

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1874)
Heft: 828-878

Artikel: Einfluss mechanischer Kräfte auf das Wachstum durch Intussusception bei Pflanzen
Autor: Fankhauser, J.
Kapitel: I: Die mechanischen Kräfte der Pflanzenzelle im Allgemeinen
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-318894>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

kommen. Von diesem ersten Abschnitt werde ich dann übergehen auf diejenigen gestaltenden Faktoren, welche einen specifischen Entwicklungsgang eines Pflanzentheils oder einer ganzen Pflanze bedingen, um dann schliesslich noch einige allgemeine Bemerkungen daran anknüpfen zu können.

I. Die mechanischen Kräfte der Pflanzenzelle im Allgemeinen.

a. Molekularkräfte des Protoplasmas.

In jeder lebenskräftigen Zelle enthält das Protoplasma hauptsächlich zweierlei Bestandtheile, Eiweissstoffe und Fette (Oele). Dieser Grundmasse können nun noch die verschiedenartigsten Einlagerungen beigegeben sein. Das Ganze ist durchtränkt von der Nährflüssigkeit, die, hauptsächlich aus Wasser bestehend, die Nährstoffe für die wachsenden Pflanzentheile in gelöster Form mit sich führt. Die Fette und Oele dagegen machen hievon eine Ausnahme, da sie sich mit Wasser nicht mischen.

Die erste Hauptfrage, die wir zu beantworten suchen, lautet: Auf welche Art dringt die Imbibitionsflüssigkeit in das Protoplasma und seine Theile ein? Hier sind zunächst zwei Fälle auseinander zu halten, nämlich das Eindringen des Wassers in lösliche und in unlösliche Theile.

Die Frage, in welcher Weise das Wasser in lösliche Protoplasmatheile eindringe, lässt sich allgemein so stellen: Welches sind die Ursachen, die eine Lösung zu Stande bringen?

Eine der ersten Ursachen, die hier mitwirken, sind die, der Temperatur proportionalen, Bewegungen der Wassermoleküle. Durch die

Stösse und Püffe, welche die an den zu lösenden Körper angrenzenden Wassertheilchen ausüben, können die Moleküle desselben auseinander getrieben werden. Es ist denkbar, dass die genannte Ursache allein die Moleküle des festen Körpers zu sprengen vermag; es können aber, wie wir sehen werden, noch andere, die Lösung begünstigende Ursachen mitwirken.

Erscheinungen, welche die angegebene Ansicht stützen, sind namentlich zwei anzuführen: 1) die meisten Körper lösen sich leichter in heissem als in kaltem Wasser, 2) spricht die fast gleichartige Vertheilung der Moleküle in der Flüssigkeit dafür. Auch entgegenwirkende Kräfte vermögen diese Vertheilung nicht zu hindern; namentlich auffällig ist es, wie specifisch schwerere Körper sich, entgegen der Schwere, in allen Flüssigkeitsschichten ausbreiten. Die Theilchen des gelösten Körpers müssen in der Weise in der Flüssigkeit vertheilt sein, dass ein Gleichgewicht der freien Bewegungen der Moleküle eintritt.

Eine zweite Ursache des Eindringens von Nährflüssigkeit in die lösliche protoplasmatische Masse ist die *Capillarität* derselben. Die Eiweisstoffe werden von Wasser benetzt und die Adhäsion an denselben ist grösser, als die Cohäsion des Wassers.

Eine dritte Ursache ist die Anziehung der einzelnen Moleküle des Protoplasma für die Imbibitionsflüssigkeit. Diese Anziehung ist zunächst eine Massenanziehung. Um aber das Eindringen des Wassers in das Protoplasma vollständig zu erklären, ist es nothwendig, noch eine specifische Anziehung der Eiweisstoffe für Wasser anzunehmen. Man bezeichnet diese Kraft mit dem Worte „chemische Anziehung“.

Sind die Theile des Protoplasma unlösliche, so

überwiegen die Cohäsionskräfte derselben. Alle die angegebenen Kräfte, die chemische Anziehung, die Massenanziehung, die Capillarität, und besonders die, aus der Wärme hervorgehende eigene Kraft der eindringenden Flüssigkeit, vermögen die Moleküle des Protoplasma nicht zu theilen, sondern nur um ein gewisses Mass auseinander zu rücken. In diesem Fall ist der Körper unlöslich, aber für Nährflüssigkeit imbibirbar. In obigem Fall ist er löslich.

Im Protoplasma sind nun sowohl lösliche als unlösliche Stoffe vorhanden. Auch die Löslichkeit, wie die Imbibitionsfähigkeit sind wiederum in verschiedenartigstem Grade gegeben. Das Protoplasma, auch wenn es bloss aus löslichen Theilen von verschiedener Löslichkeit bestehen würde, wird sich nicht wie eine homogene Flüssigkeit verhalten, allein es werden in ihm Eigenschaften von verschiedenartigen Flüssigkeiten combinirt sein.

Die Einlagerung der Flüssigkeit in die Grundmasse wird weiter in der mannigfaltigsten Weise modificirt durch die derselben eingelagerten Körper, seien diese fester oder flüssiger Natur (Fettkörnchen, Oeltröpfchen, Chlorophyllkörner etc.) Die Einlagerungen, namentlich wenn es feste Körper sind, werden einerseits dadurch, dass die protoplasmatische Masse an ihnen adhärirt und andererseits durch ihre gegenseitige Adhäsion das Eindringen von Flüssigkeitsmolekülen erschweren. Protoplasma mit vielen Einlagerungen wird also weniger geeignet sein, Flüssigkeit aufzunehmen, als relativ homogenes, reines Protoplasma.

Nach dem Gesagten können die Moleküle der protoplasmatischen Grundsubstanz durch die Wassertheilchen gesprengt werden oder nicht. Diese Trennung kann

noch modifizirt werden durch denselben eingelagerte Substanzen. Der Gehalt an Imbibitionsflüssigkeit wird daher in den einzelnen Theilen des Protoplasmas ein sehr verschiedenartiger sein. Die wasserreichen Stellen erscheinen gewöhnlich heller und brechen das Licht weniger, während die verhältnissmässig wasserarmen Theile weniger durchsichtig sind und das Licht stärker brechen. In grösseren Massen von lebenskräftigem Protoplasma kann man bei stärkerer Vergrösserung solche Verhältnisse deutlich sehen. In Conidienträgern von verschiedenen Mucor-Arten sieht man in günstigen Fällen z. B. das Protoplasma differenzirt in ein Netz von dichterem Protoplasma. In den Maschen dieses Netzes findet man helleres, wasserreicheres Protoplasma.

Lässt man nun zu einem solchen Conidienträger allmähig Wasser zufließen, so findet man, dass gerade an diesen hellern, wasserreicheren Stellen die Flüssigkeit Lücken reißt, welche bestrebt sind, Kugelform anzunehmen. Es sind dieses die Vacuolen. Die Vacuolen entstehen also an den wasserreichsten Stellen des Protoplasmas oder überhaupt da, wo die Flüssigkeit am leichtesten eindringen kann. Wie hier im Versuch, so geschieht das Gleiche vielfach in normaler Weise in pflanzlichen Zellen.

Welche Bedeutung bei der Vacuolenbildung die Einlagerungen besitzen, kann man durch folgendes Experiment deutlich machen. (S. Fig. 1.) Man lässt Protoplasma aus Vaucheria-Schläuchen allmähig in Wasser treten. Es sucht sich dasselbe in sphäroidische Ballen zu formen. In dem einen oder andern Ballen findet man Gruppen von an einander haftenden, Chlorophyllkörnern, dazwischen helles Protoplasma mit wenigen

Einlagerungen. In diesem letzteren entstehen nun die ersten Vacuolen (vergl. die Abbildungen in: Sachs, Lehrbuch der Botanik, IV. Auflage, pag. 42.).

Die Stellen, wo sich Vacuolen bilden, enthalten lösliche Substanzen. Keine der genannten Kräfte des Protoplasmas vermag die Continuität von unlöslichem Protoplasma aufzuheben, und nur die eigene, sprengende Kraft der Wassermoleküle kann in löslichem Protoplasma Lücken bilden.

Sehr stark wird die Wassereinlagerung modifizirt durch feste Membranen, welche das Protoplasma einschliessen (Zellhaut). Schon durch die Adhäsion des Protoplasmas an der Membran wird die, derselben angrenzende, Schicht verdichtet. Aber die Wassereinlagerung wird nicht nur dadurch, dass dieses anliegende Protoplasma dichter ist, erschwert, sondern die freie Bewegung sowohl der Wassermoleküle, als auch der Protoplasmatheilchen wird gestört durch die feste Wand, an der sie abprallen, und indem sie selber den neu gegen dieselbe anstürmenden Molekülen entgegentreten. Aus den gleichen Gründen wird die Einlagerung in Winkeln oder Ausbuchtungen der Zellhaut erschwert, weil hier die Moleküle sich gegenseitig noch mehr in den Weg treten. Im Innern einer Zelle wird die Einlagerung eine viel leichtere sein, da sich die Moleküle besser ausweichen und neue Theilchen zwischen die vorhandenen eindringen können.

Diese grössere Beweglichkeit der inneren Theilchen können wir sogar durch das Mikroskop sehen, wenn wir wasserreiches Protoplasma z. B. aus dem Conidienträger eines Mucor in Wasser austreten lassen. Dasselbe formt sich, aus nachher anzugebenden Gründen zu einem sphäroidischen Körper, dessen peripherische

Theile verhältnissmässig dichter sind, als die innern und verhalten sich wie eine dünne Membran. Dieselben sind nun, wenn das Protoplasma wässerig genug ist, in jener eigenthümlichen Bewegung, die man als Brown'sche Molekularbewegung bezeichnet. Diese ist im Innern der Protoplasmanasse sehr deutlich, nimmt nach der Peripherie ab und hört in derselben gänzlich auf. Entreisst man durch wasserentziehende Mittel dieser Masse allmählig von ihrem Imbibitionswasser, so schwindet diese Bewegung ebenso allmählig, und hört, wenn das Protoplasma eine gewisse Dichtigkeit erlangt hat, vollständig auf.

Die Dichtigkeit des Zelleninhaltes würde also, wenn nur die angegebenen Bedingungen in Betracht kommen würden, von aussen nach innen abnehmen. Allein wir finden in den meisten Fällen in der Zelle einen Kern differenzirt, der verhältnissmässig eiweisshaltiger ist, als seine Umgebung. Vielleicht ist diese Bildung eines Zellkerns, zum Theil wenigstens, auf die Lagerung der verschiedenartigen Substanzen des Protoplasmas nach ihrem verschiedenen specifischen Gewicht zurück zu führen. Die peripherische Schicht des Kernes ist verhältnissmässig dichter, als ihre Umgebung, und so werden wir finden, dass auch hier durch die Adhäsion des Zellinhaltes am Kern die Einlagerung von Wasser erschwert wird. Wenn daher Vacuolen sich bilden, so werden diese in einer Zone liegen, welche sich zwischen der peripherischen dichten Schicht (Primordialschlauch) und dem Kern und der ihm adhären den Schicht befindet.

Ist das Protoplasma frei, oder von einer Substanz umgeben, welche spezifisch leichter ist, als es selbst, so treten Erscheinungen an demselben auf, welche nach

einer Richtung hin diejenigen wiederholen, die an durch Zellmembranen eingeschlossenem Protoplasma, sich kundgeben. Jede freie Protoplasma-masse sucht nach Art einer Flüssigkeit Kugelgestalt anzunehmen, da sich die einzelnen Moleküle desselben möglichst zu nähern suchen. Aus diesem Grunde aber werden die Theilchen einer Flüssigkeit, respektive des Protoplasmas, welche eine gekrümmte Oberfläche bilden, nach dem Mittelpunkt derselben hindrücken. Je stärker gekrümmt die Oberfläche eines Protoplasma-balls ist, desto grösser ist das Bestreben der oberflächlichen Theilchen, sich in eine Ebene zu lagern, und desto stärker wird dieser Druck nach Innen in einer gleichen Ausdehnung an der Krümmungsoberfläche sein. Der Druck wird relativ stärker an kleineren Protoplasma-bällen; wir sehen desshalb, dass sich kleine abgerundete Protoplasma-massen in einer relativ wasserreichen Grundmasse wie feste Körper verhalten (Chlorophyll-körner, Zellkern etc.). Eine Erscheinung, die auch eine Ursache in der Eigenschaft gekrümmter Flüssigkeitsoberflächen hat, ist die Verminderung des Volumens einer Protoplasma-masse, wenn diese sich ab-rundet, oder noch mehr, wenn sie sich in mehrere kleinere, abgerundete Massen spaltet. Es tritt dann sehr häufig Wasser aus denselben aus, oder es wird in die entstehenden Lücken Zellstoff ausgeschieden.

Die zweite Hauptfrage soll sich mit der Betrachtung derjenigen Erscheinungen beschäftigen, welche bei der Vermehrung der protoplasmatischen Theile zu Tage treten, oder mit andern Worten, es wäre zu untersuchen, in welcher Weise aus der eingedrungenen Imbibitionsflüssigkeit neue feste Moleküle zwischen die schon vorhandenen eingeschoben werden. Die Ein-

lagerung neuer Moleküle bedingt zum Theil das Wachstum des Protoplasmas; allein auch die Wassereinlagerung wird ein solches herbeiführen, wenigstens nach dem jetzt geläufigen Begriff des Wachstums (vergl. Sachs, Lehrbuch der Botanik IV. Auflage, pag. 741).

Alle Thatsachen weisen darauf hin, dass relativ dichtes Protoplasma vorzüglich neue Masse einlagert, während wässriges diese Eigenschaft in geringerem Grade besitzt. Ob die Bildung dieser neuen Moleküle aus der Imbibitionsflüssigkeit dort stattfindet, wo ihre Einlagerung geschieht, ist sehr wahrscheinlich und es würden daher die chemischen Prozesse vorzüglich in dichtem Protoplasma verlaufen¹⁾.

Nach dem Früheren können wir aber noch beifügen, dass in dichtem Protoplasma neugebildete Substanz mehr zurückgehalten wird, als in wässrigem. Die Moleküle des dichten Protoplasmas sind einander mehr genähert, als diejenigen des wässrigen. Die Lücken in jenem sind enger als in diesem. Wenn daher einmal neue Moleküle in die engen Lücken des dichten Protoplasmas gerathen sind, so können sie nicht mehr leicht fortgespült oder weggesogen werden, da zudem noch die chemische und Massenanziehung hier eine bedeutendere sein wird, als in wässrigem. In diesem dagegen wird es den Einlagerungen eher gestattet sein, sich durch die Masse zu bewegen oder dieselbe sogar zu verlassen. Dichtes Protoplasma wird also, in gleichen Zeiträumen, bei glei-

¹⁾ Merkwürdig ist, dass gerade in dichtem Protoplasma wahrscheinlich die chemischen Vorgänge stattfinden, also da, wo die Einlagerungen unter höherem Druck stehen. Eine analoge Erscheinung haben wir in der Chemie, wo unter erhöhtem Druck viele Synthesen ausgeführt werden.

chen Ernährungsverhältnissen schneller an Masse zunehmen, als weniger dichtes, wässriges. Wir finden daher auch, dass Neubildungen von dichtem Protoplasma ausgehen.

Es wird nun weiter die Einlagerung von Imbibitionsflüssigkeit in dichtes Protoplasma eine schwierigere sein, als in wässrigem, da hier die Moleküle verhältnissmässig schon weiter von einander getrennt sind durch Flüssigkeitsschichten, und daher der sprengenden Wirkung der eindringenden Flüssigkeit die Arbeit dadurch erleichtert wird. Die, namentlich durch Flüssigkeitseinlagerung bedingte, Volumenzunahme des Protoplasmas, die Streckung, wird bei wässrigem Protoplasma schneller vor sich gehen, als bei dichtem.

Die schwierigsten Verhältnisse finden wir bei den Bewegungen des Protoplasma. Es sei daher auch nur für zwei derselben ein Versuch zu ihrer Erklärung gewagt.

Eine Erscheinung, die mit einer andern besprochenen einige Aehnlichkeit hat, ist die Bildung contractiler Vacuolen. Wir haben gefunden, dass die gewöhnlichen Vacuolen entstehen dadurch, dass die eindringende Flüssigkeit im Protoplasma Lücken bildet und zwar da, wo dieselbe den geringsten Widerstand findet und wo das Plasma die geringste Cohäsion besitzt. Die Vacuolenflüssigkeit sucht Kugelform anzunehmen, die umgebende protoplasmatische Wand ist also gekrümmt und ihre Theile drücken nach Innen. Die Vacuolenflüssigkeit wird daher immer unter einem bestimmten Druck stehen. Dieser Druck der Protoplasma wand wird im Allgemeinen um so mächtiger

sein, je stärker gekrümmt dieselbe ist. Derselbe resultirt aus dem Bestreben der Moleküle, sich möglichst zu nähern. Dieses Bestreben wird aber um so geringer, je grösser der Krümmungsradius, d. h. je grösser die Vacuole wird, und es werden die Moleküle der Vacuolenflüssigkeit in gleichem Mass immer weniger Widerstand leisten. Es ist nun denkbar, dass in bestimmt organisirtem Protoplasma ein Moment kommt, wo die protoplasmatische Wand der Vacuolenflüssigkeit nicht mehr Widerstand zu leisten vermag; es gibt einen oder mehrere Risse, durch welche das Wasser in das umgebende Protoplasma eindringt, welches verhältnissmässig weniger dicht ist, als die, die Vacuolen bildende Wand. Die Stelle aber, wo die Vacuole sich befand, würde in den meisten Fällen auch der geeignetste Ort sein, wo das Imbibitionswasser eine neue Lücke reisst, eine neue Vacuole bildet, die aber, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht hat, wieder platzt. Sehr interessant ist es, dass dieses Platzen der Vacuole um so schneller vor sich geht, je höher die Temperatur ist, vorausgesetzt, dass dieselbe die Natur des betreffenden Protoplasma nicht verändert.

Eine andere Erscheinung, die hieher gehört, ist die amöboide Bewegung des Protoplasmas. Die amöboiden Bewegungen vollziehen sich stets an freiem Protoplasma. Im Ruhezustand sucht dasselbe Kugelform anzunehmen; geht es aber in Thätigkeit über, so sehen wir einen oder mehrere Fortsätze aus der Peripherie hervorbrechen, die auch wiederum eingezogen werden können. Bildet sich namentlich ein Fortsatz aus, so rückt die weiter rückwärts liegende Masse nach und das Ganze kriecht auf seiner Unterlage dahin. Mit dem Austreiben und Einziehen von Fort-

sätzen geht eine Körnchenströmung im Innern der Masse Hand in Hand. Bildet sich eine Hervorragung, so sehen wir dabei zunächst das hyaline Protoplasma betheilt; es tritt aber sofort eine Strömung des Körnchen nach diesem Fortsatz ein, und zwar werden zuerst die zunächst liegenden davon ergriffen. Die Quelle der Strömung wird in dieser Weise immer weiter rückwärts verschoben und es kann sich dieselbe sogar in zwei oder mehrere Arme theilen. Wird ein Arm eingezogen, so wandern die Körnchen vom Fortsatz in die Masse hinein.

Die Erklärung, die ich hier gebe, schliesst sich an die Wassereinlagerung in das Protoplasma an. In jedem Protoplasma können wir Stellen verschiedener Dichtigkeit voraussetzen. An einer Stelle des peripherischen Protoplasmas geschehe die Einlagerung leichter, als an den andern Stellen des Umfangs. Die vermehrte Einlagerung bewirkt vermehrte Volumenzunahme, die sich durch Hervortreten einer Protuberanz an der Peripherie des freien Protoplasmas geltend macht. Hiebei muss der Widerstand der stärker gekrümmten Oberfläche des Fortsatzes überwunden werden. Ginge diese Wassereinlagerung weiter, so würde schliesslich an der betreffenden Stelle eine Vacuole entstehen, allein das benachbarte, dichtere Protoplasma sucht das Gleichgewicht wieder herzustellen, dadurch, dass die eingelagerte Flüssigkeit von demselben Theilchen abspaltet und in den Fortsatz führt. Die eingelagerten Körner werden passiv mitgezogen. Auf diese Weise wird der Strom rückwärts um sich greifen und die Theilung desselben ist nach dem Gesagten leicht zu erklären.

Das Finziehen des Fortsatzes ist zurückzuführen auf die Wirkung gekrümmter Flüssigkeitsoberflächen.

Ein Bild dieses Vorganges haben wir an jedem, auf Wasser schwimmenden Oeltropfen, den man in einen Fortsatz ausgezogen hat. Die am stärksten gekrümmte Fläche an der Spitze desselben wird ihn nach Innen drücken. Die nach Aussen concaven Stellen der Oberfläche am Ursprung des Fortsatzes werden übereinstimmend wirken. Kurz, die Form wird sich so lange verändern, bis die Oberfläche an allen Orten gleichmässig gekrümmt ist, daher Kugelform angenommen hat.

Das Nachschieben der rückwärtsliegenden Masse bei einer kriechenden Bewegung des Protoplasmas ist ebenfalls auf Wirkungen gekrümmter Oberflächen zurückzuführen.

Dass bei diesen Erscheinungen die Wassereinlagerung wesentlich in Betracht kommt, beweist erstens, dass die Beweglichkeit mit steigendem Wassergehalt, zweitens, dass dieselbe mit der Temperatur zunimmt, so lange das Protoplasma nicht durch die Wärme verändert wird, und drittens, dass durch Einlagerungen die Beweglichkeit erschwert wird.

Die strömende Bewegung des Protoplasmas, die Circulation und Rotation desselben, die Schwärmsporenbildung lassen kaum eine sehr hypothetische Erklärung zu. Es scheint aber, dass die verschiedenartige Einlagerung von Imbibitionsflüssigkeit auch hier eine wichtige Rolle spielt. Dabei können auch durch äussere Ursachen veranlasste Störungen Anlass zu solchen Bewegungen geben (Die Saftströmung nach dem Scheitel bei *Chara* und *Nitella*.).

b. Molekularkräfte der Zellhaut.

Die Structur der Zellhaut ist namentlich von Nägeli dargethan worden und die Molekularkräfte, die bei

ihrer Bildung zur Geltung kommen, sind von ihm in der gründlichsten Weise gewürdigt worden. (Vergleiche Nägeli, botanische Mittheilungen im Sitzungsbericht der k. bair. Akad. d. Wissensch. 1862. 8. März pag. 183 ff., Sachs, Handbuch d. physiologischen Bot. pag. 398. Sachs, Lehrbuch d. Bot. IV. Aufl. pag. 635, Hofmeister, Lehre v. d. Pflanzenzelle pag. 47 ff.). Die polarisirenden Eigenschaften, die Schichtung und Streifung der Membranen lassen auf eine Anordnung der Moleküle derselben schliessen, welche derjenige der Krystallmoleküle analog ist. Die Zellhäute bestehen aus unlöslicher, aber imbibitionsfähiger Substanz. Nägeli glaubt nun, die Anziehung der Moleküle für Wasser genüge zur Erklärung der Imbibition; allein es werden auch hier die eigenen, sprengenden Kräfte des Wassers zur Geltung gelangen.

Die Einlagerung der Nährflüssigkeit mit den, von ihr mitgebrachten Nährstoffen wird nun auch, wie bei dem Protoplasma unter den verschiedenen Bedingungen nach verschiedener Weise vor sich gehen. Die Einlagerung in dichten Stellen der Zellhaut wird eine andere sein, als in weniger dichten. Wir finden die Zellmembran häufig differenzirt in dichtere, wasserärmere und in weniger dichte, wasserreichere Schichten. Ebenso in dichte und weniger dichte Streifen. So lange nun die Cohäsion der Membranmoleküle nachtheilig einwirkt, werden die dichteren Stellen wie dichteres Protoplasma kräftige Nahrung aufsaugen und festhalten und daher auch eine zwar nicht raschere aber kräftigere Massenvermehrung bewirken. Wir finden daher Verdickungen der Zellhaut namentlich in das Zelllumen hinein mit diesen dichten Parthien in Verbindung.

Auch die in gekrümmten Oberflächen gelagerten Membranmoleküle werden, wie die Protoplasmamoleküle bestrebt sein, sich in eine Ebene zu lagern. Es werden daher solche gekrümmte Zellmembranparthien nach dem Mittelpunkt der Krümmung hindrücken. Wenn z. B. drei Membranlamellen sich in einem Punkte vereinigen (S. Fig. 2), wie wir dies bei drei in einem Punkte zusammenstossenden jungen Zellen finden, so wird jede Lamelle nach dem Zellumen hindrücken. Es suchen sich dieselben zu trennen und es wird deshalb in dem Punkte, wo sie zusammentreten, eine stets weniger dichte Membran sein, oder es kann sogar geschehen, dass die Lamellen dort auseinander weichen, so entsteht ein Intercellularraum. Auf diese Weise lassen sich die meisten Intercellularraumbildungen erklären (Vergl. Fig. 2.).

An einer gekrümmten Zellmembran besitzt die Membranschicht an der convexen Seite einen grössern Krümmungsradius, als diejenige der concaven. Die Letztere wird daher dichter sein als die Erstere (Beispiele: Cladophora - Conferva etc.). Wie sehr die Krümmungen der Zellhaut auf die Dichtigkeit derselben einwirken, lässt sich leicht an Zygnema- und Confervafäden zeigen. Man schneidet dieselben mittelst eines scharfen Messers oder einer Scheere in kleinere Stücke und lässt dann dieselben in Wasser weiter vegetiren. Wir sehen dann, dass an solchen Querwänden, die, wenn sie noch von beiden Seiten von dem turgescirenden Inhalt der Zelle beeinflusst werden, biconcav sind, die Wand nach einer Seite hin gekrümmt wird, sobald die eine angrenzende Zelle zerschnitten ist. Die Convexität geht nach der zerstörten Zelle. Die eine concave Fläche der frühern Querwand wird nun

zu einer convexen und die frühere, dichtere Schicht ist nun zu einer weniger dichten, wasserreicheren geworden; ja, sie kann sogar nach einiger Zeit in den gequellten Zustand übergehen.

Auch durch äussere Ursachen kann die Zellmembran in ihren Dichtigkeitsverhältnissen und Wachstumserscheinungen beeinflusst werden. Eine solche, für die Membran äussere Ursache, ist der Turgor des Zellinhaltes. Durch denselben werden, wenn keine andere Ursache entgegen steht, die Moleküle der Membran auseinander gezogen und es können sich desswegen Flüssigkeits- und feste Moleküle zwischen die vorhandenen leichter einlagern. Der Turgor des Zellinhaltes begünstigt das tangential Wachsthum der Zellhaut. Zu dieser Erscheinung gehört die oft angeführte Thyllenburgbildung.

Der äussere Druck auf die Zelle dagegen, z. B. der von benachbarten Zellen auf eine Gewebezelle, wird die Ausbildung der Membran derselben beeinträchtigen und in erster Linie dem Turgor entgegen wirken; oder es wird sich mit andern Worten in erster Linie die Wasserimbibition im Protoplasma verlangsamen und dadurch auch die Zerrung, und desswegen auch das tangential Wachsthum verringern. Beispiele, welche das Gesagte erläutern, bilden die Callusbildungen. Wird z. B. an einer Wurzel die Spitze nur wenig weggeschnitten, so dass an der Schnittfläche noch lebensfähige Zellen sind, so dehnen sich diese nun unter dem geringeren Drucke mehr aus, vermehren ihr Volumen rascher, wesshalb auch die Zellhaut in tangentialer Richtung schneller wachsen muss.

Fördernd auf die Ausdehnung der Zellhaut wirkt Zug. An einem jungen Internodium, z. B. von Sam-Bern. Mittheil. 1874. Nr. 851.

bucus nigra, suchen die negativ gespannten Zellen des Markes sich zu strecken und wirken daher zerrend auf die peripherischen, positiv gespannten Zellen. Diese werden also durch jene Zerrung schneller wachsen, als sie es von sich aus thun würden; dagegen werden die Markzellen durch die peripherischen in ihrem Wachstum behindert. Werden sie isolirt, so dehnen sie sich aus, während die peripherischen sich oft verkürzen.

Wenn durch irgend eine Ursache ein Flüssigkeitsstrom durch eine bestimmte Stelle einer Zellhaut passiert, so werden die Moleküle daselbst in ihrer Ruhelage gestört. Es werden durch diese Strömung Einlagerungen fortgeführt, und es geht Alles darauf hinaus, die Membranen an der betreffenden Stelle zu lockern. Diese Lockerung kann nun zweierlei zur Folge haben, entweder nimmt die Wand an dieser Stelle durch kräftige Wassereinlagerung rasch an Volumen zu, quillt oft auf (Querwände in Siebröhren), oder es kann die Wand hier weggeführt, resorbirt werden (Resorbtion der Querwände in Gefäßzellen, Resorbtion der Scheidewände zwischen Porenkanälen bei Tüpfelzellen, der Scheidewand bei Copulationsschläuchen der Conjugaten, Bildung H-förmiger Hyphen).

Da die Zellhaut sich aus dem Protoplasma aussondert, so werden die Eigenschaften desselben auch auf die Art und Weise der Ausbildung der Membran einen wesentlichen Einfluss ausüben. Dichtes Protoplasma hält seine Einlagerungen, also auch die zu Cellulose sich gestaltende Substanz zäher fest, als wasserreiches; es wird daher eine Membran, die an dichtes Protoplasma grenzt, langsamer an Masse zunehmen können, als eine Wand, die aus wasserreichem, aber noch kräftigem Protoplasma ihre Baustoffe saugen

muss. Wir sehen z. B. in fortwachsenden Axen, dass die jugendlichen, mit dichtem Protoplasma gefüllten Zellen mit dünnen, gleichartig verdickten Membranen umgeben sind, während Zellhäute rasch sich verdicken, obschon ihr tangenciales Wachsthum ein bedeutendes ist, wenn das Protoplasma eine gewisse Wässerigkeit erlangt hat. Diese Verdickungen betreffen oft nur einzelne Stellen der Zellhaut (Ring-, Spiralfaser-, Nutzzellen, etc.). Es ist nun sehr wahrscheinlich, dass in einer Zelle, in welcher der protoplasmatische Wandbeleg an verschiedenen Stellen eine verschiedene Dichtigkeit besitzt, derselbe der Zellhaut auch verschiedene Wachsthumseigenschaften erzeugen kann. Nach diesem läge ein Theil der verschiedenartigen Ausbildung der Zellhaut schon in einer Differenzirung des Protoplasmas.

c. Zellvermehrung.

Die Literatur über die Art und Weise der Zellvermehrung ist eine sehr weitläufige; diejenige aber, welche die Erklärung derselben sich zur Aufgabe nimmt, ist wenig umfangreich und sehr zerstreut.

Sowohl Zelltheilung als freie Zellbildung (von den andern mehr ausnahmsweisen Zellbildungen sehe ich hier ab) wird auf eine Tropfenbildung zurückgeführt. Namentlich sucht dies Hofmeister in seiner Lehre von der Pflanzenzelle, pag. 69 ff., darzuthun und weist darauf hin, dass, wenn das Protoplasma ein gewisses Volumen erlangt, es sich dann in zwei Theile spaltet. Es kann aber die Zellvermehrung oder vielmehr die Sonderung des Protoplasmas in zwei oder mehrere Ballen kaum nur als eine Tropfenbildung angesehen werden. Es wäre nicht abzusehen, warum ein Protoplasmaleib, in eine Zellhaut eingeschlossen, auf

den Gedanken käme, sich in zwei Massen zu theilen, ebenso wenig, wie diess eine eingeschlossene Flüssigkeit thun wird, so lange sie das Gefäss erfüllt.

Wenn sich ein Protoplasmaklumpen in zwei oder mehrere Theile spalten soll, so müssen zunächst zwei oder mehrere Anziehungscentra gegeben sein. Es muss durch irgend eine Ursache, z. B. bei der Zelltheilung das Centrum der Anziehung, aus dem ungefähren Mittelpunkt der Masse nach zwei, seitlich von diesem gelegenen Punkten verlegt werden dadurch, dass zu beiden Seiten sich mehr Masse befindet. Den Grund zu einer solchen Massenvertheilung in der Zelle finde ich in der Vertheilung der verschiedenen Substanzen des Protoplasmas nach ihrem spezifischen Gewicht und der verschiedenen Dichtigkeit des Protoplasmas an der Zellwand (respective Primordialschlauch) und in ihren Ausbuchtungen.

Bei der Zelltheilung tritt eine Sonderung des Protoplasmas einer Zelle in zwei Ballen ein, welche durch eine, an die Mutterzellwand sich anlehrende Membran geschieden werden. Um die Gründe deutlich zu machen, welche mich zu der oben geäusserten Ansicht geführt haben, will ich die Erscheinung der Zelltheilung an einem bestimmten Beispiele besprechen.

An einer cylindrischen Zelle irgend eines Confervenfadens, deren Längsdurchmesser grösser, als der Querdurchmesser des Cylinders ist, haben wir nach dem frühern dichtes Protoplasma an den Wandungen und vorzüglich in beiden Cylinderenden, und hier noch am ausgesprochensten in dem Winkel, wo Querwand und Cylinderaussenwand der Zelle zusammenstossen. Je mehr die Zelle sich streckt, desto grösser werden die Unterschiede der Dichtigkeit im Centrum der Zelle

und an den beiden Enden derselben. Zudem werden sich auch die specifisch leichteren Fette vorzüglich nach Aussen begeben, während die Eiweissstoffe, die für Wasser sehr imbibitionsfähig sind, mehr nach dem Mittelpunkt der Zelle gehen. In dieser Weise wird die Differenz der Dichtigkeit des Protoplasmas im Centrum und in den Enden der Zelle noch erhöht. Den Nachweis, dass in den Enden der Zelle mehr Masse und weniger Wasser, in der Mitte reichliches Wasser ist, kann man so leisten, dass man auf die Zelle allmählig eine wasserentziehende Substanz (z. B. eine leichte Zuckerlösung) einwirken lässt. Wir erhalten dann eine 8-förmige (Fig. 4), also in der Mitte eingeschnürte Gestalt des Zellinhaltes. Durch Auseinanderrücken dieser eigentlichen Massen des Protoplasmas kann es dahin kommen, dass sich das Uebrige um diese beiden Massen, als um zwei Massencentren, lagert. Aber noch eines wird bei der Bildung dieser Massen in den beiden Enden der cylindrischen Zelle mitwirken, nämlich die Art des Wachsthums der Membran. Die gekrümmte Cylinderfläche der Zelle drückt nach innen, und dieser Druck wird durch Einlagerung neuer Moleküle zwischen die vorhandenen, also dem Wachsthum der Zellwand in tangentialer Richtung hinderlich sein. Der Turgor der Zelle kann daher die gewölbte Wand leichter in der Längenrichtung auseinander zerren, also in dieser Richtung ihr Wachsthum begünstigen. Die Zelle wächst also vielmehr in die Länge, als in die Dicke, der Cylinder wird länger. Da aber die dichten Massen an den Enden des Cylinders haften, so werden sie bei der Streckung desselben immer weiter auseinander gerückt, während das weiter nach innen gelegene Protoplasma sich leichter mit Flüssigkeit imbibiren kann. So wird

auch durch dieses Wachthum der Zellhaut die Sondierung des Protoplasmas in oben ausgesprochenem Sinne begünstigt. Aus dem Letztern erklärt sich aber auch das allgemeine Gesetz, dass die Theilungswand senkrecht auf der Richtung des Wachstums steht. Wir können aber nach Obigem auch die Theilung der Zellen begreifen, bei welcher die Theilungswand parallel mit dem Längendurchmesser verläuft, z. B. bei Ulothrix-Arten und vielen Diatomeen. Bei letztern kommt aber auch noch die specifische Beschaffenheit und Lage der Membranhälften in Betracht.

Versuche, welche uns das Gruppiren der Moleküle in zwei oder mehrere Massencentra veranschaulichen, lassen sich mit Zygnema- und Confervafaden anstellen (S. Fig. 5). Lässt man von ersterem Genus Faden halb vertrocknen, bringt dieselben nach mehrmaligem Hin- und Herbiegen unter das Mikroskop, so findet man in vielen Zellen den Inhalt gleichartig vertheilt, in andern hat er sich in zwei gleiche Klumpen geschieden, die vielleicht noch adhären. In noch andern ist die Theilung der Massen eine sehr ungleiche. Hie und da finden wir auch mehr als zwei Ballen. Bringt man nun so behandelte Faden wieder in Wasser, so fangen die meisten an, wieder zu vegetiren, und hiebei zeigt es sich, dass die Massen, ob gleich oder ungleich, zwei oder mehr, sich trennen und zwischen sich eine Membran ausstossen. Ein solcher Faden besitzt nachher lange noch Zellen von verschiedener Mächtigkeit und Länge. Was nun die freie Zellbildung betrifft, so können wir, um dieselbe verständlich zu machen, an die Thatsache erinnern, dass durch Einlagerungen, Membranverhältnisse, etc., das Protoplasma in seinen verschiedenen

Theilen sehr ungleichmässig ist. So können wir uns bei einer verhältnissmässig grössern und wohl differenzirten Protoplasmamasse leicht den Fall denken, dass sich um eine oder mehrere dichte Portionen des Protoplasmas die übrige Masse vollständig oder nur theilweise gruppirt und sich um diese Klumpen eine neue Membran bildet, so dass nun in einer Mutterzelle eine oder mehrere neue enthalten sind.

Es wird nach dem Gesagten die Zellvermehrung eine Lagerung der Moleküle des Protoplasmas nach der verschiedenen Dichtigkeit und nach der Ungleichheit der Einlagerungen, entsprechend den Gleichgewichtsverhältnissen, anzusehen sein. Dass wirklich diese Gleichgewichtsverhältnisse hier wesentlich eingreifen, beweist der Umstand, dass hauptsächlich Zellen mit relativ ruhendem Protoplasma sich theilen, während solche mit bewegtem Inhalt, wo Theile verschiedener Dichtigkeit durcheinander gemischt werden, sich weniger häufig theilen (Zellen an Vegetationsspitzen, Zellen am Umfang einer Axe verglichen mit Zellen in weiter rückwärts und tiefer liegenden Gewebezellen).

Bei der Theilung kommt auch die Form der Zelle sehr in Betracht und es werden namentlich vorgezogene Winkel mit dichtem Protoplasma den Ort eines Massencentrums bilden können. So werden dann, um mit Cramer zu reden, „immer die vorgezogenen Winkel einer Zelle abgeschnitten.“ (Physiologisch-systematische Untersuchungen über die Ceramiaceen, von Dr. C. Cramer, pag. 32. — Vergl. Fig. 3).