

# Über die diosmotischen Eigenschaften der Pflanzenzelle.

Von

ARTHUR TRÖNDLE.

(Zürcher Antrittsvorlesung 1. Juli 1916.)

(Als Manuskript eingegangen am 8. Juli 1916.)

Die beiden hervorragenden Pflanzenanatomen des 17. Jahrhunderts Marcello Malpighi und Nehemia Grew fanden, dass die Substanz der Pflanzenorgane nicht homogen ist, sondern aus einem System kleiner, von blossem Auge nicht mehr sichtbarer Kämmerchen besteht. Sie verglichen diese Struktur mit dem Bau der Bienenwabe und nannten deshalb diese kleinen Kämmerchen Zellen. Als das Wesentlichste an diesen Zellen erschienen damals die Wände, während man über ihren Inhalt noch keine klaren Vorstellungen hatte.

Erst zwischen 1840 und 1845 tat die Forschung wieder einen wesentlichen Schritt vorwärts. In diesen Jahren erkannte nämlich Hugo v. Mohl, dass die Zellen, die Kämmerchen, einen lebenden Bewohner haben, eine vielfach gekörnelte, vielfach mehr oder weniger hyaline, farblose Substanz von halbfüssiger Konsistenz, der er den Namen Protoplasma beilegte. Im weitem Ausbau dieser Beobachtung durch verschiedene Forscher zeigte sich, dass in den embryonalen Geweben das Protoplasma den ganzen Zellraum anfüllt. Wenn die Zellen älter werden, so gehen, abgesehen von den eventuellen Änderungen der Form, auch im Protoplasma charakteristische Veränderungen vor sich. Es entstehen einzelne kleine Hohlräume, Vakuolen. Mit zunehmender Vergrösserung der Zellen vergrössern sich auch diese Vakuolen, sie vereinigen sich schliesslich zu zwei oder mehreren, so dass meistens nur eine einzige zentrale grosse Vakuole vorhanden ist. Diese Vakuole wird dann umgeben von einer dünnen Schicht von Protoplasma, die ihrerseits der Zellwand ringsherum dicht anliegt.

Die Vakuole enthält Flüssigkeit. Das ist nicht reines Wasser, sondern eine Lösung. Es sind darin enthalten Salze, Säuren, Zuckerarten usw., vielfach auch Farbstoffe. Diese Stoffe werden vom Protoplasma nicht nach aussen durchgelassen, solange es lebend ist, sie exosmieren erst, wie Nägeli 1855 fand, wenn man das Proto-

plasma abtötet. Hand in Hand mit dieser Exosmose geht eine Erschlaffung der Zellwand. Solange das Protoplasma lebend ist, wird es durch einen in der Vakuole vorhandenen Druck, wie Nägeli zeigte, der Zellwand ringsum angepresst, wodurch diese gespannt wird. Dieser Druck muss deshalb bedingt sein dadurch, dass in der Flüssigkeit der Vakuole, im Zellsaft, gelöste Stoffe vorhanden sind und dass diese Stoffe vom Protoplasma nicht nach aussen durchgelassen werden. Der Schluss auf die Richtigkeit dieser Anschauung ist zu erbringen durch ein Experiment, das bereits Nägeli richtig gedeutet hat. Legen wir eine Zelle nicht in reines Wasser, sondern in eine Lösung, zum Beispiel in eine Rohrzucker- oder Kochsalzlösung, so muss, wenn die oben entwickelte Anschauung richtig ist, dem Innendruck des Zellsaftes ein Druck von aussen entgegenwirken. Bei einer bestimmten Konzentration der Aussenlösung beobachtet man nun in der Tat, dass die Zelle sich verkürzt, wobei die Spannung der Zellwand aufgehoben wird. Wählt man die Konzentration etwas höher, so beginnt das Protoplasma sich in den Ecken der Zelle von der Zellwand loszulösen. Diese Loslösung wird mit zunehmender Konzentration der Aussenlösung stärker und es kann schliesslich so weit kommen, dass das Protoplasma in Form einer Kugel frei im Hohlraum der Zelle drin liegt. Das ist die Erscheinung, die wir heutzutage als Plasmolyse bezeichnen. Damit soll, wie wir oben auseinandergesetzt haben, nicht eine Lösung des Protoplasmas, sondern eine Loslösung von der Wand gemeint sein. Der Druck der Lösungen, von dem wir gesprochen haben, führt den Namen osmotischer Druck.

Wie gross ist nun der osmotische Druck der pflanzlichen Zellen? Die Lösung dieser Frage gelingt auf folgende Weise. Bereits Nägeli setzte auseinander, dass eine Lösung, die gerade eben das Abheben des Protoplasmas, also den Beginn der Plasmolyse hervorruft, denselben (in Wirklichkeit etwas höhern) osmotischen Druck besitzt wie der Zellsaft. Die Frage auf unsere Antwort ist also gegeben, wenn wir den osmotischen Druck dieser Aussenlösung kennen. Hier wurde das Problem von Pfeffer (1877) weiter verfolgt. Mit Hilfe eines genial erdachten, nach dem Vorbilde der pflanzlichen Zelle konstruierten Apparates gelang es ihm, was man bis dahin nicht gekonnt hatte, die osmotischen Drucke verschiedener Lösungen von Kristalloiden, wie z. B. des Rohrzuckers, direkt zu messen. Eine genaue Bestimmung des osmotischen Druckes war hingegen bei andern Stoffen, wie z. B. den Salzen, nicht oder nur innerhalb gewisser Grenzen möglich. Hier halfen weiter Untersuchungen von Hugo de Vries 1884. Er bestimmte die Konzentrationen verschie-

dener Stoffe, die eben Plasmolyse hervorriefen. Diese Konzentrationen mussten den gleichen osmotischen Druck ausüben, sie waren isotonisch, wie de Vries das ausdrückte. Innerhalb gewisser Gruppen waren die isotonischen Lösungen zugleich auch äquimolekular, Salzlösungen übten aber immer einen höhern osmotischen Druck aus als äquimolekulare Rohrzuckerlösungen. De Vries drückte diese Verhältnisse zahlenmässig aus. Man war durch diese Untersuchungen von Pfeffer und de Vries in den Stand gesetzt, den osmotischen Druck der Pflanzenzellen mit ziemlicher Genauigkeit zu bestimmen und den Anteil, den die einzelnen im Zellsaft gelösten Stoffe daran nehmen, zu berechnen.

Soweit hatten die Botaniker die Probleme des osmotischen Druckes gefördert und, wenigstens in praktischer Hinsicht, gelöst, als van 't Hoff im Jahre 1885 auf die experimentellen Ergebnisse von Pfeffer und von de Vries seine berühmte Theorie des osmotischen Druckes aufbaute. Diese Theorie ist heutzutage so bekannt, dass ein paar wenige Worte darüber genügen mögen. Nach van 't Hoff's Anschauung ist der osmotische Druck ein Analogon zum Gasdruck. Für beide gelten dieselben Gesetze. Gleichwie der Gasdruck zustande kommt durch die fortschreitende Bewegung der Moleküle des Gases, so der osmotische Druck durch die fortschreitende Bewegung der Moleküle und Ionen des gelösten Stoffes.

Diese Theorie ist für uns von Wichtigkeit, weil wir uns mit ihrer Hilfe ein klares Bild der Entstehung des osmotischen Druckes in der Zelle und der Plasmolyse machen können. Denken Sie sich, wir hätten ein Glas Wasser, in das wir ein Stück Zucker hineinwerfen. Der Zucker beginnt sich zu lösen, es steigen Schlieren auf, die kleinsten Teilchen, die Moleküle entfernen sich voneinander, es entsteht eine Diffusionsbewegung in das Wasser hinaus. Die Moleküle haben das Bestreben, sich in der ganzen zur Verfügung stehenden Wassermenge gleichmässig auszubreiten. Der Gleichgewichtszustand ist erreicht, wenn die Konzentration des Stoffes in der ganzen Wassermasse überall dieselbe geworden ist. Nun legen wir in das Glas Wasser nicht ein Stück Zucker, sondern eine Zelle. In der Zellwand ist Wasser enthalten, ebenso im Protoplasma. Es steht deshalb das Wasser der Vakuole in direktem, ununterbrochenen Zusammenhang mit dem Aussenwasser. Die Moleküle und Ionen der Stoffe, die in der Vakuole gelöst sind, haben das Bestreben, sich in der ganzen zur Verfügung stehenden Wassermenge gleichmässig auszubreiten. Es entsteht im Zellsaft eine Diffusionsbewegung nach aussen hin. Dabei gelangen die Moleküle und Ionen aber an das Protoplasma und hier können sie nicht weiter, weil das

Protoplasma sie nicht durchlässt. Die Folge davon ist ein Druck auf das Protoplasma. Da es weich ist, gibt es diesem Druck nach und der Druck überträgt sich auf das feste Widerlager, die Zellwand, die dadurch gespannt wird. Die ganze Zelle wird auf diese Weise straff und fest, genau so, wie ein schlaffer Kautschukballon fest und hart wird, wenn man unter Druck Luft hineinpresst. Legen wir nun eine Zelle nicht in reines Wasser, sondern in eine Lösung, z. B. eine Rohrzuckerlösung, so entsteht der umgekehrte Vorgang. Die Moleküle und Ionen in der Aussenlösung haben das Bestreben, in die Vakuole hinein zu diffundieren. Sie bewegen sich dabei im Imbibitionswasser der Zellwand glatt vorwärts. Nun aber kommen sie an das Protoplasma, und hier wird ihrer Bewegung Halt geboten, weil sie nicht durchgelassen werden. Die Folge davon ist ein Druck von aussen her auf das Protoplasma. Sobald dieser Druck ganz wenig höher ist als der Innendruck, muss die Plasmolyse beginnen.

Die Höhe des osmotischen Druckes in der Zelle liegt meistens zwischen 5—10 Atm. In gewissen Fällen, wie z. B. in den Zellen des Palisaden- und Schwammparenchyms der Blätter, ist er vielfach beträchtlich höher und kann 20—30 Atm. betragen. Eine der Bedeutungen des osmotischen Druckes für die Pflanze ist darin zu sehen, dass dadurch die Zellen und damit die Gewebe straff werden, wodurch besonders in den jungen, noch wachsenden Teilen ein besonderes Skelettsystem unnötig gemacht wird.

Nach dem, was wir oben auseinandergesetzt haben, ist die Entstehung eines osmotischen Druckes in der Zelle gebunden an die Eigenschaft des Protoplasmas, gelöste Stoffe nicht durchtreten zu lassen. Es scheint, dass sich das Protoplasma verhält wie eine semipermeable Membran, die wohl das Lösungsmittel, nicht aber den gelösten Stoff durchlässt. Wenn wir nun aber geneigt sind, dem Protoplasma die Eigenschaften einer semipermeablen Membran zuzuschreiben, so scheint sich hier ein grosser Widerspruch zu ergeben. Der Zellsaft enthält ja gelöste Stoffe, die nicht in der Vakuole entstanden sind, sondern die von aussen her dort hineingekommen sein müssen, wie z. B. die Salze, die aus dem Bodenwasser aufgenommen werden. Darunter befinden sich solche, die der Pflanze für ihre Ernährung unbedingt nötig sind. Auf Grund solcher Erwägungen muss man zum Schlusse kommen, dass das Protoplasma für gelöste Stoffe doch auch durchlässig sein muss. Es hat nun bereits Pfeffer an verschiedenen Stellen darauf aufmerksam gemacht, dass die Semipermeabilität des Protoplasmas keine absolute Eigenschaft ist, sondern dass das Protoplasma die Fähigkeit haben muss, gewisse Stoffe unter gewissen Umständen durchzulassen. Pfeffer selbst wies nach,

dass gewisse Anilinfarben, wie Methylenblau, mit Leichtigkeit das Protoplasma zu durchwandern vermögen. Im Innern der Vakuolen verbindet sich das Methylenblau mit Gerbstoff und es entsteht in einiger Zeit ein Niederschlag von gerbsaurem Methylenblau. Klebs und zugleich de Vries (1888) fanden im Glyzerin einen Stoff, der ziemlich leicht eindringt und de Vries beobachtete bald darauf, dass Harnstoff noch wesentlich schneller aufgenommen wird. Einige Jahre später begann Overton seine ausgedehnten Untersuchungen über Stoffaufnahme. Dadurch wurden unsere Kenntnisse nicht nur wesentlich erweitert, sondern, was viel wichtiger ist, auch wesentlich vertieft. Overton untersuchte über 500 Stoffe auf ihre Fähigkeit, das Protoplasma zu durchwandern. Alle möglichen Abstufungen kommen vor. Am einen Ende der Reihe stehen Stoffe, die so rasch eindringen, dass man damit keine Plasmolyse mehr erzielen kann; während am andern Ende der Reihe sich Stoffe finden, die entweder gar nicht oder nur so langsam eindringen, dass darin die Plasmolyse Tage lang erhalten bleibt. Overton suchte nach den Gesetzmässigkeiten, die dieses Verhalten regieren. Er fand im grossen und ganzen eine auffallende Parallelität zwischen der Leichtigkeit des Eindringens und der Löslichkeit in gewissen fettartigen Stoffen, besonders dem Lezithin und dem Cholesterin. Diese beiden Stoffe sind weit verbreitet und dürften wohl keiner Zelle gänzlich fehlen. Overton stellte deshalb die Hypothese auf, dass die äusserste Grenzschicht des Protoplasmas, die sogenannte Plasmahaut, die nach Pfeffers Versuchen und Diskussionen allein über die Stoffaufnahme entscheidet, mit Cholesterin oder Lezithin oder ähnlichen Stoffen imprägniert sei. Alle Stoffe, die in den genannten fettartigen Körpern löslich sind, werden aufgenommen, die andern hingegen nicht. Nach dieser Lipoidhypothese, wie sie genannt wurde, wäre die Stoffaufnahme eine Löslichkeiterscheinung.

Es ist nun aber zweifelsohne, dass nicht die gesamte Stoffaufnahme auf dieses Prinzip zurückgeführt werden kann<sup>1)</sup>. Nach Overton sind die Salze lipoidunlöslich und dazu stimmte, dass eine Aufnahme im plasmolythischen Experiment nicht nachweisbar war. Die Salze werden nun aber trotzdem aufgenommen, und das ist einer der Punkte, an dem besonders auf seiten der Botaniker die Kritik gegen die Lipoidhypothese eingesetzt hat. Dabei ist aber zu bedenken, was von den Kritikern nicht immer genügend geschehen ist, dass Overton selbst nicht die gesamte Stoffaufnahme mit dem Prinzip der Lipoidlöslichkeit erklären wollte, sondern dass er unterschied

<sup>1)</sup> Auf die von Ruhland im speziellen für die Aufnahme der Anilinfarben ausgearbeitete Ultrafilterhypothese ist im folgenden nicht eingegangen.

zwischen einer Aufnahme infolge der statischen osmotischen Eigenschaften des Protoplasmas und einer Aufnahme infolge aktiver Tätigkeit des Protoplasmas. Dieser Unterschied ist später von Höber als physikalische und physiologische Permeabilität bezeichnet worden und Nathansohn suchte diesen Ideen die morphologische Grundlage zu geben durch die Annahme, dass die Grenzschicht des Protoplasmas ein Mosaik sei aus Eiweissteilchen und Lipoidteilchen.

In der Literatur lagen schon seit längerer Zeit einzelne Angaben über Salzaufnahme vor. Nathansohn stellte darüber Untersuchungen an, die aber zu keinem definitiven Ergebnisse führten. Neuerdings hat Osterhout mit Hilfe einer neuen Methode das Problem wieder aufgenommen. Er benützte zu seinen Versuchen eine Meeresalge, *Laminaria*. Aus dem Thallus wurden runde Scheiben geschnitten und aufeinandergelegt, so dass ein Zylinder entstand, der in geeigneter Weise zwischen 2 Elektroden eingespannt wurde. Nach Versenkung des Zylinders in normales Seewasser wurde ein Strom hindurchgeschickt und der Widerstand bestimmt. Dasselbe wurde gemacht, wenn der Zylinder in Lösungen verschiedener Salze eintauchte, deren Konzentration so gewählt war, dass ihre Leitfähigkeit der Leitfähigkeit des reinen Seewassers gleich war. In Natrium- und Kaliumsalzen verminderte sich der Widerstand; in Kalzium-, Barium-, Strontium- und Magnesiumsalzen trat eine Erhöhung des Widerstandes ein. Diese charakteristischen Widerstandsänderungen traten nur an lebendem Gewebe ein. Man muss daraus mit Osterhout schliessen, dass das lebende Protoplasma die Ionen des Kaliums und Natriums relativ leicht durchlässt, die des Magnesiums und Kalziums hingegen schwer. Eigene Untersuchungen, die mit Hilfe einer Modifikation der plasmolytischen Methode an einem besonders günstigen Objekt, dem embryonalen Gewebe der Wurzelspitze ausgeführt wurden, ergaben ein analoges Ergebnis. Sehr rasch werden aufgenommen Kalium- und Natriumsalze, ziemlich rasch Magnesium, langsam Barium und Strontium und sehr langsam Kalzium. Diese Untersuchungen zeigten ferner, dass die Geschwindigkeit der Salzaufnahme unabhängig ist vom Konzentrationsgefälle. Die Zellen der äusseren Rinde einer Zone zwischen 2 und 3 mm Entfernung von der Spitze der Wurzel der weissen Lupine nahmen zum Beispiel pro Min. auf 0,132 Mol. Kaliumchlorid, gleichgültig, ob das Konzentrationsgefälle war 0,228 oder 0,606 oder 1,325 Mol. Das gleiche gilt für die 11 andern untersuchten Salze. Dieselbe Erscheinung liess sich bei der Aufnahme von Kochsalz durch die Palisadenzellen des Laubblattes beobachten. Wir haben es offenbar mit einer allgemeinen Eigenschaft der Pflanzenzellen zu tun. Diese Ergebnisse führen zum

Schluss, dass die Moleküle und Ionen nicht infolge ihrer eigenen Bewegung durch das Protoplasma hindurchdringen, sondern dass das Protoplasma selber die Kräfte liefert, die den Durchtritt bewirken. Die Salzaufnahme ist eine aktive Tätigkeit des Protoplasmas, die Salze dringen nicht ein, sondern sie werden aufgenommen.

Die Geschwindigkeit, mit der ein Salz aufgenommen wird, ist keine unveränderliche Eigentümlichkeit des Protoplasmas. In früheren Untersuchungen konnte ich zeigen, dass die Permeabilität für Kochsalz in den assimilierenden Zellen des Laubblattes unter dem Einflusse des Lichtes geändert wird, im Lichte grösser ist als im Dunkeln. Es handelt sich dabei nicht um eine direkte Wirkung des Lichtes auf die Plasmahaut, sondern um eine viel kompliziertere Erscheinung, um eine Reizreaktion. Das Licht reizt das Protoplasma, Kochsalz schneller aufzunehmen. Eingehende Versuche zeigten, dass dabei alle die Erscheinungen auftraten, die für die Reizerscheinungen bei den Pflanzen, im speziellen für den Heliotropismus charakteristisch sind, wie das Reaktionszeitgesetz, die Gegenreaktion und die Stimmungsänderung. Alles das lässt es mir berechtigt erscheinen, die Overton'sche Unterscheidung zwischen physikalischer und physiologischer Permeabilität auch weiterhin beizubehalten.

Alles, was wir bisher über die Stoffaufnahme besprochen haben, bezieht sich auf das Protoplasma. Bevor aber ein Stoff an das Protoplasma herangelangen kann, muss er die Zellwand durchwandern. Unzählige plasmolytische Experimente, die im Verlaufe langer Jahre von zahlreichen Forschern angestellt worden sind, haben immer wieder zu demselben Ergebnis geführt, dass nämlich, abgesehen von bestimmten speziellen Fällen, die Zellwand für gelöste Stoffe schlechthin durchlässig ist. Nun ist aber zu bedenken, dass unsere plasmolytischen Experimente meistens nicht lange dauern, vielleicht 30 Minuten bis einige Stunden. Es könnte deshalb möglich sein, dass bei längerer Berührung mit dem gelösten Stoff auch die Zellwand irgendeinen Einfluss auf die Stoffaufnahme ausüben könnte. Gewisse Untersuchungen der letzten Jahre bestätigen diese Anschauung. Die Zellwände haben nämlich, und zwar wie es scheint wohl ziemlich allgemein, die Fähigkeit, Salze zu zerlegen. Auf diese merkwürdige Eigenschaft ist man zum erstenmal aufmerksam geworden bei Torfmoosen. Baumann und Gully (1910) zeigten, dass solche Moose Lösungen reiner Salze zu zerlegen vermögen, wobei eine Säuerung eintritt. Dieser Vorgang ist zu konstatieren, gleichgültig, ob das Moos lebend oder tod ist. Ob diese Zerlegung hervorgerufen wird durch einen sauren Bestandteil der Zellwand oder durch eine ungleiche Adsorption der Ionen, ist noch nicht endgültig ent-

schieden. In gewissen Fällen dürften aber saure Bestandteile der Zellwand dabei die Hauptrolle spielen. Hansteen hat nämlich neuerdings nachgewiesen, dass neben Pektinsubstanzen auch Fettsäuren in der Zellwand vorkommen, wobei es sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht um Stoffe handelt, die während der Wanderung von Zelle zu Zelle in der Wand stecken geblieben sind, sondern um normale Bestandteile der Zellwand. Die Fähigkeit, Salze zu zerlegen, ist von Wieler auch bei Phanerogamen gefunden worden und neuerdings hat Skene analoge Beobachtungen gemacht. Es wäre auch daran zu erinnern, dass durch Pantanelli in zahlreichen Fällen eine ungleiche Ionenaufnahme aus Salzlösungen nachgewiesen ist, wobei allerdings unentschieden bleibt, inwieweit das lebende Protoplasma dabei mitgewirkt hat. Aber das zeigt uns, dass die Zellwand bei der Stoffaufnahme aus dem Bodenwasser und bei der Wanderung der Stoffe in den Geweben eine wichtige Rolle spielen kann, und dass wir darauf in Zukunft mehr achten müssen, als wir das bis jetzt zu tun geneigt waren.

Die Experimente über die Aufnahme von Salzen, von denen wir bis jetzt gesprochen haben, bezogen sich auf reine Lösungen. Wie verhält sich nun aber die Zelle, wenn wir sie mit einem Gemisch verschiedener Stoffe in Berührung bringen? Diese Frage ist um so mehr berechtigt, als wir es ja im Bodenwasser nicht mit einer reinen Lösung, sondern mit einem Gemisch zu tun haben, genau so wie im Zellsaft auch. Das ist unter Umständen von grosser Wichtigkeit. Im Anschluss an die tierphysiologischen Versuche Loeb's hat Osterhout gezeigt, dass reine Salzlösungen giftig wirken, wenn die Pflanzen längere Zeit damit in Berührung bleiben. Davon machen auch die Nährsalze keine Ausnahme. Eine Lösung von Kaliumnitrat wirkt nach einiger Zeit giftig, trotzdem die Pflanze daraus zwei unentbehrliche Nährstoffe, das Kalium und den Stickstoff, aufnimmt. Diese Giftwirkung kann ganz oder teilweise kompensiert werden durch Beigabe eines zweiten Salzes. Als besonders wirksam haben sich für diese Entgiftung die Salze des Kalziums erwiesen, die schon an und für sich sehr wenig giftig sind. Viel giftiger aber sind die Salze des Magnesiums, des Kaliums und des Natriums. Diese drei sind es aber auch, die relativ leicht in das Protoplasma eindringen. Man kann deshalb vermuten, dass eine Beziehung besteht zwischen der Leichtigkeit der Aufnahme und der Giftigkeit. Diese Anschauung findet eine Stütze auch darin, dass Osterhout gefunden hat, dass Kalziumsalze nicht nur selbst langsam aufgenommen werden, sondern auch die anderen Salze am schnellen Eindringen hindern. Das Problem der Giftwirkung ist nun aber sicherlich komplizierter, als wir



es eben skizziert haben. Hier spielt zweifelsohne auch die Zellwand eine wichtige Rolle. Hansteen hat an den Wurzeln gewisser Kulturpflanzen in reinen Magnesiumsalzlösungen auffällige Erkrankungen der Wurzeln beobachtet. Die Zellwände verquellen und lösen sich schliesslich mehr oder weniger vollständig. Dadurch wird der Gewebeerband gelockert und schliesslich ganz aufgehoben, so dass die Protoplasten frei austreten. Ähnliche, etwas weniger starke Zerstörungen traten auf in Kalium- und Natriumsalzen, hingegen nicht in Kalziumsalsen. Die Erkrankung konnte ebenfalls verhindert werden, wenn zu den Lösungen der drei zuerst genannten Salze etwas Kalziumsals hinzugefügt wurde. Diese Wirkungen kommen vermutlich dadurch zustande, dass das Magnesium, das Kalium und das Natrium mit gewissen sauren Bestandteilen der Zellwand lösliche Verbindungen bilden, während die Verbindung mit Kalzium schwer oder gar nicht löslich wäre. Auch das zeigt uns wieder, dass wir die Tätigkeit der Zellwand bei der Stoffaufnahme mehr berücksichtigen müssen als bisher.

Damit habe ich Sie im Kreise herumgeführt. Mit diesen Bemerkungen über die Zellwand sind wir wieder bei dem Teil der Zelle angelangt, von dem wir ausgegangen sind, bei dem Teil, der zuerst entdeckt worden ist und zuerst die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hatte.

Das Leben der Pflanzen, wie aller Organismen, ist gebunden an die Aufnahme, an die Verarbeitung und an die Wiederabgabe von Stoffen. Es gibt zwar gewisse Organe, wie die Samen, die in einen Zustand latenten Lebens übergehen, in dem die Stoffaufnahme praktisch auf Null herabgesetzt ist. Ein solches Leben ist aber auf die Dauer nicht möglich. Auch die Samen sterben schliesslich ab, wenn auch manchmal erst nach Jahren.

Der Stoffwechsel ist eine der fundamentalen Eigentümlichkeiten des lebenden Protoplasmas, eine der Eigenschaften, die uns gerade mit zur Charakterisierung des Lebens dient. Alle Untersuchungen über die osmotischen Eigenschaften der Zelle der Pflanzen, im besondern alle Untersuchungen über die Aufnahme von Stoffen durch das Protoplasma der Pflanzen sind deshalb im Grunde genommen nichts anderes als Beiträge zur Beantwortung der Grund- und Endfrage aller Physiologie, die lautet: was ist Leben?