

## 18. Otto Müller: Die Ortsbewegung der Bacillariaceen. IV.<sup>1)</sup>

Mit Tafel VIII.

Eingegangen am 25. März 1896.

Mit anderen Autoren nimmt auch P. HAUPTFLEISCH<sup>2)</sup> eine Bewegungslage (p. 12. 15. 28), d. h. eine bestimmte Lagerung des Zellkörpers zum Substrat an, von der die Möglichkeit der Bewegung abhängig ist. Ich habe mich schon früher, hinsichtlich der grossen Pinnularien, gegen diejenigen Autoren ausgesprochen, welche eine solche behaupten, und ich verneine dieselbe jetzt auch bezüglich *Stauroneis Phoenicenteron* und *Nitzschia sigmoidea*. Vielfache Beobachtungen haben mir erwiesen, dass diese Bacillarien, und vermuthlich auch andere, sich in jeder Lage fortbewegen können, in die sie durch eine mehr oder weniger vollständige Drehung um ihre Apicalachse gelangen und die ihnen eine Vorwärtsbewegung in der Richtung dieser Achse gestattet, wengleich sie in der Regel entweder in der Schalen- oder in der Gürtelbandlage gleiten. Auch HAUPTFLEISCH giebt die Fortbewegung der Pinnularien in der Gürtelbandlage zu (S. 28), aber er bestreitet die Wirkung von Plasmaströmen in dieser Lage und verlegt die locomotorischen Kräfte in die aus den Längskanten hervortretenden Plasmaorgane; hieraus folgert er dann Beziehungen zum festen Substrat sowohl in der Schalen-, wie in der Gürtelbandlage.

Nachdem ich vorher, Ortsbewegung III, meinen Widerspruch gegen das Hervortreten von Plasmaorganen an den Längskanten der Pinnularien begründet, kann ich der Berührung der Längskanten mit einem festen Substrat überhaupt keine Bedeutung für die Fortbewegung der Pinnularien zubilligen. Eine Beziehung zwischen motorischer Kraft und Substrat ist nur möglich, wenn die Pinnularia auf einer der beiden Schalen fortgleitet; dann könnte das feste Substrat der motorischen Kraft die Stützpunkte zur Verschiebung der darauf gleitenden Schalen bieten; aber es kann auch, was ich wahrscheinlicher halte, eine sogenannte Wasserhaut (s. S. 118, 123) den Zellkörper umgeben, da dieser jedenfalls mit Wasser benetzbar ist und in diesem Falle würde dann die Reaction gegen das Wasser erfolgen, obgleich der Körper scheinbar auf einer Unterlage gleitet.

1) Ortsbewegung III s. S. 54 dieses Bandes.

2) Mitth. des naturw. Vereins für Neu-Vorpommern und Rügen. 27. Jahrg., 1895. Sep.-Abz.

Wenn der Zellkörper in der Schalenlage gleitet, so ist meistens, wie ich im offenen (unbedeckten) Tropfen beobachtet habe, zugleich auch die obere (vom Substrat abgekehrte) Rhapshe in Thätigkeit und trägt ohne Zweifel ihrerseits zur Fortbewegung des Zellkörpers bei; die Beziehung der untern Rhapshe zum Substrat ist nur eine zufällige, nicht eine nothwendige. HAUPTFLEISCH hält zwar eine Förderung der Bewegung durch die vom Substrat abgekehrte Rhapshe für ausgeschlossen (S. 13); hierzu fehlt jedoch jeder zureichende Grund, die Bewegung des Zellkörpers in der Gürtelbandlage beweist vielmehr das Gegentheil, die Wirkung der nur mit Wasser in Berührung stehenden Rhapshe und die Unabhängigkeit ihrer Lage vom Substrat. In der Gürtelbandlage liegt die Rhapshe bei *P. nobilis* 25  $\mu$ , bei *P. major* 15 bis 20  $\mu$ , bei *P. viridis* 12 bis 15  $\mu$  über dem Substrat, und die motorischen Kräfte, welcher Natur sie auch sein mögen, haben sicherlich keinerlei Beziehung zum Substrat, sondern lediglich zu dem umgebenden Medium, dem Wasser.

Dasselbe gilt für *Stauroneis Phoenicenteron* und *Nitzschia sigmoidea*.

Eine in der Gürtelbandlage gleitende *N. sigmoidea* berührt mit keiner ihrer beiden Längskanten (Rhapsen) das Substrat, falls beide zugleich scharf eingestellt werden können, dieselben liegen dann 5 bis 6  $\mu$  über dem Substrat — dennoch eilt sie vorwärts. Wie bei den Pinnularien findet also auch im Falle der *Nitzschia* in dieser Lage die motorische Kraft ihre Angriffspunkte nicht am festen Substrat, sondern an dem umgebenden Wasser.

Diese Auffassung wird durch die Beobachtung der Bewegungserscheinungen im hängenden Tropfen unterstützt. Die Zellkörper verhalten sich im hängenden Tropfen genau so, wie im offenen oder bedeckten Tropfen auf dem Objectträger; sie gleiten auf der Innenseite der gewölbten Oberfläche sowohl in der Gürtelband-, wie in der Schalenlage. Dieses Verhalten scheint selbstverständlich, da ja die Oberflächenspannung des Tropfens einem festen Substrat gleich zu achten ist. Nähere Betrachtung ergibt jedoch, dass die Rhapshe in der Schalenlage mit der gespannten Oberfläche nur an den Polen in Berührung kommen kann, weil zwischen der concaven Innenseite der Oberfläche und der zugekehrten Schalenfläche sich eine Wasserschicht befindet. Unmöglich aber genügt die minimale Berührungsfläche eines der Pole, um die Arbeit zu leisten, welche die Bewegung der Masse erfordert; dazu kommt in Betracht, dass die Zellkörper im hängenden Tropfen längere Strecken der Kugelfläche aufwärts gleiten und daher ausser der Arbeit gegen die Reibung noch eine erhebliche Arbeit gegen die Schwerkraft leisten müssen, was ich später erörtern werde.

Dass in der That die Krümmungsfläche des hängenden Tropfens im Verhältniss zu den darauf gleitenden Pinnularien nicht als Ebene

gelten darf, wird ersichtlich, wenn man die Dicke der zwischen Zellkörper und Oberfläche befindlichen Wasserschicht berechnet.

Der hängende Tropfen ist wahrscheinlich kein regulärer Kugelabschnitt; ich nehme ihn aber als solchen an, da die Abweichungen von der Kugelgestalt die Dicke der Wasserschicht im Scheitel eher vermehren, als verringern dürften. Ich benutzte einen Tropfen von 6 mm Grundfläche, grössere fliessen beim Umkehren leicht ab. Mit dem Dickenmesser bestimmte ich die Höhe(Tiefe) des Tropfens  $h = 1,20 \text{ mm}$ ; Radius der Grundfläche  $a = 3 \text{ mm}$ . Der Radius  $r = \frac{a^2 + h^2}{2h}$  der zugehörigen Kugel ist in diesem Falle 4,35 mm; die Peripherie des grössten Kreises  $2 r \pi$ , misst 27,332 mm.

Die Kante der Unterfläche einer *Pinnularia major* von 0,248 mm Länge würde dann die Seite  $s$  eines eingeschriebenen Polygons von 110 Seiten bilden. Der Radius des eingeschriebenen Kreises  $\rho = \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - s^2}$  ist = 4,3482 mm. Da der Radius des umgeschriebenen Kreises  $r = 4,35 \text{ mm}$  war, so ist  $r - \rho = 0,0018 \text{ mm}$  der Abstand des Mittelpunktes der Seite von der Peripherie, d. h. die Dicke der Wasserschicht an dieser Stelle.

Die Kante der Unterfläche einer *Pinnularia viridis* von 0,1553 mm Länge würde die Seite eines Polygons von 176 Seiten bilden,  $\rho$  wäre 4,3493 mm und die Dicke der Wasserschicht ist  $r - \rho = 0,0007 \text{ mm}$ .

Die vorstehenden Erörterungen zeigen, dass es sich jedenfalls um eine Bewegung handelt, bei welcher die Kraft ihre Stützpunkte, wenn nicht immer, so doch vorzugsweise an einem flüssigen Medium findet. Für eine derartige Bewegung aber ist die Bezeichnung „Kriechen“ um so ungeeigneter, als von einer wie immer gearteten Metabolie keine Rede sein kann. Ich halte den Ausdruck „Gleiten“ am passendsten, weil der Zellkörper zwar schwimmt, aber aus später zu erörternden Gründen während der Bewegung unterstützt bleibt.

### Mechanik der Ortsbewegung.

R. LAUTERBORN bezweifelte bereits<sup>1)</sup>, dass eine nach den von mir vorausgesetzten mechanischen Principien construirte Maschine im Stande sein würde den Widerstand des Wassers zu überwinden, und P. HAUPTFLEISCH<sup>2)</sup> schliesst sich dieser Ansicht ausdrücklich an; leider haben die Herren nicht angegeben, worauf sie ihre Zweifel stützen. Der Aufbau meiner Maschine und die Art ihrer Wirkung ist aber bereits aus

1) Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. XII, S. 73.

2) l. c. S. 26.

meiner ersten Arbeit<sup>1)</sup> hinreichend ersichtlich; es handelt sich danach um eine Maschine, deren Fortbewegung das Ergebniss der Arbeit ist, welche sie gegen die Reibung leistet. Unmöglich aber können die Herren ihren Einwand gegen das Princip: Ortsbewegung aus Arbeit gegen Reibung, richten wollen, da ja die leistungsfähigsten Maschinen, welche dem Zwecke der Ortsbewegung dienen, Locomotiven und Dampfschiffe, auf demselben Princip beruhen. So, wie er erhoben, schwebt der Einwand daher in der Luft und ich könnte ihn auf sich beruhen lassen. Es scheint mir aber aus anderen Gründen förderlich zu untersuchen, welche Gleichgewichtsbedingungen der Bau meiner Maschine erfordert, schon weil die messbaren Grössen an sich ein biologisches Interesse beanspruchen dürfen.

Bevor ich indess hierauf näher eingehen kann ist es nothwendig, den Bau der Pinnularien-Rhaphe, wie ich ihn in meiner Arbeit über die Durchbrechungen der Zellwand dargestellt habe, in einigen Punkten zu ergänzen.

Kurz wiederholt besteht die Rhaphe jeder Schale aus einem Centralknoten und zwei Endknoten, welche durch je ein an der äusseren und ein an der inneren Zellwandfläche verlaufendes System von Spalten und Kanälen mit einander verbunden sind. Jeder der beiden Endknoten wird von einer Spalte durchbrochen, der halbmondförmigen Polspalte  $d^2)$ , die durch den äusseren Endknotenkanal  $ae^3)$  in den äusseren Rhaphenspalt  $asp$  übergeht. In der Nähe des Centralknotens gestaltet sich diese Spalte zum Kanal  $k^4)$ , der über der Basis<sup>5)</sup> des Centralknotens fast rechtwinkelig umbiegt, denselben in mehreren kurzen Windungen von aussen nach innen durchbricht und sich in der Höhe von etwa zwei Dritteln des Centralknotens gabelt  $gb^6)$ . Der dem Centrum zugewendete Arm steigt in einigen Windungen bis zum ausgehöhlten Gipfel des Centralknotens  $c^7)$ , woselbst er in einer offenen Rinne mündet, welche die beiden Centralknotenkanäle mit einander verbindet  $l^8)$  und den Zusammenhang zwischen der vorderen und hinteren Hälfte der Rhaphe vermittelt. Der andere Arm eines jeden der beiden Centralknotenkanäle wendet sich rückläufig einem der Pole zu  $ik^9)$ , geht bald in die innere Rhaphenspalte  $isp$  über und diese endlich

1) Durchbrechungen der Zellwand in ihren Beziehungen zur Ortsbewegung. Berichte. Bd. VII, S. 169.

2) Durchbr. tab. VII, Fig. 1, 6, 9, 11, 12.

3) Durchbr. tab. VII, Fig. 9, 10, 11, 12.

4) Durchbr. tab. VII, Fig. 7.

5) Der Centralknoten sitzt mit der Basis der Zellwandfläche auf und ragt mit dem Gipfel in das Zellinnere hinein.

6) Durchbr. tab. VII, Fig. 7, 8, 13, 14, 17.

7) Durchbr. tab. VII, Fig. 7.

8) Durchbr. tab. VII, Fig. 7, 8, 14, 17.

9) Durchbr. tab. VII, Fig. 14, 17.

mündet auf der Fläche des Trichterkörpers  $f^1$ ), einer Falte, welche in der Endknotenhöhle nach Art eines Propellers<sup>2)</sup> ausgespannt ist und deren am tiefsten nach innen dringender Theil die Tülle  $g$  bildet

Der Vergleich mit einem Schiffs-Propeller drängt sich schon bei flüchtiger Betrachtung des Baues der Endknoten auf, aber noch viel zwingender wird diese Analogie, wenn man die entsprechenden Endknoten der Epivalva und der Hypovalva einer Pinnularia über einander projicirt. Nach dem Befunde verschiedener Arten (*P. major*, *viridis*, *Dactylus*, *gigas*, *alpina*, *lata*) habe ich ein Schema des Baues der Endknoten entworfen und auf Tafel VIII in der ihnen eigenthümlichen Lage dargestellt; den der oberen Schale zugehörigen Endknoten blau (Fig. 2), den Endknoten der darunter gelegenen Schale roth (Fig. 3), und in Fig. 4 habe ich beide über einander projicirt.

Hiernach durchsetzt die Polspalte  $d$  den Endknoten schraubenförmig und geht durch den äusseren Endknotenkanal  $ae$  schraubenförmig in den äusseren Rhapsenspalt  $asp$  über; die Kante seines äusseren Falzblattes setzt dann die Schraubenlinie auf der Schalenfläche fort (Fig. 1). Die innere Rhapsenspalte  $isp$  mündet auf der schraubenförmigen Fläche des Trichterkörpers  $f$ . Die gesammten Flächen und Linien dieses Endapparates sind daher mehr oder weniger schraubenförmig gestaltet und angeordnet. Die Projection (Fig. 4) zeigt nun aber, dass jede halbe Schraubenwindung auf der oberen Schale durch die entgegengesetzt gewundene der Unterschale zu einer ganzen Windung ergänzt wird.

Die Construction dieser Maschine legte ich dem Professor für Schiffsbau am hiesigen Polytechnikum Herrn OSWALD FLAMM vor, dem ich dann auch, unter anderen werthvollen Aufschlüssen, insbesondere die in der Schiffsbautchnik gebräuchliche FROUDE'sche Formel der Reibung verdanke. Herr Professor OSWALD FLAMM betrachtet diese Ausgestaltung der Pinnularien-Rhappe geradezu als Modell einer Bewegungsmaschine mit Propeller-Einrichtung, bei der jedoch die Ortsbewegung nicht durch Umdrehung des Propellers selbst bewirkt wird, sondern, was für geringe Geschwindigkeiten vollkommen ausreicht, durch schraubenförmige Drehung des an seinen Flächen gleitenden Plasmastromes.

Dem an der Polspalte austretenden viscosen Plasmastrom schreibt die Gestaltung der Spalte eine Torsion und ein Fortschreiten in einer halben Schraubenwindung auf der polaren Kuppel und in weiteren drei halben Windungen auf der Schalenfläche vor, und jede dieser halben Schraubenwindungen wird durch die entgegengesetzt gewundene der opponirten Schale zu einer ganzen Windung. In den Figuren 2

1) Durchbr. tab. VII, Fig. 6, 10, 11, 12.

2) Durchbr. S. 172.

bis 4 bezeichnen die starken blauen und rothen Linien die Bahn, welche der tordirte Plasmastrom auf der äusseren gewölbten Fläche eines Poles nimmt, und aus Fig. 1 ist der weitere Weg dieses Stromes auf den Schalenflächen ersichtlich.

Diese Anordnung der Strombahnen in halben, sich ergänzenden Schraubenwindungen, wirft ferner ein helles Licht auf die diagonale Symmetrie der Pinnularien, welche hiernach als eine mechanische Anpassung aufzufassen ist und als deren Ziel eine vollkommenerere Ortsbewegung und Steuerung erscheint.

Nach dem verwickelten Bau dieser Rhaphe halte ich für wahrscheinlich, dass die Rotation des Plasmas in folgender Weise zu Stande kommt. Wird ein Plasmastrom vom Centralknoten aus in der Richtung auf die Endknoten durch die innere Rhaphenspalte *isp* auf die Fläche des Trichterkörpers *f* geleitet, so fliesst er aus der Tülle *g* desselben als schraubentörmig gewundener Stromfaden auf die unmittelbar benachbarte innere Wandfläche der Endknotenhöhle *eh*. Sobald er die Polspalte an der Stelle *b* erreicht hat, wird er von derselben in eine rückläufige Richtung zum Centralknoten geschraubt, gelangt durch den äusseren Rhaphenspalt *asp* in den zunächst liegenden Centralknotenkanal und kann dann, vermöge der Gabelung dieses Kanals, entweder seinen Weg von neuem beginnen, oder in das Zellinnere zurückfliessen, endlich auch durch die offene Rinne des ausgehöhlten Centralknotengipfels in die andere Hälfte der Rhaphe übertreten und dort denselben Rundlauf machen, wie in der ersten.

Der in den Spalten und Knoten der inneren Schalenfläche verlaufende Strom ist schon wegen der starken Lichtbrechung der Schalensubstanz und der darunter liegenden Chromatophoren nicht sichtbar. Der Weg des auf der Aussenfläche verlaufenden Plasmastromes dagegen ist durch bewegte Fremdkörper oder den in Tuschemulsion secundär erzeugten Körnchenstrom nachweisbar; dieser Weg stimmt mit dem Verlauf der Rhaphenspalte genau überein. Der an der Polspalte in kurzer Windung *b* erfolgende Austritt des Stromes erzeugt an dieser Stelle einen Wirbel; die Beobachtung ergibt, dass die Tushekörnchen vermöge dieses Wirbels an der Polspalte aus grösserer Entfernung herangezogen werden.

Strombänder, welche in dieser Weise auf den Wandflächen eines untergetauchten Körpers angeordnet sind, müssen Arbeit leisten, das kann einem ernsthaften Widerspruch nicht unterliegen; es handelt sich nur um die Frage, wie gross die Geschwindigkeit der Plasmabänder sein muss, um die zur Ueberwindung der Widerstände des umgebenden Mediums erforderliche Arbeitsleistung thatsächlich hervorzu- bringen. Eine exacte Lösung dieser Frage ist unmöglich, weil, bei den kleinen Dimensionen und geringen Geschwindigkeiten, weder die Natur aller Widerstände selbst genügend bekannt ist, noch bei den

bekanntes sämmtliche Werthe gemessen oder durch den Versuch bestimmt werden können. Dennoch halte ich die Lösung in Hinsicht auf den weitaus grössesten und wichtigsten Widerstand, die Reibung, innerhalb gewisser Grenzen, von denen man auf die mehr oder minder grosse Wahrscheinlichkeit schliessen kann, für ausführbar. Wem aber das so erreichbare Maass einer mechanischen Bestimmung der Stromwirkung nicht genügt, der muss wenigstens die Thatsache gelten lassen, dass die Endknoten der Pinnularien nach dem Princip von Schiffs-Propellern gebaute Einrichtungen sind. Besitzt ein untergetauchter Körper aber eine Propeller-Einrichtung, deren Function sich in ihrer Wirkung an Fremdkörpern und am umgebenden Medium deutlich bemerkbar macht und wird der Körper thatsächlich bewegt, so halte ich erwiesen, dass Einrichtung und Bewegung in dem Zusammenhang von Ursache und Wirkung stehen.

Die im Folgenden mitgetheilten Messungen an *Pinnularia viridis*, *Stauroneis Phoenicenteron* und *Nitzschia sigmoidea* beziehen sich, wie ich ausdrücklich bemerke, auf Individuen, welche in meinen Culturen lebten und den Einflüssen derselben längere Zeit ausgesetzt waren; die Werthe für die Geschwindigkeit sind daher nicht ohne Weiteres auf solche Individuen übertragbar, welche an ihren Standorten leben, deren Geschwindigkeit vermuthlich etwas grösser sein wird. Für alle Messungen wählte ich gallertfreie Individuen von möglichst gleicher Grösse und bestimmte den Mittelwerth aus einer grösseren Anzahl von Einzelmessungen.

Um die Grundlage für die Mechanik zu gewinnen, habe ich die drei Dimensionen, die Oberfläche, den kubischen Inhalt, das specifische Gewicht und die Geschwindigkeit in der Sekunde, bestimmt.

Zur Messung der Dimensionen wurden Exemplare gewählt, welche nicht zur Theilung ausgezogen waren, deren Pleuraseite daher die geringste Breite hatte; die Gestalt der Flächen wurde berücksichtigt und deren Inhalt nach möglichst genauer Correction berechnet.

Schwierigkeiten verursachte die Bestimmung des specifischen Gewichts mittelst der Schwebemethode, insofern, als die Maassflüssigkeit weder zerstörend auf das Plasma einwirken, noch die Zellen wesentlich plasmolysiren durfte, zugleich aber ein hohes specifisches Gewicht besitzen musste. Durch Versuche mit verschiedenen Flüssigkeiten überzeugte ich mich bald, dass das specifische Gewicht der Bacillarien ein sehr hohes ist. In einer Eisenchloridlösung von 1,62 sp. G. sanken die Pinnularien noch schnell, auch noch in einer Lösung von Zinnchlorür von 1,67 sp. G.; ich war genöthigt Lösungen von Silbernitrat zu verwenden, obgleich diese eine grössere plasmolytische Wirkung haben als die vorgenannten Lösungen. In einer Silbernitratlösung von 1,82 sp. G. bei 18° C. stiegen bereits einige Pinnularien, die meisten

dagegen sanken, wenn auch sehr langsam. Bei der geringen Viscosität selbst so hoch concentrirter Silberlösungen, deutet das Steigen einzelner Individuen darauf hin, dass das spezifische Gewicht der Pinnularien sehr nahe 1,82 liegt; ich nahm dasselbe zu 1,80 für die Rechnung an.

Der Widerstand der Reibung, den ein untergetauchter Körper zu überwinden hat, ist nach FROUDE

$$1) R = F \cdot \varphi \cdot v^{1,83}$$

worin  $R$  die Gesamtreibung,  $F$  die Oberfläche, des Körpers,  $\varphi$  den Reibungscoefficienten der Oberflächensubstanz mit Wasser und  $v$  die Geschwindigkeit des Körpers in der Sekunde bezeichnet. Die geleistete Arbeit ist dann  $R \cdot v$ .

Wenn nun  $F_1$  die Fläche des Plasmabandes,  $\varphi_1$  den Reibungscoefficienten des Plasmas mit Wasser,  $v_1$  die Geschwindigkeit des Plasmabandes in der Sekunde bezeichnet, so ist der Reibungswiderstand, den das Plasmaband zu überwinden hat,

$$2) R_1 = F_1 \cdot \varphi_1 \cdot v_1^{1,83}$$

und die vom Plasmabande geleistete Arbeit ist unter entsprechender Berücksichtigung des Slips<sup>1)</sup>  $R_1 \cdot v_1$ . Der Körper muss sich daher mit der Geschwindigkeit  $v$  in der Sekunde bewegen, wenn die Bedingung

$$3) R \cdot v = R_1 \cdot v_1$$

erfüllt ist.

In Gleichung 1 sind die Grössen  $F$  und  $v$  direct und mit genügender Schärfe messbar; die Geschwindigkeit der Zelle  $v$  wurde als Mittelwerth aus zahlreichen Messungen mit Ocularmikrometer und Chronograph bestimmt. Da die Zellhaut verkieselt ist und von Wasser benetzt wird, so treffen ähnliche Verhältnisse zu, als wenn der Zellkörper aus Glas bestände. In diesem Falle würde die unmittelbar mit dem Glase in Berührung stehende Wasserschicht am Glase haften (Wasserhaut); bei der Bewegung würden daher nicht Glas und Wasser an einander reiben, sondern zwei Wasserflächen und die Grösse  $\varphi$  würde daher dem Coefficienten der Zähigkeit des Wassers gleichzusetzen sein. Dieser beträgt bei 18° C. 0,010672<sup>2)</sup>, bei 10° 0,013677. Da nun das Wasser der Cultur kein destillirtes Wasser, sondern eine schwache Salzlösung ist, so habe ich den Reibungscoefficienten  $\varphi$  zu 0,015 angenommen.

In der Gleichung 2 ist die Grösse  $F_1$  bei *Pinnularia viridis* und *Stauroneis Phoenicenteron* messbar, da die Breite des Plasmabandes

1) Der Slip ist die Differenz der Geschwindigkeit mit der das Wasser in den Propeller eintritt und mit der es austritt. Der Slip wird = 0, also  $v = v_1$ , wenn der Reibungscoefficient  $\varphi_1$  so gross wird, dass  $v = v_1$ ,  $R = R_1$  ist.

2) LANDOLT und BÖRNSTEIN, Physik.-chemische Tabellen. 1894, S. 288.

gleich der Breite des Körnchenstromes und diese annähernd gleich dem riefenfreien Mitteltheile der Schale ist.

Die Länge von der Polspalte bis zur vorderen Centralknotenöffnung auf beiden Seiten, mit der Breite multiplicirt, ergibt die reibende Fläche des Plasmabandes. Bei *Nitzschia sigmoidea* nahm ich die Breite gleich  $1,25 \mu$  bei einem Durchmesser des Kanals in der Schalenlage von  $2 \mu$ , die Länge von einem Pol zum andern, auf beiden Seiten gemessen, an.

Die Grösse  $\varphi_1$ , der Reibungscoefficient von Plasma und Wasser, ist nicht messbar; aber er ist sicher grösser als der Coefficient der inneren Reibung des Wassers, weil das Plasma eine sehr viel zähere Flüssigkeit ist als Wasser und sich mit Wasser nicht mischt. Das Plasma verletzter Pinnularien dringt in wurstförmigen Strängen aus der Oeffnung, ballt sich zusammen und bleibt vor derselben liegen. Wenn man daher zunächst  $\varphi_1 = \varphi$  setzt, so wird bei Erfüllung der Bedingung  $R \cdot v = R_1 \cdot v_1$  der Werth von  $v_1$ , d. h. die Geschwindigkeit des Plasmabandes, die grösste sein, welche überhaupt möglich ist. Mit grosser Wahrscheinlichkeit jedoch ist  $\varphi_1$  um ein Mehrfaches, ja ein Vielfaches grösser als  $\varphi$ ; je grösser aber der Werth von  $\varphi_1$  um so kleiner wird der Werth von  $v_1$ . Setzt man daher für  $\varphi_1$  nach einander grössere Werthe ein, 0,030, 0,060, 0,120 u. s. f., so findet man die möglichen verschiedenen Geschwindigkeiten des Plasmabandes von jener vorher bezeichneten oberen Grenze bis zur unteren, an welcher die Geschwindigkeit des Plasmabandes die Geschwindigkeit des Zellkörpers nur wenig übertrifft oder ihr gleichkommt.

Leider habe ich den Werth von  $v_1$  nicht durch Messung bestimmen können; zwar ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, da die Geschwindigkeit der dem Bande direct anhaftenden Fremdkörper die Geschwindigkeit des Bandes selbst anzeigt. Indessen die Zelle bewegt sich und die Bewegung der Fremdkörper erfolgt in entgegengesetzter Richtung, und so ist mir eine sichere Messung nicht gelungen. Jedenfalls aber ist die Geschwindigkeit der an der Zelle gleitenden Fremdkörper merklich grösser, als die Geschwindigkeit der Zelle selbst, eine Beobachtung, welche auch durch andere Autoren über jeden Zweifel sichergestellt ist.

Durch Rechnung findet man die Grösse  $v_1$ , wenn man in Gleichung 3 für  $R_1$  dessen Werth aus Gleichung 2 einsetzt.

$R \cdot v = F_1 \cdot \varphi_1 \cdot v_1^{1,63} \cdot v_1$ , woraus dann folgt

$$4) \quad v_1 = \sqrt[2,63]{\frac{R \cdot v}{F_1 \cdot \varphi_1}}$$

Als Längeneinheit gilt das  $\mu$ ; als Flächeneinheit das  $q\mu$ ; als kubische Einheit das  $c\mu$ , von dem mithin tausend Millionen auf

1 *cm* gehen. Das Gewicht eines  $c\mu$  Wasser bei  $4^{\circ}\text{C}$ . ist  $\frac{1}{1000000000}$  *mg*. Diese Gewichtseinheit bezeichne ich mit  $\delta$ . Die Zeiteinheit ist die Sekunde. Als Arbeitseinheit gilt daher  $\delta\mu\text{s}$ , d. h. die Arbeit, welche erforderlich ist, um  $\frac{1}{1000000000}$  *mg* in 1 Sekunde um 1  $\mu$  zu heben.

### I. *Pinnularia viridis*.

Länge 153,21  $\mu$ ; Breite: Valva 26,9  $\mu$ ; Pleura 25,22  $\mu$ . Valvarfläche nach 9 pCt. Correction 3750,43 *q* $\mu$ ; Pleurafläche 3863 *q* $\mu$ . Volumen  $V = 94\ 586$  *c* $\mu$ . Spec. Gewicht  $\varepsilon = 1,80$ . Gewicht  $G = 170\ 255$   $\delta$ . Oberfläche  $F = 15\ 229$  *q* $\mu$ . Reibungscoefficient der Zellwand  $\varphi = 0,015$ . Geschwindigkeit des Zellkörpers in 1 Sekunde  $v = 7$   $\mu$ .

Arbeit des Zellkörpers gegen die Reibung  $R \cdot v = 56\ 285$   $\delta\mu\text{s}$ .

Plasmaband: Länge auf jeder Seite 75  $\mu$ ; Breite 4,7  $\mu^2$ ). Oberfläche des Plasmabandes  $F_1 = 705$  *q* $\mu$ . Reibungscoefficient des Plasmas  $\varphi_1, 2 \dots$ . Geschwindigkeit des Plasmabandes in der Sekunde  $v_1, 2 \dots$ .

Wenn  $\varphi_1 = 0,015$ , so ist  $v_1 = 20,733$   $\mu$ , und ein Fremdkörper braucht 7,390 Sek. (für die Länge der Zelle berechnet).

Wenn  $\varphi_2 = 0,030$ , so ist  $v_2 = 16,228$ , und ein Fremdkörper braucht 9,441 Sek.

Wenn  $\varphi_3 = 0,060$ , so ist  $v_3 = 12,703$   $\mu$ , und ein Fremdkörper braucht 12,061 Sek.

Wenn  $\varphi_4 = 0,120$ , so ist  $v_4 = 9,943$   $\mu$ , und ein Fremdkörper braucht 15,407 Sek.

Wenn  $\varphi_5 = 0,240$ , so ist  $v_5 = 7,783$   $\mu$ , und ein Fremdkörper braucht 19,683 Sek.

Arbeit des Plasmabandes gegen die Reibung

$$R_1 \cdot v_{1, 2, 3 \dots} = 56\ 285 \delta\mu\text{s}.$$

### II. *Stauroneis Phoenicenteron*.

Länge 179,37  $\mu$ ; Breite: Valva 36,43  $\mu$ ; Pleura 20,55  $\mu$ . Valvarfläche nach 35 pCt. Correction 4247,39 *q* $\mu$ ; Pleurafläche nach 12 pCt. Correction 3244,15 *q* $\mu$ . Volumen  $V = 76\ 810$  *c* $\mu$ . Spec. Gewicht  $\varepsilon = 1,80$ . Gewicht  $G = 138\ 260$   $\delta$ . Oberfläche  $F = 14\ 973$  *q* $\mu$ . Reibungscoefficient der Zellwand  $\varphi = 0,015$ . Geschwindigkeit des Zellkörpers in der Sekunde  $v = 8$   $\mu$ .

Arbeit des Zellkörpers gegen die Reibung

$$R \cdot v = 80\ 750 \delta\mu\text{s}.$$

1) Ortsbewegung III, S. 62, ist 3  $\mu$  angegeben; diese Ziffer ist in 4,7  $\mu$  abzuändern.

Plasmaband: Länge auf jeder Seite  $87 \mu$ ; Breite  $3,74 \mu$ ; Oberfläche des Plasmabandes  $F_1 = 650,76 q\mu$ . Reibungscoefficient des Plasmas  $\varphi_{1,2} \dots$ . Geschwindigkeit des Plasmabandes in der Sekunde  $v_{1,2} \dots$ .

Wenn  $\varphi_1 = 0,015$ , so ist  $v_1 = 24,229 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 7,403 Sek. (für die Länge der Zelle berechnet).

Wenn  $\varphi_2 = 0,030$ , so ist  $v_2 = 18,965 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 9,460 Sek.

Wenn  $\varphi_3 = 0,060$ , so ist  $v_3 = 14,845 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 12,085 Sek.

Wenn  $\varphi_4 = 0,120$ , so ist  $v_4 = 11,620 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 15,440 Sek.

Wenn  $\varphi_5 = 0,240$ , so ist  $v_5 = 9,096 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 19,72 Sek.

Arbeit des Plasmabandes gegen die Reibung

$$R_1 \cdot v_{1,2,3} \dots = 80\,750 \delta\mu s.$$

### III. Nitzschia sigmoidea.

Länge  $355 \mu$ ; Breite: Valva  $11,21 \mu$ ; Pleura  $14,76 \mu$ . Valvarfläche  $3979 q\mu$ ; Pleurafläche  $5239,8 q\mu$ . Volumen  $V = 58\,738 c\mu$ . Specificisches Gewicht  $\varepsilon = 1,80$ . Gewicht  $G = 105\,728 \delta$ . Oberfläche  $F = 18\,439 q\mu$ . Reibungscoefficient der Zellwand  $\varphi = 0,015$ . Geschwindigkeit des Zellkörpers in der Sekunde  $v = 17 \mu$ .

Arbeit des Zellkörpers gegen die Reibung  $R \cdot v = 839\,413 \delta\mu s$ .

Plasmaband: Länge auf jeder Seite  $355 \mu$ ; Breite  $1,25 \mu$ . Oberfläche des Plasmabandes  $F_1 = 887,5 q\mu$ . Reibungscoefficient des Plasmas  $\varphi_{1,2} \dots$ . Geschwindigkeit des Plasmabandes in der Sekunde  $v_{1,2} \dots$ .

Wenn  $\varphi_1 = 0,015$ , so ist  $v_1 = 49,624 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 7,154 Sek. (für die Länge der Zelle, von Pol zu Pol).

Wenn  $\varphi_2 = 0,030$ , so ist  $v_2 = 38,844 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 9,14 Sek.

Wenn  $\varphi_3 = 0,060$ , so ist  $v_3 = 30,405 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 11,68 Sek.

Wenn  $\varphi_4 = 0,120$ , so ist  $v_4 = 23,80 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 14,92 Sek.

Wenn  $\varphi_5 = 0,240$ , so ist  $v_5 = 18,63 \mu$ , und ein Fremdkörper braucht 19,06 Sek.

Arbeit des Plasmabandes gegen die Reibung

$$R_1 \cdot v_{1,2,3} \dots = 839\,413 \delta\mu s.$$

## IV.

1. *Pinnularia viridis*.

$\varphi$	$\varphi = 1$	$v$	$v_1 = 1$	Frdk. braucht
$\varphi = 0,015$	1,00	$v = 7,00 \mu$	1,00	21,83 S.
$\varphi_1 = 0,015$	1,00	$v_1 = 20,73 \mu$	2,96	7,39 S.
$\varphi_2 = 0,030$	2,00	$v_2 = 16,23 \mu$	2,32	9,44 S.
$\varphi_3 = 0,060$	4,00	$v_3 = 12,70 \mu$	1,82	12,06 S.
$\varphi_4 = 0,120$	8,00	$v_4 = 9,94 \mu$	1,42	15,41 S.
$\varphi_5 = 0,240$	16,00	$v_5 = 7,78 \mu$	1,11	19,68 S.

2. *Stauroneis Phoenicenteron*.

$\varphi$	$\varphi = 1$	$v$	$v_1 = 1$	Frdk. braucht
$\varphi = 0,015$	1,00	$v = 8,00 \mu$	1,00	22,42 S.
$\varphi_1 = 0,015$	1,00	$v_1 = 24,23 \mu$	3,03	7,40 S.
$\varphi_2 = 0,030$	2,00	$v_2 = 18,97 \mu$	2,37	9,46 S.
$\varphi_3 = 0,060$	4,00	$v_3 = 14,85 \mu$	1,86	12,09 S.
$\varphi_4 = 0,120$	8,00	$v_4 = 11,62 \mu$	1,45	15,44 S.
$\varphi_5 = 0,240$	16,00	$v_5 = 9,10 \mu$	1,14	19,72 S.

3. *Nitzschia sigmoidea*.

$\varphi$	$\varphi = 1$	$v$	$v_1 = 1$	Frdk. braucht
$\varphi = 0,015$	1,00	$v = 17,00 \mu$	1,00	20,88 S.
$\varphi_1 = 0,015$	1,00	$v_1 = 49,62 \mu$	2,91	7,15 S.
$\varphi_2 = 0,030$	2,00	$v_2 = 38,84 \mu$	2,29	9,14 S.
$\varphi_3 = 0,060$	4,00	$v_3 = 30,41 \mu$	1,79	11,68 S.
$\varphi_4 = 0,120$	8,00	$v_4 = 23,80 \mu$	1,40	14,92 S.
$\varphi_5 = 0,240$	16,00	$v_5 = 18,63 \mu$	1,10	19,06 S.

Aus den vorstehenden Messungen und Berechnungen geht zunächst hervor, dass selbst dann, wenn der Reibungscoefficient des Plasmas  $\varphi_1$  gleich dem der Zellwand wäre, die Zelle sich mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegen muss, sobald das Plasmaband eine Geschwindigkeit erreicht, welche das Dreifache der zu erzielenden Geschwindigkeit des Zellkörpers beträgt. Die grösste Geschwindigkeit besitzt der Zellkörper von *N. sigmoidea* mit  $17 \mu$  in der Sekunde; unter obiger Voraussetzung wäre also das überhaupt in Frage kommende Maximum der Geschwindigkeit des Plasmabandes  $50 \mu$  in der Sekunde und ein Fremdkörper würde noch 7 Sekunden gebrauchen, um von einem Pol zum anderen zu gelangen. Die untere Grenze würde erreicht, wenn  $\varphi_1$  16mal grösser wäre, als  $\varphi$ ; in diesem Falle genügt schon eine Bandgeschwindigkeit, welche der Geschwindigkeit der Zelle nahezu gleich ist.

An der ruhenden Zelle von *Nitzschia sigmoidea* habe ich Fremdkörper beobachtet, welche sich mit der Geschwindigkeit von  $20 \mu$  in der Sekunde bewegten; eine solche Geschwindigkeit des Plasmabandes reichte also noch nicht aus, um die Zelle in Bewegung zu setzen. Nach meiner Schätzung geschieht dies bei *Nitzschia sigmoidea*, wenn die Geschwindigkeit des Plasmabandes etwa  $25 \mu$  erreicht; ein Fremdkörper gebraucht dann von Pol zu Pol 16 Sekunden. Bei *P. viridis* würde die erforderliche Bandgeschwindigkeit unter gleichen Verhältnissen  $11 \mu$ , bei *Stauroneis*  $12 \mu$  betragen.

Diese Ziffern ergeben Geschwindigkeiten des Plasmabandes, welche überraschend gering sind und die selbst im ungünstigsten Falle die Grenzen der Wahrscheinlichkeit nirgend überschreiten. Tritt, wie bei den Pinnularien, die Wirkung der Schraube hinzu, so liegen die Verhältnisse noch günstiger. Die Schraubenwirkung konnte nicht in Rechnung gezogen werden, weil dazu die genaue Kenntniss der Ganghöhen vieler Querschnitte erforderlich ist. — Vorausgesetzt ist überall, dass der Zellkörper von einer Wasserhaut umgeben ist; würde er mit einer Fläche unmittelbar auf dem Substrat gleiten, dann wäre ein entsprechend grösserer Reibungswiderstand zu überwinden und der Reibungscoefficient  $\varphi_1$  oder die Bandgeschwindigkeit  $v_1$  würden entsprechend grössere sein müssen.

Man könnte nun einwenden, dass die Annahme, der Reibungscoefficient der Zellwand sei gleich dem von Wasser und Glas, willkürlich ist und deshalb schwebe eine darauf gegründete Rechnung in der Luft. Der Einwand an sich wäre durchaus begründet, denn die molekulare Constitution einer Cellulosewand, in welche Kieselsäure eingelagert ist, ist jedenfalls eine andere, als die einer Glaswand, und meine Annahme gründet sich nur auf die vermuthbare Aehnlichkeit. Dennoch wäre die aus dem Einwand gezogene Folgerung unbegründet. Nicht der absolute Werth der Reibungscoefficienten ist maassgebend für die Geschwindigkeit des Plasmabandes, sondern lediglich das Verhältniss der beiden Reibungscoefficienten  $\varphi : \varphi_1$ . Mit dem absoluten Werth der Reibungscoefficienten bei gleichem Verhältniss ändert sich nur die Grösse der Arbeit, während die Geschwindigkeit des Plasmabandes genau dieselbe bleibt; aber nicht auf die Kenntniss der Arbeit kommt es zunächst an, sondern auf diejenige der Geschwindigkeit.

Die Grössen  $\varphi_{1,2,3\dots}$  und  $v_{1,2,3\dots}$  stehen zu einander in umgekehrter geometrischer Progression; wenn  $\varphi_1$  in einer geometrischen Reihe mit dem Anfangsgliede 1 und dem Quotienten 2 zunimmt (s. Tabelle IV), dann nimmt  $v_1$  in einer geometrischen Reihe mit dem Anfangsgliede  $a$  und dem Quotienten  $1,2775$  ab. Die zwischen zwei Gliedern  $p$  und  $q$  liegenden  $m$  Glieder dieser Reihe, welche man nach der bekannten Interpolationsreihe interpoliren kann, folgen in abgestufter Proportion demselben Gesetze.

Aus Tabelle IV sind endlich noch zwei sehr interessante Beziehungen ersichtlich. Die relative Geschwindigkeit der Plasmabänder, bezogen auf die Geschwindigkeiten der Zellkörper, stimmen bei allen drei Arten fast genau überein. Das heisst mit anderen Worten, es besteht bei allen drei Arten zwischen den Oberflächen des Zellkörpers  $F$  und den Oberflächen des Plasmabandes  $F_1$  annähernd dasselbe constante Verhältniss. Bei *Pinnularia viridis* verhält sich die Oberfläche  $F = 15\,229$  zu  $F_1 = 705$ , wie  $21,6 : 1$  (Tabelle I). Bei *Stauroneis*  $F = 14\,973$  zu  $F_1 = 651$ , wie  $23 : 1$  (Tabelle II). Bei *Nitzschia*  $F = 18\,439$  zu  $F_1 = 888$ , wie  $20,8 : 1$  (Tabelle III). Im Mittel also ist das Verhältniss von  $F : F_1 = 22 : 1$ .

Genau dasselbe Verhältniss aber zeigen die gemessenen absoluten Geschwindigkeiten des Zellkörpers, bezogen auf dessen Länge. Bei *Pinnularia* verhält sich die Länge 153 zur Geschwindigkeit 7, wie  $21,8 : 1$  (Tabelle I). Bei *Stauroneis* Länge 179 zur Geschwindigkeit 8, wie  $22,4 : 1$  (Tabelle II). Bei *Nitzschia* Länge 355 zur Geschwindigkeit 17, wie  $20,9 : 1$  (Tabelle III).

Es besteht also das Verhältniss  $F : F_1 = l : v$ .

Diese Beziehungen gewinnen noch dadurch an Bedeutung, weil bei *Pinnularia* und *Stauroneis* nur die beiden vorderen Hälften der Rhaphe, vom Pol zum Centralknoten, welche unter normalen Verhältnissen allein thätig sind, bei *Nitzschia* jedoch, der ein Centralknoten fehlt, beide Rhaphen von Pol zu Pol, in Rechnung gestellt sind. Die Maschine ist also in der That so angepasst, dass beim Vorhandensein eines Centralknotens die beiden vorderen Hälften der Rhaphe allein die Arbeit verrichten können, beim Mangel eines solchen dagegen die beiderseitigen Rhaphen in der ganzen Länge beansprucht werden.

So auffallend diese Beziehungen bei den genannten Arten nun auch hervortreten, so können sie doch nicht allgemein gelten, denn ich habe kleine Naviculeen beobachtet, die einen Weg gleich ihrer Länge in 11,5, 8 und 5 Sekunden zurücklegten. Näherer Untersuchung bleibt vorbehalten, welche Verhältnisse dort Platz greifen und wie weit jene Beziehungen bei anderen grösseren Bacillarien nachgewiesen werden können.

Ich habe an Pinnularien sowohl, wie an *Nitzschia* mannigfache Erscheinungen beobachtet, die darauf hinweisen, dass der Maschine über den normalen Bedarf hinaus noch ein erhebliches Plus an motorischer Kraft zur Verfügung steht, welches eine modificirte Ortsbewegung auch dann noch ermöglicht, wenn nicht die ganze reibende Bandfläche ausgenutzt wird oder sogar entgegengesetzt gerichtete Reibung die Arbeit vermehrt. Insbesondere an *Nitzschia sigmoides* ist häufig zu beobachten, dass auf dem hinteren Theil einer Rhaphe Fremdkörper nach vorn, also in der Bewegungsrichtung gleiten, während auf dem vorderen Theil zugleich Fremdkörper nach hinten verschoben

werden. In meiner Arbeit „Durchbrechungen“ habe ich bereits derartige Beobachtungen mitgeteilt und Folgerungen, die Bewegungsmechanik und die Steuerung, daraus abzuleiten versucht.

Diese Erscheinungen bedürfen noch einer sorgfältigen Analyse; sie deuten aber darauf hin, dass in diesen Fällen eine grössere Bandgeschwindigkeit eintritt, als zur Ueberwindung der normalen Reibung erforderlich wäre oder dass der Reibungscoefficient des Plasmabandes noch etwas grösser ist, als eine Bandgeschwindigkeit von  $1,5 v$  bedingen würde.

Bei einem Körper, der sich in einem unbegrenzten flüssigen Medium fortbewegt, kommt neben dem Widerstande der Reibung auch der hydraulische Druck in Betracht, der aus der Trägheit des Wassers und der Kraft entspringt, mit welcher der Körper die zusammenhängenden Theile des Wassers trennt<sup>1)</sup>. Im ruhenden Wasser schiebt der Körper eine gewisse Wassermasse vor sich her, die einerseits zunimmt, andererseits nahe am Körper stetig abfließt. Der Druck des ruhenden Wassers gegen einen in demselben bewegten Körper ist in der Mitte der Vorderfläche desselben am grössten, in der Mitte der Hinterfläche und nächst dem am Anfange der Seitenflächen am kleinsten, weil dort mehr ein Zu-, hier mehr ein Entströmen des Wassers in Hinsicht auf den Körper statt hat. Ist der Körper aber mit Bezug auf die Bewegungsrichtung symmetrisch, so heben sich sämtliche Pressungen rechtwinklig gegen diese Richtungen auf, und es kommt nur der Druck in der Bewegungsrichtung in Betracht<sup>2)</sup>.

Wenn  $F$  den Inhalt der Vorderfläche eines Körpers, welcher in einer unbegrenzten Wassermasse vom specifischen Gewicht  $\gamma$  mit der Geschwindigkeit  $v$  fortgleitet,  $g$  die Schwerkraft bezeichnet, so ist der hydraulische Druck oder der Widerstand des Wassers gegen den Körper

$$P = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot F \cdot \gamma$$

wobei  $\xi$  eine von der Form der Flächen und der relativen Länge des Körpers  $\frac{l}{\sqrt{F}}$  abhängige Erfahrungszahl bedeutet.

Nach WEISBACH<sup>3)</sup> sind die Werthe von  $\xi$  bei Körpern, deren Achse mit der Bewegungsrichtung zusammenfällt, bei den relativen Längen

$$\begin{array}{cccc} \frac{l}{\sqrt{F}} = & 0. & 1. & 2 & 3. \\ \xi = & 1,25 & 1,28 & 1,31 & 1,33. \end{array}$$

1) WEISBACH, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. Ausg. 1875. Bd I., S. 1178.

2) l. c. p. 1180.

3) l. c. p. 1183.

Ich habe hiernach den Widerstand für *Pinnularia viridis* und *Nitzschia sigmoidea* berechnet, dabei aber die Zuschärfung der Pole ausser Betracht gelassen und  $\xi$  hoch angenommen. Die für den Widerstand  $P$  berechneten Werthe ergeben daher eher einen zu grossen, als einen zu geringen Widerstand.

#### **Pinnularia viridis.**

$F = 663 \text{ } q\mu$ ;  $v = 7 \text{ } \mu$  in der Sekunde;  $l = 153,21 \text{ } \mu$ ;  $\frac{l}{\sqrt{F}} = 5,95$ ;  
daher  $\xi$  zu 1,50 angenommen.

$$P = 2438 \delta.$$

#### **Nitzschia sigmoidea.**

$F = 165,5 \text{ } q\mu$ ;  $v = 17 \text{ } \mu$  in der Sekunde;  $l = 355 \text{ } \mu$ ;  $\frac{l}{\sqrt{F}} = 27,2$ ;  
daher  $\xi$  zu 1,70 angenommen.

$$P = 4143 \delta$$

Auf die Hinterfläche wirkt der hydraulische Druck ebenfalls, hier jedoch in entgegengesetzter Richtung als Zug oder Negativdruck. Diese Kraft  $p$  ist unter Umständen der Kraft  $P$  annähernd gleich und die beiden Kräfte heben sich gegenseitig auf; jedenfalls verbleibt als Widerstand nur die Differenz der beiden Kräfte  $P - p$  und die gegen die Trägheit thatsächlich zu leistende Arbeit ( $P - p$ ).  $v$  vermehrt die Gesamtarbeit des Zellkörpers und damit die Geschwindigkeit der Plasma-bänder, wenn überhaupt, dann nur ganz unwesentlich. Man kann daher die Arbeit gegen die Trägheit ohne wesentlichen Fehler unberücksichtigt lassen.

Dem Auftrieb  $A$  eines unter Wasser getauchten Körpers wirkt das Gewicht  $G$  desselben entgegen<sup>1)</sup>, und es ergibt sich eine Mittelkraft  $M = G - A = (\varepsilon - 1) V\gamma$ , womit der Körper sinkt, wenn  $\varepsilon$  das spezifische Gewicht des Körpers und dieses grösser als  $\gamma$ , das spezifische Gewicht des Wassers,  $V$  das Volumen des Körpers ist.

Der Einfluss der Schwerkraft berechnet sich für die drei Arten wie folgt:

#### **Pinnularia viridis.**

$$V = 94 \text{ } 586 \text{ } c\mu; \varepsilon = 1,80.$$

$$M = 75 \text{ } 669 \delta \text{ } [R. v = 56 \text{ } 285 \delta \mu s].$$

#### **Stauroneis Phoenicenteron.**

$$V = 76 \text{ } 810 \text{ } c\mu; \varepsilon = 1,80.$$

$$M = 61 \text{ } 448 \delta \text{ } [R. v = 80 \text{ } 750 \delta \mu s].$$

1) WEISBACH, l. c. p. 884.

**Nitzschia sigmaidea.**

$$V = 46\,991 \text{ } \mu; \varepsilon = 1,80.$$

$$M = 46\,991 \delta [R \cdot v = 839\,413 \delta \mu s].$$

Die Kraft  $M$ , mit der die Körper sinken, ist daher eine sehr beträchtliche. Die Arbeit, welche gegen die Schwerkraft aufgewendet werden müsste, wenn die Körper aufwärts steigen sollen, ist  $M \cdot v$ , worin  $v$  die Strecke in  $\mu$  bezeichnet, welche sie in einer Sekunde sinken. Die Bestimmung der Grösse  $v$  ist schwierig, wegen der anfänglichen Beschleunigung, aber sie ist auch nicht erforderlich, da aus den neben der Kraft  $M$  in Klammern stehenden Werthen der Arbeit gegen die Reibung  $R \cdot v$  zur Genüge hervorgeht, dass die Arbeit gegen die Schwerkraft  $M \cdot v$  die Arbeit  $R \cdot v$  bei *Pinnularia* und *Stauroneis* um ein Vielfaches übertrifft. Da die motorischen Kräfte normal in der Richtung der Rhaphe wirken, die Kräfte daher ganz in die Berührungsfläche zwischen Zellkörper und Substrat oder nahe darüber fallen, so fehlt die darauf senkrecht gerichtete Kraft, die den Körper vom Substrat abhebt und schon aus diesem Grunde müssen die Körper auf dem Substrat gleiten, wenn auch das gegen die Schwerkraft erforderliche Plus an motorischer Kraft vorhanden wäre. Wenn dagegen die Resultante der Kräfte dem Substrat nicht mehr parallel ist, indem auf den entgegengesetzten Seiten ungleich grosse Kräfte wirken, so erhebt sich der Zellkörper auf einem der Pole und ein völliges Abheben vom Substrat, ein freies Schwimmen, könnte eintreten, wenn die verfügbaren motorischen Kräfte ausreichen, um den Widerstand der Reibung und gleichzeitig den grösseren Widerstand der Schwerkraft zu überwinden. Die Ergebnisse der Rechnung machen es wenig wahrscheinlich, dass dieser Fall eintritt, vielmehr wird das vorhandene Plus höchstens hinreichen, um die Zellkörper eine Strecke auf der Kugelfläche des hängenden Tropfens oder in der Natur, auf einer schiefen Ebene zu verschieben.

Zum Schlusse fasse ich die Ergebnisse meiner Untersuchungen zusammen:

1. Die Rhaphe vermittelt die Leitung lebender Plasmaströme auf die äusseren Schalenflächen.
2. Anderweitige Plasmaorgane ausserhalb der Zellwand sind nicht nachweisbar.
3. Die Rhaphe der Naviculeen, insbesondere der Pinnularien, ist eine Propeller-Einrichtung, die den Plasmastrom tordirt und in Schraubenlinien zu fliessen zwingt.
4. Die diagonale Symmetrie der Pinnularien ist eine mechanische Anpassung.

5. An der Rhapsie ausschliesslich kommen die motorischen Kräfte zur Wirkung; sie verrichten dort stets und vorzugsweise Arbeit gegen die Reibung, mitunter auch gegen die Schwerkraft.

6. Die Plasmaströme haben die Ortsbewegung des Zellkörpers zur Folge, wenn sie eine Geschwindigkeit überschreiten, welche mindestens das 1,5 fache der dem Zellkörper mitzutheilenden Geschwindigkeit beträgt.

7. Die Oberfläche des Zellkörpers und die Reibungsflächen der Plasmabänder verhalten sich zu einander, wie die Länge zur Geschwindigkeit.

8. Zur Fortbewegung genügt ein flüssiges Medium; der Zellkörper bedarf keines festen Substrats und keiner sogenannten Bewegungslage.

9. Auf ein festes Substrat ist der Zellkörper nur in so weit angewiesen, als eine senkrecht zur Apicalachse gerichtete Kraft mangelt und die motorische Kraft nicht ausreicht, um den Widerstand der Schwerkraft neben dem der Reibung zu überwinden.

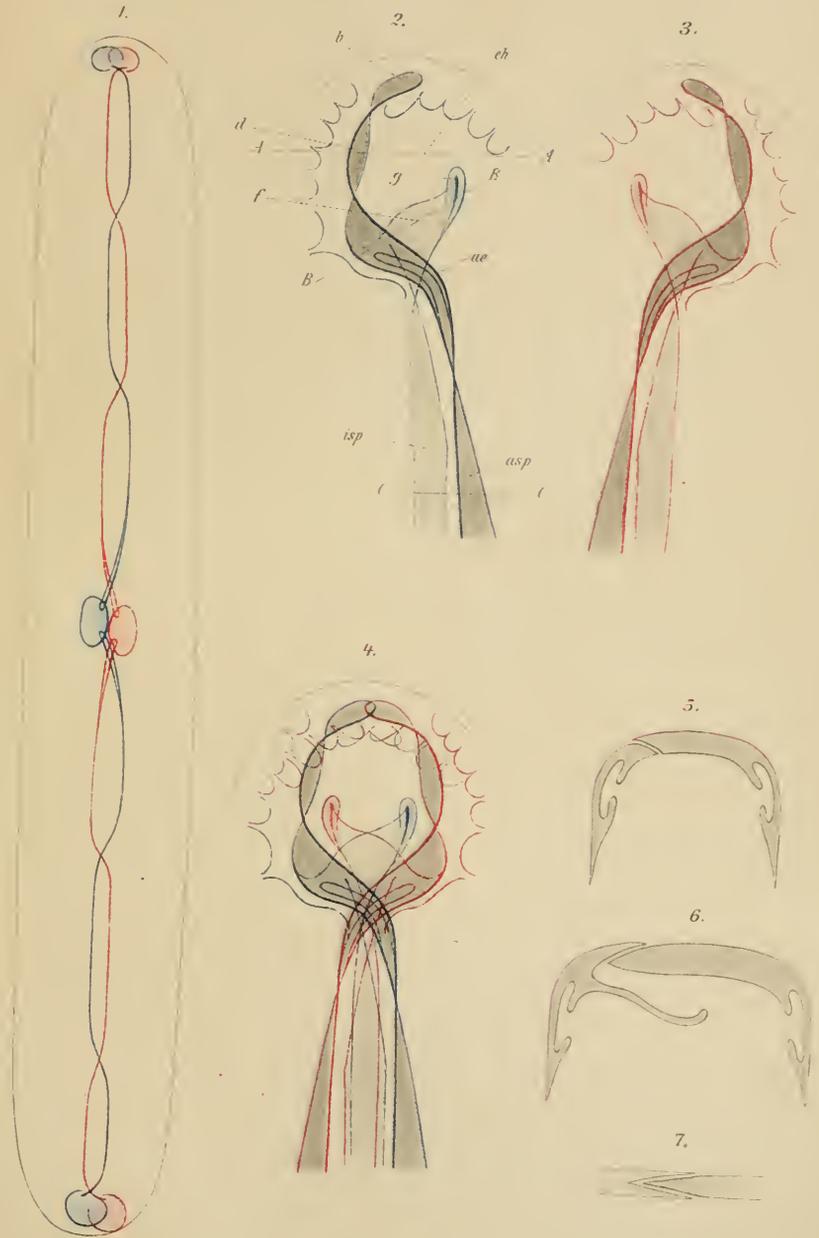
10. Der in Tusche - Emulsion erscheinende Körnchen - Faden ist weder ein Gallert-, noch ein Plasma-Faden, sondern ein Körnchenstreifen.

11. Die Gallertbildungen stehen in keiner Beziehung zur Ortsbewegung.

---

#### Erklärung der Abbildungen.

- Fig. 1. *Pinnularia*. Schalenlage. Schema des Verlaufes der Rhapsie auf der oberen (blau) und der unteren (roth) Schale, in sich ergänzenden Schraubwindungen.
- „ 2. Endknoten der oberen Schale. Polspalte *d*; deren Anfang *b*; äusserer Endknotenkanal *ae*; Rhaphenspalte, äussere *asp*, innere *isp*. Letztere musste der Anschauung halber neben der äusseren Rhaphenspalte gezeichnet werden, sie liegt aber zum grösseren Theile unter derselben, wie Fig. 7 nachweist; Trichterkörper *f*; Tülle desselben *g*; Endknotenhöhle *eh*.
- „ 3. Enknoten der unteren Schale in seiner natürlichen Lage zum Endknoten der oberen Schale.
- „ 4. Projection beider Endknoten, blau der obere, roth der untere.
- „ 5. Schnitt durch die Region *A*.
- „ 6. Schnitt durch die Region *B*.
- „ 7. Schnitt durch die Region *C*.
-



## Uebersicht der Hefte.

- Heft 1 (S. 1—64) ausgegeben am 26. Februar 1896.  
Heft 2 (S. 65—100) ausgegeben am 25. März 1896.  
Heft 3 (S. 101—150) ausgegeben am 23. April 1896.  
Heft 4 (S. 151—168) ausgegeben am 27. Mai 1896.  
Heft 5 (S. 169—200) ausgegeben am 24. Juni 1896.  
Heft 6 (S. 201—222) ausgegeben am 28. Juli 1896.  
Heft 7 (S. 223—252) ausgegeben am 19. August 1896.  
Heft 8 (S. 253—300) ausgegeben am 25. November 1896.  
Heft 9 (S. 301—392) ausgegeben am 29. December 1896.  
Heft 10 (S. 393—432) ausgegeben am 27. Januar 1897.  
Generalversammlungs-Heft [S. (1)—(76)] ausgegeben am 21. December 1896.  
Schlussheft (Liste der Pflanzennamen, Mitgliederliste und Register) [S. (77)—(116)] ausgegeben am 10. März 1897.

## Berichtigungen.

Seite 50, Zeile 1 von oben ist auf Seite 90 als Zeile 1 von unten zu lesen.

- ~~„ 62, Zeile 9 des Textes von oben lies „Fruchtstand“ statt „Fruchtzustand“.~~  
„ 122, Zeile 3 von oben lies „ $v = l$ “ statt „ $v_1 = 1$ “.  
„ 123, Zeile 7 von oben lies „14 Sekunden“ statt „16 Sekunden“.  
„ 127, Zeile 2 von oben lies „58 738  $c\mu$ “ statt „46 991  $c\mu$ “.  
„ 172, Zeile 1 von oben lies „Saftmale“ statt „Saftwege“.  
„ 176, Zeile 6 von oben lies „chemisch“ statt „mikrochemisch“.  
„ 178, Zeile 9 von unten lies „XIII“ statt „VIII“.  
„ 236, Zeile 4 von oben lies „Farnen“ statt „Formen“.  
„ 237, Zeile 2 von unten lies „Brutknospen“ statt „Brutkörpern“.  
„ 238, Zeile 12 von oben lies „0,657“ statt „0,357“.  
„ 233, Zeile 9 von unten lies „JACOBASCH“ statt „ZAROVACH“.  
„ (52), Zeile 1 von oben lies „Bastzellen“ statt „Luftzellen“.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1896

Band/Volume: [14](#)

Autor(en)/Author(s): Müller Otto Georg Ferdinand

Artikel/Article: [Die Ortsbewegung der Bacillariaceen. 111-128](#)