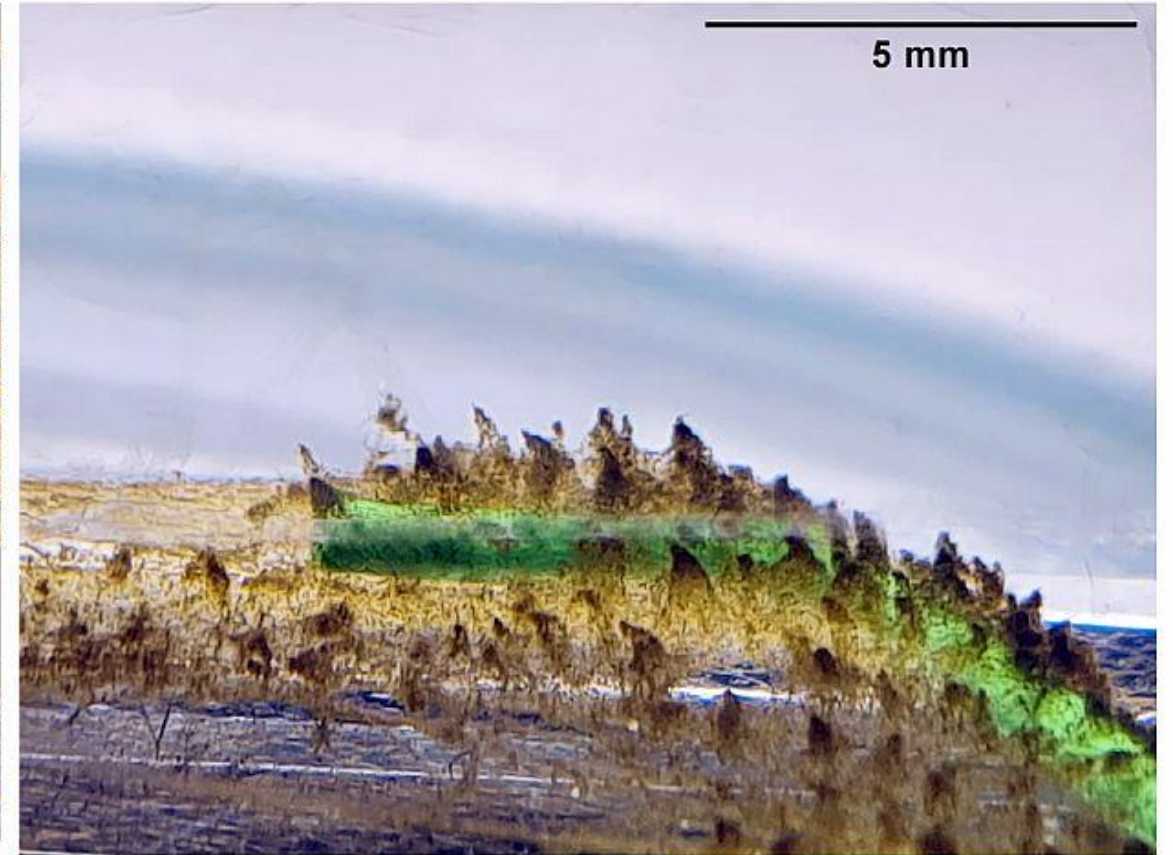


Besiedelung des Drahtes aufgenommen mit dem Stereomikroskop (250-facher Zeitraffer). Ausläufer der Kolonie ragen über den Draht hinaus und bewegen sich.

# Form der Kolonien bei komplizierter Stützstruktur

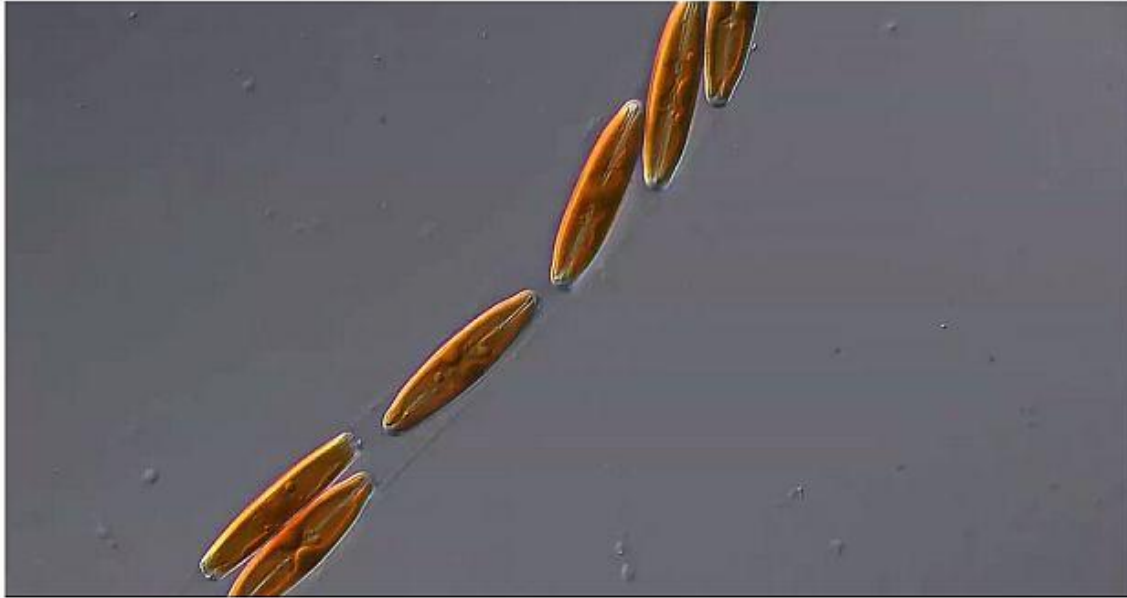


Dichtes Netz in der Kultur im höchsten erreichten Entwicklungsstand. Die Nährlösung wurde nicht erneuert.



Pyramidenartige Strukturen entlang eines beschichteten Drahtes und in dessen Umgebung in der bereits älteren Kultur.

# Bewegung und Kollisionen ohne Richtungsänderung



Begegnung ohne Richtungswechsel (Vorbeigleiten)  
Dies geschieht bei gegenläufiger Begegnung und unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Überholen) im 25-fachen Zeitraffer.



Begegnung ohne Richtungswechsel sieht man häufig auch bei hoher Dichte im 25-fachen Zeitraffer.

Unter dem Mikroskop sieht man die Diatomeen überwiegend in Valvenansicht. Werden Diatomeen bei Begegnungen in Gürtelbandansicht gedreht, erfolgt meist schnell eine Drehung um die Apikalachse in die Valvenansicht.

# Bewegung und Kollisionen mit Richtungsänderung

Spontane Richtungswechsel treten häufig auf, auch innerhalb von Gruppen. Es kommt zum Entweichen aus der Gruppe oder zur Bildung entgegengesetzt wandernder Gruppen.

Bei Erreichen eines festen Hindernisses erfolgt meist Bewegungsumkehr.

## **Kollisionen von Diatomeen oder Gruppen von Diatomeen ohne Vorbeigleiten (enge Röhren):**

- Es kommt nicht zum Stillstand von kollidierenden, sich bewegenden Diatomeen, sondern alle Diatomeen bleiben nach der Kollision in Bewegung.
- Es kommt fast nie zu einer Reflexion beider Kollisionspartner, bei der sich die kollidierenden Diatomeen (oder Gruppen von Diatomeen) nach der Kollision in entgegengesetzter Richtung bewegen.
- Es setzt sich eine Bewegungsrichtung für alle beteiligten Diatomeen durch, häufig die der größeren Gruppe. Dadurch entsteht eine größere zusammenhängende Gruppe.
- Bei Kollision mit ruhenden Diatomeen setzt sich die Bewegungsrichtung der bewegenden Diatomee (oder Gruppen von Diatomeen) durch, wobei nicht erkennbar ist, ob sich die anfangs ruhenden Diatomeen aktiv bewegen oder geschoben werden.

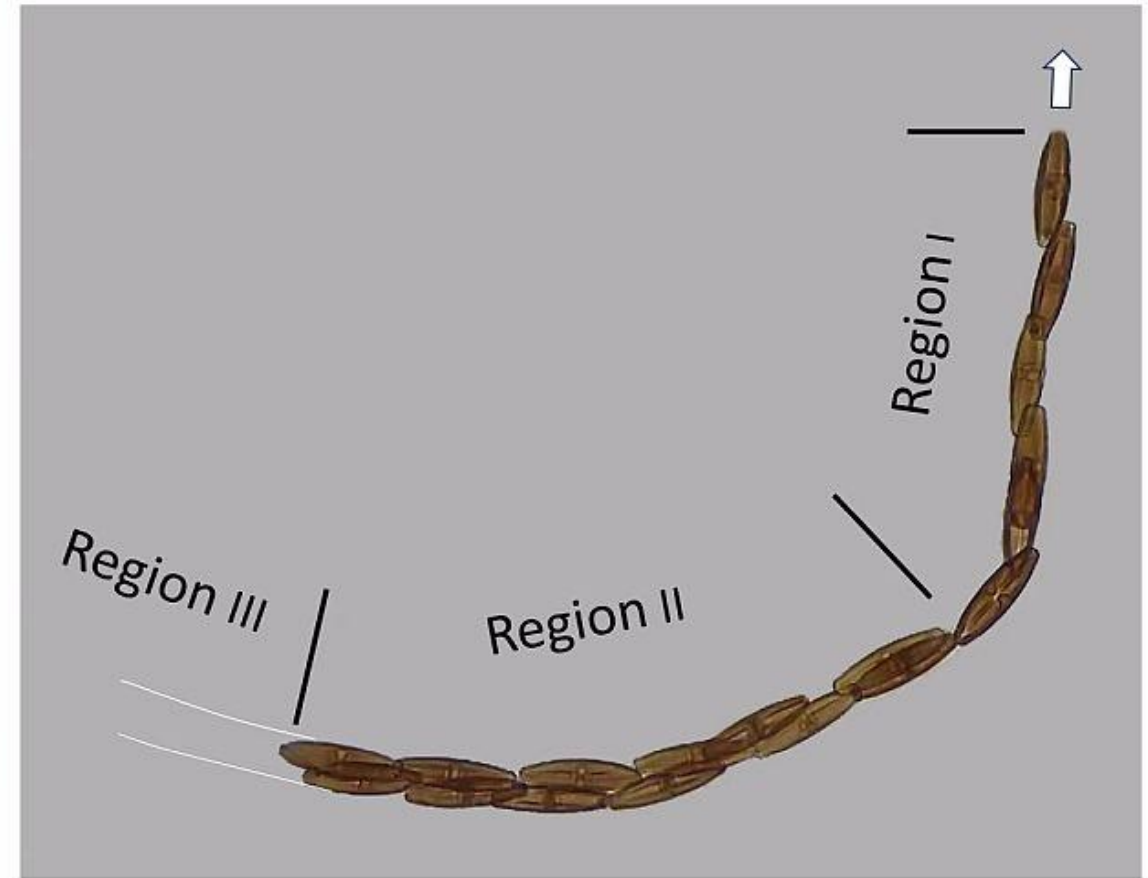


Kollisionen treten zwangsläufig sehr häufig auf.  
(250-facher Zeitraffer)

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



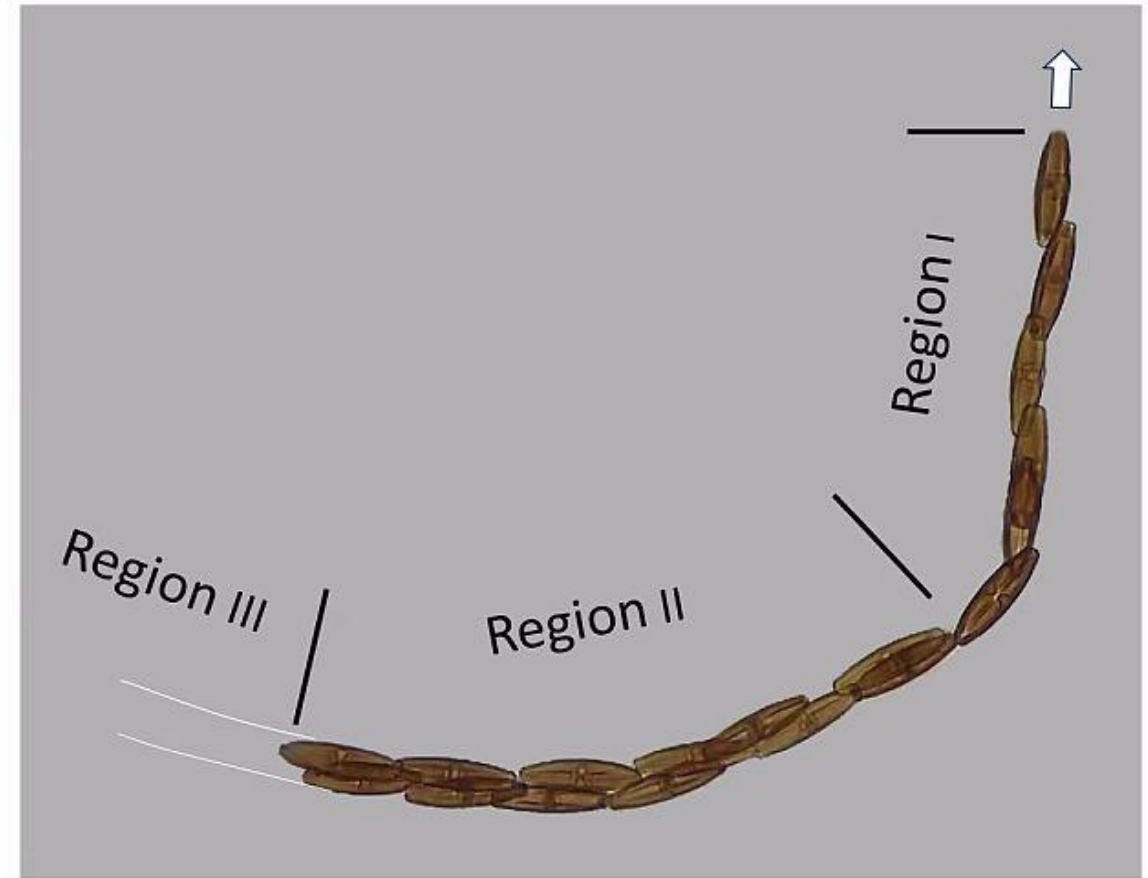
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



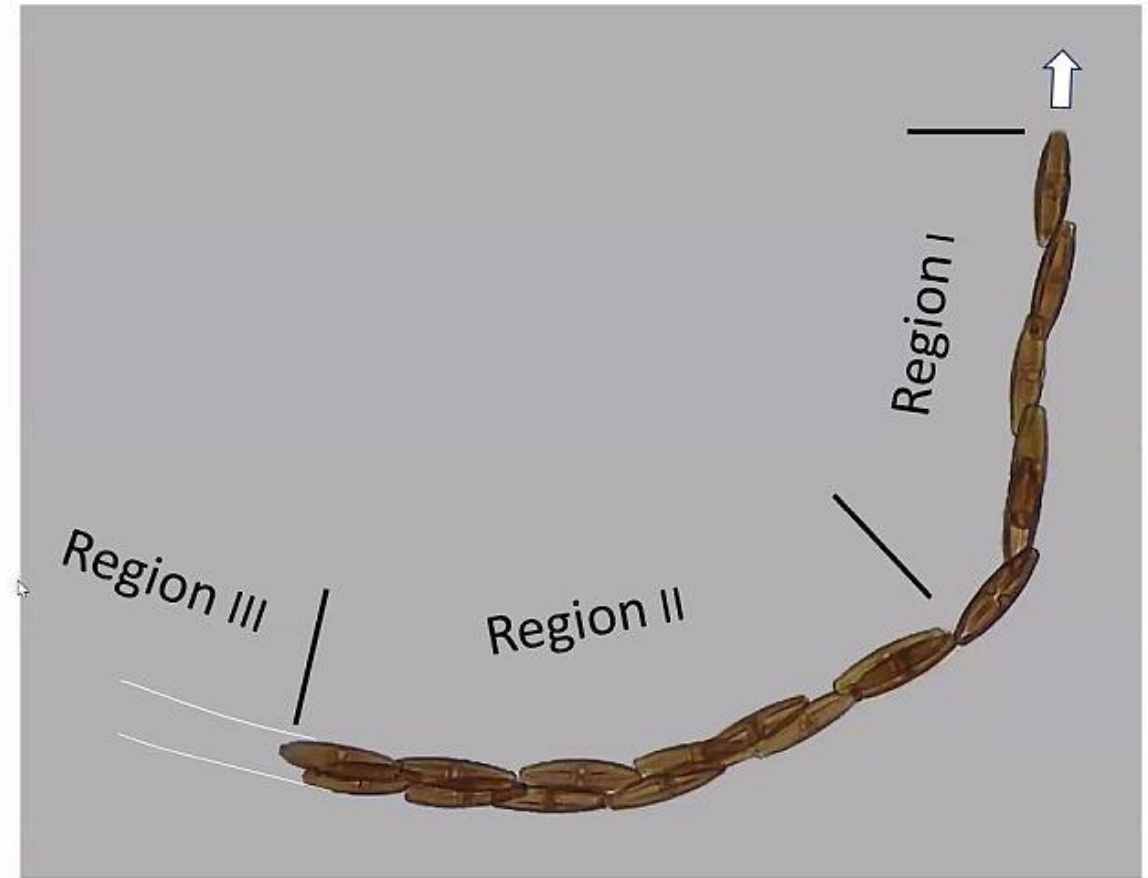
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



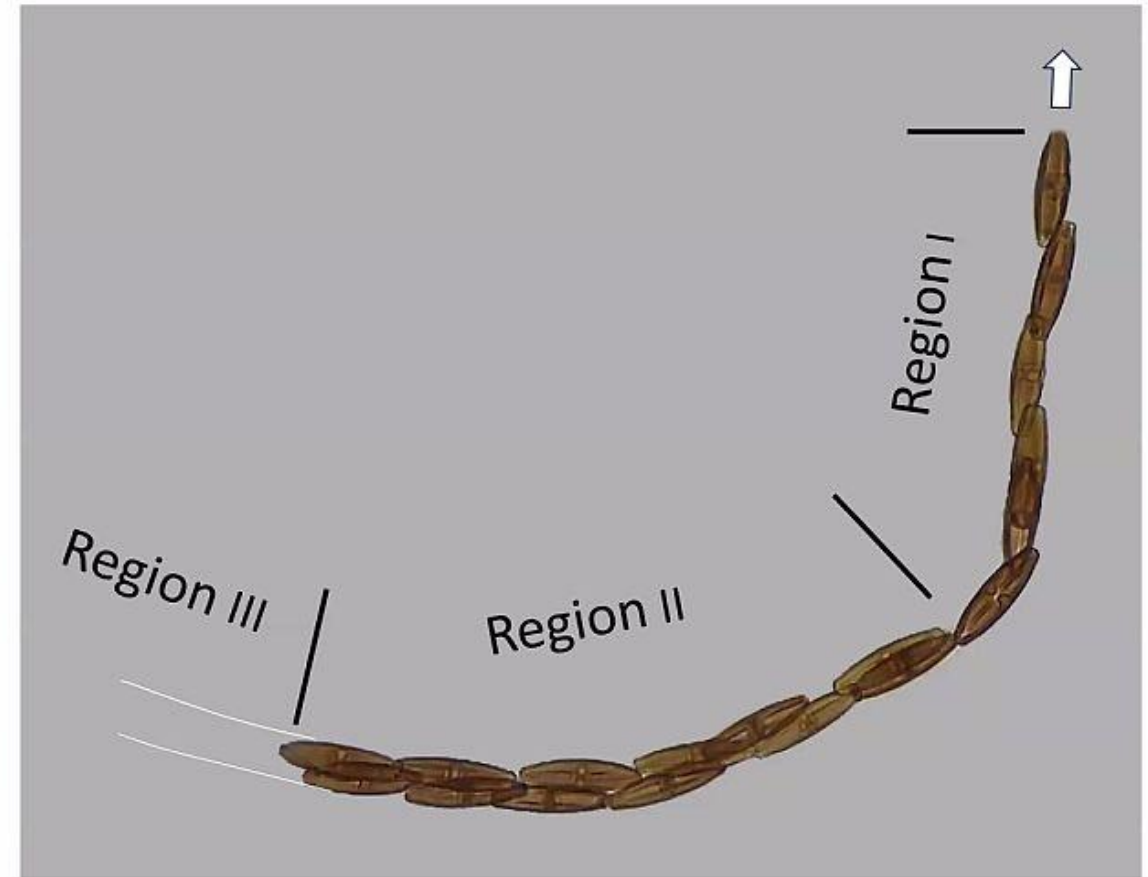
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



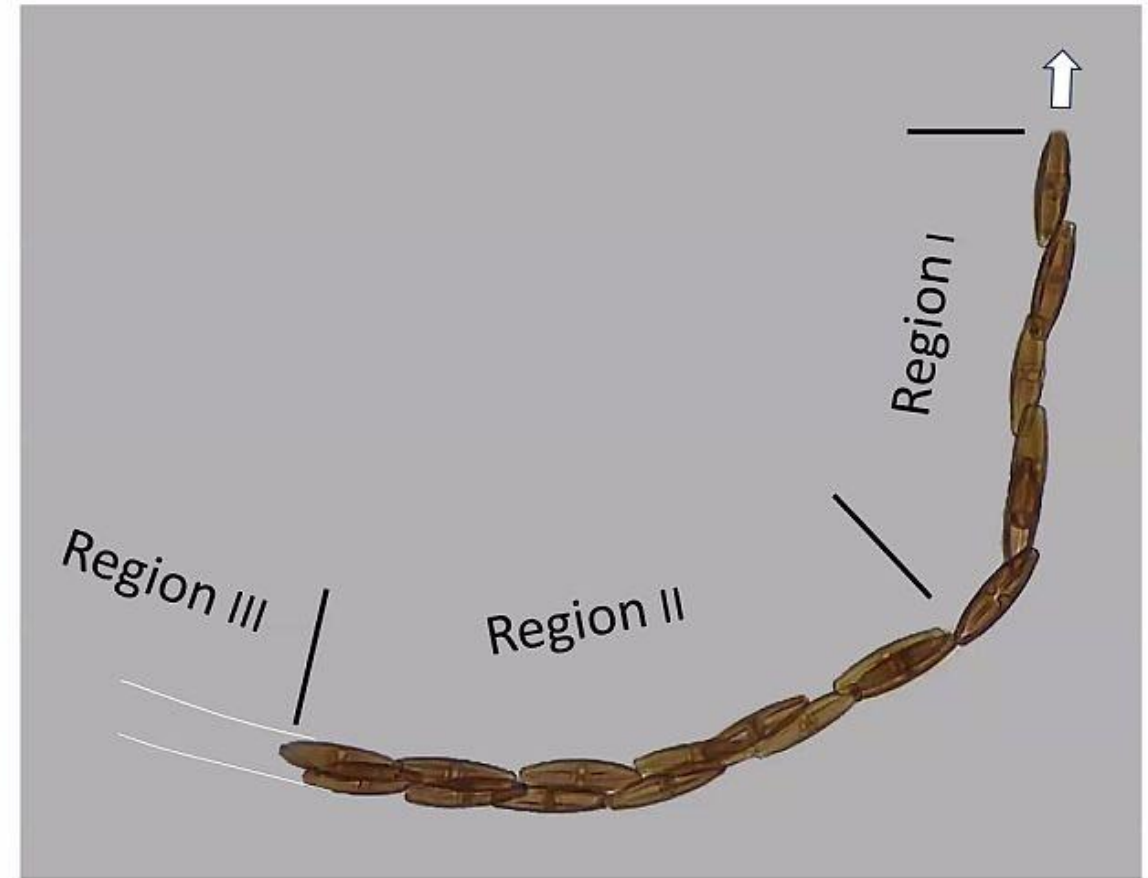
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



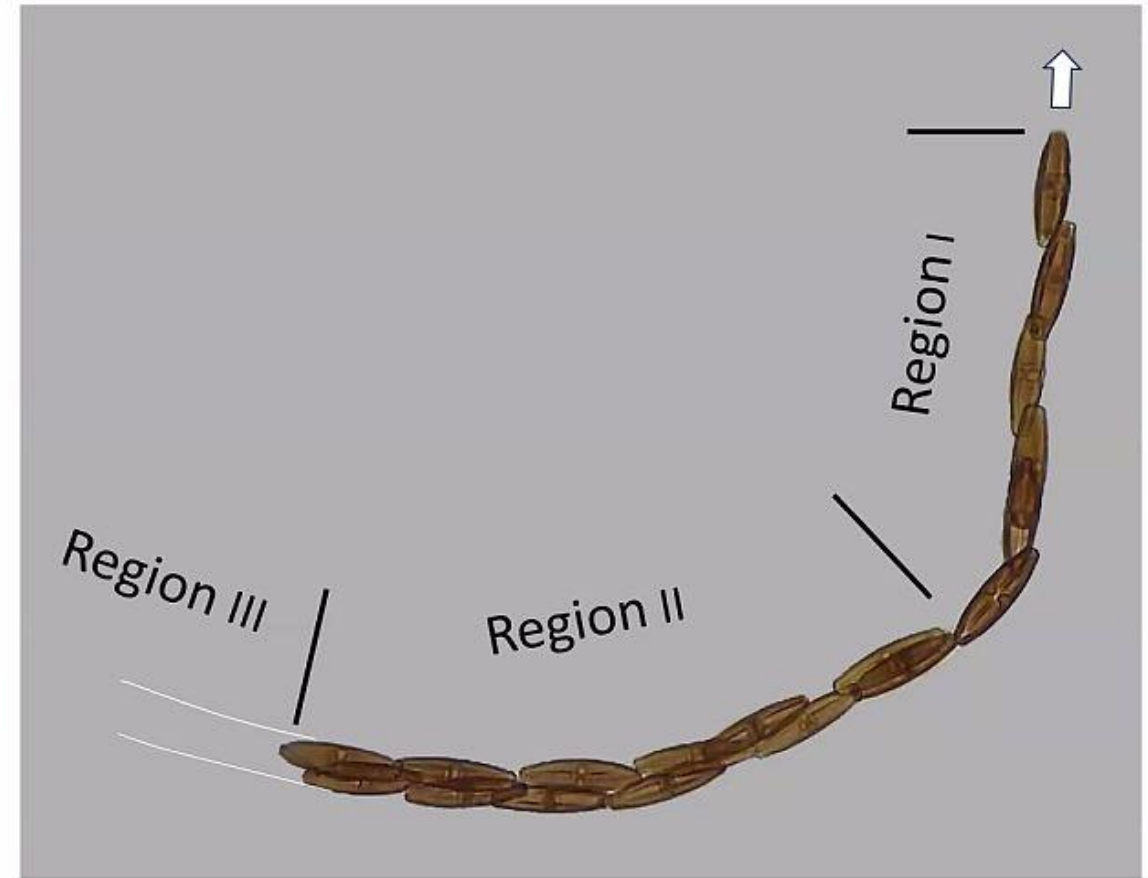
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



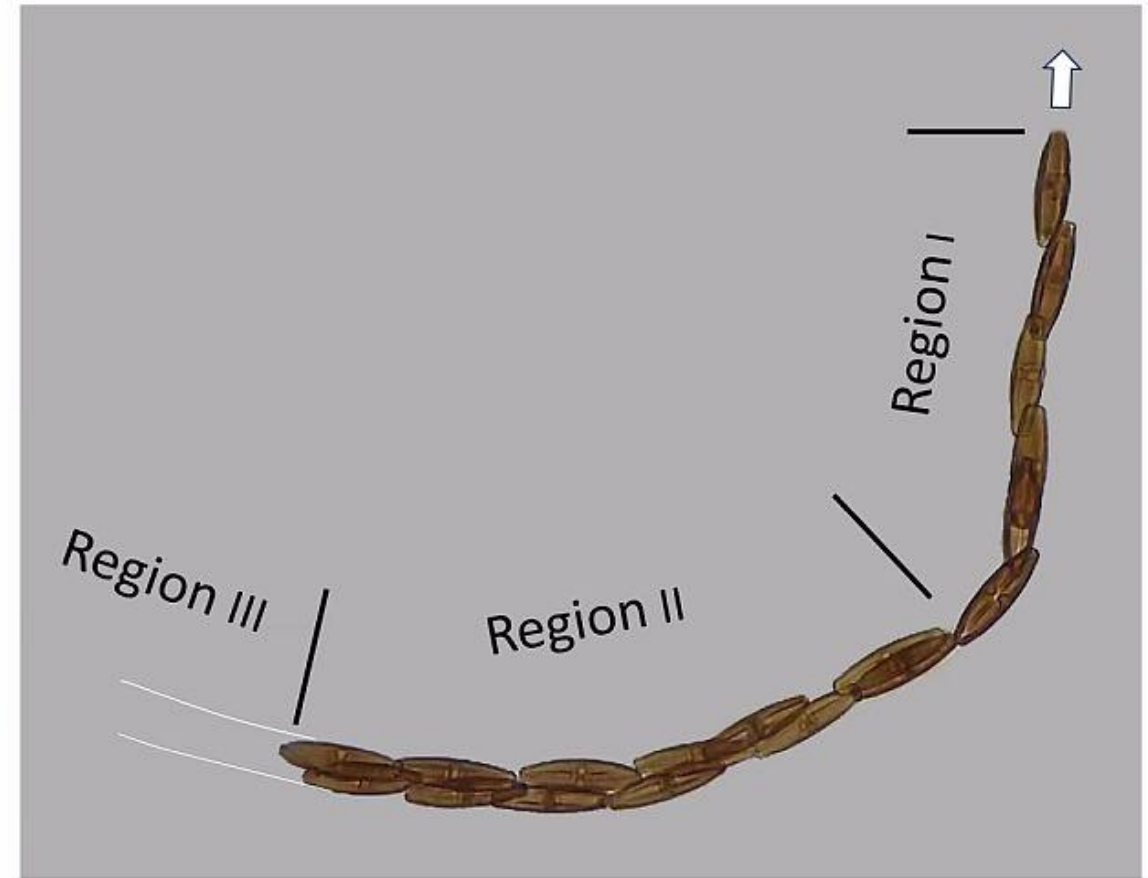
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



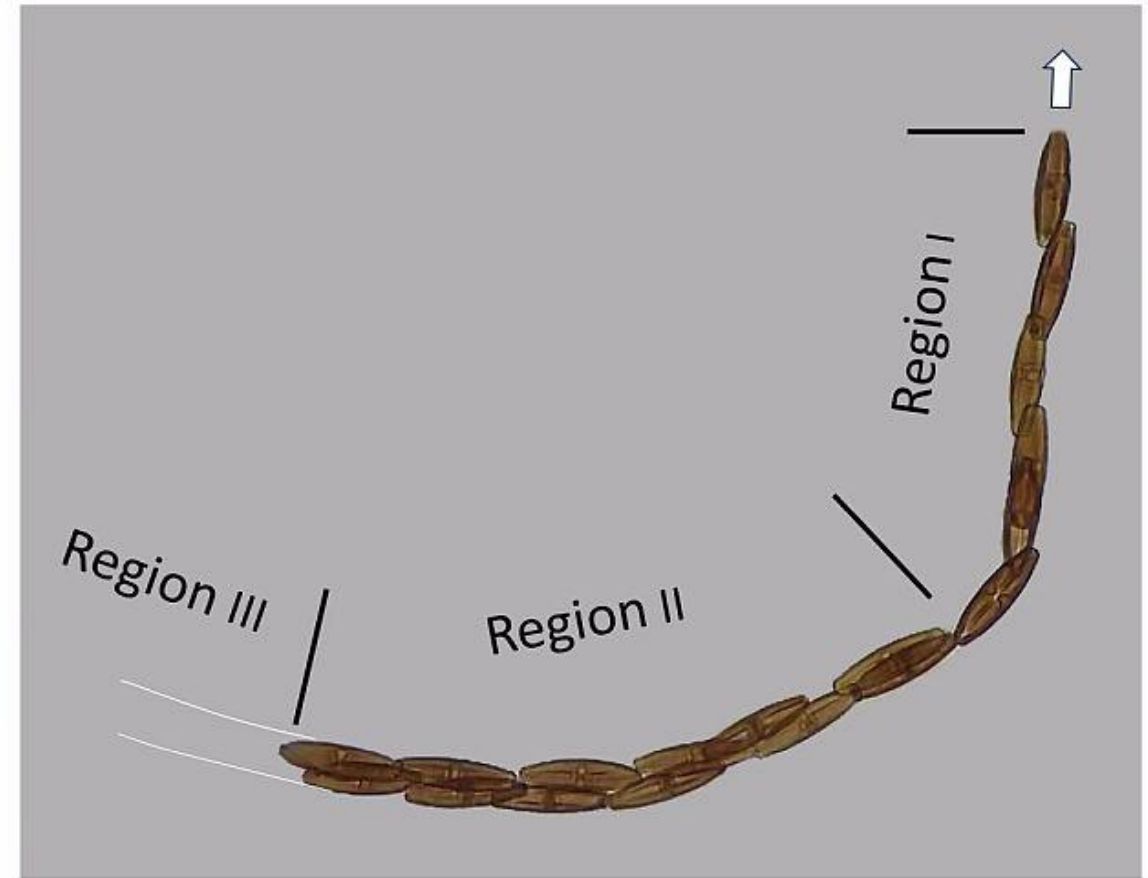
Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Vergrößerung der Kolonie durch Vortrieb an einem Ende



Beispielhafter Vortrieb im Zeitraffer (250-fach bei kleiner Vergrößerung und 125-fach bei hoher Vergrößerung)  
Beachtenswert ist auch die einzelne Diatomee außerhalb der Kolonie.



Unterscheidbare Abschnitte bei Vortrieb:

- Region I: Positionen der Diatomeen statisch, Bewegung einheitlich in Richtung zur Spitze
- Region II: Positionen und Bewegungsrichtung wechselnd

# Kooperativer Ausbau des Röhrensystems

Vermuteter Mechanismus:

Region I (Bereich der Dehnung; enge Röhre):

- Diatomeen üben eine Kraft in Richtung auf die Spitze der Röhre aus.
- Die Kräfte addieren sich, was einen schnellen Vortrieb ermöglicht.
- Der elastische Gallerteschlauch wird gedehnt und durch die Ausscheidung von EPS verstärkt. In einem kontinuierlichen Prozess wird die Röhre verlängert.

Region II (Bereich der Verstärkung; weitere Röhre):

- Diatomeen pendeln in beiden Richtungen (spontane Bewegungsumkehr mit Tendenz zum Ende der Röhre).
- Es treten keine dauerhaften starken Kräfte auf, da die Diatomeen in Bewegung sind und Kräfte in beiden Richtungen wirken.
- Die Dicke der Wand wird durch Ausscheidung von extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) verstärkt.

Beobachtung: Die Geschwindigkeit des Vortriebs steigt mit der Anzahl an Diatomeen in Region I.



# Hinweise in der Literatur zum Ausbau des Röhrensystems

Haupt, P.M. (1987) Observations on the marine tube-dwelling diatom *Navicula pseudocomoides* in culture. *Diatom research* 2(1), 47-53

## **Zitat zur Verstärkung der Wandung:**

“The wall of the tube subsequently thickens, material presumably being added to the tube interior by the diatoms during their rhythmic movements to and fro.”

## **Zitat zum Zufügen von Material am Ende der Röhre:**

“Subsequently, because the tubes are attached to the bottom of the culture-vessel, it can be established that the tube is continuously extended at the open end by material excreted by the cell at the front. In this process, the diatoms move in the tube, sometimes exhibiting jerky movements, as noted also by Williams (1965).”



Nach Haupt haftet die Röhre bei *Navicula pseudocomoides* am Boden des Kulturgefäßes. Ferner spricht er von einem offenen Ende!

Die Röhre von *Frustulia vulgaris* haftet im Bereich der Dehnung nicht am Substrat. *Frustulia vulgaris* wie auch *Encyonema caespitosum* besitzen geschlossene Enden.

# Organisation der Arbeitsteilung beim Vortrieb - Bewegungsverhalten

Diatomeen in den Regionen I, II und III verhalten sich unterschiedlich (Arbeitsteilung).

Die erkennbaren Unterschiede zeigen sich in der Bewegungsumkehr und dem Verhalten bei Erreichen eines Hindernisses. Dabei muss angenommen werden, dass in Regionen I und II die Richtung zur Spitze bekannt ist (Asymmetrie).

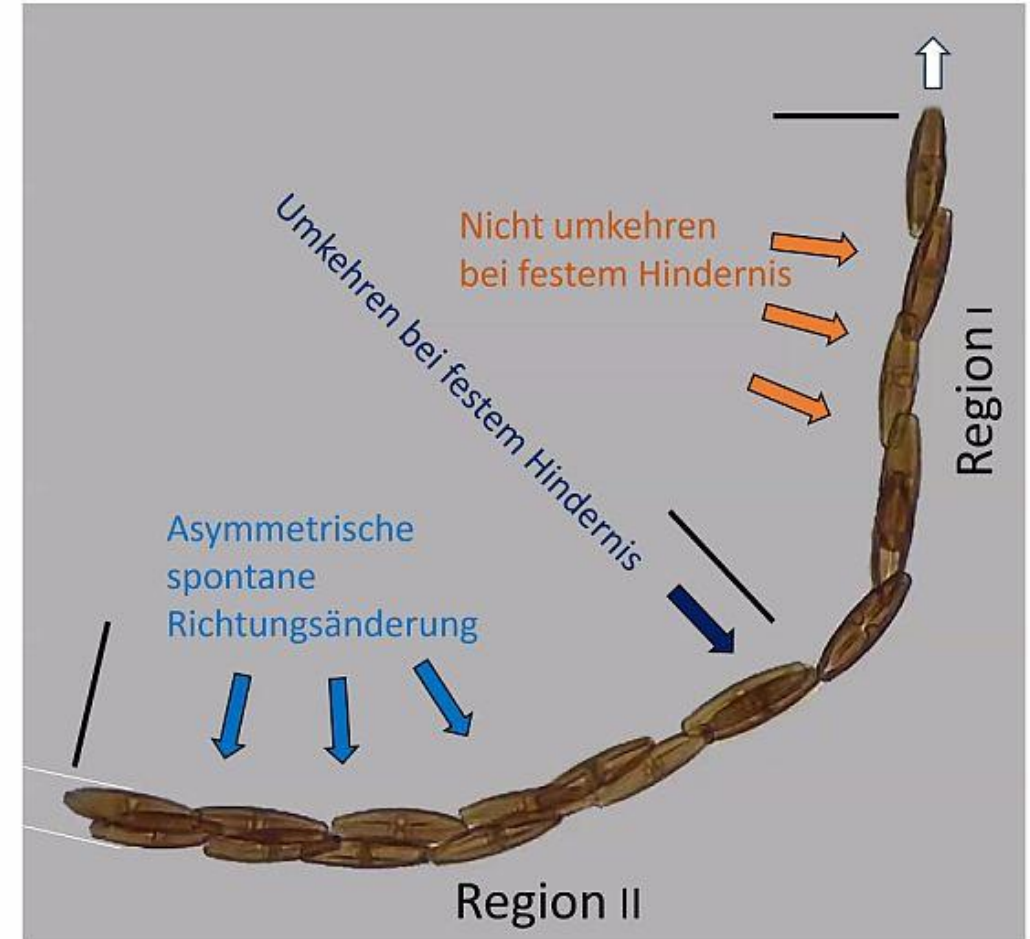
Region I (Bereich der Dehnung):

- Diatomeen kehren spontan um, wobei meist eine schnelle spontane Bewegungsumkehr in Richtung zur Spitze folgt.
- Ein Hindernis in Bewegungsrichtung führt nicht zu Bewegungsumkehr.

Region II (Bereich der Verstärkung):

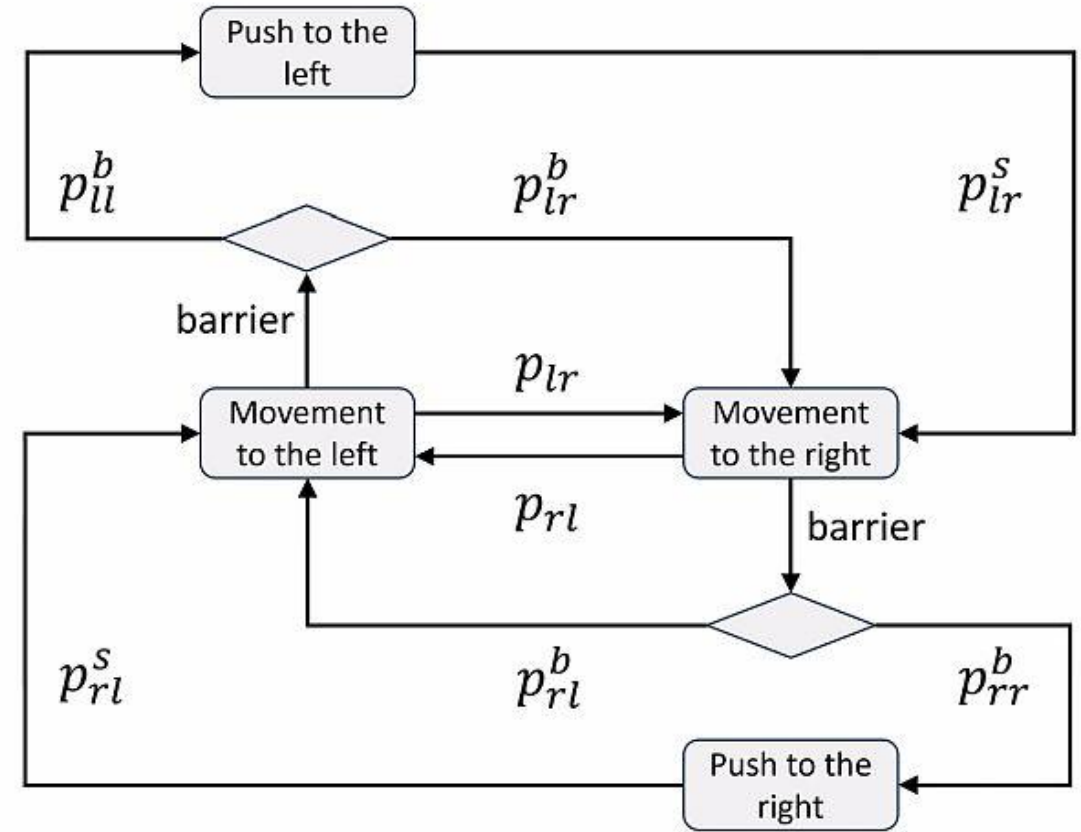
- Diatomeen kehren spontan um, wobei es eine Tendenz zur Spitze hin gibt.
- Bei Erreichen der Region I tritt ein Hindernis auf. In den meisten Fällen führt dies zur Bewegungsumkehr. Manchmal schließen sie sich der Gruppe in Region I an.

Region III: Bewegung dient möglicherweise der Erhaltung der Stabilität der Röhren und dem späteren Ausbau (Verzweigungen). Es ist kein Bezug zur Bewegung in den anderen Regionen erkennbar.



# Modellierung als Zustandsdiagramm eines kontinuierlichen Markov-Prozesses

| Symbol                                   | Bedeutung                                                                                                                               |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $p_{lr}, p_{rl}$                         | Übergangswahrscheinlichkeiten pro Zeit für den spontanen Richtungswechsel $l \rightarrow r$ und $r \rightarrow l$ (links: l, rechts: r) |
| $p_{rr}^b, p_{rl}^b, p_{ll}^b, p_{lr}^b$ | Wahrscheinlichkeiten für Zustandsübergänge nach dem Eintreten des „Barriere“-Ereignisses.                                               |
| $p_{rl}^s, p_{lr}^s$                     | Übergangswahrscheinlichkeiten pro Zeit bis zum Verlassen der Zustände „Nach rechts verschieben“ und „Nach links verschieben“.           |



Modellierung des Umkehrverhaltens der Diatomeen in Form eines Zustandsdiagramms. Sie berücksichtigt nicht die Kollision von Diatomeen in Bewegung, sondern nur das spontane Umkehren und das Erreichen einer nicht überwindbaren Barriere, wie das Ende eines Schlauchs oder Diatomeen in Region I.

Die Wahrscheinlichkeiten sind in den Regionen I, II und III unterschiedlich.

# EPS-Absonderung beim Ausbau des Röhrensystems

Wasseraufnahme: Ausgeschiedene EPS sind stark hydratisiert, d.h. sie nehmen Wasser aus der Umgebung auf.

Vortriebsgeschwindigkeit: Bei ca. 7 Diatomeen typisch bei  $0,15 \mu\text{m/s}$ .

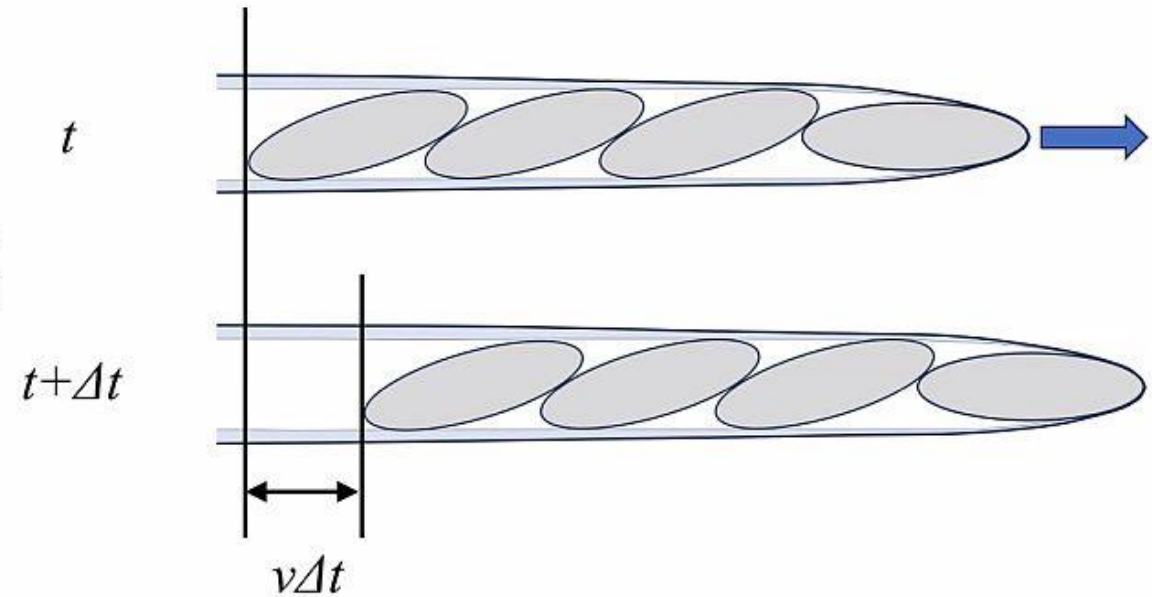
Die höchste gemessene Vortriebsgeschwindigkeit betrug  $0,31 \mu\text{m/s}$  (ca. 1 mm/h), wobei 10 Diatomeen in Region I waren.  
Zum Vergleich: Bewegungsgeschwindigkeit etwa  $2 \mu\text{m/s}$ , meist etwas weniger (zwei apikale Längen pro Minute)

Messung der Menge an hydratisiertem Material:

- In der Zeit  $\Delta t$  wird Röhre der Länge  $v\Delta t$  gebildet.
- Ihr Volumen ist  $\Delta V = Qv\Delta t$ , wobei  $Q$  die Querschnittsfläche des Kreisrings beim Verlassen der Region I bedeutet. Sie ergibt sich aus Differenz der beobachtbaren Radien von Außen- und Innenkreis.
- Pro Zeit abgegebene EPS-Volumen ist  $\Delta V / \Delta t = vQ$

Eine exemplarische Messung ergab  $0,9 \mu\text{m}^3/\text{s}$ .

(5 Diatomeen in Region I, Außendurchmesser  $10,1 \mu\text{m}$ , Wandstärke  $0,2 \mu\text{m}$ , Geschwindigkeit  $v = 0,15 \mu\text{m/s}$ .)



# Beweglichkeit der Vortriebsspitze

- In der Region I findet eine kontinuierliche Dehnung statt. Sie verhindert das dauerhafte Anhaften der Vortriebsspitze am Substrat. Würde nur eine neue Hülle am Ende angefügt werden, könnte die Spitze am Substrat haften.
- Fluktuierende Kräfte insbesondere durch Lageänderung der Diatomeen bewirken eine zufällige Bewegung der Vortriebsspitze.
- Ab dem Übergangsbereich von Region I in Region II kann der klebrige Schlauch bei Berührung am Substrat oder anderen Gallertschläuchen anhaften.
- Mit dem Anhaften wird die Richtung des Schlauches lokal festgelegt. Die Bewegung der Spitze führt zu teils engen Kehren, also kleinen Kurvenradien.
- Auf die Spitze ausgeübte taktile Reize führen nicht zu erkennbarer Reaktion. In diesem Sinne ist die „Suchbewegung“ zufällig und nicht systematisch.



Vortrieb mit „Schwänzeln“  
(125-facher Zeitraffer)

# Beweglichkeit der Vortriebsspitze

- In der Region I findet eine kontinuierliche Dehnung statt. Sie verhindert das dauerhafte Anhaften der Vortriebsspitze am Substrat. Würde nur eine neue Hülle am Ende angefügt werden, könnte die Spitze am Substrat haften.
- Fluktuierende Kräfte insbesondere durch Lageänderung der Diatomeen bewirken eine zufällige Bewegung der Vortriebsspitze.
- Ab dem Übergangsbereich von Region I in Region II kann der klebrige Schlauch bei Berührung am Substrat oder anderen Gallertschläuchen anhaften.
- Mit dem Anhaften wird die Richtung des Schlauches lokal festgelegt. Die Bewegung der Spitze führt zu teils engen Kehren, also kleinen Kurvenradien.
- Auf die Spitze ausgeübte taktile Reize führen nicht zu erkennbarer Reaktion. In diesem Sinne ist die „Suchbewegung“ zufällig und nicht systematisch.



Vortrieb mit „Schwänzeln“  
(125-facher Zeitraffer)

# Beweglichkeit der Vortriebsspitze

- In der Region I findet eine kontinuierliche Dehnung statt. Sie verhindert das dauerhafte Anhaften der Vortriebsspitze am Substrat. Würde nur eine neue Hülle am Ende angefügt werden, könnte die Spitze am Substrat haften.
- Fluktuierende Kräfte insbesondere durch Lageänderung der Diatomeen bewirken eine zufällige Bewegung der Vortriebsspitze.
- Ab dem Übergangsbereich von Region I in Region II kann der klebrige Schlauch bei Berührung am Substrat oder anderen Gallertschläuchen anhaften.
- Mit dem Anhaften wird die Richtung des Schlauches lokal festgelegt. Die Bewegung der Spitze führt zu teils engen Kehren, also kleinen Kurvenradien.
- Auf die Spitze ausgeübte taktile Reize führen nicht zu erkennbarer Reaktion. In diesem Sinne ist die „Suchbewegung“ zufällig und nicht systematisch.



Vortrieb mit „Schwänzeln“  
(125-facher Zeitraffer)

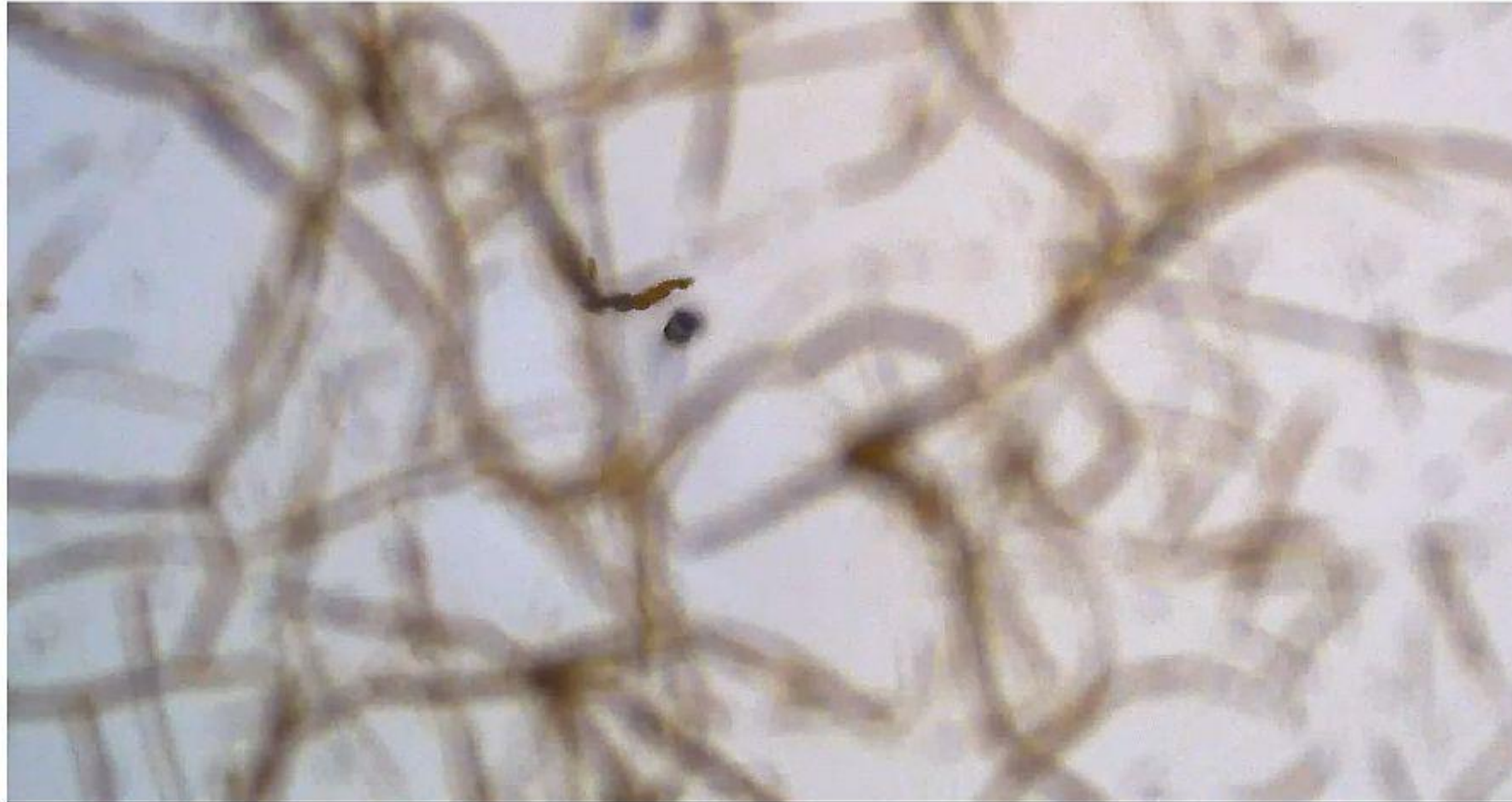
# Beweglichkeit der Vortriebsspitze

- In der Region I findet eine kontinuierliche Dehnung statt. Sie verhindert das dauerhafte Anhaften der Vortriebsspitze am Substrat. Würde nur eine neue Hülle am Ende angefügt werden, könnte die Spitze am Substrat haften.
- Fluktuierende Kräfte insbesondere durch Lageänderung der Diatomeen bewirken eine zufällige Bewegung der Vortriebsspitze.
- Ab dem Übergangsbereich von Region I in Region II kann der klebrige Schlauch bei Berührung am Substrat oder anderen Gallertschläuchen anhaften.
- Mit dem Anhaften wird die Richtung des Schlauches lokal festgelegt. Die Bewegung der Spitze führt zu teils engen Kehren, also kleinen Kurvenradien.
- Auf die Spitze ausgeübte taktile Reize führen nicht zu erkennbarer Reaktion. In diesem Sinne ist die „Suchbewegung“ zufällig und nicht systematisch.



Vortrieb mit „Schwänzeln“  
(125-facher Zeitraffer)

## Kolonienbildung auf unebenem Substrat mit Hilfe von Stützstrukturen



Zwei anhaftende  
Gallertschläuche

Die Bewegungen der Spitze und die Anhaftungen erlauben die Überwindung von Hindernissen und die Entstehung netzartiger Strukturen im dreidimensionalen Raum. Im Video (300-facher Zeitraffer) dient eine senkrecht auf dem Substrat stehende Glasfaser als Stützstruktur.  
Ohne Stützstruktur ist in fließenden Gewässern mit langen Filamenten zu rechnen.

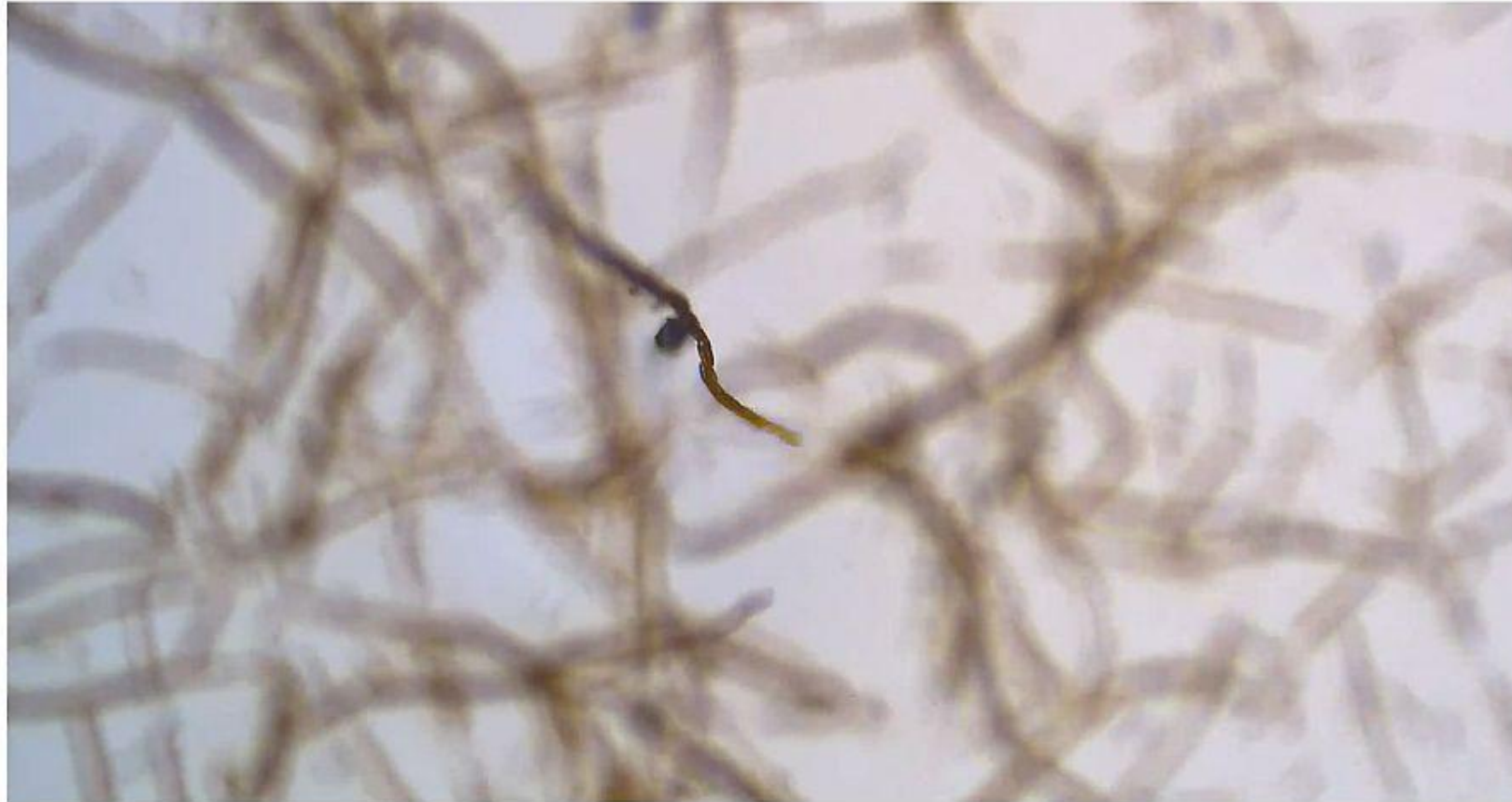
## Kolonienbildung auf unebenem Substrat mit Hilfe von Stützstrukturen



Zwei anhaftende  
Gallertschläuche

Die Bewegungen der Spitze und die Anhaftungen erlauben die Überwindung von Hindernissen und die Entstehung netzartiger Strukturen im dreidimensionalen Raum. Im Video (300-facher Zeitraffer) dient eine senkrecht auf dem Substrat stehende Glasfaser als Stützstruktur. Ohne Stützstruktur ist in fließenden Gewässern mit langen Filamenten zu rechnen.

## Kolonienbildung auf unebenem Substrat mit Hilfe von Stützstrukturen



Zwei anhaftende  
Gallertschläuche

Die Bewegungen der Spitze und die Anhaftungen erlauben die Überwindung von Hindernissen und die Entstehung netzartiger Strukturen im dreidimensionalen Raum. Im Video (300-facher Zeitraffer) dient eine senkrecht auf dem Substrat stehende Glasfaser als Stützstruktur. Ohne Stützstruktur ist in fließenden Gewässern mit langen Filamenten zu rechnen.