

Untersuchungen über die Aufnahme von Salzen in die lebende Zelle.

Von

Hans Fitting.

Mit 3 Kurven.

Einleitung.

Unter welchen Bedingungen Salze in die lebende Zelle eindringen, unter welchen vorübergehend oder dauernd ihre Aufnahme verweigert wird und wovon die Geschwindigkeit der Aufnahme abhängt, all das ist bekanntlich noch nicht geklärt. Mancherlei Beobachtungen der letzten Jahre, z. B. über den Einfluß des Lichtes auf die Permeabilität des Protoplasten (Lepeschkin, 1909 a, b und Tröndle, 1910) scheinen ja jetzt ziemlich allgemein als wertvolle Stützen für Pfeffers sehr ansprechende Vermutung zu gelten, der lebende Organismus dürfte bei seinen wechselnden Bedürfnissen vielfach mit Modifikationen der osmotischen Eigenschaften seiner Plasmahäute arbeiten. Wenn auch in den letzten Jahren Mitteilungen über solche Permeabilitätsänderungen sich bedeutend gegen früher gemehrt haben, ja fast Mode geworden sind, so ist doch die Zahl der wirklich einwandfreien Beobachtungen noch immer ganz verschwindend klein: die meisten Untersuchungen nämlich, von denen einige zunächst in sehr exakter und bestechender Weise Permeabilitätsänderungen zu beweisen scheinen, vermögen teils wegen methodischer Fehler, teils wegen der Vieldeutigkeit der Ergebnisse einer eingehenden Kritik nicht standzuhalten. Das gilt ebenso sehr von den oben erwähnten Arbeiten Lepeschkins und Tröndles über Permeabilitätsänderungen durch Belichtung (vgl. schon Renner, 1912), wie von den Untersuchungen

Lundegårdhs (1911) vor allem über solche für Wasser durch den Einfluß von Salzen, wie weiter bekanntlich von den Arbeiten Nathansohns (1903, 1904) und Meurers (1909) über solche für Salze unter dem Einflusse eben dieser Salze (vgl. z. B. Ruhland, 1909 a, b), um von anderen ganz abzusehen. Die interessanten quantitativen Versuche von Osterhout (1912, 1913) endlich, wobei Permeabilitätsänderungen aus Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit des Gewebes erschlossen werden, scheinen mir ebenfalls zu vieldeutig, als daß sich allein darauf ein befriedigender Beweis gründen ließe; sie beschäftigen sich mit der Permeabilität für ein Salz bei An- oder Abwesenheit anderer Salze, um daraus eine Einsicht in das Wesen des sogenannten Antagonismus von Salzen zu gewinnen.

Unter diesen Umständen ist es bei der fundamentalen Wichtigkeit dieser Fragen des Zellebens nicht unangebracht, ja geradezu notwendig, nach anderen Methoden zu suchen, die in einwandfreierer und eindeutigerer Weise Aufschlüsse darüber zu geben vermögen und die es zugleich aussichtsreicher erscheinen lassen, tiefer in alle die zahllosen Probleme experimentell einzudringen, die hier, z. B. auch über Stoffaufnahmeregulationen, auftauchen. Vor allem schien es mir auf Grund von mancherlei theoretischen Überlegungen zur Vertiefung unserer Einsicht zunächst am wichtigsten und förderlichsten, mit einer brauchbaren Methode die Geschwindigkeit des Eindringens von Salzen und anderen Stoffen in lebende Protoplasten während aufeinander folgender kürzerer Zeitabschnitte zu bestimmen. Bestand doch dabei, schien mir, am ehesten Aussicht, Aufschluß über die paradoxe und noch keineswegs geklärte Tatsache zu gewinnen, daß Salze, die nachweisbar von den Protoplasten aufgenommen werden, doch dauernde Plasmolyse hervorrufen! Immer hatte ich schon vermutet, daß sich dafür die älteste aller Methoden, womit man die Permeabilität gelöster Stoffe hat nachweisen können, die plasmolytische, vornehmlich werde brauchbar gestalten lassen. Diese Annahme hat nach mehrjähriger Arbeit und nach sehr vielen, in der Mangelhaftigkeit der bisher gebräuchlichen Methodik begründeten Mißerfolgen und Irrgängen, die mich indes nicht entmutigen konnten, eine, wie ich glaube, volle Bestätigung gefunden. Es kam eben Alles darauf an, die Versuchstechnik genügend zu vervollkommen, geeignete Versuchsobjekte zu finden und in eingehendster Weise zu studieren. Ein solches lernte ich schließlich vor allem in den Blättern von

Rhoeo discolor, also in einem der klassischen Objekte für Plasmolyseversuche, kennen. Daß deren Oberhautzellen für viele Salze durchlässig sind, ist ja schon oftmals beobachtet worden; ich brauche nur an die Arbeiten von de Vries (1888), Janse (1888) und Rysselberghe (1898) zu erinnern. Freilich widersprechen sich die darüber vorliegenden Angaben. Das beruht aber, nach meinen Untersuchungen, wie weiterhin zu zeigen sein wird, nur auf interessanten Verschiedenheiten, die in der Permeabilität der Protoplasten bestehen.

Als Maßstab für die Salzaufnahme diente mir, namentlich wenn bei den Versuchen Konzentrationen unterhalb der plasmolytischen Grenzkonzentrationen verwendet wurden, die Veränderungen dieser Grenzkonzentrationen für das gleiche Salz oder meist die Geschwindigkeit des Rückganges der Plasmolyse, den man bisher fast ausschließlich zur qualitativen Ermittlung des Eindringens von Stoffen benutzt hatte, in aufeinander folgenden Zeitabschnitten. Der Grundgedanke der Methode ist hierbei der: werden Zellen mit gleichen osmotischen Drucken nebeneinander in Lösungen steigender Konzentrationen übertragen, worin sie also verschieden stark plasmolysiert werden, und geht danach die Plasmolyse zurück, so ist der Rückgang bis zu einem, nach Beginn des Versuches in schwächeren Konzentrationen beobachteten Grade der Plasmolyse ein Anzeichen dafür, daß die Konzentrationsdifferenz zwischen den beiden Lösungen während dieses Zeitabschnittes in die Zellen eingedrungen ist. Die Bestimmung der „Permeabilitätskoeffizienten“ in der Weise, wie es Lepeschkin und Tröndle getan haben, hat sich als ganz unbrauchbar, ja geradezu als irreführend erwiesen, wie ich in einer späteren Arbeit zeigen werde. Vorbedingung zum Gelingen der Versuche ist natürlich, daß man Zellen von gleichem osmotischem Drucke in größeren Mengen zur Verfügung hat. Das ist nun bei *Rhoeo discolor* in wünschenswertem Maße der Fall. Die Geschwindigkeiten der Salzaufnahme sind aber, zum mindesten bei meinen Versuchsobjekten, von so geringer Größenordnung, daß die plasmolytische Methode nur nach mancherlei Verfeinerungen für ihre Bestimmung verwendet werden konnte. So liefern meine Untersuchungen zugleich eine eingehende Kritik der plasmolytischen Methode in ihrer bisherigen Anwendung.

Abschnitt I. Allgemeine Methodik.

A. Herstellung der Lösungen.

Die Lösungen habe ich durch Verdünnung von Stammlösungen, die ein Mol oder Bruchteile eines solchen der Substanz im Liter Flüssigkeit enthielten, mittels zweier Büretten in der üblichen Weise wie Normallösungen, also „volumnormal“ hergestellt. Alle Substanzen wurden so rein wie möglich verwendet, z. B. die Salze „pro analysi Kahlbaum“ aus frischen Originalpackungen. Zur Aufnahme der 20 ccm Lösungen dienten kleine, runde Kristallisierschalen von 4,2 cm lichtem Durchmesser und 3 cm Höhe, mit 40 ccm Inhalt und mit 2 cm breit übergreifenden Glasdeckeln.

Genauigkeit der Messungen. Die Büretten (nach Schellbach mit blauem Emailstreifen) lassen eine Genauigkeit der Ablesung zu bis auf $\frac{1}{4}$ Teilstrich = $\frac{1}{40}$ ccm in maximo. Ist n der Grammkügelgehalt der Ausgangslösung, so wird dadurch, wenn man sie verdünnt, eine Ungenauigkeit bis zu $\pm n/800$ GM bei sorgfältigem Arbeiten bedingt; also bei einer Ausgangslösung von 0,25 GM = $\pm 0,0003125$ GM.

Fehler durch Kontraktion der Lösungen. Wie sich später zeigen wird, mußte mit sehr geringen Konzentrationsdifferenzen gearbeitet werden. Um die bei manchen Versuchen eventuell störenden Fehler, die durch die Veränderung der Kontraktion bei der Verdünnung entstehen, möglichst zu vermeiden, habe ich die Stammlösungen bereits so verdünnt wie möglich gewählt, so z. B. bei Kalisalpeter 0,25 GM. Nach Kohlrausch und Hallwachs (1894) kann man die Kontraktion des Wassers bei verschiedener Konzentration der Lösungen durch folgende Formel berechnen:

$$\text{Kontr. f. 1 ccm} = \frac{m \cdot (\Phi - \varphi)}{1000 - m\varphi},$$

worin ist

Φ = Molekular (bezw. Äquival.)-volumen des Körpers vor der Lösung in ccm,

φ = Molekularvolum des Körpers in Lösung,

m = Gehalt der Lösung in g = Äqu./Liter.

Wie klein der durch die veränderte Kontraktion bedingte Fehler für viele Lösungen ist, läßt sich z. B. für Kochsalz leicht übersehen, wofür die Autoren die nötigen Zahlen angeben. Wählt

man, wie es bei meinen Versuchen geschah, eine Stammlösung von 0,25 GM, so braucht man davon 8 ccm, um die größte verwendete Verdünnung von 0,1 GM herzustellen. Nun beträgt, berechnet nach den Zahlen der genannten Autoren (1894), die Kontraktion des Wassers für

$$\begin{aligned} 8 \text{ ccm } 0,25 \text{ GM Lösung} &= 0,0208 \text{ ccm,} \\ 20 \text{ ccm } 0,1 \text{ GM} \quad \text{„} &= 0,022 \text{ ccm.} \end{aligned}$$

Sonach ist die Differenz 0,0012 ccm. Das wäre aber, da ein Teilstrich der Bürette 0,1 ccm ist, $\frac{12}{1000}$ eines Teilstriches, was weit innerhalb der Fehlergrenzen der Verdünnung liegt. Bei Verdünnung auf 100 ccm wären freilich die Fehler nicht mehr innerhalb der Fehlergrenzen der Meßmethode gelegen (40 ccm 0,25 GM = 0,104 ccm Kontr., 60 ccm 0,1 GM = 0,066 ccm Kontr.; Differenz = 0,038 ccm = $\frac{38}{100}$ Teilstrich).

Für Kalisalpeter dürften die Kontraktionsdifferenzen von ähnlicher Größenordnung sein.

Sehr viel stärkere Kontraktionen kommen aber bei manchen anderen Salzen, z. B. bei Magnesiumsulfat vor. Ich benutzte eine Stammlösung von 0,333 GM. Die größte notwendige Verdünnung war die auf 0,15 GM. Man braucht 9 ccm 0,333 GM-Lösung, um daraus 20 ccm 0,15 GM-Lösung zu gewinnen; die Kontraktion ist, wieder nach den Zahlen von Kohlrausch usw. (1894), für

$$\begin{aligned} 9 \text{ ccm } 0,333 \text{ GM-Lösung} &= 0,1296 \text{ ccm,} \\ 20 \text{ ccm } 0,15 \text{ GM-Lösung} &= 0,1368 \text{ ccm.} \end{aligned}$$

Sonach beträgt die Differenz 0,0072 ccm = ca. $\frac{1}{14}$ Teilstrich der Bürette. Also selbst bei solchen ungewöhnlich starken Kontraktionsdifferenzen liegen bei meiner Verdünnungsmethode die dadurch bedingten Fehler weit innerhalb der Fehlergrenzen!

Für Rohrzucker ist die Kontraktionsdifferenz nahezu Null.

Konzentrationsdifferenzen zwischen den einzelnen Lösungen.

De Vries (1884) hat bei *Rhoeo discolor* zur Ermittlung seiner isotonischen Koeffizienten z. B. für Kalisalpeter Lösungen von 0,1, 0,11, 0,12 usw. GM, also mit einer Konzentrationsdifferenz von 0,01 GM benutzt. Lepeschkin (1909 a, S. 329 ff.) hat für die gleiche Pflanze Lösungen verwendet, die nur um 0,001 GM voneinander verschieden waren, übrigens bei einer Methode, die ich nach einer genaueren

Untersuchung der Eigenschaften der *Rhoeo*-Zellen als unbrauchbar bezeichnen muß.

Bei Versuchen mit Konzentrationsdifferenzen nach de Vries sind die Differenzen in der Plasmolyse bei benachbarten Lösungen so groß, daß man daraus keine klaren Schlüsse ziehen kann.

Beispiele: Ich schnitt nach de Vries' Vorgänge aus den Mittelrippen der Blätter einen 2 mm breiten Längsstreifen und zerlegte ihn in eine Reihe annähernd quadratischer Plättchen. Zu jedem Versuche wurde ein neues Blatt verwendet. Der Grad der Plasmolyse wurde nach einer halben Stunde festgestellt.

Versuch 1.	{	0,11	0,12	0,13 GM KNO_3
		0	∞ pl	alle pl
" 2.	{	0,12	0,13	0,14 GM "
		0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ pl	alle pl
" 3.	{	0,13	0,14 GM KNO_3	
		wenige pl	alle pl	

Wie hoch soll man da die plasmolytische Grenzlösung einschätzen? Das Objekt erlaubt wesentlich genauere Bestimmungen! Bessere Ergebnisse erzielt man schon mit Konzentrationsdifferenzen von 0,005 GM.

Versuch 4.	{	0,15	0,155	0,16	0,165	0,17 GM KNO_3
		0	gv	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞ pl
" 5.	{	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14 GM "
		0	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl
" 6.	{	0,17	0,175	0,18	0,185 GM KNO_3	
		v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl	
" 7.	{	0,13	0,135	0,14	0,145 GM "	
		0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	
" 8.	{	0,145	0,15	0,155 GM KNO_3		
		0	$\frac{1}{2}$	pl		

Bei allen diesen und den weiterhin folgenden Versuchen bedeutet stets 0 = keine Plasmolyse, gv, v, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ usw. ganz vereinzelte, vereinzelte, ein Drittel, die Hälfte der Zellen usw. plasmolysiert, pl = alle Zellen plasmolysiert.

Selbst solche Konzentrationsdifferenzen sind noch in vielen Versuchen, wie z. B. in Versuch 4 und 8 zu groß.

Schließlich habe ich mich nach weiteren orientierenden Versuchen entschlossen, eine Konzentrationsdifferenz von 0,0025 GM für meine Versuche zu wählen. Man erhält dann in den aufeinanderfolgenden Lösungen meist nicht zu große und nicht zu kleine

Unterschiede im plasmolytischen Zustande, die sich leicht abschätzen lassen, und ausgezeichnet klare Ergebnisse. Beispiele:

Versuch 9.	{	0,0975	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	GM KNO ₃
	{	0	gv	1/2	3/4	∞	pl	
" 10.	{	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	GM KNO ₃	
	{	0	v	1/2	∞	pl		
" 11.	{	0,12	0,1225	0,125	0,1275	0,13	GM "	
	{	0	gv	1/2	3/4	pl		
" 12.	{	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	0,14	GM KNO ₃
	{	0	gv	1/3	3/4	∞	pl	
" 13.	{	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	GM KNO ₃	
	{	0	v	1/2—3/4	∞	pl		

Für fast alle entscheidenden Versuche ist es durchaus nötig, wie ich immer wieder gesehen habe, solche feine Abstufungen zu verwenden. Dann aber leistet die Methode außerordentlich viel. Ein Nachteil, der aber gegenüber den Vorteilen nur in einem gewissen Zeitaufwande besteht, ist die sehr große Zahl von Lösungen, die man sich herstellen muß. Die einzelnen Blätter sind nämlich hinsichtlich des osmotischen Druckes in den Zellen sehr verschieden. Lösungen also, die für ein Blatt nötig sind, können bei einem anderen zu schwach oder zu stark sein. Ich habe deshalb stets alle Lösungen von 0,075 GM bis 0,15 GM, z. B. Kalisalpeter hergestellt, d. h. 27 Lösungen. Zur Bestimmung der isotonischen Koeffizienten würde man dann sogar die doppelte Anzahl von Lösungen, nämlich noch eine zweite Reihe für Zucker brauchen. Für jedes Blatt wurde dann in einem Vorversuche zunächst die ungefähre Höhe des osmotischen Druckes bestimmt.

Notwendig ist noch ein Urteil über die Fehler, die durch die begrenzte Genauigkeit der Verdünnungsmethode entstehen können. Die Konzentrationsdifferenzen z. B. der Kalisalpeterlösungen sind, wie schon gesagt, 0,0025 GM oder 0,025 Gew.-Proz. Salz. Demnach differieren die 20 ccm Lösungen um 0,005 g Salz. So erstaunlich weit läßt sich die Bestimmung der Grenzkonzentrationen ohne alle Schwierigkeiten einengen, mit anderen Worten, so wenig differiert der osmotische Druck in den Epidermiszellen eines Schnittes! Oben wurden die Fehlergrenzen der Verdünnungsmethode zu $\pm n/800$ angegeben, wo $n = \text{GM-Gehalt der Stammlösung}$ ist. Bei 0,25 GM-Stammlösung beträgt dieser Fehler also $\pm 0,0003125$ GM oder $\pm 0,003125$ Gew.-Proz. Um diesen Betrag also würden die verdünnten Lösungen von ihren theoretischen

Werten abweichen können. Das sind in Prozent ihrer Konzentrationsdifferenzen $\pm 12,5\%$. Natürlich würde es die Verdünnungsmethode erlauben, die Fehler beliebig zu verkleinern. Verdünnt man nicht auf 25 ccm, sondern auf etwa 100 ccm, so macht der Fehler bloß noch $\pm 2,5\%$ der Differenz aus. Ich fand es aber unnötig, eine so große Genauigkeit anzustreben; auch steht der größere Materialverbrauch in keinem rechten Verhältnisse zu den erreichbaren Vorteilen.

Die Genauigkeit der Methode ließe sich auch dadurch erhöhen, daß man von verdünnteren Stammlösungen als von 0,25 GM ausgeht. Ich habe es oft getan, bin dann aber auf 0,25 GM zurückgekommen, weil man sehr häufig Lösungen braucht, die dieser Stammlösung sehr nahe liegen.

Noch geringere Abstufungen der Konzentrationsdifferenzen zu wählen, etwa um 0,001 GM verschieden, wie es Lepeschkin getan hat, hat keinen Zweck. Erstens nämlich sind dann die Unterschiede im plasmolytischen Zustande zwischen den einzelnen Lösungen viel zu gering und zu fließend, um in benachbarten deutlich als verschieden geschätzt werden zu können. Zweitens müßte man dann allzu viele Lösungen anfertigen und vorrätig halten. Das aber würde einen um so größeren Aufwand von Salz bedeuten, weil man der Fehler der Verdünnungsmethode halber dann von jeder Lösung mindestens 100 ccm herzustellen hätte.

Alle Versuche fanden bei Zimmertemperatur, d. h. bei ca. 18° bis 22° C statt. Zu jedem Versuche wurde, wo nichts Besonderes bemerkt ist, ein neues Blatt verwendet.

B. Das Objekt.

Im Verlaufe meiner Untersuchungen habe ich immer wieder zu meinem eigenen Schaden die Erfahrung machen müssen, daß man nur dann darauf rechnen kann, mit der plasmolytischen Methode brauchbare Ergebnisse zu erzielen, wenn man zuvor das Versuchsobjekt sehr eingehend nach den verschiedensten Richtungen kennen gelernt und studiert hat. So habe ich mich denn der Hauptsache nach zunächst einmal auf die Blätter von *Rhoeo discolor* beschränkt. Nach zeitraubenden Vorversuchen wird es aber gewiß nicht schwer sein, mit Hilfe der von mir gewonnenen methodischen und sonstigen Gesichtspunkte auch bei anderen Objekten Resultate, ähnlich den meinigen zu erzielen. Dafür sprechen meine Beobachtungen, die ich an einigen anderen Pflanzen gemacht habe.

Freilich ist es mir fraglich, ob sich viele Pflanzen werden finden lassen, die in jeder Hinsicht für diese Untersuchungen so hervorragend günstig sind, wie es bei *Rhoeo* der Fall ist! Ich habe zahlreiche Exemplare dieser Pflanze, aus besonders anthozyanreichen Stecklingen vermehrt, dauernd unter möglichst günstigen Bedingungen im Garten kultivieren lassen. Über einige wissenschaftliche Eigenschaften der Blattepidermis orientiert schon de Vries (1884, S. 445 ff.). Auch ich verwendete nur die Oberhautzellen der Mittelrippe auf der Blattunterseite und zwar aus den mittleren Teilen der Blätter. Beginn und kleine Unterschiede im plasmolytischen Zustande sind leicht zu sehen, da fast ausnahmslos die Ablösung des Plasma an den Seitenwänden beginnt. Auch ein Rückgang der Plasmolyse läßt sich mit guten Objektiven fast immer ohne Schwierigkeiten verfolgen, wenn man nur die Epidermiszellen sorgfältig bei hoher und tiefer Einstellung untersucht. Benachbarte Zellen haben hier sehr genau gleichen osmotischen Druck. Jedoch ist, wie schon de Vries angibt, der Druck in der Epidermis der Mittelrippe nicht überall gleich groß: er nehme „nach sehr zahlreichen Bestimmungen“ von der Blattspitze zur Basis stetig zu, in der Mitte am langsamsten, in der Nähe der Basis ziemlich rasch. Nach meinen Beobachtungen nimmt er aber nach der Basis bald zu, bald ab; oft bleibt er auch fast ganz unverändert.

Beispiele. Als Grenzkonzentration ist in GM KNO_3 die angegeben, worin $\frac{1}{2}$ der Zellen nach $\frac{1}{2}$ Stunde den Beginn der Plasmolyse zeigten.

Versuch	Blatt	Länge in cm	Entfernung der Schnitte von der Blattspitze		
14	1	32	10 cm	16 cm	20 cm
			0,18	0,13	0,1475
15	2	30	13 cm	16,5 cm	21 cm
			0,15	0,1375	0,1425
16	3	31	15 cm	18 cm	21 cm
			0,1325	0,1325	0,15
17	4	32	14,5 cm	19 cm	23 cm
			0,1225	0,1225	0,125
18	5	34	13 cm	18 cm	22 cm
			0,155	0,1425	0,13
19	6	30	13 cm	17 cm	21 cm
			0,1475	0,1475	0,1425
20	7	34	13,5 cm	18 cm	22 cm
			0,1275	0,135	0,13
21	8	33	17 cm	21 cm	23 cm
			0,1475	0,1425	0,1425

Nach den Spitzen der Blätter hin ist nach meinen sehr reichen Erfahrungen der Druck gewöhnlich etwas höher als in der Mitte.

Ich habe ganz ausschließlich die Zellen der eigentlichen Mittelrippe verwendet. Genau in der Mediane der Rippe wurde mit dem Rasierrmesser ein feiner Längseinschnitt gemacht, desgl. an ihren beiden Rändern, doch bereits außerhalb der Rippe. Auf diese Weise erhielt ich zwei Längsstreifen, die durch Querschnitte in Abständen von $1\frac{1}{2}$ —2 mm in je eine Längsreihe annähernd quadratischer Plättchen zerlegt werden konnten. Jedes der Plättchen behielt so auf der einen Seite einige Reihen Epidermiszellen, die nicht der eigentlichen Mittelrippe angehören und durch Spaltöffnungen und ihre Gestalt leicht kenntlich sind. Ich konnte also immer mit Sicherheit feststellen, welche Seiten der Plättchen an die Mediane des Nerven angrenzten. Allein diese Seite wurde bei der Untersuchung berücksichtigt.

Nicht selten kommt es vor, daß die Epidermiszellen in den nebeneinander liegenden Plättchen der beiden Längsstreifen ganz wenig, um etwa 0,0025 GM KNO_3 , voneinander osmotisch verschieden sind. Deshalb habe ich bei Versuchen, wo es auf genaue quantitative Messungen ankam, bloß die Plättchen einer der Reihen verwendet und nur nahe benachbarte Plättchen berücksichtigt.

Störender als diese Differenzen sind geringe Unterschiede, wie sie gelegentlich im osmotischen Drucke bei den benachbarten Plättchen einer und derselben Reihe vorkommen. Sie sind zwar meist gering, so daß sie bei einer Konzentrationsdifferenz der Lösungen um 0,01 GM noch nicht bemerkbar werden, aber immerhin gelegentlich doch und zwar in störender Größenordnung vorhanden, weshalb man sorgfältig auf sie achten muß. Beispiele:

Versuch 22.	{	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115 GM KNO_3
	{	0	$\frac{1}{8}$	0	$\frac{3}{4}$	pl
	{	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125 GM „
„ 23.	{	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞
		(Fortsetzung)				
	{	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125 GM „
	{	∞	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl

Solche Versuche müssen dann unter Umständen ganz ausgeschaltet werden.

Exosmose aus den Zellen.

Eine weitere Erscheinung, die man bei genaueren Messungen nicht außer acht lassen darf, ist eine Exosmose in die umgebenden

Lösungen, die manchmal vorkommt. Dadurch nimmt der osmotische Druck der Zellen allmählich etwas ab. Sie ist mir besonders häufig und stark bei meinen Hamburger Kulturen, viel schwächer und seltener bei denen in Bonn 1913, fast gar nicht mehr hier 1914 aufgestoßen. Sie scheint also irgendwie von der Art der Kultivierung abzuhängen. Ich gebe hier einige Beispiele. Die Schritte habe ich hier wie stets unter sorgfältiger Einhaltung ihrer Reihenfolge verwendet. Untersucht wurden zwei Parallelreihen von Plättchen, von denen die eine sofort, die andere nach einem Aufenthalt in Wasser in die zur Plasmolysierung benutzten Rohrzuckerlösungen kamen. Die Plasmolyse wurde nach 2 Stunden beurteilt.

	Sofort plasmolysiert Grenzkonzentration GM	In H ₂ O Stunden (Minuten)	Dann plasmolysiert Grenzkonzentration GM	Differenz GM
Versuch 24.	0,31	1.—	0,294	— 0,016
„ 25.	0,3177	1.15	0,3022	— 0,0155
„ 26.	0,325	3.40	0,31	— 0,015
„ 27.	0,333	5.—	0,295	— 0,038
„ 28.	0,317	15.—	0,255	— 0,062

Der osmotische Druck nimmt nicht nur ab im Wasser, sondern auch in Salz- oder Zuckerlösungen, die der Grenzkonzentration nahe liegen oder gar Plasmolyse hervorrufen. Daraus aber darf man folgern, daß nicht eine regulatorische Verminderung des Druckes, sondern tatsächlich Exosmose vorliegt. Ein besonders auffallendes Beispiel will ich hier dafür noch vorführen.

Versuch 29. Hamburg, 18. April 1912.

Die Plättchen der einen Längsreihe kamen in die eine Lösungsreihe, die der anderen in die andere und zwar so, daß die untereinander stehenden Konzentrationen die benachbarten Plättchen aufnahmen.

A. Sofort in die Lösungen gebracht.

Magnesiumsulfat.

	0,17	0,177	0,183	0,19	0,197	0,203	0,21	GM
Nach 1 Stunde	0	0	0	0	gv	v bis 1/2	∞	
„ 2 Stunden	0	0	0	1/3	∞	pl	pl	
„ 4 „	1/3	1/2	1/2	pl	pl	„	„	

Rohrzucker.

	0,17	0,1783	0,187	0,193	0,2017	0,21	0,217	GM
Nach 1 Stunde	0	0	0	0	v	1/3—1/2	1/2—3/4	
„ 2 Stunden	0	0	0	1/3	∞	pl	pl	
„ 4 „	0	v	1/3—1/2	pl	pl	„	„	
„ 7 „	0	v	1/3—1/2	„	„	„	„	

B. Nach 16 stündigem Aufenthalt in H₂O in die Lösungen gebracht.

Magnesiumsulfat.					
	0,21	0,217	0,223	0,23 GM	
Nach 1 Stunde	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl	
„ 2 Stunden	0	„	„	„	
„ 4 „	0	„	„	„	

Rohrzucker.					
	0,21	0,223	0,225	0,23	0,24 GM
Nach 1 Stunde	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl
„ 2 Stunden	0	$\frac{1}{2}$	∞	„	„
„ 4 „	0	„	„	„	„

Bei A nimmt die Plasmolyse stundenlang zu, eben wegen der Exosmose; bei B, wo die Exosmose beendet ist, bleibt die Plasmolyse konstant.

Um ein Urteil darüber zu gewinnen, wie lange die Exosmose anhält, habe ich dann in Bonn noch Versuche folgender Art angestellt.

Für jeden Versuch wurde nur eine Längsreihe von Plättchen benutzt. Die Plättchen wurden abwechselnd 1. sogleich oder nach einem Aufenthalt in Wasser und 2. nach einem längeren Aufenthalt in Wasser plasmolysiert.

Ver- such	Datum	Direkt plas- molytisiert	In H ₂ O Stunden	Dann plas- molytisiert	In H ₂ O Stunden (Min.)	Dann plas- molytisiert	Differenz GM
		Grenzkonzentration GM		Grenzkonzentration GM		Grenzkonzentration GM	
30.	16. 9. 13	—	2	0,1767	5.40	0,1767	0
31.	17. 9. 13	0,1967	13	0,1967	—	—	0
32.	19. 9. 13	—	12	0,1567	11	0,1567	0
33.	20. 9. 13	—	12	0,213	11	0,213	0
34.	21. 9. 13	0,21	4	0,21	—	—	0
35.	16. 9. 13	0,2	5 $\frac{1}{2}$	0,183	—	—	— 0,017
36.	18. 9. 13	{ 0,183	4	0,163	—	—	— 0,02
		{ —	11	0,17	8	0,17	0
37.	18. 9. 13	{ 0,173	4	0,163	—	—	— 0,01
		{ —	12	0,163	8	0,163	0
38.	19. 9. 13	{ 0,223	4	0,2	—	—	— 0,023
		{ —	4	0,19	12	0,183	— 0,007
39.	20. 9. 13	{ 0,203	4	0,1967	—	—	— 0,0063
		{ —	4	0,167	6 $\frac{1}{2}$	0,167	0
40.	21. 9. 13	{ 0,203	4	0,1967	—	—	— 0,0063
		{ —	4	0,1767	12	0,1767	0

Zu den Versuchsreihen, die durch Klammern zusammengehalten sind, hatten jedesmal Plättchen von ein und demselben Blatte gedient.

Aus allen Versuchen geht hervor, daß die Hauptmenge der exosmierenden Substanzen jedenfalls nach 4 Stunden Aufenthalt in Wasser herausdiffundiert ist. Es empfiehlt sich also, für besonders genaue Versuche die Schnitte zuvor mindestens 4—6 Stunden in Wasser zu legen.

Nun erst sind wir so weit gelangt, daß wir die Geschwindigkeit, mit der Salze aufgenommen werden, erfolgreich untersuchen können.

Abschnitt II. Die Geschwindigkeit der Aufnahme von Kalisalpeter.

Es war nur noch die wichtige Vorfrage zu entscheiden, wann man nach der Übertragung in die Salzlösungen die Beobachtungen beginnen und in welchen Intervallen man sie wiederholen soll. De Vries hat bei der Bestimmung der isotonischen Koeffizienten erst nach 2 Stunden oder in der Regel noch viel später (4—5 Stunden) beobachtet (vgl. z. B. 1884, S. 450). Diese Wartezeit ist aber nach meinen Beobachtungen viel zu lang! Man muß vielmehr zum ersten Male nach einer Viertelstunde bereits untersuchen.

Die ersten Versuche mit Kalisalpeter habe ich in der Weise gemacht, daß ich die aufeinanderfolgenden Plättchen einer Längsreihe gleichzeitig in die Lösungen steigender Konzentration übertragen habe. Auf diese Weise läßt sich aber eine Durchmusterung aller Schnitte nach 15 Minuten nicht durchführen. Nach mancherlei anderen Versuchsanordnungen fand ich es am zweckmäßigsten, die Schnitte in Abständen von je einer Minute in die aufeinanderfolgenden Lösungen zu bringen. Man beginnt dann die Untersuchung mit dem ersten Schnitte und hat für die Prüfung aller Schnitte je eine Minute Zeit, was völlig genügt. Die Zahl der Epidermiszellen abzuschätzen, in denen die Plasmolyse begonnen hat, ist bei einiger Übung nicht schwer. Die Versuche verliefen so, daß ich die Plättchen mit dem Rasiermesser schnitt und unter strengster Berücksichtigung ihrer Reihenfolge je in ein Schälchen mit destill. Wasser brachte, woraus sie eines nach dem anderen nach sorgfältiger Abtrocknung auf Filtrierpapier in die Lösungen übertragen wurden. Dem eigentlichen Versuche ging nicht selten

ein kürzerer oder längerer Aufenthalt in dem Wasser voraus, um den etwaigen Einfluß der Exosmose zu beseitigen. Nach mancherlei Vorversuchen fand ich es am zweckmäßigsten, die Plättchen zunächst 15 Minuten nach Versuchsbeginn, dann in Zwischenräumen von 15, 30 und 60 Minuten wieder zu untersuchen.

Versuch 41. Bonn, 2. Oktober 1913.

Plättchen 1 Stunde in Wasser.

	Nach	0,0975	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	GM KNO ₃
	15 Min.	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	
weit.	15 "	0	gv	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	
"	30 "	0	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	
"	60 "	0	0	0	gv	v	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	

Versuch 42. Bonn, 3. Oktober 1913.

Plättchen 3 Stunden in Wasser.

	Nach	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	GM KNO ₃
	15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	
weit.	15 "	0	0	v	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl	
"	30 "	0	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	

Versuch 43. Bonn, 3. Oktober 1913.

Plättchen 2 Stunden in Wasser.

	Nach	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	0,14	0,1425	GM KNO ₃
	15 Min.	0	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	
weit.	15 "	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	
"	30 "	0	0	0	gv	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	

Versuch 44. Bonn, 3. Oktober 1913.

Plättchen $2\frac{1}{2}$ Stunden in Wasser.

	Nach	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	GM KNO ₃
	15 Min.	0	v	$\frac{1}{2}$	∞	pl	pl	pl	
weit.	15 "	0	gv	v bis $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ bis ∞	∞	pl	
"	30 "	0	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ bis ∞	pl	
"	60 "	0	0	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	

Versuch 45. Bonn, 3. Oktober 1913.

Plättchen 1 Stunde in Wasser.

	Nach	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	GM KNO ₃
	15 Min.	0	$\frac{1}{8}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	
weit.	15 "	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	pl	pl	
"	30 "	0	0	0	v	v bis $\frac{1}{2}$	∞	

Versuch 46. Bonn, 29. Oktober 1913.

Plättchen 15 Minuten in Wasser.

Nach	0,1025	0,105	1,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12 GM KNO ₃
15 Min.	gv	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	pl
weit. 15 "	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl
" 30 "	0	0	0	0	0	gv	0	$\frac{1}{2}$
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0	v

Versuch 47. Bonn, 10. November 1913.

Plättchen 30 Minuten in Wasser.

Nach	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025 GM KNO ₃
15 Min.	0	gv	$\frac{1}{3}$	∞	∞	pl
weit. 15 "	0	v	$\frac{1}{3}$	∞	pl	pl
" 30 "	0	gv	v	$\frac{3}{4}$ bis ∞	∞	pl
" 60 "	0	0	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	∞

Versuch 48. Bonn, 4. November 1913.

Plättchen 6 Stunden in Wasser.

Nach	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175 GM KNO ₃
15 Min.	0	gv	0	$\frac{3}{4}$	pl	pl
weit. 15 "	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	0	∞	pl	pl
" 30 "	0	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{3}{4}$	pl	pl
" 60 "	0	v bis $\frac{1}{3}$	0	$\frac{3}{4}$	∞	pl

Aus allen diesen Versuchen, die nur eine Auswahl der von mir mit gleichem Ausfalle angestellten sind, ersieht man:

1. Die Plasmolyse tritt sehr schnell ein.

2. Sie geht in Kalisalpeter auch auffallend schnell zurück. Schon hier sei hervorgehoben, daß es sich bei dem Rückgange nicht etwa um eine Turgorregulation, sondern nur um eine Aufnahme des Salzes handeln kann. In Rohrzucker bleibt entsprechend der Rückgang aus.

3. Die Methode zeigt aber außerdem, daß die Permeabilität nicht immer gleich groß ist: In den Versuchen 47 und 48 ist sie viel geringer als in den übrigen. Das ist z. B. auch der Fall bei den folgenden Blättern:

Versuch 49. Bonn, 3. Januar 1914.

Plättchen 5 Minuten in Wasser.

Nach	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125 GM KNO ₃
15 Min.	0	v bis $\frac{1}{3}$	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl
weit. 15 "	0	"	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞
" 30 "	0	v	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞
" 60 "	0	gv	gv	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$

Versuch 50. Bonn, 12. Januar 1914.

		Plättchen 5 Minuten in Wasser.					
Nach	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025	0,105 GM KNO ₃	
15 Min.	0	v	1/2	3/4	∞	pl	
weit. 15 "	0	v	1/2	3/4	∞	pl	
" 30 "	0	0	1/2	3/4	∞	pl	
" 60 "	0	0	gv	1/2	3/4	∞	

Eine genauere Untersuchung der Permeabilitätsverhältnisse hat die interessante Tatsache zutage gefördert, daß die Durchlässigkeit jahreszeitlich verschieden ist: In den Wintermonaten war sie in Hamburg und Bonn verhältnismäßig gering, ja in vielen Blättern fast gleich Null! In den Sommermonaten dagegen ist sie sehr groß. Hohe Permeabilität findet man oft noch bis in den November hinein; sie wird dann wieder von Ende April oder Anfang Mai ab bemerkbar. In der Übergangszeit vom Herbst zum Winter kommen nicht selten auch Blätter vor, bei denen ziemlich auffallende Unterschiede in der Durchlässigkeit an verschiedenen Teilen der Mittelrippe sich feststellen lassen. Aber auch in den Sommermonaten ist die Permeabilität bei verschiedenen Pflanzen etwas verschieden.

Es lag nahe, die geringe Durchlässigkeit im Winter auf Verunreinigungen der Laboratoriumsluft zurückzuführen, in der die Versuche stattfanden. Darauf gerichtete Versuche haben folgendes ergeben: Selbst in einer Atmosphäre, die recht reich ist an Leuchtgas (Glasglocken mit Leuchtgas), wird die Permeabilität nicht herabgesetzt. Ebenso wenig macht sich ein mehrtägiger Aufenthalt im Laboratorium irgendwie bemerkbar. Auch an Verunreinigungen des für die Lösungen benutzten Wassers, sei es nun durch Laboratoriumsgase, sei es durch sonstige Beimischungen, war zu denken. Das gleiche Wasser mit oder ohne Laboratoriumsluftspuren wurde aber für Sommer- und Winterversuche verwendet! Auch die verschiedene Stärke der Belichtung hat nach meinen bisherigen Versuchen, die aber noch in mancher Weise variiert werden sollen, keinen irgend auffälligen Einfluß auf die Permeabilität. Die Verschiedenheiten in der Durchlässigkeit scheinen also im Objekte selbst zu liegen. Da ist es nun interessant, daß nach gärtnerischen Erfahrungen *Rhoeo discolor* vom November bis zum Frühjahr eine ausgesprochene Ruhezeit durchmacht und dann nur sehr wenig wächst, ja unter Umständen sogar ganz einzieht.

Die kleineren Unterschiede in der Permeabilität während des Sommers dürften in Verschiedenheiten der Kulturbedingungen be-

gründet sein. Darüber wird aber erst eine genauere Untersuchung des Einflusses der Außenfaktoren auf die Durchlässigkeit Aufschluß geben können. —

Die mitgeteilten und anderen Versuche erlauben es nun, wenigstens mit Annäherung, anzugeben, wie schnell das Salz in die Protoplasten eindringt. Unter der Voraussetzung, daß die in der Längsrichtung des Blattes benachbarten Plättchen gleichen osmotischen Druck in ihren Zellen besitzen (was dann mit genügender Genauigkeit anzunehmen ist, wenn die Plasmolyse in den aufeinander folgenden Lösungen verstärkt ist), gibt die Größe des Rückganges einen gewissen Anhaltspunkt dafür. So ist bei den am stärksten permeablen Schnitten nach meinen Beobachtungen in den 15 Minuten zwischen den beiden ersten Ablesungen etwa 0,0025 GM Kalisalpeter = 0,025% eingedrungen, in den darauf folgenden 30 Minuten ebenfalls 0,0025—0,005 GM = 0,025—0,05%. Für die ersten 15 Minuten der Versuche wird man die Menge der permeierten Substanz zunächst einmal so hoch ansetzen dürfen wie für die darauf folgenden 15 Minuten, so daß sich die Grenzkonzentration nach der ersten Stunde in den Plättchen verschoben hat um etwa 0,005—0,0075 GM gegenüber der ersten Ablesung und um 0,0075—0,01 GM = 0,075—0,1% gegenüber dem Zustande bei Beginn der Versuche. Nach noch kürzerer Zeit als nach 15 Minuten die Plättchen zum ersten Male zu prüfen, ist übrigens ganz zwecklos. Ich habe nämlich festgestellt, daß erst nach 12—15 Minuten, ja manchmal erst nach 15—20 Minuten, das Maximum der Plasmolyse erreicht wird. Permeiert das Salz sehr langsam, wie z. B. in dem Versuche 48, so kann die Plasmolyse auch noch am Ende der zweiten Viertelstunde nach Versuchsbeginn, manchmal sogar noch länger, zunehmen. Die Exosmose, von der ich früher gesprochen habe, vermag das Ergebnis nicht wesentlich zu trüben. Sie läßt sich ja durch längeren Aufenthalt der Plättchen in Wasser ausschalten, ohne es zu verändern; außerdem würde sie, wo doch noch vorhanden, sogar auf eine noch größere Geschwindigkeit der Salzaufnahme hindeuten, als sie von mir gemessen wurde. Denn sie und die Endosmose von Salpeter würden dann ja antagonistisch wirken! —

Es fragt sich, ob man das Eindringen des Salzes auch mikrochemisch nachweisen kann. Das macht in der Tat gar keine Schwierigkeiten.

Versuche mit Diphenylamin-Schwefelsäure: Damit hat übrigens schon Janse (1888, S. 355) die Aufnahme von KNO_3 bei *Tradescantia* und *Curcuma* festgestellt. Ich benutzte eine Lösung, die 0,05 g Diphenylamin auf 10 ccm H_2SO_4 konz. enthält. Untersucht wurden Plättchen, die 8—10 Stunden in den Kalisalpeterlösungen verweilt hatten, und zum Vergleich damit Plättchen aus denselben Längsreihen, die solange in H_2O gelegen hatten. Die Versuchsplättchen habe ich aus den KNO_3 -Lösungen zunächst für $\frac{1}{2}$, 1, 2, ja 3—4 Stunden in Wasser übertragen, das zudem noch öfter gewechselt wurde. Fast stets erhielt ich mit dem Reagens bei ihnen eine sehr viel intensivere Bläuung als bei den Kontrollplättchen. Manchmal freilich bläuen sich die Plättchen schon ohne Behandlung mit KNO_3 so stark, daß der Unterschied nur gering ist.

Versuche mit Platinchlorid: Auch das Kalium habe ich nachgewiesen. Zu den wie vorher beschrieben behandelten Plättchen wurde nach Molischs (1913, S. 56) Angabe ein Tropfen einer 10proz. alkoholischen Platinchloridlösung zugesetzt: es trat fast sofort Kristallbildung ein, und zwar immer viel reichlicher als in den Kontrollschnitten. Da aber das Platinsalz auch Ammoniumsalze anzeigt, so habe ich auch noch sorgfältig ausgewaschene Schnitte, die zuvor längere Zeit in KNO_3 verweilt hatten, auf einem Platinblech verascht, die Asche mit 1% Salzsäure aufgenommen, die Säure in der Wärme verdunsten lassen und dann zu dem Rückstande 10% Platinchloridlösung zugesetzt: auch jetzt bildeten sich sehr viel mehr der charakteristischen Kristalle als bei der Asche der Kontrollplättchen.

Ist somit für Kalisalpeter eine ziemlich große Permeabilität nachgewiesen, so knüpft sich an meine Versuche sofort die wichtige Frage an: Wie verhält es sich mit der Permeabilität bei weiterer Fortsetzung der Versuche? Sie konnte mit derselben Methode gelöst werden. Schon die ersten orientierenden Versuche machten es sehr wahrscheinlich, daß die Permeabilität für das Salz allmählich abnimmt! Ich will einen dieser Versuche hier mitteilen.

Versuch 51. Hamburg, 25. Januar 1912.

	Nach	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	GM	KNO ₃
	45 Min.	0	v	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl		
weit.	15 "	0	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl		
"	1 Std.	0	0	$\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl		
"	2 "	0	0	0	$\frac{1}{2}$	pl	pl	pl		
"	2 "	0	0	0	v	pl	pl	pl		
"	16 "	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	pl		
"	8 "	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	pl		

Der anfänglichen, wenn auch nicht sehr großen Permeabilität steht die fast völlige Undurchlässigkeit am Ende des Versuches gegenüber.

Eine genauere Untersuchung hat dann die Abnahme der Permeabilität außer allen Zweifel gestellt, wie die folgenden Versuche wohl zeigen, die eine Auswahl aus vielen sind.

Ich habe versucht, die Permeabilitätsverhältnisse auch in Kurven auszudrücken.

Die Kurven sind so entstanden, daß ich für jedes Plättchen die Salzaufnahme geschätzt habe, und zwar nach den Graden der anfänglichen Plasmolyse in den aufeinander folgenden Lösungen. Berücksichtigt wurden bei der Schätzung nur die Plättchen, die bei den aufeinander folgenden Ablesungen eine Abnahme der Plasmolyse erkennen ließen. Es sind, wie die Tabellen lehren, in aufeinander folgenden Stunden immer neue Plättchen, bei denen dies der Fall ist. Da nach anderen, noch mitzuteilenden Versuchen mit Sicherheit anzunehmen ist, daß sich diese im weiteren Verlaufe eines Versuches berücksichtigten Plättchen in der ersten Zeit nach Versuchsbeginn ganz ebenso wie die zuerst für die Berechnung verwendeten verhalten, so habe ich die Kurvenstücke, die für jene gelten, einfach an die entsprechenden Stellen der Kurvenstücke angeschlossen, die für die anfangs verfolgten Plättchen berechnet sind. Ich will an einem Schema das Verfahren noch verständlicher zu machen suchen. Angenommen, es wären folgende Beobachtungen gemacht worden:

Nr. der Plättchen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nach	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125 GM
15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	gv	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0	gv	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0	0	gv	v	$\frac{1}{2}$

Zunächst wird die Menge des eingedrungenen Salzes berechnet für die Plättchen 2—5, die anfangs allein den Rückgang der Plasmolyse erkennen lassen. Bei der Annahme, die fast stets berechtigt ist, daß der osmotische Druck in benachbarten Plättchen annähernd gleich ist, kann man aus der ersten Ablesung, 15 Minuten nach Versuchsbeginn, ableiten, daß der Zunahme der Plasmolyse von gv zu $1/2$, von $1/2$ zu $3/4$ und von $3/4$ zu ∞ jedesmal eine Konzentrationszunahme der Lösungen um 0,0025 GM Salpeter entspricht, und kann man ferner mit hinreichender Genauigkeit schließen, daß einem darauf folgenden Rückgange der Plasmolyse von $1/2$ auf gv , von $3/4$ auf $1/2$, von ∞ auf $3/4$ die Aufnahme einer entsprechenden Menge Salz gleichkommt. Nach der ersten Stunde des Versuches sind diese 2—4 Plättchen, da sie keine weitere Veränderung zeigen, erledigt. Inzwischen haben andere Plättchen, die zuvor in allen Zellen Plasmolyse zeigten, angefangen, ihre Plasmolyse auszugleichen: bereits eine halbe Stunde nach Versuchsbeginn Plättchen 7, eine Stunde nach Versuchsbeginn 8 usw. Ich verfare nun so, daß ich die gewiß berechtigte Annahme mache, in allen diesen Plättchen wäre anfangs die Aufnahme des Salzes nach den Kurven erfolgt, die ich für die ersten Plättchen errechnet habe, ohne freilich diese hypothetischen Kurvenstücke zu zeichnen. Ich lasse also die Kurvenstücke für die Plättchen 7, 8 usw. da beginnen und an die Kurvenstücke für die Plättchen 2—6 anschließen, wo ihr Anfang hinzuzeichnen wäre, wenn man auch jene hypothetischen Anfänge hinzufügen würde. So kann ich also aus den Kurvenstücken, die für verschiedene Plättchen gelten, eine einheitliche Kurve konstruieren, zusammensetzen, die der Ausdruck ist für die Permeabilität der Epidermiszellen in den aufeinanderfolgenden Zeiteinheiten. Bedenken, die man gegen dies Verfahren geltend machen könnte, werden später noch zerstreut werden. Es ist wohl unnötig, zu sagen, daß diesem Verfahren bloß eine beschränkte Genauigkeit zukommen kann. Immerhin ist sie groß genug, um es als brauchbar bezeichnen zu können.

Die Zahlen am Ende und am Anfange eines jeden Kurvenstückes entsprechen in den Versuchsprotokollen den Zahlen der Plättchen, nach denen das betreffende Kurvenstück gezeichnet ist. Um die einzelnen Kurvenstücke besser hervortreten zu lassen, habe ich solche Strecken, die sich eigentlich decken würden, nebeneinander gezeichnet. Die erste Viertelstunde des Aufenthaltes in den Lösungen habe ich bei den Kurven nicht

berücksichtigt, weil dafür die Beobachtung direkte Anhaltspunkte nicht geben kann.

Versuch 52. Hamburg, 25. Juni 1912.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche 18 Stunden in Wasser gelegen.

Nr. der Plättchen in der Fig. 1	GM KNO ₃												
	1	2	3	4	5	6	7	8					
	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	
Nach													
15 Min.	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	gv	$\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{2}$	v bis $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	v	v	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	gv	gv	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	∞	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl
" 180 "	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	∞	pl	pl

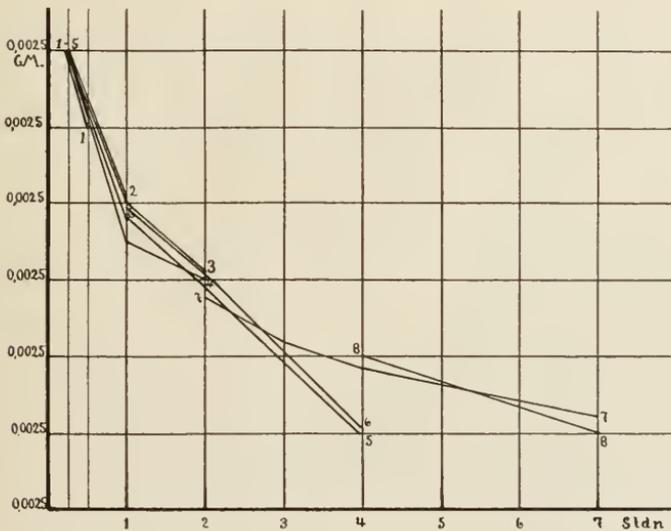


Fig. 1.

Hier ist die Abnahme der Durchlässigkeit ganz auffallend. Würde das Salz während des ganzen Versuches so schnell eindringen, wie in den beiden ersten Viertelstunden oder während der ersten ganzen Stunde des Versuches (= etwa 0,0075 GM), so müßte der Rückgang nach weiteren 6 Stunden etwa betragen $0,0075 \cdot 6 = 0,045$ GM, sich also erstrecken bis etwa zu der Lösung $0,1175 + 0,45 = 0,1625$ GM, wovon aber gar keine Rede ist.

Selbst wenn man die Aufnahme während der ersten Stunde sehr vorsichtig unter Außerachtlassung der Viertelstunde vor der ersten Ablesung bloß zu 0,005 GM einschätzen will, so müßte bei gleich bleibender Permeabilität der Rückgang der Plasmolyse sich nach 6 weiteren Stunden erstrecken bis zu der Konzentration 0,1475 GM, was aber auch nicht der Fall ist.

Versuch 53. Bonn, 6. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche 1 Stunde in Wasser gelegen.

Nr. der Plättchen in der Fig. 2	GM KNO ₃											
	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275
Nach												
15 Min.	0	gv	1/2	3/4	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	v	1/3—1/2	3/4	∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	0	0	1/3	1/2	3/4	∞	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	v	1/3	1/2	3/4	∞	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	gv	v	1/3—1/2	3/4	∞	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	gv	1/3—1/2	1/2—3/4	3/4—∞	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0	1/3	1/2	3/4	3/4—∞	∞

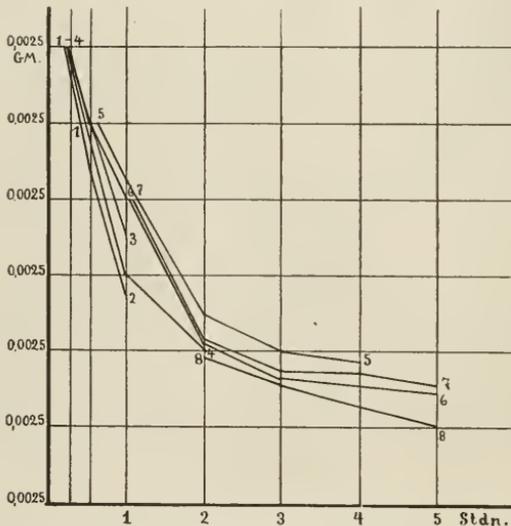


Fig. 2.

Während zwischen der ersten und zweiten Ablesung ein Rückgang der Plasmolyse um 0,0025 GM, in der ersten Stunde des Versuches um 0,0075 GM stattfindet, in dieser ersten Stunde also mindestens ebenso viel Salz eingedrungen ist, drang schließlich höchstens noch 0,0025 GM Salz pro Stunde in die Protoplasten ein.

Versuch 54. Bonn, 7. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche 1 1/2 Stunde in Wasser gelegen.

0,105 0,1075 0,11 0,1125 0,115 0,1175 0,12 0,1225 0,125 0,13 0,135 0,14

Nach	GM KNO ₃											
15 Min.	0	v	1/2—3/4	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	gv	1/3—3/4	∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	v	1/2	3/4	∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	gv	1/2	3/4	1/2—3/4	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	gv	1/3	v		3/4	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		1/2	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		v bis 1/3	∞	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		gv	1/3—1/2	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		0	v bis 1/3	∞	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		0	v	3/4	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1/4	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1/8	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	∞

Auch hier wieder hat die Permeabilität abgenommen. Anfangs sind bloß 30 Minuten nötig, um die Plasmolyse von 1/2—3/4 auf v sinken zu lassen, zuletzt aber für den Rückgang von 1/3—1/2 auf v und für den von 3/4 auf 1/3 je 2 Stunden.

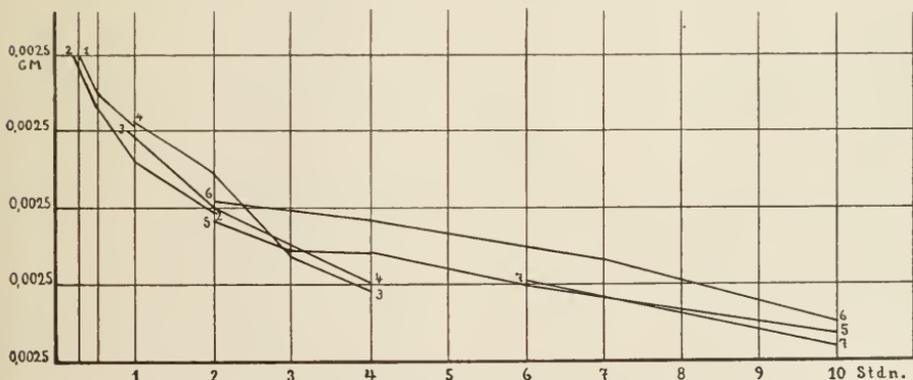


Fig. 3.

Ich habe mich darauf beschränkt, drei solche Kurven hier mitzuteilen. Man sieht daraus, daß die Durchlässigkeit anfangs schnell, dann immer langsamer sinkt! Die dritte Kurve (Fig. 3) unterscheidet sich von den beiden ersten dadurch, daß die Zellen dieses Blattes von vornherein eine verhältnismäßig geringe Permeabilität für das Salz erkennen ließen. So ist der Abfall in

der Durchlässigkeit weit geringer, als in den beiden anderen. Das Protokoll, das der Kurve zugrunde liegt, habe ich hier nicht besonders mitgeteilt; der Versuch fand am 10. Oktober 1913 statt.

Die bei den bisher mitgeteilten Versuchen verwendete Methode hat den Nachteil, daß die Abnahme der Permeabilität an vielen voneinander mehr oder weniger entfernt liegenden Plättchen beurteilt werden muß. Die Durchlässigkeit könnte ja von vornherein an verschiedenen Teilen der Mittelrippe verschieden gewesen sein, wie ich es im Winter tatsächlich gelegentlich beobachtet habe! Deshalb habe ich diese Ergebnisse ergänzt durch Versuche, wobei die Permeabilitätsabnahme an den gleichen Plättchen ermittelt wurde, und zwar so, daß ich die Plättchen eine Anzahl Stunden nach Versuchsbeginn in höhere Konzentrationen übertragen habe, worin von neuem eine Plasmolyse eintrat.

Versuch 55.

Bonn, 8. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche 45 Minuten in Wasser gelegen.

		0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135
Nach		GM KNO ₃										
	15 Min.	0	gv	1/2	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit.	15 "	0	0	gv	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
"	30 "	0	0	0	v	3/4	pl	pl	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	gv	3/4	∞	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	1/3-1/2	3/4	∞	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	1/3-1/2	1/2-3/4	∞	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	v	1/3	1/2-3/4	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	0	v	1/3	∞	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	0	0	v	3/4	∞
"	60 "	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1/2	1/2

7 1/2 Stunden nach Versuchsbeginn wurden die Plättchen übertragen

		aus	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	GM KNO ₃
		in	0,145	0,1475	0,15	0,155	0,16	
	nach 15 Min.	0	gv	3/4	pl	pl		
nach weit.	15 "	0	v	3/4-∞	pl	pl		
"	" 15 "	0	v	3/4-∞	pl	pl		
"	" 15 "	0	gv	3/4-∞	pl	pl		
"	" 60 "	0	0	3/4	pl	pl		
"	" 60 "	0	0	1/2-3/4	pl	pl		

Versuch 56. Bonn, 10. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche $1\frac{1}{4}$ Stunde in Wasser verweilt.

0,1025 0,105 0,1075 0,11 0,1125 0,115 0,1175 0,12 0,1225 0,125 0,1275

Nach		GM KNO ₃										
	15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit.	15 "	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
"	30 "	0	0	0	0— $\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0— $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	gv	v	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	v	v	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞

8 Stunden 30 Minuten nach Versuchsbeginn wurden die Plättchen übertragen

aus 0,0975 0,1 0,1025 0,105 0,1075 0,11 0,1125 0,115 GM KNO₃
in 0,1175 0,12 0,1225 0,125 0,1275 0,13 0,1325 0,135

	nach 15 Min.	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	∞
nach weit.	15 "	0	0	v	$\frac{3}{4}$ — ∞	pl	pl	pl	pl
"	" 15 "	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl	pl
"	" 15 "	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl	pl
"	" 60 "	0	0	v	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl

Versuch 57. Bonn, 7. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor dem Versuche 1 Stunde im Wasser gelegen.

0,105 0,1075 0,11 0,1125 0,115 0,1175 0,12 0,125 0,13 0,135 0,14

Nach		GM KNO ₃										
	15 Min.	0	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit.	15 "	0	gv	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
"	30 "	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	$\frac{1}{3}$	v	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl
"	60 "	0	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	pl	pl	pl
"	180 "	0	0	0	0	0	0	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	∞	pl

7 Stunden nach Versuchsbeginn wurden die Plättchen übertragen

aus 0,1 0,1025 0,105 0,1075 0,11 0,1125 GM KNO₃
nach in 0,13 0,1325 0,135 0,1375 0,14 0,1425

	15 Min.	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	∞	pl
weit.	15 "	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
"	15 "	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	∞	pl	pl	pl
"	15 "	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ — ∞	∞	pl	pl	pl
"	60 "	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
"	60 "	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl
"	60 "	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl

Versuch 58.

Bonn, 9. Oktober 1913.

Die Plättchen hatten vor Versuchsbeginn 2 Stunden in Wasser gelegen.

	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375
Nach	GM KNO ₃								
15 Min.	0	gv	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	gv	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	$\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞
" 60 "	0	0	0	0	$\frac{1}{3}$	gv	0	v bis $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
" 60 "	0	0	0	0	gv	0	0	$0-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
" 120 "	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8 Stunden nach Versuchsbeginn wurden die Plättchen übertragen

	aus	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	GM KNO ₃
nach	in	0,1325	0,135	0,1375	0,14	0,1425	0,145	0,1475	0,15	
15 Min.	gv	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	v	v	v	v	$\frac{1}{2}$	
weit. 15 "	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	v	v	$\frac{1}{2}$	∞		
" 30 "	gv	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	gv	gv	$\frac{1}{3}$	∞		
" 60 "	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	v	$\frac{3}{4}$		

Auch in diesen Versuchen also tritt die Abnahme der Durchlässigkeit klar zutage! Eine völlige Unterdrückung der Permeabilität habe ich dabei freilich nicht beobachtet. Sie läßt sich aber erreichen, wenn man nur die Plättchen genügend lange Zeit, 12 bis 20 Stunden, in den Salzlösungen läßt. Jedenfalls wird durch so lange Einwirkung des Salzes die Durchlässigkeit so weit herabgesetzt, daß man bei darauf vorgenommener Plasmolysierung im Verlaufe von 2 Stunden gar keine Veränderung im plasmolytischen Zustande mehr wahrnehmen kann. Dieser Zustand aufgehobener Durchlässigkeit wird bei den Blättern verschieden schnell erreicht. Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß die Zellen in Kalisalpete erst nach 36—48 Stunden auffällig geschädigt werden, vorausgesetzt, daß man sie wenig mit der Pinzette anfaßt und sie auch sonst so wenig wie möglich stört.

Übrigens zeigen die vorhin mitgeteilten und ihnen ähnliche Versuche zugleich, daß die Permeabilität in den Plättchen, die bei der ersten Übertragung in die Kalisalpete lösungen steigender Konzentration nicht plasmolysiert worden waren, nicht anders wie in den plasmolysierten verändert worden ist, woraus zu entnehmen ist, daß die Plasmolyse und die damit verbundene

Veränderung der Plasmahäute (etwa durch Zerreißen von Plasmafäden) einen deutlichen Einfluß auf die Permeabilitätsveränderung nicht hat.

Sehr eigenartig und auffällig ist bei den Plättchen, die nachträglich in höhere Kalisalpeterlösungen übertragen wurden, daß der Vorgang der Plasmolyse sich zeitlich völlig gegen früher geändert hat: Während bei der ersten Übertragung in die Lösungen die Plasmolyse schon nach $\frac{1}{4}$ Stunde ihr Maximum erreicht zu haben pflegt, um dann sofort wieder abzunehmen, wird sie bei der zweiten Übertragung in die plasmolisierenden Lösungen auch noch in der zweiten, ja selbst in der dritten Viertelstunde bedeutend verstärkt. Diese Tatsache ist so wichtig, daß ich sie noch weiter durch Versuche belegen will.

Versuch 59. Bonn, 20. November 1913.

Plättchen 4 Stunden in H_2O .

	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225
	GM KNO_3									
Nach 15 Min.	0	0	0	v	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	0	gv	0	$\frac{1}{2}$	∞	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	∞	pl

Nach 8 Stunden aus diesen Lösungen in

	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	0,14	0,1425	0,145	0,1475	0,15
	GM KNO_3									
nach 15 Min.	0	gv	gv	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
weit. 15 "	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	∞	pl	pl	pl
" 30 "	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	∞	∞	pl	pl	pl

Versuch 60. Bonn, 18. November 1913.

Plättchen 15 Minuten in H_2O .

	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	
	GM KNO_3									
Nach 15 Min.	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	pl	
weit. 15 "	0	0	v	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	
" 30 "	0	0	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	

Nach 10 Stunden aus diesen Lösungen in

	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275	
	GM KNO_3									
nach 15 Min.	0	0	0	gv	gv	$\frac{1}{3}$	gv	$\frac{1}{2}$	v	
weit. 15 "	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	
" 30 "	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	

Versuch 61. Bonn, 19. November 1913.

		Plättchen 15 Minuten in H ₂ O.						
		0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225 GM KNO ₃
Nach 15 Min.		0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
weit. 15 "		0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
" 30 "		0	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl
		Nach 8 Stunden aus diesen Lösungen in						
		0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	0,14	0,1425 GM KNO ₃
nach 15 Min.		0	0	0	0	0	gv	$\frac{1}{2}$
weit. 15 "		0	0	0	gv	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
" 30 "		0	0	0	gv	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	∞

Versuch 62. Bonn, 17. November 1913.

		Plättchen 25 Minuten in H ₂ O.							
		0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175 GM KNO ₃
Nach 15 Min.		0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "		0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	pl	pl	pl	pl
" 30 "		0	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	∞	pl	pl	pl
		Nach 10 Stunden aus diesen Lösungen in							
		0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375	0,14	GM KNO ₃
nach 15 Min.		0	gv	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	
weit. 15 "		0	$\frac{1}{2}$	∞	pl	pl	pl	pl	
" 30 "		0	$\frac{1}{2}$	∞	pl	pl	pl	pl	

Die Zunahme der Plasmolyse entspricht in fast allen Versuchen, die ich gemacht habe, 0,005—0,0075, einige Male sogar bis 0,01 GM Kalisalpete! Es ist nicht ganz einfach, sich darüber klar zu werden, worauf diese Verlangsamung der Plasmolyse beruht. Von vornherein wird man geneigt sein, an eine Veränderung der Eigenschaften des lebenden Plasma zu denken. Zwei Möglichkeiten muß man dann aber in Betracht ziehen:

1. Die Permeabilität hat bloß für das Salz abgenommen. Dann würde die Zunahme der Plasmolyse in diesen Versuchen darauf beruhen, daß die Zeitspanne einer Viertelstunde zu kurz ist, um den Wasserausstrom aus den Zellen bis zum Gleichgewichtszustande mit der Außenlösung zu ermöglichen: am Ende der ersten Viertelstunde würde die Außenlösung dem Zellsaft immer noch um 0,005—0,01 GM nach meinen Zahlen überlegen sein. Wäre das aber so, so würde der schnelle Rückgang der Plasmolyse in den

Versuchen, wo die Schnitte zum ersten Male mit der Salzlösung in Berührung kommen, nur mit der Annahme verständlich werden, daß im Laufe der ersten Versuchsviertelstunde, also vor der ersten Ablesung, viel mehr Salz einströmt als in der zweiten und in den folgenden. Aus dem Rückgange der Plasmolyse hatte ich für die zweite Versuchsviertelstunde die Menge des eingedrungenen Salzes auf etwa 0,0025 GM geschätzt. Nimmt man für die erste ebenso viel an, so würde nach ihrem Ablaufe die Außenlösung noch immer um etwa 0,005—0,01 minus 0,0025 = 0,0025—0,0075 GM konzentrierter sein als der Zellsaft, müßte also die Plasmolyse dann nicht, wie es doch tatsächlich der Fall ist, ab-, sondern zunehmen. Soll die Plasmolyse abnehmen, so müßte in der ersten Viertelstunde nach Beginn des Versuches etwa 0,005—0,01 GM Salz eingedrungen sein. Dann würde die Abnahme der Permeabilität in der allerersten Zeit der Salzeinwirkung ganz besonders groß, ja geradezu rapid sein. Das aber wäre von allerhöchstem Interesse. Der Verlauf der Kurven, die für die Abhängigkeit der Permeabilitätsabnahme von der Einwirkung des Salzes gelten, macht die Annahme zwar zweifellos möglich, daß das Salz in der ersten Viertelstunde viel schneller als in der zweiten eindringt: haben wir doch schon gesehen, daß die Durchlässigkeit allmählich abnimmt; die Unterschiede in den Geschwindigkeiten des Durchganges zwischen der zweiten, dritten und vierten Versuchsviertelstunde sind aber immer so klein, daß eine anfänglich sehr große Verlangsamung recht wenig wahrscheinlich ist!

2. Man muß also auch daran denken, daß unter dem Einflusse des Salpeters die Permeabilität der Plasmahaut nicht bloß für das Salz, sondern auch für Wasser abgenommen haben könnte.

Beide Möglichkeiten bedurften weiterer genauerer Untersuchung. Die erstere läßt sich leider kaum, selbst bei sehr viel Umsicht prüfen mit Hilfe der isotonischen Koeffizienten, die damit zum ersten Male in den Gesichtskreis meiner Untersuchungen rücken. Ich will mich deshalb hier auf eine Untersuchung der zweiten Annahme beschränken, indem ich die Behandlung der Frage nach den isotonischen Koeffizienten mir für eine besondere Arbeit vorbehalte.

Abschnitt III. Abnahme der Permeabilität für Wasser unter dem Einflusse des Salpeter.

Ob eine solche Abnahme vorkommt, habe ich auf folgende Weise festzustellen gesucht.

In einer ersten Versuchsreihe habe ich die Plättchen einer Längsreihe abwechselnd a) sofort in die Salpeterlösungen (um 0,005 GM) steigender Konzentrationen gebracht, um verschiedene Grade der Plasmolyse zu erhalten und zugleich die Grenzkonzentration zu ermitteln, b) nach einem Aufenthalte von 8—12 Stunden in einer Salpeterlösung von 0,075 GM in die Salpeterlösungen steigender Konzentration übertragen, zum gleichen Zwecke, wie bei a. War das plasmolytische Gleichgewicht hergestellt, so wurden die Schnitte mit plasmolysierten Zellen bei a 15—30 Minuten nach Beginn des Versuchs, im Falle b etwas später in Wasser übergeführt, um die Zeiten festzustellen, die zum Rückgang der Plasmolyse nötig sind. Die Unterschiede in diesen Zeiten waren zwischen a und b so gering, daß sich aus diesen Versuchen nichts entnehmen ließ. Bei a dauerte der Rückgang etwa 3—5 Minuten, bei b etwa 4—8 Minuten. Offenbar war bei dieser Versuchsanordnung das Konzentrationsgefälle zu groß, um Unterschiede, falls vorhanden, deutlich werden zu lassen.

Deshalb habe ich die Versuche nach diesem Mißerfolge in der Weise abgeändert, daß die Plättchen zum Ausgleiche der Plasmolyse nicht in Wasser, sondern in eine hypotonische Salpeterlösung übertragen wurden, die nicht allzu sehr von der Grenzkonzentration verschieden war. Nötig ist es natürlich, daß die zur Deplasmolyse verwendeten Salpeterlösungen bei Gruppe a und b annähernd gleichen Abstand von den Grenzkonzentrationen haben.

Die mitgeteilten Protokolle, eine Auswahl aus vielen gleichen Versuchen, bedürfen einer sorgfältigen Betrachtung.

Versuch 63. Ohne längeren Aufenthalt in KNO_3 ging die Plasmolyse in einer Salpeterlösung, die um 0,01 GM schwächer als die Grenzlösung ist, zurück in 4—6 Minuten, wenn die Konzentrationsdifferenz zwischen den plasmolysierenden Lösungen und der zur Deplasmolyse verwendeten 0,025—0,06 GM betrug. In dem Plättchen, das in einer der Grenzkonzentration näheren Lösung plasmolysiert worden war (0,095), dauerte der Rückgang wie in den späteren Versuchen ein wenig länger (6—7 Minuten).

(Fortsetzung des Textes siehe S. 36.)

Versuch 63. Bonn, 1. Juni 1914.

	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135				
Nach 15 Min.	0	1/2	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl				
dann in	GM KNO ₃															
	0,075 GM															
	4 Min. ¹⁾	v	4 M.	v	4 M.	0	4 M.	0	5 M.	0	4 M.	gv	5 M.	gv	4 M.	v
	5 "	v	5 "	v	5 "	v	6 "	gv	6 "	0	7 "	0	7 "	0	6 "	0
	6 "	gv	6 "	0	7 "	0	7 "	0	7 "	0	6 "	0	6 "	0	5 "	gv
	7 "	0	7 "	0	7 "	0	7 "	0	7 "	0	6 "	0	6 "	0	6 "	0

Die entsprechenden Schnitte der Parallelreihe 14 Stunden in 0,075 GM KNO₃,

dann in	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14	0,145
nach 60 Min.	0	0	0	0	0	0	0	v	1/2	3/4-∞	v	1/2
nun in	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165
	GM KNO ₃											
nach 50 Min.	0	gv	0	pl	3/4	1/2	1/3-1/2	3/4	∞	pl	pl	pl
darauf in	GM											
	0,1											
	5 Min. ¹⁾	∞	5 M.	1/2	5 M.	3/4	6 M.	v bis 1/3	6 M.	v bis 1/3	4 M.	3/4
	10 "	1/3-3/4	10 "	1/3	10 "	1/3	12 "	gv	11 "	gv	6 "	3/4
	15 "	1/2	15 "	v	15 "	gv	20 "	1/3	10 "	1/3	10 "	1/3
	20 "	1/2	20 "	v	20 "	gv	25 "	1/2	13 "	0	13 "	0
	25 "	1/2	25 "	gv	20 "	gv						

1) Alle Minutenzahlen sind hier immer vom Beginn der Überführung in die betr. Salpeterlösungen an gerechnet.

Versuch 64. Bonn, 31. Mai 1914.

0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13
GM KNO ₃											
Nach 15 Min.	0	0	0	0	0	0	1/2	3/4-∞	pl	pl	pl
dann in	GM										
	5 Min. ¹⁾	7 M.	1/2-3/4	10 M.	0	5 M.	gv	10 M.	0	5 M.	gv
	8 "	10 "	v bis 1/3	6 "	0	6 "	0	15 "	v	6 "	0
	9 "	0	15 "	20 "	0	20 "	0				

Die entsprechenden Schnitte der Parallelreihe 16 Stunden in 0,075 GM KNO₃,

dann in	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165
GM												
nach 40 Min.	0	0	∞	0	0	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
dann in	0,1	0,1	0,1	0,095	0,09	0,085	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095
GM												
	10 Min. ¹⁾	3/4	5 M.	∞	5 M.	∞	5 M.	∞	5 M.	pl	5 M.	∞
	25 "	1/2	10 "	∞	10 "	1/2	10 "	∞	10 "	3/4	10 "	3/4
	50 "	v bis 1/3	20 "	gv	15 "	1/2-3/4	15 "	0	20 "	∞	15 "	1/2
			20 "	1/3	20 "	1/3	30 "	v	30 "	v	20 "	v
			25 "	1/3-1/2	31 "	v	25 "	gv	25 "	gv	26 "	gv
			42 "	gv	42 "	gv						

1) Alle Minutenzahlen sind hier immer vom Beginn der Überführung in die betr. Salpeterlösungen an gerechnet.

Versuch 65. Bonn, 1. Juni 1914.

0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13
GM KNO ₃											
Nach 15 Min.	0	∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
nun in	0,075 GM										
	8 Min. ¹⁾ 0	8 M. gv	5 M. $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$	8 M. 0	10 M. 0	7 M. gv	8 M. v	8 M. $\frac{1}{2}$	5 M. $\frac{3}{4}$		
	9 "	0	8 " v	13 "	0	10 " gv	12 " gv	10 " gv	12 " 0		
			10 " gv								
			12 " 0								

Die entsprechenden Schmitte der Parallelreihe 15 Stunden in 0,075 GM KNO₃,

dann in	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14	0,145	0,15	0,155	0,16
GM KNO ₃												
nach 40 Min.	0	0	gv $\frac{3}{4}$ -∞	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
nun in			0,11	0,105	0,1	0,095	0,1	0,095	0,105	0,085		
GM												
	5 Min.	$\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	10 M. $\frac{1}{3}$	10 M. $\frac{1}{3}$	10 M. $\frac{1}{2}$	10 M. $\frac{1}{2}$	10 M. $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	10 M. $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	15 M. $\frac{3}{4}$	10 M. gv		
	10 "	v	14 " v bis $\frac{1}{3}$	14 " v bis $\frac{1}{3}$	14 " v $\frac{1}{3}$	15 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$	15 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$	15 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$	20 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	20 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$		
	15 "	gv	20 " v	20 " v	20 " v	20 " $\frac{1}{3}$	20 " $\frac{1}{3}$	20 " $\frac{1}{2}$	25 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$	25 " $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$		
	25 "	gv	25 " gv	25 " gv	25 " gv	25 " v	25 " $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$	25 " $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$	39 " gv	40 " gv		

1) Vgl. Ann. 1 S. 32.

Versuch 66. Bonn, 30. Mai 1914.

		GM KNO ₃											
		0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13
Nach 15 Min.	0 v		pl	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
nun in	0,075 GM												
	13 Min. 1) v bis 1/3			10 M. v	bis 1/3	7 M. 1/2	7 M. 1/2	7 M. 1/2	10 M. v	6 M. 0	8 M. v	6 M. v	10 M. 0
	16 " gv			13 " gv	12 " 0	10 " 0	10 " 0	13 " 0	13 " 0	10 " 0	8 " 0	8 " 0	

Die entsprechenden Schmitte der Paralleltreie in 0,075 GM KNO₃,

		GM KNO ₃										
		0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14
dann in	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,135	0,14		
nach 60 Min.	0 0 v	1/3	1/2-3/4	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
nun in	0,09	0,095	0,095	0,095	0,09	0,09	0,085	0,085	0,085	0,08	0,075	0,09
	10 Min. v	10 M. ∞	12 M. 1/2-3/4	10 M. 1/2-3/4	10 M. 1/2-3/4	10 M. v	10 M. 1/2					
	15 " gv	19 " gv	24 " 1/3	30 " 1/2	37 " 1/2	52 " 0	19 " 1/3-3/4	15 " 1/3-1/2	15 " v	15 " v	14 " gv	13 " 1/3
							20 " 1/3	20 " 1/3	20 " 0	20 " 0	20 " v	20 " v
							25 " 1/3	25 " 1/3	30 " v bis 1/3	35 " v bis 1/3	45 " v	25 " gv

1) Vgl. Anm. 1 S. 32.

Versuch 67. Bonn, 31. Mai 1914.

	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115	0,12	0,125	0,13
	GM KNO ₃											
Nach 15 Min.	0	0	0	0	0	v	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
nun in	GM											
	5 Min. ¹⁾ $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ 5 M. gv 5 M. 0 3 M. v											
	10 „ v bis $\frac{1}{3}$ 6 „ 0 4 „ gv											
	15 „ gv 15 „ 0 5 „ 0											
dann in	0,125	0,13	0,135	0,14	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165			
	GM KNO ₃											
nach 45 Min.	∞	∞	pl	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
nun in	0,115	0,115	0,095	0,11	0,1	0,115	0,11	0,115	0,11	0,115	0,115	0,11
	GM											
20 Min. 0	15 M. $\frac{3}{4}$	30 „ $\frac{1}{2}$	47 „ v bis $\frac{1}{3}$	72 „ 0	5 M. $\frac{1}{2}$	10 „ v bis $\frac{1}{3}$	15 „ 0	10 n gv	5 M. $\frac{1}{3}$	7 „ v	10 n gv	15 „ 0
	10 M. $\frac{1}{2}$	5 M. $\frac{1}{3}$	10 „ 0	5 M. $\frac{1}{3}$	10 M. ∞	20 „ $\frac{3}{4}$	26 „ $\frac{1}{2}$	10 M. ∞	8 M. $\frac{1}{3}$	10 „ v bis $\frac{1}{3}$	15 „ gv	20 „ v
	5 M. $\frac{1}{2}$	10 „ v	15 „ 0	10 n gv	10 M. ∞	20 „ $\frac{3}{4}$	36 „ gv	10 M. ∞	10 „ v bis $\frac{1}{3}$	15 „ gv	20 „ v	5 M. $\frac{3}{4}$
	5 M. $\frac{1}{2}$	10 „ v	15 „ 0	10 n gv	10 M. ∞	20 „ $\frac{3}{4}$	36 „ gv	10 M. ∞	10 „ v bis $\frac{1}{3}$	15 „ gv	20 „ v	5 M. $\frac{3}{4}$

Die entsprechenden Schmitte der Parallelreihe 14 Stunden in 0,075 GM KNO₃.

1) Vgl. Ann. 1 S. 32.

Bei den Schnitten, die in der Salpeterlösung 14 Stunden verweilt hatten, hatte sich die Grenzkonzentration von 0,085 GM auf etwa mindestens 0,125 GM verschoben. Also sind während dieser Zeit eingedrungen etwa 0,04 GM KNO_3 . Demnach würde eine Salpeterlösung, die um diesen Wert konzentrierter genommen wird als die vorher zur Deplasmolyse verwendete, etwa die Lösung 0,115 GM, jetzt für die Aufhebung der Plasmolyse zu wählen sein, um ähnliche Konzentrationsgefälle wie vorher zu bekommen. Ich habe aber mit Absicht das Konzentrationsgefälle noch etwas größer genommen, in einem Falle die Lösung 0,1 und dreimal die Lösung 0,105. An und für sich geht die Deplasmolyse um so schneller vor sich, je größer das Gefälle ist. Gleichwohl war der Rückgang der Plasmolyse (10—15 Minuten) auffallend gegenüber den Kontrollschnitten verlangsamt! Dabei betrug der Unterschied zwischen den Lösungen, aus denen die Plättchen in 0,105 GM übertragen wurden, mit der Grenzkonzentration 0,03—0,045 GM, also so viel wie bei den Vergleichsversuchen.

Versuch 64. Ohne Vorbehandlung mit Salpeter betrug die Grenzkonzentration etwa 0,11 GM. Die Plasmolyse ging in Salpeterlösungen, die um 0,01—0,015 GM schwächer sind, zurück in 5, allerhöchstens 10 Minuten, nur einmal erst nach 15—20 Minuten.

Bei längerem Aufenthalt der Plättchen in 0,075 GM KNO_3 hat sich die Grenzkonzentration verschoben von 0,11 GM zu etwa 0,13 GM, also ist in die Protoplasten eingedrungen 0,02 GM KNO_3 . Obwohl ich die zur Deplasmolyse benutzte Lösung nicht entsprechend stärker genommen, sondern die gleichen Lösungen, ja noch ein wenig schwächere verwendet habe als vorher, ging die Plasmolyse doch ganz auffallend langsamer zurück als in den Schnitten, die nicht in Salpeter gelegen hatten! Jetzt sind zur Deplasmolyse 25—30, ja noch mehr Minuten nötig!

Versuch 65. Die Grenzkonzentration betrug bei den nicht vorbehandelten Plättchen etwa 0,085 GM. In 0,075 GM ging die Plasmolyse zurück in 7—12 Minuten.

Nach Aufenthalt der Schnitte in Salpeter hat sich die Grenzkonzentration auf etwa 0,12 GM, also um etwa 0,035 GM verschoben. Der zuerst für die Deplasmolyse verwendeten Lösung würde jetzt also eine solche von etwa 0,11 GM entsprechen. Obwohl ich Lösungen benutzt habe, die schwächer waren, ging jetzt die Plasmolyse bedeutend langsamer zurück als zuvor. Jetzt waren dazu 20—30 und noch mehr Minuten nötig!

Versuch 66. Die Gesamtkonzentration lag bei den Plättchen, die sofort plasmolysiert wurden, ungefähr bei 0,085 GM. Die Plasmolyse ging in jener Salpeterlösung, die um 0,01 GM schwächer war als die Grenzkonzentration, zurück nach 5—10 Minuten, mit Ausnahme der Plättchen, die in einer der Grenzkonzentration sehr nahen Lösung plasmolysiert worden waren. Nach einem 13stündigen Aufenthalte in 0,075 GM hatte sich die Grenzkonzentration auf 0,11 GM, also um 0,025 GM verschoben. Der zuerst für die Deplasmolyse verwendeten Lösung würde also jetzt eine solche von etwa 0,1 GM entsprechen. Obwohl ich noch weniger konzentrierte Lösungen wählte, ging die Plasmolyse doch viel langsamer zurück.

Versuch 67. Auch hier ist die Verlangsamung der Deplasmolyse nach dem Aufenthalte der Schnitte in der Salpeterlösung auffällig.

Aus diesen Versuchen kann man jedenfalls soviel ersehen, daß die Verzögerung, mit der das plasmolytische Gleichgewicht in plasmolysierenden Salpeterlösungen nach vielstündigem Aufenthalte in hypotonischen Salpeterlösungen erreicht wird, nicht ausschließlich darauf zurückgeführt werden kann, daß die Permeabilität für das Salz wesentlich abgenommen hat. Vielmehr beruht sie, zum Teil wenigstens, auch darauf, daß noch andere Veränderungen in den Zellen vor sich gegangen sind. Welcher Art die nun freilich sind, läßt sich ganz eindeutig nicht entscheiden. Die Deplasmolyse in hypotonischen Salzlösungen ist ja ein ziemlich verwickelter Vorgang. Damit er sich vollziehe, muß folgendes sich abspielen: 1. In den Zellräumen außerhalb der plasmolysierten Protoplasten muß die Salpeterkonzentration abnehmen. Das ist nur möglich, wenn das Salz durch die Zellmembranen nach außen diffundiert. 2. Der Zellsaft muß Wasser aufnehmen, das die Plasmahäute zu durchdringen hat. 3. Dem damit verbundenen Ausdehnungsbestreben des Plasma darf die Plasmahaut der Zelle keine Widerstände entgegenstellen. Die Deplasmolyse könnte sich also verzögern durch die Abnahme 1. der Permeabilität der Zelloberfläche für das Salz, 2. der Durchlässigkeit der Plasmahaut für Wasser oder 3. der Dehnbarkeit der Plasmahaut.

Zu bedenken ist dabei freilich, daß an dem schnelleren Rückgange der Plasmolyse in den Zellen, die zuvor nicht in Kalisalpeter gelegen hatten, auch die Permeabilität der Protoplasten für das Salz teilhaben könnte. Daß dieser Faktor in solchem Sinne wirksam sein muß, ist selbstverständlich; denn wenn nicht nur Salz-moleküle nach außen, sondern auch nach innen in die Protoplasten

abströmen, so muß die Salzkonzentration der die kontrahierten Protoplasten umspülenden Lösung abnehmen und entsprechend die Deplasmolyse beschleunigt werden. Doch scheint mir sicher, daß die größere Permeabilität der Protoplasten in den Schnitten, die nicht mit Salpeter vorbehandelt sind, allein den auffälligen Unterschied in der Geschwindigkeit der Deplasmolyse nicht erklärt. Bei diesen Zellen ging ja die Deplasmolyse in 5, höchstens 12 Minuten vor sich, d. h. in einer Zeit, während der nur ganz wenig (weniger als 0,0025 GM) Salz in die Zelle permeieren kann. Und doch war der Unterschied in der Geschwindigkeit der Deplasmolyse sehr groß auch bei solchen Zellen, die stark, d. h. mit viel stärkeren Lösungen als die Grenzkonzentrationen plasmolysiert waren. Ferner: würde jener Faktor eine beachtenswerte Rolle spielen, so sollte man eigentlich erwarten, daß die mit Lösungen, die der Grenzkonzentration sehr nahe liegen, schwach plasmolysierten Zellen schneller deplasmolysiert würden, als die in stärkeren Lösungen plasmolysierten. Gerade das Gegenteil aber war auch bei den nicht mit Salz vorbehandelten Zellen der Fall!

Die Annahme, etwa eine Verringerung der Dehnbarkeit der Plasmamembranen sei Schuld an der Verlangsamung der Deplasmolyse, ist recht wenig wahrscheinlich. Könnte nämlich die Plasmamembran dem durch die Wasseraufnahme auf sie ausgeübten Zuge nicht mehr oder nur noch unvollkommen folgen, so würde sie zerreißen, wie man es tatsächlich gelegentlich beobachtet. Die durch die Wasseraufnahme angestrebte Volumvergrößerung und die osmotischen Kräfte sind zu groß, als daß dagegen von der sehr zarten Plasmahaut eine nennenswerte Gegenwirkung ausgeübt werden könnte. Gegen die Annahme, daß die Plasmahaut durch die lange Einwirkung irgendwie fester geworden ist, spricht zudem die Leichtigkeit, mit der sich in kurzer Zeit ohne alle Faltungen der Plasmahäute in solchen Zellen immer noch normale Plasmolyse bewirken läßt!

Dagegen ist eine Entscheidung zwischen den beiden anderen Annahmen zurzeit nicht möglich. Von ihnen ist die eine von ebenso großem Interesse wie die andere! Daß die Durchlässigkeit von Kolloidmembranen für diffundierende Lösungen durch Salze und andere Verbindungen verändert werden kann, ist bekannt (vgl. Zangger 1908, Bechhold und Ziegler 1906, Walden 1892, Traube 1867, S. 141 ff.). Wir wissen gar nichts darüber, ob auch die Zellulosemembranen durch längere Einwirkung von Salzen so verändert werden können, daß sie nachher für das Salz schwerer

durchlässig sind. Immerhin ist diese Annahme viel weniger wahrscheinlich als die andere, daß es die Plasmahaut selbst ist, deren Durchlässigkeit auch für Wasser veränderlich ist. Denn für die Plasmahaut habe ich ja eine Abnahme der Durchlässigkeit für andere Stoffe exakt bewiesen.

Wirft man nun noch einmal einen Blick auf die in diesem Abschnitte mitgeteilten Versuche, so wird man sehen, daß schon von vornherein, ohne längere Behandlung der Zellen mit dem Salze, Unterschiede in der Schnelligkeit der Deplasmolyse bemerkbar sind: Gut vergleichbar sind die Versuche 63, 65 und 66, weil bei ihnen die Grenzkonzentrationen einander nahezu entsprechen und die zur Deplasmolyse verwendete Lösung die gleiche ist (0,075). Im Versuche 63 ging die Plasmolyse viel schneller zurück als bei 66 und besonders auffällig als bei 65. Folgt man mir in der Annahme, daß die Durchlässigkeit der Plasmahäute auch für Wasser veränderlich ist, so liegt die Interpretation nahe, daß die Zellen ebenso wie nach meinen Messungen für das Salz so auch für Wasser von vornherein schon verschieden durchlässig sind!

Mit solchen Verschiedenheiten dürfte es zusammenhängen, daß der plasmolytische Gleichgewichtszustand bei der Übertragung frischer, nicht mit Salpeter vorbehandelter Schnitte zwar oft schon nach 12—15 Minuten, manchmal aber erst nach 15—20 Minuten, ja noch später erreicht wird, wenn auch die Zellen solcher Blätter zugleich für Salpeter weniger durchlässig zu sein pflegen.

Abschnitt IV. Ursachen der Permeabilitätsänderungen.

Ist nun auch durch meine bisherigen Versuche eine Abnahme der Durchlässigkeit der Plasmahaut sicher festgestellt, so läßt sich mit ihnen doch noch nicht genügend exakt beweisen, daß diese Abnahme gerade dem Einflusse des Salzes zuzuschreiben ist. Die Permeabilitätsänderung könnte ja auch eine Folge sein 1. der Verwundung, die mit der Herstellung der Schnitte notwendig verbunden ist, 2. der Einwirkung des flüssigen Mediums, in dem sich die Schnitte während der Versuche befinden, 3. der verminderten Zufuhr von Sauerstoff in den Lösungen. Hier war noch eine weitere Klärung nötig.

Freilich scheinen schon meine früher mitgeteilten Versuche darauf hinzudeuten, daß hauptsächlich das Salz selbst als wirk-

samer Faktor in Betracht kommen muß: denn längerer Aufenthalt der Zellen in Wasser beeinflusste die Permeabilität, falls überhaupt, so doch sehr viel weniger als solcher in den Salpeterlösungen. Freilich läßt sich aus ihnen noch nicht deutlich sehen, ob nicht auch die anderen genannten Faktoren wenigstens einen gewissen Einfluß auf die Durchlässigkeitsverhältnisse haben! Eine genaue Untersuchung auch dieser Fragen war um so notwendiger, weil manchmal der Aufenthalt in Wasser tatsächlich die Permeabilität etwas zu ändern schien! Sie hat ergeben, daß es nicht gleichgültig ist, in welcher Jahreszeit man mit den Blättern arbeitet: Im Winter, wo die Durchlässigkeit so wie so sehr viel geringer ist als im Sommer, kann schon allein die Verwundung oder der längere Aufenthalt der Schnitte in Wasser eine bemerkbare Senkung der Permeabilität zur Folge haben, falls bei den Zellen überhaupt eine solche noch deutlich nachweisbar ist. In der „guten“ Jahreszeit indessen hat weder die Verwundung, noch der Aufenthalt im destill. Wasser für die Durchlässigkeitsverhältnisse eine auffällige Bedeutung, von seltenen Ausnahmefällen abgesehen. Das habe ich sehr sorgfältig mit folgender Versuchsanordnung feststellen können: Aus den Mittelrippen gut entwickelter Blätter habe ich, wie bisher, zwei Parallelreihen von quadratischen Plättchen geschnitten. Die Plättchen der einen Reihe wurden abwechselnd folgendermaßen behandelt. Die eine Serie (A) wurde nach einem 3 Minuten langen Aufenthalt in Wasser sofort in plasmolysierende Salpeterlösungen übertragen; die Plättchen der zweiten Serie (B) wurden unter strenger Einhaltung ihrer Reihenfolge mit der Epidermisseite nach unten auf eine feuchte Schicht Filtrierpapier, die auf einem Objektträger ausgebreitet war, gelegt; der Objektträger kam für längere Zeit in einen feuchten Raum. Nach dem Aufenthalte im feuchten Raume wurden diese Plättchen wie die der ersten Serie behandelt. Die der ersten Serie entsprechenden Plättchen der Parallelreihe (C) wurden ebenso lange, wie die der zweiten im feuchten Raum, je in besonderem Gläschen in destill. Wasser, die der zweiten entsprechenden (D) desgl. in eine 0,075 GM-Salpeterlösung ebenfalls unter strenger Einhaltung ihrer Reihenfolge übertragen, um danach erst plasmolysiert zu werden. Ich teile die Protokolle über einige dieser Versuche hier mit.

Versuch 68.

Bonn, 19. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115 GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	gv	∞	∞	pl	∞	pl
weit. 15 "	0	0	$\frac{1}{3}$ — $\frac{3}{4}$	∞	∞	∞	pl
" 30 "	0	0	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	$\frac{3}{4}$	pl
" 60 "	0	0	0	0— $\frac{1}{3}$	gv	gv	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$

Serie B. 16 Stunden im feuchten Raum, dann in

	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$ —∞	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞
" 30 "	0	0	0	v	v	∞
" 60 "	0	0	0	0	0	gv

Serie C. 15 Stunden in destill. Wasser, dann in

	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	gv	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	0	$\frac{3}{4}$ —∞	pl	pl
" 30 "	0	0	$\frac{1}{2}$	∞	pl
" 60 "	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ —∞

 Serie D. 15 Stunden in 0,075 GM KNO₃, dann in

	0,115	0,12	0,125	0,13	0,135 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	v bis $\frac{1}{3}$	v	$\frac{3}{4}$	v bis $\frac{1}{3}$
weit. 15 "	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$	pl	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$
" 30 "	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$	pl	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$
" 60 "	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	v	pl	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$

Versuch 69.

Bonn, 16. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115 GM KNO ₃
Nach 15 Min.	v	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞
" 30 "	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$

Serie B. 17 Stunden in feuchtem Raum, dann in

	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$ —∞	pl
weit. 15 "	0	v	v	v	∞
" 30 "	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$

Serie C. 16 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,09	0,0925	0,095	0,0975 GM KNO ₃
nach 15 Min.	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl
weit. 15 "	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	∞
" 30 "	0	0	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$

Serie D. 16 Stunden in 0,075 GM KNO_3 , dann in

	0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,1375 GM KNO_3
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4} - \infty$	0	∞	$\frac{3}{4}$
weit. 15 "	0	$\frac{3}{4}$	pl	0	pl	pl
" 30 "	0	$\frac{3}{4}$	pl	0	pl	pl
" 60 "	0	$\frac{3}{4}$	pl	0	pl	pl

In anderen Versuchen wurde zur Vereinfachung die eine Serie (B im feuchten Raum) fortgelassen, da sich zeigte, daß auch der Aufenthalt in Wasser, wo ja zugleich die Verwundung Einfluß hat, die Permeabilität nicht wesentlich verändert. Übrigens sei erwähnt, daß die Serien A, B, C, D nicht immer die vorher erwähnten Beziehungen zueinander hatten: manchmal entstammten die Serien A und B, resp. C und D einer, manchmal A und C, resp. B und D einer der Längsreihen.

Versuch 70.

Bonn, 19. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11 GM KNO_3
Nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	∞	pl	pl
" 30 "	0	$\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl
" 60 "	0	v	v	∞	pl

Serie B. 16 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,09	0,095	0,1	0,105	0,11	0,115 GM KNO_3
nach 15 Min.	0	0	v	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	gv	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	0	$\frac{3}{4} - \infty$	pl	pl
" 60 "	0	0	0	$\frac{1}{3}$	∞	pl

Serie C. 16 Stunden in 0,075 GM KNO_3 , dann in

	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165 GM KNO_3
nach 15 Min.	0	v bis $\frac{1}{2}$	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	pl	pl	pl
" 30 "	0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	pl	pl	pl
" 60 "	0	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	pl	pl	pl

Versuch 71.

Bonn, 20. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025	0,105 GM KNO_3
Nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}$	∞	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞
" 30 "	0	0	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$
" 60 "	0	0	0	0	0	0	gv

Serie B. 16 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,105 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	v	gv	∞	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	∞
weit. 15 „	0	0	0	$\frac{3}{4}$	0	∞	∞
„ 30 „	0	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$
„ 60 „	0	0	0	0	0	0	0

Serie C. 16 Stunden in 0,075 GM KNO₃, dann in

	0,12	0,125	0,1275	0,13	0,1325	0,135	0,14 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	gv	$\frac{3}{4}$ —∞	gv	pl
weit. 15 „	0	∞	∞	v bis $\frac{1}{3}$	∞	gv	pl
„ 30 „	0	∞	∞	v bis $\frac{1}{3}$	∞	gv	pl
„ 60 „	0	∞	∞	gv	∞	0	pl

Versuch 72.

Bonn, 23. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975 GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl
weit. 15 „	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	pl
„ 30 „	0	gv	0	pl	pl
„ 60 „	0	0	0	∞	$\frac{3}{4}$

Serie B. 16 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
weit. 15 „	0	$\frac{1}{2}$	∞	pl	pl
„ 30 „	0	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	pl
„ 60 „	0	0	0	∞	pl

Serie C. 16 Stunden in 0,075 GM KNO₃, dann in

	0,1125	0,115	0,1175 . . .	0,13	0,1325 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{3}{4}$	0	gv	pl
weit. 15 „	gv	∞	0	$\frac{1}{2}$	pl
„ 30 „	gv	∞	0	$\frac{1}{2}$	pl
„ 60 „	gv	∞	0	$\frac{1}{2}$	pl

Versuch 73.

Bonn, 17. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105 GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl	pl	pl
weit. 15 „	0	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	∞	pl	pl
„ 30 „	0	gv	∞	∞	pl
„ 60 „	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl

Serie B. 13 Stunden in destilliertem Wasser, dann in					
	0,085	0,09	0,095	0,1	0,105 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl
weit. 15 „	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
„ 30 „	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl
„ 60 „	0	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	∞

Serie C. 13 Stunden in 0,075 GM KNO ₃ , dann in					
	0,12	0,125	0,13	0,135	0,14 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}-\infty$
weit. 15 „	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl
„ 30 „	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl
„ 60 „	0	0	gv	$\frac{3}{4}-\infty$	pl

Versuch 74.

Bonn, 20. April 1914.

Serie A. Sofort plasmolysiert.

	0,08	0,0825	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1
GM KNO ₃									
Nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
weit. 15 „	0	0	0	v	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}-\infty$	∞	pl
„ 30 „	0	0	0	0	gv	v	$\frac{1}{2}$	v	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$
„ 60 „	0	0	0	0	0	0	gv	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$

Serie B. 15 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,95	0,0975	0,1	0,1025 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}-\infty$	∞	pl	pl	pl	pl
weit. 15 „	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}-\infty$	∞	pl	pl	pl
„ 30 „	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞	pl
„ 60 „	0	0	v	gv	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	v	∞

Serie C. 15 Stunden in 0,075 GM KNO₃, dann in

	0,1	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,115	0,12 GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	0	0	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞
weit. 15 „	0	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$	∞	pl
„ 30 „	0	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	∞	pl
„ 60 „	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	∞	∞

Solcher Versuche habe ich noch mehrere mit gleichen Ergebnissen gemacht. Sie lehren, daß die Hemmung der Permeabilität tatsächlich vor allem der Einwirkung des Salzes zuzuschreiben ist. Im Winter habe ich nun aber, wie schon erwähnt, mehrfach auch im feuchten Raume oder in Wasser eine auffallende Abnahme der Permeabilität beobachtet. Beispiel:

Versuch 75. Bonn, 18. November 1913.

A. Sofort plasmolysiert.

	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025	0,105	0,1075	GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	gv	v bis $\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	
weit. 15 „	0	0	v	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	
„ 30 „	0	0	0	$\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	

B. 8 Stunden in destilliertem Wasser, dann plasmolysiert.

	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	0,1025	0,105	GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞		pl
weit. 15 „	0	gv	$\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	∞		pl
„ 30 „	0	0	$\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	∞		pl

Ich hielt es deshalb für notwendig, in der guten Jahreszeit den Einfluß, den die Verwundung oder der Aufenthalt in Wasser auf die Permeabilität haben könnte, in sehr zahlreichen Versuchen noch weiter genau zu prüfen. In der Zeit vom 14. April bis zum 20. Mai 1914 habe ich jedesmal an einem neuen Blatte 20 Versuche folgender Art gemacht: Die Plättchen einer Längsreihe wurden abwechselnd sofort (nach 5 Minuten Aufenthalt in Wasser) und nach einem Aufenthalt von 13—18 Stunden in Wasser plasmolysiert. In diesen 20 Versuchen war bei 16 kein deutlicher Unterschied in der Schnelligkeit der Salzaufnahme zwischen den sofort plasmolysierten und den anderen Plättchen wahrzunehmen, höchstens drang in der ersten Beobachtungsviertelstunde etwas Salz weniger ein, wenn die Zellen längere Zeit zuvor in Wasser gelegen hatten. Nur bei vier Versuchen war der Einfluß des Aufenthaltes in Wasser größer. Ich führe die beiden hier an, wo dieser Einfluß am deutlichsten war.

Versuch 76. Bonn, 22. April 1914.

A. Sofort plasmolysiert.

	0,0825	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,095	GM KNO ₃
Nach 15 Min.	gv	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	
weit. 15 „	0	v bis $\frac{1}{2}$	∞	pl	pl	pl	
„ 30 „	0	gv	v	∞	pl	pl	
„ 60 „	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	pl	

B. 13 Stunden in destilliertem Wasser, dann in

	0,0825	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,095	GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	0	$\frac{1}{2}$	∞	∞		pl
weit. 15 „	0	0	$\frac{1}{2}$	∞	∞		pl
„ 30 „	0	0	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	∞	∞		pl
„ 60 „	0	0	0	$\frac{3}{4}$ — ∞	$\frac{3}{4}$ — ∞		pl

Versuch 77.

Bonn, 11. Mai 1914.

A. Sofort plasmolysiert.								
	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	GM KNO ₃
Nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl	pl	
weit. 20 "	0	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl	pl	
" 30 "	0	0	gv	v	$\frac{3}{4}$	∞	pl	
" 60 "	0	0	0	0	v	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
B. 14 Stunden in destilliertem Wasser, dann in								
	0,085	0,0875	0,09	0,0925	0,095	0,0975	0,1	GM KNO ₃
nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	
weit. 20 "	0	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	
" 30 "	0	0	v	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	
" 60 "	0	0	0	gv	$\frac{3}{4}$	∞	pl	

Man sieht sofort, mit dem Einflusse des Salzes können sich irgend welche mit der Versuchsanordnung sonst verbundene Faktoren auch nicht entfernt messen! Worauf es beruht, daß manchmal auch solche Faktoren einen geringen Einfluß haben, das wird sich wohl erst sagen lassen, wenn der Einfluß der Außenfaktoren auf die Permeabilitätsverhältnisse festgestellt ist. Um zu sehen, ob die Einwirkung der Verwundung mehr als die des Wassers dabei in Betracht kommt, habe ich Mitte und Ende Mai 1914 auch noch einmal in 7 Versuchen die Durchlässigkeit von Plättchen miteinander verglichen, von denen die einen im feuchten Raume, die anderen längere Zeit in Wasser verweilt hatten. Die Permeabilität war aber in allen so gleich mit den sofort plasmolysierter Zellen, daß sich daraus nichts anderes entnehmen läßt, als daß weder die Verwundung noch der Aufenthalt in Wasser die Permeabilität herabsetzt.

Somit dürften nunmehr folgende Sätze als gesichert hinzustellen sein:

1. Die Verwundung hat in der Regel keinen Einfluß auf die Permeabilität für das Salz.

2. Auch der längere Aufenthalt in Wasser setzt die Durchlässigkeit in der guten Jahreszeit gewöhnlich nicht oder doch nur ganz unbedeutend herab.

3. Die bedeutende Abnahme der Permeabilität, die man dagegen fast ohne Ausnahme in den Salpeterlösungen feststellen kann, beruht auf der Anwesenheit des Salzes!

Wichtige neue Fragen schließen sich hier an, die einer weiteren sorgfältigen Untersuchung bedürfen: Welche Salzkonzentrationen

beeinflussen die Permeabilität und wie ist die Geschwindigkeit der Permeabilität abhängig von der Salzkonzentration? Ich hoffe, darüber später berichten zu können.

Abschnitt V. Die Permeabilitätsverhältnisse der *Rhoeo*-Zellen für andere Salze.

Ich habe die Untersuchung nicht auf Kalisalpeter beschränkt, sondern auch die Durchlässigkeit für andere Salze in gleicher Weise wie bei jenem Salze, wenn auch nicht so eingehend geprüft.

Wo nichts anderes vermerkt ist, ging ich stets von 0,25 GM-Lösungen aus und betrug die Konzentrationsdifferenzen zwischen den Lösungen, wie bei Kalisalpeter, 0,0025 GM der Salze. Für alle Versuche dienten womöglich die Präparate pro analysi Kahlbaum.

Kaliumsalze.

a) Kaliumchlorid.

Die Permeabilitätsverhältnisse entsprechen ganz denen für Kalisalpeter: das Salz dringt sehr schnell in die Protoplasten ein, so daß die Plasmolyse bereits nach 15 Minuten zurückzugehen beginnt; nach einigen Stunden nimmt die Durchlässigkeit unter der Einwirkung des Salzes ganz bedeutend ab. Die Durchlässigkeit ist der für Salpeter so ähnlich, daß es mir an Hand meiner Versuche nicht möglich ist, zu sagen, welches Salz etwa dem anderen in dieser Hinsicht überlegen ist. Auch darin besteht Übereinstimmung zwischen beiden Salzen, daß die Permeabilität von vornherein bei den Blättern verschieden sein kann und daß Aufenthalt der Zellen in Wasser die Durchlässigkeit für die Salze meist gar nicht, manchmal aber doch ein wenig beeinflußt. Über die Permeabilität und ihre Abnahme mögen folgende Versuche orientieren.

Versuch 78. Hamburg, 21. Juni 1912.

Nach 17 Stunden Wässerung in H₂O.

	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125
	GM KCl							
Nach 15 Min.	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 „	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl	pl
„ 30 „	0	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$	∞	$\frac{3}{4}$	pl
„ 60 „	0	0	0	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl
„ 60 „	0	0	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	pl
„ 180 „	0	0	0	0	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$	v bis $\frac{1}{3}$	pl

Versuch 79. Hamburg, 19. Juni 1912.

Plättchen 23 Stunden in destilliertem Wasser.

	0,1	0,1025	1,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175
	GM KCl							
Nach 15 Min.	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
weit. 15 "	0	0	$\frac{3}{4}$	∞	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
" 30 "	0	0	$\frac{3}{4}$	∞	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
" 60 "	0	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl
" 60 "	0	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	pl

Versuch 80. Hamburg, 21. Juni 1912.

17 Stunden in H₂O.

	0,1025	0,105	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125
	GM KCl									
Nach 15 Min.	0	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	0	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	pl	pl	pl	pl
" 30 "	0	0	gv	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	gv	∞	pl	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	v	gv	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	∞	pl
" 60 "	0	0	0	0	0	0	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	pl
" 180 "	0	0	0	0	0	0	v	0	0	pl

Versuch 81. Hamburg, 18. Juni 1912.

20 Minuten in H₂O.

	0,1075	0,11	0,1125	0,115	0,1175	0,12	0,1225	0,125	0,1275	0,13	0,1325
	GM KCl										
Nach 15 Min.	v	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl	pl
weit. 15 "	0	gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}-\infty$	∞	pl	pl	pl	pl	pl	pl
" 30 "		0	gv	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}-\infty$	∞	pl	pl	pl	pl	pl
" 60 "			0	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl	pl
" 60 "					$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	∞	pl	pl	pl
" 120 "					v	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}-\infty$	pl	pl
" 60 "					gv	v bis $\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}-\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	pl	pl
" 180 "					0	gv	gv	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl
" 14 Stdn.					0	0	0	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}-\frac{3}{4}$	∞	pl

b) Kaliumbromid.

Die Durchlässigkeitsverhältnisse sind ganz so wie bei KNO₃ und KCl. Die Plasmolyse beginnt schon nach 15 Minuten zurückzugehen. In die permeabelsten Zellen wird in der ersten Stunde etwa 0,0075—0,01 GM Salz aufgenommen.

c) Kaliumchlorat.

Wie bei den vorigen Salzen. Die Plasmolyse geht schon nach 15 Minuten zurück. In der ersten Stunde dringen etwa 0,005 bis 0,0075 GM Salz ein.

d) Kaliumsulfat.

Ausgangslösung 0,125 GM K_2SO_4 . Konzentrationsdifferenzen der verwendeten Lösungen: 0,0025 oder 0,00125 GM.

Auch für dieses Salz besteht eine gewisse Durchlässigkeit, doch ist sie viel geringer, als für die bisher besprochenen Kaliumsalze. Daß die Permeabilität für dieses Salz viel geringer ist als für KNO_3 , habe ich durch vergleichende Versuche an einem und demselben Blatte wiederholt festgestellt. Der Rückgang der Plasmolyse beginnt nach 15—30 Minuten und die Permeabilität nimmt allmählich ab. Längere Wässerung der Schnitte setzt sehr häufig, doch nicht immer, die Durchlässigkeit für das Salz stark herab: es kommt dann nicht selten vor, daß die Zellen wohl noch für Kalisalpete, nicht mehr aber für das Sulfat durchlässig sind.

Natriumsalze.

a) Natriumnitrat.

Auch für dieses Salz sind die Zellen permeabel, doch, scheint es, ein wenig weniger als für Kaliumnitrat: in der ersten Stunde wurde bei den durchlässigsten etwa 0,0025—0,005 GM Salz durchgelassen. Nur bei diesen begann der Rückgang der Plasmolyse nach meinen Beobachtungen schon nach 15 Minuten, sonst erst später. Bei längerer Fortsetzung der Versuche nahm die Durchlässigkeit nach einiger Zeit ab, nach einer ähnlichen Kurve, wie bei den Kalisalzen.

b) Chlornatrium.

Die Permeabilitätsverhältnisse entsprechen in allen Stücken fast völlig denen für Kalisalpete. In der ersten Stunde permeieren etwa 0,005—0,0075 GM Salz, also, scheint's, etwas weniger als bei diesem. Auch Wässerung beeinflußt wie bei Salpeter.

Lithiumsalze.

a) Lithiumnitrat.

Auch dafür besteht Permeabilität, doch wesentlich geringere als für Salpeter. In der ersten Stunde permeieren etwa 0,0025 GM.

Die Plasmolyse ging entweder schon 15 Minuten nach Versuchsbeginn zurück oder wurde auch noch während der zweiten Versuchsviertelstunde verstärkt. Aufenthalt der Plättchen in Wasser setzte die Durchlässigkeit nur sehr wenig herab. Die Durchlässigkeit auch für dieses Salz scheint nach einiger Zeit abzunehmen.

b) Lithiumchlorid.

Alles wie bei dem Nitrat. Falls Unterschiede in der Durchlässigkeit zwischen beiden Salzen vorkommen, so sind sie von so kleiner Größenordnung, daß sie nur durch einen sehr genauen Vergleich beider Salze untereinander zu erkennen sein werden.

Magnesiumsalze.

- a) Magnesiumsulfat, b) Magnesiumchlorid,
c) Magnesiumnitrat.

Bei dem ersten Salze war die Ausgangslösung 0,333 GM. Die Konzentrationsdifferenzen zwischen den Lösungen betragen 0,00333 GM. Eine Durchlässigkeit, auch nur in geringem Grade, habe ich bei meinen Versuchen mit allen diesen Salzen und den verwendeten, den plasmolytischen Grenzkonzentrationen nahe liegenden Lösungen niemals feststellen können. Das plasmolytische Gleichgewicht wird bei allen Magnesiumsalzen erst 30—40 Minuten nach Versuchsbeginn erreicht.

Strontiumsalze.

- a) Strontiumnitrat, b) Strontiumchlorid.

Wie bei den vorigen keine Permeabilität. Nur zweimal sah ich bei den Versuchen mit dem Nitrat einen ganz geringen Rückgang der Plasmolyse.

Kalziumsalze.

- a) Kalziumchlorid, b) Kalziumnitrat.

Ich beobachtete keine Permeabilität. Das plasmolytische Gleichgewicht wird erst 30—40 Minuten nach Versuchsbeginn erreicht. Gleiches gilt übrigens für die Strontiumsalze.

Bariumsalze.

a) Bariumnitrat, b) Bariumchlorid.

Keine Permeabilität. Das plasmolytische Gleichgewicht wird erst 30—50 Minuten nach Versuchsbeginn erreicht. In Bariumnitratlösungen beginnen die Zellen 1—1½ Stunden nach Versuchsbeginn abzusterben, ohne daß zuvor die Permeabilität erhöht worden wäre. —

Aus den Versuchen geht hervor, daß in den verwendeten, den plasmolytischen Grenzkonzentrationen nahen Konzentrationen eine nachweisbare Permeabilität nur besteht für die Alkalisalze, nicht dagegen für die Salze des Magnesium und der Erdalkalien, vielleicht Strontium manchmal ausgenommen. Von Einfluß auf die Durchlässigkeit der Protoplasten sind aber nicht allein die Kationen, sondern manchmal auch die Anionen, oder die Salzmoleküle: das Kaliumsulfat permeiert ja weit langsamer als die übrigen untersuchten Kaliumsalze.

Alle Salze, die permeieren, haben die Eigentümlichkeit, die Durchlässigkeit für dasselbe Salz nach einiger Zeit stark herabzusetzen.

Meine Beobachtungen sind noch zu unvollständig, um erkennen zu können, ob die Ionen der Salze in ähnlicher Reihenfolge verschieden stark permeabel sind und die Permeabilität herabsetzen, wie sie andere Vorgänge in kolloiden Systemen beeinflussen. Nur sehr eingehende und mühsame vergleichende Untersuchungen werden hier unsere Einsicht vertiefen können.

Abschnitt VI. Diskussion der Tatsachen.

Meine Versuche haben endlich den lange gesuchten exakten Nachweis für die alte, in neuester Zeit von manchen Seiten freilich in Ermanglung von Beweisen wieder bezweifelte Vermutung erbracht, daß die Plasmahäute unter der Einwirkung von Salzen ihre Permeabilität für die gleichen Salze verändern und zwar vermindern. Zugleich zeigen sie, daß von vornherein die Durchlässigkeit der Zellen einer Pflanze für ein bestimmtes Salz verschieden sein kann. Das Alles gilt nicht nur für einige wenige Salze, sondern für alle, für die auf plasmolytischem Wege überhaupt eine ausgesprochene Durchlässigkeit festgestellt werden

konnte. Es scheint sich also um eine ganz allgemeine Wirkung der Salze zu handeln. Von Interesse ist dabei zugleich, daß es gelungen ist, die plasmolytische Methode durch verschiedene Verbesserungen so weit zu vervollkommen, daß es damit möglich geworden ist, die Permeabilität und ihre Veränderungen im einzelnen selbst quantitativ samt ihrem Zeitfaktor recht genau zu verfolgen, fast vom ersten Augenblicke an, wo das Salz mit den Zellen in Berührung kommt. Nur für die erste Viertelstunde nach Versuchsbeginn fehlen noch die nötigen Daten, die indes vielleicht auf anderem Wege, wenn freilich zurzeit noch nicht ganz sicher, beigebracht werden können. Ich will schon hier erwähnen, daß Gründe für die Annahme sprechen, es werde in der ersten Versuchsviertelstunde nicht wesentlich mehr, sondern etwa ebenso viel Salpeter aufgenommen, wie in der zweiten (0,0025 GM). Ich werde darüber in einer weiteren Arbeit berichten. Irgendwelche Anhaltspunkte für die Richtigkeit der Behauptung Nathansohns (1903, 1904), die Salzaufnahme werde eingestellt, wenn ein bestimmtes Verhältnis zwischen Außen- und Innenkonzentration erreicht sei, haben meine Untersuchungen nicht erbracht.

So genau läßt sich jetzt mit der plasmolytischen Methode bei geeigneten Objekten arbeiten, daß man noch die Aufnahme von 0,025% Salz mit Sicherheit messen kann! Das ist insofern wichtig, weil die plasmolytische Methode bei richtiger Anwendung mit völliger Exaktheit zu erkennen gestattet, daß in dem komplizierten System kolloidaler Membranen, aus denen die Pflanzenzellen bestehen, ganz allein das Plasma als maßgebend bei den beobachteten Erscheinungen in Betracht kommt. Man darf ja nicht vergessen, daß bei Permeabilitätsfragen auch die die Protoplasten nach außen abschließenden Zellulosehüllen als veränderliche Größen vorhanden sind, wenn ihr Einfluß auch nur gering zu sein scheint. Ebenso wie wir wissen, daß festere kolloide Membranen, als welche wir doch ohne allen Zweifel die Zellulosemembranen aufzufassen haben, auf die Diffusion verschiedener gelöster Stoffe im Vergleich mit Wasser ganz verschieden stark verlangsamend zu wirken vermögen, so scheint auch aus verschiedenen Untersuchungen hervorzugehen, daß bei kolloidalen Membranen die Diffusionskoeffizienten bestimmter Stoffe durch die Anwesenheit anderer, z. B. auch von Salzen, weitgehend beeinflußt werden können, mit anderen Worten, daß bei ihnen die Permeabilität für bestimmte Lösungen durch Anwesenheit anderer verändert werden kann (vgl. z. B. Traube, 1867,

S. 141, Zangger, 1908, Bechhold und Ziegler, 1906, Walden, 1892). Solange wir nun über die Permeabilitätsverhältnisse der Zellmembranen so unvollständig wie gegenwärtig unterrichtet sind, ist jede Versuchsanordnung zum Nachweise namentlich von geringeren Permeabilitätsänderungen im Plasma nicht eindeutig, bei der auch mit der Möglichkeit von Durchlässigkeitsänderungen in den Zellmembranen gerechnet werden muß.

Diese Fehlerquelle fällt nun bei der plasmolytischen Methode fort, wenn man sie richtig anwendet, d. h. wenn man nicht die sog. „Permeabilitätskoeffizienten“ bestimmt oder die Geschwindigkeit untersucht, mit der die Plasmolyse eintritt, sondern wenn man feststellt, wie schnell die Deplasmolyse erfolgt. Da nach Kontraktion der Protoplasten der Raum zwischen den Zellmembranen und den Protoplasten von der Salzlösung erfüllt ist, so kann der teilweise oder völlige Rückgang der Plasmolyse nur auf der Permeabilität des Plasma für das Salz und können von vornherein vorhandene Verschiedenheiten in der Geschwindigkeit des Rückganges nur auf Differenzen in dieser Durchlässigkeit (oder zugleich für Wasser) beruhen. Nur muß gezeigt werden, daß nicht eine regulatorische Erhöhung des osmotischen Druckes in den Zellen an dem Rückgange der Plasmolyse Schuld ist. Dieser Nachweis war bei den Zellen von *Rhoco discolor* aber unschwer zu erbringen. So darf auch das interessante Ergebnis als gesichert gelten, daß die Permeabilität des Plasma für die Salze oder zum mindesten einen Teil von ihnen überhaupt und zumal jahreszeitlich verschieden ist.

Weit weniger eindeutig lassen sich aus den Geschwindigkeiten, mit denen die plasmolytische Kontraktion der Protoplasten nach Zusatz der permeablen Salze ihr stärkstes Maß erreicht, Schlüsse auf die Größe der Durchlässigkeit der Plasmamembranen ziehen. Man könnte ja meinen: Wird bei einem und demselben Salze das Maximum der Kontraktion schneller in einem Blatte erreicht als in einem anderen, so sei dies ebenfalls ein Beweis für Verschiedenheiten in der Durchlässigkeit für das Salz; denn die schnellere Beendigung der Kontraktion müsse ja die Folge davon sein, daß bei größerer Permeabilität der Plasmahaut die Deplasmolyse schneller einsetzt als bei geringerer. Habe ich doch tatsächlich beobachtet, daß bei nachweisbar größerer Durchlässigkeit die Deplasmolyse eher beginnt als bei schwächerer! Zu bedenken ist dabei aber, daß hier auch andere Möglichkeiten in Betracht gezogen werden

können und daß tatsächlich nach meinen Untersuchungen die Verhältnisse wesentlich verwickelter sind. Die Kontraktion bei der Plasmolyse beruht ja erstens auf einem Wasserentzuge aus den Protoplasten. Ist also etwa mit der geringeren Permeabilität des Plasma für das Salz auch eine geringere für Wasser verbunden, so wird offenbar die Plasmolyse langsamer fortschreiten müssen, als bei größerer Permeabilität für Wasser. Ferner setzt die Kontraktion bei der Plasmolyse als Vorbedingung voraus, daß die plasmolytische Lösung durch die Zellulosemembranen in den Zellraum vordringt. Kommen nun Unterschiede in der Durchlässigkeit der Membran für das Salz vor, so wird auch dadurch der Fortgang der Plasmolyse beeinflusst werden können.

Daß derartige Dinge wirklich in Betracht kommen, geht aus meinen Versuchen hervor, in denen ich untersucht habe, mit welcher Geschwindigkeit die Deplasmolyse a) nach kurzer, b) nach längerer Einwirkung von Kalisalpeter vor sich geht. Es zeigte sich da eine sehr auffällige Verlangsamung unter dem Einflusse des Salzes. Übrigens habe ich auch schon, ohne die Zellen mit dem Salze vorbehandelt zu haben, in der Geschwindigkeit der Deplasmolyse deutliche Unterschiede beobachten können, die zugleich darauf hinweisen, daß nicht erst der Einfluß des Salzes, etwa durch eine wesentliche Veränderung der Plasmamembranen, an der Verlangsamung Schuld zu sein braucht. Schon bei der Mitteilung dieser Versuche habe ich darauf hingewiesen, daß durch die Salzlösung ebenso gut eine Abnahme der Durchlässigkeit der Zellmembran für Wasser wie eine Abnahme der Permeabilität des Plasma für Wasser bewirkt sein könnte. Bei unseren gegenwärtigen Kenntnissen freilich, namentlich nachdem eine Permeabilitätsverringering des Plasma für das Salz sicher erwiesen ist, scheint die letztere Annahme wohl plausibler, die man denn auch zur Erklärung der interessanten Tatsache vorziehen dürfte, daß die Plasmolyse in verschiedenen Blättern verschieden schnell ihr Maximum erreicht. Es wäre im Anschlusse an diese Beobachtungen hier auch auf die mit einer völlig anderen Methodik ausgeführten Untersuchungen von Lundegårdh hinzuweisen, wenn ich nach eingehendem Studium seiner Arbeit den Eindruck gewinnen könnte, daß seine Methodik Ergebnisse gezeitigt hat, die auch nur einigermaßen untereinander übereinstimmend oder in dieser Hinsicht eindeutig sind.

Meine orientierenden Versuche mit mancherlei anderen Versuchsobjekten, z. B. mit den Zellen der Blätter der Hymenophyllacee

Trichomanes radicans und denen der Koleoptilen von *Avena sativa*, die auch für manche Salze durchlässig sind¹⁾, weisen darauf hin, daß die von mir für *Rhoeo* ermittelte Abnahme der Permeabilität infolge der Einwirkung eben dieser Salze nicht eine vereinzelte Ausnahmerecheinung, sondern weiter verbreitet ist. Jedoch muß ich hier darauf verzichten, sie jetzt schon mitzuteilen. weil es wie bei *Rhoeo* erst eines sehr genauen Studiums der betreffenden Objekte bedarf, ehe sich aus meinen Beobachtungen ganz eindeutig auf eine solche Permeabilitätsabnahme schließen läßt.

Wie man die Permeabilitätsverringering unter dem Einflusse der Salze auffassen soll, läßt sich ohne weitere Untersuchungen ebenfalls noch nicht genau sagen. Man könnte ja meinen, sie sei der Ausdruck der beginnenden Schädigung der Protoplasten durch die Salze. Dann also würde der mit weiterer Schädigung bekanntlich verbundenen Erhöhung der Durchlässigkeit zunächst eine bisher unbekannt gebliebene Permeabilitätshemmung vorausgehen. Jedoch spricht nicht zugunsten dieser Auffassung die Tatsache, daß merkwürdigerweise Schädigungen anderer Art, wie z. B. Einwirkung größerer Leuchtgasmengen, die Verwundung der Gewebe bei Herstellung der Schnitte, sowie die plasmolytische Kontraktion und die damit bekanntlich verbundene Zerreißung von Plasmodesmen die Permeabilität nicht ausgesprochen herabsetzen. Gegen die Annahme einer Schädigung als permeabilitätshemmender Ursache spricht zudem die oben erwähnte Tatsache, daß schon von vornherein, ohne zuvorige Einwirkung der Salze, die Permeabilität „normaler“ Zellen für ein Salz recht verschieden sein kann! Eine sichtbare Schädigung macht sich übrigens zum mindesten in den hypotonischen Salpeterlösungen erst nach 36—48 Stunden bemerkbar, also sehr viel später, als de Vries (1885, S. 531) für hypotonische angibt. Seine Beobachtung, daß bereits eine Stunde nach Übertragung der Zellen in solche Salpeterlösungen Störungen darin auftreten der Art, daß sie nach dieser Zeit das Auswaschen in Wasser nicht mehr vertragen, kann ich nicht bestätigen. Vielleicht

1) Ein besonders günstiges Versuchsobjekt ist vielleicht die von de Vries so viel verwendete *Curcuma rubricaulis*. Doch ist es mir trotz vieler Bemühungen erst letzten Herbst gelungen, eine kleine, unter diesem Namen in Leyden kultivierte Pflanze zu erhalten, deren Blätter und Blattscheiden indessen fast gar nicht rot gefärbt sind. Ich konnte zudem von dieser Pflanze bisher keine Teile für die Untersuchung opfern. Ich wäre für jeden Hinweis dankbar, wie ich in den Besitz der echten Form gelangen könnte.

sind meine Salzlösungen reiner gewesen. Übrigens scheint die „autonom“ oder durch die Einwirkung eines Salzes entstandene Abnahme der Durchlässigkeit zugleich eine Abnahme der Permeabilität für andere Salze und auch für Wasser nach sich zu ziehen. Über alle diese Fragen wird erst eine sehr sorgfältige Untersuchung der Abhängigkeit der Permeabilität von den Außenfaktoren Klarheit schaffen können. Versuche darüber habe ich schon begonnen. Sehr beachtenswert ist die Beobachtung, die übrigens ebenfalls noch durch weitere Versuche zu verfolgen bleibt, daß im Gegensatze zu Tröndles und Lepeschkins Angaben das Licht einen Einfluß auf die Permeabilität nicht gezeigt hat. Bei dieser Gelegenheit will ich nicht versäumen, darauf hinzuweisen, daß ich nach eingehender Beschäftigung mit der plasmolytischen Methode und mit den damit zusammenhängenden Fragen diesen Untersuchungen äußerst skeptisch gegenüberstehe, namentlich deshalb, weil die Methode der Bestimmung von „Permeabilitätskoeffizienten“ so, wie sie dort angewendet ist, irreführend ist, da sie bekannte Tatsachen der physikalischen Chemie nicht hinreichend berücksichtigt. Ich werde darauf bei einer anderen Gelegenheit zurückkommen.

Vielleicht kommt man zu einer richtigeren Auffassung der Permeabilitätsbeeinflussung durch die Salze und zugleich der Verschiedenheiten in der Durchlässigkeit unbeeinflusster Zellen für diese, wenn man nicht in erster Linie an eine Schädigung der Plasmahäute, sondern einfach an physikalisch-chemische Veränderungen dieser Häute unter dem Einflusse der Salze und an solche von vornherein bestehende Unterschiede denkt. Stellt man sich die Plasmamembranen vor als durch Berührung mit der Umgebung an der Plasmagrenzfläche entstandene kolloidale Oberflächenschichten, deren Eigenschaften in gleicher Weise von der Zusammensetzung des Plasma wie von denen der Umgebung abhängig sind, und weiter, daß die Zusammensetzung der Plasmamembranen einen Gleichgewichtszustand in diesem verwickelten Systeme zusammen- und gegeneinander wirkender Faktoren darstellt, eine Annahme, die durch das sonstige Verhalten des lebenden Plasma nahegelegt wird, so ergibt sich auch mit Notwendigkeit die Vorstellung, daß die Plasmamembran durch Einführung eines neuen Faktors in der Umgebung in geringerem oder größerem Maße ihre Eigenschaften ändern muß; bei Einwirkung eines Salzes etwa dadurch, daß eine Salz-Eiweiß„verbindung“ entsteht, oder, wie wahrscheinlicher, daß

die kolloidale Beschaffenheit der Plasmamembranteilchen sich ändert. Wissen wir doch durch die Untersuchungen mehrerer Forscher (Pfeffer 1877, S. 134ff.; 1890, S. 239; de Vries 1885; Küster 1909, 1910), daß durch längere Einwirkung von Salzlösungen die Plasmahäute sich tatsächlich sichtbar physikalisch-chemisch, manchmal sogar, wie es scheint, reversibel verändern.

Von sehr großer Bedeutung wird nun die Lösung der Frage sein, ob und wie auch organische Substanzen¹⁾, für die das Plasma nachweisbar durchlässig ist, etwa Glycerin²⁾ oder Harnstoff, und im besonderen kolloidale Stoffe, die Permeabilität für diese Stoffe und für Salze zu ändern vermögen. Ruhland (z. B. 1912) hat ja durch Versuche zu beweisen versucht, daß für Kolloide die Plasmamembran als Teilchensieb wirkt, eine Annahme, von Traube (1867) ausgesprochen, die in neuerer Zeit, wie mir indes scheint, nur auf Grund von theoretischen Erwägungen für die kolloidalen Lösungen auch von Perrin (1900, S. 542) wieder aufgegriffen worden ist. Nimmt man in den Plasmamembranen solche Poren an, die ziemlich weit sein dürften, da sie kolloidale Teilchen leicht passieren lassen, so müßte es den Salzen ein Leichtes sein, mit ihren sehr viel kleineren Teilchen durch die Haut zu permeieren. Undurchlässigkeit oder Abnahme der Durchlässigkeit wäre dann nur so verständlich, daß unter dem Einflusse der Salze bald sofort, bald allmählich, je nach der chemischen Natur des Salzes, die Poren verkleinert und für die Salz-moleküle oder -ionen verstopft werden. Dann aber müßte die Membran auch für die Kolloide unwegsam geworden sein. Auf die Literatur, die sich mit der Veränderung der Permeabilität für Kolloide unter dem Einflusse von Salzen befaßt, brauche ich hier nicht eingehen, da darin, soweit ich sehe, entscheidende Beobachtungen für die hier aufgeworfenen Fragen nicht zu finden sind. Sollten aber die Kristalloide auf prinzipiell

1) Von großem Interesse und meinen Beobachtungen mit Salzen vergleichbar wäre die Angabe von Ruhland (1912b, S. 232) für die Blätter der Zuckerrübe: „Recht bemerkenswert ist die bei allen Plasmolysen gemachte Erfahrung, daß bereits nach einstündiger Versuchszeit eine Verringerung der anfänglichen Permeabilität für Monosaccharide eintritt“, wenn sie nicht aus den „Permeabilitätskoeffizienten“ erschlossen wäre. Diese Koeffizienten führen aber, wie ich an anderer Stelle zeigen werde, irre und lassen Schlüsse auf die Permeabilitätsverhältnisse nicht ohne weiteres zu.

2) Für Glycerin findet sich bei de Vries (1888, S. 252) die Bemerkung, daß die Permeabilität „im plasmolytischen Zustande allem Anschein nach geringer ist, als vor der Plasmolyse“. Auf eine Abnahme der Durchlässigkeit des Plasma unter dem Einflusse des Glycerins läßt sich daraus noch nicht ohne weiteres schließen.

andere Weise wie die Kolloide, etwa nach dem Prinzipie auswählender Löslichkeit die Plasmamembranen durchdringen, so wären Unterschiede in dem Einflusse beider auf die Permeabilität der Plasmahäute nicht unmöglich. Auch darüber hoffe ich weiterhin berichten zu können, da meine Methode solche Untersuchungen jetzt ohne Schwierigkeit exakt durchführen lassen wird.

Der Nachweis der Permeabilitätsabnahme für die Salze unter ihrer eigenen Einwirkung ist jedenfalls theoretisch in mancher Hinsicht nicht bloß für die Pflanzen-, sondern auch für die Tierphysiologie von Interesse, wie es auch wichtig ist, daß die Protoplasten sich anfangs für eine Anzahl Salze als recht durchlässig erwiesen haben. Mancherlei Beobachtungen über Stoffaufnahmeporgänge, wie z. B. die Speicherung von Salzen nur bis zu einer bestimmten, der Außenkonzentration unterlegenen Konzentration (vgl. z. B. Fitting, 1911, S. 262 ff., und die freilich sehr anfechtbaren Arbeiten von Nathansohn, 1903, 1904 und Meurer, 1909), dürften damit verständlich werden¹). Auch eröffnet sich jetzt endlich einmal eine Einsicht in die paradoxe Tatsache, daß Salze, die die Pflanze nachweisbar braucht und in ihr Plasma aufnehmen muß, eine irreparable Plasmolyse hervorrufen. Allerdings ist dabei zu beachten, daß diese Tatsache nach meiner Arbeit, wenigstens bei bestimmten Pflanzen und gewissen Salzen, offenbar nur *cum grano salis* gilt: nämlich für verhältnismäßig grobe Versuchsanordnung, wie sie bisher aus Unkenntnis der tatsächlichen Verhältnisse gewöhnlich angewendet worden ist, für Konzentrationen, die die Grenzkonzentrationen bereits beträchtlich überschreiten. Dann nämlich vermag die immerhin nachweisbare Aufnahme von Salz die Plasmolyse nicht bis zu dem Zeitpunkte rückgängig zu machen, wo die Permeabilität bereits nahezu gleich Null geworden ist. Merkwürdig ist aber, daß nur die Alkalisalze, dagegen nicht Magnesium- und Erdalkalisalze mit meiner ja so sehr feinen Methode nachweisbar permeieren, obwohl zum mindesten auch das Magnesium nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen in der Zelle gebraucht wird. Wenn auch eine hinreichende Aufnahme ohne plasmolytisch nachweisbare Permeabilität denkbar ist, so liegt der Gedanke doch nahe, ob nicht vielleicht das Magnesium und ebenso die anderen, nicht permeierenden Erdalkalien in solchen Konzentrationen, wie ich sie verwendet habe,

1) Die Ansicht Ruhlands (1909b, S. 41), die Salze würden bis zum Konzentrationsgleichgewicht aufgenommen, scheint keine allgemeine Gültigkeit zu haben.

so schnell nach Berührung mit den Zellen die in geringem Maße bestehende Permeabilität herabsetzen, daß sie schon bis zum Beginn der Beobachtungen auf Null gesunken ist. Doch ist dieser Hypothese meine Beobachtung vorläufig wenig günstig, daß zwar die Permeabilität nach Einwirkung der permeablen Salze schnell zu sinken beginnt, bis auf Null aber erst nach vielen Stunden fällt. Zur Entscheidung dieser Fragen würde es von großer Wichtigkeit sein, festzustellen, was weiterhin noch geschehen soll, ob z. B. die Magnesiumsalze in sehr geringen Konzentrationen, etwa zu einer osmotisch wirksamen, sonst aber indifferenten Lösung zugesetzt, nicht doch plasmolytisch nachweisbar permeieren und wie die Alkalisalze in sehr geringen Konzentrationen die Permeabilität beeinflussen. Für alle diese Fragen dürfte die plasmolytische Methode in ihrer nun verfeinerten Form noch sehr wertvolle Ergebnisse liefern. Sie wird nach meinen Untersuchungen von keiner anderen an Genauigkeit übertroffen und wird auch die Frage zu lösen erlauben, ob die für so viele Pflanzenzellen behauptete Impermeabilität für Alkalisalze wirklich so groß ist, daß keine Deplasmolyse in den Lösungen solcher Salze erfolgt. Welche wichtigen Probleme der Stoffaufnahme dabei auftauchen, nach wieviel Seiten hier weitere Erkenntnisse Licht ausstrahlen lassen könnten, darauf brauche ich an dieser Stelle nicht noch einmal hinzuweisen. Das ist schon oft genug geschehen.

Meine Beobachtungen sind der sogenannten Lipoidtheorie der Stoffaufnahme nicht günstig, das brauche ich wohl nicht noch besonders hervorzuheben. Möglich, daß schnell eindringende Stoffe, wie Chloroform, Alkohole usw., wegen ihrer Löslichkeit in Lipoiden schnell diffundieren: die ganzen Permeabilitätsverhältnisse der Zelle können aber jedenfalls nicht von diesen Stoffen beherrscht werden! Daß die anfängliche Permeabilität der *Rhoeo*-Zellen für die Alkalisalze nicht schon Folge einer Schädigung des Plasma durch die Salze ist, wie Höber in seiner letzten Auflage der „Physikal. Chemie der Zelle und Gewebe“ für ähnliche Fälle vermutet, bedarf wohl weiter keines Beweises; gerade die nachweisbar stärker schädigenden Erdalkalisalze sind ja impermeabel!

Schließlich möchte ich noch ganz kurz darauf hinweisen, daß meine Untersuchungen manche merkwürdigen, in der Literatur vorliegenden Angaben nicht zu bestätigen vermocht haben, so z. B. auch nicht die Angabe von Rysselberghe (1898), daß der osmotische Druck in den Zellen von *Rhoeo*, wenn man sie in

Lösungen osmotisch wirksamer Substanzen bringt, nach dem Weberschen Gesetze regulatorisch geändert wird.

Abschnitt VII. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Es wurde der Versuch gemacht, mit Hilfe der plasmolytischen Methode an geeigneten Versuchsobjekten die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit der Salze während aufeinanderfolgender Zeitabschnitte in die lebenden Protoplasten eindringen.

Es zeigte sich dabei, daß diese Methode nach mancherlei Verbesserungen viel leistungsfähiger zur Lösung dieser Frage ist, als man auf Grund unserer bisherigen Kenntnisse annehmen konnte. Es ist vor allem nötig: 1. die Konzentrationsdifferenzen zwischen den verwendeten Salzlösungen genügend fein abzustufen (etwa 0,0025 GM), 2. genau festzustellen, in welchen Intervallen und von welchem Zeitpunkte an nach Übertragung der Zellen in die Lösungen man die Ablesungen vornehmen muß, 3. sich über die Fehlergrenzen der Methode ganz klar zu werden, 4. Versuchsobjekte zu finden, die neben einer nachweisbaren Permeabilität für Salze möglichst genau gleiche osmotische Drucke in benachbarten Zellen entwickeln und die sich gut plasmolysieren lassen, und 5. diese Versuchsobjekte vor Beginn der Versuche nach allen Richtungen kennen zu lernen, z. B. auch auf das Vorkommen von Exosmose aus den Zellen in die Lösungen zu prüfen. Es zeigt sich, daß allen Anforderungen in hohem Maße die Epidermiszellen der Blätter von *Rhoeo discolor* genügen.

Die Versuche mit Kalisalpeter hatten folgende Ergebnisse: Die Plasmolyse tritt sehr schnell ein, erreicht ihr Maximum meist schon nach 15 Minuten; dann beginnt sie infolge nachweisbarer Aufnahme des Salzes zurückzugehen. In der Zeitspanne zwischen der ersten Ablesung, 15 Minuten nach Versuchsbeginn, und der zweiten, d. h. während 15 Minuten, dringen in die permeabelsten Zellen etwa 0,0025 GM Salz ein, in den darauffolgenden 30 Minuten 0,0025—0,005 GM, in der ersten Stunde nach Versuchsbeginn mindestens etwa 0,0075—0,01 GM. Die Permeabilität für das Salz ist nicht in allen Blättern gleich groß; vor allem ist sie auffallend jahreszeitlich verschieden, im Sommer groß, im Winter oft fast gleich Null. Auf die Durchlässigkeit haben Laboratoriumsluft, Leuchtgas, selbst in ziemlich großen Mengen, die Verwundung bei Anfertigung der Schnitte, längerer Aufenthalt der Zellen in Wasser,

die Plasmolyse als solche und Lichtschwankungen so gut wie keinen oder überhaupt keinen Einfluß. Nur im Winter setzte gelegentlich die Verwundung oder längerer Aufenthalt der Zellen in Wasser die an und für sich schon geringe Permeabilität manchmal merkbar herab.

Jedoch sinkt die Permeabilität für das Salz bei längerem Aufenthalt der Zellen in den Salzlösungen langsam und zwar so stark, daß sie nach 12—20 Stunden nahezu Null geworden ist. Diese Abnahme wird durch das Salz hervorgerufen. Sie beginnt, wie meine Kurven zeigen, bereits in oder mindestens nach der ersten Stunde. Sie ist umso auffälliger, je größer die Permeabilität zu Beginn der Versuche war.

Überträgt man die Zellen aus hypotonischen Salpeterlösungen, worin sie längere Zeit verweilt hatten, in hypertonsche, so erreicht die Plasmolyse viel später ihr Maximum als bei den nicht vorbehandelten Zellen: im Gegensatz zu diesen, wo es nach 15 Minuten erreicht ist, erst nach $1\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{4}$ Stunden. Diese Tatsache läßt sich nicht einfach mit der Abnahme der Permeabilität für das Salz erklären. Genauere Untersuchung zeigte nämlich, daß bei normalen und bei den, obige Zeit in hypotonischen Salzlösungen vorbehandelten Zellen die danach durch hypertonsche Salpeterlösungen erzielte Plasmolyse in Wasser verschieden schnell zurückgeht, nämlich bei jenen sehr viel schneller als bei diesen. Solche Unterschiede, wenn auch von geringerer Größenordnung, ließen sich übrigens auch oft schon und zwar zwischen den Blättern ohne solche Vorbehandlung der Zellen nachweisen. Aus diesen Versuchen geht hervor, entweder daß durch den Einfluß der Salpeterlösungen auch die Zellmembranen für das Salz schwerer durchlässig werden oder daß die Permeabilität der Plasmamembranen auch für Wasser stark herabgesetzt wird und daß Unterschiede in dieser Hinsicht schon von vornherein zwischen den Blättern bestehen können.

Ganz entsprechende Permeabilitätsverhältnisse und den gleichen Einfluß auf die Durchlässigkeit habe ich feststellen können für die anderen geprüften Kaliumsalze (Chlorid, Chlorat, Sulfat, Bromid), ferner für die Salze des Natrium (Nitrat, Chlorid) und des Lithium (Nitrat, Chlorid). Die Kaliumsalze permeieren etwa ebenso schnell wie die Natriumsalze, viel schwächer die Lithiumsalze. Dagegen konnte ich mit der plasmolytischen Methode gar keine Permeabilität für die Salze des Magnesium (Sulfat, Nitrat, Chlorid), Kalzium (Chlorid, Nitrat), Barium (Nitrat, Chlorid) und in der Regel keine

des Strontium (Nitrat, Chlorid) nachweisen. Aber nicht allein vom Kation hängt die Durchlässigkeit ab: das Kaliumsulfat permeiert von Anfang an viel langsamer als die übrigen Kaliumsalze.

Orientierende Versuche mit anderen Objekten weisen darauf hin, daß der durch meine Methode einwandfrei erwiesene Einfluß der Salze auf die Permeabilität des Plasma weiter verbreitet ist.

Gründe für die Annahme, die Permeabilitätsabnahme sei auf eine Schädigung der Protoplasten durch die Salze zurückzuführen, liegen zurzeit nicht vor.

Meine Versuche geben Aufschluß darüber, woher es kommt, daß die Plasmolyse in Salzlösungen, die die Zelle aufnehmen muß, so oft nicht zurückgeht. Sie zeigen ferner, daß eine Speicherung von Salzen nicht bis zum Gleichgewichtszustande mit der Außenlösung fortzuschreiten braucht. Sie sind der Lipoidtheorie der Stoffaufnahme nicht günstig.

Bonn, Botanisches Institut der Universität, im Juli 1914.

Literatur.

1906. Bechhold, H. und Ziegler, J., Die Beeinflußbarkeit der Diffusion in Gallerten. Zeitschr. f. physikal. Chemie, Bd. 56, 1906, S. 105 ff.
1911. Fitting, H., Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Botanik, Bd. 3, 1911, S. 209 ff.
1888. Janse, J. M., Die Permeabilität des Protoplasma. Verslag. en Mededeel. Koninkl. Akad. Wetensch. Amsterdam Afd. Natuurkunde, III. Reihe, Bd. 4, 1888, S. 332 ff.
1894. Kohlrausch, F. und Hallwachs, W., Über die Dichtigkeit verdünnter wässriger Lösungen. Annal. d. Physik, Bd. 53, 1894, S. 14 ff.
1910. Küster, E., Über Veränderungen der Plasmaoberfläche bei Plasmolyse. Zeitschr. f. Botanik, Bd. 2, 1910, S. 689 ff.
1909. — —, Über die Verschmelzung nackter Protoplasten. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., Bd. 27, 1909, S. 589 ff.
- 1909a. Lepeschkin, W. W., Zur Kenntnis des Mechanismus der photonastischen Variationsbewegungen und der Einwirkung des Beleuchtungswechsels auf die Plasmamembran. Beihefte z. bot. Zentralbl., Bd. 24, I, 1909, S. 308 ff.
- 1909b. — —, Über die Permeabilitätsbestimmung der Plasmamembran für gelöste Stoffe. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., Bd. 27, 1909, S. 129 ff.
1911. Lundegårdh, H., Über die Permeabilität der Wurzelspitzen von *Vicia Faba* unter verschiedenen äußeren Bedingungen. Kungl. Svenska Vetenskabs-akad. Handlingar, Bd. 47, 1911, Nr. 3.
1909. Menrer, R., Über die regulatorische Aufnahme anorganischer Stoffe durch die Wurzeln von *Beta vulgaris* und *Daucus Carota*. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 46, 1909, S. 503 ff.
1913. Molisch, H., Mikrochemie der Pflanze. Jena 1913.
1903. Nathansohn, A., Über Regulationserscheinungen im Stoffaustausch. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 38, 1903, S. 242 ff.
1904. — —, Über die Regulation der Aufnahme anorganischer Salze durch die Knollen von *Dahlia*. Ebenda, 1904, Bd. 39, S. 607 ff.
- 1904b. — —, Weitere Mitteilungen über die Regulation der Stoffaufnahme. Ebenda, Bd. 40, 1904, S. 403 ff.
1912. Osterhout, W. J. V., The permeability of protoplasm to ions and the theory of antagonism. Science, Bd. 35, 1912, p. 112 ff.
1913. — —, Some quantitative researches on the permeability of plant cells. The plant world, Bd. 16, 1913, p. 129 ff.
1900. Perrin, J., Porois semi-perméables. Rapports congr. internat. de physique Paris. Bd. 1, 1900, p. 531 ff.
1877. Pfeffer, W., Osmotische Untersuchungen. Leipzig 1877.
1890. — —, Zur Kenntnis der Plasmahaut und der Vakuolen. Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss., Bd. 16, 1890, S. 187 ff.
1912. Renner, O., Über die Berechnung des osmotischen Druckes. Biol. Zentralbl., Bd. 32, 1912, S. 486 ff.
- 1909a. Ruhland, W., Zur Frage der Ionenpermeabilität. Zeitschr. f. Botanik, Bd. 1, 1909, S. 747 ff.
- 1909b. — —, Beiträge zur Kenntnis der Permeabilität der Plasmahaut. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 46, 1909, S. 1 ff.

- 1912a. Ruhland, W., Studien über die Aufnahme von Kolloiden durch die pflanzliche Plasmahaut. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, Bd. 51, 1912, S. 376 ff.
- 1912b. — —, Untersuchungen über den Kohlenhydratstoffwechsel von *Beta vulgaris* (Zuckerrübe). *Ebenda*, Bd. 50, 1912, S. 200 ff.
1898. Rysselberghe, F. van, Réaction osmotique des cellules végétales à la concentration du milieu. *Mém. couronn. Acad. royal. des sciences de Belgique*, 8^o, Bd. 58, 1898, S. 1 ff.
1867. Traube, M., Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose. *Archiv f. Anatomie, Physiologie u. wiss. Medizin*, Jahrg. 1867, S. 87 ff.
1910. Tröndle, A., Der Einfluß des Lichtes auf die Permeabilität der Plasmahaut. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, Bd. 48, 1910, S. 171 ff.
1884. Vries, Hugo de, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, Bd. 14, 1884, S. 427 ff.
1885. — —, Plasmolytische Studien über die Wand der Vakuolen. *Jahrb. f. wiss. Bot.*, Bd. 16, 1885, S. 465 ff.
1888. — —, Ueber den isotonischen Coefficient des Glycerins. *Bot. Zeit.*, Bd. 46, 1888, S. 229 ff.
1892. Walden, P., Über die Diffusionserscheinungen an Niederschlagsmembranen. *Zeitschr. f. physiol. Chemie*, Bd. 10, 1892, S. 699 ff.
1908. Zangger, H., Über Membranen und Membranfunktionen. *Ergebn. d. Physiologie*, Bd. 7, 1908, S. 99 ff.
-