

Über die osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzen- und Tierzelle.

Von

E. Overton.

Vortrag, gehalten in der naturforschenden Gesellschaft
am 4. Februar 1895.¹⁾

Seit einer Reihe von Jahren mit einer ausgedehnteren Untersuchung über die osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzen- und Tierzelle beschäftigt, möchte ich es heute Abend versuchen, eine Übersicht von einem Teil der wichtigeren Untersuchungsergebnisse zu geben.

Bevor ich indessen zu der Mitteilung meiner eigenen Untersuchungen übergehe, dürfte es geboten sein, die Entwicklung unserer bisherigen Kenntnisse über die osmotischen Eigenschaften der Zelle, wenigstens in ihren Hauptphasen, zu skizzieren, was ich um so weniger zu thun zögere, als dieselbe nicht allein auf die Physiologie (namentlich die Pflanzenphysiologie) einen grossen Einfluss geübt hat, sondern auch einen nicht unwesentlichen Anteil an dem Werden einer der fruchtbarsten Theorien der letzten Decennien, der neuen Theorie der Lösungen, genommen hat.

Obgleich die Erscheinung der Osmose schon im Jahre 1748 von dem Abbé Nollet aufgefunden und von

¹⁾ An einzelnen Stellen hat der Text einige Erweiterungen erfahren. Eine ausführliche Arbeit über das hier behandelte Thema wird, wie ich hoffe, im Laufe dieses Jahres erscheinen.

Dutrochet,¹⁾ der ausserdem ihre hohe physiologische Bedeutung erkannte, in wirklich wissenschaftlicher Weise erforscht wurde, so war es doch erst Nägeli, welcher die Grundlage für das Verständnis der osmotischen Eigenschaften der lebenden Zelle legte. Es geschah dies im Jahre 1855 in seinen »Pflanzenphysiologischen Untersuchungen« (p. 1 u. folg.).

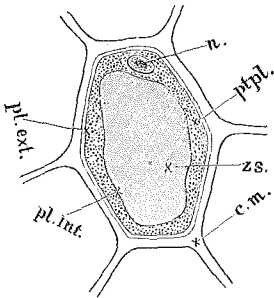


Fig. 1.

Schema einer Pflanzenzelle.

c. m. Cellulosemembran, ptpl. Protoplasma, pl. ext. äussere Grenzschicht (äussere Plasmahaut) desselben, pl. int. innere Grenzschicht (Vacuolenhaut), n. Nucleus, zs. Zellsaft.

In der genannten Abhandlung zeigte Nägeli, dass für die osmotischen Eigenschaften der lebenden Zelle nicht sowohl die Zellmembran, wie man bis dahin angenommen hatte, sondern vielmehr das Protoplasma massgebend ist und dass mit dem Tode des Protoplasmas

die charakteristischen osmotischen Eigenschaften der Zelle schwinden.²⁾

Nägeli bewies dies durch Feststellung der folgenden Thatsachen: Erstens zeigte er, dass der etwa im Zellsaft gelöste Farbstoff, so lange die Zelle lebt, weder aus der Zelle exosmiert, wenn man letztere in Wasser überführt, noch das Protoplasma färbt, während beides nach dem Tode

¹⁾ Dutrochet, De l'endosmose. Mémoires pour servir à l'histoire anatom. et physiolog. des végétaux et des animaux. Vol. I, p. 1—99; Paris 1837.

²⁾ Wir wissen jetzt, dass sich das Protoplasma durch gewisse Mittel abtöten lässt, ohne dass in den ersten Stunden nach dem Tode eine Änderung der osmotischen Eigenschaften der Zelle eintritt.

des Protoplasmas geschieht; ebenso wies er nach, dass auch Rohrzucker und andere im Zellsaft gelöste Körper erst nach dem Tode des Plasmas aus der Zelle exosmieren.

Weiterhin machte Nägeli darauf aufmerksam, dass während des Lebens der Zelle das Protoplasma mit einer gewissen Kraft gegen die Zellmembran gepresst wird, wodurch die Zellhaut eine entsprechende Dehnung erfährt und eine gewisse Straffheit aufweist, während mit dem Absterben der Zelle und im gleichen Schritte mit der Exosmose der im Zellsaft gelösten Körper diese Spannung abnimmt und die Zellmembranen schliesslich ganz schlaff werden, eine Erscheinung die man namentlich bei gewissen Fadenalgen sehr schön beobachten kann.

Endlich gab Nägeli die Erklärung einer Erscheinung, die schon seit den Vierziger Jahren beobachtet, aber nicht richtig gedeutet wurde. Wenn man nämlich lebende Pflanzenzellen in eine Zucker- oder Salzlösung bringt, so zieht sich, sobald die betreffende Lösung eine bestimmte, im Übrigen für verschiedene Verbindungen ungleich hohe Konzentration überschreitet, das Protoplasma von der Zellwand zurück, (eine Erscheinung, die man Plasmolyse nennt), um beim Auswaschen oder bei Verdünnung der Lösung sich wieder an die Zellwand anzulehnen. Nägeli erkannte, dass eine solche Lösung, deren Konzentration gerade noch hinreicht, um eine beginnende Zurückziehung des Protoplasten von der Zellwand zu bewirken, dieselbe osmotische Leistung, oder denselben osmotischen Druck, wie wir jetzt sagen, haben muss, als der Zellsaft.

Die Grössenordnung dieses Druckes hat Nägeli freilich nicht zu ermitteln gesucht und an die Beantwortung dieser Frage knüpft sich die nächste Entwicklungsphase

unserer Kenntnisse von den osmotischen Eigenschaften der Zelle an.

Diese Frage nach der Grössenordnung der osmotischen Druckkräfte im Innern der Zelle ist bei dem Studium der

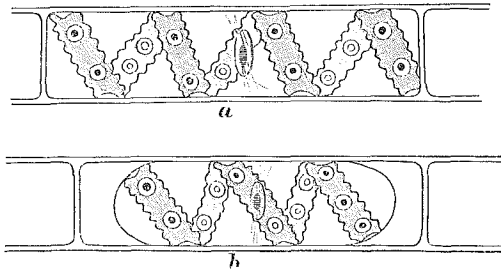


Fig. 2

Zwei Zellen einer Spirogyra.

a. in normalem Zustande, b. plasmolysiert.

Mechanik der plötzlich erfolgenden Reizbewegungen entstanden. Ein allgemein bekanntes Beispiel solcher Reizbewegungen haben wir in den Blättern der Sinnpflanze, *Mimosa pudica*, welche (unter günstigen Lebensbedingungen) auf derberes Berühren sich sofort senken. Ähnliche Reizbewegungen sind übrigens bei Blättern, Staubgefässen und Narbenlappen einer Anzahl anderer Pflanzen bekannt.

Im Jahre 1873 veröffentlichte Pfeffer¹⁾ die Resultate seiner sehr eingehenden Untersuchungen über die Mechanik dieser Reizbewegungen. Er zeigte, dass sie alle durch eine Störung des antagonistischen Gleichgewichts zwischen den elastisch gedehnten Zellwänden und dem osmotischen Druck des Zellinhaltes bedingt sind und zwar

¹⁾ Untersuchungen über Reizbarkeit der Pflanzen, in Physiolog. Unters. 1873.

so, dass im Augenblick der Reizung der osmotische Druck des Zellinhaltes plötzlich abnimmt, das Protoplasma in Folge dessen mit geringerer Kraft gegen die Zellwand gepresst wird und die Zellmembranen Kraft ihrer Elastizität sich verkürzen.

Es mag das an einem Beispiel erläutert werden und zwar wähle ich zu dem Zweck die reizbaren Staubgefäße der Cynareen (*Centaurea* und verwandte Gattungen), deren Verhalten von Pfeffer besonders eingehend untersucht worden ist. Zunächst zur Orientierung einige Worte über das Äusserliche der Reizbewegungen dieser Staubgefäße. Im reizempfindlichen Zustande sind die fünf auf der Blumenkronenröhre inserierten Filamente an ihrer Basis bogenartig nach aussen gekrümmt. Beim Reizen verkürzen sich die Filamente in ihrer ganzen Länge, wobei gleichzeitig ihre bogenförmige Krümmung verschwindet.

Lässt man solche gereizten Staubgefäße einige Zeit in Ruhe, so kehren dieselben unter Verlängerung allmählich in die reizempfindliche Stellung zurück, worauf sie sich auf Berühren wieder kontrahieren. Der Versuch lässt sich ziemlich häufig mit gleichem Erfolg wiederholen. Wenn man ein Filament in eine Anzahl Stücke zerschneidet, so zeigt sich jedes einzelne Stück noch reizbar; jedes Stück verkürzt sich auf erfolgtem Reiz ähnlich dem unverletzten Filament.

Unter dem Mikroskop erkennt man, dass die Filamente aus einem zentralen schwach entwickelten Gefässbündel, welches uns nicht weiter angeht und aus langgestreckten, cylindrischen, sehr dünnwandigen, parenchymatischen Zellen bestehen, zwischen welchen sich luftführende Intercellularräume finden. Wenn man das Filament vor und gleich nach der Reizung untersucht, so erkennt

man, dass nach der Reizung jede einzelne Zelle sich verkürzt hat, ohne an Breite zugenommen zu haben und ohne Faltung der Längswände zu zeigen. Diese Verkürzung kann 12 und mehr p. c. betragen. In der ersten Stellung (d. h. vor dem Reize) sind die Längswände von dem osmotischen Druck des Zellinhaltes stark gedehnt; im Augenblick der Reizung nimmt dieser Druck ab und es verkürzen sich in Folge ihrer Elastizität die Zellwände, während zugleich Wasser aus dem Zellsaft in die Inter-cellularen übertritt und die Luft in denselben verdrängt. Im Übrigen sind die Längswände selbst nach der Reizung immer noch mehr oder weniger elastisch gedehnt.

Pfeffer¹⁾ hat nun versucht, sich eine Vorstellung von der Grössenabnahme des hydrostatischen Druckes des Zellinhaltes bei der Reizung zu gewinnen, indem er die Zugkraft bestimmte, welche notwendig ist, um die gereizten Staubgefässe auf die ursprüngliche Länge zu bringen, resp. um die Kontraktion auf Reiz zu verhindern. Wenn man diese Zugkraft durch das Gewicht einer Wassersäule von dem Querschnitt des bei der Reizung wirksamen Theiles eines Staubgefässes ausdrückt, so findet man, dass die Wassersäule 30 m. hoch sein musste, woraus sich eine Abnahme des osmotischen Druckes von circa drei Atmosphären ergibt.

Gegen diese Bestimmungsweise könnte man einwenden dass der osmotische Druck nach allen Richtungen wirkt und deswegen einen ganz anderen Erfolg haben muss, wie eine einseitige Zugkraft. In dem vorliegenden Fall werden indessen beide fast gleich wirken, weil die Dehnbarkeit der Zellmembranen in der Längsrichtung der

¹⁾ Loc. cit. p. 119 u. f.

Filamente sehr viel grösser ist als in anderen Richtungen. Selbst als Pfeffer jede Fehlerquelle übertrieben hoch in dem Sinne anrechnet, dass dadurch die Abnahme des osmotischen Druckes bei der Reizung möglichst klein ausfallen musste, ergab sich, dass diese Abnahme bedeutend mehr als eine Atmosphäre betragen muss, wobei noch einmal zu betonen ist, dass nach erfolgtem Reiz der osmotische Druck des Zellsaftes nur abgenommen hat, nicht aufgehoben ist.

Im Übrigen ist der osmotische Druck in den Zellen dieser Filamente vor der Reizung keineswegs ein abnormal hoher, vielmehr ist derselbe von ähnlicher Grössenordnung wie bei den meisten Pflanzenzellen.

Es erhob sich also die ganz bestimmte Frage, durch welche in der lebenden Zelle herrschenden Bedingungen können so grosse osmotische Druckwirkungen erzielt werden. Bestimmungen der maximalen Steighöhen der Lösungen in den gewöhnlichen endosmotischen Apparaten, wie solche schon von Dutrochet¹⁾ ausgeführt worden sind, liessen so grosse osmotische Leistungen gar nicht ahnen.

Nun war ein bedeutender Unterschied zwischen dem osmotischen Verhalten der gewöhnlich benutzten Membranen und des lebenden Protoplasmas bekannt, indem die ersteren die Moleküle aller gelösten Krystalloiddkörper mehr oder weniger durchgehen lassen, während das lebende Protoplasma für viele im Zellsaft gelösten Krystalloide völlig impermeabel ist.

In der That hatte Graham gezeigt, dass die Lösungen der Kolloidkörper, welche selbst durch die gewöhnlichen Membranen kaum merklich exosmieren, in dem Endosmo-

¹⁾ De l'endosmose; Quatrième série d'expériences. p. 34 u. f.

meter recht erhebliche Steighöhen erreichen. Es schien also recht plausibel, dass gerade die völlige Impermeabilität des Protoplasmas auch für die Moleküle vieler gelösten Krystalloide, die in der lebenden Zelle herrschenden hohen osmotischen Drucke ermöglicht.

Es hatte nun Traube¹⁾ im Jahre 1865 gezeigt, dass die sog. Niederschlagsmembrane dem lebenden Protoplasma in ihrem osmotischen Verhalten insofern gleichen, als auch sie für die Moleküle vieler Krystalloidkörper undurchlässig sind, während sie die Wassermoleküle leicht durchtreten lassen.

Solche Niederschlagsmembranen erhält man z. B., wenn man vorsichtig einen Tropfen gelber Blutlaugensalzlösung in eine Lösung von Kupfersulfat einführt. Auf der Oberfläche des Tropfens schlägt sich sofort eine Membran von Ferrocyanokupfer nieder, welche das Eindringen von weiteren Molekülen Kupfersulfats ins Innere des Tropfens verhindert; wird aber die Konzentration der beiden Lösungen so gewählt, dass die wasserentziehende Kraft (wie man nicht ganz richtig zu sagen pflegt), oder was dasselbe heisst, der osmotische Druck der Blutlaugenlösung grösser ist als die der Kupfersulfatlösung, so gehen unter Vergrösserung der Blase so lange Wassermoleküle in die Blutlaugensalzlösung über, bis dieselbe soweit verdünnt ist, dass die osmotischen Drucke in beiden Lösungen gleich werden.

Diese Niederschlagsmembranen sind sehr wenig widerstandsfähig und ihre direkte Verwendbarkeit zu Versuchszwecken ist daher eine sehr beschränkte. Es hat aber

¹⁾ Centrbl. f. medicin. Wiss. 1865. Ausführlicher in Archiv f. Anat. & Physiol. 1867, p. 87 u. f. und in Botan. Ztg. 1875, p. 56 u. f.

Pfeffer,¹⁾ das Vorbild der Pflanzenzelle nachahmend, eine solche Niederschlagsmembran in der Art erzeugt, dass dieselbe sich überall gegen eine feste Widerlage anlehnte.

Zu diesem Zwecke wurden poröse Thonzellen, wie sie zu elektrischen Batterien verwendet werden, vollständig mit einer Lösung von Kupferniträt injiziert, dann schnell in Wasser abgespült und darauf mit Blutlaugensalzlösung gefüllt. Es lagerte sich so eine Niederschlagsmembran an die innere Fläche der Thonzelle an.²⁾

In dieser Weise präparierte Thonzellen verhalten sich in ihren diosmotischen Eigenschaften den lebenden Pflanzenzellen vielfach ähnlich, indem sie für die Moleküle gelösten Rohrzuckers und einiger anderen gelösten Krystalloide gänzlich impermeabel, für andere sehr schwer permeabel sind, während sie den Wassermolekülen den freien Durchtritt gestatten.

Um nun die osmotische Leistungsfähigkeit der Lösung eines zu untersuchenden Körpers bei irgend einer Konzentration zu messen, werden die präparierten Thonzellen mit der betreffenden Lösung angefüllt, die Thonzelle mit einem Manometer in Verbindung gesetzt und der ganze Apparat so lange in reines Wasser gestellt, bis der Manometer keine Schwankung mehr zeigt.

Pfeffer machte die Mehrzahl seiner Versuche mit Lösungen von Rohrzucker, doch wurden einzelne Versuche mit vielen anderen Körpern angestellt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lösten mit einem Schlage das Rätsel der hohen osmotischen Druck-

¹⁾ Osmotische Untersuchungen. Lpzg. 1877. Vorläufige Mittlg. in Botan. Ztg. 1875.

²⁾ Die Einzelheiten der Präparation dieser Zellen sind bei Pfeffer, Osmot. Unters. S. 5 u. f. nachzusehen.

kräfte in den Zellen; denn es zeigte sich, dass schon eine 1 p. c. Rohrzuckerlösung einen osmotischen Druck von circa $\frac{2}{3}$ Atmosphären erzeugt und dass weiterhin der Druck in annähernd demselben Verhältnis wie die Konzentration wächst, so dass schon eine 6 p. c. Lösung einen osmotischen Druck von vier Atmosphären entwickelt. Die Temperatur hat einen geringen Einfluss auf die Druckhöhe, indem mit steigender Temperatur der Druck etwas zunimmt.

Für eine Lösung von Kalisalpeter fand Pfeffer eine noch viel grössere osmotische Leistung, indem schon eine 8 p. m. Lösung einen Druck gleich einer 130 cm. hohen Quecksilbersäule also fast zwei Atmosphären entwickelte, obgleich der Salpeter durch die künstliche Zelle etwas diosmierte und daher seine volle osmotische Leistungsfähigkeit nicht zum Ausdruck kam.

Nägeli scheint angenommen zu haben, dass das ganze Protoplasma in seinen diosmotischen Eigenschaften sich gleich verhalte. Durch Betrachtungen und Versuche von Pfeffer¹⁾ ist es indessen sehr wahrscheinlich geworden, dass bloss den freien Grenzschichten des Protoplasmas die eigentümlichen diosmotischen Eigenschaften zukommen und zwar sowohl der Abgrenzungsschicht des Protoplasmas gegen die Zellmembran, als auch derjenigen gegen den Zellsaft oder eine im Plasma befindliche Vacuole, während die innern Partien des Protoplasmas sich in ihren osmotischen Eigenschaften wie stark gequollene Kolloidkörper verhalten. Im Übrigen ist diese Frage für viele Untersuchungen völlig gleichgültig.

War durch Pfeffer's Arbeit das Rätsel der hohen osmotischen Drucke innerhalb der lebenden Zelle im Prinzip

¹⁾ Osmot. Untersuchungen, p. 121 u. f.

gelöst, so war man doch noch nicht im Stande, den eigentlichen Anteil der verschiedenen im Zellsaft gelösten Körper an dem Zustandekommen dieses Druckes anzugeben, selbst dann nicht, wenn man den Zellsaft quantitativ analysiert hatte; denn die Pfeffer'sche Zelle ist für die Moleküle vieler im Zellsaft vorkommenden Verbindungen mehr oder weniger durchlässig; zudem sind Bestimmungen der osmotischen Druckhöhen mit derselben sehr zeitraubend.

Es war daher ein grosser Fortschritt, als De Vries¹⁾ in Amsterdam die lebende Zelle selbst als Osmotometer benutzte, um die relativen Grössen der osmotischen Druckkräfte, welche die Lösungen verschiedener Körper hervorbringen, zu messen. Zu dem Zwecke hat De Vries lebende Zellen, deren Zellsaft den gleichen osmotischen Druck aufwies, in die Lösungen verschiedener Verbindungen gebracht und die Konzentration der letzteren ausfindig gemacht, welche gerade hinreichte, um ein beginnendes Zurückziehen des Plasmas von der Zellwand zu bewirken. Es leuchtet sofort ein, dass die Lösungen der verschiedensten Körper (in soferne sie nicht durch die Plasmahaut hindurchtreten), welche diese Bedingung erfüllen, den gleichen osmotischen Druck ausüben. Solche Lösungen nennt man daher isotonische (De Vries) oder isosmotische (Tammann) Lösungen.

De Vries zeigte nun mittelst dieser Methode, dass eine Beziehung zwischen dem Molekulargewicht der verschiedenen Verbindungen und ihrer osmotischen Leistung besteht.

¹⁾ De Vries, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Pringsh. Jahrbücher Bd. XIV. S. 427, 1884. Die Keime zu dieser Arbeit finden sich schon in einer viel früheren Abhandlung desselben Verfassers. (Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges. Arch. néerland. Bd. VI, 1871.)

De Vries hat, dem besonderen Zwecke seiner Arbeit gemäss, hauptsächlich die Lösungen von Salzen untersucht, wo diese Beziehungen verwickelter sind als bei den indifferenten Körpern. Um zunächst die Beziehungen zwischen Molekulargewicht und osmotischem Druck bei diesen letzteren (den indifferenten Körpern) zu erläutern, will ich daher eine Tabelle benutzen, die ich vor einigen Jahren nach eigenen Untersuchungen angefertigt habe.

Bei einigen Spirogyrafäden, bei welchen eine 6 p. c. Rohrzuckerlösung gerade noch hinreichte, um eine eben merkliche Plasmolyse hervorzurufen — eine solche Lösung nennt man nach De Vries die plasmolytische Grenzlösung —, hatten die Konzentrationen der plasmolytischen Grenzlösungen von den in der Tabelle angeführten Verbindungen die in der IV. Kolonne verzeichneten Werte.

Tabelle I.

Beziehungen zwischen Molekulargewicht und p. c. Gehalt plasmolytischer Grenzlösungen einiger indifferenten Körper nach einer Messung mit Spirogyrafäden:

Name der Verbindung	Chemische Formel	Molekulargewicht	Plasmolytische Grenzlösung gefunden	Plasmolytische Grenzlösung berechnet
Rohrzucker . .	$C_{12} H_{22} O_{11}$	342	6 p. c.	
Mannit . . .	$C_6 H_{14} O_6$	182	3,5 „	$6 \times \frac{182}{342} = 3,19$ p. c.
Traubenzucker.	$C_6 H_{12} O_6$	180	3,3 „	$6 \times \frac{180}{342} = 3,16$ „
Arabinose . . .	$C_5 H_{10} O_5$	150	2,7 „	$6 \times \frac{150}{342} = 2,63$ „
Erythrit . . .	$C_4 H_{10} O_4$	122	2,3 „	$6 \times \frac{122}{342} = 2,14$ „
Asparagin . .	$C_4 H_8 N_2 O_3$	132	2,5 „	$6 \times \frac{132}{342} = 2,32$ „
Glykokoll . . .	$C_2 H_5 N O_2$	75	1,3 „	$6 \times \frac{75}{342} = 1,32$ „

Wie man aus der Tabelle sieht, verhalten sich die plasmolytischen Grenzlösungen dieser Körper (in p. c. ausgedrückt) sehr annähernd direkt proportional ihren Molekulargewichten, oder da auch bei anderen Objekten, bei welchen die plasmolytische Grenzlösung für Rohrzucker einen anderen (höheren oder niedrigeren) Wert aufweist, die Grenzlösungen der anderen genannten Körper dieselben relativen Werte besitzen, können wir allgemeiner sagen: die isosmotischen Konzentrationen indifferenten Stoffe verhalten sich direkt proportional ihren Molekulargewichten.¹⁾ Wie man aus einem Vergleich der Kolonnen IV und V der Tabelle sieht, weichen die gefundenen und die nach dieser Regel berechneten Werte meist um weniger als 10 p. c. von einander ab. Diese Gesetzmässigkeit zwischen Molekulargewicht und osmotischem Druck kann man auch folgendermassen ausdrücken: Wenn von verschiedenen indifferenten Körpern in einem gleichbleibenden Volumen der Lösung eine gleiche Anzahl Moleküle vorhanden sind, üben diese Lösungen den gleichen osmotischen Druck aus.

Wir haben also dieselben Beziehungen zwischen osmotischem Druck, Volumen der Lösung und Molekularzahl verschiedener gelöster indifferenten Verbindungen, wie nach dem Avogadrischen Gesetz zwischen Gasdruck, Gasvolumen und Molekularzahl der verschiedenen Gase.

Wenn in einer und derselben Lösung zwei verschiedene indifferente Körper, die nicht chemisch auf einander einwirken, aufgelöst sind, so übt ein jeder derselben

¹⁾ Bei konzentrierteren Lösungen kommen mehr oder weniger starke Abweichungen von dieser Regel vor; bei Rohrzucker beginnen die Abweichungen von circa 10—12 p. c. an praktisch ins Gewicht zu fallen.

den nämlichen partiellen osmotischen Druck aus, als ob er allein in der Lösung vorkäme und der gesamte osmotische Druck ist einfach die Summe der beiden partiellen Drucke. Als ich z. B. von denselben Spirogyrafäden, welche zu den soeben mitgeteilten Versuchen benutzt wurden, Proben in 3 p. c. Rohrzuckerlösungen überführte, welche neben dem Rohrzucker noch verschiedene Mengen Erythrit aufgelöst enthielten, wurde als plasmolytische Grenzlösung gefunden, eine Lösung, welche neben 3 p. c. Rohrzucker 1,1 p. c. Erythrit enthielt.

Wir haben also auch hier ganz ähnliche Verhältnisse wie bei den Gasen.

Dieses Gesetz von den partiellen osmotischen Drucken kann man sich zu Nutzen machen, wenn es sich um die Untersuchung von wenig löslichen Verbindungen handelt, oder von Verbindungen, die bei etwas höheren Konzentrationen auf die lebenden Zellen schädlich einwirken.

Die soeben angegebenen Beziehungen zwischen osmotischem Druck und Gasdruck treten sehr anschaulich zu Tage durch die Betrachtung einer Versuchsanordnung, die ich mit Hilfe der Fig. 3 erläutern will.

Es soll in der Figur der ellipsoide Körper einen Fussball darstellen, der unter einem Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären gefüllt worden ist.

Es wird vielleicht gut sein, wenn ich vorausschicke, dass ein Fussball aus zwei Teilen besteht, aus einem mit einem engen Hals versehenen Kautschukball (k) und aus einer äusseren ledernen Hülle (l), welche letztere eine Lippeneinrichtung besitzt, durch welche hindurch der Kautschukball in ausgequetschtem Zustande eingeschoben werden kann, worauf der Kautschukball unter Druck aufgeblasen wird.

Wir denken nun unseren Fussball unter den Recipienten einer Druckpumpe gebracht, wie in der Figur

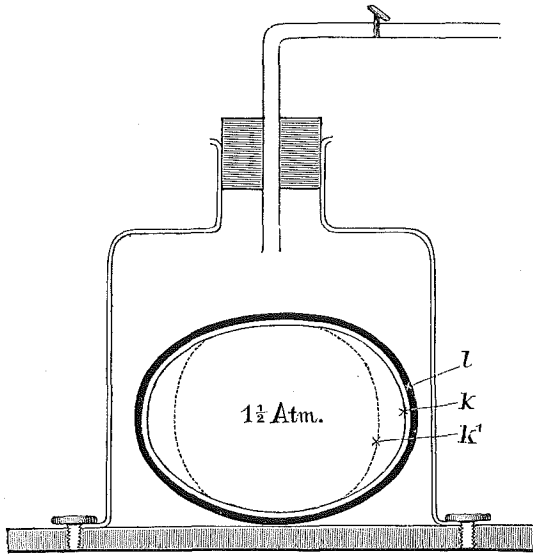


Fig. 3.

Einrichtung zur Veranschaulichung der Beziehungen zwischen osmotischem Druck und Gasdruck in der Form, wie sie bei plasmolytischen Versuchen zu Tage treten.

(Figurenerklärung im Text.)

angedeutet. Wenn wir nun ein Gas so lange in den Recipienten einpumpen, bis der Druck mehr als $1\frac{1}{2}$ Atmosphären beträgt, so wird der Kautschukball sich von der ledernen Hülle etwas zurückziehen (in der Figur durch die unterbrochene Linie (k¹) angedeutet), genau so, wie bei einer Pflanzenzelle die äussere Grenzschicht des Protoplasma von der Cellulosehaut, wenn die Zelle in eine

Lösung gebracht wird, deren osmotischer Druck etwas höher ist als der osmotische Druck des Zellsaftes.

Wenn wir nun verschiedene chemische Gase, eins nach dem andern, in den Recipienten so lange einführen, bis ein jedes eine eben merkliche Zurückweichung des Kautschukballes bewirkt, so werden sich die Gewichtsmengen dieser Gase in dem Recipienten (also in einem konstant bleibenden Volumen) wie ihre Molekulargewichte verhalten, genau so wie, um eine beginnende Plasmolyse bei einer und derselben Zelle zu bewirken, wir in einem gegebenen Volumen Lösung Gewichtsmengen der verschiedenen Verbindungen auflösen müssen, welche proportional den Molekulargewichten der betreffenden Verbindungen sind.

Wir haben schon früher gesehen, dass für die Lösungen eines und desselben Körpers dieselben Beziehungen zwischen Prozent-Gehalt der Lösung (oder was dasselbe ist, zwischen dem Volumen der Lösung, in welchem ein bestimmtes Gewicht des Körpers gelöst ist) und osmotischem Druck bestehen, wie nach Boyle's Gesetz zwischen Gasvolumen und Gasdruck.

Schliesslich hat im Jahre 1885 van 't Hoff,¹⁾ der wie De Vries an der Hochschule Amsterdam wirkt, unter Benutzung von Pfeffer's Zahlen für die absoluten osmotischen Druckhöhen der Lösungen des Rohrzuckers gezeigt, dass der osmotische Druck, welchen ein gegebenes Gewicht eines gelösten indifferenten Körpers ausübt, gleich dem Druck ist, welchen dieselbe Gewichtsmenge des Körpers

¹⁾ Van 't Hoff, L'équilibre chimique dans les systèmes gazeux ou dissous à l'état dilué. Arch. néerland. Bd. 20, p. 239, 1885; Derselbe, Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen. Ztschr. f. physikal. Chemie, Bd. I, p. 481—508, 1887.

bei der gleichen Temperatur in Gasform ausüben würde, wenn das Volumen des Gases gleich dem der Lösung wäre. (Vor dem Ausspruch dieses Satzes zeigte van 't Hoff aus Pfeffers Zahlen für die Beziehungen zwischen osmotischem Druck und Temperatur, dass auch hier dasselbe Abhängigkeitsgesetz waltet, wie zwischen Gasdruck und Temperatur.)

Darauf gestützt, baute van 't Hoff seine kinetische Theorie des osmotischen Drucks, wonach der osmotische Druck genau so durch die fortschreitende Bewegung der gelösten Moleküle bewirkt wird, wie nach der kinetischen Gastheorie der Gasdruck durch die fortschreitende Bewegung der Gasmoleküle.

Die Verhältnisse bei Salzlösungen will ich nur berühren, da ihre Kenntnis für das Verständnis des Späteren nicht gerade notwendig ist. Die Beziehungen zwischen Molekulargewicht und osmotischem Druck sind hier scheinbar komplizierter als bei den Lösungen indifferenten Körper, indem eine gegebene Konzentration der Salzlösung einem bedeutend grösseren osmotischen Druck entspricht, als nach der Molekularformel sich berechnen würde.

Für die Salzlösungen wurden von Raoult ähnliche Abweichungen von den Gesetzen, welche bei den Lösungen von indifferenten Körpern die Beziehungen zwischen Gefrierpunktniedrigung, Procent-Gehalt und Molekulargewicht regeln, gefunden. Schon De Vries erkannte, dass die Abweichungen bei beiden Erscheinungsreihen für die verschiedensten Salzlösungen nicht nur dem Sinne nach gleich sind, sondern auch dieselben relativen numerischen Werte aufweisen. Die Abweichungen einer gegebenen Salzlösung von den Gesetzen, welche bei indifferenten Körpern die Abhängigkeit von osmotischem Druck und Molekulargewicht

einerseits und von Gefrierpunktserniedrigung und Molekulargewicht andererseits ausdrücken, können also durch denselben Faktor angegeben werden. Kennt man also den osmotischen Druck einer Salzlösung, so kann man die Gefrierpunktserniedrigung berechnen und umgekehrt.

Ich erwähne hier nur noch, dass diese Abweichungen in einfachen Beziehungen zu der elektrischen Leitfähigkeit der betreffenden Salzlösungen stehen¹⁾ und dass man sie nach Arrhenius²⁾ erklärt, indem man annimmt, dass in den wässrigen Salzlösungen (und es ist hier natürlich nur von diesen die Rede gewesen) die Salzmoleküle grösstenteils in die Ionen gespalten sind, so z. B. wäre Kalisalpeter in wässriger Lösung zum grossen Teil in den Kation K und den Anion NO_3 zerfallen, wodurch die Zahl der Moleküle resp. Teilmoleküle in einem gegebenen Volumen Lösung grösser wird, als sich nach der Formel des unzersetzten Molekuls berechnet. Der Grad dieser Dissoziation lässt sich aus der Leitfähigkeit berechnen.

Das ganze bis dahin geschilderte osmotische Verhalten der lebenden Zelle ist, wie schon hervorgehoben, bedingt durch die Impermeabilität des lebenden Plasmas oder vielmehr dessen Grenzschichten für die Moleküle des gelösten Körpers bei gleichzeitiger Durchlässigkeit für die Wassermoleküle. Es erhebt sich die Frage, ob

¹⁾ Bei Magnesiumsulfat und einigen anderen Salzen gelten diese Beziehungen nicht wegen des Auftretens weiterer Komplikationen.

²⁾ S. v. Arrhenius, Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. Ztschr. f. physikal. Chemie, Bd. I. S. 631—648, 1887; vergl. auch Ostwald, Lehrbuch der Allgem. Chemie, 2. Aufl., namentlich Buch IV (Lösungen) des ersten Bandes und Buch II (Elektrochemie) des zweiten Bandes, 1891—93.

es überhaupt ausser Wasser noch andere Verbindungen giebt, deren Moleküle die Grenzschichten des Protoplasmas durchdringen können, ohne das Leben der Zelle zu vernichten. Wir wissen nun allerdings, dass bei der Stoffwanderung dies bis zu einem gewissen Grade der Fall sein muss; es ist indessen hier nicht sichergestellt, ja ist in vielen Fällen ausgeschlossen, dass eine rein physikalische Diosmose vorliegt. Wir wollen also unsere Frage dahin präzisieren, ob unabhängig von einem aktiven regulatorischen Eingreifen des Protoplasmas irgend eine Verbindung ausser Wasser in merklichem Grade die Grenzschichten des Plasmas passieren könne. Zunächst ist anzugeben, dass für einige Farbstoffe¹⁾ ein solches Eindringen festgestellt worden ist, doch sind hier die Erscheinungen durch chemische Bindungen und dgl. kompliziert, es sind auch diese Farbstoffe zu giftig, als dass sie in höheren Konzentrationen angewendet werden können; auch ist es heute nicht möglich, etwas Präziseres über die Schnelligkeit des Eindringens anzugeben.

Wir wollen nun die Voraussetzung machen, dass es wirklich Stoffe giebt, welche, ohne schädlich zu wirken, durch die Grenzschichten des Protoplasmas in bedeutenden Mengen in die Zelle eindringen können und wollen untersuchen, was in Folge dieses Eindringens geschehen muss. Wir wollen ferner annehmen, dass dieses Eindringen mit einer solchen Geschwindigkeit vor sich geht, dass erst innerhalb einiger Stunden die Konzentrationen des gelösten Körpers innerhalb des Zellsaftes und ausserhalb der Zelle gleichen Grad erreichen.

¹⁾ Pfeffer, Über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen; Unters. aus d. botan. Inst. zu Tübingen 1886.

Man könnte vielleicht nach den Erfahrungen mit den gewöhnlichen endosmotischen Apparaten,¹⁾ in welchen relativ geringe Druckkräfte gegen die Membran ausgeübt werden (und zwar eben wegen einer solchen Durchlässigkeit für die gelösten Stoffe) zum Glauben verleitet werden, dass die Lösungen solcher Körper unfähig wären, Plasmolyse überhaupt hervorzurufen. Dem ist aber nicht so, wie übrigens ein Vergleich der Beziehungen zwischen osmotischem Druck und Gasdruck ohne Weiteres klar machen müsste.

Wir wollen einen analogen Fall bei Gasen betrachten und kehren zu dem Zwecke für einen Augenblick zu unserem Fussball unter dem Recipienten der Druckpumpe zurück. Kautschuk ist bekanntlich für Kohlensäure mehr oder wenig durchlässig. Was wird geschehen, wenn wir einen Kohlensäuredruck von zirka zwei Atmosphären in dem Recipienten erzeugen? Es ist klar, dass sich zunächst der Kautschukball von der ledernen Umhüllung zurückziehen wird, um dann allmählich in gleicher Masse, wie die CO_2 durchdringt, sich wieder auszudehnen und gegen die Hülle einen Druck auszuüben.

Ganz ähnlich verhält es sich mit den Lösungen der vorhin supponierten Körper. Bis dahin waren indessen

¹⁾ Bei dem Vergleich der osmotischen Eigenschaften einer Pflanzenzelle mit denjenigen eines gewöhnlichen endosmotischen Apparates darf nicht vergessen werden, dass das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen bei der ersteren enorm viel grösser ist als bei der letzteren und dass in Folge dessen ein nach wenigen Stunden erfolgender Ausgleich der Konzentrationen einer Lösung innerhalb und ausserhalb der Zelle keineswegs eine besonders grosse Permeabilität der Plasmahaut für den gelösten Körper erfordert. Dieselbe ist thatsächlich in dem betrachteten Falle viel geringer, als die Permeabilität des vegetabilischen Pergaments oder der Tierblase für gelöste Salzmoleküle.

nur zwei solche Körper bekannt, nämlich Glycerin und Harnstoff.

Für die Lösungen von Glycerin wurde dieses Verhalten vor wenigen Jahren von G. Klebs¹⁾ gefunden; für Lösungen von Harnstoff von De Vries.²⁾ Klebs und De Vries haben indessen den Gegenstand nicht näher verfolgt.

Über Körper, deren Moleküle in gelöstem Zustande das lebende Protoplasma noch schneller als Glycerin und Harnstoff durchdringen, waren bis jetzt in der Litteratur keine Angaben.

Beim Beginn meiner Untersuchungen waren mir die vorerwähnten Angaben von Klebs und De Vries über das Verhalten von Glycerin und Harnstoff noch unbekannt. Ich war bei der experimentellen Untersuchung einiger vererbungsmechanischen Fragen, die uns hier nicht weiter angehen, gezwungen, nach Körpern zu suchen, deren gelöste Moleküle durch die lebende Plasmahaut in grösseren Mengen nachweisbar hindurchtreten.

Ich machte die ersten Versuche mit Aethylalkohol. Eine Spirogyra, die nach dem Einbringen in eine 8 p. c. Lösung von Rohrzucker eine sehr schwache, aber deutliche Plasmolyse zeigte, wurde in verschiedenen starken Lösungen des Alkohols gebracht.

Nach den bereits entwickelten Beziehungen zwischen den Konzentrationen isosmotischer Lösungen und dem Molekulargewicht, musste, wenn Äthylalkohol nicht eindringen sollte, eine $8 \times \frac{46}{342} = 1,1$ p. c. Lösung des Alkohols

¹⁾ G. Klebs, Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle. Unters. aus d. botan. Inst. zu Tübingen, Bd. II, S. 540, 1888; vgl. auch De Vries, Bot. Ztg. 1888, p. 229.

²⁾ De Vries, Bot. Ztg. 1889, p. 309.

genügen, um eine der 8 p. c. Rohrzuckerlösung gleich starke Plasmolyse hervorzurufen. Ein $1\frac{1}{2}$ p. c. Alkohol musste also eine ziemlich starke Plasmolyse verursachen. Meine Vermutung ging dahin, dass der Alkohol ganz allmählich in die Zellen eindringen und dass zunächst Plasmolyse eintreten würde, um bald wieder zu verschwinden. Es trat aber überhaupt keine Plasmolyse ein; ebensowenig in einer 2 und 3 p. c. Lösung, obgleich letztere nach der Rechnung mit einer zirka 22 p. c. Rohrzuckerlösung isosmotisch ist. Dabei blieb die Alge völlig gesund. — Ich bin nun so verfahren, dass ich eine 3 p. c. Lösung des Alkohols in 8 p. c. Rohrzucker bereitete und brachte darauf die betreffende Alge in diese Lösung. Es trat eine genau ebenso grosse Plasmolyse ein, wie in der 8 p. c. Rohrzuckerlösung allein. Es war also nur **eine** Erklärung möglich: Die gelösten Alkoholmoleküle dringen durch die Grenzschichten des Protoplasmas ebenso schnell ein wie durch die Cellulosemembran.

Weitere Versuche ergaben, dass die verschiedensten Pflanzenzellen sich alle dem Äthylalkohol gegenüber ganz ähnlich verhalten. Besondere Untersuchungen haben gezeigt, dass dies auch für die Hefezellen gilt. Die Ausscheidung des Alkohols aus den Hefezellen beruht also nicht auf einer aktiven Exkretion, sondern auf einer reinen Exosmose.

Nachdem ich bald darauf einige andere Verbindungen aufgefunden hatte, die sich dem Äthylalkohol ganz ähnlich verhalten, entschloss ich mich, den ganzen Gegenstand einer systematischen Untersuchung zu unterwerfen.

Es wurden im Ganzen einige 200 zum Teil anorganische, zum weitaus grössten Teil aber organische Ver-

bindungen auf ihre Fähigkeit geprüft, durch das lebende Protoplasma einzudringen und es ergab sich dabei, dass diese Fähigkeit eine sehr verbreitete ist und in mehr oder weniger auffallender Beziehung zu der physikalischen und chemischen Konstitution der betreffenden Verbindungen steht. Ferner zeigte es sich, dass es alle nur denkbaren Übergänge giebt zwischen solchen Körpern, deren gelöste Moleküle gar nicht durch das lebende Protoplasma eindringen, bis zu solchen, die es ebenso schnell thun wie Alkohol oder Wassermoleküle.

Ich habe zunächst in Tabelle II eine kleine Auswahl der untersuchten Fettkörper aufgezeichnet, welche ebenso schnell wie Äthylalkohol durch das Plasma eindringen, welche also weder für sich im Stande sind Plasmolyse hervorzurufen, noch in einer plasmolisierenden Lösung eines anderen Körpers aufgelöst, die Plasmolyse zu verstärken vermögen.

Tabelle II.

Verzeichnis einiger Fettverbindungen, welche die lebenden Protoplasten sofort durchdringen:

Name der Verbindung	Chemische Formel derselben	Molekulargewicht
Methylalkohol	$C H_3 . OH$	32
Äthylalkohol	$C_2 H_5 . OH$	46
n. u. Iso-Propylalkohol	$C_3 H_7 . OH$	60
Isobutylalkohol	$C_4 H_9 . OH$	74
Amylalkohole	$C_5 H_{11} . OH$	88
Allylalkohol	$C_3 H_5 . OH$	58
Äthyläther	$(C_2 H_5)_2 O$	74
Essigs. Äthylester	$C_2 H_5 O_2 . C_2 H_5$	88
Phosphors. Triäthylester	$PO (O . C_2 H_5)_3$	192
Äthylurethan	$CO \begin{cases} NH_2 \\ O . C_2 H_5 \end{cases}$	89

Name der Verbindung	Chemische Formel derselben	Molekulargewicht
Formaldehyd	H . COH	30
Äthylaldehyd	CH ₃ . COH	44
Paraldehyd	(C ₂ H ₄ O) ₃	132
Isopropylaldehyd	C ₂ H ₅ . COH	58
Isobutylaldehyd	C ₃ H ₇ . COH	72
Chloralhydrat	CCl ₃ . CH $\begin{matrix} \text{OH} \\ \text{OH} \end{matrix}$	165,5
Aceton	CH ₃ . CO . CH ₃	58
Sulfonal	(CH ₃) ₂ . C . (SO ₂ . C ₂ H ₅) ₂	228
Methylcyanid	CH ₃ . CN	41
Äthylcyanid	C ₂ H ₅ . CN	55
Methylal	CH ₂ $\begin{matrix} \text{O} . \text{CH}_3 \\ \text{O} . \text{CH}_3 \end{matrix}$	76
Furfurol	C ₄ H ₃ O . COH	96
Coffein	C ₈ H ₁₀ N ₄ O ₂	194

Es verhalten sich unter den Fettverbindungen in dieser Weise alle Alkohole der Grenzreihe, soweit dieselben in Wasser löslich sind, ebenso Allylalkohol, ferner Äthyläther, Essigsäures Äthylester und andere Ester der niedrigen Fettsäuren; Phosphorsäure-Triäthylester (die neutralen Ester der übrigen Mineralsäuren sind meist in Wasser sehr wenig löslich und entziehen sich daher der Untersuchung), Äthylurethan und andere Urethane; des Ferneren die niedrigen Aldehyde, soweit dieselben in Wasser löslich sind, ebenso Paraldehyd und Chloralhydrat und so weiter.

Ausser den in der Tabelle angeführten Verbindungen wurden übrigens noch zahlreiche andere Körper der Fettreihe untersucht, welche sich ebenso verhalten.

Von Benzolderivaten, deren wässrige Lösungen sofort eindringen, sind in Tabelle III eine Anzahl verzeichnet.

Name der Verbindung	Chemische Formel derselben	Molekulargewicht	Schnelligkeit des Eindringens
Glycerin . . .	$C_3 H_5 (OH)_3$	92	Ausgleich (f. 2 p. c. Lösungen) in zirka 2 Stunden vollendet.
Harnstoff . . .	$CO \begin{cases} NH_2 \\ NH_2 \end{cases}$	60	Ausgleich (f. 1 p. c. Lösungen) in zirka 5 Stunden vollendet.
Thioharnstoff .	$CS \begin{cases} NH_2 \\ NH_2 \end{cases}$	76	
Erythrit . . .	$C_4 H_6 (OH)_4$	122	Ausgleich (f. 4 p. c. Lösungen) nach 20 Stunden erst zu einem Drittel geschehen.

Darunter schliessen sich den weiter oben besprochenen Verbindungen am nächsten an, Körper wie Glycol, Acetamid, Succinimid u. a. m., welche vorübergehend in stärkeren Konzentrationen eine Plasmolyse hervorrufen. Bei diesen geht aber selbst eine starke Plasmolyse innerhalb zirka fünf Minuten vorbei, während die Protoplasmaströmung und andere Lebensthätigkeiten unverbändert ihren Gang fortsetzen. Hier kann man den Rückgang der Plasmolyse unter dem Mikroskop sehr schön direkt beobachten.

Schon bedeutend langsamer dringt das Glycerin ein, noch langsamer der Harnstoff und bei Erythrit sind selbst nach 20 Stunden die Konzentrationen im Zellsaft und in äusserer Flüssigkeit noch lange nicht ausgeglichen.

Bei allen diesen Lösungen wurde durch spezielle Untersuchungen festgestellt, dass die gelösten Moleküle in beiden Richtungen die Plasmahäute gleich leicht passieren.

Bevor ich zu der Besprechung der Beziehungen zwischen der Fähigkeit der Verbindungen, die Plasmahaut zu durchdringen, und ihrer chemischen resp. physika-

lischen Konstitution übergehe, mache ich darauf besonders aufmerksam, dass unter den schnell in die lebende Zelle eindringenden Verbindungen eine grössere Anzahl unserer wirksamsten physiologischen und arzneilichen Präparate gehören, so z. B. sämtliche mir bekannten allgemeinen Anästhetica (es sind in den Tabellen allerdings nur wenige angeführt), mehrere Narcotica und Hypnotica z. B. die Alkohole, Chloralhydrat, Sulfonal, ferner verschiedene Antipyretica, wie Antipyrin, Acetanilid, Resorcin u. s. w. — Die Alkaloide (in Form ihrer Salze) sind zum Teil in der nötigen Konzentration zu schnell wirkende Gifte, als dass man die Schnelligkeit ihres Eindringens auf osmotometrischem Wege bestimmen kann; dagegen gelang es mir, auf andere Weise festzustellen, dass dieselben alle (soweit untersucht), wenn auch meist sehr langsam, durch die noch unbeschädigten Protoplasten eindringen. Äusserst langsam dringen die Salze der Papaveralkaloide ein (dementsprechend kann die Protoplasmaströmung in Zellen, die selbst in einer zwei p. c. Lösung von Morphinchlorid verweilen, zwanzig Stunden und darüber noch anhalten), bedeutend schneller Salze des Chinins oder Cocains. Die Salze der beiden letzten Alkaloide töten die meisten Pflanzenzellen sehr rasch, selbst noch in sehr verdünnten Lösungen.

Bezüglich des Zusammenhangs der Konstitution der Verbindungen mit ihrer Fähigkeit, die lebende Plasmahaut zu passieren, wird ein Blick auf die Tabellen zeigen, dass besonders solchen Körpern, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig sind, diese Eigenschaft in hohem Grade zukommt.

Es war mir dieses häufige Eindringen der wässerigen Lösungen flüssiger Körper schon in einem frühen Sta-

dium meiner Untersuchungen aufgefallen und ich habe nach und nach fast sämtliche im Handel vorkommende, neutrale, flüssige Verbindungen, die in Wasser eine genügende Löslichkeit besitzen, untersucht, ohne eine einzige Ausnahme von dieser Regel zu finden.¹⁾ Glycerin ist von allen untersuchten, bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen neutralen Körpern, der am langsamsten eindringende. — Das Wasser, mit seiner Fähigkeit, die lebende Plasmahaut so leicht zu passieren, nimmt also keine Ausnahmestelle ein, sondern teilt diese Eigenschaft mit vielen, vielleicht allen neutralen flüssigen Verbindungen.²⁾

Wie man aber schon aus den Tabellen sieht, gibt es neben flüssigen Verbindungen eine ziemliche Anzahl bei gewöhnlicher Temperatur fester Stoffe, die ebenfalls mehr oder weniger schnell eindringen.

Aus einem Vergleich aller untersuchten Körper ergibt sich aber, dass im grossen Ganzen mit der Verdichtung der Materie³⁾ (der Zunahme des spezifischen

¹⁾ Die Untersuchung auf osmotometrischem Wege, ob eine Gaslösung durch die Plasmahaut eindringt, ist nur im beschränkten Masse möglich; einige Versuche über diesen Gegenstand werden sich in der ausführlichen Arbeit finden.

²⁾ An und für sich hätte es nichts Überraschendes, wenn die Plasmahaut den Wassermolekülen gegenüber ein anderes Verhalten als gegen alle anderen Verbindungen zeigen sollte, da sie ja in lebensfähigem Zustande von Wasser imbibiert ist.

³⁾ So lange in einer neutralen Verbindung nur die Elemente C, H, O und N im Molekul vertreten sind, gibt zwar diese Regel ganz brauchbare Anhaltspunkte für die Voraussage, ob ein gegebener Stoff in den lebenden Protoplast eindringen wird, oder nicht und im ersteren Fall, ob das Eindringen schneller oder langsamer geschehen wird. Die Regel ist indessen rein empirischer Natur. In einer auf den Vortrag folgenden Diskussion hat mich Professor Werner darauf aufmerksam gemacht, dass der Zusammenhang der Konstitution der Verbindung und ihrer Fähigkeit, die Plasmahaut zu passieren, soweit ein solcher aus den Daten, welche in

Gewichts), die Fähigkeit der Moleküle, das lebende Protoplasma zu durchdringen, mehr und mehr verloren geht.

In der folgenden Zusammenstellung sind einige solcher Abhängigkeitsverhältnisse sehr deutlich zu erkennen.

Tabelle V.

Beziehungen zwischen Konstitution der Verbindungen und ihrer Fähigkeit, die Plasmahaut zu durchwandern:

Alkohole $C_n H_{2n+1} . OH$ dringen äusserst schnell in die Zelle ein.
Glycol $C_2 H_4 (OH)_2$ (sp. Gew. 1,125) dringt recht " " " " "
Glycerin $C_3 H_5 (OH)_3$ (sp. Gew. 1,265) dringt mässig " " " " "
Erythrit $C_4 H_6 (OH)_4$ fest, dringt langsam " " " " "
Avabinose $C_4 H_5 (OH) . COH$ fest, dringt äusserst langsam in die Zelle ein.
Mannit und die Hexosen, fest (sp. Gew. um 1,5) dringen nicht merklich in die Zelle ein.

<table border="0"> <tr> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle; padding-right: 5px;">{</td> <td>Formamid $CHO . NH_2$</td> </tr> <tr> <td>Acetamid $C_2 H_3 O . NH_2$</td> </tr> <tr> <td>Propionamid $C_3 H_5 O . NH_2$ dringen alle schnell ein.</td> </tr> </table>	{	Formamid $CHO . NH_2$	Acetamid $C_2 H_3 O . NH_2$	Propionamid $C_3 H_5 O . NH_2$ dringen alle schnell ein.	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle; padding-right: 5px;">{</td> <td>Glycocoll $CH_2 (NH_2) . CO_2 H$</td> </tr> <tr> <td>Alanin $CH_3 . CH (NH_2) . CO_2 H$ dringen kaum merklich ein.</td> </tr> </table>	{	Glycocoll $CH_2 (NH_2) . CO_2 H$	Alanin $CH_3 . CH (NH_2) . CO_2 H$ dringen kaum merklich ein.
{		Formamid $CHO . NH_2$						
		Acetamid $C_2 H_3 O . NH_2$						
	Propionamid $C_3 H_5 O . NH_2$ dringen alle schnell ein.							
{	Glycocoll $CH_2 (NH_2) . CO_2 H$							
	Alanin $CH_3 . CH (NH_2) . CO_2 H$ dringen kaum merklich ein.							
Estern dringen soweit in Wasser löslich sehr schnell ein.	Salze dringen nicht oder fast unmerklich (die meisten Mineralsalze), oder recht langsam (Amoniaksalze, alkylierten Amoniaksalze, Alkaloidsalze etc.) ein.							

Man sieht, wie in den mehrwertigen Alkoholen und ihren Derivaten, den Zuckerarten, mit der Zunahme des spezifischen Gewichts und mit dem Übergang in den festen zu den Tabellen zusammengestellt sind, zu ersehen ist, sich besser dahin ausdrücken würde: dass mit der Anwesenheit resp. Anhäufung von aktiven Atomgruppen im Molekul, die Fähigkeit einer Verbindung, durch die Plasmahaut einzudringen, abnimmt. Beim Durchmustern der Versuchsergebnisse sämtlicher untersuchten Verbindungen finde ich in der That, dass durch einen solchen Satz das Abhängigkeitsverhältnis zwischen der Konstitution der Verbindungen und ihrer Fähigkeit, die Plasmahaut zu durchwandern, einen viel allgemeiner zutreffenden Ausdruck findet, wie

stand die Fähigkeit einzudringen sich mehr und mehr verliert. Ebenso erkennt man, wie die Säureamide mit niedrigem Schmelzpunkt (Formamid ist sogar bei gewöhnlicher Temperatur flüssig) leicht eindringen, während die entsprechenden Amidosäuren mit viel höherem Schmelzpunkt und mit bedeutend grösserem spezifischem Gewicht kaum eindringen. Ähnliche Verhältnisse weist der Vergleich von Estern einerseits, Salzen andererseits auf.

Zu einer Erklärung dieser Regelmässigkeiten reichen unsere derzeitigen Kenntnisse noch nicht aus. Es wäre von grossem Interesse, zu erfahren, ob verschiedene Niederschlagsmembranen einer bestimmten Reihe von Verbindungen gegenüber denselben relativen Grad der Permeabilität besitzen, wie die lebenden Pflanzenzellen. Es scheint mir nicht unwahrscheinlich, dass dies im grossen Ganzen der Fall sein wird. Es liessen sich auch mit Niederschlagsmembranen das Verhalten mancher Verbindungen untersuchen, die wegen ihrer schädlichen Einwirkung der physiologischen Untersuchungsmethode unzugänglich sind.

Eins geht aus den Untersuchungen klar hervor, dass nämlich die Fähigkeit oder Nichtfähigkeit einer Verbindung, die Grenzschichten des lebenden Protoplasmas zu passieren, nicht in erster Linie von der Grösse des Molekuls abhängen kann, soweit wenigstens die relativen Grössen der Moleküle aus unseren chemischen Formeln und dem spezifischen Gewicht der Verbindung erschlossen werden können.

in der ausführlichen Arbeit eingehend gezeigt werden soll. Hier will ich nur erwähnen, dass z. B. das Dichlorhydrin des Glycerins die Plasmahaut sofort durchdringt. Ich hoffe, dass es auch gelingen wird, durch Ersetzung mehrerer Hydroxylgruppen in den Hexosen und anderen Monosacchariden durch Acetylgruppen und dgl. die bezüglichen Ester dieser Zuckerarten in die lebende Zelle einzuführen.

Es darf indessen nicht vergessen werden, dass es in vielen Fällen, so besonders bei den Salzen, sehr wahrscheinlich ist, dass bei der Auflösung in Wasser die Moleküle, resp. Teilmoleküle (Jonen) der gelösten Verbindung mit einer Anzahl Wassermoleküle zu grösseren Komplexen sich verbinden,¹⁾ wofür unter Anderem namentlich die Kontraktionserscheinungen bei der Auflösung sprechen. Doch ist zur Zeit nicht möglich, etwas Genaueres über die Grösse dieser Komplexe anzugeben.

Die Verhältnisse bei tierischen Zellen will ich, der vorgerückten Zeit halber, nur sehr summarisch behandeln.

Schon mit dem Nachweis, dass nicht die Cellulosehaut, sondern das Protoplasma, resp. dessen Grenzschichten, für die osmotischen Eigentümlichkeiten der lebenden Pflanzenzelle massgebend ist, musste es wahrscheinlich werden, dass tierische Zellen sehr ähnliche osmotische Eigenschaften aufweisen würden, wie die pflanzlichen. Diese Vermutung musste noch mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnen bei Betrachtung der Thatsache, dass trotzdem die Muskeln fortwährend von dem natriumchloridreichen Blut und Lymphe durchflossen werden, die Muskelfasern dennoch kaum Spuren von Natrium oder einem Chlorid enthalten und andererseits an Lymphe und Blut ihre Kaliumphosphate nicht abgeben. Ähnliche Verhältnisse bestehen übrigens zwischen den Blutkörperchen und dem Blutplasma, indem Erstere stets an Kali- und Phosphorsäuresalzen reich, an Natriumsalzen und an Chloriden arm sind, während genau das Entgegengesetzte für das Blutplasma gilt. — Das aber, was bezüglich der Verteilung der Salze für die Muskeln und Blutkörperchen durch

¹⁾ Vergl. z. B. Ostwald, Allgem. Chemie; 2. Aufl. Bd. II, erster Teil, S. 798 u. f.

genauere Untersuchungen festgestellt ist, scheint auch für die übrigen Gewerbezellen zu gelten.

Die ersten umfassenden Untersuchungen jedoch über die osmotischen Eigenschaften tierischer Zellen sind erst vor wenigen Jahren an den roten Blutkörperchen der Säugetiere ausgeführt worden und zwar wieder von zwei holländischen Forschern, dem berühmten Physiologen und Ophthalmologen Donders und H. J. Hamburger.¹⁾ Später nach Donders Tode wurden diese Untersuchungen von Hamburger allein fortgesetzt. Diese Arbeiten, welche in direktem Anschluss an die Untersuchungen von De Vries bei Pflanzenzellen ausgeführt wurden, betreffen hauptsächlich das Verhalten der Blutkörperchen gegenüber Salzen. Sie haben zu dem Ergebnis geführt, dass wenigstens den Salzen gegenüber die Blutkörperchen in ihren osmotischen Eigenschaften den Pflanzenzellen völlig gleichen.

Da mir eine Trennung der Physiologie der Pflanzen- und Tierzelle stets als eine sehr willkürliche vorgekommen ist, habe ich von Anfang meiner Untersuchungen an, die osmotischen Eigenschaften pflanzlicher und tierischer Zellen mehr oder weniger parallel neben einander studiert. Dabei hat es sich ergeben, dass nicht nur die roten Blutkörperchen der Säugetiere und anderer Wirbeltiere für dieselben Verbindungen durchlässig sind wie die Pflanzenzellen, sondern dass im grossen Ganzen auch alle anderen tierischen Zellen in ihrer Durchlässigkeit und Nichtdurch-

¹⁾ H. J. Hamburger, Über den Einfluss chem. Verbindungen auf Blutkörperchen im Zusammenhange mit ihren Molekulargewichten. Arch. f. Physiol. v. E. du Bois-Reymond, 1886, p. 476; derselbe, Über die durch Salz- und Rohrzuckerlösungen bewirkten Veränderungen der Blutkörperchen. Ib idem, 1887, p. 31; ebenso in verschiedenen anderen Abhandlungen.

lässigkeit für verschiedene Körper, sowohl unter sich wie mit den Pflanzenzellen, eine weitgehende Übereinstimmung zeigen. Freilich ist diese Übereinstimmung keine vollkommene, indem namentlich unter den Drüsenzellen und den Epithelien der Drüsenbehälter Fälle vorkommen, wo die Permeabilitätsverhältnisse gegenüber gewissen Verbindungen von denjenigen der meisten andern Zellen grössere Abweichungen aufweisen. Im Übrigen scheinen auch die Pflanzenzellen unter sich in ihren osmotischen Eigenschaften nicht völlig gleich zu sein.

In ihrem Verhalten gegenüber zahlreichen Stoffen aber scheinen alle **Zellen übereinzustimmen**: so scheint das **lebende Protoplasma sämtlicher Elementarorganismen**, seien sie Pflanzenzellen oder Protozoen, Flimmer- oder Drüsenzellen, Ei-, Spermazellen oder Furchungskugeln, Muskelfasern oder Nervenzellen, für die Lösungen der niedrigen Alkohole, des Äthers und Chloroforms, der niederen Aldehyde, des Acetons und vieler anderen Verbindungen gleich leicht permeabel zu sein.

— Von den zahlreichen Anwendungen, welche die im Vorhergehenden festgestellten Thatsachen über die grössere oder geringere Durchlässigkeit der lebenden Zelle für die Lösungen verschiedener Körper, auf die verschiedensten Teile der Physiologie erfahren können, kann ich heute einige wenige nur andeuten.

Zunächst möchte ich hervorheben, dass wir in denjenigen Verbindungen, deren gelöste Moleküle die lebende Plasmahaut so schnell durchdringen, dass die Konzentration der die Zelle umgebenden Lösung und diejenige der Imbibitionsflüssigkeit der Zelle nach kürzester Zeit im Gleichgewicht stehen, ausgezeichnete Mittel besitzen,

um die Eigenschaften des Protoplasmas der verschiedenen tierischen Gewebezellen sowohl unter sich, wie mit denjenigen des Pflanzenprotoplasmas zu vergleichen.¹⁾

So hat es sich unter Anderem ergeben, dass die weniger differenzierten tierischen Zellen, z. B. die Ei- und Spermazellen, die Furchungskugeln, die Flimmerepithelien, die Protozoen etc. ihre Funktionen einstellen bei fast genau derselben Konzentration der Alkohole und der meisten anderen Verbindungen dieser Gruppe, wie die Pflanzenzellen. — Ganz anders verhält es sich beispielsweise bei den Ganglienzellen der höheren Tiere. Hier (bei den Ganglienzellen) genügen schon viel geringere Konzentrationen der betreffenden Verbindungen, um die Funktionen derselben aufzuheben, um die Zellen zu narkotisieren. Wenn man aber mit verschiedenen hoch organisierten Tierformen experimentiert, so findet man unter den verschiedenen Nervenzellen ganz allmähliche Übergänge zwischen dem Verhalten undifferenzierter Zellen und demjenigen der am höchsten stehenden Ganglienzellen. Man kann durch Anwendung dieser Verbindungen die Differenzierungsstufe von Ganglienzellen verschiedener Tiere gewissermassen zahlenmässig ausdrücken, indem die Entwicklungshöhe derselben im umgekehrten Verhältnis

¹⁾ Bei solchen Verbindungen, welche, wie die Morphiumsalze, durch die Plasmahaut der meisten Zellen nur äusserst langsam eindringen, ist es zur Zeit nicht möglich zu bestimmen, bis zu welchem Grade ihre vorzugsweise Wirkung auf spezielle Gewebelemente daher rührt, dass gerade diese Elemente für die betreffenden Verbindungen durchlässiger sind als die übrigen Zellen, in wie weit daher, dass schon eine geringere Konzentration der Verbindung im Innern der bezüglichen Elemente genügt, um einen merkbaren Effekt auszuüben. In sehr vielen Fällen unterstützen sich höchst wahrscheinlich beide Faktoren.

zu der Konzentration steht, welche notwendig ist, um Narkose zu bewirken.

In ähnlicher Weise lässt sich mittelst dieser Körper das allmähliche Auftreten der besonderen Eigenschaften der Nervenzellen während der Ontogenie verfolgen. Wenn man nämlich die soeben befruchteten Eier z. B. von Amphibien in verschiedenen konzentrierten Lösungen von Methyl- oder Äthylalkohol, von Äther oder Chloroform bringt, so geht die Entwicklung bis zu einer bestimmten, aber mit der Konzentration sich ändernden Stufe, um da völlig still zu stehen, wenn die Konzentration nicht erniedrigt wird.¹⁾ Diese Erscheinung ist wohl unzweifelhaft dahin zu deuten, dass gleich wie der dauernde Einfluss des Nervensystems auf die Muskeln, Drüsen etc. des erwachsenen Tieres notwendig ist, um ihren Stoffwechsel auf der normalen Höhe zu erhalten,²⁾ so auch dem sich entwickelnden Tier eine ähnliche Wechselwirkung zwischen den in Ausbildung begriffenen Nervenzellen und den übrigen Zellen (oder einem Teil derselben) des Keimes notwendig ist, damit die Muskelfasern, Drüsenzellen etc. sich überhaupt differenzieren. Beim ersten Auftreten des Nervensystems unterscheiden sich die dasselbe komponierenden Zellen in ihren

¹⁾ Es ist selbstverständlich, dass diese Versuche vielfach variiert wurden, dass man z. B. die Eier zunächst längere Zeit sich in Wasser entwickeln liess und erst auf einer gewissen Entwicklungsstufe in die Versuchsflüssigkeit überführte u. s. f.

²⁾ Es sei daran erinnert, dass, wenn man die Verbindungen zwischen motorischen Nerven und Muskeln mittelst Curare vorübergehend ausschaltet, die Körpertemperatur des Versuchstiers hinabsinkt; diese Temperaturverminderung ist aber in erster Linie durch den verlangsamten Stoffwechsel der Muskeln bedingt. Allgemein bekannt ist die Atrophie der Muskeln und Drüsen nach Durchschneidung ihrer Nerven.

Eigenschaften nur wenig von denjenigen undifferenzierter Zellen; sie werden in Folge dessen erst bei wenig niedrigeren Konzentrationen von Alkohol, Äther, Chloroform etc. narkotisiert, als zu der Narkotisierung undifferenzierter Zellen notwendig sind, können also noch bei relativ hohen Konzentrationen ihre Funktionen erfüllen. Schritt für Schritt aber entfernen sich die Eigenschaften der Nervenzellen bei der weiteren Entwicklung des Nervensystems immer mehr von denjenigen undifferenzierter Zellen und die Nervenzellen werden daher erst bei immer niedriger werdenden Konzentrationen der betreffenden Verbindungen noch im Stande sein, ihre Funktionen auszuüben.¹⁾

Auch für die Erforschung des Mechanismus der Vererbung haben Experimente mit den Lösungen dieser die Plasmahaut leicht passierenden Verbindungen einen Wert. Es lässt sich nämlich mit Hilfe derselben nachweisen, dass weitgehende Änderungen in der chemischen Zusammensetzung des Kernsaftes²⁾ und der Imbibitionsflüssigkeit des Protoplasmas der Geschlechtszellen und der befruchteten Eizelle stattfinden können, ohne dass der Entwicklungsgang von dem gewohnten Wege in auffallender Weise abweicht. Lässt man beispielsweise befruchtete Frosch-

¹⁾ Es ist ziemlich sicher vorauszusehen, dass dereinst bei dem Studium entwicklungsmechanischer Probleme die Anwendung von solchen Giften, welche ganz bestimmte Gewebelemente des Organismus ausser Funktion zu setzen erlauben (z. B. Curare) eine ausgedehntere Rolle spielen wird.

²⁾ Es ist sehr wahrscheinlich, dass alle Stoffe, welche die lebende Plasmahaut leicht zu durchwandern vermögen, auch in den Kernsaft gelangen. Für Methyl- und Äthylalkohol, für Glycerin und einige andere Stoffe wird in der ausführlichen Arbeit dies direkt bewiesen.

eier sich in 1 p. c. Methyl- oder Äthylalkohol¹⁾ entwickeln, so entstehen völlig normale Kaulquappen, welche von solchen, die sich in reinem Wasser entwickelt haben, nicht zu unterscheiden sind. Bei Pflanzen entstehen normale Embryonen selbst wenn Eizelle und Pollenschlauch sich in 3 p. c. Methyl- oder Äthylalkohol entwickelt und vereinigt haben.

Zu einer ihnen allein zukommenden Anwendbarkeit sind solche Verbindungen geeignet, die zwar etwas langsam die lebende Plasmahaut passieren, bei genügender Dauer des Versuchs aber in grossen Mengen in den Zellsaft übergehen können, ohne dass die Zelle beschädigt wird. Es lassen sich nämlich mit Hülfe dieser Verbindungen die mechanischen Eigenschaften der Zellmembranen (noch lebender Zellen) nach gewissen Richtungen erforschen, die keiner andern Methode zugänglich sind.

Um dies zu veranschaulichen, wollen wir wieder unseren Fussball unter dem Rezipienten der Druckpumpe zur Hülfe heranziehen. Bekanntlich ist Kautschuk, wenn auch langsam, für Kohlensäure durchlässig. Wenn wir also (wieder unter der Annahme, dass der Fussball unter einem Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären mit gewöhnlicher Luft gefüllt war) den Rezipienten mit Kohlensäure füllen und den Druck derselben im Rezipienten so langsam zum Steigen bringen, dass er wegen der allmählichen Diffusion durch den Kautschuk den jeweiligen partiellen Kohlensäuredruck im Innern des Fussballs nie um mehr als $1\frac{1}{2}$ Atmosphären übertrifft, so können wir bei genügend langer Dauer des Versuchs den Druck im Rezipienten auf eine

¹⁾ Erst bei höheren Konzentrationen werden Kaulquappen narkotisiert.

beliebige Höhe bringen, ohne dass der Kautschukball von der ledernen Hülle jemals zurückweicht. Hat nun der Druck in dem Recipienten eine gewisse Höhe überschritten, so wird, beim plötzlichen Sinken desselben, sagen wir, auf eine Atmosphäre, der Überdruck in dem Fussball so gross werden, dass derselbe zersprengt wird.

Eine ganz analoge Versuchsanordnung lässt sich bei der lebenden Zelle realisieren. Zu dem Zwecke bringt man z. B. Algen in eine verdünnte Glycerinlösung, die, wie schon früher mitgeteilt, durch die Plasmahaut langsam hindurchtritt. Die Konzentration des Glycerins wird so gewählt, dass sie gerade noch keine Plasmolyse bewirkt; darauf lässt man die Lösung in einem offenen Gefäss sich so langsam konzentrieren, dass die Konzentration des Glycerins in der Aussenflüssigkeit diejenige im Zellsaft stets nur wenig übertrifft. In solcher Weise gelingt es, ohne dass Plasmolyse jemals eintritt und ohne dass die Lebensthätigkeit der Alge Einbusse erleidet, die Konzentration des Glycerins bis über 10 p. c. zu steigern; gegen 15 p. c. hin wird die Kohlensäurezersetzung bedeutend herabgesetzt und die Plasmaströmung langsamer; gegen 20 p. c. gehen Kohlensäurezersetzung und Plasmaströmung auf ein Minimum zurück und bei etwas höheren Konzentrationen tritt vollständige Narkose ein; aber selbst bei einer Konzentration des Glycerins von über 50 p. c. bleiben die osmotischen Eigenschaften der Plasmahaut zunächst unverändert. Bringt man nun die Alge plötzlich in reines Wasser, so wird die Zellmembran durch den enormen¹⁾

¹⁾ Eine 50 p. c. Lösung von Glycerin erzeugt einen osmotischen Druck von jedenfalls über 150 Atmosphären, da bei so starken Konzentrationen der Druck schneller zunimmt als der Gehalt der Lösung. Es ist übrigens selbstverständlich, dass schon

osmotischen Druck des Zellsaftes augenblicklich zersprengt. Indem man diejenige Konzentration des Glycerins im Zellsaft bestimmt, welche gerade noch hinreicht, um beim Überführen der untersuchten Zelle in reines Wasser ein Zerreißen der Zellmembran zu bewirken, kann man die absolute Festigkeit der betreffenden Membran gegen einen hydrostatischen Druck berechnen. Durch Bestimmung der Stelle der Membran, an welcher das Zerreißen stattgefunden hat und der Richtung der Risslinien ergeben sich noch weitere Aufschlüsse über die mechanischen Eigenschaften der Membran. Die Feststellung dieser Eigenschaften ist für die Theorie des Membranwachstums von nicht geringer Bedeutung.

Der erste Teil des soeben beschriebenen Versuchs ist zugleich ein prägnantes Beispiel von der enormen Änderung, welche die Zusammensetzung der Imbibitionsflüssigkeit des Protoplasmas erleiden kann, ohne dass die normale Lebensthätigkeit der Zelle gestört wird.²⁾

Die mannigfaltigsten Dienste aber können sowohl die schneller wie die langsamer durch die lebende Plasmahaut durchwandernden Verbindungen bei dem **Studium der Stoffwechselforgänge** der Zelle leisten. Einzelne Beispiele³⁾

viel geringere Konzentrationen genügen, um Algenzellen zum Platzen zu bringen. Häufig genügt schon die künstliche Erhöhung des osmotischen Drucks des Zellsaftes um wenige Atmosphären, um das Zersprengen der Zellmembran zu bewirken.

²⁾ Dass Algenzellen vorzüglich in 5 p. c. Glycerin gedeihen können, ist schon von G. Klebs gefunden worden, (G. Klebs, Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle, in Unters. aus dem botan. Institut zu Tübingen, Bd. II. S. 540 u. f., 1888).

³⁾ Vergl. auch Pfeffer, Über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Unters. aus dem botan. Institut zu Tübingen, S. 179—332. 1886. Derselbe, Beitr. z. Kenntnis der Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen, 1889.

müssen aber für heute genügen, um dies zu illustrieren.

Bekanntlich hat vor längerer Zeit der berühmte Chemiker A. Baeyer die Hypothese aufgestellt, dass als erstes Produkt bei der Kohlenstoffassimilation Formaldehyd gebildet werde und dass aus diesem durch Polymerisation Zucker entstehe. Diese Hypothese findet man auch in den meisten Lehrbüchern der Botanik angeführt und von rein chemischer Seite könnte zu ihrer Unterstützung dienen, dass in letzter Zeit durch die Arbeiten von E. Fischer der sichere Nachweis erbracht worden ist, dass aus Formaldehyd durch Polymerisation echte Zuckerarten entstehen können. Nun haben wir aber gefunden, dass Formaldehyd sofort durch die lebende Plasmahaut ein- und austreten kann; es müsste also Formaldehyd, wenn derselbe wirklich z. B. in einer Algenzelle durch den Assimilationsprozess gebildet würde, sofort in das umgebende Wasser austreten, es wäre denn, dass im gleichen Moment, in welchem derselbe entsteht, er in eine andere, nicht exosmierende, Verbindung umgewandelt wird. Versuche haben mir im Übrigen gezeigt, dass selbst in einer Verdünnung von 1 : 25000 Formaldehyd bei Algen die Kohlensäurezersetzung auf zirka ein Viertel der normalen Grösse herabsetzt und dass selbst in Verdünnung von 1 : 50000 die Geschwindigkeit dieses Vorgangs sehr deutlich abnimmt. Wenn durch diese Betrachtungen und Versuche jene Hypothese nicht völlig widerlegt wird, so scheint sie mir dadurch doch sehr unwahrscheinlich geworden zu sein.

Nicht selten findet eine chemische Wechselwirkung zwischen den normalen Stoffwechselprodukten der Zelle und einem Teil des in die Zelle künstlich eingeführten Körpers statt. Wenn man beispielsweise verschiedene

Alkohole in eine Pflanze einführt, so verbinden sich dieselben in manchen Pflanzen mit in der Pflanze gebildeten Säuren zu den entsprechenden Estern. Vielleicht wird es in ähnlicher Weise gelingen, Pflanzen zur Bildung solcher Glucoside anzuregen, deren einer Bestandteil ihr künstlich zugeführt werden kann.

In gewissen Fällen können fremde Substanzen, welche man in eine Zelle eingeführt hat, ohne selbst an dem chemischen Vorgang teilzunehmen, durch Reizwirkung die Bildung von Körpern in der Zelle veranlassen, die sich unter normalen Umständen nicht gebildet hätten. So kann beispielsweise durch solche Reizwirkungen in gewissen Zellen die Bildung von Farbstoffen angeregt werden.

Es wäre leicht, noch viele andere Beispiele zu geben, wo künstlich in die lebende Zelle eingeführte Verbindungen in den Stoffwechsel derselben eingreifen und beim Studium dieses Stoffwechsels von Nutzen gemacht werden können, doch verbietet es die vorgerückte Zeit.

Zum Schlusse möchte ich besonders betonen, dass, obgleich die Lösungen zahlreicher Körper, wie wir gesehen haben, durch das lebende Protoplasma auf rein physikalischem Wege in die Zelle ein- und austreten können, wobei das Protoplasma völlig passiv bleibt, dennoch keineswegs alle Vorgänge der Stoffaufnahme und der Stoffabgabe seitens der Zelle in dieser Weise erklärt werden können. Bei vielen dieser Prozesse greift das lebende Protoplasma thätig ein und befördert Stoffe häufig genug in genau entgegengesetzter Richtung, als es bei alleiniger Wirkung der Diffusionsgesetze geschehen müsste. Beispiele der zuletzt genannten Erscheinungen treten uns in aufdringlicher Weise in manchen Drüsenzellen entgegen — ich erinnere

an die Epithelien der gewundenen Harnkanälchen, welche Harnstoff aus der sehr verdünnten Lösung des Bluts, resp. der Lymphe, in das Lumen der Harnkanälchen befördern, obgleich letztere eine viel konzentriertere Harnstofflösung enthalten; oder an die Epithelien der Malpighischen Knäuel, welche bei dem Diabetes Zucker aus dem Blute, das selten mehr als 4—8 p. m. Zucker enthält, aufnehmen und ins Lumen der Kapsel als 4—8 und mehr p. c. Lösung abscheiden; oder schliesslich an die Epithelien der Milchdrüsen, welche Kaliumsalze in viel höheren Konzentrationen in die Milchdrüsengänge überführen, als sie im Blute oder in der Lymphe enthalten sind. Vorgänge ähnlicher Art, wie sie uns hier bei den Drüsenzellen in besonders prägnanter Weise vor Augen treten, spielen aber sicherlich in dem Lebensgang einer jeden Pflanzen- und Tierzelle eine mehr oder weniger ausgedehnte Rolle. Ja man möchte fast sagen, dass die meisten Organismen in ihrem Stoffwechsel solche Verbindungen zu vermeiden suchen, welche auf rein physikalischem Wege die Plasmahaut schnell zu durchwandern vermögen und wo solche Stoffe vorübergehend auftreten, bestrebt sind, sie in andere Verbindungen überzuführen, welche dies nicht mehr thun,¹⁾ und im Interesse der Regelung der Stoffwanderung scheint uns ein solches Verhalten auch sehr begreiflich.

¹⁾ In diesem Sinne möchte ich die Bildung mancher Glucoside, deren einer Bestandteil die Plasmahaut zu passieren vermag, deuten und ebenso die Bildung vieler im Harn vorkommender gepaarten Säuren resp. deren Salze, wodurch die Niere in Stand gesetzt wird, zahlreiche Verbindungen (z. B. Phenol), in kurzer Zeit aus dem Körper zu entfernen, von welchen der Organismus sonst nur sehr langsam und allmählich befreit werden könnte. Näheres über diesen Gegenstand in meiner ausführlichen Arbeit.

Doch liegt eine nähere Besprechung der durch das thätige Eingreifen des Protoplasmas bedingten Stoffaufnahme und Stoffabgabe seitens der Zelle nicht mehr innerhalb des Rahmens meines Vortrages und ich habe dieselben nur berührt, um die Bedeutung der rein osmotischen Vorgänge im Lebensprozess der Zelle nicht in zu einseitiger Beleuchtung erscheinen zu lassen.
