

richtung bei fortschreitender Quellung erst länger und dann kürzer werden können. Dass eine in der Längsrichtung künstlich comprimirt trockene Membran optisch-positiv wird und dann durch Quellung in Wasser sich weiter ausdehnt und wieder negativ wird, kann nach allem Gesagten gegen meine Ansicht nichts beweisen¹⁾. Ich habe freie Membranstücke im Auge. Membranen, die Zug- oder Druckwirkungen ausgesetzt sind, müssen, so lange diese dauern, optisch anders reagieren.

Eine etwas ausführlichere Mittheilung über diesen Gegenstand bin ich im Begriffe auszuarbeiten.

10. F. Schwarz: Der Einfluss der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamidomonas und Euglena.

Eingegangen am 20. Februar 1884.

Der Einfluss des Lichtes auf die Bewegungsrichtung von schwärmenden Algen und verschiedenen niedrigen Organismen ist so eclatant, dass man die Wirkung anderer Factoren weniger in Betracht ziehen zu müssen glaubte. Die diesbezüglichen Arbeiten verfolgten mehr den Zweck die gegen diese Lichtwirkung geltend gemachten Bedenken zu beseitigen, als den Einfluss anderer äusserer Kräfte auf die Bewegungsrichtung zu untersuchen. Und doch scheint mir die Frage nicht überflüssig zu sein, ob nicht noch andere analog richtende Kräfte vorhanden seien, die hauptsächlich dann den Schwärmern zu Gute kämen, sobald die Lichtwirkung ausgeschlossen ist, da ja nach den Untersuchungen Strasburger's²⁾ u. A. die Schwärmer im Dunkeln noch geraume Zeit bewegungsfähig bleiben.

Was mich zu den folgenden Untersuchungen veranlasste, war die Beobachtung, dass von Sand verschüttete und bedeckte *Euglenen* und *Chlamidomonaden* immer wieder an die Oberfläche des Sandes kamen und sich dort ansammelten. Das Licht konnte hier nicht wirksam sein, da (wie ich mich durch Versuche überzeugte) eine 3–4 mm dicke,

1) s. Zimmermann, Ber. d. d. bot. Gesellsch. I. p. 533 ff.

2) E. Strasburger, Wirkung des Lichts und der Wärme auf Schwärmsporen. 1878, p. 52–55.

feuchte Sandschicht kein Licht mehr durchlässt. Es fand also ein Aufsteigen der Algen¹⁾ statt unabhängig vom Lichte.

Ein ähnliches Aufsteigen im Wasser gibt Nägeli²⁾ für *Tetraspora lubrica* an, welche Alge sich auch im Dunkeln an der Wasseroberfläche ansammelte, obgleich sie specifisch schwerer als Wasser war. Auch Strasburger erwähnt (l. c. p. 53), dass die Schwärmer von *Haematococcus lacustris* sich im Dunkeln an dem oberen Flüssigkeitsrande ansammeln. Ich zweifle nicht, dass man bei weiterem Suchen in der Literatur über niedrige Algen noch weitere derartige Beispiele der Aufwärtsbewegung von Schwärmern finden würde, da jedoch in keinem Falle die Ursachen dieses Aufsteigens experimentel geprüft wurden, sind diese Angaben für uns nicht massgebend, zumal da ich gezwungen war meine Untersuchungen auf *Euglena viridis* und *Chlamidomonas pulvisculus* zu beschränken.

Die hier in Rede stehende Thatsache, dass diese Algen in's Dunkle gebracht sich in verticaler Richtung nach aufwärts bewegen, also sich vom Erdmittelpuncte wegwerden, kann man auf verschiedene Art zur Anschauung bringen. Man mengt Sand mit stark *Euglena* resp. *Chlamidomonas* haltigem Wasser und constatirt dann die Ansammlung an der Oberseite, durch das Grünwerden dieser Parthien oder man beobachtet diese Algen direct im Wasser. Im feuchten Sand bewegen sich die Algen in den mit Wasser erfüllten Zwischenräumen, werden jedoch nicht durch jede leise Erschütterung aus ihrer Lage gebracht, weshalb diese Methode für viele Versuche, namentlich die Rotationsversuche entschieden vorzuziehen ist. Selbstverständlich darf man keinen zu stark mit Lehm vermengten Sand anwenden, da die Zwischenräume zwischen den einzelnen Lehmartikelchen zu eng sind und die freie Beweglichkeit der Algen gehemmt wird. Das Verhalten im Wasser ist als Controlle für die erhaltenen Resultate nothwendig. Man hat ferner darauf zu sehen, dass nur frische und in lebhafter Bewegung befindliche Schwärmer zu den Versuchen verwendet werden, da in späteren Lebensstadien, respective bei Abnahme der Bewegungsenergie die hier zu beschreibenden Erscheinungen nur mangelhaft oder gar nicht eintreten. Selbstredend muss bei allen Versuchen das Licht vollständig abgeschlossen sein, was ich durch Umhüllen der betreffenden Gefässe mit mehreren Lagen schwarzen Papiers, oder indem ich in der Dunkelkammer operirte, erreicht habe. Da alle Versuche im Dunkeln stattfanden, ist dieser Umstand bei den einzelnen Versuchen nicht mehr registrirt.

1) Der Einfachheit halber bezeichne ich *Euglena* und *Chlamidomonas* als Algen, ohne die nahe Verwandtschaft der Euglenen mit den Infusorien zu verkennen.

2) C. Nägeli, Beiträge zur wissenschaftl. Botanik. Heft II. 1860. p 103.

Versuch 1. *Euglena viridis* und *Chlamidomonas*.¹⁾ Aufsteigen der Algen in mit feuchtem Sand gefüllten Glaszylindern.

Hohe schmale Glaszylinder verschiedener Grösse oder Reagenzgläser wurden mit feuchtem algenhaltigen Sande gefüllt. Das beim Setzen des Sandes nach oben steigende, vermöge des Algengehaltes grün gefärbte Wasser wurde abgossen und eine $1\frac{1}{2}$ —3 cm hohe Schicht feuchten Sandes aufgeschüttet, der keine Algen enthielt. Bei einer Temperatur von 20—24° C. zeigte sich spätestens nach 12 Stunden die ganze obere Parthie des Sandes lebhaft grün gefärbt. Bei längerer Dauer des Versuchs trat die Erscheinung noch deutlicher zu Tage.

Hatte ich über dem Sande noch eine Schicht Wasser stehen lassen, so war dieselbe am Anfange des Versuches selbstverständlich farblos und erst nach längerem Stehen wurde dies Wasser durch die aufgestiegenen Algen grün gefärbt.

Bringt man algenhaltigen Sand in flache Schalen, so kann man auch hier die Ansammlung der Algen an der Oberfläche nach einiger Zeit constatiren.

Versuch 2. Aufsteigen der Algen in einer Sandschicht an der Wand von Glasgefässen.

Die Wände eines 12 cm hohen 10 cm breiten Glaszylinders wurden mit *Euglena*- resp. *Chlamidomonas*haltigem Sand bestrichen, das Gefäss dann mit feuchtem Filtrirpapier und einer Glasplatte bedeckt, um ein zu schnelles Verdunsten des Wassers und ein Austrocknen des Sandes zu verhüten. Bei günstiger Temperatur (23—24° C.) zeigte sich schon nach $\frac{1}{2}$ Stunde der obere Rand des Sandes an vielen Stellen grün gefärbt und nach $2\frac{1}{2}$ Stunden ist wohl keine Stelle des oberen Sandrandes ohne den grünen Saum, welcher von der Ansammlung der Algen herrührt. Ringsum isolirte Sandflecken lassen deutlich erkennen, dass ausschliesslich nur die oberen Ränder grün werden, während die Seitenränder und die untere Seite farblos bleiben. Wir haben es hier also effectiv mit einem Aufsteigen der Algen nach oben und nicht mit einer gleichmässigen Ausbreitung nach allen Seiten zu thun. Zu gleicher Zeit ist durch diesen Versuch die Anschauung beseitigt, als käme die Ansammlung von Algen im Versuch 1 nur dadurch zu Stande, dass dieselben sich nach verschiedenen Richtungen bewegend, an der Oberfläche des Sandes in ihrer Bewegung gehemmt wurden, nicht mehr weiter konnten und sich in Folge dessen dort in grösserer Menge ansammelten.

1) Die Versuche wurden mit jeder Species getrennt ausgeführt, da jedoch keine Differenzen vorhanden, habe ich hier und im Folgenden die Versuche unter ein und derselben Nummer angeführt.

Versuch 3. *Euglena* und *Chlamidomonas* im Wasser.

Zu einem Vorversuch genügt wohl, die durch *Euglena* oder *Chlamidomonas* grün gefärbte Flüssigkeit in einem Glase ins Dunkle zu stellen. Nach längerer Zeit bilden sich dann an der Wasseroberfläche dunkelgrüne Schichten, da die Algen jedoch spezifisch schwerer als Wasser sind, sinken sie bei jeder geringen Erschütterung und Bewegung des Wassers leicht zu Boden, desgleichen, wenn ihre Bewegungsfähigkeit nachlässt. Man sieht daher häufig Algen sowohl an der Oberfläche als am Boden.

Man verhindert dieses Abwärtssinken, indem man die Algen in engen Glasröhren aufsteigen lässt, die oben und unten geschlossen sein können. Anfangs ist die Flüssigkeit gleichmässig grün gefärbt, oder die meisten Algen sind am untern Ende der Glasröhre zu finden. Lässt man dann die Glasrohre vertical stehen, so schwimmen die Algen nach oben und sammeln sich am oberen Meniscus in grosser Zahl an. Derartig dicht beieinander liegende Algen haften aneinander und adhären wohl auch an der Wasseroberfläche, wodurch ihr Herabsinken auch im bewegungslosen Zustande verhindert wird.

Um hier bei diesem Versuch ein reines Resultat zu erhalten, ist man gezwungen möglichst frisches Material zu verwenden, das noch nicht zu lange in Culturgefässen gestanden hat, indem sowohl *Euglenen*, als *Chlamidomonas* hier leicht in Ruhezustände übergehen, welche kein Aufsteigen zeigen und so das wahre Resultat verdecken.

Man kann ein Herabsinken der Algen bei Erschütterungen auch dadurch vermeiden, dass man Glasscherben von Perlengrösse in ein Reagenzglas füllt und algenhaltiges Wasser in die Reagenzgläser giesst; auch hier findet eine Ansammlung der schwärmenden Algen am oberen Ende statt.

Versuch 4. *Euglenen* und *Chlamidomonas* auf dem Objectträger.

Die Methode die Bewegungen von Schwärmern auf dem Objectträger zu beobachten wurde schon von Strasburger beim Studium der Wirkung des Lichtes auf die Schwärmsporen verwendet. In meinen Versuchen kam ein Tropfen algenhaltiges Wasser auf den Objectträger rechts und links davon ein Korklamelle, auf welchen das Deckglas ruhte. Nachdem die Objectträger eine Zeit lang vertical gestanden — selbstverständlich im Dunkeln — findet man fast alle Schwärmer an dem oberen Rande des Deckglases.

Ich habe in diesen eben angeführten Versuchen absichtlich die nackten Thatsachen ohne weitere Kritik vorangestellt, um die bisher unbekannte Erscheinung zu constatiren. Es ist hieraus ersichtlich, dass in lebhafter Bewegung befindliche *Euglenen* und *Chlamido-*

monaden sich sowohl im Wasser als im feuchten Sande nach aufwärts fortbewegen.

Die zunächstliegende Frage war die, ist dieses Aufsteigen eine Lebenserscheinung oder werden die Algen nur passiv nach aufwärts getrieben? Meine diesbezüglichen Versuche ergaben mit Bestimmtheit, dass das Aufsteigen nur den lebenden in lebhafter Bewegung befindlichen *Euglenen* resp. *Chlamidomonaden* zukommt. Durch Erwärmen (Versuch 5) oder durch Chloroform (Versuch 6) getödtete Schwärmer blieben in ihrer ursprünglichen Vertheilung im Sande. Dasselbe zeigten (Versuch 7) *Lycopodiumsporen*, die ungefähr ebenso gross wie *Chlamidomonas* waren und beim Vorhandensein von Strömungen im Sande ebenso wie diese nach oben getrieben werden mussten. Ferner versagte die besprochene Erscheinung bei den lebenden, aber durch niedrige Temperaturgrade in ihren Functionen alterirten Algen (Versuch 8), was auch bei Ruhezuständen und den nur Metabolie zeigenden *Euglenen* zu beobachten war (Versuch 9).

Versuch 5. Vergleich von lebendem und getödtetem Material.

Ich erwärmte den Algenhaltigen Sand auf 70° C. und die Ansammlung unterblieb. Dasselbe geschah auch schon bei niedrigeren Wärmegraden, sobald nur die Tödtungstemperatur (43—45° C.) erreicht war.

Versuch 6. Das Verhalten chloroformirter Schwärmer.

Der Versuch 2 wurde in der Art modificirt, dass in das weite Glasgefäss, an dessen Wänden sich der algenhaltige Sand befand, ein kleines Schälchen mit Chloroform durchtränkter Watte hineingestellt wurde. Als Vergleichsobject diente ein gleicher Cylinder ohne Chloroform. Die Algen wurden durch die Chloroformdämpfe zuerst wohl nur starr gemacht, später jedoch getödtet. Es unterblieb an diesem getödteten Material die Ansammlung an den oberen Sandrändern vollständig, während das lebende Material die Erscheinung schon nach 1—2 Stunden zu Tage treten liess. Obgleich es nicht wahrscheinlich war, dass durch die Chloroformdämpfe das Chlorophyll der Algen ausgezogen wurde und hierdurch eine Ansammlung dem unbewaffneten Auge nicht mehr sichtbar war, so untersuchte ich doch die Algen im Sande und fand sie noch vollständig grün — wenn auch todt.

Versuch 7. Vergleich mit *Lycopodiumsporen*.

Wären Strömungen im Sande vorhanden gewesen, welche die Algen mit sich fortrissen, mussten Körper, welche ungefähr gleich gross waren wie *Chlamidomonas*, ebenfalls nach oben getrieben werden. Ich verwendete zu diesem Versuch mit Wasser benetzte *Lycopodiumsporen*, die in der Grösse wenig von *Chlamidomonas* differiren und ebenfalls

schwerer als Wasser sind. Die *Lycopodium*sporen wurden mit Sand gemengt, über diesen Sand, der durch die Sporen gelblich gefärbt erschien, kam eine $1\frac{1}{2}$ –2 cm hohe Schicht von reinem Sand. Ein Aufsteigen der Sporen fand nicht statt.

Versuch 8. Verhalten von *Chlamidomonas* bei niedriger Temperatur.

In den Versuchen 5 und 6 wurden die Algen getötet. Ebenso wie in diesem Falle unterbleibt das Aufsteigen bei Algen, die durch niedrige Temperatur in ihrer Bewegung gehemmt und für die einwirkenden Kräfte weniger empfindlich gemacht wurden.

Ich füllte 3 gleiche Glaszylinder mit algenhaltigem Sand. Davon befand sich

Cylinder a bei 22–23° C. in der Dunkelkammer des Instituts.

Cylinder b bei 15–16° C. im Keller.

Cylinder c bei 5–6° C. im Eiskeller.

Beginn des Versuchs am 8. Juli um 9 Uhr 30 Min. Vorm. Um 3 Uhr 15 Min. Mittags desselben Tages wurden die drei Gefäße wieder untersucht.

In Cylinder a hatte sich ein grosser Theil der *Chlamidomonaden* an der Oberfläche des Sandes angesammelt. Bei b war die Ansammlung schwächer, bei c war das über dem Sande stehende Wasser farblos geblieben.

Nach dem Beobachten wurden die Gefäße wieder in die betreffenden Temperaturen zurückgebracht, worin sie bis zum 9. Juli 10 Uhr Vorm. verblieben. Nach dieser Zeit ($24\frac{1}{2}$ Stunde) hatte sich das zuerst beobachtete Resultat nur insofern etwas geändert, als auch in dem bei 15–16° C. aufbewahrten Cylinder b ein gleiches Aufsteigen stattgefunden als in a. Die in der Kälte gestandenen *Chlamidomonaden* hatten sich auch nach diesem langen Zeitraume nicht nach aufwärts bewegt. Ich brachte nun diesen Cylinder c in eine Temperatur von 22–23° C. und nach Verlauf mehrerer Stunden zeigte sich die Grünfärbung des über dem Sande stehenden Wassers. Die Algen waren also noch lebendig gewesen, aber während der Kältewirkung nicht mehr empfänglich für jene Kräfte, welche das Aufsteigen vermitteln.

Derselbe Versuch, wie mit *Chlamidomonas* wurde mit den *Euglenen* wiederholt.

Versuch 9. Beobachtung von Ruhezuständen.

Lässt man *Euglenen* oder *Chlamidomonas* längere Zeit in geschlossenen Glaszylindern stehen, so gehen sie in bewegungslose Ruhezustände über, womit sie zu gleicher Zeit die Eigenschaft nach oben zu steigen verlieren. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man mit Sand gefüllte Reagenzgläser 2–3 Tage horizontal liegen lässt. Nach dieser Zeit unterbleibt bei einer Drehung des Glases um 180°

die Ansammlung der Algen an der Oberseite, die anfangs immer mit Sicherheit eintrat.

Analog verhalten sich die Algen in Wasser ohne Sand, und zwar unterbleibt das Aufsteigen nicht nur bei den vollständig bewegungslosen Algen, sondern schon in jenen Zuständen, wo die Bewegung nur verlangsamt, die Bewegungsenergie nur gehemmt ist. Speciell *Euglena* zeigt ausser den durch Geisselschwingungen hervorgerufenen Bewegungen, wobei der Körper ziemlich gleichmässig gestreckt cylindrisch bleibt, auch noch Gestaltsveränderungen, welche man als Metabolie bezeichnet¹⁾. Hierdurch kann eventuell ein Vorwärtskriechen bewirkt werden, die Fähigkeit des Aufsteigens haben die *Euglenen* in diesem Zustande jedoch verloren. —

Bevor ich nun auf den Nachweis eingehe, dass die Schwerkraft, als Reiz wirkend, das Aufsteigen hervorruft, sei es mir gestattet, einige hierbei möglicher Weise thätige Factoren zu beleuchten resp. auszuschliessen. Ich meine den Einfluss des spezifischen Gewichtes der Schwärmer, von Feuchtigkeits-Differenzen, Strömungen des Mediums, die Wirkung einseitigen Sauerstoffzutrittes, die sämmtlich auf die Bewegungsrichtung unserer Algen nicht direct von Einfluss sind.

Das spezifische Gewicht von *Euglena* und von *Chlamidomonas* ist grösser als das des Wassers, und zwar gilt dies nicht nur für die Ruhezustände, sondern auch für die in lebhafter Bewegung befindlichen Algen. Ich finde mich hierin vollständig in Uebereinstimmung mit den Angaben Naegeli's²⁾ und Strasburger's³⁾, die für andere Schwärmer ebenfalls das grössere spezifische Gewicht constatirt haben.

Nicht nur beim Tödten durch verschiedene Reagentien, gleichgültig ob hierbei eine Contraction oder eine Volumenvergrösserung des Körpers eintritt — sanken die Algen zu Boden, auch die durch Schütteln bewegungslos gemachten lebenden Schwärmer zeigten sich schwerer als Wasser.

Am meisten scheint mir die Thatsache zu beweisen, dass die *Euglenen* und *Clomidomonaden* im Wasser einer grösseren oder geringeren Centrifugalkraft ausgesetzt, anfangs (bevor sich die Eigenbewegung geltend machen konnte) immer an die Peripherie der Rotations-ebene getrieben wurden. Das Nähere über diesen Punkt findet man bei der Beschreibung der Rotationsversuche.

Es scheint mir übrigens das Naturgemässe zu sein, dass diese Algen schwerer als Wasser sind. Die Eiweissstoffe, die Amylum- und

1) Vgl. G. Klebs, „Ueber die Organisation einiger Flagellatengruppen“ in den Untersuchungen des bot. Institut zu Tübingen. Bd. 1, Heft 2, 1883, p. 256 ff.

2) C. Nägeli, Beiträge zur wissenschaftl. Bot. Bd. II, 1860, p. 102.

3) Strasburger, Wirkung des Lichts etc. auf Schwärmsporen. p. 8.

Paramylon-Körner, die Zellwand sind jedenfalls schwerer als Wasser. Dieses grössere specifische Gewicht könnte paralysirt werden durch ölartige Stoffe oder durch die Flüssigkeit, welche sich in der Zelle befindet. Oel kommt weder bei *Chlamidomonas* noch bei *Euglena* in erheblicher Menge vor. Der Zellsaft einschliesslich der Vacuolenflüssigkeit bei *Euglena*¹⁾ ist kein reines Wasser, sondern enthält gelöste Stoffe, wohl auch Gase, wodurch das specifische Gewicht nicht unter das des Wassers herabgedrückt wird.

Der Umstand, dass man im Freien manchmal auch bewegungslose Zustände dieser Algen in grösseren Parthien an der Oberfläche von Gewässern und Tümpeln schwimmen sieht, kann nicht als Beweis für das geringere specifische Gewicht gelten; derartige durch ihre gequollenen Membranen zusammenhängende Algencomplexe können durch Luftblasen oder durch Adhärenzen an der Wasserfläche schwimmend erhalten werden. Das specifische Gewicht der Algen kann es demnach nicht sein, was sie nach oben führt.

Auf die Möglichkeit, dass im Sande Strömungen vorhanden wären, welche die Algen an die Oberfläche brächten, habe ich schon bei Versuch 7 hingewiesen. Ich dachte hierbei zunächst an ein directes Fortspülen und Forttreiben der Algen, wozu natürlich schon stärkere Strömungen nothwendig wären. Da diese nicht vorhanden, blieben die *Lycopodium*sporen an Ort und Stelle.

Anders verhielt sich die Sache, wenn Strömungen nach einer bestimmten Richtung als Reiz wirkten, unsere Algen also einen ähnlichen Rheotropismus gezeigt hätten, wie die Plasmodien von *Aethalium* nach den Angaben B. Jönsson's²⁾. Hier konnten schon Ströme geringer Intensität von Erfolg sein (vgl. auch Versuch 15). Namentlich wäre es möglich gewesen, dass durch Verdunsten des Wassers an der Oberfläche des Sandes, durch die engen capillaren Räume zwischen den Sandpartikeln hindurch Wasser aus den untersten Schichten in die oberen gedrungen wäre und die Algen auf diese Art zu Bewegungen in einer bestimmten Richtung veranlasst worden wären. Diese Voraussetzung trifft aber nicht zu, da das Aufsteigen der Algen auch erfolgt, wenn über dem Sand Wasser steht. Beim Umdrehen der mit Sand gefüllten Glaszylinder ist die verdunstende Fläche nach unten gekehrt, aber auch hier erfolgt die Ansammlung an dem oberen jetzt geschlossenen Ende des Cylinders.

Man kann den Sand auch in beiderseits offene Glasröhren füllen und eventuell die eine Seite mit Kork verschliessen. Die Algen sammeln sich nur am oberen Ende an, gleichgültig, ob dieses oder das entgegengesetzte Ende, oder ob beide Seiten offen sind.

1) Vgl. G. Klebs, l c., p. 249.

2) B. Jönsson, Ber. d. deutsch. bot. Gesellschaft. 1883, Bd. I, H. 10, p. 512 ff.

Zu gleicher Zeit machen diese Versuche es wahrscheinlich, dass nicht etwa der einseitige Zutritt der Luft als Reiz wirkt, der eine Bewegung in der Richtung des Luft- resp. Sauerstoffzutrittes hervorruft. Gegen einen derartigen Reiz sprechen direct die Versuche 2 und 4. Bei dem ersten Versuch, wo der *Euglena*-haltige Sand an die Wände eines weiten Glaszylinders gestrichen war, konnte die Luft von oben, unten und der einen Seite hinzutreten. Bei dem Versuch 4 blieben alle 4 Ränder des Deckglases mit der Luft in Berührung und doch erfolgte die Ansammlung der Algen nur an der oberen Seite.

Die Bedeutungslosigkeit des einseitigen Luftzutrittes wurde auch noch durch folgenden Versuch illustriert:

Ich brachte *Euglena*-haltiges Wasser in enge Glasröhren, liess bei der einen Glasröhre die Luft von oben, bei der anderen die Luft von unten zutreten, während die andere Seite durch Kautschuckschlauch und Quetschhahn verschlossen wurde. Die Algen sammelten sich immer am oberen Ende an. Dasselbe geschah, wenn ich die eine Seite der Glasröhre mit einem Sauerstoffballon in Verbindung brachte und die andere Seite geschlossen hielt.

Schliesslich glaube ich noch auf die Resultate Engelmann's¹⁾ hinweisen zu müssen, der gezeigt, dass die Empfindlichkeit der *Euglenen* für Licht im hohen Grade unabhängig ist von der Sauerstoffspannung. Sowohl bei Sauerstoffmangel, wie bei normaler oder ultranormaler Sauerstoffspannung bleiben die *Euglenen* für Licht sehr empfindlich. Es ist mir daher unwahrscheinlich, dass so geringe Differenzen im Sauerstoffgehalt der einzelnen Schichten, wie sie durch den einseitigen Sauerstoffzutritt bei der geringen Höhe der Wasserschicht zu Stande kommen können, auf die Bewegungsrichtung einen Einfluss haben sollen.

Nach Ausschluss der hier genannten Kräfte bleibt uns noch übrig den Einfluss der Schwerkraft zu untersuchen, welche ich als die richtende Kraft erkannt habe.

Zur Constatirung dieser Thatsache waren Rotationsversuche nothwendig, bei welchen in der bekannten Weise die Schwerkraft durch die Centrifugalkraft ersetzt wurde. Mit feuchtem, algenhaltigen Sand gefüllte Reagenzgläser wurden an Stangen befestigt, welche um eine horizontale Axe rotirten.

Das Resultat zahlreicher in dieser Richtung angestellten Versuche lässt sich nun dahin zusammenfassen, dass bei schwächerer Centrifugalkraft die schwärmenden Algen der Centrifugalkraft entgegen nach dem Centrum der Rotationsebene gingen (vgl. Versuch 10—15). Es entsprach dies ganz ihrem Verhalten

1) Th. W. Engelmann, Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen in Pflüger's Archiv. 1882, Bd. 29, p. 395.

gegen die Schwerkraft, wobei sie sich ja auch in einer dem Zuge der Schwere entgegengesetzten Richtung fortbewegten. In den mit algenhaltigen Sand gefüllten Reagenzgläsern, die senkrecht auf der rotirenden horizontalen Axe standen, verschwanden die Schwärmer also aus den peripherischen Schichten, und sammelten sich in den dem Centrum zugewendeten Schichten an.

Dies geschah jedoch nur solange die Centrifugalkraft eine gewisse Grösse nicht überschritt. Beim Ueberschreiten dieses Grenzwertes bewegten sich die Schwärmer in gerade entgegengesetzter Richtung. Sie verschwanden also aus den centralgelegenen Schichten des Sandcylinders und sammelten sich an den peripherischen Theilen des Sandes an.

Diese Aenderung der Richtung tritt bei *Euglena* ein, wenn die Individuen durch die Centrifugalkraft eine Beschleunigung erfahren, welche gleich ist 8,5 *g* d. h. dem 8½fachen der Beschleunigung durch die normale Attraction der Erde (vgl. Versuch 11 und 12). Für *Chlamidomonas* liegt dieser Grenzwert zwischen 8 und 8,5 *g* (vgl. Versuch 13). Bei kurzem, rotirenden Radius und grosser Drehungsgeschwindigkeit der Axe kann man erreichen, dass in der centralgelegenen Hälfte des Reagenzglases die bewegende Kraft kleiner, als die oben angegebenen Grenzwerte sind, in dem peripherischen Theile aber grösser. Es findet dann an beiden Seiten des Gefässes Ansammlung von Algen statt, indem die der schwächeren Centrifugalkraft ausgesetzten Algen nach dem Centrum wandern, die anderen jedoch an die Peripherie gehen (vgl. Versuch 14). —

Das Resultat bleibt dasselbe wenn auch geringe Wasserströmungen im Sande vorhanden sind (vgl. Versuch 15).

Ferner wurde durch Versuche (vgl. Versuch 16) constatirt, dass nur lebende *Euglenen*, resp. *Chlamidomonaden* die oben genannten Bewegungen und Verschiebungen zeigen, dass dagegen bei Rotation von tothem Material, oder von unbeweglichen *Lycopodium*sporen keine derartige Aufsammlung eintrat.

War die Schwerkraft wirklich die Ursache des Aufsteigens der Algen, so musste bei sehr langsamer Rotation, wo die Centrifugalkraft fast Null wird und somit die richtende Kraft hinwegfällt die Ansammlung an bestimmten Stellen unterbleiben. Dass diese Voraussetzung richtig ist, zeigt uns Versuch 18.

Die letzten Versuche 19 und 20 sind schliesslich der Frage gewidmet, welches Minimum von Kraft nothwendig ist, um überhaupt auf die Schwärmer richtend zu wirken. Es stellte sich heraus, dass *Chlamidomonas* bei einer Beschleunigung von 0,56 *g* (also ungefähr die Hälfte der durch die Attraction der Erde bewirkten Beschleunigung) bestimmt in derselben Weise orientirt wurde, als dies durch die normale Schwerkraft geschieht. Bei weiterer Verkleinerung

der richtenden Kraft bis zu 0,3 und 0,2 g war der Effect zweifelhaft, um unter diesem Werthe sicher zu verschwinden.

Es sei mir nun gestattet noch auf das Detail dieser Rotationsversuche einzugehen. Durch einen Wassermotor wurde eine horizontal gestellte Axe in Bewegung versetzt. An derselben befand sich erstens eine 1 m lange Stange, an welcher die mit Sand gefüllten Reagenzgläser befestigt wurden, zweitens drei verschieden grosse Scheiben, welche als Schnurläufe dienten und mit den Schnurläufen an der rotirenden Axe des Wassermotors in Verbindung gebracht werden konnten. Je nachdem, ob ich die grösseren Scheiben des Wassermotors mit den kleineren der zu bewegenden Axe oder umgekehrt die kleineren Scheiben mit den grösseren der anderen Axe in Verbindung brachte, erhielt ich eine schnellere oder langsamere Rotation meiner Reagenzgläser mit den Algen.

Da beim Setzen des Sandes etwas Flüssigkeit nach oben steigt, ist es gut etwas trockenen Sand aufzugiessen. Ueberhaupt darf der Sand nicht zu feucht sein, da in diesem Falle durch das Aufsteigen von algenhaltigem Wasser an der Oberfläche des Sandes möglicher Weise eine Ansammlung von Algen stattfinden könnte, welche mit den durch die Centrifugalkraft inducirten Bewegungen der Algen nichts zu thun hätte. Um das Licht abzuhalten, wurden die Reagenzgläser mit mehreren Lagen schwarzen Papiers umwickelt. Mit der geschlossenen Seite der Peripherie zugewendet wurden die Reagenzgläser an die oben erwähnten 1 m langen Stangen angebunden. Die Anwendung eines so grossen rotirenden Radius (0,5 m) hatte den Vortheil, dass man schon bei geringerer Umdrehungsgeschwindigkeit des Motors eine relativ grössere Centrifugalkraft erhielt, da ja die Grösse der Centrifugalkraft proportional der Länge des Radius zunimmt. Ferner war die Differenz der Grösse der Centrifugalkraft an dem peripherischen und centralen Ende des Sandcylinders eine viel geringere, als wenn ich dieselbe Grösse der Centrifugalkraft durch schnelle Umdrehung bei kurzem rotirenden Radius erreicht hätte.

Ich berechnete die Beschleunigung, welche eine Alge beim Centrifugiren erhält nach der Formel:

$$\gamma = \frac{4 \pi^2 R}{T^2}$$

wobei R der rotirende Radius (in Metern ausgedrückt) T² das Quadrat der Zeit einer Umdrehung (in Secunden ausgedrückt) bezeichnet. Das Verhältniss zu g, der Beschleunigung, welche ein Körper durch die Erdschwere erhält wird ausgedrückt durch die Formel:

$$c = \frac{4 \pi^2 R}{g T^2}$$

wobei also $c = \frac{\gamma}{g}$.

Die Zulässigkeit der angewendeten Rotationsmethode glaube ich nicht erst betonen zu müssen, da dies schon von verschiedenen Seiten geschehen ist. Die durch die Anwendung des feuchten Sandes möglicher Weise entstehenden Fehler habe ich schon früher betrachtet. Auch bei der Rotation der an der Peripherie geschlossenen, mit feuchtem Sand gefüllten Gefässen befindet sich die Wassermenge zwischen den einzelnen Sandpartikelchen im Gleichgewicht, sie erleidet keine Verschiebungen. Nur die in diesem Wasser schwimmenden Algen werden durch die Centrifugalkraft zu bestimmten Bewegungen veranlasst.

Versuch 10. *Euglena viridis* bei Anwendung geringerer Centrifugalkraft.

Je zwei Reagenzgläser mit *Euglena*-haltigem Sande wurden in der Entfernung von 25 resp. 50 *cm* von der Axe angebracht. Dauer des Versuchs von 11 Uhr 10 Min. Vorm. bis 8 Uhr 35 Min. Abends. Temperatur 19—22° C.

Nummer des Reagenz-glasses	Entfernung des äusseren Endes des Glases von d. Axe in <i>cm</i>	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von <i>c</i> in <i>g</i>	Ansammlung der Algen an dem
1 und 2	50	100	5,6	centralen Ende
3 „ 4	25	100	2,8	centralen Ende

Da *c* nicht grösser als 5,6 *g* wurde, hatten sich die Algen nur an dem centralen Ende angesammelt.

Versuch 11. *Euglena viridis*. Bestimmung des Grenzwertes von *c*, bei welchem die Algen noch nach Innen gehen.

Nummer des Reagenz-glasses	Entfernung des inneren u. äusseren Endes des Glases von der Axe in <i>cm</i>	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von <i>c</i> in <i>g</i>	Ansammlung der Algen an dem
1	41—50	240	26,4—32,2	peripher. Ende
2	30—38	240	19,4—24,5	peripher. Ende
3	16—25	240	10,3—16,1	peripher. Ende
4	4—13	240	2,5— 8,3	centralen Ende

Dauer des Versuchs von 11 Uhr 45 Min. Vorm. bis 6 Uhr 15 Min. Abends. Temperatur 19—22° C.

Der Grund warum die *Euglenen* im vierten Glase nach dem Cen-

trum gingen, während sie in den ersten 3 Gläsern in entgegengesetzter Richtung sich bewegten, kann nur in der verschiedenen Grösse der Centrifugalkraft liegen. Der Grenzwert, bei welchem die *Euglenen* noch nach innen gehen können muss demnach zwischen 8,3 und 10,3 g liegen. Zur genaueren Bestimmung dient Versuch 12.

Versuch 12. *Euglena viridis*. Bestimmung des Grenzwertes von c.

Nummer des Reagenz-glasses	Entfernung des inneren u. äusseren Endes des Glases von der Axe in cm	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von c in g	Ansammlung der Algen an dem
1	32—39	180	11,6—14,1	peripher. Ende
2	27—34	180	9,8—12,3	peripher. Ende
3	20—27	180	7,2— 9,8	beiden Enden
4	15—22	180	5,4— 7,9	centralen Ende

Dauer des Versuchs von 11 Uhr 30 Min. Vorm. bis 7 Uhr 45 Min. Abends.

Wir sehen bei diesem Versuch in den Gläsern 1 und 2 wo $c > 9,8 g$ die Algen nach aussen fortbewegt. Im Glase 3 haben sich Algen sowohl am peripherischen als am centralen Ende angesammelt, bei Glas 4 nur am centralen Ende der Sandschicht. Da sie bei Nr. 3 die Algen aus der Mitte an die beiden Seiten gegangen waren, kann man wohl annehmen, dass die Grösse von c, bei welcher es sich entscheidet, ob die Algen nach innen oder aussen gehen ein Mittel aus diesen zwei Zahlen darstellt. Der Grenzwert bei welchem die *Euglenen* noch nach innen gehen liegt also ungefähr bei 8,5 g. Genauer liess sich dieser Werth nicht bestimmen, da der Gang meines Motors kein vollständig gleichmässiger war und der Werth bei den einzelnen *Euglenen* gewisse Differenzen zeigen wird. Lebhaft bewegte *Euglenen* werden eine grössere Energie besitzen und demnach eine grössere Kraft, die sie fortzutreiben sucht, überwinden können.

Die Grösse 8,5 g stellt daher nur einen Mittelwerth dar für lebhaft bewegte *Euglenen*, dessen Grösse sich vermindern wird je mehr die *Euglenen* Ruhezuständen entgegengehen. Dies ändert jedoch nichts an der Thatsache, dass es eine Grösse der Centrifugalkraft giebt, gegen welche die *Euglenen* nicht mehr ankommen können, sondern in der Richtung dieser Kraft fortbewegt werden.

Versuch 13. *Chlamidomonas pulvisculus*. Bestimmung des Grenzwertes von c, bei dem die Alge noch nach innen geht.

(Siehe Tabelle S. 64).

Dauer des Versuchs von 11 Uhr Vorm. bis 6 Uhr 15 Min. Abends.

Nummer des Reagenz-glasses	Entfernung des inneren u. äusseren Endes des Glases von der Axe in <i>cm</i>	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von <i>c</i> in <i>g</i>	Ansammlung der Algen an dem
1	43—50	180	15,5—18,0	peripher. Ende
2	39—46	180	14,1—16,6	peripher. Ende
3	26—33	180	9,4—11,9	peripher. Ende
4	18—25	180	6,5— 9,0	mehr am centralen als peripher. Ende
5	10—17	180	3,6— 6,1	centralen Ende
6	6—13	180	2,2— 4,7	centralen Ende

Da hier im Glase 4 an der Peripherie nur wenig, am Centrum aber mehr Algen angesammelt sind, glaube ich, dass der Grenzwert näher an 9 *g* als an 6,5 *g* liegt. Ungefähr also ebenfalls zwischen 8 *g* und 8,5 *g*. Eine nähere Bestimmung dieses Werthes war aus dem oben genannten Grunde auch hier unthunlich.

Versuch 14. *Chlamidomonas*. Rotation mit kurzem Radius bei grosser Umdrehungsgeschwindigkeit.

Aus den vorher angeführten Thatsachen lässt sich auch das Resultat des folgenden Versuchs erklären. An der sehr schnell rotirenden Axe wurden zwei Reagenzgläser angebracht, welche *Chlamidomonas* und feuchten Sand enthielten. Der Abstand der beiden Enden des Sandcylinders im Reagenzglas von der Axe beträgt 17 resp. 2 *mm*. Da nun die Axe 240 Umdrehungen pro Minute machte ergibt sich hieraus, dass die Algen an dem einen Ende des Glases einer Kraft von 10,9 *g*, am anderen Ende von 1,3 *g* ausgesetzt waren.

Dauer des Versuchs von 9 Uhr Vormittags bis 7 Uhr 15 Min. Abends. Temperatur 20—21° C.

Um 1 Uhr Vormittags war nur eine geringe Ansammlung von *Chlamidomonas* zu beobachten, wohl aber um 7 Uhr 15 Min. Abends, zu welcher Zeit die Algen an beiden Enden des Sandcylinders in grosser Menge angehäuft waren. Die Differenz der Grösse *c* an dem einen und dem anderen Ende ist ziemlich bedeutend. Da die von uns bestimmte Grenze zwischen diesen beiden Werthen liegt, musste eine Ansammlung von Algen an beiden Enden stattfinden.

Versuch 15. *Euglena*. Rotation in offenen Glasröhren.

Statt der Reagenzgläser, deren geschlossene Seite bei der Rotation nach aussen gerichtet war, verwendete ich hier beiderseits offene Glas-

röhren, welche auf der peripherischen Seite mit Leinwand verbunden waren, um das Herausfallen des Sandes zu verhüten.

Bei langsamer Rotation ($c < 7 g$) zeigte sich auch hier Ansammlung von *Euglenen* an dem centralen Ende. Bei sehr schneller Rotation wurden sowohl Wasser als *Euglenen* aus dem Sande hinaus centrifugirt und Ansammlung an dem centralen Ende fand nicht statt. Bei der langsameren Rotation war die Menge des durch die Centrifugalkraft ausgetriebenen Wassers gering, es mussten jedoch, um diesen Wasseraustritt zu ermöglichen, wenn auch geringe Wasserverschiebungen und Strömungen im Sande vorhanden sein. Dieselben hatten jedoch keinen Einfluss auf die Bewegungsrichtung der Algen.

Versuch 16. Chlamidomonas. Rotation von getödtetem Material.

Bezeichnung des Materials	Entfernung des inneren u. äusseren Endes des Glases von der Axe in cm	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von c in g	Ansamm- lung
Durch Erwärmen auf 70° C. getödtet	43—50	210	21,2—24,6	—
	7—14	210	3,5— 6,9	—
Durch Chloroform getödtet	43—50	210	21,2—24,6	—
	7—14	210	3,5— 6,9	—

Dauer des Versuchs von 9 Uhr 20 Min. Vormittags bis 4 Uhr 15 Min. Nachmittags.

In derselben Zeit zeigte sich bei lebendem Material, das zum Vergleich herangezogen wurde, deutliches Aufsteigen der Algen, das bei den toden *Euglenen* unterblieb.

Versuch 17. Vergleich zwischen Euglena und Lycopodiumsporen.

Mit Wasser benetzte *Lycopodium*sporen wurden mit feuchtem Sand gemengt und derselben Centrifugalkraft ausgesetzt wie *Euglena* im Versuch 11. Obgleich hier eine Kraft von 2,5—32,2 g wirkte, fand keine Ortsveränderung der *Lycopodium*sporen statt.

Versuch 18. Chlamidomonas bei sehr langsamer Drehung.

Nummer des Reagenz- glases	Entfernung des inneren u. äusseren Endes des Glases von der Axe in cm	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von c in g	Ansamm- lung der Algen
1 und 2	5—10	6	0,002—0,004	—
3 „ 4	45—50	6	0,018—0,020	—

Dauer des Versuchs vom 19. September 12 Uhr 45 Min. Mittags bis 20. September 7 Uhr 45 Min. Morgens.

Die offene Seite der Gläser 1 und 3 war dem Centrum zugewendet, bei 2 und 4 nach aussen gerichtet. Es geschah dies, um bei etwaiger Ansammlung von Algen unterscheiden zu können, ob der einseitige Luftzutritt einen Einfluss gehabt habe. Mit dem Unterbleiben der besprochenen Ansammlungen war bewiesen, dass sowohl diese minimale Centrifugalkraft von 0,02 *g*, als auch der einseitige Luftzutritt ohne Einfluss auf die Bewegungsrichtung war.

Versuch 19. *Chlamidomonas*. Bestimmung des Schwellenwerthes von *c*, bei welchem *Chlamidomonas* nach dem Centrum wandert.

Chlamidomonas geht nach dem Centrum der Rotationsebene wenn $c = g$ ist, d. h. wenn die Beschleunigung, welche der Alge bei der Rotation ertheilt wird, gleich ist der normalen Attraction der Erde. Andererseits haben wir gesehen, dass bei sehr langsamer Rotation, wobei *c* sehr klein wird, keine Ansammlung von Algen stattfindet. Welches ist nun die Grösse von *c*, bei welcher der Einfluss auf die Bewegungsrichtung der Algen eintritt. Wir können dieses Minimum als Schwellenwerth bezeichnen, analog dem Ausdrücke der Thierphysiologie für das Minimum einer Kraft, das zur Auslösung gewisser Vorgänge nothwendig ist.

Um hier ganz genaue Werthe zu erlangen, wäre ein Motor nothwendig gewesen, der lange Zeit vollständig gleichmässig, ohne seine Geschwindigkeit zu ändern, gelaufen wäre. Dies war bei dem mir zu Gebote stehenden Wassermotor nicht der Fall. Eine kleine Aenderung der Drehungsgeschwindigkeit giebt bei langsamer Drehung in Bezug auf die ganze Grösse der Centrifugalkraft relativ viel grössere Fehler als bei schneller Rotation. Geht z. B. die Geschwindigkeit von 45 Drehungen pro Minute herab auf 40 Drehungen, so wird *c* bei einem Radius von 50 *cm* nicht mehr gleich sein 1,13 *g*, sondern nur den Werth von 0,89 *g* haben. Die Differenz beträgt also 0,24 *g*, d. h. ungefähr $\frac{1}{4}$ der ganzen wirkenden Kraft.

Ausserdem kommt noch dazu, dass bei sehr lange andauernden Versuchen Algen auch an die Oberfläche des Sandes kommen werden, ohne dass ihre Bewegungsrichtung von einer bestimmten Kraft beeinflusst worden wäre. Sie können sich regellos in dem Sande vertheilen, wobei unbedeutende Ansammlungen an der Oberfläche des Sandes stattfinden können, die zur Annahme Veranlassung geben, dass hier die Schwerkraft wirksam gewesen wäre.

Ergaben nun aus den hier angeführten Gründen meine in dieser Hinsicht sehr zahlreichen Versuche keine absolut sicheren Zahlen in Bezug auf den eigentlichen Schwellenwerth, so konnte ich doch mit Bestimmtheit feststellen, dass ein Wandern der *Chlamidomonas* nach

dem Centrum auch noch stattfindet, wenn $c < g$ ist. In allen Versuchen fand Ansammlung von Algen statt, so bald $c > 0,56 g$ war. Unterhalb dieses Schwellenwerthes war Ansammlung von Algen nur unsicher zu constatiren, wenn ich es auch nach einigen Versuchen für möglich halte, dass *Chlamidomonas* nach dem Centrum ging, wenn c zwischen 0,2 und 0,3 g schwankte. Unterhalb dieser Grenze fand keine Ansammlung mehr statt.

Zur leichteren Constatirung von Verschiebungen der Algen im Sande ist es angezeigt, die Reagenzgläser nach dem Versuch horizontal zu legen, wobei die Algen nach oben gehen und uns so ein besseres Bild von ihrer Vertheilung im Sande gewähren.

Nummer des Reagenzglas	Entfernung des äusseren Endes des Glases von der Axe in cm	Zahl der Axendrehungen in einer Minute	Grösse von c in g	Ansammlung an dem
1	50	45	1,13	centralen Ende
2	40	45	0,90	centralen Ende
3	25	45	0,56	centralen Ende
4	10	45	0,22	—

Dauer des Versuchs von 9 Uhr 45 Min. Morgens bis 6 Uhr Abends.

In dem Glase 3 war die Ansammlung der Algen schwächer als in 1 und 2. Im 4. Glase zeigten die Algen dieselbe Vertheilung wie vor dem Versuche.

Versuch 20. *Chlamidomonas*. Bestimmung des Schwellenwerthes.

An Stelle der mit Sand gefüllten Reagenzgläser wurden bei diesem Versuche kleine Bechergläser (ungefähr 7 cm hoch und 4 cm breit) verwendet und der *Chlamidomonas*haltige, feuchte Sand an den Wänden des Glases vertheilt. Die Gläser wurden mit feuchter Leinwand verbunden, um das Austrocknen des Sandes wenigstens etwas hinten zu halten. Da es sich hier nur um geringe Centrifugalwirkungen handelte, blieb der Sand an der Wand kleben, während er bei starker Rotation wohl an den Grund des Becherglases getrieben worden wäre.
(Siehe Tabelle S. 68.)

Dauer des Versuchs vom 8. October 9 Uhr 15 Min. Vormittags bis 9. October 8 Uhr Morgens (22 $\frac{3}{4}$ Stunden). Temperatur 16—18 ° C.

Aus der Gesammtheit meiner Versuche glaube ich zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass die Schwerkraft es ist, welche im Dunkeln unter bestimmten Verhältnissen die Bewegungsrichtung von *Chlamidomonas* und *Euglena* bestimmt.

Es kann dies nun auf zweifache Weise geschehen: erstens die

Nummer des Becher- glases	Entfernung des äusseren Endes des Glases von d. Axe in <i>cm</i>	Zahl der Axendrehun- gen in einer Minute	Grösse von <i>c</i> in <i>g</i>	Ansammlung von Algen
1	40	45	0,90	constatirt
2	35	45	0,79	constatirt
3	30	45	0,68	constatirt
4	25	45	0,56	constatirt
5	20	45	0,45	unsicher
6	15	45	0,34	unsicher
7	10	45	0,22	—
8	5	45	0,11	—

Schwerkraft wirkt in derselben Weise wie das Licht als Reiz, d. h. *Chlamidomonas* und *Euglena* sind für die Schwerkraft in ähnlicher Art sensibel als für das Licht. Durch die Schwerkraft werden dann in den Algen Kräfte ausgelöst, welche die Längsaxe derselben in eine bestimmte Richtung stellen, in welcher dann die Bewegung erfolgt.

Die andere Möglichkeit ist die, dass die Objecte vermöge der excentrischen Lage ihres Schwerpunktes sich in Ruhelage so stellen würden, dass ihr farbloses, vorderes Ende nach oben gewendet wäre; in diesem Falle würde die Bewegung ebenfalls nach oben führen, ohne dass die Schwerkraft die Bedeutung eines Reizes hätte.

Trotzdem ich die Schwierigkeit, zwischen diesen beiden Fragen mit Sicherheit zu entscheiden, nicht verkenne, glaube ich jedoch durch einige Thatsachen darauf hingewiesen zu sein, dass die Schwerkraft in der That als Reiz wirkt.

In derselben Art wie dies bei Versuch 4 beschrieben, gelangten statt der lebenden getödtete Algen zwischen Deckglas und Objectträger, der vertical gestellt wurde, zur Beobachtung. Der Tubus des Mikroskops war selbstverständlich horizontal gestellt. Zur freien Beweglichkeit der Algen wurden dünne Korklamellen unter das Deckglas gelegt. Es stellte sich nun heraus, dass die getödteten Algen keineswegs in einer bestimmten Lage orientirt waren, sondern vollständig unregelmässig mit dem vorderen Ende nach oben oder unten, nach rechts oder links nach abwärts sanken. *Euglena* ändert beim Töden häufig die Form ihres Körpers, und in Folge dessen kann der Schwerpunkt ebenfalls Verschiebungen erleiden. Bei *Chlamidomonas* tritt jedoch eine derartige Formveränderung mit dem Tode nicht ein, weshalb eine Verschiebung des Schwerpunktes sehr unwahrscheinlich ist. Es spricht dieser Versuch also direct gegen die Auffassung, als ob die excentrische Lage des Algschwerpunktes die Bewegungsrichtung bestimme.

Ferner ist zu bedenken, dass es Zustände der Algen giebt, in denen sie zwar Bewegung zeigen, aber nicht von der Schwerkraft beeinflusst werden. Es gilt dies namentlich für Schwärmer, die man längere Zeit im Zimmer cultivirt hat und die daher Neigung haben, in Ruhezustände überzugehen. Ich überzeugte mich jedoch, dass in diesen Fällen die Algen sich noch in normaler Weise bewegten, ja nicht einmal eine besondere Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit war zu bemerken. Diese ganz sicher gestellte Thatsache, dass gewisse Entwicklungsstadien der Algen sich noch bewegten, aber nicht nach oben stiegen, glaube ich dahin deuten zu können, dass diese Stadien für den Reiz der Schwerkraft nicht mehr empfindlich waren.

Etwas Aehnliches haben wir wahrscheinlich auch bei der Kälte-wirkung, wenn ich dies auch nicht mit positiver Sicherheit behaupten kann. Ich zeigte, dass das Aufwärtssteigen der Algen schon bei einer Temperatur von 5—6° C. unterbleibt. Die Schwärmer sind bei dieser Temperatur jedoch keinesfalls bewegungslos, da nach den Angaben von G. Klebs¹⁾ *Euglenen* noch im Wasser von wenig über 0° gedeihen und sich bewegen. Trotzdem also die Bewegung nicht sistirt war, wurden die Algen durch die Kälte für den Reiz der Schwerkraft unempfindlich gemacht. Bei der Annahme, dass die excentrische Lage des Schwerpunktes die Bewegungsrichtung bestimme, lässt sich diese Thatsache nicht erklären, man müsste denn eine Verschiebung des Schwerpunktes der Algen bei Temperaturerniedrigung annehmen, was doch sehr unwahrscheinlich ist.

Zudem möchte ich noch an eine Angabe Strasburgers²⁾ erinnern, die sich auf die Schwärmer von *Chlamidomonas curvata* bezieht. Diese Alge bewegt sich nach dem Lichte hin, so lange die Temperatur des umgebenden Wassers nicht auf 6—4° C. herabsinkt. Bei dieser niederen Temperatur zerstreuen sich die Schwärmer im Wassertropfen, gerade so wie bei unzureichender Lichtintensität. Sie bleiben also beweglich, werden aber unempfindlich für das Licht. Die übrigen Angaben Strasburgers, dass bei Verminderung der Temperatur die Schwärmer für Licht empfindlicher werden, beziehen sich auf Temperaturen über 10—12° C. und finden daher keine Anwendung auf unsere Versuche.

Dagegen ist die von Strasburger³⁾ erwähnte Thatsache zu beachten, dass mit sinkender Temperatur die Neigung der Schwärmer, sich am Boden anzusammeln, wächst, was wohl andeutet, dass die durch die Schwerkraft herbeigeführte Aufwärtsbewegung von Schwärmern bei sinkender Temperatur nach und nach unterbleibt.

1) G. Klebs, l. c. p. 287.

2) E. Strasburger, l. c. p. 59.

3) l. c.

Sehen wir uns weiter nach Analogien mit der Lichtwirkung um, so müssen wir auch noch das Verhalten der Algen gegen verschiedene Intensitäten des Lichtes resp. der Schwerkraft in Betracht ziehen. Beide Kräfte sind erst dann wirksam, wenn sie eine gewisse Intensität erreicht haben. Bei weiterer Steigerung der Intensität dieser Kräfte wird innerhalb einer gewissen Grenze nur dieselbe Bewegungsrichtung der Algen erzielt. Bei der Ueberschreitung dieser Grenze, bewegen sich die Schwärmer in entgegengesetzter Richtung. Diese Analogie beweist uns jedoch keineswegs, dass die Schwerkraft, ebenso wie das Licht, als Reiz wirkt, da die Schwerkraftwirkung auch noch eine andere Deutung zulässt.

Was nun zunächst die Thatsache betrifft, dass das Eintreten der Aufwärtsbewegung an eine gewisse Stärke der einwirkenden Kraft gebunden ist, so wird eine gewisse Stärke auch nothwendig sein, wenn die excentrische Lage des Schwerpunktes die Bewegungsrichtung der Algen bestimmen soll. Bei sehr langsamer Rotation des Objectes um eine horizontale Axe (wobei die Centrifugalkraft fast Null ist), würde das Vorderende der Alge immer dem Zenith zugerichtet bleiben. Da das Gefäss, in welchem die Alge ist, sich jedoch dreht, so würde die Alge der Reihe nach in der Richtung der Oeffnung des Gefässes, der linken Wand, des Bodens und der rechten Wand des Gefässes fortbewegt werden. Diese einander entgegengesetzten Bewegungen heben sich gegenseitig auf und das Object bleibt an seinem Orte. Eine sehr geringe Centrifugalkraft wird diese Verhältnisse nur in ganz unmerklicher Weise irritiren können und erst bei einer gewissen Stärke der Centrifugalkraft macht sich das Uebergewicht des schwereren Endes der Alge bemerkbar.

Die zweite Thatsache, dass bei starker Centrifugalkraft die Algen sich nicht mehr gegen diese Kraft fortbewegen, sondern in der Richtung dieser Kraft, wird vielleicht so zu erklären sein, dass die Kraft der Algen nicht mehr ausreicht, das eigene Gewicht fortzubewegen, und sie daher passiv fortgerissen werden. Sind die Algen der Erdschwere allein ausgesetzt, so haben sie beim Aufsteigen nur das Gewicht zu heben, um was sie schwerer sind, als das von ihnen verdrängte Volumen Wasser. Die Kraft, welche hierzu nothwendig ist, ist gleich diesem Uebergewicht mal der Beschleunigung durch die Anziehung der Erde. Mit der Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit nimmt auch die ihnen ertheilte Beschleunigung zu, die Kraft, welche also jetzt aufgewendet werden muss zur Fortbewegung ist eine grössere. Da die Kraft, welche der Alge inne wohnt, jedoch eine begrenzte ist, während die Centrifugalkraft beliebig gesteigert werden kann, muss es nothwendig eine Grösse der Centrifugalkraft geben, bei welcher die Algen nach Aussen geschleudert werden. Diese Grenze ist erreicht, wenn die Algen eine Beschleunigung von 8—8,5 g erhalten.

Falls es daher gelingt das Gewicht dieser Algen zu ermitteln, so kann man aus den angeführten Zahlen die Kraft dieser Algen berechnen, welche Bestimmung ich mir für später vorbehalte.

Obgleich die Algen bei grosser Steigerung der Centrifugalkraft schliesslich immer nach der Peripherie der Rotationsebene bewegt werden müssen, so ist doch eine selbständige Bewegung in dieser Richtung nicht ausgeschlossen — analog der Umkehrung der Bewegungsrichtung durch zu starken Lichtreiz. In dem Versuch 16 wurden getödtete *Chlamidomonaden* sehr rasch rotirt, sie sammelten sich nicht an der Peripherie an, ebensowenig wie die *Lycopodiumsporen* (Versuch 17), obgleich dieselben eine Beschleunigung bis zu 24,6 g resp. 32,2 g erhielten. Ich erkläre mir dies auf folgende Weise: Die Alge wird sich im feuchten Sande nicht gradlinig fortbewegen können, sondern muss den ihr entgegenstehenden einzelnen Sandpartikelchen ausweichen. Dies kann sie nur im lebenden Zustande, denn getödtet wird sie ebenso wie die *Lycopodiumsporen* durch eine grössere Centrifugalkraft fest an die ihr entgegenstehenden Sandpartikelchen angedrückt werden. Lebend gelingt ihr dies Ausweichen, was der Ansammlung an der peripherischen Seite des Gefässes beweist. Es lässt sich jedoch hieraus noch keineswegs der Schluss ziehen, ob sie dabei die Tendenz haben, nach dem Centrum zu gehen, oder nach der Peripherie, d. h. ob ihr farbloses Ende dem Centrum oder der Peripherie zugewendet ist. Ich muss daher die Frage unentschieden lassen, auf welche Weise die Umkehrung der Bewegungsrichtung bei grösserer Intensität der einwirkenden Kraft zu Stande kommt.

Trotzdem wir aus dem Verhalten von *Euglena* und *Chlamidomonas* gegen verschiedene Intensität der Centrifugalkraft keine bestimmte Schlüsse ziehen können, so rechtfertigen doch die vorher erwähnten Thatsachen — die concentrische Lage des Schwerpunktes und das Vorhandensein nicht reizbarer aber beweglicher Zustände — meine Anschauung, dass wir bei der in Rede stehenden Erscheinung der Schwerkraft die Bedeutung eines Reizes beizumessen haben, d. h. sie als auslösende Kraft ansehen müssen. Ich halte demnach an der Analogie der Schwerkrafts- und Lichtwirkung fest.

Bezeichnet man allgemein die Auslösung von Bewegungs- und Wachstumsvorgängen durch die Schwerkraft als Geotropismus, so könnte man wohl auch diese Erscheinung als eine geotropische bezeichnen. Um jedoch nicht Ungleichartiges mit demselben Namen zu belegen, schlage ich vor, analog wie man die Orientirung der Schwärm-sporen durch das Licht mit Phototaxis bezeichnet, die von mir beschriebene Orientirung von *Euglena* und *Chlamidomonas* durch die Schwerkraft als **Geotaxis** zu bezeichnen. Ich glaube, dass hierdurch eine kurze und natürliche Benennung der in Frage stehenden Erscheinung gewonnen ist.

Weiterer Forschung wird die Frage anheimgestellt, ob die an *Euglenen* und *Chlamidomonas* gefundene Erscheinung auch bei anderen Organismen sich wiederfindet. Der Vortheil, den eine derartige Empfindlichkeit gewähren muss, liegt auf der Hand. Werden die Algen durch Sand und Erde verschüttet, durch undurchsichtige Körper bedeckt und dem Lichte entzogen, so wird die Alge durch die Schwerkraft nach oben getrieben und ihr die Möglichkeit geboten, weiter zu assimiliren.

Vielleicht ist die Geotaxis auch bei der Entstehung der sogenannten Wasserblüthen wirksam, die ja auch durch die Ansammlung grosser Algenmassen an der Oberfläche des Wassers zu Stande kommen. Es kann dies jedoch nur durch Experimente entschieden werden, denn eine derartige Ansammlung an der Oberfläche könnte z. B. auch dann stattfinden, wenn die Algen sich dem Lichte zu bewegen und nun an der Oberfläche adhärirend die Wasserblüthe bilden würden. Ebenso können sich Algen am Grunde von Tümpeln und Lachen ansammeln und doch für die Schwerkraft empfindlich sein, wenn sie z. B. durch Gallerthüllen untereinander zusammenhängend am Boden haften. Also auch hier entscheidet nur das Experiment.

Breslau, pflanzenphysiolog. Institut
der Universität.

11. Julius Wiesner: Note über die angebliche Function der Wurzelspitze beim Zustandekommen der geotropischen Krümmung.

Eingegangen am 21. Februar 1884.

Die Ansicht Ch. Darwin's über die Function der Wurzelspitze beim Zustandekommen des Geotropismus ist in physiologischen Kreisen allgemein bekannt geworden. Es soll, der Darwin'schen Hypothese zufolge, die Schwerkraftwirkung an geotropisch sich krümmenden Wurzeln gar nicht dort erfolgen, wo wir den Effect erblicken; vielmehr soll die Schwerkraft auf die Wurzelspitze einen Reiz ausüben, welcher nach der Zone stärksten Wachsthums übertragen wird, in der dann die Abwärtskrümmung sich vollzieht.

Dieser Behauptung bin ich zuerst entgegengetreten; und zwar in meiner Schrift: Das Bewegungsvermögen der Pflanze, Wien, 1881. Ich ging von dem sehr naheliegenden Gedanken aus, dass ihrer Spitze be-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Schwarz Frank

Artikel/Article: [Der Einfluss der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamidomonas und Euglena. 51-72](#)