© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mitteilungen.

24. W. W. Lepeschkin: Über den Turgordruck der vakuolisierten Zellen.

(Eingegangen am 6. März 1908.)

In den letzten Jahren befasste ich mich mit der Aufklärung der Beziehungen zwischen dem Turgordruck und dem Wachstum der pflanzlichen Zellen und sah mich schließlich veranlaßt, zuerst die Turgorerscheinung selbst und den Einfluß von äußeren Faktoren auf dieselbe so weit wie möglich ins Klare zu bringen. Unsere Kenntnisse auf diesem Gebiete schienen mir durchaus nicht so vollständig zu sein, daß man sie zur Erklärung des Wachstumsmechanismus verwenden könnte.

Da der Turgordruck an die osmotischen Eigenschaften der Zellen unmittelbar gebunden ist, so bezieht sich der vorliegende und die in Aussicht stehenden Aufsätze auch auf diese; demnach dürften die Ergebnisse, welche von mir erhalten wurden, auch für die Ernährungslehre der Pflanzen von Bedeutung sein.

I. Terminologie.

Unter dem Namen Turgor und Turgeszenz verstanden frühere Forscher die bekannte Erscheinung der Gewebespannung, hervorgerufen durch den Anprall des aufgesogenen Wassers[1]). Später wurden aber die beiden Namen öfters in verschiedenem Sinne gebraucht; so wurde mit dem Namen Turgor der hydrostatische Druck, der vom endosmotisch aufgesogenen Wasser auf die Zellwände ausgeübt wird, bezeichnet[2]), während man unter Turgeszenz „die

1) Dutrochet, Mémoires p. serv. a l'hist. v. veg. Brüssel 1837. Nägeli, Pflanzenphysiol. Unters. 1855. I. W. Hofmeister, Pflanzenzelle, 1867.

2) Sachs, Lehrbuch d. Botanik, IV. Aufl. Eschenhagen, Einfluß von Lösungen verschied. Concentrat. usw. 1889. Diss. Leipzig. Coppeland, Ueb. d. Einfluss. v. Licht u. Temp. auf d. Turgor. Diss. Halle 1896. Stange, Beziehung zw. Substratkonzentration, Turgor usw. Bot. Ztg. 1892, S. 253 u. A.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

innere Spannung und die äußere Stärke der Gewebe"[1]) und bisweilen, wie es scheint, auch die elastische Dehnung der Zellhaut infolge des inneren Drucks verstand[2]). Nachdem PFEFFER den inneren Zellendruck in die ihn zusammensetzenden Kräfte zerlegte, schlug derselbe den Namen Turgor für die Gesamtspannung, welche aus der antagonistischen Gegenwirkung des vom Zellinhalt ausgeübten Drucks und der Spannungskräfte der Zellwände resultiert, vor, während er den Druck selbst öfters mit Turgorkraft bezeichnete[3]). Doch wurden die auf die Turgorerscheinung sich beziehenden Namen auch nach Publikation des zitierten Werkes PFEFFERs sehr willkürlich gebraucht. So wurde die Turgorkraft bald mit dem Namen Turgeszenz bezeichnet[4]), bald mit der Konzentration des Zellsafts identifiziert[5]). Das Fehlen bestimmter Namen für die Größen, welche die Turgorerscheinung ausmachen, rief bisweilen Mißverständnisse hervor[6]) und veranlaßte manche Forscher, neue Benennungen einzuführen[7]). Die Unbestimmtheit der Nomenklatur macht sich besonders in der Arbeit von PANTANELLI[8]) fühlbar, wo verschiedene Größen mit demselben Namen und umgekehrt bezeichnet wurden.

Bevor ich zur Darlegung meiner Beobachtungen und Schlußfolgerungen übergehe, sehe ich mich in Anbetracht des Gesagten veranlaßt, eine feste Terminologie der Größen, die sich auf die Turgorerscheinung beziehen, aufzustellen.

Unter dem Namen Turgor und Turgeszenz wäre es am zweckmäßigsten, nur die bekannte Erscheinung der Zellen- resp. Gewebestraffheit, veranlaßt durch den inneren Zelldruck, zu verstehen; für die Benennung der Größen dagegen die zwei folgenden Namen zu gebrauchen.

In allen Fällen würde ich den gesamten vom Zellinhalt auf die Zellwände[9]) ausgeübten Druck mit dem Namen Tur-

---

1) VAN TIEGHEM, Traité de Botanique. 1891.

2) ESCHENHAGEN l. c. S. 23. PANTANELLI, Zur Kenntnis d. Turgorregulation usw. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, 1904, S. 316.

3) PFEFFER, Zur Kenntnis d. Plasmahaut u. Vacuolen. 1890, S. 297 Pflanzenphysiologie, II. Aufl., Bd. I, S. 117, Bd. II, S. 453.

4) AUBERT, Ann. d. scienc. natur. ser. VII, 1892, T. 16. RYSSELBERGHE, Reaction osmotique des cellules usw. Bruxelles 1899, p. 21. (Mem. cour. publ. p. l'Ac. roy. d. Belgique.)

5) COPELAND. Ueb. Einfl. v. Licht usw. Diss. 1896, Halle, S. 4 u. f.

6) COPELAND, l. c. S. 37.

7) RYSSELBERGHE, l. c. S. 36—40.

8) PANTANELLI, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 40, 1904, S. 316 u. f.

9) Diese Wände dürfen auch plasmatischer Natur sein.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gordruck bezeichnen und ihn in Atmosphären (1033 g auf qcm) ausdrücken[1]). Andererseits würde ich unter dem Namen Turgordehnung stets die elastische relative Verlängerung der Zellwand in irgend einer Richtung, veranlaßt durch den Turgordruck, verstehen. Wenn z. B. L die Zellwandlänge beim Turgordruck P, und L_0 dieselbe beim Ausbleiben des Drucks in der Zelle ist, so ist die Turgordehnung der Länge nach gleich $\frac{L - L_0}{L_0}$.

Durch die angeführten zwei Größen wird die Turgorerscheinung vollkommen bestimmt. Außerdem kann diese Erscheinung beim Ausbleiben einer dieser Größen (des Turgordrucks oder der Turgordehnung) nicht mehr existieren. Dieselbe würde z. B. fehlen, wenn die Zellwand so fest und spröde wäre, daß sie durch den vorhandenen Turgordruck nicht gedehnt werden könnte[2]). Auch könnte von der Turgorerscheinung keine Rede sein, wenn die Wände der toten Zellen durch die angrenzenden Gewebeschichten oder in anderer ähnlicher Art gedehnt würden.

Die Turgordehnung in irgend einer bestimmten Richtung ist offenbar eine Funktion des Turgordrucks und der mechanischen Eigenschaften der Zellwand. Bei konstanter Dicke und Elastizität der letzteren läßt sich also die Turgordehnung nach dem Turgordruck und umgekehrt berechnen. Dies trifft selbstverständlich nur dann zu, wenn kein Druck von außen auf die Zellwand ausgeübt wird. Im Gegenteil muß der Turgordruck durch Differenz dieses und des Außendrucks ersetzt werden, wenn die Zelle in irgend einer Richtung von außen gedrückt wird. Bei Gleichheit des Turgordrucks und des Außendrucks nach allen Richtungen hin ist die Turgordehnung gleich Null und bleibt daher die Turgeszenz der Zelle aus.

II. Die den Turgordruck zusammensetzenden Kräfte.

In der oben zitierten Abhandlung stellte PFEFFER fest, daß der Turgordruck, wenn er auch meistenteils durch die osmotische

---

1) Von ERRERA (Bull. d. l'Ac. roy. d. Belgique. 1901, III, S. 135) wurde eine andere Einheit zur Messung des osmotischen Drucks empfohlen. Um das Einführen eines neuen Namens in die Physik zu vermeiden, würde ich aber die frühere Einheit vorziehen.

2) In diesem Falle würde irgend eine Spannung der Zellen und Gewebe fehlen und die Straffheit derselben nicht durch den Turgordruck verursacht werden. Übrigens scheint eine Turgordehnung nie gleich Null zu sein und bedürfen die Angaben REINHARDTs (SCHWENDENERs Festschrift, 1899, S. 439 bis 446) einer genaueren Nachprüfung (s. auch PANTANELLI, l. c. S. 315 u. 319).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kraft bestimmt wird, wenigstens aus vier Kräften zusammengesetzt wird. Hierzu gehört außer dem osmotischen Druck der Zentraldruck, welcher aus der Kohäsion der Moleküle des zähflüssigen Plasmas entsteht, der Quellungsdruck des letzteren und der osmotische Druck der im Plasma gelösten Stoffe. Doch übt der letztere Druck, wie es PFEFFER auseinandersetzt[1]), keinen Einfluß auf den Turgordruck der vakuolisierten Zelle aus. Dasselbe gilt auch für die Quellungskraft des Plasmas, weil jeder von diesem ausgehende Druck sowohl gegen die Zellwand als auch gegen die Vakuole mit gleicher Kraft einwirkt. Wenn wir daher durch p_i den osmotischen Druck des Zellsafts, durch p_a denselben der die Zellhaut imbibierenden Flüssigkeit und durch p_c den Zentraldruck irgend einer Vakuole bezeichnen, so ist der Turgordruck der Zelle $P = p_i - p_a - p_c$.

Zurzeit gibt es keine genaue Methode für die direkte Bestimmung des Turgordrucks[2]). Daher ist man genötigt, denselben aus den ihn zusammensetzenden Kräften zu berechnen. Wir wenden uns also der Betrachtung der letzteren zu.

III. Der Zentraldruck.

Es wurde schon von PFEFFER[3]) darauf hingewiesen, daß zur Zeit für die genaue Bestimmung „des von Hautschicht und Vakuolenhaut ausgehenden Zentraldrucks“ die Kenntnis der Oberflächenspannung des Plasmas fehlt. Der annähernde Wert des Zentraldrucks würde sich aber ohne diese Kenntnis bestimmen lassen, weil die Oberflächenspannung verschiedener Flüssigkeiten nicht sehr variiert. Doch konnte man nicht die im Lehrbuch von NÄGELI und SCHWENDENER[4]) für den Radialdruck angegebene Formel zur Bestimmung des Zentraldrucks verwerten, wie es PFEFFER tun zu können glaubt, weil die Tangentialspannung der NÄGELIschen Formel mit der Oberflächespannung nichts gemein hat. Für die Berechnung des Zentraldrucks, der aus den Drucken der äußeren

1) l. c. S. 293.

2) Die Stabilität der mechanischen Eigenschaften der Zellwände vorausgesetzt, läßt sich in einzelnen Fällen gewiß die Veränderung des Turgordrucks annähernd bestimmen (PFEFFER, Physiologische Untersuchungen, 1873 S. 119 und Periodische Bewegungen 1875 S. 105), doch scheint mir die Bestimmungsmöglichkeit der absoluten Druckhöhen mittelst des Dynamometer oder der Beobachtung der Turgordehnung einstweilen dahingestellt zu sein (PFEFFER, l. c.).

3) Zur Kenntnis der Plasmahaut und Vakuolen p. 298.

4) NÄGELI und SCHWENDENER. Das Mikroskop, 1877, II. Aufl. S. 414.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

konvexen und der inneren konkaven Oberflächen des Plasmas resultiert[1]), muß man sich der Formel von LAPLACE zuwenden: $p_c = K_1 + \alpha_1 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) - K_2 + \alpha_2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$[2]), wo K_1 und K_2 — die Normaldrucke an der Grenze des Plasmas und der Zellwand einerseits und an der Grenze des Plasmas und des Zellsafts anderseits, α_1 und α_2 — die Oberflächenspannungen an beiden Grenzen, R_1 und R_2 — die Krümmungsradien von zwei normalen Hauptschnitten der äußeren und r_2 und r_1 — dieselben der inneren Plasmaoberfläche sind.

Da die Größen K_1 und K_2, wenn sie nicht gleich 0 sind, den Größen α_1 und α_2 nicht proportianal sind und da, wie es die Beobachtung zeigt, die Gleichheit $K_n - K_m = K_{n,m} (= - K_{n,m})$[3]) erfüllt sein muß, behalten alle aneinander geschichteten Flüssigkeiten ihre Normaldrucke, als ob sie nur mit der Luft in Berührung wären[4]). Demnach ist $K_1 = K_2$.

Was nun die Größen α_1 und α_2 anbelangt, so dürfen sie nicht wesentlich voneinander verschieden sein, weil einerseits die Zellwand durch das Plasma nicht benetzt wird (das ist durch die Plasmolyse bewiesen) und die Kohäsion zwischen denselben als eine Kohäsion zwischen dem Plasma und der die Zellwand imbibierenden Flüssigkeit betrachtet werden kann, anderseits verändert sich die gemeinsame Oberflächenspannung beim Auflösen von Salzen u. a. in den Flüssigkeiten[5]) nur unwesentlich. Wir nehmen an $\alpha_1 = \alpha_2$.

Schließlich haben wir also den folgenden Ausdruck für den Zentraldruck: $p_c = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$, oder, wenn die Zelle eine kugelige Form besitzt: $p_c = 2\alpha \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$, wo R — der innere

---

1) Im Falle der Wandeinbuchtung in das Plasmainnere wird die äußere Plasmaoberfläche konkav und die innere konvex und wird demnach auch der Zentraldruck positiv, d. h. nach außen gerichtet.

2) Die Formeln, welche in den Aufsätzen von TSWETT (Bullet. d. Labor. d. bot. d. l'univ. d. Génève, vol I. 1896, S. 136) und PANTANELLI (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 40 S. 311) angeführt sind, sind unrichtig. S. auch WINKELMANN, Handbuch der Physik, Bd. I, 1891, S. 453 u. ff.

3) WINKELMANN. Handbuch der Physik. I. Bd. S. 487—490. K_n ist der Normaldruck an der Grenze der Flüssigkeit n und der Luft, K_m — der Normaldruck an der Grenze der Flüssigkeit m und der Luft und $K_{n,m}$ — derselbe Druck an der gemeinsamen Oberfläche der beiden Flüssigkeiten n und m.

4) Die Zellwand kann man in diesem Falle als eine Flüssigkeitsschicht betrachten.

5) LERCH. Ann. d. Physik, 1902, Bd. 9 S. 434. LENKEWITZ. Unt. üb. d. Kapilarität. Dissertat., 1904, Münster.

Radius der Zelle und r — der Vakuolenradius ist. Seinen physikalischen Eigenschaften und seiner chemischen Zusammensetzung nach kann das Plasma zwischen die organischen Flüssigkeiten mit großem Molekulargewicht, so z. B. zwischen geschmolzenes Wachs, Zucker, Fett bei Temperaturen, die dem Schmelzpunkt nahe sind, gestellt werden. Die Kapillaritätskonstante solcher Körper a^2 schwankt zwischen 7 und 9[1]). Daher kann man die Oberflächenspannung des Plasmas $\alpha = \frac{a^2}{2s}$, wo S — sein spez. Gewicht, das 1 sehr nahe ist, mit großer Wahrscheinlichkeit gleich $4 \frac{Milligramm}{Millimeter}$ setzen[2]). Wenn $R = 0{,}1$ bis 0,001 mm und $r = 0{,}1$ bis 0,001 mm ist, schwankt also der Zentraldruck zwischen 160 und 16000 $\frac{Milligr.}{(Millim.)^2}$ oder 0,016 und 1,6 Atmosphären. Wenn $r = o$, $p_c = \infty$ ist, verschwindet demnach bei gewissen genügend kleinen Dimensionen eine jede Vakuole, trotz dem hohen osmotischen Druck der in ihr enthaltenen Lösung, worauf schon PFEFFER hinwies (l. c.). Andererseits kann eine Vakuole im Plasma nur um einen festen Körper oder Tropfen von nicht mischbarer Flüssigkeit entstehen, weil der osmotische Druck von Lösungen nie gleich ∞ sein kann.

Die Oberflächenspannung variiert bekanntlich nur unwesentlich mit der Temperatur, der Konzentration der Lösung[3]) usw. Daher können die Veränderungen des Zentraldrucks nicht 0,1—0,12 desselben überschreiten und haben also keine wesentliche Bedeutung bei der Variation des Turgordrucks.

IV. Der osmotische Druck des Zellsaftes und der die Zellwand imbibierenden Flüssigkeit.

In diesem Aufsatze kann wegen Raummangels nur auf die

1) OSTWALD. Lehrbuch d. phys. Chemie, 2 Aufl., Bd. I, 1891, S. 532.

2) An der Grenze von Plasma und Wasser (resp. wässeriger Lösung) wird die Größe etwas kleiner, da die Oberflächenspannung von Wasser (oder Lösung) etwas größer ist als die Summe der Oberflächenspannung einer anderen Flüssigkeit und derselben an der Grenze dieser Flüssigkeit und Wasser (s. WINKELMANN. l. c. S. 470. QUINCKE. Ann. d. Phys. u. Chemie, Bd. 139 S. 12). Übrigens schwanken die Oberflächenspannungen von Flüssigkeiten (außer Quecksilber und verflüssigten Metallen) zwischen 2 und 8 und ist daher der Fehler, den wir machen, wenn wir die Oberflächenspannung von Plasma gleich $4 \frac{M_g}{M^m}$ setzen, nicht zu groß für unsere Zwecke.

3) OSTWALD, Lehrbuch, II. Aufl. I. Bd. S. 524, 533. LENKEWITZ, Üb. d. Kapilarität. Dissertat., Münster 1904. LERCH, Ann. d. Phys. Bd. 9. 1902.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Diskussion der Abhängigkeit des osmotischen Drucks von der Permeabilität des Plasmaschlauchs für gelöste Stoffe eingegangen werden.

Der osmotische Druck einer beliebigen Lösung kann nicht ohne weiteres direkt bestimmt werden und läßt sich nur aus den bekannten Formeln von ARRHENIUS und VAN T'HOFF, welche die Abhängigkeit des Druckes von der Konzentration der Lösung, elektrischen Dissoziation der gelösten Stoffe und der Temperatur ausdrücken ($P = RCT[1 + (n - 1)\alpha]$), berechnen[1]). Die direkte Messung des osmotischen Drucks ist bekanntlich nur für die Lösungen derjenigen Stoffe möglich, welche durch die Niederschlagsmembranen nicht diosmieren können. Andererseits zeigte TAMMANN[2]), daß das Nichtübereinstimmen der direkt gemessenen osmotischen Drucke mit den theoretischen Werten derselben nur von der Diosmose der gelösten Stoffe herkommt. Dies wurde später auch von VAN T'HOFF[3]) und zurzeit, wie es scheint, allgemein anerkannt. Der beobachtete osmotische Druck ist somit eine Funktion der diosmotischen Eigenschaften einer Membran. Wenn wir mit P den beobachteten osmotischen Druck einer Lösung, mit P_o den osmotischen Druck derselben Lösung, aber in Voraussetzung der Impermeabilität der Membran für gelöste Stoffe, mit μ eine der Permeabilität der Membran proportionale Größe, welche im weiteren Permeabilitätsfaktor genannt werden soll, bezeichnen, so ist, wie aus den Betrachtungen TAMMANNs hervorgeht, $P = P^o (1 - \mu)$[4]) $= RCT[1 + (n - 1)\alpha](1 - \mu)$[5]), worin R — die Gas-

---

1) Vor kurzem versuchte KAUFLER (Zeitschr. f. phys. Chemie, 1903 Bd. 43 S. 686, siehe auch PANTANELLI) die mathematische Abhängigkeit des osmotischen Drucks von der Oberflächenkrümmung einer Flüssigkeit zu finden; doch läßt sich leicht beweisen, daß der osmotische Druck in keinem Falle von der Oberflächenform der Lösung abhängt. Denken wir uns z. B. eine Zelle, welche Wände aus Zellulose hat, und einerseits konkav, andererseits konvex ist (d. h. im Durchschnitt eine Sichelform besitzt). Im Zellinnern hinter der konvexen Wand soll nach KAUFLER fortwährend ein Überschuß von Stoff im Vergleich mit der äußeren Lösung anwesend sein; hinter der konkaven Wand soll die Lösung dagegen eine kleinere Konzentration haben als die äußere Lösung. Demnach wird, dank der Diffusion, fortwährend ein Wasserstrom durch die konkave nach der konvexen Wand und ein Stoffstrom durch die konvexe nach der konkaven Wand unterhalten, also ein perpetuum mobile.

2) Zeitschrift f. physik Chemie. Bd. 9. S. 97.

3) Zeitschrift f. physik. Chemie. Bd. 9 S. 477.

4) Siehe auch LEPESCHKIN. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 48 S. 598 und Beihefte z. bot. Zentralbl. 1906. Bd. XIX Abt. I H. 3 S. 427. Daß der beobachtete osmotische Druck auf die angegebene Weise durch den theore-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

konstante, welche gleich 0,0821 ist, C — die Konzentration in g-Mol. pro l, T — die absolute Temperatur, n — die Ionenanzahl und α — der Dissoziationsgrad ist.

Die angeführte Abhängigkeit des tatsächlichen osmotischen Drucks von der Permeabilität der Membran für gelöste Stoffe muss sich auch am osmotischen Drucke des Zellsafts und der die Zellwand imbibierenden Flüssigkeit äußern, weil die Permeabilität des Plasmaschlauchs für gewisse (vielleicht auch alle) Stoffe zurzeit allgemein anerkannt ist. In der Tat wurde diese Äußerung von mir an *Pilobolus* beobachtet[1]). Doch ist in diesem Falle die Permeabilität der Plasmamembran ungewöhnlich groß[2]) und könnte man noch in Zweifel ziehen, ob sich der Einfluß derselben auf den osmotischen Druck des Zellsaftes und der umgebenden Flüssigkeit auch an gewöhnlichen Objekten nachweisen lassen könnte[3]). Um sich aber vom Einfluß der Plasmapermeabilität auf den osmotischen Druck der plasmolysierenden Lösung zu überzeugen, soll man sich dem Vergleich der theoretisch berechneten und der mittelst der Plasmolyse erhaltenen isotonischen Koeffizienten für diejenigen

---

tischen Druck und die Permeabilität der Membran ausgedrückt werden muß, läßt sich auch theoretisch ableiten. Denken wir uns z. B. über eine Zuckerlösung reines Wasser in einem Zylinder geschichtet und von dieser durch eine feste, verschiebbare absolut semipermeable Wand getrennt (NERNST, Theoretische Chemie. II. Aufl. S. 130 und 138); dann verschieben wir die Wand um eine sehr kleine Strecke nach unten. Der hierzu nötige Arbeitsaufwand beträgt $P\Delta v$, worin Δv das Volum bedeutet, um welches der Stempel gesenkt ist. Wenn aber die Wand für Zucker permeabel wäre, so wäre durch den Stempel der Lösung nicht reines Wasser, sondern eine Lösung von schwächerer Konzentration entzogen, weil Zucker inzwischen nach der Seite des Wassers hin diosmiert wäre. Daher würde auch der Arbeitsaufwand betragen: $P\Delta v - p\Delta v$, wo p — der osmotische Druck dieser entzogenen Lösung von schwächerer Konzentration bedeutet. Da aber die Diffusionsgeschwindigkeit der Konzentration der Lösung, von welcher aus die Diffusion stattfindet proportional ist, so ist auch p proportional P. Demnach beträgt der Arbeitsaufwand bei der Permeabilität der Wand für Zucker $\Delta v P(1-k)$, wo k eine Konstante, die von der Permeabilität abhängt ist, und die Kraft selbst $P_o = P(1-k)$.

5) Nach VAN T'HOFF kann der theoretische osmotische Druck auch durch die andere Formel ausgedrückt werden: $P_o = 4{,}56\, T \log \frac{p}{p'}$, worin T — die absolute Temperatur, p — die Dampfspannung von Wasser bei der Temperatur T, p' — die Dampfspannung der Lösung. Daher ist $P = 4{,}56\, T \log \frac{p}{p'} (1-\mu)$.

1) Beihefte z. botan. Zentralblatt. 1906. Bd. XIX, S. 430—443.

2) l. c. S. 421.

3) S. auch PFEFFER. Zur Kenntnis d. Plasmahaut usw. S. 304.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Stoffe zuwenden, welche den Plasmaschlauch am leichtesten passieren können. Zu solchen Stoffen gehört z. B. Glycerin, Harnstoff, Salpeter. In der Tat fand DE VRIES [1]) für den isotonischen Koeffizienten von Glycerin den Wert 1,78, während der theoretische auf Grund der Dampfspannungen von Glycerin- und Zuckerlösungen berechnete Koeffizient gleich 1,86 ist [2]). Für Harnstoff gibt DE VRIES den Wert 1,7 [3]) an, während der theoretische Koeffizient 1,81 ist. Für Salpeter wurde von DE VRIES der Wert 3 gefunden, während der nach ARRHENIUS und KOHLRAUSCH [4]) berechnete Koeffizient 3,38 ist (vorausgesetzt, daß der isotonische Koeffizient von Zucker 1,88 ist). In allen Fällen wurden also die isotonischen Koeffizienten zu niedrig gefunden. Für Glycerin und Spirogyra fand DE VRIES sogar den Koeffizienten 1,61 [5]). Der genannte Forscher sucht einen so niedrigen Wert des Koeffizienten durch die Endosmose von Glyzerin in den Zellsaft während der Plasmolyse zu erklären: während $^1/_2$ Stunde soll aus der Lösung von der Konzentration 0,35 g Mol. eine solche Quantität von Glycerin in den Zellsaft hindurchgetreten sein, daß der letztere am Plasmolysenende 0,03 g Mol. enthielt. DE VRIES gibt also zu, daß sich das Volum des plasmolysierten Protroplasten in Glycerin während $^1/_2$ Stunde um $^1/_{10}$ seiner Größe vermehrte. Eine so rasche Glycerinendosmose, die zum Verschwinden jeder Plasmolyse mit Glycerin

---

1) DE VRIES. Zeitschr. f. physikal. Chemie. 1888. Bd. 2.

2) Die isotonischen Lösungen haben die gleichen Dampfspannungen (VAN T'HOFF, TAMMANN), daher lassen sich die isotonischen Koeffizienten nach den Tabellen von DIETERICI (WIEDEM. Ann. d. Physik. 1897. Bd. 62. S. 632 u. Bd. 67, 1899, S. 865) ausrechnen. So finden wir für die Zuckerlösung von der Konzentration 0,2 g Mol. im l (eine solche Lösung gebrauchte DE VRIES) die Dampfspannungserniedrigung gleich 0,0168 mm. Die molekulare Dampfspannungserniedrigung der Glycerinlösung, welche die gleiche Dampfspannungserniedrigung hat, ist 0,083 mm. Daher ist die isotonische Konzentration der Glycerinlösung $\frac{0{,}0168}{0{,}083} = 0{,}2024$ g Mol. im l. Als isotonischer Koeffizient von Glycerin, wenn derselbe für Zucker 1,88 ist, ergibt sich: $\frac{0{,}2 \,.\, 1{,}88}{0{,}2024} = 1{,}86$. Nach der Formel von ARRHENIUS berechnet, ist dieser Koeffizient demjenigen von Zucker gleich (1,88).

3) Botanische Zeitung. 1889. S. 330.

4) Die isotonischen Koeffizienten verhalten sich umgekehrt proportional der molekularen Konzentrationen der isotonischen Lösungen Daher ist der isotonische Koeffizient von Salpeter gleich $1{,}88\ [1 + (n - 1)\,\alpha]$, worin n — Anzahl der Ionen und α — Dissoziationsgrad ist, welcher nach KOHLRAUSCH (WIED. Ann. d. Physik 26, 195. 1885) bestimmt werden kann $\left(\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_\infty}\right)$.

5) Botan. Zeitung 1888, S. 226.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

in 1—2½ Stunden führen könnte, hat noch niemand beobachtet. Meine Versuche zeigten, daß sich das Volum des sogar mit 0,5 g Mol. Glycerin plasmolysierten Protoplasten von Spirogyra in ½ Stunde höchstens um $^1/_{50}$—$^1/_{80}$ seiner Größe vermehrte, trotzdem die isotonischen Koeffizienten dabei öfters gleich 1,40—1,60 ausfallen. Wenn die zu niedrigen isotonischen Koeffizienten von Glycerin, veranlaßt durch die Permeabilität der Plasmamembran für diesen Stoff, erhalten werden, so müßte die früher angeführte Formel, welche die Abhängigkeit des osmotischen Drucks von der Permeabilität ausdrückt, auch in Anwendung auf die Plasmolyse erfüllt werden.

Ist C_1 die Konzentration von einem plasmolysierenden Stoffe, C_2 — die mit ihr isotonische Konzentration von einem anderen Stoffe, welche nach den Angaben von DIETERICI oder nach der Formel von ARRHENIUS berechnet ist, und P_o — der gemeinsame osmotische Druck der beiden Lösungen, welcher nur bei der Impermeabilität der Plasmamembran für gelöste Stoffe erreicht wird, so sind die molekularen osmotischen Drucke der Lösungen $p_{m_1} = \frac{P_o}{C_1}$ und $p_{m_2} = \frac{P_o}{C_2}$; daraus: $\frac{p_{m_1}}{p_{m_2}} = \frac{C_2}{C_1}$; weiter ist: $\frac{C_2}{C_1} = \frac{K_1}{K_2}$, worin K_1 und K_2 — die theoretischen isotonischen Koeffizienten sind, daher: $\frac{p_{m_1}}{p_{m_2}} = \frac{K_1}{K_2}$. Im Falle der Permeabilität der Plasmamembran für die beiden plasmolysierenden Stoffe werden andere isotonische Konzentrationen erhalten. Bezeichnen wir diese durch C_1' und C_2' und den gemeinsamen osmotischen Druck durch P, so haben wir: $p_{m_1}' = \frac{P}{C_1}$ und: $p_{m_2}' = \frac{P}{C_2'}$, woraus sich: $\frac{p_{m_1}'}{p_{m_2}'} = \frac{C_2'}{C_1'}$ ergibt. Da aber $\frac{C_2'}{C_1'} = \frac{K_1'}{K_2}$, worin K_1' und K_2' die erhaltenen wirklichen isotonischen Koeffizienten sind, so folgt: $\frac{p_{m_1}'}{p_{m_2}'} = \frac{K_1'}{K_2'}$. Wie die oben erwähnte Formel verlangt, ist $p_{m_1}' = p_{m_1}(1-\mu_1)$ und $p_{m_2}' = p_{m_2}(1-\mu_2)$, wo μ_1 und μ_2 — Faktoren der Permeabilität der Plasmamembran sind. Am Schluß haben wir also: $\frac{K_1(1-\mu_1)}{K_2(1-\mu_2)} = \frac{K_1'}{K_2'}$. Wenn einer der plasmolysierenden Stoffe Zucker ist, so kann man $\mu_1 = 0$ setzen und $K_1 = K_1' = 1{,}88$ [1]). Daher ist in diesem Falle $\mu_2 = 1 - \frac{K_2'}{K_2}$. Die Größe μ_2 ist der Permeabilität proportinal. (Unter Permeabilität der Membran für einen bestimmten Stoff werden wir in weiterem

1) Siehe auch LEPESCHKIN. Zeitschr. f. phys. Chemie. Bd. 48, S. 597.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

das Verhältnis der Zahl von Gramm-Mol. dieses Stoffs, die in einer Stunde durch die Membran passieren, zum Konzentrationsabfall, in Gramm-Mol. pro Liter ausgedrückt, verstehen[1]).

Der erhaltene Ausdruck gestattet uns also eine experimentelle Prüfung der Abhängigkeit des osmotischen Drucks von der Permëabilität des Plasmaschlauchs für den plasmolysierenden Stoff.

Die Versuche wurden mit Glycerin angestellt. Als Objekt gebrauchte ich eine Art von *Spirogyra*, die seit Jahren in unserem Laboratorium kultiviert war. Die plasmolysierten Protoplasten der *Spirogyra*-Zellen schmiegen sich bekanntlich nach einiger Zeit fest an die seitlichen Zellwände; die Volumänderung des Protoplasten kann also nur in der Längsrichtung stattfinden. Dies gestattet noch, eine Volumänderung von 0,1—0,3 pCt. wahrzunehmen und mit dieser Genauigkeit zu messen. Da die Konzentration der plasmolysierenden Lösung selten kleiner als 0,3 g Mol. pro l ist, so können die isotonischen Koeffizienten für eine beliebige Zelle nach der Volumänderung des plasmolysierten Protoplasten infolge des Ersetzens der Zuckerlösung durch die beinahe isotonische Lösung von Glycerin bis 0,002—0,005 bestimmt werden. Zugleich kann auch die Permeabilität des Plasmaschlauchs für Glycerin aus der weiteren Volumzunahme des Protoplasten derselben Zellen berechnet werden, wenn auch nicht so genau, wie die isotonischen Koeffizienten, weil hier die absolute Veränderung des Volums bestimmt werden muß. Die Versuche wurden so angestellt, dass man einen *Spirogyra*-Faden mit Hilfe von Glashärchen (diese wurden mit einem Gemisch von Terpentin und Wachs angeklebt) auf einem großen Deckgläschen befestigte und dasselbe über einen niedrigen ($1^1/_2$ cm hoch und $2^1/_2$ cm breit) auf den Objektträger geklebten Glaszylinder umkippte. Das Deckgläschen wurde danach mit Wachs-Terpentin gedichtet. In den Zylinder, welcher seitwärts einen mit Pfropfen abgeschlossenen Tubulus hatte, wurde zunächst die Lösung von Zucker von der unten angegebenen Konzentration gebracht; in dieser Lösung blieb die Alge eine Stunde; danach wurden die plasmolysierten Protoplasten von 10—14 Zellen mittelst des Zeichenokulars von Leitz abgezeichnet und die Zuckerlösung

---

1) Wenn $\mu_1 > 0$ ist, $\mu_2 = 1 - \frac{K}{K'} M$, wo $M = \frac{1,88}{K_o}(1 - \mu_1)$. K_o ist der isotonische Koeffizient von Zucker, vorausgesetzt, daß die Membran für diesen Stoff permeabel ist und der Permeabilitätsfaktor μ_1 ist. Die Größe M ist aber sogar bei einer sehr großen Permeabilität für Zucker sehr nahe 1. So wäre z. B. $M = 0,97$, wenn die osmotischen Eigenschaften von Zucker denselben von Glyzerin gleich wären.

durch die beinahe isotonische Lösung von Glycerin ersetzt. Nach Verlauf von 30 Minuten wurden die Protoplasten zum zweiten und 2 Stunden nachher zum dritten Male abgezeichnet. Wenn das erste abgezeichnete Volum V_1 [1]), das zweite V_2, das dritte V_3, die Konzentration der gebrauchten Zuckerlösung C_1 und diejenige der Glycerinlösung C_2 ist, so ist die Konzentration von Glycerin, welche der Zuckerlösung von der Konzentration C_1 isotonisch ist, $C_x = \frac{\left(V_2 - \frac{V_3 - V_2}{4}\right) C_2}{V_1}$ und der isotonische Koeffizient von Glycerin $K' = \frac{C_1 \cdot 1{,}88}{C_x}$. Die Permeabilität von Glyzerin wurde folgendermaßen berechnet. Die Glycerinmenge, welche während 2 Stunden endosmierte, ist offenbar $\frac{(V_3 - V_2)\, C_2}{1000}$ g Mol. (vorausgesetzt, dass die Volumina in *c. c.* ausgedrückt sind). Wenn die mittlere Oberfläche des Protoplasten $P\ q \cdot c.$ ist [2]), so ist die Permeabilität $\beta = \frac{V_3 - V_2}{1000\ P \left(1 - \frac{(V_3 - V_2)(V_3 + 4V_2)}{8\ V_2\ V_3}\right)}$ [3]). Auf die angegebene Weise wurde die mittlere Permeabilität und die mittleren isotonischen Koeffizienten für die je 10—14 Zellen von 7 *Spirogyra*-Fäden, welche unter verschiedenen Bedingungen kultiviert waren, bestimmt. Aus dem ersten Versuche wurde der Proportionalitätskoeffizient h in der Gleichung $h\beta = \mu$, wo β— die Permeabilität und μ— ihr Faktor ist, bestimmt und dann die Größe β aus μ, welche ihrerseits mittelst der oben angegebenen Formel aus den isotonischen Koeffizienten bestimmt waren, berechnet. Die folgende Zusammensetzung zeigt, daß die auf die beschriebene Weise berechneten und experimentell gefundenen Größen β, innerhalb der Fehlergrenzen bei der Bestimmung von β aus der Volumzunahme, miteinander übereinstimmen.

---

1) Die Volumina wurden nach der Formel $\frac{\pi D_2}{2}\left(\frac{1}{2} L - \frac{1}{6} D\right)$ berechnet; hier bedeutet D— der innere Durchmesser der Zelle und L— die Protoplastenlänge.

2) Sie wurde nach der Formel $\pi D \left(L + \frac{1}{2} l\right)$ berechnet, wo l— die Längevergrößerung vom Protoplasten im Glycerin ist.

3) Für den mittleren Konzentrationsabfall wurde also die Größe $C_2 - \frac{1}{2}\left[\frac{(V_3 - V_2)\, C_2}{4\ V_2} + \frac{(V_3 - V_2)\, C_2}{V_3}\right] = C_2 \left[1 - \frac{(V_3 - V_2)(V_3 + 4\, V_2)}{8\, V_2\, V_3}\right]$ angenommen.

Nr. der Versuche	Zuckerkonzentr. in g-Mol. pr. l C_1	Glyzerinkonzentr. in g-Mol. pr. l C_2	Gefund. isoton. Koeffiz. K'	Theoret. isoton. Koeff. (n. Dieterici) K	Permeabilitätsfaktoren μ	Permeabilit. β berechnet	Permeabilit. β gefunden
I	0,7310	0,8696	1,587	1,723	0,0789	$104 . 10^{-9}$	$104 . 10^{-9}$
II	0,5848	0,6957	1,649	1,741	0,0529	$70 . 10^{-9}$	$81 . 10^{-9}$
III	0,7044	0,8021	1,609	1,727	0,0683	$90 . 10^{-9}$	$92 . 10^{-9}$
IV	0,8783	0,9408	1,498	1,706	0,1219	$160 . 10^{-9}$	$183 . 10^{-9}$
V	0,7302	0,8195	1,456	1,723	0,1549	$240 . 10^{-9}$	$216\ 10^{-9}$
VI	0,6403	0,7011	1,653	1,733	0,0461	$61 . 10^{-9}$	$67 . 10^{-}$
VII	0,7489	0,8061	1,556	1,721	0,0960	$126 . 10^{-9}$	$139 . 10^{-9}$

Wir müssen also einsehen, daß die Abhängigkeit des osmotischen Drucks der umgebenden Lösung von der Permeabilität des Plasmaschlauchs in der oben angegebenen Formel ihren Ausdruck findet.

Daß der osmotische Druck nicht nur der umgebenden Flüssigkeit, sondern auch des Zellsafts von der Permeabilität der Plasmamembran für die in denselben gelösten Stoffe abhängt, läßt sich auch daraus ersehen, das die mit Glycerin und in bestimmten Fällen mit Zucker plasmolysierten *Spirogyra*protoplasten bei dem Temperaturwechsel ihr Volum bedeutend ändern [1]).

Wie es von V. RYSSELBERGHE [2]) gezeigt wurde, ändert sich die Permeabilität der Plasmamembran für gelöste Stoffe verschiedener Zusammensetzung mit der Temperatur in gleicher Weise, und die Vergrößerung der Permeabilität wird hauptsächlich bei der Erhöhung der Temperatur von 0° bis 20° C beobachtet. Bei der weiteren Temperaturerhöhung ändert sich dagegen die Permeabilität nur sehr schwach. Demnach war es schon von vornherein zu erwarten, daß die hauptsächliche Volumveränderung des plasmolysierten Protoplasten nur bei dem Temperaturwechsel von 0° bis 20° C und umgekehrt stattfinden würde; dies wurde auch tatsächlich stets bei meinen Versuchen beobachtet. Da die Permeabilität der Plasmamembran bekanntlich für Glycerin am größten und für Zucker am kleinsten ist, so nimmt die Permeabilität für die im Zellsaft ge-

1) Das Ausbleiben einer Volumänderung des plasmolysierten Protoplasten bei der Temperaturerniedrigung von 10° bis 0°, welches RYSSELBERGHE an den Epidermiszellen von *Tradescantia discolor* konstatierte, erklärt sich dadurch, daß das genannte Objekt gar nicht zur Beobachtung der Volumänderung des Protoplasten taugt (die Epidermiszellen von *Tradescantia* sind nämlich unregelmäßig abgeplattet und die plasmolisierten Protoplasten können daher nie eine kugelige Form annehmen) und daß in den Versuchen RYSSELBERGHES nur Zucker zur Plasmolyse gebraucht wurde.

2) Bull. d. l'Acad. roy. d. Belgique Nr. 3 1901. S. 190, 217 u. 218.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

lösten Stoffe offenbar eine mittlere Stellung ein. Da weiter die Temperaturänderung wie erwähnt eine relativ gleiche (oder beinahe gleiche) Veränderung der Permeabilität für die äußeren und inneren gelösten Stoffe bewirkt, so konnte man schon von vornherein erwarten, daß die plasmolisierten Protoplasten in Glyzerin bei der Temperaturerhöhung ihr Volum vergrößern und bei der Temperaturerniedrigung verkleinern würden und daß bei der Plasmolyse mit Zucker eine umgekehrte Erscheinung beobachtet werden müßte[1]). Dies wurde auch tatsächlich stets bei meinen Versuchen beobachtet.

In diesen Versuchen wurde die Temperaturänderung mittelst eines gläsernen Wasserbades (mit einem beständigen Zu- und Abfluß von erwärmtem oder abgekühltem Wasser), das mit dem Mikroskoptisch fest verbunden war. Ein kurzer Objektträger wurde in eine Glasschale, die ins Bad eingesetzt war, hineingelegt und mit Siegellack befestigt. Nach dem Versenken des Mikroskoptubulus wurde der Raum zwischen diesem und der Schale mit einer Watteschicht gedichtet. Die Temperatur in der Schale und im Bade unterschied sich gewöhnlich um 1° C. Um das Verdecken des Objekts mit Kondensationswasser zu vermeiden (bei der Abkühlung), wurde bei meinen Versuchen stets ein Wasserimmersionssystem benutzt. Das erste Abzeichnen des plasmolysierten *Spirogyra*protoplasten geschah bei 20° C, 2 Stunden nach dem Einlegen der Fäden in die plasmolysierende Lösung, bei 2° erst nach 5 Stunden. Bei der Bestimmung der Volumänderung des Protoplasten, mit Glycerin

---

1) Um sich über die notwendige Volumveränderung des mit Glycerin und Zucker plasmolysierten Protoplasten bei der Temperaturänderung zu vergewissern, wenden wir uns der mathematischen Behandlung der Erscheinung zu. Bezeichnen wir den Permeabilitätsfaktor für die im Zellsaft gelösten Stoffe mit μ, denjenigen für den plasmolysierenden Stoff mit μ_o, die Zellsaftkonzentration (g-Mol. pro l.) mit c, die Konzentration der plasmolisierenden Lösung mit c_o und die elektrolytischen Koeffizienten der beiden Flüssigkeiten folgerecht mit i und i_o, so haben wir für die Plasmolyse: $c(1-\mu)\,i = c_o\,(1-\mu_o)\,i_o$ (I). Bei dem Temperaturwechsel werden μ u. μ_o zu μm und $\mu_o m$, wo $m \gtrless 1$. Die Gleichung I verwandelt sich zu: $c(1-\mu m)\,i \gtreqless c_o\,(1-\mu m)\,i_o$ (II) Indem wir die Größe c aus I bestimmen und den erhaltenen Wert in II setzen, haben wir: $\mu\,(1-m) \gtreqless \mu_o\,(1-m)$. Wenn $m < 1$ (bei der Temperaturerniedrigung), ist also $\mu \gtreqless \mu_o$ (III) und wenn $m > 1$, ist $\mu \lesseqgtr \mu_o$ (IV). Die Vergleichung von III und IV mit II zeigt, daß bei der Temperaturänderung nur dann keine Volumänderung beobachtet wird, wenn $\mu = \mu_o$. Im Gegenteil muß bei der Temperaturerniedrigung eine Volumzunahme, wenn $\mu > \mu_o$ (die Plasmolyse mit Zucker), und eine Volumabnahme, wenn $\mu < \mu_o$ (die Plasmolyse mit Glyzerin) beobachtet werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

plasmolysiert, wurde die vorher festgestellte Glycerinendosmose berücksichtigt.

Die Versuche zeigten, daß in allen Fällen, wenn die Plasmolyse mit Glyzerin ausgeführt wurde, bei der Temperaturerhöhung von 2° bis 20° C (während 10 Minuten) das Protoplastenvolum sich um 2—6 pCt. vergrößerte und bei der Abkühlung wieder bis auf die frühere Größe verminderte. Bei der Temperaturerhöhung von 20—40° C vergrößerte sich dagegen das Protoplastenvolum nur um 1—1,4 pCt. Bei der Einwirkung von 62°—65° C während 5 Minuten starben gewöhnlich die *Spirogyra*zellen, wobei, wie zu erwarten war[1]), stets eine rasche Vergrößerung des plasmolysierten Protoplasten beobachtet wurde.

Bei der Plasmolyse mit Zucker wurde die Volumänderung bei dem Temperaturwechsel nur an den *Spirogyra*fäden beobachtet, welche bei schwacher Beleuchtung kultiviert waren und daher nur wenig organische Verbindungen im Zellsaft enthielten[2]). In diesem Falle wurde bei der Temperaturerhöhung von 2° bis 20° C (während 20 Minuten) eine Volumverminderung um 0,5 bis 1,5 pCt. konstatiert und der Protoplast nahm bei der Abkühlung wieder das frühere Volum an.

Bei dem Temperaturwechsel von 20° bis 50° C wurde dagegen keine Volumänderung beobachtet. Beim Absterben der Zellen (60 bis 65° C) nahm das Protoplastenvolum stets sehr stark ab, was auch von vornherein zu erwarten war. Wenn die Permeabilität der Plasmamembran vorher z. B. durch eine zu lang dauernde Plasmolyse (Zucker, während 48 Stunden) erhöht wurde[3]), so konnte man nicht nur bei der Temperaturänderung von 2° bis 20°, sondern auch bei der Temperaturerhöhung von 20° bis 40° eine starke Volumänderung des mit Zucker plasmolysierten Protoplasten (3 bis 10 pCt.) und zwar eine Verkleinerung desselben beobachten, die sich wieder ausglich, wenn die Temperatur auf die frühere Größe sank.

Bei dem Temperaturwechsel nimmt gewiß auch die elektrische Dissoziation der im Zellsaft gelösten Stoffe an den Volumänderungen des Protoplasten teil, doch vermag bei den in meinen Versuchen

---

1) Die Permeabilität nahm offenbar außerordentlich zu.

2) Im entgegengesetzten Falle war die Permeabilität des Plasmaschlauchs für im Zellsaft gelöste Stoffe nur so wenig von derjenigen für Zucker verschieden, daß die Volumänderung beim Temperaturwechsel durch die im entgegengesetzten Sinne wirkende Veränderung des Dissoziationsgrades verdeckt wurde.

3) De Vries, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 16, 1885, S. 536.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

vorgenommenen Temperaturänderungen, wie es aus den Angaben von ARRHENIUS zu ersehen ist[1]), nur eine Änderung des osmotischen Drucks des Zellsafts und somit auch des Protoplastenvolums höchstens 0,2—0,8 pCt. zu bewirken.

Meine Versuche zeigten also, daß die Permeabilität der Plasmamembran für gelöste Stoffe nicht nur den osmotischen Druck der umgebenden Lösung, sondern auch denjenigen des Zellsafts beeinflußt[2]).

Bis jetzt verwandte man für die Bestimmung des Turgordrucks fast ausschließlich die Plasmolyse mit Salpeter. Da aber die Permeabilität der Plasmamembran für diesen Stoff verhältnismäßig groß ist, so hätte man die erhaltenen Werte des osmotischen Drucks stets auf die Permeabilität korrigieren sollen; die Notwendigkeit einer solchen Korrektur wurde aber bis jetzt außer Acht gelassen; daher dürfen die Schlüsse, welche durch die Untersuchungen, in welchen der Turgordruck mittelst der Plasmolyse mit Salpeter bestimmt wurde, begründet sind, nicht ohne weiteres als richtig angenommen werden. Wenn die im Zellsaft gelösten Stoffe durch die Plasmamembran nicht so leicht wie Salpeter passieren könnten (was in der Natur fast ausschließlich vorkommt), so müßte sich der tatsächliche osmotische Druck des Zellsafts bei entsprechender Permeabilitätsänderung gerade da vermehrt haben, wo man durch die Plasmolyse mit Salpeter seine Verminderung konstatierte (siehe Anmerkung 1 S. 211). Bei der Anwendung der plasmolytischen Methode zur Bestimmung des osmotischen Drucks des Zellsafts muß man also im weiteren stets die Plasmolyse parallel mit Zucker und Salpeter vornehmen. Die dabei erhaltenen isotonischen Koeffi-

---

1) ARRHENIUS, Zeitschr. f. phys. Chemie, Bd. 4, 1889, S. 99 u. 100.

2) Um sich über den Einfluß der Permeabilität auf den osmotischen Druck des Zellsafts eine ungefähre Vorstellung zu machen, können wir auf Grund der mitgeteilten Versuche die Größe des Permeabilitätsfaktors μ im Ausdruck $P_o\,(1-\mu)$, wo P_o der osmotische Druck der im Zellsaft gelösten Stoffe ist, vorausgesetzt, daß die Plasmamembran für die letzteren undurchlässig ist, zu bestimmen versuchen. Da $P_o = RCTi$, wo R — Gaskonstante, C — Konzentration, T — die absolute Temperatur, i — Dissoziationskoeffizient, da weiter der Permeabilitätsfaktor für Glycerin bei den untersuchten Spirogyrafäden im mittleren $^1/_8$ gleich war und sich die Permeabilität beim Temperaturwechsel von 20—2° C nach Untersuchungen von RYSSELBERGHE um das 6fache vermindert, so haben wir die zwei Gleichungen für die Bestimmung von μ:

$$R\,.\,293\,c\,(1-\mu)\,i = R\,.\,293\,c_o\,(1-{}^1/_8)$$

$$R\,.\,275\,c\,(1-\frac{\mu}{6})\,i = R\,.\,275\,c\,(1-{}^1/_{48}),$$

woraus sich $\mu = 0{,}08$ ergibt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zienten werden uns danach Aufschluß geben, ob sich die Permeabilität der Plasmamembran verändert hat oder nicht. Diese Koeffizienten gestatten uns außerdem, die Größen des Permeabilifaktors μ für Salpeter und daher auch den tatsächlichen Wert des osmotischen Drucks des Zellsafts zu bestimmen[1]).

---

25. M. Tswett: Ist der Phosphor an dem Aufbau der Chlorophylline beteiligt?

(Bemerkungen zu Herrn STOKLASAs Chlorolecithinhypothese.)

(Eingegangen am 14. März 1908.)

Bekanntlich ist die von HOPPE-SEYLER herrührende Ansicht, nach welcher das „Chlorophyll" phosphorhaltig ist, in neuerer Zeit von STOKLASA verteidigt worden, welcher in seinem Chlorolecithin einen hohen Phosphorgehalt gefunden hat. Dagegen vermochte WILLSTÄTTER in seinem „Chlorophyll" im allgemeinen keine nennenswerte Menge Phosphor zu entdecken. Worauf beruht nun der Gegensatz?

Unter „Chlorophyll" verstehen beide Forscher die vermeintliche „grüne Komponente"[2]) des Blattgrüns, welche angeblich nach dem KRAUSschen Verfahren isolierbar ist, jedoch, wie ich bereits in mehreren Arbeiten dargetan habe (diese Berichte **24**, 384; **25**,

---

1) Die Wichtigkeit der Berücksichtigung der Permeabilität der Plasmamembran in einigen Fällen (Zellen der Blattgelenke der schlafenden Pflanzen) ergibt sich aus den Angaben, welche von mir bei der Untersuchung der Variationsbewegungen erhalten werden (s. LEPESCHKIN, Memoires de l'Academie imp, d. sciences natur. de St. Petersburg, VIII. série, Phys.-math. Klasse, vol. XXII, Nr. 2 1907). Diese Bewegungen werden fast ausschließlich durch die Permeabilitätsänderungen verursacht.

2) Dieses „Chlorophyll", diese „grüne Komponente", gehört in die Kategorie der BACOs „idola quae per verba intellectui imponuntur", indem sie „nomina rerum quae sunt, sed confusa et male terminata, et temere et inaequaliter a rebus abstracta" sind. Wie dies schon KRAUS (Zur Kenntnis der Chlorophyllfarbstoffe, S. 93) hervorhob, ist dem Namen Chlorophyll die originelle Definition, die es auch jetzt in der Physiologie und Biologie hat, beizulegen: das gesamte grüne Farbstoffgemisch der grünen Pflanzen. Es ist absurd mit demselben Namen das Ganze und einen Teil desselben zu bezeichnen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: 26a

Autor(en)/Author(s): Lepeschkin W.Wladimir

Artikel/Article: Über den Turgordruck der vakuolisierten Zellen 198-214