

39. James Clark: Ueber den Einfluss niederer Sauerstoffpressungen auf die Bewegungen des Protoplasmas.

(Vorläufige Mittheilung.)

Eingegangen am 20. Juli 1888.

Die Protoplasmbewegungen der pflanzlichen Organismen sowie der Protozoen zeigen bezüglich ihrer äusseren Erscheinung eine sehr grosse Formenvariation. Für unsere vorliegende Aufgabe mögen dieselben in zwei Klassen eingetheilt werden:

1. Strömende Bewegungen, worunter die unter den Namen Rotation und Cirkulation bekannten Erscheinungen namentlich hervorzuheben sind, und
2. Amöboide und Cilienbewegungen.

Die Glitschbewegung, sowie die sogenannte BROWN'sche Molekularbewegung, die bekanntlich ebenfalls im Protoplasma vorkommen, mögen vorläufig beiseite gelassen werden, da ihre Berücksichtigung für die hier zu besprechenden Vorgänge weniger nothwendig erscheint.

Die Beziehungen zwischen dem normalen Aussehen dieser Bewegungen und den für das Erhalten des organischen Lebens nothwendigen Bedingungen sind wohl bekannt, besonders durch die grundlegenden Untersuchungen von NAEGELI¹⁾, SCHULTZE²⁾, KÜHNE³⁾, DE BARY⁴⁾, HOFMEISTER⁵⁾, VELTEN⁶⁾ u. A. indessen sind bis jetzt nur sehr wenige Versuche gemacht worden, um die wahre Natur dieser Abhängigkeit aufzuklären. Während der letzten zwei Jahre bin ich im hiesigen Botanischen Institute mit einer genauen Untersuchung der Protoplasmbewegungen und deren Beziehungen zu äusseren Einflüssen beschäftigt gewesen, und ich werde in den folgenden Zeilen die Resultate kurz zusammenfassen, welche ich bezüglich der Abhängigkeit

1) NAEGELI, Beiträge z. wiss. Bot. Heft II. 1860.

2) SCHULTZE, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen, 1863.

3) KÜHNE, Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. 1864.

4) DE BARY, Die Mycetozoen. 2 Auflage. 1864.

5) HOFMEISTER, Die Lehre von der Pflanzenzelle. 1867.

6) VELTEN, Bewegung und Bau des Protoplasmas, Flora 1873; Activ oder Passiv, Oest. B. Z., 1876. Physikalische Beschaffenheit des pflanzlichen Protoplasmas, Sitzungsab. d. Wien. Akad. 1876.

der Bewegungserscheinungen von der Quantität des dargebotenen Sauerstoffes gewonnen habe¹⁾).

Ich ergreife hierbei die Gelegenheit, den Herren Prof. Dr. PFEFFER und Prof. Dr. VÖCHTING meinen innigsten Dank für die Bereitwilligkeit auszusprechen, womit dieselben mir die reichen Mittel des Instituts zur Verfügung gestellt haben. Dem ersteren dieser Herren bin ich auch wegen seiner Anregung, sowie mancher werthvollen Rathschläge zu besonderem Dank verpflichtet.

Schon im Jahre 1772 wurde durch CORTI²⁾ festgestellt, dass die Anwesenheit von Sauerstoff eine nothwendige Bedingung für die Erhaltung der Protoplasmabewegungen in den *Chara*-Zellen ausmacht. KÜHNE³⁾ zeigte ferner, dass die Bewegungen in den Staubfadenhaaren von *Tradescantia*, sowie die der Plasmodien der Myxomyceten bei Ausschluss von Sauerstoff sehr bald aufhörten, dass die Bewegungen aber wieder zu Stande kamen, wenn der Sauerstoff nach nicht allzu langer Zeit wieder zugelassen wurde. HOFMEISTER⁴⁾ und viele andere Forscher haben diese Beobachtungen KÜHNE's bestätigt und beträchtlich erweitert. Nichtsdestoweniger hat man es nie versucht, das Minimum von Sauerstoffpressung zu ermitteln, das zur Wiederherstellung der Plasmabewegungen, nachdem dieselben durch Mangel an diesem Gase zum Stehen gebracht worden, gerade nothwendig ist.

Die Untersuchungsmethode von KÜHNE bestand darin, das zu beobachtende Objekt in eine Atmosphäre von Wasserstoff oder Kohlensäure zu bringen oder die atmosphärische Luft durch Umgeben des Objectes mit Olivenöl auszuschliessen. Nachdem jede Bewegung aufgehört hatte, setzte er den Organismus wieder dem Einflusse der Luft aus, und die Bewegungen fingen von Neuem an. Ihm war schon⁵⁾ die ausserordentlich kleine Quantität Sauerstoff aufgefallen, die für die Entwicklung der Myxomyceten und die damit in Verbindung stehenden Bewegungserscheinungen nöthig ist, er hat aber nie den Versuch gemacht, genauere numerische Daten über den Gegenstand zu gewinnen.

Meine Versuche über den Einfluss verminderter Sauerstoffpressung auf die Protoplasmabewegungen sind meistens in der folgenden Weise ausgeführt worden.

Die Untersuchungsobjekte, die sich im hängenden Tropfen befanden, wurden entweder der Einwirkung eines Stromes sehr sorgfältig gereinigten Wasserstoffes oder Stickstoffes ausgesetzt, oder es wurde

1) Eine ausführliche Behandlung des hier oben besprochenen allgemeinen Problemes werde ich nächstens an anderer Stelle veröffentlichen.

2) CORTI, nach MEYEN citirt, Pflanzenphysiol. Bd. II. pag. 224.

3) l. c. für *Tradescantia* pag. 105, für Myxomyceten pag. 88—89.

4) l. c. pag. 49.

5) l. c. pag. 89.

der auf dem Objekt lastende Luftdruck mit Hülfe einer Wasserluftpumpe bis auf wenige Millimeter Quecksilberdruck reduziert.

Nach Verlauf einer gewissen Zeit, deren Länge theils von der Grösse des Tropfens, theils von der Natur des Objektes abhängig war, hörten die Bewegungen auf. In der ersten Versuchsreihe wurde nachher ein Strom von Wasserstoff oder Stickstoff, der einen bestimmten Prozentsatz von Sauerstoff enthielt, über das Objekt geleitet; in der zweiten ein wenig Sauerstoff oder Luft zugelassen und die Druckhöhen genau registriert. In beiden Fällen wurde das Objekt genau im Auge behalten, um den Moment des Wiederauftretens der Bewegung genau feststellen zu können. Die Beobachtung wurde so lange festgesetzt, bis entweder die Bewegung wieder zum Vorschein kam, oder das Protoplasma unzweideutige Zeichen des eingetretenen Todes ergab.

Untersuchungen von chlorophyllhaltigen Objekten wurden stets im Dunkeln ausgeführt, wobei Licht nur von Zeit zu Zeit auf kurze Augenblicke zugelassen wurde, um die mikroskopische Beobachtung des Protoplasmas zu ermöglichen.

Auf diese Weise gelang es, durch wiederholte Experimente diejenige Sauerstoffpressung zu ermitteln, die eben zur Wiederherstellung der Bewegung genügte.

Die Erfahrungen ergaben, dass Stickstoff und Wasserstoff als Verdünnungsmittel ungefähr gleich gut sind, da der sehr kleine Unterschied, welcher sich zum Vortheil des Stickstoffes bemerkbar machte, wahrscheinlich auf irgend welchen Zufall zurückzuführen ist.

Die rein mechanische Verminderung des Gasdruckes unter der Luftpumpe schien, so weit ich beobachten konnte, weder auf die Strömungs- oder Cilienbewegungen, noch auf das Pulsieren der kontraktile Vakuolen irgend welchen Einfluss auszuüben. Die Plasmodien dagegen werden durch einen allzu niedrigen Druck etwas beschädigt, indem körnige und globoide Massen ausgeschieden werden und amöboide Bewegungen nach bestimmten Centren stattfanden, woraus die Bildung des sogenannten sphäroidalen Zustandes des Protoplasmas resultirte; aber auch hier schien die strömende Bewegung, so lange sie noch dauerte, nicht beeinflusst zu werden.

Die Vortheile von dem Gebrauch dieser zwei sehr abweichenden Methoden liegen auf der Hand, da ich hierdurch stets im Stande war, die Resultate der einen mit Hilfe der anderen zu controlliren. Eine gewisse Fehlerquelle resultirt allerdings bei allen diesen Untersuchungen aus der Schwierigkeit, mit dem ungeübten Auge den exakten Zeitpunkt des Aufhörens der Plasmabewegung festzustellen, allein einige Uebung lehrt einem bald diesen Fehler ziemlich vollständig eliminiren.

1. Strömende Protoplasmbewegungen.

In nackten Protoplasmanmassen. Unter den Myxomyceten haben sich meine Untersuchungen über die Plasmodien von *Chondrioderma difforme*, *Didymium farinaceum* und *D. serpula*, sowie das von *Fuligo varians* erstreckt. Bei allen diesen ist die strömende Bewegung sehr leicht wahrzunehmen. Wird kleinen ausgebreiteten Stücken jugendlicher Plasmodien in einem kleinen Hängetropfen der Sauerstoff entzogen, so hört die Plasmaströmung nach Verlauf von 5 bis 20 Minuten völlig auf; dieselbe wird aber sofort wieder hergestellt, wenn die Sauerstoffpressung mit Hilfe einer der oben erwähnten Methoden um eine gewisse Grösse gesteigert wird.

Diese Grösse beträgt für *Chondrioderma difforme* und *Didymium farinaceum* 1,2 mm Quecksilberdruck, für *Didymium serpula* 1,4 mm. Dieses gilt für jugendliche Plasmodien. Die älteren bedürfen in allen Fällen mehr Sauerstoffzufuhr als die jüngeren, und ebenso verhalten sich solche, die nach dem Aufhören der Bewegung einige Zeit bei Sauerstoffabschluss gelassen worden sind.

Eine auffallende Erscheinung bei den Experimenten über Plasmodien bildet das sonst momentane Wiederauftreten der Bewegung, sobald die nothwendige Menge Sauerstoff wieder zugeführt worden ist. Wenn die betreffende Bewegung schon bei einem Luftdruck von etwa 3 mm zum Stillstand gebracht worden ist, genügt eine Zunahme von nur 3 mm vollkommen, um sofort eine äussert schnelle Strömung eintreten zu lassen. KÜHNE hat ebenfalls¹⁾ dieses rapide Wiederauftreten der Bewegung an Plasmodien beobachtet, die nach dreistündigem Verweilen in Wasserstoff wieder in die atmosphärische Luft zurückgebracht wurden.

Ein anderer Zug von hervorragendem Interesse in dem Verhalten dieser Plasmodien ist, dass eine gewisse Zeit nach der Zufuhr der nöthigen Menge Sauerstoffes und dem dadurch bewirkten Wiederherstellen der Strömung, diese Bewegung wieder aufhört und jetzt nur durch Einführen einer weiteren kleinen Quantität Sauerstoffes, die gewöhnlich mindestens $\frac{1}{2}$ mm betragen muss, wieder erneuert werden kann.

Die amöboide Bewegung des Plasmodiums dagegen, die zur Bildung des sphäroidalen Zustandes als Endresultat hinführt, wird viel schwieriger beeinflusst und dauert noch fort, nachdem die Strömung schon längst aufgehört hat.

In mit Membran versehenen Zellen. In Bezug auf die Strömung in den gewöhnlichen Pflanzenzellen habe ich eine Menge Beispiele der verschiedenen Pflanzengruppen auf ihr Verhalten gegen Sauerstoffentziehung geprüft.

1) Das Protoplasma pag. 90.

Unter den Phanerogamen kamen zur Untersuchung: junge Wurzelhaare von *Triana bogotensis*; im Wasser entwickelte Haare von den Nodien von *Tradescantia zebrina*; Haare der Staubfäden von *Tradescantia virginica* und *T. alba*, der breiten Basis des Staubfadens von *Campanula persicifolia* und *C. alaeifolia*, der jungen Blätter von *Urtica dioica* und *americana*, *Cucurbita Pepo* und *Momordica elaterium*; Zellen des Blattes von *Elodea canadensis*; des Blattparenchyms von *Vallisneria spiralis*, des Rindenparenchyms im Stengel von *Gentiana germanica*, *Helianthus annuus*, *Hyacinthus orientalis*, *Faba vulgaris*, des Rindenparenchyms der Wurzel von *Tradescantia rosea*, des Markes von *Butromus umbellatus*; Geleitzellen des Phloems von *Tropaeolum majus* und *Nicotiana rustica*; junge noch nicht verdickte Holztracheiden aus dem Blattstiele von *Ricinus communis*; Cambialzellen von *Sida napaea*; Zellen der Frucht von *Symphoricarpos racemosus* u. a.

Unter den Cryptogamen sind untersucht worden: Farnprothallien, internodiale Zellen von *Nitella*, Zellen von *Spirogyra*, Fruchträger von *Phycomyces nitidus* u. a.

Der vielfachen Verschiedenheit des zur Untersuchung gelangten Materials ungeachtet, zeigen die gewonnenen Resultate eine auffallende Uebereinstimmung unter einander. So genügt ein Druck von nur 1,2 mm Sauerstoffs um die Bewegungen der *Triana bogotensis* wiederherzustellen und das Plasma in den Haaren der Blätter von *Urtica americana* nimmt bei einem Drucke von 2,8 mm seine Strömung wieder auf. Diese beiden Fälle machen die beiden Extreme aus, alle anderen lagen zwischen diesen Grenzen. Die gewöhnlichen Parenchymzellen einer grossen Anzahl verschiedener Pflanzen bedurften eines Druckes von ungefähr 1,8 mm und zeigten dabei verhältnissmässig sehr unbedeutende Schwankungen. Die Verschiedenheiten, welche die verschiedenen pflanzlichen Zellen in Bezug auf die zur Wiederherstellung der Bewegungserscheinungen nöthige Minimalpressung darbieten, rühren, wie es aus meinen Beobachtungen hervorzugehen scheint, wahrscheinlich theils von ihrem ungleichen Alter, theils von dem wechselnden Widerstande her, den die Zellwand dem Zufluss des Sauerstoffes in den Weg setzt. So brauchen ältere und mit cutinisirten Membranen versehene Zellen durchgehends eine etwas grössere Sauerstoffspannung als die jüngeren, um ihre Bewegung wieder aufzunehmen.

Sämmtliche Beobachtungen an Parenchymzellen wurden an Längsschnitten ausgeführt. Dass die Zellen hierbei nicht beschädigt wurden, geht aus dem Umstande hervor, dass die Zellen solcher Längsschnitte, die in destillirtem Wasser verweilen, ihre Bewegung mehrere Tage lang nach der Anfertigung der Schnitte beibehielten; so dauerte die Rotation in derartig behandelten Längsschnitten von *Vallisneria spiralis* in einigen Fällen mehr als 70 Tage fort.

In Längsschnitten und abgetrennten Haaren, die in einer Atmo-

sphäre aus reinem Wasserstoff oder Stickstoff verweilen, hört die Bewegung des Protoplasmas nach höchstens 4 Stunden völlig auf. Werden aber ganze Pflanzen oder auch nur Blütenknospen oder unversehrte Blätter ebenso behandelt, dauert die Bewegung 20 bis 72 Stunden fort, wovon man sich an leicht zu beobachtenden Zellen, wie jene der Haare, sehr leicht überzeugen kann. Die Parenchymzellen behalten ihr Bewegungsvermögen noch länger, doch scheint dasselbe mit dem Aufhören des Wachstums ebenfalls zu erlöschen. So ist mir in einer Serie von 16 Experimenten mit Keimpflanzen von *Faba vulgaris* nur in einem Falle ein Fortdauern der Bewegung in den Parenchymzellen nach Aufhören des Wachstums begegnet.

Die oben geschilderten Resultate scheinen, wenn man dieselben mit den Ergebnissen WIELER's¹⁾ über den Einfluss der Sauerstoffspannung auf das Wachstum vergleicht, auf einen sehr innigen Zusammenhang zwischen den Plasmaströmungen und dem Wachstum der Pflanzen hinzuweisen. Dieser Zusammenhang wird noch schlagender durch seine Versuche über *Phycomyces* demonstriert, für welche Pflanze er einen Minimalluftdruck von 7 mm als zur Erhaltung des Wachsens erforderlich berechnet hat. Diese 7 mm entsprechen nämlich einer Partiärpressung des Sauerstoffes von 1,4 mm, was ich ebenfalls als die Minimalpressung zur Erhaltung der Bewegungen gefunden habe.

2. Cilienbewegungen.

Die Resultate, die ich über die Cilienbewegungen, insbesondere der Infusorien, gewonnen habe, sind bei weitem die interessantesten von allen. Bei *Chlamydomonas* und *Euglena deses* und *E. viridis* bewirkt das Entziehen des Sauerstoffes oder auch nur ein Herabsetzen der Pressung desselben in wenigen Minuten ein Ueberführen der Schwärmzellen in das Ruhestadium, wobei längere Einwirkung keinen weiteren Effekt ausübt. Die kontraktile Vakuole des ersteren Organismus scheint hierbei völlig zu verschwinden.

Schwärmsporen der verschiedensten Algen, sowie von *Saprolegnia*, nehmen ihre Bewegung, wenn dieselbe durch Sauerstoffmangel zum Aufhören gebracht worden ist, durch Zufuhr einer kleinen Menge Sauerstoffes wieder auf, es ist mir aber aus Mangel an genügendem Material leider nicht möglich gewesen, die nöthige Pressung genau zu ermitteln.

Wider Erwarten brauchen die Ciliaten von allen untersuchten Organismen am wenigsten Sauerstoff zur Wiederherstellung ihrer Bewegungen. *Pleurotricha*, *Stylonichia* und *Paramoecium* nehmen schon bei einer Zunahme des Sauerstoffdruckes von etwas weniger als 1 mm

1) WIELER, A.: Unters. aus dem bot. Inst. Tübingen. Bd I. Heft 2. 1883.

ihre Cilienbewegung wieder mit grosser Lebhaftigkeit auf. *Glaucoma* und *Chilodon Cucullus* brauchen sogar noch weniger.

Die Wiederherstellung der Bewegung ist aber bei den Infusorien nicht das, was am meisten Interessantes darbietet, wie der folgende Bericht einer meiner zahlreichen Experimente darthun wird. —

Ein kleiner hängender Wassertropfen, worin zahlreiche Exemplare von *Stylonichia* herumschwammen, wurde bei einer Temperatur von 17,2° C. einem Luftdruck von 2,5 mm ausgesetzt. Nach Verlauf von vier Minuten kam das beobachtete Individuum zur Ruhe und fing in weniger als einer Minute an zu zerplatzen, wobei die Zerstörung wie gewöhnlich in der Mundgegend begann und successive nach hinten zu fortschritt. Etwa ein Drittel des ganzen Organismus war schon zu Grunde gegangen, als ich die Sauerstoffpressung auf 6 mm erhöhte. Das Platzen hörte hierbei sofort auf, und das Thierchen lag während ungefähr zehn Sekunden ganz still. Nach Verlauf dieser Zeit fingen die Cilien wieder an, sich sehr lebhaft zu bewegen, aber jetzt vollkommen willkürlich, wobei die grossen Cilien des hinteren Körperendes die Bewegung zuerst wieder aufnahmen. Nach ungefähr fünfzehn Sekunden drehte es sich auf die Seite, schwamm, wenn auch ein wenig unsicher, in weniger als einer Minute lebhaft von dannen, den grössten Theil der destruirten Fragmente mitschleppend. Jene wurden nachher abgestossen oder zum kleinen Theile wieder aufgenommen. Obgleich das Thierchen, wie angedeutet, nahezu ein Drittel seines ganzen Umfangs eingebüsst hatte, einschliesslich einer contractilen Vacuole, schien dasselbe sich keineswegs unwohl zu fühlen, die inneren Lebensvorgänge schienen ganz ungestört ihren normalen Verlauf zu nehmen. Dieses Zerplatzen bei Mangel an der nöthigen Menge Sauerstoff sowie die nachfolgende Sistirung dieses Vorganges durch rechtzeitige Zufuhr dieses Gases, zeigen sich bei allen grösseren Ciliaten, die ich der Untersuchung unterworfen habe. Bei kleineren Formen wie *Glaucoma*, geht das Zerplatzen, wenn begonnen, so schnell von statten, dass es mir nie recht gelungen ist, den Sauerstoff rechtzeitig genug zuzuführen, um das Aufhören des Zersetzungsprozesses zu bewirken.

Bei grösseren Formen — *Stylonichia*, *Pleurotricha*, *Paramoicum* ist es bei umsichtiger Präparation möglich, dieses Zerplatzen in mehreren successiven Stufen zu veranlassen. So ist es mir bei *Pleurotricha* gelungen, einmal dasselbe Individuum drei verschiedene Mal nach einander successiver Theile seines Körpers zu berauben, wobei das Thierchen nichts desto weniger am Leben geblieben ist und sich, wie im oben beschriebenen Falle, lebhaft bewegt hat.

Jedesmal aber, wenn etwa ein Drittel des Organismus zu Grunde gegangen ist, kollabirt das Uebriggebliebene plötzlich und geht in einen trüben Haufen von kleinen Körnchen über, sodass es mir nicht möglich gewesen ist, das Zerplatzen länger als bis diesem Punkte fortzusetzen.

Einige *Flagellaten* habe ich ebenfalls der Untersuchung unterworfen, wegen der Kleinheit der mir zu Gebote stehenden Formen ist es mir aber bis jetzt nicht recht gelungen, den Vorgang des Zerplatzens bei denselben genau verfolgen zu können. Im Grossen und Ganzen scheinen dieselben sich doch wie die Ciliaten zu verhalten.

Tübingen, Botanisches Institut.

40. Hermann Vöchting: Ein Dynamometer zum Gebrauch am Klinostat.

Eingegangen am 21 Juli 1888.

Wenn es sich um die Bestimmung der Kraftgrösse handelt, mit welcher die Bewegung eines Pflanzenorgans ausgeführt wird, so lassen sich dazu je nach den Bedingungen verschiedene Apparate verwenden.

Befindet sich die Pflanze, deren Organ untersucht werden soll, in ruhiger Stellung, dann ist wohl der einfachste Apparat eine an einem geeigneten Stativ angebrachte Rolle, über welche man an feinem Faden ein Gewicht ziehen lässt. Ist die Rolle sehr leicht und der Reibungswiderstand gering, so lassen sich mit Hülfe eines solchen Apparates Bestimmungen von genügender Genauigkeit erlangen. Bei Ausführung meiner Untersuchung über die Bewegungen der Blüten hatte ich selbst Gelegenheit, einen derartigen einfachen Apparat zu verwenden. — Kommt es aber auf die Feststellung maximaler und minimaler Kraftgrössen an, so ist die Rollenvorrichtung darum minder geeignet, weil es dann einer grösseren Anzahl von Bestimmungen bedarf, zu denen nicht immer die Zeit vorhanden ist.

Für Aufgaben der letzteren Art und für manche sonstige Zwecke ist das von PFEFFER¹⁾ angewandte Hebel-Dynamometer vorzüglich geeignet, nur lässt die Gestalt desselben seine Anwendung nicht in allen Fällen zu.

1) PFEFFER, W., Die periodischen Bewegungen der Blattoorgane. Leipzig 1875. Seite 9.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Clark James M.

Artikel/Article: [Ueber den Einfluss niederer Sauerstoffpressungen auf die Bewegungen des Protoplasmas 273-280](#)