

TARTU ÜLIKOOLI BOTAANIKA INSTITUUDI TÖÖD

UNIVERSITATIS DORPATENSIS INSTITUTI BOTANICI OPERA

№ 18

ÜBER DIE PHYSIOLOGISCHE WIRKUNG DER NEUTRALSALZE AUF DAS PFLANZENPLASMA

VON

HUGO KAHO (KAHHO)

DORPAT 1923

C. Mattiesen, Dorpat.

„Les colloïdes possèdent les deux propriétés fondamentales de la matière vivante: la transformation continuelle et l'irréversibilité de cette transformation.“

Jacques Duclaux.

Einleitende Bemerkungen.

Die vorliegenden Versuche erstreben eine Erweiterung unserer Kenntnisse über diejenigen physiologischen Vorgänge, die sich bei den Neutralsalzwirkungen auf das Pflanzenplasma abspielen.

Nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen stellt die lebendige Substanz der Organismen ein kompliziertes kolloides System dar („Mischkolloid“), das aus organischen und anorganischen Stoffen zusammengesetzt ist. Von diesen Stoffen geben die Eiweissstoffe und die Lipide [„primäre Biokolloide“ (Pauli)] den Ausschlag. Die Neutralsalze werden bei der Einwirkung auf das Plasma den kolloiden Zustand der Plasmakolloide ebenso beeinflussen, wie diese Salze bei den toten, nicht organisierten Kolloiden gewisse Zustandsänderungen hervorrufen.

Wenn die Plasmahaut aus den Eiweisskörpern aufgebaut sein sollte, wie das einige Forscher vermuten, oder wenn das Plasma mit lipoiden Stoffen umhüllt sein sollte, wie dieses andere voraussetzen, so müssten in diesem und jenem Falle die Salze, die in Wechselwirkung mit dem Plasma treten, ihrer Kolloidaktivität gemäss, in erster Linie die Biokolloide der Plasmaoberfläche angreifen, und dieses müsste sich auch entsprechender Weise in den physiologischen Funktionen der lebendigen Substanz abspielen.

Auf diese Weise stellt die Wirkung der Neutralsalze auf das Plasma vor allem ein kolloidchemisches Phänomen dar, und es müssen sich bei jeder physiologischen Wirkung der Salze dieselben Gesetzmässigkeiten ergeben, die bei der Einwirkung der

Salze auf die primären Biokolloide (Eiweiß, Lipide) in vitro stattfinden.

Aus dem Gesagten folgt, dass die physiologischen Wirkungen der Neutralsalze parallel der Kolloidaktivität dieser Salze vor sich gehen müssen. Diese Folgerung sind wir bestrebt in den folgenden Versuchen experimentell zu beweisen.

Die unten beschriebenen Versuche zerfallen in zwei Teile. Der erste Teil der Arbeit enthält die sog. „Koagulationsversuche des Plasmas“. Hier wird die koagulierende (tötliche) Wirkung der Neutralsalze auf das Pflanzenplasma vom Standpunkte seiner kolloiden Beschaffenheit aus untersucht. Dabei dient als Ausgangspunkt die Tatsache, dass eine jede tötliche Wirkung der Salze auch die Koagulation der lebendigen Substanz hervorruft¹⁾.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Permeabilitätsverhältnisse des Pflanzenplasmas für Neutralsalze untersucht, sowie auch die antagonistischen Wirkungen der Salze in Gemischen.

1) Czapek, Biochemie der Pflanzen. 1913. I. S. 37. u. 38.

W. W. Lepeschkin, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 30, 1912. S. 553.

Gaidukov, Ultramikroskopische Untersuchungen. Abhandl. d. St. Petersburger Ges. d. Naturforsch. Bd. 43, Abt. Bot. 1912. S. 110 (russisch).

Erster Teil.

Methodisches.

Die Methodik der Versuche mit Rotkrautschnitten.

Für die Versuche dienten uns Flächenschnitte von Rotkohl- und *Zebrina pendula*-Blättern.

Die Rotkrautschnitte wurden in folgender Weise hergestellt. Die Blätter aus dem oberen Teil des Kohlkopfes wurden in eine feuchte Kammer auf 24 Stunden untergebracht zwecks Herstellung einer guten Turgeszenz. Hierauf wurden aus den mittleren Teilen eines jeden Blattes in ca. 1 cm. Entfernung von der Mittelrippe, zwischen zwei grösseren Seitenrippen, ungef. 3—5 cm. lange Plättchen ausgeschnitten. Von der morphologischen Unterseite des Blattes wurden die Plättchen vorsichtig bei wiederholter Befuchtung mit Wasser mit dem Rasiermesser abgeschabt, wobei das Mesophyll bis zu den roten Hypodermalzellen der Oberseite entfernt wurde. Hierauf wurden die Plättchen in kleine viereckige Schnitte von ungef. 1 mm.² Flächengrösse zerlegt. Nach dem Auswaschen wurden die Schnitte unter dem Mikroskop kontrolliert und die besten davon ausgewählt. Zur nachherigen Beobachtung dienten nur die Epidermiszellen der Blattoberseite.

Die auf solche Weise erhaltenen Schnitte waren wohl ziemlich dick, doch konnte man verhältnismässig gut die nötigen Beobachtungen ausführen und diese Herstellungsmethode garantierte die Intaktheit der Epidermiszellen.

Solche Schnitte haben den Vorzug, dass bei ihrer unbedeutenden Grösse: 1) von einer kleinen Fläche des Blattes eine genügende Menge des gleichen und vergleichbaren Materials gewonnen werden kann, 2) das Mikroskopieren dadurch erleichtert wird, dass bei den entsprechenden Vergrößerungen die Schnitte ganz im Gesichtsfelde liegen.

Die ausgewählten Schnitte kamen in die zu untersuchenden Lösungen. — Die angewandten Lösungen waren äquivalent-normal. Das Kristallwasser in den Salzen wurde stets berücksichtigt. Die zu den Koagulationsversuchen benutzten Salze stammten teilweise von Kahlbaum, teilweise von anderen ausländischen Firmen. Die bei den Permeabilitätsversuchen angewandten Salze stammten von Merck („zur Analyse“). Für den ersten Teil der Versuche wurde gewöhnliches destilliertes Wasser angewandt, für die Permeabilitätsversuche doppelt destilliertes.

Die erste Serie der Versuche wurde in diffusum Tageslicht angestellt, die übrigen Serien im Dunkeln. Die Temperatur während der Versuchszeit schwankte zwischen 15—20° C.

In jede zu untersuchende Lösung kamen bis 150 Schnitte, von denen in gleichen Zeitabschnitten (im ganzen 10—15) je 10 Schnitte herausgenommen, auf 15 Min. in destilliertes Wasser gebracht und nachher in Rohrzuckerlösung auf dem Objektglas plasmolysiert wurden.

Je nach der Salzlösung und der Zeit des Aufenthalts der Schnitte in denselben, war ein Teil der Zellen in den Schnitten, bisweilen auch ganze Schnitte, mehr oder weniger geschädigt; die Zellen waren entweder plasmolyseunfähig oder meistens leer.

Um die Wirkung einer jeden Lösung genauer zu bestimmen, wurden alle untersuchten Schnitte nach der Grösse ihrer plasmolysefähigen Fläche in Rohrzuckerlösung in folgende fünf Kategorien geteilt.

I	Kategorie	ganze Fläche der Schnitte plasmolysiert.
II	„	weniger als $\frac{4}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ der Fläche plasmolysiert.
III	„	„ „ „ „ $\frac{3}{4}$ „ $\frac{1}{2}$ „ „
IV	„	„ „ „ „ $\frac{1}{2}$ „ $\frac{1}{4}$ „ „
V	„	„ „ „ „ $\frac{1}{4}$ „ 0 „ „

In den Tabellen (s. unten) sind diese fünf Kategorien durch $\frac{4}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ und 0 bezeichnet und somit sind, ausser der I Kategorie, für die übrigen die unteren Grenzen der plasmolysefähigen Fläche angegeben. Die plasmolysefähige Fläche der Schnitte, nach der Einwirkung der Salze, ist in den Tabellen zwecks Übersichtlichkeit auch in Prozenten angegeben. Die angeführten Zahlen haben nur einen qualitativen Wert. Die Gesamtfläche von je 10 Schnitten, die gleichzeitig aus der Lösung herausgenommen wurden, ist gleich 100%. Wenn z. B. nach

dem Aufenthalt im Laufe von 20 Min. in der NH_4 -Lösung von 10 Schnitten bei 6 Schnitten $\frac{4}{4}$ der Fläche plasmolysefähig war, bei 3 Schn. $< \frac{4}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ und bei 1 Schn. $< \frac{3}{4}$ bis $\frac{1}{2}$, so ist der Prozentsatz der plasmolysefähigen resp. lebenden Zellen $(6 \cdot \frac{4}{4} + 3 \cdot \frac{3}{4} + \frac{1}{2}) \cdot 10 = 87,5\%$. Beim Ausrechnen der Prozente kam die fünfte Kategorie nicht in Betracht.

Als Beispiel sind unten zwei Tabellen angeführt.

Tabelle 1. $MgSO_4$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
3 „	10	—	—	—	—	100,0
4 „	8	2	—	—	—	95,0
5 „	5	5	—	—	—	87,5
6 „	8	2	—	—	—	95,0
7 „	8	2	—	—	—	95,0
8 „	9	1	—	—	—	97,5
9 „	3	6	1	—	—	80,0
10 „	4	6	—	—	—	85,0

Tabelle 2. NaF 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
30 Min.	9	1	—	—	—	97,5
1 Stde	1	5	2	2	—	62,5
1 St. 30 M.	—	6	3	1	—	62,5
2 Stdn	—	6	4	—	—	40,0
3 „	—	1	1*	7	1	30,0
4 „	—	—	1	1	2;6*	7,5
5 „	—	—	1	4	5*	15,0
6 „	—	—	—	—	3;7*	0
7 „	—	—	—	—	10*	0

* — leere Zellen.

Aus dem oben Angeführten ist es ersichtlich, dass uns als Kriterium für den Schädigungsgrad der Schnitte in den Lösungen die Menge der plasmolysefähigen Zellen dient. Je mehr von den letzteren sich in den Schnitten befindet, desto schwächer ist die Wirkung der Lösung. Es fragt sich nun, inwiefern die beschriebene Methode dafür Gewähr leistet, dass die erhaltenen Resultate auf die unmittelbare physiologische Wirkung der Salze zu beziehen sind und die Ergebnisse nicht durch Nebenfaktoren geändert werden können, insbesondere durch das Plasmolysieren und Deplasmolysieren der Zellen. Bei den Versuchen mit den Rotkrautzellen wurden ziemlich starke Lösungen angewandt (0,35 n; 0,5 n und stärkere), da schwächere Lösungen zu langsam wirkten. So zum Beisp. wiesen die Schnitte nach 12-stündigem Verweilen in Lösungen von 0,35 norm. (die niedrigste Konzentration bei den Versuchen mit den Rotkrautschnitten) folgenden Prozentsatz der plasmolysefähigen Fläche auf: in $NaBr$ —95%; in $NaNO_3$ —92,5%; in KCl —100%; nach 24 Stunden in den Lösungen

von Na_2SO_4 , *K*-tartrat, $MgCl_2$, $CaCl_2$ — alle 100 %; in $SrCl_2$ und in $BaCl_2$ — je 95 %; d. h. die Wirkungsunterschiede bei allen Lösungen sind unbedeutend und liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Infolgedessen wurden bei den Versuchen mit den Rotkrazzellen solche Konzentrationen der Lösungen gewählt, die bei den Zellen gleichzeitig auch eine mehr oder minder grosse Plasmolyse hervorriefen. Nach der Übertragung der Schnitte aus den Lösungen in destilliertes Wasser ging eine ziemlich vollständige Deplasmolyse vor sich und nachher wurden sie zwecks der Bestimmung der koagulierten Zellen in Rohrzuckerlösung unter dem Mikroskop plasmolysiert.

Andererseits ist es bekannt, dass eine schnell vor sich gegangene Plasmolyse und insbesondere die darauf folgende Deplasmolyse in einigen Fällen als Ursache des Protoplasmatodes anzusehen sind. Dieser Umstand hängt, nach der Meinung von Lepeschkin¹⁾, von der schnellen Deformation des Protoplasten ab, wobei eine Art der mechanischen Koagulation der Plasmamembran zustande kommt.

Es hat sich aber herausgestellt, dass die Zellen verschiedener Pflanzen in bezug auf die Plasmolyse eine grosse Individualität aufweisen, die in weiten Grenzen schwankt. So koaguliert nach den Versuchen von Lepeschkin das Plasma von *Spirogyra* bei der Plasmolyse schon in relativ schwachen Kochsalz- und Salpeterlösungen, die Epidermiszellen von *Tradescantia discolor* dagegen ertragen die Plasmolyse in stärkeren Lösungen derselben Stoffe gut.

Wie verhalten sich die Rotkrazzellen zum oben beschriebenen Deformieren der Protoplasten bei der Plasmolyse resp. Deplasmolyse?

Nach unseren einschlägigen Erfahrungen gehört diese Pflanze zu den wenigen, die einen sehr grossen Widerstand gegen die genannten schädlichen Einflüsse besitzt. Als Beweis des Gesagten dient uns folgender Versuch. Es wurden 60 Schnitte in 1 Mol Rohrzuckerlösung gebracht, in den in Tab. 3 angegebenen Zeiten herausgenommen und im Laufe von einer halben Stunde in Wasser deplasmolysiert, wobei eine vollständige Deplasmolyse zustande kommt; nachdem wurden sie noch einmal in derselben Zuckerlösung plasmolysiert. Bei solcher Behandlung

1) W. W. Lepeschkin. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 28, S. 385.

wiesen die Schnitte keine toten Zellen auf, sondern zeigten alle eine gute Plasmolyse, ungeachtet dessen, dass einige Schnitte bis 23 Stunden in den Lösungen gelegen hatten.

Wir erhalten aber ein ganz anderes Bild, wenn wir statt Saccharose halbnormale Lösungen einiger Alkalisalze nehmen, z. B. KBr , KNO_3 , KCl und K_2SO_4 .

In den Lösungen von Bromid und Nitrat haben je 110 Schnitte nach dem Verweilen in den Lösungen im Laufe von 1 St.

50 Min. durchschnittlich,

in KBr —17%, in KNO_3 —35% der plasmolysefähigen Fläche, wobei die Schnitte nach je 10 Min. in 11 Zeitabschnitten herausgenommen wurden. Dagegen war die plasmolysefähige Fläche im Laufe von 4 Stunden in Lösungen von Chlorid und Sulfat in KCl —47%, in K_2SO_4 —99% (Mittelwerte aus je 40 Schnitten). Somit sind in der Lösung von KBr in zwei Stunden etwa $\frac{5}{6}$, in der von KNO_3 $\frac{2}{3}$ aller Zellen koaguliert, während in der K_2SO_4 -Lösung in zweimal längerer Zeit beinahe alle Zellen intakt waren.

Solch eine Verschiedenheit in der Wirkung der Salze kann nicht durch das Plasmolysieren und Deplasmolysieren verursacht sein, aus dem Grunde weil: 1) die Lösungen ungefähr isotonisch sind und die Plasmolyse überall beinahe dieselbe Grösse erreicht; 2) in der Lösung von Rohrzucker, bei gleichen übrigen Bedingungen, bei einer viel grösseren Plasmolyse und im Laufe längerer Zeit keine Schädigungen in den Schnitten zu beobachten sind.

Deswegen ist hier die Wirkung der Salze als eine spezifische, die einem jeden Salz in verschiedenem Grade eigen ist.

Diese Meinung wird dadurch gestützt, dass die Ergebnisse mit den Rotkrautschnitten mit solchen mit den Schnitten von *Zebrina pendula* vollständig übereinstimmen, wobei schwächere Lösungen angewandt wurden und das Deplasmolysieren ausfiel. Ausserdem haben wir die gleichen Resultate auch bei der An-

Tabelle 3. Saccharose 1,0 mol.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil der Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Std.	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
6 "	10	—	—	—	—	100,0
12 "	10	—	—	—	—	100,0
17 "	10	—	—	—	—	100,0
23 "	10	—	—	—	—	100,0

Die Zahl der Schnitte.

wendung hoher Temperatur in Kombination mit den Salzwirkungen auf die Plasmakoagulation erhalten¹⁾.

Aus dem Obengesagten folgt nicht, dass wir den schädlichen Einfluss der Plasmolyse und Deplasmolyse im Sinne der mechanischen Einwirkung auf das Plasma nicht anerkennen, doch wegen des Mangels an einer besseren Methode für das schnelle Bestimmen der koagulierten Zellen konnten wir nicht auf das Plasmolysieren verzichten, da es wohl das einzige sichere Unterscheidungsmerkmal der toten Zellen von lebenden darstellt²⁾. Dabei müssen wir in Betracht ziehen die grosse Widerstandsfähigkeit der Rotkrautzellen und den Umstand, dass durch das Plasmolysieren die physiologischen Wirkungen der Salze nicht geändert werden. Es sei hier hinzugefügt, dass diese Methode ganz speziell für den Rotkohl angepasst ist und kaum ohne Veränderung für eine andere Pflanze anzuwenden wäre.

Im allgemeinen bestand der mechanische Einfluss des Deplasmolysierens bei unseren Versuchen darin, dass dadurch die schon mehr oder minder fortgeschrittene Koagulation einiger Zellen in den Schnitten zu Ende geführt wurde. Bei der ersten Besichtigung unter dem Mikroskop der in den Lösungen behandelten Schnitte sieht man in der Regel unter den plasmolysierten Zellen auch solche, bei denen die Plasmolyse teilweise oder gänzlich zurückgegangen ist. Nach der Farbe sind solche Zellen etwas blasser, bisweilen haben sie aber auch eine normale Färbung. Das sind geschädigte Zellen, deren Plasmamembran bereits koaguliert ist und die demgemäss auch ihre selektiven Eigenschaften in bezug auf die molekulardisperse Stoffe verloren hat und das kolloidgelöste Pigment des Zellsaftes noch zurückhält. Mit der Übertragung solcher Schnitte ins Wasser bekommt die Plasmamembran Risse und lässt das Pigment heraustreten und die Zellen entfärben sich. Die beschriebene Förderung der Koagulation durch die Deplasmolyse verändert nicht wesentlich die Beziehung zwischen den Aktivitäten einzelner Salze, denn einerseits ist der Einfluss des Deplasmolysierens in allen Versuchen der gleiche, andererseits wird dadurch das Erzielen siche-

1) H. K a h o, Acta et Commentationes Univ. Dorpatensis A II, 1921 (estnisch).

2) Vgl. W i d a r B r e n n e r, Über die Wirkung von Neutralsalzen auf die Säureresistenz, Permeabilität und Lebensdauer der Protoplasten. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 38. 1920 S. 277.

rer Resultate gefördert und das Bestimmen der koagulierten Zellen erleichtert.

Weiter entsteht die Frage: wie verhalten sich die Schnitte zum endgültigen Plasmolysieren in Zuckerlösung, nachdem sie aus den Salzlösungen ins Wasser gebracht worden waren und dort gelegen hatten; werden nicht durch diese Plasmolyse weitere Schädigungen in den Schnitten hervorgerufen? Die Schnitte wurden, in der Regel, aus dem Wasser auf ein Objektglas in 25 % Zuckerlösung übertragen und sogleich die Beobachtungen unter dem Mikroskop über die beginnende Plasmolyse angestellt, um damit alle Veränderungen, die in den Zellen bis zur Herstellung des osmotischen Gleichgewichts stattgefunden haben, beobachten zu können. Dabei erwies es sich, dass alle Zellen, die nach der Deplasmolyse in Wasser ein normales Aussehen beibehalten hatten, in der Regel ziemlich schnell plasmolysierten und keine weiteren Veränderungen aufwiesen¹⁾. Die Bestimmung der Grösse der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte bezieht sich auf die ersten 10—20 Min. der Plasmolyse in Zuckerlösung.

Die Zeiten des Verweilens der Schnitte in den Lösungen wurden für alle Fälle so gewählt, dass 1) im Laufe der Zeit, wo die Schnitte in den Lösungen blieben, die Wirkung der Salze möglichst gut zur Geltung kam und dass 2) die Ergebnisse der Versuche in verschiedenen Lösungen für die gleichen Zeitabschnitte miteinander stets verglichen werden konnten.

Bei der Vergleichung der Wirkungen verschiedener Salzlösungen müssen wir bei den übrigen gleichen Bedingungen folgende vier Grössen in Betracht ziehen: 1) die physiologische Wirkung der betreffenden Salzlösung, die durch die plasmolysefähige Fläche der Schnitte ausgedrückt werden kann, 2) die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in der Lösung, 3) die Konzentration der Lösung des zu untersuchenden Stoffes und 4) die Individualität der Zellen. Es leuchtet ein, dass es unmöglich ist, die Wechselbeziehungen dieser vier Grössen in einer Formel auszudrücken, insbesondere deswegen, weil es schwierig ist, für die vierte Grösse, die Individualität der Zellen, eine Messungsmethode zu finden. Die obengenannte Individualität der Zellen bestand

1) Alle nicht plasmolysefähigen Zellen waren ausnahmslos leer und das Plasma bereits koaguliert und entfärbt.

darin, dass Schnitte, die von verschiedenen Stellen des Blattes gewonnen worden waren (Zellen verschiedenen Alters), sich ziemlich verschieden zu ein und derselben Salzlösung verhielten. Darum bemühten wir uns, zuerst diese Grösse auszuschliessen. Dieses erreichten wir bis zum gewissen Grade mit folgenden Massnahmen: 1) die zu den Versuchen angewandten Schnitte wurden entweder von den einander naheliegenden Blattpartien oder von symmetrisch gelegenen Teilen desselben Blattes hergestellt; 2) es wurde gleichzeitig eine genügende Menge der Schnitte hergestellt (3000—4000), die zur Anstellung einer ganzen Serie von Versuchen mit den Lösungen von derselben Konzentration nötig waren, und vor der Einteilung der Schnitte in Portionen wurden sie sorgfältig durchgemischt; 3) es wurden die Ergebnisse der Salzwirkungen nur in den Grenzen derselben Serie verglichen und dabei auf denselben Versuchsfehler Rücksicht genommen.

Somit wird für die Untersuchung feinerer Wirkungsunterschiede der Lösungen noch eine Grösse ausgeschlossen — die Konzentration der Lösungen, d. h. es werden die Wirkungen von Lösungen nur ein u. derselben Konzentration verglichen. Dieses ist dadurch bedingt, dass es unmöglich ist, von einem Blatt die nötige Menge gleicher Schnitte für mehrere Versuchsserien zu gewinnen, ausserdem ist es schwierig, während der Versuchszeit der ersten Serien die übrigen vorbereiteten Schnitte intakt zu erhalten.

Somit haben wir jetzt nur zwei Grössen: das Prozent der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte und die Zeit des Verweilens der letzteren in der Lösung.

Den funktionalen Zusammenhang zwischen diesen Grössen könnte man leicht graphisch in Gestalt von Kurven darstellen; das Vergleichen der letzteren wäre auch nicht schwierig in dem Falle, wenn sie einen ungefähr gleichartigen Verlauf nehmen würden. Leider ist das nicht immer der Fall, da es häufig vorkommt, dass die Kurven sich gegenseitig mehrmals schneiden und das Vergleichen derselben schwierig und bisweilen sogar unmöglich wird. In solchen Fällen war es erforderlich, für den Vergleich der Salzwirkungen ein anderes, zuverlässigeres Kriterium zu finden. Ein solches Kriterium haben wir in den Mittelprozenten der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte, die für die gleichen Zeitabschnitte berechnet werden. Diese Vergleichungsmethode hat den Vorzug, dass beim Experimentieren

mit verschiedenen Lösungen (d. h. wenn man die Wirkungen derselben auf mikroskopischem Wege schätzt) die erhaltenen Mittelprozente sich leicht miteinander parallel vergleichen lassen.

Somit haben wir für den Vergleich der koagulierenden Wirkung der Salze auf das Plasma zwei Kriterien: die Mittelprozente der plasmolysefähigen Fläche der Schnitte und die Kurven, die den Zusammenhang zwischen diesen Prozenten und der Wirkungsdauer der Salze ausdrücken. In den unten beschriebenen Vergleichen werden wir hauptsächlich das erste Kriterium benutzen und nach Möglichkeit die Ergebnisse auch durch die Kurven illustrieren. Als Beispiel seien hier zwei Tabellen angeführt.

Tabelle 4. NH_4CNS 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolyierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolyierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	4	6	—	—	—	85,0
2 Stdn	1	7	2	—	—	72,5
3 "	—	8	2	—	—	70,0
4 "	—	7	3	—	—	67,5
5 "	—	5	5	—	—	62,5
6 "	—	5	5	—	—	62,5
7 "	—	2	4	2	2	40,0
8 "	—	4	3	3	—	52,5
9 "	—	3	5	2	—	52,5
10 "	—	2	3	3	2	37,5
11 "	—	—	2	6	2	25,0
12 "	—	—	3	4	3	25,0

Tabelle 5. NH_4Br 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolyierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolyierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	8	2	—	—	—	95,0
3 "	8	2	—	—	—	95,0
4 "	7	3	—	—	—	92,5
5 "	6	4	—	—	—	90,0
6 "	1	6	3	—	—	70,0
7 "	5	5	—	—	—	87,5
8 "	6	2	2	—	—	85,0
9 "	4	5	1	—	—	82,5
10 "	—	8	2	—	—	70,0
12 "	4	4	2	—	—	80,0
14 "	5	4	1	—	—	85,0

Um die Resultate in den angeführten Tabellen (№ 4 und № 5) miteinander zu vergleichen, sind die Mittelprozente aus je 11 Daten der letzten Spalten der Tabellen genommen (für 1—10 Stunden und für 12 Stunden.) Wir erhalten somit für NH_4CNS —57 %, für NH_4Br —86,1 %.

Es fragt sich nun, wie gross muss die minimale Differenz zwischen den zu vergleichenden Mittelprozenten sein, wenn wir annehmen können, dass zwei Lösungen eine verschieden starke Wirkung haben. Diese Frage war am leichtesten auf praktischem Wege zu lösen und zwar bei einer grösseren Zahl der Versuche mit ziemlich gleich wirkenden Lösungen. Nach Been-

digung der Versuche mit solchen Lösungen konnten wir auf Grund der noch eben angestellten Beobachtungen deutlich den Wirkungsunterschied zweier Lösungen wahrnehmen, wenn die für gleiche Zeitabschnitte (8—10 Zeitabschnitte) berechneten Mittelprozente nicht mehr als um 10 % differierten. Diese Grösse werden wir im weiteren Vergleich in Betracht ziehen.

Die Methodik der Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula*.

Für die Versuche dienten uns zehn Pflanzen, die auf dem vegetativen Wege aus einer Pflanze gezogen wurden. Die Schnitte wurden aus den mittleren Partien der stark gefärbten Blattunterseite hergestellt. Es wurden von den Blättern die Spitze, die Basis und schmale Streifen der Seiten abgeschnitten und das nachgebliebene viereckige Stück der Blattspreite längs der Mittelrippe in zwei Teile zerlegt. Die auf solchem Wege erhaltenen Streifen wurden vorsichtig und leicht von der Oberseite mit dem Rasiermesser abgeschabt, so dass das Wassergewebe entfernt wurde, das hier ungefähr die Hälfte der Blattdicke betrug und das sich leicht von dem unter ihm liegenden chlorophyllführenden Gewebe abtrennen liess. Die Streifen wurden mit destilliertem Wasser abgewaschen und in viereckige Stücke von ungefähr 2—4 mm² Flächengrösse zerlegt. Nach wiederholtem Waschen wurden die Schnitte unter dem Mikroskop kontrolliert und die beschädigten und sonst untauglichen entfernt. Für die Beobachtungen wurden die Epidermiszellen der Blattunterseite bestimmt.

Wegen der grösseren Empfindlichkeit des Objektes war die Konzentration der angewandten Lösungen bedeutend niedriger, als bei den Versuchen mit Rotkrautschnitten. Für die meisten Fälle wurde die Konzentration empirisch auf 0,2 norm. festgelegt.

In jede zu untersuchende Lösung kamen 100—150 Schnitte, die ebenso wie beim Rotkohl in gewissen Zeitabschnitten zu je 10 herausgenommen wurden. Darauf wurden die Schnitte in eine hypertoniische Rohrzuckerlösung gebracht (0,5 Mol), die die bereits vorhandene schwache Plasmolyse vergrösserte und das Bestimmen der koagulierten Zellen ermöglichte.

Zwecks grösserer Genauigkeit beim Vergleichen der Salzwirkungen wurde die Zählmethode der Zellen angewandt, was

auch bei der beträchtlichen Grösse der letzteren möglich war. Da das Zählen in der Regel schnell ausgeführt werden musste, so wurde die Gesamtmenge der Zellen in den Schnitten mit einer Genauigkeit bis 10⁰/₁₀ bestimmt. Die Menge der koagulierten Zellen konnte gewöhnlich ganz genau bestimmt werden. Infolge des Gesagten haben die Versuchsergebnisse mit *Zebrina pendula* ebenso wie die mit den Rotkrautschnitten nur einen qualitativen Wert.

Versuche.

I Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 6. Na_2SO_4 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	5	4	1	—	—	85,0
3 „	6	4	—	—	—	90,0
4 „	6	3	1	—	—	87,5
5 „	—	6	4	—	—	65,0
6 „	4	3	1	2	—	72,5
7 „	—	5	3	2	—	57,5
8 „	—	5	2	3	—	55,0
9 „	—	7	3	—	—	67,5
10 „	—	6	3	1	—	62,5

Tabelle 7. $(NH_4)_2SO_4$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	7	2	1	—	—	90,0
3 „	4	5	1	—	—	82,5
4 „	—	9	1	—	—	72,5
5 „	—	7	3	—	—	67,5
6 „	—	7	3	—	—	67,5
7 „	—	6	4	—	—	65,0
8 „	—	7	3	—	—	67,5
9 „	—	8	2	—	—	70,0
10 „	—	7	3	—	—	67,5

Tabelle 8. K_2SO_4 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
3 „	9	1	—	—	—	97,5
4 „	9	1	—	—	—	97,5
5 „	7	3	—	—	—	92,5
6 „	7	2	1	—	—	90,0
7 „	6	3	1	—	—	87,5
8 „	—	8	1	1	—	67,5
9 „	1	7	2	—	—	72,5
10 „	4	3	3	—	—	77,5

Tabelle 9. Na-Zitrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 „	9	1	—	—	—	97,5
4 „	2	8	—	—	—	80,0
5 „	3	7	—	—	—	82,5
6 „	—	8	2	—	—	70,0
7 „	2	6	2	—	—	75,0
8 „	—	5	4	1	—	60,0
9 „	—	6	2	2	—	60,0
10 „	—	5	3	2	—	57,5

Tabelle 10. NH_4 -Zitrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	4	4	2	—	—	80,0
3 "	4	3	2	1	—	75,0
4 "	2	—	3	2	3*	40,0
5 "	—	—	2	—	3*	10,0
6 "	—	1	—	2	7	10,0
7 "	—	—	2	5	3	22,5
8 "	—	—	—	1	9	2,5
9 "	—	—	—	—	10*	0
10 "	—	—	—	—	10*	0

Tabelle 11. K -Zitrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	7	3	—	—	—	92,5
3 "	8	2	—	—	—	95,0
4 "	3	6	1	—	—	80,0
5 "	5	5	—	—	—	87,5
6 "	—	5	4	1	—	60,0
7 "	2	6	2	—	—	75,0
8 "	2	4	2	2	—	65,0
9 "	2	3	4	1	—	65,0
10 "	—	4	2	1	2,1*	45,0

Tabelle 12. Na -Tartrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 "	7	3	—	—	—	92,5
4 "	3	5	1	1	—	75,0
5 "	2	6	2	—	—	75,0
6 "	—	7	2	1	—	65,0
7 "	1	8	1	—	—	75,0
9 "	—	7	3	—	—	67,0
10 "	—	6	2	2	—	60,0

Tabelle 13. NH_4 -Tartrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	5	2	3	—	—	80,0
3 "	1	3	4	2	—	57,5
4 "	1	6	2	1	—	62,5
5 "	1	4	4	2	—	65,0
6 "	—	4	4	2	—	55,0
7 "	—	4	3	3	—	52,5
8 "	1	4	2	3	—	57,5
9 "	—	3	2	4	1*	42,5
10 "	—	1	4	2	3*	32,5

Tabelle 14. K -Tartrat 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	3	4	2	1	—	72,5
3 "	3	4	2	1	—	72,5
4 "	1	4	1	4	—	55,0
5 "	—	6	4	—	—	65,0
6 "	—	3	1	2	1,3*	32,5
7 "	—	3	4	3	—	50,0
8 "	—	2	3	3	2*	37,5
9 "	—	3	3	3	1*	45,0
10 "	—	4	5	—	1*	55,0

Tabelle 15. NaF 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts d. Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 "	9	1	—	—	—	97,5
4 "	4	5	—	1	—	80,0
5 "	2	5	2	1	—	75,0
6 "	—	7	3	—	—	67,5
8 "	1	6	1	2	—	65,0
9 "	—	4	4	2	—	55,0
10 "	—	—	3	5	2*	27,5

Tabelle 16. *NaCl* 0,5n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	1	—	5	4	—	45,0
1 Stde	—	2	—	2	3;3*	20,0
1St. 20M.	—	4	1	2	3;3*	40,0
1St. 40M.	—	6	2	—	2	55,0
2 Stdn	—	3	1	2	4	32,5
2St. 20M.	—	4	1	3	2	42,5
2St. 40M.	—	1	1	4	4	22,5
3 Stdn	—	2	2	—	3;3*	25,0
3St. 20M.	—	—	2	3	3;2	17,5
3St. 40M	—	4	3	2	1	50,0

Tabelle 17. *NH₄Cl* 0,5n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	3	4	1	2	45,0
1 Stde	—	2	2	4	1;1*	35,0
1St. 20M.	—	3	2	2	3*	37,5
1St. 40M.	2	7	1	—	—	77,5
2Stdn	—	5	3	2	—	57,5
2St. 20M.	—	5	1	2	1;1*	47,5
2St. 40M.	—	3	4	3	—	50,0
3Stdn	—	2	3	3	2	37,5
3St. 20M.	—	1	3	1	1;4*	25,0
3St. 40M.	—	1	4	2	3*	32,5

Tabelle 18. *KCl* 0,5n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	7	3	—	—	—	92,5
1 Stde	6	4	—	—	—	90,0
1St. 20M.	5	4	1	—	—	85,0
1 „ 40 „	3	3	—	1	3	55,0
2 Stdn	—	3	2	2	3	37,5
2St. 20M.	—	2	—	3	4;1*	22,5
2 „ 40 „	—	—	3	4	3	25,0
3 Stdn	—	—	2	2	4;2*	15,0
3St. 20M.	—	—	4	4	2	30,0
3 „ 40 „	—	4	2	2	2	45,0

Tabelle 19. *LiCl* 0,5n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	2	3	3	2	37,5
1 Stde	—	—	2	5	3	22,5
1St. 20M.	—	2	1	4	3*	30,0
1St. 40M.	—	4	2	2	2	45,0
2 Stdn	—	1	1	4	4	22,5
2St. 20M.	—	3	1	2	4	37,5
2St. 40M.	—	2	2	2	4	30,0
3 Stdn	—	1	1	1	3;4*	15,0
3St. 20M.	—	—	1	1	3*	7,5
3St. 40M.	—	3	1	1	2;3*	30,0

Tabelle 20. $NaC_2H_3O_2$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
10 Min.	2	5	2	1	—	70,0
20 "	—	1	5	3	1	40,0
30 "	1	3	3	2	1	52,5
40 "	—	6	3	1	—	62,5
50 "	—	2	3	4	1	40,0
1 Stde	—	4	—	1	4,1*	32,5
1St. 10M.	—	4	2	3	1	52,5
1St. 20M.	—	1	2	1	4,2	20,0
1St. 40M.	—	3	2	1	4	35,0
2 Stdn	—	2	3	—	2,3*	30,0
3 Stdn	—	—	2	3	5	17,5
3St. 40M.	—	—	1	2	4,3*	10,0

Tabelle 21. $NH_4C_2H_3O_2$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
10 Min.	—	10	—	—	—	75,0
20 "	—	4	3	3	—	52,5
30 "	1	9	—	—	—	77,5
40 "	—	3	3	3	1	55,0
50 "	—	2	2	4	2*	35,0
1 Stde	—	1	5	3	1	40,0
1St. 10M.	—	—	1	5	4	17,5
1St. 20M.	—	3	2	3	2	40,0
1St. 40M.	—	2	4	—	2	55,0
2 Stdn	—	2	1	4	3	30,0
2St. 20M.	—	—	3	4	3*	25,0
3St. 40M.	—	—	1	2	4,3*	10,0

Tabelle 22. $KC_2H_3O_2$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
10 Min.	—	3	1	3	2,1*	35,0
20 "	—	2	3	3	2	37,5
30 "	—	4	3	3	—	52,5
40 "	—	5	2	2	1	52,5
50 "	—	3	2	3	1,1*	40,0
1 Stde	—	2	3	1	2,2*	32,5
1St. 10M.	—	7	1	1	1	60,0
1St. 20M.	—	3	3	3	1	55,0
1St. 40M.	—	—	4	4	2	30,0
2 Stdn	—	—	—	4	4,2*	10,0
2St. 20M.	—	—	—	1	3,6*	2,5
3St. 40M.	—	—	—	—	10*	0

Tabelle 23. $NaNO_3$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
10 Min.	1	4	4	1	—	62,5
20 "	1	6	3	—	—	70,0
30 "	—	6	4	—	—	65,0
40 "	—	6	3	1	—	62,5
50 "	—	3	4	2	1*	47,5
60 "	—	1	1	4	4*	22,5
1St. 10M.	—	1	4	5	—	40,0
1St. 20M.	—	2	4	3	1*	42,5
1St. 30M.	—	2	2	2	1,3*	30,0
1St. 40M.	—	1	4	3	1,1	32,5
1St. 50M.	—	2	3	3	2	37,5
2 Stdn	—	—	4	1	2,3*	22,5

Tabelle 24. NH_4NO_3 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
10 Min.	—	1	2	4	2;1*	27,5
20 "	—	2	1	1	3;3*	27,5
30 "	—	2	3	1	4	37,5
40 "	—	1	3	4	2	32,5
50 "	—	—	2	4	4	20,0
1 Stde	—	—	3	3	2;2*	22,5
1 St. 10 M.	—	—	4	2	2;2*	25,0
1 " 20 "	—	—	3	2	4;1*	20,0
1 " 30 "	—	—	2	2	1;5*	15,0
1 " 40 "	—	—	2	2	6*	15,0
1 " 50 "	—	—	—	1	9*	2,5

Tabelle 25. KNO_3 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	1	5	3	1	—	65,0
20 "	3	7	—	—	—	82,5
30 "	—	2	3	2	1;2*	52,0
40 "	—	2	3	4	1	40,0
50 "	—	4	1	2	2;1*	37,5
1 Stde	—	3	3	—	2;2*	37,5
1 St. 10 M.	—	—	2	3	1;1*	17,5
1 " 20 "	—	—	2	1	1;5*	17,5
1 " 30 "	—	—	2	4	1;3*	20,0
1 " 40 "	—	—	4	3	3	27,5
1 " 50 "	—	—	4	3	3	27,5

Tabelle 26. $NaBr$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	7	3	—	—	—	92,5
20 "	3	2	4	—	1	65,0
30 "	—	3	5	1	1	50,0
40 "	—	—	3	4	2;1*	25,0
50 "	—	4	2	1	2;1*	42,5
1 Stde	—	2	2	3	1;2*	37,5
1 St. 10 M.	—	1	1	1	5;2*	15,0
1 " 20 "	—	1	1	1	3;4*	15,0
1 " 30 "	—	—	5	2	3*	30,0
1 " 40 "	—	—	4	2	1;3*	25,0
1 " 50 "	—	—	2	3	2;3*	17,5

Tabelle 27. NH_4Br 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	3	5	2	—	—	77,5
20 "	6	3	1	—	—	87,5
30 "	—	2	2	2	4	30,0
40 "	—	2	3	3	1;1*	37,5
50 "	—	—	3	2	1;4*	20,0
1 Stde	—	—	2	2	1;5*	15,0
1 St. 10 M.	—	—	1	3	3;3*	12,5
1 " 20 "	—	—	1	—	9*	5,0
1 " 30 "	—	—	1	1	8*	7,5
1 " 40 "	—	—	—	2	8*	5,0
1 " 50 "	—	—	—	—	10*	0

Tabelle 28. KBr 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	1	3	2	4	—	52,5
20 „	1	2	4	—	3	45,0
30 „	—	2	—	2	1,5*	20,0
40 „	—	—	3	2	2,3*	20,0
50 „	—	2	2	2	2,2*	30,0
1 Stde	—	—	1	1	8	7,5
1 St. 10 M.	—	—	—	1	8,1*	2,5
1 „ 20 „	—	—	—	2	8	5,0
1 „ 30 „	—	—	—	1	8,1*	2,5
1 „ 40 „	—	—	—	1	8,1*	2,5
1 „ 50 „	—	—	—	—	10	0

Tabelle 29. NaJ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	3	2	2	1,5*	37,5
10 „	—	3	3	2	2	42,5
15 „	—	4	1	1	2,2*	37,5
20 „	—	5	2	2	1*	52,5
30 „	—	1	2	2	3,2*	22,5
40 „	—	—	2	3	5	17,5
50 „	—	—	5	2	2,1*	30,0
60 „	—	—	1	3	6	12,5

Tabelle 30. NH_4J 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	2	2	3	3	32,5
10 „	—	4	5	1	—	32,5
15 „	—	2	2	3	3	32,5
20 „	—	4	5	1	—	57,5
30 „	—	1	4	2	2,1*	32,5
40 „	—	—	4	4	2,2*	30,0
50 „	—	—	1	1	2,6*	7,5
60 „	—	—	1	3	4,2*	12,5

Tabelle 31. KJ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	2	3	2	3	32,5
10 „	—	1	2	4	3	27,5
15 „	—	2	1	4	3	35,0
20 „	—	—	2	3	4,1*	17,5
30 „	—	—	2	4	3,1*	20,0
40 „	—	—	2	6	1,1*	25,0
50 „	—	—	2	3	2,3*	17,5
60 „	—	—	2	3	5	17,5

Tabelle 32. $NaCNS$ 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	1	2	5	1,1*	30,0
10 „	—	—	2	6	2	25,0
15 „	—	2	1	3	2,2*	27,5
20 „	—	—	1	3	3,3*	12,5
30 „	—	—	1	4	3,2*	15,0
40 „	—	—	—	2	6,2*	5,0
50 „	—	—	—	—	7,3*	0
60 „	—	—	—	—	10	0

Tabelle 33. NH_4CNS 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	—	1	1	3,5*	7,5
10 „	—	2	—	4	2,2*	25,0
15 „	—	—	2	2	2,4*	15,0
20 „	—	—	—	2	7,1*	5,0
30 „	—	—	—	—	1,9*	0
40 „	—	—	—	—	1,9*	0
50 „	—	—	—	—	10	0

Tabelle 34. KCNS 0,5n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolyierte Teil d. Schnittfläche						Plasmolyierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
5 Min.	—	2	—	2	3*	3*	20,0
10 "	—	—	2	2	4,2*	4,2*	15,0
15 "	—	—	4	3	3	3	27,5
20 "	—	—	1	1	3,5*	3,5*	7,5
30 "	—	—	—	2	3,5*	3,5*	5,0
40 "	—	—	—	—	3,7*	3,7*	0
50 "	—	—	—	—	10*	10*	0

Aus den beschriebenen Versuchen ist es ersichtlich, dass die Plasmakoagulation durch Neutralsalze nicht von den sog. kolligativen Eigenschaften dieser Verbindungen abhängig ist, da die äquimolekularen Lösungen sehr ungleich wirken. So kann man an den Schnitten ein und dasselbe Bild beobachten, in einigen Lösungen nach einigen Minuten, in

anderen Lösungen erst nach einigen Stunden.

Zwecks besserer Übersichtlichkeit der Resultate, sind in der folgenden Tabelle (№ 35) alle ungefähr gleich stark wirkenden Salze (d. h. deren Wirkung in engeren Grenzen differiert) in Gruppen vereinigt (horizontale Reihen) und für jede Gruppe ist das Mittelprozent zwei Mal berechnet: 1) für alle gleichen Zeitabschnitte, zum Vergleich der Salzwirkungen derselben Gruppe, 2) für solche Zeitabschnitte, die mit denen einer nach der Wirkung nahestehenden Salzgruppe übereinstimmen, zum Vergleich der Ergebnisse zweier Nachbargruppen.

In der Tabelle 35 erhalten wir somit die Salzgruppen stufenweise mit abnehmender Aktivität angeordnet.

Übersichtstabelle der Resultate der I Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,5 norm.

Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 35.

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmoly. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelproz.	Anion		CNS	J	Br	NO ₂	CaH ₂ O ₂	Cl	Tartarat	Zitrat	SO ₄	F
		Kation	→										
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M.	70	Natrium	↓	16,4	34,3								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 Min.	60		9,5	28,0	52,1	55,0							
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 Min.	110		37,7	46,6	38,5								
30 Min., 1 Stde., 1 St. 20 M., 1 St. 40 M., 2 Stdn., 2 St. 20 M., 2 St. 40 M., 3 Stdn., 3 St. 20 M., 3 St. 40 Min.	100							23,5	35,0				

Tabelle 35. (Fortsetzung).

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolyt. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelproz.	Anion		CNS	J	Br	NO ₃	C ₂ H ₃ O ₂	Cl	Tartrat	Zitrat	SO ₄	F
		Kation											
1 Stde., 2 Stdn., 3 Stdn. (oder 3 Stdn. 40 Min.) . . .	40	Natrium							31,9	91,2	93,7	90,6	99,0
1 Stde., 2 Stdn., 3 Stdn., 4 Stdn., 5 Stdn., 6 Stdn., 7 Stdn., 8 Stdn., 9 Stdn., 10 Stdn.	100										78,6	78,0	74,2
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M.	70	A m m o n i u m	7,5	32,1									
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M.	60		5,0	28,8	44,5	27,1							
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde. 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 M.	110				27,0	22,2	47,7						
30 Min., 1 Stde., 1 St. 20 M., 1 St. 40 M., 2 Stdn., 2 St. 20 M., 2 St. 40 M., 3 St., 3 St. 20 M., 3 St. 40 M.	100							29,2	44,5				
1 Stde., 2 Stdn., 3 St., 4 St. (oder 3 Stdn. 40 Min.) . . .	40								40,6	74,7	72,0	86,2	
1 Stde., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn.	100									60,5	32,0	75,0	
5 Min., 10 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M.	70		K a l i u m	10,7	25,0								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M.	60	4,9		20,8	29,2	49,6							
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M., 1 St. 50 M.	110				17,0	35,2	40,3						
30 Min., 1 Stde., 1 St. 20 M., 1 St. 40 M., 2 Stdn., 2 St. 20 M., 2 St. 40 M., 3 St., 3 St. 20 M., 3 St. 40 M.	100							19,0	49,7				
1 Stde., 2 Stdn., 3 Stdn., 4 Stdn. (oder 3 Stdn. 40 M.) . . .	40								46,9	75,0	91,9	99,0	
1 Stde., 2 Stdn., 3 Stdn., 4 Stdn., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn.	100									58,5	76,5	88,2	
1 Stde., 2 Stdn., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn.	100	Mg.											93,5

Wenn wir auf Grund der Daten der obenstehenden Tabelle die Anionen der Salze nach der abnehmenden Wirkungsenergie in Reihen anordnen; so erhält man folgende Reihenfolgen¹⁾:

1) Mit dem Zeichen > sind die Ionen dort getrennt, wo die Differenz zwischen den Mittelprozenten der plasmolysefähigen Fläche nicht weniger als 10 beträgt. In den übrigen Fällen sind sie durch Kommas getrennt.

↓ Kation Anion →
 ↓ Na — CNS > I > Br, C₂H₃O₂, NO₃, Cl > SO₄, F, Zitrat, Tartrat.
 NH₄ — CNS > I, NO₃, Br > C₂H₃O₂ > Cl > Zitrat, Tartrat > SO₄.
 K — CNS > I, Br > NO₃, C₂H₃O₂ > Cl > Tartrat > Zitrat > SO₄.

Bei ein und demselben Anion wird die Wirkung der Kationen durch die untenstehenden Reihenfolgen charakterisiert:

↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →
CNS	NH ₄ , K, Na	NO ₃	NH ₄ > K > Na	Tartrat	K, NH ₄ > Na
J	K, NH ₄ , Na	C ₂ H ₃ O ₂	K, Na, NH ₄	Zitrat	NH ₄ > K, Na
Br	K > NH ₄ > Na	Cl	Na, NH ₄ , K	SO ₄	Na, NH ₄ > K, Mg.

Der Unterschied zwischen der koagulierenden Wirkung der Kationen ist kleiner als der der Anionen. In der Hälfte der Fälle sind die Glieder der Reihen durch Kommas getrennt, d. h. der Wirkungsunterschied liegt hier in den Grenzen des Versuchsfehlers. In den Tabellen, wo der Unterschied grösser war (bei Bromiden, Nitraten, Tartraten und Zitrat), tritt die schwächere Wirkung des Natriums im Vergleich mit der des Ammoniums und Kaliums deutlich hervor.

Die koagulierende Wirkung der Kaliumsalze.¹⁾

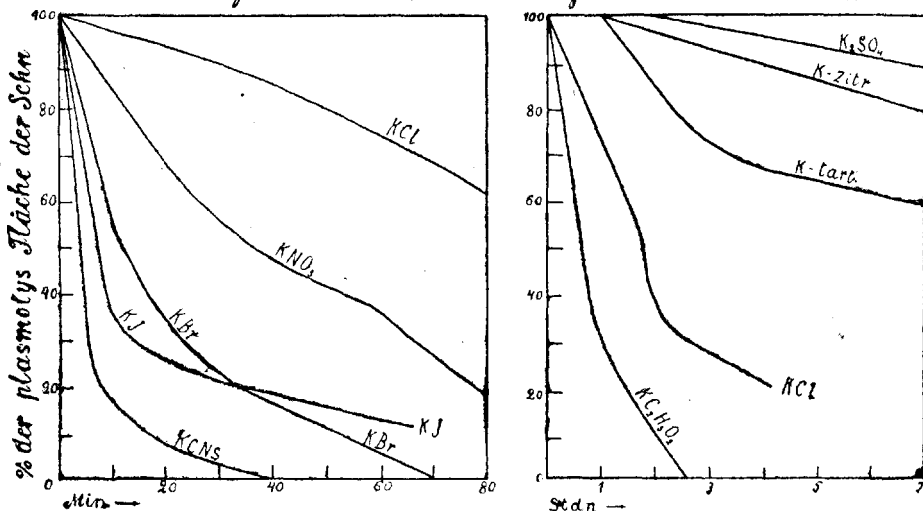


Abb 1.

1) Alle Kurven im Text sind schematisiert.

II Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 36. Na_2SO_4 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	10	100,0	—	—	—	—	—
18 "	10	100,0	—	—	—	—	—
24 "	10	100,0	—	—	—	—	—
30 "	10	100,0	—	—	—	—	—
36 "	8 2	95,0	—	—	—	—	—
42 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—
48 "	7 3	92,5	—	—	—	—	—

Tabelle 37. K_2SO_4 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	10	100,0	—	—	—	—	—
18 "	10	100,0	—	—	—	—	—
24 "	10	100,0	—	—	—	—	—
30 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—
36 "	10	100,0	—	—	—	—	—
42 "	10	100,0	—	—	—	—	—
48 "	10	100,0	—	—	—	—	—

Tabelle 38. $(NH_4)_2SO_4$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	10	100,0	—	—	—	—	—
18 "	10	100,0	—	—	—	—	—
24 "	8 2	95,0	—	—	—	—	—
30 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—
36 "	5 3 2	82,5	—	—	—	—	—
42 "	2 2 2 2 2	50,0	—	—	—	—	—
48 "	—	7,5	—	—	3	2,5	—

Tabelle 39. K-Tartrat 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	10	100,0	—	—	—	—	—
18 "	10	100,0	—	—	—	—	—
24 "	10	100,0	—	—	—	—	—
30 "	10	100,0	—	—	—	—	—
36 "	10	100,0	—	—	—	—	—
42 "	10	100,0	—	—	—	—	—
48 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—

Tabelle 40. Na-Tartrat 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	8 2	95,0	—	—	—	—	—
18 "	6 4	90,0	—	—	—	—	—
24 "	5 4 1	85,0	—	—	—	—	—
30 "	6 2 2	85,0	—	—	—	—	—
36 "	3 5 2	77,5	—	—	—	—	—
42 "	5 4 1	85,0	—	—	—	—	—
48 "	2 5 3	72,5	—	—	—	—	—

Tabelle 41. NH_4 -Tartrat 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
			4/4	3/4	1/2	1/4	0
6 Stdn	10	100,0	—	—	—	—	—
12 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—
18 "	9 1	97,5	—	—	—	—	—
24 "	6 3 1	87,5	—	—	—	—	—
30 "	6 3 1	87,5	—	—	—	—	—
36 "	— 2 2 2 4	30,0	—	—	—	—	—
42 "	— 1 1 2	17,5	—	—	—	—	—
48 "	— 1 1	7,5	—	—	—	—	—

Tabelle 42. *KCl* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	9 1	—	—	—	—	97,5
8 "	9 1	—	—	—	—	97,5
12 "	8 2	—	—	—	—	95,0
16 "	9 1	—	—	—	—	97,5
20 "	10	—	—	—	—	100,0
24 "	9 1	—	—	—	—	97,5
28 "	7 3	—	—	—	—	92,5
36 "	9 1	—	—	—	—	97,5
44 "	8 2	—	—	—	—	95,0

Tabelle 43. *NaCl* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	9 1	—	—	—	—	97,5
6 "	10	—	—	—	—	100,0
8 "	8 2	—	—	—	—	95,0
10 "	6 4	—	—	—	—	90,0
12 "	7 3	—	—	—	—	92,5
16 "	4 5 1	—	—	—	—	82,5
20 "	3 6 1	—	—	—	—	80,0
24 "	5 3 2	—	—	—	—	82,5
28 "	4 5 1	—	—	—	—	82,5
36 "	3 1 6	—	—	—	—	42,5
44 "	1 4 5	—	—	—	—	15,0

Tabelle 44. *NH₄Cl* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	7 3	—	—	—	—	92,5
6 "	10	—	—	—	—	100,0
8 "	5 5	—	—	—	—	82,5
10 "	6 3 1	—	—	—	—	87,5
12 "	5 3 1 1	—	—	—	—	80,0
16 "	4 4 1 1	—	—	—	—	77,5
20 "	4 4 2	—	—	—	—	80,0
24 "	2 5 2 1	—	—	—	—	70,0
28 "	4 4 2	—	—	—	—	55,0
36 "	6 2 2	—	—	—	—	60,0
44 "	2 2 4 2	—	—	—	—	60,0

Tabelle 45. *LiCl* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %				
		4/4	3/4	1/2	1/4	0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	8 2	—	—	—	—	95,0
8 "	9 1	—	—	—	—	97,5
12 "	9 1	—	—	—	—	97,5
16 "	5 5	—	—	—	—	87,5
20 "	7 3	—	—	—	—	92,5
24 "	6 4	—	—	—	—	90,0
28 "	5 5	—	—	—	—	87,5
36 "	7 2 1	—	—	—	—	65,0
44 "	1 5 2 2	—	—	—	—	62,5

Tabelle 46. $SrCl_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
8 "	10	—	—	—	—	100,0
12 "	10	—	—	—	—	100,0
16 "	9	1	—	—	—	97,5
20 "	10	—	—	—	—	100,0
24 "	10	—	—	—	—	100,0
28 "	9	1	—	—	—	97,5
36 "	10	—	—	—	—	100,0
44 "	9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 47. $BaCl_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	9	1	—	—	—	97,5
8 "	9	1	—	—	—	97,5
12 "	9	1	—	—	—	97,5
16 "	9	1	—	—	—	97,5
20 "	9	1	—	—	—	97,5
24 "	8	2	—	—	—	95,0
28 "	7	2	1	—	—	90,0
36 "	4	5	1	—	—	82,5
44 "	1	5	3	1	—	65,0

Tabelle 48. $MgCl_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
8 "	9	1	—	—	—	97,5
12 "	10	—	—	—	—	100,0
16 "	8	2	—	—	—	95,0
20 "	9	1	—	—	—	97,5
24 "	8	2	—	—	—	95,0
28 "	10	—	—	—	—	100,0
36 "	7	3	—	—	—	92,5
44 "	7	3	—	—	—	92,5

Tabelle 49. $CaCl_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
8 "	10	—	—	—	—	100,0
12 "	10	—	—	—	—	100,0
16 "	10	—	—	—	—	100,0
20 "	10	—	—	—	—	100,0
24 "	10	—	—	—	—	100,0
28 "	8	2	—	—	—	95,0
36 "	9	1	—	—	—	97,5
44 "	9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 50. KNO_3 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
3 "	8	2	—	—	—	95,0
4 "	7	3	—	—	—	92,5
5 "	6	4	—	—	—	90,0
6 "	7	3	—	—	—	92,5
7 "	9	1	—	—	—	97,5
8 "	7	3	—	—	—	92,5
9 "	5	4	1	—	—	85,0
10 "	8	2	—	—	—	95,0
12 "	8	2	—	—	—	95,0
16 "	7	3	—	—	—	92,5
18 "	9	1	—	—	—	97,5
20 "	9	1	—	—	—	97,5
24 "	5	4	1	—	—	85,0

Tabelle 51. $NaNO_3$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 "	8	2	—	—	—	95,0
4 "	8	2	—	—	—	95,0
5 "	7	3	—	—	—	92,5
6 "	8	2	—	—	—	95,0
7 "	8	2	—	—	—	95,0
8 "	8	2	—	—	—	95,0
9 "	6	4	—	—	—	90,0
10 "	7	3	—	—	—	92,5
12 "	7	3	—	—	—	92,5
16 "	6	4	—	—	—	90,0
20 "	9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 52. NH_4NO_3 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn	7	3	—	—	—	92,5
3 "	6	4	—	—	—	90,0
4 "	5	5	—	—	—	87,5
5 "	3	6	1	—	—	80,0
6 "	4	6	—	—	—	85,0
7 "	4	6	—	—	—	85,0
8 "	3	6	1	—	—	80,0
9 "	1	8	1	—	—	75,0
10 "	2	8	—	—	—	80,0
12 "	4	5	1	—	—	82,5
16 "	3	5	2	—	—	77,5
18 "	1	5	3	1	—	65,0
20 "	5	5	—	—	—	87,5
24 "	—	7	3	—	—	67,5

Tabelle 53. $KC_2H_3O_2$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
6 "	9	1	—	—	—	97,5
8 "	6	4	—	—	—	90,0
10 "	5	4	1	—	—	85,0
12 "	4	5	1	—	—	82,5
16 "	5	4	1	—	—	85,0
18 "	6	4	—	—	—	90,0
20 "	6	4	—	—	—	90,0
24 "	6	3	1	—	—	87,5

Tabelle 54. $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 0,35*n*.

Die Zeit des Aufenthaltes der Schritte in d. Lösung.	Der plasmolyzierte Teil d. Schnittfläche			Plasmolyzierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	
2 Stdn	10	—	—	100,0
4 "	10	—	—	100,0
6 "	7	3	—	92,5
8 "	6	4	—	90,0
10 "	6	4	—	90,0
12 "	5	5	—	87,5
16 "	4	6	—	85,0
18 "	4	6	—	90,0
20 "	5	5	—	87,5
24 "	2	3	1	57,5

Tab. 55. $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthaltes der Schritte in d. Lösung.	Der plasmolyzierte Teil d. Schnittfläche			Plasmolyzierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	
2 Stdn	10	—	—	100,0
4 "	10	—	—	100,0
6 "	9	1	—	97,5
8 "	9	1	—	97,5
10 "	7	3	—	92,5
12 "	6	3	1	87,5
16 "	3	3	2	42,5
18 "	—	1	2	27,5
20 "	—	1	3	30,0
24 "	—	—	2	5,0

Tabelle 56. NH_4Br 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthaltes der Schritte in d. Lösung.	Der plasmolyzierte Teil d. Schnittfläche			Plasmolyzierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	
1 Stde	10	—	—	100,0
2 Stdn	8	2	—	95,0
3 "	8	2	—	95,0
4 "	7	3	—	92,5
5 "	6	4	—	90,0
6 "	1	6	3	70,0
7 "	5	5	—	87,5
8 "	6	2	2	85,0
9 "	4	5	1	82,5
10 "	—	8	2	70,0
12 "	4	4	2	80,0
16 "	6	3	1	87,5
18 "	1	3	4	57,5
20 "	1	6	2	67,5
24 "	7	2	1	65,0

Tabelle 57. KBr 0,35 *n*.

Die Zeit des Aufenthaltes der Schritte in d. Lösung.	Der plasmolyzierte Teil d. Schnittfläche			Plasmolyzierte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	
1 Stde	2	7	1	77,5
2 "	—	1	2	25,0
3 "	—	—	3	7,5
4 "	—	—	1	7,5
5 "	—	—	1	7,5
6 "	—	—	1	7,5
7 "	—	—	—	0

Tabelle 58. *KJ* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	4	6	—	—	—	85,0
2 "	2	7	1	—	—	77,5
3 "	5	5	—	—	—	87,5
4 "	5	5	—	—	—	87,5
5 "	5	5	—	—	—	87,5
6 "	3	6	1	—	—	80,0
7 "	4	4	2	—	—	80,0
8 "	1	5	1	2	—	57,5
9 "	1	5	4	—	—	67,5
10 "	—	5	2	3	—	55,0
12 "	—	6	3	1	—	62,5

Tabelle 59. *NaJ* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	3	7	—	—	—	82,5
2 "	5	5	—	—	—	87,5
3 "	5	5	—	—	—	87,5
4 "	7	3	—	—	—	92,5
5 "	4	5	1	—	—	82,5
6 "	4	5	1	—	—	82,5
7 "	—	3	3	2	2	42,5
8 "	—	2	2	3	3	32,5
9 "	—	3	4	2	1	47,5
10 "	—	2	2	4	2	35,0
12 "	—	1	3	4	2	32,5

Tabelle 60. *NH₄J* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	1	7	2	—	—	72,5
2 "	—	7	3	—	—	67,5
3 "	—	6	4	—	—	65,0
4 "	—	5	5	—	—	62,5
5 "	—	4	5	1	—	57,5
6 "	—	5	5	—	—	62,5
7 "	—	2	2	2	4	30,0
8 "	—	1	3	4	2	32,5
9 "	—	—	2	5	3	25,0
10 "	—	—	—	3	5,2*	7,5
12 "	—	—	—	2	3,5*	5,0
16 "	—	—	—	—	10*	0

Tabelle 61. *KCNS* 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	5	5	—	—	—	87,5
2 "	2	8	—	—	—	80,0
3 "	2	8	—	—	—	80,0
4 "	3	5	2	—	—	77,5
5 "	4	6	—	—	—	85,0
6 "	2	8	—	—	—	80,0
7 "	1	5	3	1	—	65,0
8 "	3	4	2	1	—	72,5
9 "	1	3	5	1	—	60,0
10 "	—	3	4	3	—	50,0
12 "	—	3	4	3	—	50,0

Tabelle 62. $NaCNS$ 0,35 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche	Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %					
		$\frac{4}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
1 Stde		6	4	—	—	—	90,0
2 Stdn	Die Zahl der Schnitte	3	7	—	—	—	82,5
3 "		6	4	—	—	—	90,0
4 "		3	6	1	—	—	80,0
5 "		4	5	1	—	—	82,5
6 "		4	5	1	—	—	82,5
7 "		—	1	3	3	2;*	30,0
8 "		—	2	2	3	2;*	32,5
9 "		—	2	4	2	2	40,0
10 "		—	—	1	4	4;*	15,0
12 "		—	—	1	3	6	12,5

Übersichtstabelle der Resultate der II Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,35 norm.

Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 63.

Die Zeitabschnitte für welche das Mittelprozent der plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl d. Schnitte für d. Mittelpr.	Kation	Anion	→							
				CNS	I	Br	Ca/Fe/Ne	NO ₃	Cl	Tartrat	SO ₄
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Natrium	↓	59,6	61,4		93,3	94,1			
2 St., 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80			91,6	94,4	92,2					
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40			81,9		88,7	92,5	100			
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70						87,5	98,6			
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Kalium		76,3	70,7	11,4		92,7			
2 Stdn, 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80			4,1	91,4	94,7	97,5				
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40			89,4	92,6	97,5	100	100			
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70						99,6	99,6			
1 Stde, 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St., 12 St.	110	Ammonium		57,0	44,3	86,1		84,8			
2 Stdn, 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 16 St., 20 St.	80			29,7	80,9	80,9	84,1	87,5			
6 Stdn, 12 St., 18 St., 24 St.	40			16,9	68,1	54,4	75,0	82,5	95,6	99,0	
6 Stdn, 10 St., 18 St., 24 St., 30 St., 42 St., 48 St.	70								70,7	78,6	

Wenn man die Anionen und Kationen nach ihrer abnehmenden Wirkungsenergie anordnet (Tab. 63), so erhält man folgende Reihenfolgen:

Kation	Anion →
↓ $K - Br > I, CNS > C_2H_3O_2, NO_3, Cl, Tartrat, SO_4$	
$Na - CNS, I > C_2H_3O_2, Cl, NO_3, Tartrat, SO_4$	
$NH_4 - I > CNS > C_2H_3O_2, Br, NO_3, Cl > Tartrat, SO_4$	
Anion	Kation →
↓ CNS	↓ $C_2N_3O_2$
I	NO_3
Br	Cl
↓ $NH_4, Na > K$	↓ $NH_4 > Na, K$
↓ $NH_2 > Na, K$	↓ $NH_4 > K, Na$
↓ $K > NH_4$	↓ $NH_4 Na, K$
	↓ $Tartrat$
	↓ SO_4
	↓ $NH > Na > K$
	↓ $NH_4 > Na, K$

Die koagulierende Wirkung der Salze bei der Konzentration 0,35 norm. ist ziemlich schwach, ungeachtet der langen Wirkungsdauer. Der Unterschied zwischen den Wirkungen der Anionen tritt nur bei den voneinander entfernten Gliedern der Reihenfolgen deutlich hervor. Bei den Kationen ist hier das Ammonium aktiver als das Natrium und Kalium.

III Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 64. $(NH_4)_2SO_4$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	7	3	—	—	—	92,5
1 Stde	—	6	3	1	—	62,5
1 St.30M.	—	7	3	—	—	67,5
2 Stdn	—	6	1	3	—	57,5
3 "	—	5	4	1	—	60,0
4 "	—	5	4	1	—	60,0
5 "	—	6	3	1	—	62,5
6 "	—	5	3	2	—	57,5
7 "	—	4	3	3	—	52,5
8 "	—	5	3	2	—	57,5
9 "	—	2	5	2	—	45,0
10 "	—	4	3	3	—	52,5

Tabelle 65. Na_2SO_4 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	2	5	2	1	—	70,0
1 Stde	—	3	4	3	—	50,0
1 St.30M.	—	6	3	1	—	62,5
2 Stdn	—	7	2	1	—	65,0
3 "	—	3	5	2	—	52,5
4 "	—	5	3	2	—	57,5
5 "	—	2	3	5	—	42,5
6 "	—	2	3	4	—	47,5
7 "	—	1	3	5	1	35,0
8 "	—	4	4	2	—	55,0
9 "	—	3	3	3	1	45,0
10 "	—	3	5	2	—	52,5

Tabelle 66. K_2SO_4 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
30 Min.	2	4	3	1	1	67,5
1 Stde	—	5	2	2	—	52,5
1 St.30M.	—	7	3	—	—	67,6
2 Stdn	—	5	5	—	—	62,5
3 "	—	1	6	3	—	45,0
4 "	—	5	3	2	—	57,5
5 "	—	5	5	—	—	62,5
6 "	—	2	5	3	—	47,5
7 "	—	3	5	2	—	52,5
8 "	—	5	3	2	—	57,5
9 "	—	5	2	3	—	55,0
10 "	—	4	3	3	—	52,5

Tabelle 67. Na-Zitrat 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
30 Min.	2	7	1	—	—	77,5
1 Stde	6	4	—	—	—	90,0
1 St.30M.	—	9	1	—	—	77,5
2 Stdn	—	7	3	—	—	67,5
3 "	—	7	3	—	—	67,5
4 "	—	7	3	—	—	67,5
5 "	—	5	5	—	—	62,5
6 "	—	5	5	—	—	62,5
7 "	—	5	3	2	—	57,5
8 "	—	4	4	2	—	55,0
9 "	—	2	4	3	1	42,5
10 "	—	5	4	1	—	60,0

Tabelle 68. K-Zitrat 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
30 Min.	—	7	1	2	—	62,5
1 Stde	—	7	3	—	—	67,5
1 St.30M.	—	6	4	—	—	65,0
2 Stdn	—	8	2	—	—	70,0
3 "	—	6	2	2	—	57,5
4 "	—	3	5	2	—	52,5
5 "	—	6	3	1	—	62,5
6 "	—	5	3	2	—	67,5
7 "	—	4	4	1	1	52,5
8 "	—	2	1	5	2	32,5
9 "	—	1	6	3	—	45,0
10 "	—	3	3	3	1	45,0

Tabelle 69. Na-Tartrat 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
30 Min.	—	7	3	—	—	67,5
1 Stde	4	4	2	—	—	80,0
1 St.30M.	—	8	1	1	—	67,5
2 Stdn	—	4	6	—	—	60,0
3 "	—	4	4	2	—	55,0
4 "	—	5	3	2	—	57,5
5 "	—	6	3	1	—	62,5
6 "	—	7	3	—	—	67,5
7 "	—	5	3	2	—	57,5
8 "	—	6	4	—	—	65,0
9 "	—	2	4	3	—	42,5
10 "	—	5	5	—	—	62,5

Tabelle 70. *K-Tartrat* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	—	4	5	1	—	57,5
1 Stde	—	2	4	3	1	42,5
1 St. 30 M.	—	3	4	3	—	50,0
2 Stdn	—	2	4	3	1	42,5
3 „	—	1	3	1	5	25,0
4 „	—	1	4	4	1	37,5
5 „	—	2	1	3	3,1*	27,5
6 „	—	2	4	2	2	40,0
7 „	—	1	2	5	1,1*	30,0
8 „	—	2	4	2	2	30,0
9 „	—	1	2	5	2	30,0
10 „	—	1	2	4	3	27,5

Tabelle 71. *NH₄NO₃* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	3	3	4	—	47,5
20 „	—	—	5	3	2	32,5
30 „	—	2	1	4	3	30,0
40 „	—	2	5	2	1	45,0
50 „	—	2	3	3	1,1*	37,5
1 Stde	—	2	4	2	1,1*	40,0
1 St. 10 M.	—	3	2	2	1,3*	37,5
1 „ 20 „	—	3	4	1	2	45,0
1 „ 30 „	—	3	5	2	—	52,5
1 „ 40 „	—	2	6	1	1	47,5

Tabelle 72. *NaNO₃* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	5	2	3	—	55,0
20 „	—	1	5	4	—	42,5
30 „	—	2	4	4	—	45,0
30 „	—	1	3	4	1,1*	32,5
50 „	—	1	2	6	1	32,5
1 Stde	—	2	3	1	2,3*	32,5
1 St. 10 M.	—	3	4	1	2	45,0
1 St. 20 M.	—	1	5	3	1	40,0
1 St. 30 M.	—	2	4	2	1,1*	40,0
1 St. 40 M.	—	2	3	4	1	40,0

Tabelle 73. *NH₄Cl* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	6	2	2	—	60,0
20 „	—	3	2	3	2	40,0
30 „	—	4	1	3	2	42,5
40 „	—	3	3	—	2,2*	37,5
50 „	—	2	—	2	1,5*	20,0
60 „	—	3	3	1	2,1*	40,0
1 St. 10 M.	—	3	3	3	1	45,0
1 St. 20 M.	—	3	1	3	3	30,0
1 St. 30 M.	—	5	1	1	1,3*	45,0
1 St. 40 M.	—	2	2	4	2	35,0

Tabelle 74. *NaCl* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	3	3	2	2	42,5
20 "	—	2	2	4	2	35,0
30 "	—	1	2	4	1:3*	27,5
40 "	—	2	2	4	2	35,0
50 "	—	—	3	4	1:3*	25,0
1 Stde	—	—	2	3	3:3*	17,5
1 St. 10 M.	—	1	2	5	2	30,0
1 St. 20 M.	—	1	3	3	2:1*	30,0
1 St. 30 M.	—	—	2	2	1:1*	15,0
1 St. 40 M.	—	—	1	3	4:3*	12,5

Tabelle 75. *KCl* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	2	2	2	3:1*	30,0
20 "	—	2	2	4	1:1*	35,0
30 "	—	2	—	—	3:4*	20,0
40 "	—	2	2	2	1:1*	27,5
50 "	—	1	1	2	1:5*	17,5
1 Stde	—	—	3	4	1:3*	25,0
1 St. 10 M.	—	1	2	4	2:1*	27,5
1 St. 20 M.	—	—	3	1	1:5*	17,5
1 St. 30 M.	—	—	3	2	2:3*	20,0
1 St. 40 M.	—	—	3	2	3:3*	15,0

Tabelle 76. *LiCl* 0,5 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	3	5	—	1:1*	47,5
20 "	—	—	3	4	3	25,0
30 "	—	—	2	1	3:4*	12,5
40 "	—	—	1	2	3:1*	10,0
50 "	—	1	1	1	3:1*	15,0
1 Stde	—	—	3	1	1:5*	17,5
1 St. 10 M.	—	—	—	2	2:6*	5,0
1 St. 20 M.	—	—	1	2	2:5*	10,0
1 St. 30 M.	—	—	—	2	3:5*	5,0
1 St. 40 M.	—	—	—	5	2:3*	12,5

Tabelle 77. *NaC₂H₃O₂* 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	—	3	4	3	—	75,0
20 "	—	3	4	3	—	50,0
30 "	—	3	4	3	—	50,0
40 "	—	4	4	2	—	55,0
50 "	—	3	2	5	—	45,0
1 Stde	—	2	3	5	—	42,5
1 St. 10 M.	—	3	3	4	—	47,5
1 St. 20 M.	—	1	3	4	2	32,5
1 St. 30 M.	—	1	2	5	2	30,0
1 St. 40 M.	—	1	4	4	1	37,5

Tabelle 78. $SrCl_2$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	4	2	4	—	—	75,0
1 Stde	7	1	2	—	—	87,5
1 St. 30 M.	7	1	2	—	—	87,5
2 Stdn	8	1	1	—	—	92,5
3 "	7	1	2	—	—	87,5
4 "	8	2	—	—	—	95,0
5 "	5	1	2	2	—	72,5
6 "	4	5	1	—	—	82,5
18 "	4	5	1	—	—	82,5
20 "	3	3	2	1	1	65,0
22 "	2	4	—	2	2	55,0
24 "	2	4	2	1	1	62,5
26 "	—	5	2	—	3	47,5

Tabelle 79. $BaCl_2$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
1 St. 30 M.	8	2	—	—	—	92,5
2 Stdn.	7	3	—	—	—	92,5
3 "	9	1	—	—	—	97,5
4 "	4	4	2	—	—	80,0
5 "	8	2	—	—	—	95,0
6 "	4	4	2	—	—	80,0
18 "	4	5	1	—	—	82,5
20 "	1	4	5	—	—	65,0
22 "	1	4	1	2	2	50,0
24 "	2	5	2	1	—	70,0
26 "	3	3	2	2	—	67,5

Tabelle 80. $MgCl_2$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
1 St. 30 M.	9	1	—	—	—	97,5
2 Stdn	7	3	—	—	—	92,5
3 "	9	1	—	—	—	97,5
4 "	7	3	—	—	—	92,5
5 "	6	4	—	—	—	90,0
6 "	6	3	1	—	—	87,5
18 "	5	4	1	—	—	85,0
20 "	6	3	1	—	—	87,5
22 "	5	3	1	1	—	80,0
24 "	4	6	—	—	—	85,0
26 "	5	4	1	—	—	85,0

Tabelle 81. $CaCl_2$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	9	1	—	—	—	97,5
1 St. 30 M.	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 "	10	—	—	—	—	100,0
4 "	8	2	—	—	—	95,0
5 "	9	1	—	—	—	97,5
6 "	9	1	—	—	—	97,5
18 "	8	2	—	—	—	95,0
20 "	6	4	—	—	—	90,0
22 "	6	1	3	—	—	82,5
24 "	8	2	—	—	—	95,0
26 "	9	1	—	—	—	97,5

Tabelle 82. NH_4Br 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
5 Min.	—	7	1	2	—	62,5
10 "	—	5	4	1	—	60,0
15 "	—	7	2	1	—	65,0
20 "	—	2	1	1	2:1*	22,5
30 "	—	1	3	1	5*	25,0
40 "	—	2	2	1	1:1*	27,5
50 "	—	2	2	1	1:1*	27,5
60 "	—	4	1	2	1:2*	40,0
70 "	—	4	1	2	1:2*	40,0
80 "	—	3	1	1	3:2*	30,0
90 "	—	3	1	3	2:1*	35,0
100 "	—	2	2	2	3:1*	30,0

Tabelle 83. $NaBr$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
5 Min.	—	7	3	—	—	67,5
10 "	—	3	4	2	1	47,5
15 "	—	3	2	2	3	37,5
20 "	—	1	3	1	1:1*	25,0
30 "	—	2	1	—	5:2*	20,0
40 "	—	—	2	3	3:2*	17,5
50 "	—	—	1	1	4:1*	7,5
60 "	—	—	2	3	5	17,5
70 "	—	—	—	2	2:6*	5,0
80 "	—	—	—	4	6	10,0
90 "	—	—	—	2	8	5,0
100 "	—	—	—	2	8	5,0

Tabelle 84. KI 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
5 Min.	—	1	3	2	2:2*	27,5
10 "	—	4	2	2	1:1*	45,0
15 "	—	2	2	2	3:3*	30,0
20 "	—	—	1	3	2:1*	12,5
30 "	—	1	1	2	3:3*	17,5
40 "	—	1	3	2	1:3*	27,5
50 "	—	—	1	3	5:1*	12,5
60 "	—	—	1	4	4:1*	15,0
70 "	—	1	1	1	2:3*	15,0
80 "	—	—	1	2	7*	10,0
90 "	—	—	1	2	1:6*	10,0
100 "	—	—	1	1	3:5*	7,5

Tabelle 85. NaI 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
5 Min.	—	1	2	6	1	32,5
10 "	—	2	3	4	1	40,0
15 "	—	1	2	2	2:3*	22,5
20 "	—	—	2	2	3:1*	30,0
30 "	—	1	—	4	3:3*	17,5
40 "	—	—	—	3	6:1*	7,5
50 "	—	—	2	2	3:3*	15,0

Tabelle 86. NH_4CNS 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	1	4	4	1*	37,5
10 "	—	—	1	2	2**	10,0
15 "	—	—	—	3	3**	7,5
20 "	—	—	1	2	2***	10,0
30 "	—	—	—	2	2****	5,0
40 "	—	—	—	1	1*****	2,5
50 "	—	—	—	—	10*****	0

Tabelle 87. $NaCNS$ 0,75 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	—	3	1	4	2	37,5
10 "	—	1	3	4	2	32,5
15 "	—	—	3	3	3**	22,5
20 "	—	—	1	1	7:1***	7,5
30 "	—	—	—	2	4:4****	5,0
40 "	—	—	—	—	4:6*****	0
50 "	—	—	—	—	10*****	0

Tabelle 88. $KCNS$ 0,75n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
3 Min.	—	—	1	2	7	7,5
5 "	—	—	—	1	9	2,5
7 "	—	—	—	—	3:7**	0
10 "	—	—	—	—	10***	0
15 "	—	—	—	—	15****	0

Übersichtstabelle der Resultate der III Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,75 norm.

Versuchspflanze — Rotkohl.

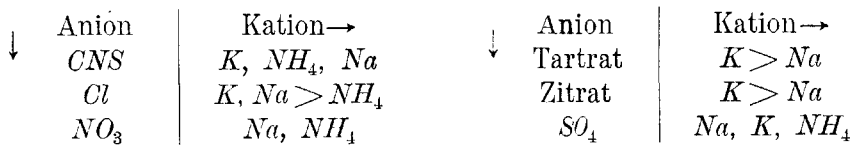
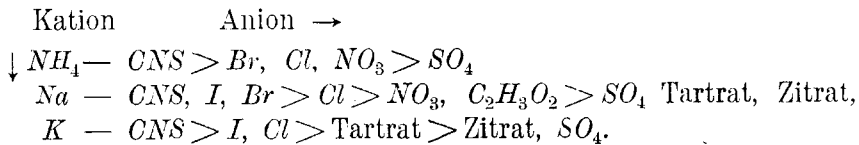
Tabelle 89.

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelpr.	Anion		CNS	J	Br	NO_3	Cl	$C_2H_3O_2$	SO_4	Tartrat	Zitrat	
		Kation	→										
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M.	70	Kalium	↓	1,4	24,6								
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M.	100				17,2			23,5					
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. (oder 2 Stdn.).	40							20,0		62,5	48,1	66,2	
30 Min., 1 Stde., 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St.	120									56,7	36,7	55,0	

Tabelle 89. (Fortsetzung).

Die Zeitabschnitte, f. welche d. Mittelprozent d. plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl der Schnitte für d. Mittelproz.	Anion →		CNS	J	Br	NO ₃	Cl	C ₂ H ₃ O ₂	SO ₄	Tartrat	Zitrat	
		Kation											
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. . .	70	Natrium	↓	15,0	23,6	31,8	38,6						
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 40 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M.	100						16,0	37,7	27,0	46,5			
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. (oder 2 Stdn).	40								22,5	40,0	61,9	68,8	78,1
30 Min., 1 Stde., 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 St.	120										52,9	62,1	65,6
5 Min., 10 M., 15 M., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M. . .	70	Ammonium		10,3		41,7							
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 1 Stde., 1 St. 10 M., 1 St. 20 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M.	100						37,7	41,7	39,5				
30 Min., 60 M., 1 St. 30 M., 1 St. 40 M. (od. 2 Stdn).	40							42,5	40,6		70,0		
30 Min., 1 Stde., 1 St. 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 9 St., 10 Stdn.	120										60,6		

Auf Grund der Ergebnisse der Tabelle 89 erhält man, wenn die Ionen mit grösster Aktivität an erste Stelle gestellt werden, folgende Ionenreihen:



Bei der Konzentration der Lösungen 0,75 norm. tritt der Unterschied zwischen den Anionenwirkungen besser zu Tage, als der der Kationen.

Kationen der Chloride der Alkalisalze und Erdalkalien.

IV Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 90 NaCl 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	—	3	3	2	2	42,5
3 "	—	—	4	1	5	22,5
4 "	—	1	6	1	2	40,0
5 "	—	—	4	2	4	25,0
6 "	—	1	1	3	1:1	20,0
7 "	—	3	1	2	2:3	32,5
8 "	—	—	2	2	2:4	15,0
10 "	—	—	—	1	5:4	2,5
14 "	—	—	—	—	2:3	0
16 "	—	—	—	—	1:10	0

Tabelle 91. LiCl 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	—	1	4	1	2	50,0
3 "	—	2	5	3	—	72,5
4 "	—	3	3	1	1	60,0
5 "	—	1	5	2	—	57,5
6 "	—	1	3	2	—	42,5
7 "	—	—	4	3	2	50,0
8 "	—	1	3	2	1	45,0
10 "	—	—	2	1	2	25,0
14 "	—	—	1	2	1	20,0
16 "	—	1	2	3	—	25,0

Tabelle 92. KCl 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	1	2	4	2	1	50,0
3 "	4	3	2	1	—	75,0
4 "	3	2	1	2	2	55,0
5 "	3	3	2	1	1	65,0
6 "	3	3	3	—	1	67,5
7 "	3	2	3	2	—	60,0
8 "	2	2	2	—	2:3	45,0
10 "	—	3	2	2	2:1	37,5
14 "	1	3	2	2	1:1	42,5
16 "	—	2	3	2	1:2	35,0

Tabelle 93. NH₄Cl 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	1/4	3/4	1/2	1/4	0	
2 Stdn	7	2	1	—	—	90,0
3 "	6	2	1	1	—	82,5
4 "	4	3	1	2	—	72,5
5 "	6	1	2	1	—	80,0
6 "	3	4	1	1	1	67,5
7 "	3	3	2	1	1	65,0
8 "	2	4	2	—	1:1	60,0
10 "	3	2	3	—	2	60,0
14 "	1	1	4	2	1:1	42,5
16 "	2	2	2	1	1:3	42,5

Tabelle 94. $SrCl_2$ 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
4 "	8	2	—	—	—	95,0
6 "	4	5	1	—	—	82,5
8 "	2	2	6	—	—	65,0
10 "	—	2	5	2	1	45,0
14 "	2	2	2	—	2,2*	45,0
16 "	2	3	—	—	1,1*	42,5
18 "	1	4	3	2	—	60,0
20 "	1	4	2	3	—	57,5
34 "	1	3	1	3	2	27,5

Tabelle 95. $MgCl_2$ 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
4 "	9	1	—	—	—	97,5
6 "	9	1	—	—	—	97,5
8 "	8	1	1	—	—	92,5
10 "	6	2	—	1	—	82,5
14 "	8	2	—	—	—	95,0
16 "	3	3	1	2	1	62,5
18 "	7	2	1	—	—	90,0
20 "	6	2	1	1	—	82,5
34 "	4	2	3	1	—	72,5

Tabelle 96. $BaCl_2$ 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	8	2	—	—	—	95,0
4 "	9	1	—	—	—	97,5
6 "	8	1	1	—	—	92,5
8 "	10	—	—	—	—	100,0
10 "	8	1	1	—	—	92,5
14 "	6	4	—	—	—	90,0
16 "	4	1	—	1	2,2*	50,0
18 "	2	3	—	—	1,1*	42,5
20 "	5	1	—	1	3	60,0
34 "	1	5	2	2	—	62,5

Tabelle 97. $CaCl_2$ 0,54 n.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
4 "	9	1	—	—	—	97,5
6 "	8	2	—	—	—	95,0
8 "	9	1	—	—	—	97,5
10 "	10	—	—	—	—	100,0
14 "	9	1	—	—	—	97,5
16 "	9	1	—	—	—	97,5
18 "	9	—	1	—	—	95,0
20 "	8	2	—	—	—	95,0
34 "	7	2	1	—	—	90,0

Übersichtstabelle der Kationenwirkungen der Chloride der Alkalimetalle und Erdalkalien*).

IV. Serie. Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 98.

Die Zeitabschnitte, für welche das Mittelprozent der plasmolys. Fläche der Schnitte ausgerechnet ist.	Die Zahl d. Schnitt.	Salz								
		Konz.	NaCl	LiCl	NH ₄ Cl	KCl	SrCl ₂	BaCl ₂	MgCl ₂	CaCl ₂
2 St., 4 St., 8 St., 12 St., 16 St., 20 St., 24 St., 28 St., 36 St., 44 St.	100	0,35 n.	77,0	87,5	75,7	97,0	99,2	92,0	97,0	99,0
2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 7 St., 8 St., 10 St., 14 St., 16 St.	100	0,54 n.	20,0	44,7	62,0	53,2	—	—	—	—
2 Stdn., 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 14 St.	60	0,54 n.	20,0	40,4	65,4	49,6	77,0	94,6	93,7	97,5
2 Stdn., 4 St., 8 St., 12 St., 16 St., 20 St., 24 St., 28 St., 36 St., 44 St.	100	0,54 n.	—	—	—	—	60,7	78,2	87,0	96,2
10 Min., 20 M., 30 M., 40 M., 50 M., 60 M., 70 M., 80 M., 90 M., 100 M.	100	0,75 n.	27,0	16,0	39,5	23,5	—	—	—	—
30 Min., 60 M., 90 M., 120 M.	40	0,75 n.	22,5	11,9	40,6	20,2	85,6	96,2	97,5	98,7
30 Min., 1 St., 30 M., 2 St., 3 St., 4 St., 5 St., 6 St., 18 St., 20 St., 22 St., 24 St., 25 St.	130	0,75 n.	—	—	—	—	76,3	82,5	90,8	95,8

Nach den Daten der obenangeführten Tabelle 99, lassen sich die Kationen nach abnehmender Wirkungsenergie in folgende Reihen anordnen.

0,35 n — NH₄, Na > Li, Ba, K, Mg, Ca, Sr.

0,54 n — Na > Li, K > NH₄ > Sr > Ba, Mg, Ca.

0,77 n — Li, K, Na > NH₄ > Sr, Ba, Mg, Ca.

Der Aktivitätsunterschied bei den Kationen tritt am besten bei den Lösungen 0,54 norm. zutage. Der Unterschied zwischen den Wirkungen der ein- und zweiwertigen Metalle vergrößert sich mit der Vergrößerung der Lösungsstärke.

*) Die Daten für die Konzentrationen 0,35 norm. und. 0,75 norm. sind aus der II und III Versuchsserie entnommen.

V Serie. Versuchspflanze-Zebrina pendula.

Tabelle 99. KCNS 0,2 norm.

N.N. d. Schn.			N.N. d. Schn.			N.N. d. Schn.			N.N. d. Schn.					
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.			D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.			D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.			D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.					
Die Zahl d. plasmolys. Zellen.			Die Zahl d. plasmolys. Zellen.			Die Zahl d. plasmolys. Zellen.			Die Zahl d. plasmolys. Zellen.					
% d. plasmolys. Zellen.			% d. plasmolys. Zellen.			% d. plasmolys. Zellen.			% d. plasmolys. Zellen.					
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.														
30 Min.			1 Stde 30 Min. (Fortsetz.)			2 Stdn 30 Min.			3 Stdn (Fortsetz.)			4 Stdn (Fortsetz.)		
I 189	144	76	IV			I 203	67	33	V 233	178	76	VIII 228	60	26
II 241	193	80	bis	intakt	700	II 225	185	82	VI 176	120	68	IX int.	—	100
III 196	161	82	X			III 197	90	45	VII tot	—	0	X tot.	—	0
IV			Das Mittel 89,6			IV 242	115	89	VIII			Das Mittel 60,4		
bis	intakt ¹⁾	700	2 Stdn			V 388	335	86	bis	intakt	300	8 Stdn		
X						VI 198	163	82	X			I		
Das Mittel	93,8					VII 172	144	84	Das Mittel	60,1		bis	tot	0
1 Stde			I 281	257	89	VIII			4 Stdn			X		
I 295	233	84	II 240	198	83	bis	intakt	300				Das Mittel 0		
II 192	155	81	III 221	194	88	X								
III			IV 195	156	80	Das Mittel 80,1								
bis	intakt	800	V 263	211	81	3 Stdn			I 233	164	70			
X			VI 182	142	78				II 196	164	84			
Das Mittel	96,5		VII 231	209	91				III 193	163	85			
1 Stde 30 Min.			VIII 350	298	85	I 182	102	56	IV 178	118	66			
I 272	203	74	IX 203	40	20	II 257	66	26	V 322	232	72			
II 263	200	75	X 162	43	27	III 233	92	40	VI 203	58	29			
III 152	71	47	Das Mittel	72,2		IV 190	66	35	VII 337	242	72			

1) Als intakt sind hier die Schnitte dann bezeichnet, wenn alle Zellen derselben sich normal plasmolysieren.

Tabelle 100. *KBr* 0.2 norm.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl der plasmolys. Zellen. o o d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. o o d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. o o d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. o o d. plasmolys. Zellen.											
30 Min.				1 Stde 30 Min.				2 Stdn				2 Stdn 30 Min.				3 Stdn				4 Stdn			
I	264	215	85	I	233	44	19	I	256	137	53	I	239	85	36	I	182	71	39	I	265	41	15
II	233	199	86	II	224	168	75	II	210	135	64	II	341	232	68	II	218	55	25	II	223	25	12
III	207	108	70	III	208	140	67	III	273	193	71	III	208	140	67	III	182	127	70	III } bis tot. 0			
V-X	intakt 700			IV	265	190	71	IV	223	173	78	IV	289	63	22	IV	281	57	20				
Das Mittel 94,8				V	264	189	71	V	207	60	29	V	257	65	25	V	210	150	71	X } Das Mittel 2,7			
1 Stde				VI	231	173	75	VI	247	172	70	VI	352	73	21	VI	tot. 0						
I Stde				VII	240	183	76	VII	194	36	19	VII	180	64	36	bis	tot. 0						
I	306	248	81	VIII } bis intakt 300	VIII	218	158	73	VIII	200	41	21	VIII	tot. 0			Das Mittel 22,5	8 Stdn					
II	156	112	72	IX } X }	IX	302	224	74	IX	bis tot. 0			Das Mittel 22,5			I } bis tot. 0							
III	233	163	70	X }	X	211	104	49	X	bis tot. 0			Das Mittel 22,5			X } Das Mittel 0							
IV	248	191	77	Das Mittel 75,4				Das Mittel 58,0				Das Mittel 29,6				Das Mittel 0							
V	263	173	66																				
VI-X	intakt 500																						
Das Mittel 86,6																							

Tabelle 101. KI 0,2 norm.

N _N d. Schn.				N _N d. Schn.				N _N d. Schn.				N _N d. Schn.												
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.												
Die Zahl d. plas-molys. Zellen.				Die Zahl d. plas-molys. Zellen.				Die Zahl d. plas-molys. Zellen.				Die Zahl d. plas-molys. Zellen.												
% d. plasmolys. Zellen				% d. plasmolys. Zellen				% d. plasmolys. Zellen				% d. plasmolys. Zellen												
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																								
30 Min.				1 Stde 30 Min.				2 Stdn				2 Stdn 30 Min.				3 Stdn				4 Stdn				
I	281	231	82	I	265	218	83	I	210	168	80	I	233	188	81	I	224	165	74	I	258	70	27	
II	249	194	78	II	256	165	64	II	180	28	16	II	263	178	68	II	182	123	68	II	281	33	12	
III	272	217	78	III	226	176	78	III	182	95	52	III	306	90	29	III	204	147	61	III } bis tot. 0				
IV	212	171	81	IV	233	151	65	IV	365	305	83	IV	203	55	28	IV	252	42	17					
V—X	intakt 600			V	} intakt 600				V	364	181	50	V	172	128	74	V	203	161	79	X			
Das Mittel	91,9			X					VI	192	127	66	VI	297	212	71	VI				Das Mittel	3,9		
1 Stde				Das Mittel 89,0				VII	352	112	32	VII	272	98	40	bis	tot. 0			8 Stdn				
I	285	240	84					VIII	234	165	71	VIII	215	80	37	X } Das Mittel 29,9								
II	254	235	89					IX	235	171	73	IX	232	174	75									
III	256	190	74					X	161	54	34	X	256	216	84									
IV	252	217	86					Das Mittel 55,7				Das Mittel 58,7												
V	264	214	81																					
VI—X	intakt 500																							
Das Mittel	91,4																							
																I } bis tot. 0								
																Das Mittel 0								

Tabelle 102. KNO_3 0,2 norm.

M.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				M.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				M.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				M.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				M.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plasmolys. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.							
30 Min.				1 Stde 30 Min.				2 Stdn				3 Stdn 30 Min.				3 Stdn				4 Sdtn			
I	225	189	84	I	195	136	70	I	296	54	18	I	194	164	85	I	279	80	29	I	276	48	17
II—X	intakt. 900			II	224	146	65	II	202	179	89	II	232	177	76	II	248	78	32	II	233	67	29
Das Mittel 98,4				III	182	116	64	III	163	133	82	III	138	115	84	III	204	82	40	III	215	63	29
1 Stde				IV	bis intakt 700		IV	342	282	83	IV	256	194	76	IV	264	96	36	IV	235	68	30	
I	239	200	84	Das Mittel 89,9	V	197	105	53	V	196	151	77	V	210	175	83	V	231	39	17			
II	138	114	83		VI	167	115	68	VI	183	150	82	VI	180	59	33	VI	256	56	22			
III	229	196	86		VII	165	125	76	VII	247	212	86	VII	273	213	78	VII	173	69	40			
bis	intakt 700				VIII	341	301	88	VIII	tot. 0		VIII	bis intakt 300		VIII	256	174	76					
X	intakt 700				IX	bis intakt 200		IX	bis intakt 200		X	bis intakt 200		IX	203	61	30						
Das Mittel 95,3				X	bis intakt 200		X	bis intakt 200		Das Mittel 63,1				X	tot. —		X	tot. —					
				Das Mittel 75,7				Das Mittel 76,6				Das Mittel 29,0											
												8 Stdn											
												Alle Schnitte tot.											

Tabelle 103. KCl 0,2 norm.

M&N d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			M&N d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			M&N d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			M&N d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.															
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																								
30 Min.			2 Stdn			3 Stdn			8 Stdn			12 Stdn												
I } bis } X }	intakt		I 332 285 85	II 315 283 90	III 129 44 34	IV 263 129 87	V 261 112 81	VI 240 200 83	VII 202 169 84	VIII	IX	X	I 420 85 20	II 249 50 20	III 272 187 69	IV 274 77 28	V 212 59 28	VI 342 90 26	VII 272 46 16	VIII 240 180 75	IX 169 60 36	X 258 81 31		
	Das Mittel 100,0																							
1 Stde			2 Stdn 30 Min.			4 Stdn			10 Stdn			Das Mittel 34,9												
I 158 113 71	II 202 177 88	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X															
bis } X }		intakt 800	Das Mittel 84,4		Das Mittel 75,0			Das Mittel 29,7			Das Mittel 34,9													
Das Mittel 95,9			1 Stde 30 Min.			Das Mittel 53,1			Das Mittel 37,3															
I 215 160 74	II 241 162 67	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X															
bis } X }		intakt 800	Das Mittel 85,0		Das Mittel 53,1			Das Mittel 37,3																

Tabelle 104. $KC_2H_3O_2$ 0,2 norm.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.					
					30 Min.	2 Stdn	3 Stdn	8 Stdn	12 Stdn	
I } Alle Schn. bis } intakt X }	I 248 64 26	I 240 60 25	I 263 187 71	I 140 91 65						
	II 248 166 67	II 233 184 79	II 306 249 81	II 349 292 84						
	III 162 33 21	III 183 140 76	III 204 174 85	III 225 168 75						
	IV } bis } intakt 700	IV 218 143 66	IV 218 179 82	IV 166 116 70						
	V } bis } intakt 600	V } bis } intakt 600	V 223 166 74	V 186 121 65						
	VI } bis } intakt 600	VI } bis } intakt 600	VI 352 80 23	VI 196 136 69						
	Das Mittel 100,0	Das Mittel 81,4	Das Mittel 81,6	Das Mittel 68,0	Das Mittel 67,2					
	1 Stde	2 Stdn 30 Min.	4 Stdn	10 Stdn	24 Stdn					
	I } bis } intakt X }	I 247 184 75	I 226 156 69	I 252 198 79	I 340 225 66					
	Das Mittel 100,0	II 254 186 73	II 169 101 60	II 216 177 81	II 314 60 19					
1 Stde 30 Min.	III 281 114 76	III 272 105 39	III 280 230 82	III 183 128 70						
I 182 137 75	IV 224 171 79	IV 231 164 71	IV 232 74 32	IV 272 206 76						
II 224 179 80	V } bis } intakt 500	V 241 63 26	V 273 226 83	V 322 93 60						
III 248 191 77	VI } bis } intakt 500	VI 208 146 70	VI 259 181 70	VI 208 63 23						
IV 203 169 83	Das Mittel 80,0	VII } bis } intakt 100	VII 240 90 38	VII } bis } tot 0						
V } bis } intakt 600		VIII } bis } intakt 100	VIII 240 98 41	Das Mittel 31,4						
Das Mittel 91,5		X } bis } intakt 100	IX 252 24 10							
		Das Mittel 62,0	X } bis } tot 0							
			Das Mittel 51,6							

Tabelle 105. *K-Tartrat* 0,2 norm.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.
Die Zeit des Aufenthalts der Schmitte in den Lösungen.				
30 Min. 2 Stdn 3 Stdn 8 Stdn 12 Stdn				
I } Alle Schn. bis } intakt X }	I 224 211 84	I 312 227 73	I 202 122 61	I 233 100 43
	II 226 184 82	II 224 77 94	II 264 184 70	II 380 40 11
Das Mittel 100,0	III 306 118 39	III } intakt 800 bis } X }	III 247 202 82	III 230 151 66
	IV } intakt 700 bis } X }		IV 256 211 82	IV 240 212 89
1 Stde	Das Mittel 90,5	Das Mittel 90,7	V } tot 0 VI } intakt 500 bis } X }	V 306 108 35
		4 Stdn	VI } intakt 500 bis } X }	VI 218 70 32
I } intakt bis } X }	2 Stdn 30 Min.	I 226 156 69	Das Mittel 79,5	VII } intakt 400 bis } X }
	I 233 158 68	II 169 101 60	10 Stdn	Das Mittel 67,6
II 204 155 76	III 272 105 39	I 224 179 80 II 380 220 76 III 248 189 76 IV 339 254 75 V 342 275 80 VI 371 295 80 VII 359 314 87		
III 290 201 69	IV 231 164 71		I 362 128 35	
I 193 138 75 II 195 128 66 III } intakt 800 bis } X }	IV } intakt 700 bis } X }	V 241 63 26	Das Mittel 85,4	II 315 58 18 III 334 129 39 IV 269 224 83 V 218 176 81 VI 189 122 64 VII 233 72 31 VIII } tot 0 IX } intakt 100 X }
	Das Mittel 91,3	VI 208 146 70		
Das Mittel 94,1	Das Mittel 70,7	VII 238 179 75	Das Mittel 85,4	Das Mittel 45,1
		VIII } tot 0 IX } intakt 100 X }		

Tabelle 106. K_2SO_4 0,2 norm.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	30 Min.			3 Stdn			8 Stdn			12 Stdn		
	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in Lösungen.												
	1 Stde			I 203 143 71			I 200 155 72			I 240 193 81		
	1 Stde 30 Min.			II 264 189 72			II 256 188 74			II 233 178 76		
I bis X	Alle Schnitte intakt			III } intakt		800	III } intakt		800	III 256 203 79		
				IV } intakt		800	IV } intakt		800	IV 240 181 76		
Das Mittel		100,0		Das Mittel		94,3	Das Mittel		94,6	Das Mittel		91,2
2 Stdn												
I 218 182 84			I 264 184 70			I 176 170 40			I 342 105 31			
II } intakt 900			II 339 333 86			II 268 198 74			II 217 45 21			
III } intakt 900			III } intakt 800			III 248 198 80			III 274 196 72			
IV } intakt 900			IV } intakt 800			IV 321 241 75			IV tot. 0			
Das Mittel			98,4			Das Mittel			95,6			
2 Stdn 30 Min.												
I } intakt			I 264 184 70			I 176 170 40			I 342 105 31			
II } intakt			II 339 333 86			II 268 198 74			II 217 45 21			
III } intakt			III } intakt 800			III 248 198 80			III 274 196 72			
IV } intakt			IV } intakt 800			IV 321 241 75			IV tot. 0			
Das Mittel			100,0			Das Mittel			86,9			
2 Stdn 30 Min.												
I } intakt			I 264 184 70			I 176 170 40			I 342 105 31			
II } intakt			II 339 333 86			II 268 198 74			II 217 45 21			
III } intakt			III } intakt 800			III 248 198 80			III 274 196 72			
IV } intakt			IV } intakt 800			IV 321 241 75			IV tot. 0			
Das Mittel			100,0			Das Mittel			86,9			

Tabelle 107. *K-Zitrat* 0,2 norm.

MN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.	MN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.	MN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.	MN d. Schn.	D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.	Die Zahl d. plasmolys. Zellen.	% d. plasmolys. Zellen.
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.															
30 Min.				3 Stdn				8 Stdn				12 Stdn			
1 Stde				I } bis } intakt X }				I 265 236 78 II 224 194 87 III 210 160 75 IV } bis } intakt 700 X }				I 217 68 31 II 210 165 79 III 169 133 79 IV 349 308 88 V } bis } intakt 600 X }			
1 Stde 30 Min.															
I } bis } intakt X }				Das Mittel 100,0				Das Mittel 94,0				Das Mittel 87,7			
				4 Stdn											
Das Mittel 100,0				I 168 128 76 II 340 262 77 III } bis } intakt 800 X }				10 Stdn				24 Stdn I 249 164 66 II 233 170 73 III 240 175 73 IV } bis } intakt 700 X }			
2 Stdn															
I 249 215 86 II } bis } intakt 900 X }				Das Mittel 95,5				Das Mittel 91,7				Das Mittel 91,2			
				Das Mittel 98,6											
2 Stdn 30 Min.				I 255 224 88 II 249 185 73 III } bis } intakt 800 X }				Das Mittel 96,1				Das Mittel 96,1			
Das Mittel 96,1															

Zur besseren Übersicht der Ergebnisse der V Versuchsserie sind alle Mittelprozente der plasmolysefähigen Zellen aus je 10 Schnitten in der folgenden Tabelle 108 angeführt.

Übersichtstabelle der V Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 n. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

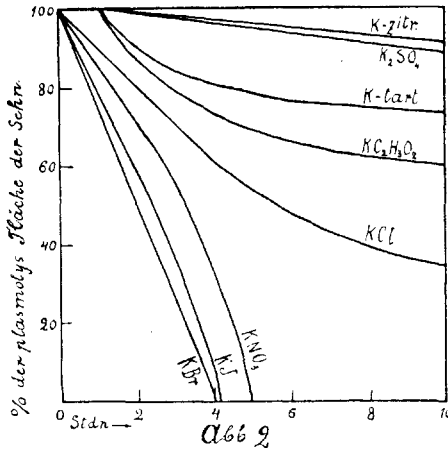
Tabelle 108.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	KBr	KJ	KNO ₃	KCN	KCl	K ₂ H ₃ O ₂	K-Tartrat	K ₂ SO ₄	K-Zitrat.
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 10 Schn.								
30 Min.	94,8	91,9	98,4	93,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 Stde	86,6	91,4	95,3	96,5	95,9	100,0	100,0	100,0	100,0
1 St. 30 M.	75,4	89,0	89,9	89,6	94,1	91,5	94,1	100,0	100,0
2 Stdn	58,0	55,7	75,7	72,2	84,4	81,4	90,5	98,4	98,6
2 St. 30 M.	29,6	58,7	76,6	80,1	85,0	80,0	91,3	100,0	96,1
3 Stdn	22,5	29,9	63,1	60,1	75,0	84,6	90,7	94,3	100,0
4 „	2,7	3,9	29,0	60,4	53,1	62,0	70,7	95,6	95,5
8 „	0	0	0	0	29,7	68,0	79,5	94,6	94,0
10 „	—	—	—	—	37,3	51,6	85,4	86,9	91,7
12 „	—	—	—	—	34,9	67,2	67,6	91,2	87,7
24 „	—	—	—	—	22,9	31,4	45,1	62,4	91,2
Das Mittel	33,6	38,2	48,0	50,2	64,7	74,3	83,2	93,0	95,8

Wie die Tabelle lehrt, nimmt die Koagulationsenergie der Anionen der Kaliumsalze in bezug auf das Zebrinaplasma in der Reihenfolge ab:

$Br, J > NO_3, CNS > Cl > C_2H_3O_2 > Tartrat > SO_4, Zitrat.$

Die Abbildung 2 zeigt uns die Wirkung der Kaliumsalze auf das Zebrinaplasma in Gestalt von Kurven.



VI Serie. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.
Tabelle 109. NaCNS 0,2 norm.

30 Min.				3 Stdn				6 Stdn				10 Stdn			
I bis X	Alle Schn. intakt			I	290	207	81	I	215	70	33	I	218	188	86
				II	288	144	50	II	240	188	78	II	170	46	27
Das Mittel 100,0				III	210	148	71	III	257	95	37	III	218	47	22
1 Stde				IV	intakt		700	IV	217	60	28	IV	234	66	28
I II bis X	264	221	84	Das Mittel 89,2				V	180	135	75	V	282	246	87
	intakt			900				VI	218	171	79	VI	tot		0
Das Mittel 98,4				4 Stdn				VII	183	143	78	Das Mittel 25,0			
2 Stdn				I	257	77	30	Das Mittel 40,8				12 Stdn			
I II bis X	287	110	38	II	289	123	44	8 Stdn				I	290	217	75
	249	221	89	III	195	156	80	I	218	81	37	II	tot		0
Das Mittel 92,7				IV	tot		0	II	263	95	35	III	Das Mittel 7,5		
I II III bis X	intakt			600				III	414	309	75	IV	Das Mittel 7,5		
				Das Mittel 75,4				IV	tot		0	24 Stdn			
Das Mittel 92,7				Das Mittel 75,4				Das Mittel 14,8				I	tot.		0
												II	Das Mittel 0		
												X			
												Das Mittel 0			

Tabelle 111. NaNO_3 0,2 norm.

№№ d. Schn.				№№ d. Schn.				№№ d. Schn.								
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.								
Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.								
% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.								
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																
30 Min.				4 Stdn				8 Stdn				12 Stdn				
I	Alle Schn. intakt			I	182	55	31	I	225	170	76	I	201	35	18	
bis				II	223	174	78	II	tot		0	II	272	46	18	
X				III	231	196	85	III				III	270	69	26	
Das Mittel				IV	bis } intakt			700	bis } intakt		800	IV	189	39	21	
1 Stde				Das Mittel				89,4	Das Mittel		87,6	bis } tot		0		
I	210	169	81	6 Sdtn				10 Stdn				Das Mittel				8,3
II	intakt			I	226	87	39	I	176	65	37	24 Stdn				
bis				II	208	169	81	II	225	168	75	I	240	56	23	
X				III	bis } intakt			800	III	247	177	72	II	207	174	85
Das Mittel				IV	X } intakt			800	IV	203	113	61	III	265	66	25
2 Stdn				Das Mittel				92,0	bis } intakt		600	IV	389	128	33	
I	312	265	85					Das Mittel		84,5	bis } intakt		300			
II	intakt										VII } intakt		300			
bis											VIII } tot		0			
X											X } tot		0			
Das Mittel											Das Mittel		46,6			
3 Stdn																
I	169	62	37													
II	213	85	40													
III	intakt															
bis																
X																
Das Mittel																

Tabelle 112. NaBr 0,2 norm.

N.N. d. Schn.				N.N. d. Schn.				N.N. d. Schn.										
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.										
Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.										
% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.										
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																		
30 Min.				6 Stdn				10 Stdn				24 Stdn						
1 Stde				I	246	79	32	I	217	52	24	I	278	50	18			
				II	276	259	90	II	233	178	76	II	210	57	27			
2 Stdn				III	}		intakt	800	III	234	181	81	III	233	157	67		
3 Stdn				bis	}				IV	}		intakt	700	IV	252	182	72	
				X	}				bis	}				V	233	61	26	
I } bis } Alle Schn. X } intakt				Das Mittel				92,2	Das Mittel				88,1	VI	390	68	18	
Das Mittel				100,0				8 Stdn				12 Stdn				VII } bis } tot	0	
4 Stdn				I	342	135	40	I	265	90	34	Das Mittel				22,8		
				II	233	203	87	II	163	43	26							
				III	223	35	20	III	173	59	35							
				IV	}		intakt	700	IV	182	38	21						
I } II } III } bis } intakt X }				Das Mittel				84,7	Das Mittel				41,6					
Das Mittel				95,9				Das Mittel				41,6						

Tabelle 113. $NaC_2H_3O_2$ 0,2 norm.

Na ₂ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			Na ₂ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			Na ₂ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			Na ₂ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			Na ₂ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.							
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																			
30 Min.; 1 Stde			4 Stdn			8 Stdn			12 Stdn			24 Stdn							
I			I	261	206	79	I	241	100	42	I	247	177	72	I	289	59	21	
bis	} intakt		II				II	272	105	39	II	272	69	25	II	263	198	75	
X			bis	} intakt	900		III	203	166	82	III	297	98	33	III	256	74	29	
Das Mittel		100,0	Das Mittel			97,9	bis		} intakt		700	IV	249	80	32	IV	264	47	18
2 Stdn			6 Stdn			Das Mittel			86,3	V			147	39	27	V	tot	0	
I	289	218	75	I	160	64	40	10 Stdn			VII				} intakt			500	
II	} intakt	900		II	254	214	84	Das Mittel			61,7	bis			} intakt			400	
X					III	225	200	89	I	144	65	45	X			} intakt			900
Das Mittel		97,5	bis		} intakt		700	Das Mittel		91,3	Das Mittel		91,5	Das Mittel		64,3	Das Mittel		64,3
3 Stdn			Das Mittel			91,3	Das Mittel			91,5	Das Mittel			61,7	Das Mittel			64,3	
I	225	198	88	Das Mittel			91,3	Das Mittel			91,5	Das Mittel			61,7	Das Mittel			64,3
II	} intakt	900		Das Mittel			91,3	Das Mittel			91,5	Das Mittel			61,7	Das Mittel			64,3
X					Das Mittel			91,3	Das Mittel			91,5	Das Mittel			61,7	Das Mittel		
Das Mittel		98,8	Das Mittel			91,3	Das Mittel			91,5	Das Mittel			61,7	Das Mittel			64,3	

Tabelle 114. NaCl 0,2 norm.

№№ d. Schn.				№№ d. Schn.				№№ d. Schn.							
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.							
Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.							
% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.							
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.															
30 M., 1 St., 2 Stdn				6 Stdn				12 Stdn				24 Stdn			
I				I	225	184	82	I	232	55	24	I	248	180	73
bis	} intakt			II				II	240	61	26	II	280	105	38
X				bis	} intakt	900		III	247	200	81	III	224	76	34
Das Mittel			100,0	Das Mittel			98,2	IV	231	186	81	IV	252	46	18
3 Stdn				8 Stdn				600				VI			
I	315	266	84	I	283	243	86	Das Mittel		81,2	VII	167	48	29	
II	} intakt			II							VIII	tot		0	
bis			900		bis	} intakt	900					IX	} intakt	200	
X				X								X			
Das Mittel			98,4	Das Mittel			98,6				Das Mittel			55,1	
4 Stdn				10 Stdn											
I	189	49	25	I	232	65	28								
II	} intakt			II											
bis			900		bis	} intakt	900								
X				X											
Das Mittel			92,5	Das Mittel			92,8								

Tabelle 115. Na-Tartrat 0,2 n. Na₂SO₄ 0,2 n. Na-Zitrat 0,2 n.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.		N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.		N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.		N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.		N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.									
30 M., 1 Stde, 2 Stdn		10 Stdn		24 Stdn		30 M., 1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn		30 M., 1 Stde, 2 Stdn	
3 Stdn, 4 Stdn, 6 Stdn, 8 Stdn		I 169 42 25	II 306 238 78	I 203 61 30	II 306 238 78	4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St.	III 256 81 32	4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St.	3 St., 4 St., 6 St., 8 St., 10 St., 12 St., 24 St.
I } Alle Schn. bis } intakt X }	bis } intakt 900		IV 231 156 68	V 256 106 41	VI 260 181 70	I } intakt X }	IV 231 156 68	V 256 106 41	I } intakt X }
	Das Mittel 92,5		VII bis } intakt 400	VI 260 181 70	Das Mittel 100,0	X }	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0
Das Mittel 100,0		12 Stdn	VII bis } intakt 400	Das Mittel 71,9	24 Stdn	I 197 176 59	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0
		I } intakt bis } intakt X }	Das Mittel 71,9	Das Mittel 71,9	I 197 176 59	II 2:2 206 76	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0
		Das Mittel 100,0	Das Mittel 71,9	Das Mittel 71,9	III } intakt 800	Das Mittel 93,5	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0
			Das Mittel 71,9	Das Mittel 71,9	Das Mittel 93,5	Das Mittel 93,5	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0

Übersichtstabelle der VI Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 n. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

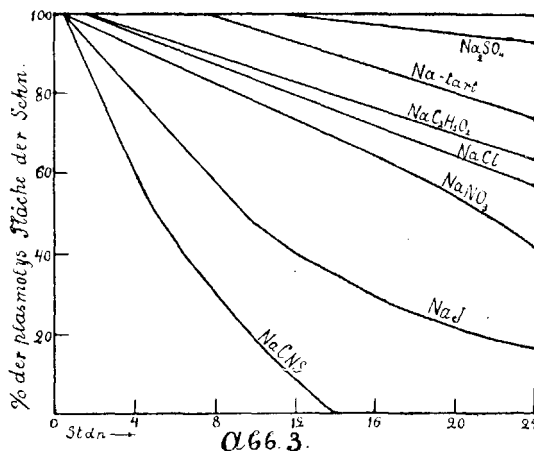
Tabelle 116.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	NaCNS	NaJ	NaNO ₃	NaBr	NaC ₂ H ₃ O ₂	NaCl	Na-Tartrat	Na ₂ SO ₄	Na-Zitrat
	Jede Zahl ist d. Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 10 Schn.								
30 Min.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 Stde	98,4	100,0	98,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 Stdn	92,7	88,2	98,5	100,0	97,5	100,0	100,0	100,0	100,0
3 „	89,2	96,6	87,7	100,0	98,8	98,4	100,0	100,0	100,0
4 „	75,4	81,6	89,4	95,9	97,9	92,5	100,0	100,0	100,0
6 „	40,8	81,8	92,0	92,2	91,3	98,2	100,0	100,0	100,0
8 „	14,8	55,9	87,6	84,7	86,3	98,6	100,0	100,0	100,0
10 „	25,0	68,4	84,5	88,1	94,5	92,8	92,5	100,0	100,0
12 „	7,5	14,2	8,3?	41,6	61,7	81,2	100,0	100,0	100,0
24 „	0	18,3	46,6	22,8	64,3	55,1	71,9	93,5	100,0
Das Mittel	54,4	70,5	79,3	82,5	89,2	91,7	96,4	99,3	100,0

Auf Grund der Ergebnisse der Tabelle 116 erhält man folgende Anionenreihen der Natriumsalze, mit dem wirksamsten Jon an erster Stelle.

$CNS > J > NO_3, Br, C_2H_3O_2, Cl, Tartrat, SO_4, Zitrat.$

Die Kurven der Abbildung 3 stellen den Zusammenhang zwischen der Versuchsdauer und der koagulierenden Wirkung der Natriumsalze dar.



VII. Serie. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.Tabelle 117. NH_4CNS 0,2 norm.

№№ d. Schn.				№№ d. Schn.				№№ d. Schn.													
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.													
D. Zahl der plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.				Die Zahl d. plasmolys. Zellen.													
% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.													
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.																					
30 Min.				1 Stde 30 Min.				2 Stdn 30 Min.				4 Stdn									
I	192	170	89	I	184	53	29	I	248	173	70	I	164	55	34						
II	210	158	75	II	234	159	68	II	232	126	54	II	152	97	64						
III	} intakt	800	800	III	176	46	25	III	} intakt	0	0	III	} tot	0	0						
bis						IV	232	85				37				bis			bis		
X						V	240	193				81				X			X		
Das Mittel				VI	247	45	18	Das Mittel				12,4	Das Mittel				8,8				
1 Stde				2 Stdn				3 Stdn				6 Stdn									
I	233	47	21	VII	} tot	0	0	I	218	171	78	I	218	50	23						
II	159	45	28	bis						II	202	87	43	II	255	185	73				
III	176	60	34	X						III	280	63	23	III	} tot	0	0				
IV	203	52	26	Das Mittel				35,8	IV	203	75	37	bis								
V	190	50	26	2 Stdn				VI	150	35	23	X									
VI	182	42	78	I	210	155	74	VI	169	93	55	Das Mittel				9,6					
VII	203	41	21	II	195	54	28	VII	} tot	0	0	8 Stdn									
VIII	} tot	0	0	III	139	94	50	bis						I	} tot	0	0				
IX						IV	210	35				14	X						bis		
bis				} intakt	200	200	V	217	165	76	Das Mittel							25,9	X		
X			VI				} tot	0	0	Das Mittel				9,6	Das Mittel				0		
Das Mittel				43,4	bis						Das Mittel				21,2	Das Mittel				0	
Das Mittel				43,4	X						Das Mittel				21,2	Das Mittel				0	

Tabelle 118. NH_4I 0,2 norm.

NaCl d. Schn.				NaCl d. Schn.				NaCl d. Schn.				NaCl d. Schn.			
D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.				D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn.			
D. Zahl der plas-molys. Zellen.				D. Zahl der plas-molys. Zellen.				D. Zahl der plas-molys. Zellen.				D. Zahl der plas-molys. Zellen.			
% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.				% d. plasmolys. Zellen.			
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.															
30 Min.				2 Stdn 30 Min.				4 Stdn				8 Stdn			
I	203	171	84	I	289	223	77	I	210	123	59	I	144	78	54
II				II	183	106	58	II	234	154	66	II	263	164	62
bis	intakt		900	III	193	90	47	III	189	134	71	III	189	21	48
X				IV	147	99	67	IV	232	173	75	VI			
Das Mittel 98,4				V	255	200	78	V	172	134	78	bis	tot		0
1 Stde; 1 Stde 30 Min.				VI	230	160	700	VI				X			
I				VII				bis	intakt		500	Das Mittel 16,4			
bis	intakt			X			400	X				10 Stdn			
X				Das Mittel 79,7				Das Mittel 84,9				6 Stdn			
Das Mittel 100,0				3 Stdn				I				I	210	135	69
2 Stdn				I	152	103	68	II	257	60	23	II	150	46	30
I	169	52	31	II	217	158	73	III	203	149	73	III	272	58	21
II	218	158	72	III	182	129	71	IV	224	58	26	IV			
III	150	113	75	IV	169	120	71	IV	225	136	61	bis	tot		0
IV	272	192	71	V				V				X			
V	212	147	69	bis	intakt		600	bis	tot		0	Das Mittel 12,0			
VI	183	27	69	X				X				12 Stdn			
VII				Das Mittel 88,3				Das Mittel 18,3				I			
bis	intakt		400									bis	tot		0
X												X			
Das Mittel 78,7												Das Mittel 0			

Tabelle 120. NH_4NO_3 0,2 norm.

Na№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				Na№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				Na№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				Na№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.															
30 Min.				2 Stdn 30 Min.				6 Stdn				12 Stdn			
I	189	114	61	I	211	153	73	I	132	43	33	I	210	150	71
II				II	197	150	80	II	172	63	37	II	182	142	78
bis	} intakt		900	III	193	138	71	III	162	88	54	III	176	121	69
X				IV				IV	177	34	19	IV	tot		0
Das Mittel			96,1	bis	} intakt		700	V				V			
1 Stde				X				bis	} intakt		600	bis	} intakt		600
Das Mittel			92,4	3 Stdn				Das Mittel			74,3	Das Mittel			81,8
I	202	176	86	I	169	53	31	8 Stdn				24 Stdn			
II	168	138	82	II	150	73	49	I	189	32	17	I	226	186	82
III				III				II	195	75	38	II	226	193	86
bis	} intakt		800	bis	} intakt		800	III	177	37	20	III	} tot		0
X				X				IV				IV			
Das Mittel			96,8	Das Mittel			88,0	bis	} intakt		700	bis	} tot		0
1 Stde 30 Min.				4 Stdn				Das Mittel			77,5	Das Mittel			16,8
I	203	173	85	I	150	100	67	10 Stdn							
II				II	256	48	19	I	196	63	83				
bis	} intakt		900	III				II	183	78	43				
X				bis	} intakt		800	III	176	109	62				
Das Mittel			98,5	Das Mittel			88,6	IV	264	205	78				
2 Stdn				10 Stdn				V							
I	225	191	85	I	196	63	83	bis	} intakt		600				
II	157	123	78	II	183	78	43	X							
III	180	66	37	III	176	109	62	Das Mittel			86,4				
IV	162	115	71	IV	264	205	78								
V				V											
bis	} intakt		600	bis	} intakt		600								
X				X											
Das Mittel			87,1	Das Mittel			88,6	Das Mittel			86,4				

Tabelle 122. $NaCl$ 0,2 n. $(NH_4)_2SO_4$ 0,2 n.

№№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	№№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	№№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	№№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.	№№ d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmols. Zellen.
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.				
30 Min.	3 Stdn	10 Stdn	30 Min.; 1 Stde	12 Stdn
I } bis } X }	I } bis } X }	I 236 171 72 II 189 149 79 III } bis } intakt 800 X }	I } bis } X }	I 232 185 80 II 209 152 78 III } bis } intakt 800 X }
Das Mittel 100,0	Das Mittel 100,0	Das Mittel 95,1	Das Mittel 100,0	Das Mittel 95,0
1 Stde	4 Stdn	12 Stdn	1 Stde 30 Min.	24 Stdn
I 169 126 75 II } bis } intakt 900 X }	I 156 48 30 II } bis } intakt 900 X }	I 203 140 66 II 256 207 81 III } bis } intakt 800 X }	I 208 148 71 II } bis } intakt 900 X }	I 188 148 78 II 240 198 83 III } bis } intakt 100 IV } bis } tot 0 X }
Das Mittel 97,5	Das Mittel 93,0	Das Mittel 94,7	Das Mittel 97,1	Das Mittel 26,1
1 Stde 30 Min.	6 Stdn	24 Stdn	2 St., 2 St. 30 Min. 3 St., 4, 6, 8 St.	
I } bis } X }	I 158 114 72 II } bis } intakt 900 X }	I 176 68 39 II 163 133 82 III 184 133 72 IV 183 125 68 V } bis } intakt 200 VI } VII } bis } tot 0 X }	I } bis } X }	
Das Mittel 100,0	Das Mittel 97,0	Das Mittel 46,1	Das Mittel 100,0	
2 Stdn	8 Stdn	10 Stdn		
I 149 194 70 II } bis } intakt 900 X }	I 173 57 33 II 196 89 45 III 203 38 19 IV } bis } intakt 700 X }	I 183 141 77 II 281 242 86 III } bis } intakt 800 X }		
Das Mittel 97,0	Das Mittel 79,7	Das Mittel 96,3		
2 Stdn 30 Min.				
I } bis } X }				
Das Mittel 100,0				

Tabelle 123.

 $SrCl_2$ 0,2 n. $MgCl_2$ 0,2 n. $BaCl_2$ 0,2 n. $CaCl_2$ 0,2 n.

N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.				N.N. d. Schn. D. Gesamtmenge d. Zell. in d. Schn. Die Zahl d. plas- mols. Zellen. % d. plasmolys. Zellen.			
Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in den Lösungen.															
4 Stdn, 8 Stdn				4 St, 8 St, 10 St, 12 St				4 St, 8 St, 10 St, 12 St				4 St, 8 St, 10 St, 12 St			
I—X intakt				I } Alle Schn. bis } intakt X }				I } intakt bis } X }				I } intakt bis } X }			
Das Mittel 100,0				Das Mittel 100,0				Das Mittel 100,0				Das Mittel 100,0			
10 Stdn				16 Stdn				16 Stdn				16 Stdn			
I	194	145	74	I	233	186	79	I	215	59	27	I	281	227	81
II	182	157	86	II	182	42	23	II	264	79	30	II	357	317	89
III	intakt			III	225	179	87	III	intakt			III	intakt		
bis	800			IV	intakt			bis	800			bis	800		
X	800			bis	700			X	800			X	800		
Das Mittel 96,0				Das Mittel 88,9				Das Mittel 85,7				Das Mittel 97,0			
12 Stdn				20 Stdn				20 Stdn				20 Stdn			
I	175	120	69	I	217	40	18	I	210	170	81	I	intakt		
II	intakt			II	189	78	41	II	263	48	18	bis	intakt		
bis	900			III	246	193	78	III	intakt			X	intakt		
X	900			IV	316	266	84	bis	800			Das Mittel 100,0			
Das Mittel 96,9				Das Mittel 82,1				Das Mittel 89,0							
16 Stdn															
I	217	50	23	V	intakt										
II	154	24	15	bis	600										
III	272	205	75	X	600										
IV	280	241	86												
V	intakt														
bis	600														
X	600														
Das Mittel 79,9															
20 Stdn															
I	230	174	76												
II	227	168	74												
III	325	270	83												
IV	168	133	79												
V	intakt														
bis	600														
X	600														
Das Mittel 91,2															

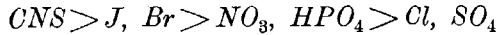
Übersichtstabelle der VII Versuchsserie.

Konzentration der Lösungen 0,2 n. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

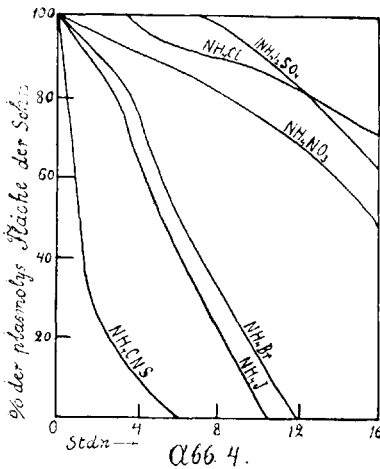
Tabelle 124.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	NH_4CNS	NH_4J	NH_4Br	NH_4NO_3	$(NH_4)_2HPO_4$	NH_4Cl	$(NH_4)_2SO_4$
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 10 Schn.						
30 Min.	96,4	98,4	100,0	96,1	100,0	100,0	100,0
1 Stde	43,4	100,0	96,2	96,8	98,1	97,5	100,0
1 St. 30 M.	35,8	100,0	90,7	98,5	100,0	100,0	97,1
2 Stdn	24,2	78,7	82,1	87,1	100,0	97,0	100,0
2 St. 30 M.	12,4	79,7	93,5	92,4	90,3	100,0	100,0
3 Stdn	25,9	88,3	85,0	88,0	79,7	100,0	100,0
4 "	8,8	84,9	85,0	88,6	87,4	93,0	100,0
6 "	9,6	18,3	29,6	74,3	90,7	97,2	100,0
8 "	0	16,4	36,4	77,5	76,6	79,7	100,0
10 "	—	12,0	10,1	86,6	70,9	95,1	96,3
12 "	—	0	0	81,8	84,2	94,7	95,8
24 "	—	—	—	16,8	14,4	46,1	26,1
Das Mittel	21,4	56,4	59,0	82,0	82,7	91,7	93,0

Nach den Daten der Tabelle 124 lassen sich die Anionen nach der abnehmenden Koagulationsenergie in folgende Reihenfolge anordnen:



Die Kurven der Abbildung 4 zeigen uns den Zusammenhang zwischen der Versuchsdauer und der Koagulationsenergie der Ammoniumsalze.



Bisher hatten wir von den Versuchsergebnissen mit *Zebrina pendula* nur die Anionenwirkungen einer Betrachtung unterworfen. Für den Vergleich der Kationenwirkungen sind in der folgenden Tabelle die Mittelprozent plasmolysierter Zellen in Schnitten aus den Tabellen 108, 116 und 124 entnommen und zwar für die Zeitabschnitte 30

Min, 1 Stde, 2 Stdn, 3 Stdn, 4 Stdn, 8 Stdn, 10 Stdn, 12 Stdn und 24 Stdn.

Kationen der Alkalimetalle und des Ammoniums.

Konzentration der Lösungen 0,2 n. Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 125.

Anion → Kation ↓	CNS	J	Br	NO ₃	Cl	C ₂ H ₃ O ₂	Tartrat	SO ₄	Zitrat
	Jede Zahl ist d. Mittelprozent d. plasmol. Zellen in 90 Schn.								
Na	66,8	69,2	81,5	73,4	90,9	89,0	96,0	99,3	100,0
NH ₄	22,1	53,2	55,0	77,7	89,2	—	—	90,9	—
K	42,6	30,5	29,4	40,1	58,2	71,8	81,1	91,5	95,4

Nach den Ergebnissen der Tabelle 125 erhalten wir folgende Kationenreihen, mit dem wirksamsten Kation an erster Stelle.

↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →	↓ Anion	Kation →
CNS	NH ₄ > K > Na	NO ₃	K > Na, NH ₄	Tartrat	K > Na
J	K > NH ₄ > Na	Cl	K > NH ₄ , Na	SO ₄	NH ₄ , K, Na
Br	K > NH ₄ > Na	C ₂ H ₃ O ₂	K > Na	Zitrat	K > Na

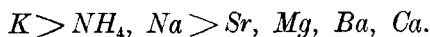
Kationen der Chloride der Alkalimetalle und der Erdalkalien.

Konzentration der Lösungen 0,2 n.

Tabelle 126.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung	KCl	NH ₄ Cl	NaCl	SrCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂	CaCl ₂
	Jede Zahl ist das Mittelprozent d. plasmolys. Zellen in 10 Schn.						
4 Stdn	53,1	93,0	92,5	100,0	100,0	100,0	100,0
8 „	29,7	79,7	98,6	100,0	100,0	100,0	100,0
10 „	37,3	95,1	92,8	96,0	100,0	100,0	100,0
12 „	34,9	94,7	81,2	96,9	100,0	100,0	100,0
16 „	—	—	—	79,9	88,9	85,7	97,0
20 „	—	—	—	91,2	82,1	89,9	100,0
24 „	22,9	46,1	55,1	—	—	—	—
Das Mittel	35,5	81,7	84,0	94,0	95,1	96,9	99,5

Die Ergebnisse der Tabelle 126 lassen sich durch folgende Kationenreihe veranschaulichen, wobei an erster Stelle das wirksamste Ion steht:



Die Kurven der Abb. 5 illustrieren die Koagulationsenergie der Chloride der Alkalisalze und Erdkalien.

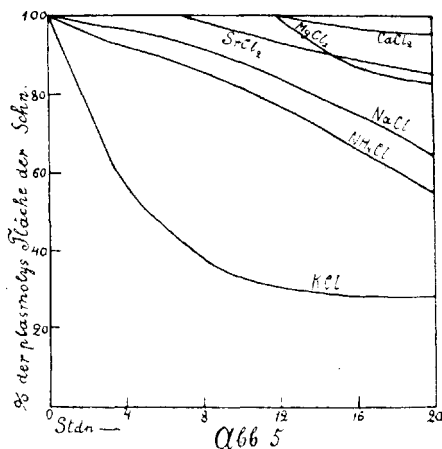
In den obenbeschriebenen Versuchen mit den Zebrinaschnitten sind Lösungen nur ein und derselben Konzentration

0,2 norm. angewandt, weil diese empirisch gefundene Konzentration sich am besten für die Untersuchungen der Plasmakoagulation eignet.

Eine stärkere Konzentration ruft einerseits eine zu starke Plasmolyse hervor, und in bezug auf die letztere ist Zebrina weit mehr empfindlich als das Rotkraut. Andererseits wirken die stärkeren Lösungen zu schnell, und infolgedessen würde das Zählen der koagulierten Zellen zu schwierig sein.

Mit schwächeren, als die übliche Konzentration 0,2 norm., haben wir zwei Versuchsserien angestellt, mit Natriumsalzen — 0,1 norm. und mit Kaliumsalzen — 0,05 norm. Die Mehrheit dieser schwachen Salzlösungen hat sich im allgemeinen als ziemlich wenig aktiv erwiesen. Am wirksamsten sind die Rhodanide, Jodide und Bromide, die auch bei dieser Konzentration noch ziemlich stark das Plasma koagulieren; in den Lösungen der übrigen Salze ist ein kleiner Teil der Zellen (ungefähr 5—15%) erst nach 18—24 Stdn koaguliert.

Wegen Raumersparnis sind hier nur die Übersichtstabellen angeführt.



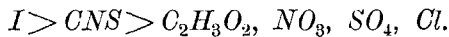
Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse mit den Natriumsalzen 0,1 norm.

Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

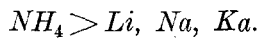
Tabelle 127.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	NaI	NaCNS	NaCaH ₃ O ₂	NaNO ₃	Na ₂ SO ₄	NaCl	KCl	LiCl	NH ₄ Cl
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten								
1 St. 30 M.	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—
3 Stdn	58,2	—	—	—	—	—	—	—	—
4 St. 30 M.	48,8	—	—	—	—	—	—	—	—
6 Stdn	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—
9 „	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12 „	—	51,1	100,0	96,4	100,0	93,6	98,9	93,8	100,0
18 „	—	20,8	93,6	93,6	96,1	94,5	100,0	90,6	96,5
24 „	—	2,7	85,1	92,7	88,7	97,9	96,8	96,7	100,0
36 „	—	0	71,2	86,2	88,5	90,6	98,1	87,0	14,3
Das Mittel	—	34,9	89,9	93,6	94,6	95,3	98,7	93,6	82,1

Nach den Daten der obenangeführten Tabelle nimmt die koagulierende Energie der Anionen in folgender Reihenfolge ab:



Die Aktivität der Kationen der Chloride nimmt in dieser Reihe ab:



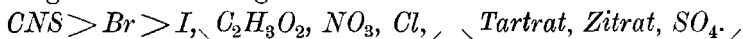
Übersichtstabelle der Versuchsergebnisse mit den Kaliumsalzen 0,05 norm.

Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Tabelle 128.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	KCNS	KBr	K'	KCaH ₃ O ₂	KNO ₃	KCl	K-Tartrat	K-Zitrat	K ₂ SO ₄
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten.								
12 Stdn	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
24 „	85,3	85,3	89,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
36 „	9,8	47,4	93,2	95,7	96,4	96,8	100,0	100,0	100,0
Das Mittel	65,2	77,5	94,2	98,5	98,8	98,9	100,0	100,0	100,0

Aus den Daten der Tabelle 128 ist zu ersehen, dass die ersten drei Salze die grösste Wirkung aufweisen, die folgenden drei haben eine sehr schwache Wirkung und die letzten drei sind hier inaktiv. Mit dem wirksamsten Anion an erster Stelle erhält man folgende Reihenfolge:



Besprechung der Resultate.

Die Versuchsergebnisse mit den Alkalisalzen und Erdkalien (Tabellen № 35, 63, 89, 108, 116, 124, 126—128) zeigen, dass bei ein und demselben Kation die Anionen eine verschieden starke Koagulationsenergie haben und umgekehrt.

Daraus ist es ersichtlich, dass die Metall- und Säureanteile der Salze in den Lösungen ganz unabhängig von einander wirken und dass die Wirkung eine Summe aus zwei Summanden darstellt. Somit haben wir es also hier mit der additiven Wirkung der Salze zu tun.

Vergleichen wir mit einander alle erhaltene Anionenreihen.

Übersichtstabelle der Anionenwirkungen.

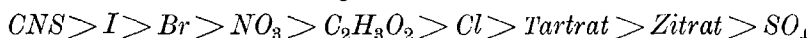
Tabelle 129.

Pflanze	Konz.	Kation	Anion →
Zebrina pendula	{	Natrium	0,1n. $I > CNS > C_2H_3O_2 > NO_3, SO_4, Cl$
			0,2n. $CNS > I > NO_3, Br > C_2H_3O_2, Cl, Tartrat, SO_4, Zitrat$
	{		0,35n. $CNS, I > C_2H_3O_2, Cl, NO_3, Tartrat, SO_4$
			0,5n. $CNS > I > Br, C_2H_3O_2, NO_3, Cl > SO_4, Zitrat, Tartrat$
Rotkohl	{	Natrium	0,75n. $CNS, I > Br > Cl > NO_3, C_2H_3O_2 > SO_4, Tartrat, Zitrat$
Zebrina pendula	{		Kalium
		0,2n. $Br > I > NO_3, CNS > Cl > C_2H_3O_2 > Tartrat, SO_4, Zitrat$	
	{	0,35n. $Br > I, CNS > C_2H_3O_2, NO_3, Cl, Tartrat, SO_4$	
		0,5n. $CNS > I, Br > NO_3, C_2H_3O_2 > Cl > Tartrat > Zitrat > SO_4$	
Rotkohl	{	Kalium	0,75n. $CNS > I, Cl > Tartrat > Zitrat > SO_4$
Zebrina pendula	{		Ammonium
		0,35n. $I > CNS > C_2H_3O_2, Br, NO_3, Cl > Tartrat, SO_4$	
	{	0,5n. $CNS > I, NO_3, Br > C_2H_3O_2 > Cl > Zitrat, Tartrat > SO_4$	
		0,75n. $CNS > Br, Cl, NO_3 > SO_4$	

Alle Anionenreihen haben im allgemeinen den gleichen Charakter. In den Reihenfolgen, wo einige Abweichungen vorkommen, sind die Ionen in den meisten Fällen durch Kommata getrennt, d. h. die Wirkungsunterschiede liegen hier innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers, und infolgedessen ist es wohl kaum berechtigt, solchen ausschliesslichen Stellungen einiger Ionen in den Reihenfolgen eine wichtige Bedeutung zuzuschreiben.

Am Anfang der Reihenfolgen haben wir meistens Rhodanide, am Ende — Sulfate, in der Mitte — Nitrate und Chloride, an der linken Seite von den letzteren Jodide und Bromide, an der rechten Tartrate und Zitrare. Die Stellung der Azetate ist in den Reihen eine ziemlich veränderliche: in einigen kommen sie vor den Nitraten und Chloriden, in anderen zwischen denselben und hinter ihnen vor. Durchschnittlich können wir die Stellung der Azetate als eine zwischen den Nitraten und Chloriden liegende annehmen, denn in jenen Reihenfolgen, wo sie vor den Nitraten vorkommen, sind sie in der Regel von denselben durch Kommata getrennt.

Man kann aus allen Anionenreihen der Tabelle 130 eine Mittelreihe ableiten, die folgendes Aussehen hat:



Schwieriger ist es eine Mittelreihe aus allen Kationen der Alkalisalze und des Ammoniums abzuleiten, da hier die Aktivitätsunterschiede viel kleiner sind als bei den Anionen. Ein Vergleich aller Kationenreihen der Alkalien zeigt uns folgendes.

Übersichtstabelle der Kationenwirkungen.

Tabelle 130.

Pflanze	Zebrina (0,2 n).	Rotkohl (0,5 n).	Rotkohl (0,75 n).
Anion	Kationen		
<i>CNS</i>	$NH_4 > K > Na$	NH_4, K, Na	K, NH_4, Na
<i>I</i>	$K > NH_4 > Na$	K, NH_4, Na	
<i>Br</i>	$K > NH_4 > Na$	$K > NH_4 > Na$	
NO_3	$K > NH_4 > Na$	$NH_4 > K > Na$	Na, NH_4
$C_2H_3O_2$	$K > Na$	K, Na, NH_4	
<i>Cl</i>	$K > NH_4 > Na$	Na, NH_4, K	K, Na, NH_4
<i>Tartrat</i>	$K > Na$	K, NH_4, Na	$K > Na$
<i>Zitrat</i>	$NH_4 > K, Na$	$NH_4 > K, Na$	$K > Na$
SO_4	$K, NH_4 > Na$	$Na, NH_4 > K$	Na, K, NH_4

Wie man aus dieser Gegenüberstellung sieht, sind die Kationenreihen bei den höheren Konzentrationen weniger regelmässig, als bei den niedrigeren. Dieses erklärt sich dadurch, dass bei den höheren Konzentrationen die Wirkungen der Kationen ziemlich gleich sind; in der Tabelle sind sie durch Kommata getrennt, d. h. die Wirkungsunterschiede liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Infolgedessen war es erforderlich, für den Vergleich der koagulierenden Wirkung der Kationen nur die niedrige Konzentration 0,2 norm. in Betracht zu ziehen, wo die Aktivitätsunterschiede am besten ausgeprägt sind. In der ersten Spalte der Tabelle 130 steht von neun Fällen in sieben an erster Stelle das Kalium, von sieben Fällen in fünf an zweiter Stelle das Ammonium, und an letzter Stelle finden wir überall das Natrium. Somit ist für die Alkalisalze die Reihenfolge $K > NH_4 > Na$ am charakteristischsten. Es muss hier hervorgehoben werden, dass die Kaliumsalze die grösste Giftwirkung in bezug auf das Pflanzenplasma haben.

Im Vergleich mit den Alkalisalzen haben die Salze der alkalischen Erden und des Magnesiums eine schwächere koagulierende Wirkung. Wenn wir nicht die Kationenwirkungen der Konzentration 0,35 norm. in Betracht ziehen wollen, wo die Aktivitätsunterschiede zu klein sind, so haben wir bei 0,54 norm. und 0,75 norm. die Reihenfolge: Alkalimetalle $> Sr, Ba, Mg, Ca$, und zusammen für die Alkalikationen und die Erdalkalien: $K > NH_4 > Na > Sr, Ba, Mg, Ca$, wobei für die ersteren die Ergebnisse mit der Konzentration 0,2 norm. genommen worden sind (vgl. Seite 72). Im Ganzen differieren die Wirkungen der Erdalkalikationen von einander sehr wenig, und die Unterschiede liegen innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers. Es muss aber hervorgehoben werden, dass die Kalziumsalze im allgemeinen die geringste Giftigkeit für das Pflanzenplasma besitzen.

Die obenangeführten Anionen- und Kationenreihen bei der Plasmakoagulation sind die bekannten Reihenfolgen von Hofmeister, Pauli und Höber, die eine hervorragende Bedeutung bei vielen physikochemischen und insbesondere bei physiologischen Prozessen haben¹⁾, und es ist hier zweckmässig, bevor

1) R. Höber. Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe 1914. S. 308 ff.

wir zu den weiteren Besprechungen übergehen, einen kurzen Überblick über die diesbezüglichen Untersuchungen der genannten Autoren zu werfen.

Beginnend mit dem Jahre 1887 wurde von Fr. Hofmeister und von seinen Schülern eine Reihe von Untersuchungen unter dem Titel: „Zur Lehre von der Wirkung der Salze“ veröffentlicht. In diesen Arbeiten wurden die Wirkungen der Salze auf Blutserum, Hühnereiweiss, Gelatine und auf andere Kolloidstoffe untersucht.

Hofmeisters Schüler S. Levith (1887) untersuchte die Wirkung der Salze auf das Blutserum¹⁾. Seine Versuche zeigten, dass unter dem Einflusse der Salze in erster Linie sich das Globulin ausscheidet und nachher erst das Albumin.

In seinen Schlüssen weist er auf die Tatsache hin, dass die koagulierende Wirkung der Salze nicht parallel der Löslichkeit wächst. Er fand, dass die Fällungskraft der Salze hauptsächlich von der Natur des Säureanteiles derselben abhängt. Die grösste Fällungsenergie wiesen die Sulfate und Azetate auf und nach diesen erst die Chloride und Nitrate.

Hofmeister dehnte die Versuche von Levith auf eine grössere Anzahl von Salzen aus. Statt des Blutserums wandte er Hühnereiweiss an²⁾. In seinen Erwägungen weist er auf die additive Natur der Neutralsalzwirkungen hin, die im gleichen Masse wie von der Säure, so auch von der Base des Salzes abhängig sind. Das Fehlen der Fällungskraft bei einigen Salzen, wie z. B. bei KNO_3 und bei anderen, erklärt er durch die geringe Löslichkeit des Salzes. Die grösste Fällungsenergie haben nach Hofmeister, gleiche Säure vorausgesetzt, die Lithiumsalze, nach diesen folgen mit abnehmender Aktivität die Salze des Natriums, Kaliums, Ammoniums und Magnesiums. Die gleiche Base vorausgesetzt, ist die koagulierende Wirkung der Salze in abnehmender Fällungskraft folgendermassen geordnet: Sulfate, Phosphate, Azetate, Zitate, Tartrate, Bikarbonate, Chromate, Chloride, Nitrate und Chlorate (l. c.).

Die weiteren Untersuchungen von Hofmeister erstrecken sich auf die Fällung von Gelatine, Eisenhydroxyd und ölsäurem Natrium³⁾. Er fand, dass die Ergebnisse hier im allgemeinen mit denen bei der Eiweissfällung (Serum, Hühnereiweiss) übereinstimmen. Die Fällung der Gelatine geht in nachstehenden Reihenfolgen vor sich: $Li > Na > K > NH_4 > Mg$ und $Sulfate > Zitate > Tartrate > Azetate > Chromate > Chloride > Nitrate > Chlorate$.

In seinen Erwägungen bezüglich des Wesens der Salzfällung kommt Hofmeister zum Schlusse, dass die Ursache der Salzwirkungen in der Fähigkeit der Salze das Wasser den koagulierten Stoffen zu entziehen besteht, wobei die fallenden Salze die Löslichkeit des betreffenden Stoffes in dem Lösmittel herabsetzen (l. c.). Er vergleicht diesen Prozess mit dem Ausfallen

1) S. Levith. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. I Mitteilung. Arch. für Exper. Pathol. und Pharm. Bd. 24 (1887) S. 1.

2) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. II Mitteilung. Arch. für. Exper. Pathol. und Pharm. Bd 24. (1888) S. 247.

3) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. III Mitteilung. Arch. für Exper. Pathol. und Pharm. Bd. 25 (1889) S. 3.

der Kristalloide aus den gesättigten Lösungen, wenn zwei Salze dasselbe Kation haben, z. B. wenn in die gesättigte Lösung von Kaliumsulfat — Kaliumazetat eingeführt wird. Weiter vergleicht Hofmeister die Aktivität der Salze bei der Kolloidfällung mit der Fähigkeit derselben den Gefrierpunkt in Lösungen herabzusetzen, die innere Reibung des Wassers zu verändern, und mit verschiedenen anderen physikalischen Prozessen, wo im allgemeinen dieselben Anionenreihen vorkommen. An die Gelatinefällungsversuche schliessen sich auch Versuche über die Quellung der Gelatine in Wasser¹⁾, in Lösungen von Elektrolyten und von Zucker und in Alkohol²⁾ an. Wenn man nach Hofmeister die Salze anordnet in der Reihenfolge ihrer Fähigkeit die Quellung der Gelatine zu fördern bzw. zu hindern, so ergeben sich folgende Reihen:

Natriumsulfat, -tartrat, -zitrat
 Natriumazetat (Alkohol, Glukose, Saccharose)
 (Wasser)
 die Chloride des Kaliums, Natriums, Ammoniums
 Natriumchlorat, -nitrat, -bromid.

Man erhält hier die bekannte Hofmeistersche Reihenfolge: $SO_4 < Tartrate < Zitate < C_2H_3O_2 < H_2O < Cl < ClO_3 < NO_3 < Br$, in welcher die ersten vier Glieder mit abnehmender Energie die Quellung in wässrigen Lösungen verhindern, die letzten vier in zunehmender Weise fördern.

An die Untersuchungen Hofmeisters schliessen sich unmittelbar die Versuche von Wo. Pauli (Pascheles) an²⁾. Er fand, dass die Elektrolyte einen bedeutenden Einfluss auf das Gelatinieren ausüben. Unter dem Einflusse der Alkalisalze u. des Magnesiums kann die Temperaturverschiebung des Gelatinierens bei 10% Gelatine 40°C erreichen, dabei haben bei den Salzen die Säureanteile die Hauptbedeutung, die Base spielt dagegen eine mehr oder minder untergeordnete Rolle. Pauli teilt die Salze nach ihrer Fähigkeit das Gelatinieren zu beeinflussen in zwei Gruppen:

I. die diesen Prozess fördern;	II. die ihn hindern.
I.	II.
Sulfat	Chlorid
Zitrat	Chlorat
Tartrat	Nitrat
Azetat	Bromid
(Wasser)	Jodid

Wenn man die Anionen der Salze in Reihenfolgen nach der abnehmenden Fähigkeit das Gelatinieren zu hindern anordnet, so erhält man die Hofmeistersche Reihenfolge: $SO_4 < Ziträt < Tartrat < C_2H_3O_2 < Cl < ClO_3 < NO_3 < Br$, < I, wo die vier ersten Glieder ein negatives Vorzeichen haben.

1) Fr. Hofmeister. Zur Lehre von der Wirkung der Salze. V Mitteilung. Arch. für Experim. etc. Bd 27 (1890) S. 395.

2) Fr. Hofmeister. Zur Lehre etc. VI Mitteilung. Arch. für Experim. etc. Bd 28 (1891) S. 210.

3) W. Pascheles. Versuche über Quellung. II Mitteilung. Pflügers Arch. Bd. 71 (1898) S. 333—356.

Pauli fand, dass Salze, die das Gelatinieren fördern, auch Gelatine fällen und die Quellung derselben in Wasser herabdrücken. Dagegen fördern Salze, die das Gelatinieren hindern, die Quellung und besitzen keine Fällungskraft. Er weist weiter darauf hin, dass die Beeinflussung der Gelatinierungstemperatur durch Salze nicht von der Zahl der Molekeln in der Lösung abhängig ist, wie das nach der van Hoff'schen Theorie für den osmotischen Druck und für die Fortrückung des Gefrier- und Siedepunktes Geltung hat, denn äquimolekulare Lösungen haben eine ganz verschiedene Wirkung. Dabei ist nach seiner Meinung auch die Dissoziation der Salze nicht ausschlaggebend. Deswegen erklärt Pauli die Wirkung der Salze durch die Hofmeister'sche Hydrattheorie, auf Grund welcher die obenangeführten Salze ein verschiedenes „Wasseranziehungsvermögen“ besitzen.

Im Jahre 1902 tritt Pauli mit einer neuen Theorie auf, in welcher die Salzeiweissbeziehungen von einem ganz anderen Gesichtspunkte aus behandelt werden¹⁾.

Wie schon bereits erwähnt, wurde angenommen, dass die das Eiweiss nichtfällenden Salze eine ungenügende Löslichkeit besitzen, dabei aber meinte man, dass beide Ionen eines Salzes fällend wirken, und die Wirkung der Salze aus zwei positiven Summanden resultiert (Pauli). In den Fällen, wo keine Fällung erfolgte, wurde angenommen, dass diese Summa der Ionenwirkung nicht genügend gross ist. Jedoch zeigte Pauli bei der Anwendung von Salzkombinationen, dass das Hinzufügen eines Salzes, das keine koagulierende Wirkung hat, zu einem gutfällenden Salze die Fällungskraft des letzteren

nicht steigert, sondern sogar vermindert. Andererseits gibt es eine ganze Reihe von Salzen, wie z. B. Azetate, Nitrate und Chloride des Ammoniums und Magnesiums, die trotz ihrer guten Löslichkeit nicht im stande

Kation →	1	2	3	4	5
↓ Anion	Mg	NH ₄	K	Na	Li
I. Fluorid	n.u. *)	+	+	+	n.u.
II. Sulfat	+	+	+	+	+
III. Phosphat	n.u.	+	+	+	n.u.
IV. Zitrat	n.u.	+	+	+	n.u.
V. Tartrat	n.u.	+	+	+	n.u.
VI. Azetat	—	—	+	+	n.u.
VII. Chlorid	—	—	+	+	+
VIII. Nitrat	—	—	—	+	+
IX. Chlorat	n.u.	—	—	+	n.u.
X. Bromid	—	—	—	—	+
XI. Iodid	n.u.	—	—	—	n.u.
XII. Rhodan.	—	—	—	—	n.u.

*) nicht untersucht.

+ bedeutet fällt.

— „ fällt nicht.

sind das Eiweiss zu fällen. Infolgedessen meint Pauli, dass die koagulierende Wirkung der Salze eine algebraische Summa zweier Summanden ist, nämlich der antagonistisch wirkenden entgegengesetzt geladenen Salzionen. Die Kationen wirken dabei fällend, die Anionen lösend. Diese Gesetzmässigkeit ist aus der nebenstehenden Tabelle ersichtlich, wo Pauli die Kationen in horizontaler Reihe vom Magnesium zum Lithium anordnet, nach ihrer steigenden Fähigkeit dass Eiweiss zu koagulieren, die Anionen in vertikaler Reihe nach zunehmendem Lösungsvermögen vom Fluorid zum Rhodanid.

Pauli zeigte, dass die schwach fällenden Kationen Mg und NH₄ in Verbindung mit stark lösenden Anionen C₂H₃O₂ und Cl

1) Wo. Pauli, Verhalten der Eiweisskörper gegen Elektrolyte. Beitr. zur Chem. Physiol. und Pathol. Bd. 3 (1902) S. 225—246.

nicht mehr im Stande sind das Eiweiss zu fällen; die noch energischer wirkenden Anionen NO_3 und ClO_3 sind inaktiv in Verbindung ausser mit Mg und NH_4 auch noch mit K ; das sehr stark wirksame eiweisslösende Anion Br fällt das Eiweiss nur in einem Falle, und zwar in Verbindung mit Li . Bei den Iodiden und Rhodaniden ist die lösende Wirkung der Anionen im allgemeinen grösser, als die fällende der Kationen.

Später untersuchte P a u l i die Beziehungen der Kalzium-, Strontium- und Bariums Salze, wie auch von deren Kombinationen mit Alkalisalzen, zu dem nativen Eiweiss¹). Er fand, dass hier die Anionenreihe sich umgekehrt hatte! Dieses erklärt P a u l i damit, dass die Erdkalien mit den Phosphaten und Karbonaten des nativen Eiweisses reagieren und hydrolytisch die schwach dissoziierten $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, $Ba(OH)_2$ und H_3PO_4 , H_2CO_3 abspalten. Dabei vermehrt sich in der Lösung die Menge der freien Wasserstoffionen im Vergleich mit der der Hydroxylionen, und die Lösung hat eine schwach saure Reaktion, was mit Phenolphthalein nachgewiesen werden kann. Zugleich verändert sich auch das Verhältnis der Salzionen zum Eiweiss: jetzt haben die Anionen die koagulierende Wirkung und die Kationen die lösende. Die ersteren wirken nach der Reihenfolge: $CNS > I > Br > NO_3 > Cl > C_2H_3O_2$; die letzteren: $Mg > NH_4 > K > Na$. Dieselben umgekehrten Ionenreihen erhielt P a u l i bei der Eiweissfällung in schwachsaurem Medium (0,03 n HCl). Schon früher als P a u l i zeigte H a r d y²) (1900), dass kleine Mengen von Säuren den anodischen Wanderungssinn des Eiweisses in den katodischen ändern, die Eiweisssteilchen werden durch die Säure umgeladen. Im allgemeinen besitzen diejenigen Ionen die Koagulationsfähigkeit, die eine entgegengesetzte elektrische Ladung tragen: das positive Eiweiss wird durch Anionen, das negative durch Kationen gefällt.

Später fand P o s t e r n a k³) (1901), dass das Eiweiss von *Picea excelsa* aus saurer Lösung durch Natriumsalze nach der Reihenfolge: $I > NO_3 > Br > Cl$ gefällt wird und durch Kationen — $Na > K, NH_4$. In alkalischem Medium kehren die Reihenfolgen um.

Später zeigte R. H ö b e r⁴), dass die Ionenreihen von H o f m e i s t e r und P a u l i bei den Neutralsalzwirkungen nicht nur allein bei den Kolloidlösungen stattfinden, sondern auch für homogene Systeme Geltung haben, so z. B. ändert sich nach diesen Reihenfolgen die Geschwindigkeit der Esterverseifung, erniedrigt sich die Löslichkeit der Stoffe u. s. w. H ö b e r untersuchte die Koagulation von Eiweiss und Lezithin durch Neutralsalze. Ferner untersuchte er auch die Beeinflussung der Verseifung von Estern durch Neutralsalze. Er fand, dass in allen untersuchten Fällen in saurem Medium die Aktivität der Ionen nach den Reihenfolgen wächst:

1) W o. P a u l i. Irreversible Eiweissfällungen durch Elektrolyte. Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 5 (1903) S. 27—55.

2) Zit. nach H ö b e r. Physikalische Chemie der Zelle und Gewebe I Aufl. 1902. S. 162.

3) H ö b e r, loco cit. S. 164.

4) H ö b e r, loco cit. VIII Kap.; H ö b e r, Zur Kenntnis der Neutralsalzwirkungen. Beitr. zur Chem. Physiol. und Pathol. Bd. 11 (1908) S. 35—64.

$SO_4 < Cl < Br < I$ und $Cs < Rb < K < Na < Li$, in alkalischer Lösung kehren die Reihenfolgen um: $I < Br < Cl < SO_4$ und $Li < Na < K < Rb < Cs$.

Ausser den angeführten wenigen Fällen sind in der letzten Zeit noch viele physikochemische und biologische Erscheinungen entdeckt worden, bei welchen die Wirkung der Salze sich nach den Reihenfolgen von Hofmeister, Pauli und Höber ändert. Die ungleiche Wirkung der äquimolekularen Neutralsalzlösungen ist man bestrebt durch verschiedene Beeinflussung des Lösungsmittels durch Salze zu erklären, und man hat diese Erscheinung *Lyotropie* (H. Freundlich) genannt. Die obenbesprochenen Ionenreihen werden als *lyotrope Reihenfolgen* bezeichnet¹⁾.

Nach diesen kurzen vorläufigen Bemerkungen gehen wir zu der weiteren Besprechung unserer Resultate über. Die koagulierende Wirkung der Salze auf das Plasma wächst mit der Erhöhung der Konzentration, beginnend von einem gewissen Grenzwert, unter welchem die Lösungen schon relativ unschädlich sind (wenigstens im Laufe der ersten 24 Stunden). Dieser Grenzwert ist ziemlich wenig konstant und ist von der Individualität der Pflanze, von der Natur des Salzes und einigen anderen äusseren Bedingungen abhängig.

Für die Rotkrautschnitte galt bei Zimmertemperatur und Abwesenheit des Tageslichtes für den grösseren Teil der Lösungen, als Grenzwert 0,2 norm. mit einigen Schwankungen, bei den Schnitten der *Zebrina pendula* liegt der Grenzwert unter 0,05 norm. Bei den starkwirkenden Salzen wie Rhodanide, Iodide und Bromide tritt aber bisweilen die Giftigkeit auch bei diesen Konzentrationen hervor.

Die Tatsache, dass die koagulierende Energie der Salze nach der lyotropen Reihe $CNS > \dots SO_4$ abnimmt, weist darauf hin, dass wir es hier mit einem kolloidchemischen Phänomen zu tun haben, denn solche Anionenreihen, wie wir sie bereits gesehen haben, kommen bei vielen kolloidchemischen Prozessen vor. Am einfachsten wäre die Voraussetzung, dass wir es hier mit der Eiweisskoagulation zu tun haben, denn nach den Ansichten einiger Forscher, wie Pfeffer, Bottazzi, Lillie, Robertson und and., geben die Eiweisskörper in der Plasmamembran den Ausschlag²⁾. So verhalten sich nach der Ansicht von Ro-

1) Höber, *Physikalische Chemie* etc. IV Aufl. (1914) S. 10 ff.
Bechhold, *Die Kolloide in Biologie und Medizin*. S. 73–75.
L. Kassuto, *Kolloidchemie*, S. 164 (russisch).

2) Höber, l. c. S. 424.

bertson sehr feine Eiweissmembranen gegen gelöste Stoffe ganz analog den Lipoidmembranen¹⁾. Ferner erhielten Posternak²⁾ und Pauli³⁾ bei ihren Versuchen bei der Eiweisskoagulation in saurem Medium (Pauli z. B. bei der Ansäuerung der Eiweisslösung mit $0,01\ n - 0,03\ n\ HCl$) Anionenreihen, die den unsrigen vollkommen analog sind. Man könnte daraus den Schluss ziehen, dass in der Plasmamembran der höheren Pflanzen die positiven Eiweisskörper dominieren und bei der Koagulation derselben die Anionen der Salze die grösste Bedeutung haben.

Eine solche Voraussetzung wäre ja ganz wahrscheinlich, denn, wie bekannt, reagieren die Eiweisskörper leicht, wie mit Säuren, so auch mit Basen, und im Zellsaft befinden sich immer freie Säuren, mit welchen Eiweisstoffe des Plasmas ionisierte Verbindungen geben können. Die letzteren sind bekanntlich stark hydratisiert. Bei der Einwirkung von Neutralsalzen werden die Eiweissteilchen neutralisiert, was die Dehydratation der Partikelchen zur Folge hat und zur Ausflockung führt⁴⁾.

Die Voraussetzung, dass im Pflanzenplasma die positiven Eiweisskörper den Ausschlag geben, stösst von vorn herein auf die Schwierigkeit, dass bisher in den Pflanzenzellen die positivgeladenen Eiweisstoffe nicht gefunden worden sind. Verschiedene pflanzliche Objekte, wie Hefezellen⁵⁾, Bakterien⁶⁾ und and., zeigen im elektrischen Felde anodische Konvektion; auch für die Zellen der höheren Pflanzen haben einige Autoren gefunden, dass ihr Plasma eine negative Ladung trägt⁷⁾.

Andererseits kann sich das Eiweiss umladen, wobei die Aktivität der Neutralsalze sich vollständig verändert: die am stärksten fallenden Salze beim negativen Eiweiss werden die schwächsten beim positiven und umgekehrt⁸⁾.

1) Zit. nach Czapek, Biochemie der Pflanzen I 1913 S. 59.

2) Posternak, Ann. Instit Pasteur V. 15. 1901. S. 85.

3) Pauli l. c.

4) Wo. Pauli, Pflügers Arch. Bd. 136, 1910. S. 483.

Idem Kolloidchemie der Eiweisskörper. 1920.

H. Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 108 ff.

5) Höber, Physikal. Chemie etc. 1914. S. 474.

6) Bechhold, Zeitschr. für physik. Chemie. Bd. 48, 1904. S. 385.

7) Szücs, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 119 I, 1910. S. 737.

Porodko, Abhandl. der Neuruss. Ges. der Naturforsch. Bd. 41, 1916 S. 419 (russisch).

Endler, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 359.

8) Wo. Pauli, Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 5, 1903. S. 27.

Ausgehend von der Annahme, dass die Anionenreihe $CNS > I > \dots SO_4$ bei der Koagulation des positiven Eiweisses auftritt, müsste sich eine umgekehrte Reihenfolge in alkalischer Lösung ergeben.

Die Versuche zeigen uns folgendes.

In der folgenden Übersichtstabelle 131 sind nur die Endresultate der Versuche mit den Schnitten von *Zebrina pendula* in alkalischem Medium wiedergegeben.

Die ausführlichen Protokolle sind wegen Raumersparnis nicht angeführt.

Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula* in alkalischem Medium.

Konzentration der Lösungen 0,2 norm. + $\frac{n}{2500}$ NaOH.

Tabelle 131.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	KCNS	KI	KNO ₃	KCl	K ₂ H ₃ O ₂	K-Tartrat	K ₂ SO ₄
	Jede Zahl ist das Mittelproz. der plasmolys. Zell. in 10 Schn.						
2 Stdn	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4 "	50,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
5 "	23,9	96,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6 "	4,2	84,7	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0
7 "	0	73,3	87,3	100,0	100,0	100,0	100,0
8 "	—	52,2	74,0	100,0	100,0	100,0	100,0
10 "	—	59,4	77,8	90,4	100,0	100,0	100,0
12 "	—	8,5	77,1	96,1	92,3	100,0	100,0
14 "	—	2,3	58,0	97,8	82,9	100,0	100,0
16 "	—	0	48,5	90,0	79,5	100,0	100,0
24 "	—	—	6,0	33,8	80,5	90,0	100,0
30 "	—	—	0	1,9	69,0	50,0	80,0
Das Mittel	15,7	48,1	68,2	84,2	92,1	95,0	98,3

Wenn wir auf Grund der Daten der Tabelle 131 die Anionen nach der abnehmender Koagulationskraft anordnen, so ergibt sich folgende Reihe:



Wenn wir die Resultate der Tabelle 131 mit den im neutralen Medium erhaltenen (für die gleichen Zeitabschnitte 2, 4, 8, 12 und 24 Stdn) vergleichen, so erweist sich, dass in der al-

kalischen Lösung die Wirkung der Salze schwächer ist, was sich durch folgende Gegenüberstellung näher ergibt.

Medium	CNS	I	NO ₃	Cl	C ₂ H ₃ O ₂	Tartrat	SO ₄
Neutral	22,0 ¹⁾	10,0	17,4	43,3	60,2	73,1	93,1
Alkalisch	25,7	67,1	72,3	86,5	95,4	96,6	100,0

Versuche mit Rotkrautschnitten in alkalischem Medium.

Tab. 132. NaCNS 0,6 n + n/40 Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
3 Min.	10	—	—	—	—	100,0
5 "	7	3	—	—	—	92,5
7 "	4	4	2	—	—	80,0
10 "	1	3	5	1	—	60,0
12 "	—	2	4	4	—	45,0
15 "	—	1	3	3	3	30,0
17 "	—	1	4	2	2:1	32,0
20 "	—	1	4	4	1	37,5
22 "	—	1	3	5	1	35,0
25 "	—	—	1	4	2:1	15,0
30 "	—	—	2	4	3:1	20,0

Tab. 133. NaI 0,6 n + n/40 Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
3 Min.	10	—	—	—	—	100,0
5 "	9	1	—	—	—	97,5
7 "	10	—	—	—	—	100,0
10 "	7	3	—	—	—	92,5
12 "	8	2	—	—	—	95,0
15 "	5	4	1	—	—	85,0
17 "	2	4	3	1	—	70,0
20 "	2	3	3	2	—	62,5
30 "	—	1	3	3	3	30,0
40 "	—	2	2	5	1	37,5
45 "	—	2	2	4	2	35,0

Tab. 134. NaNO₃ 0,6 n + n/40 Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
5 Min.	8	2	—	—	—	95,0
10 "	1	8	1	—	—	75,0
15 "	2	3	4	1	—	65,0
20 "	—	5	3	2	—	57,5
25 "	2	6	2	—	—	75,0
30 "	—	1	4	5	—	40,0
35 "	—	1	4	4	1	37,5
40 "	—	1	3	3	3	30,0
45 "	—	—	4	3	3	27,5
50 "	—	—	4	3	3	27,5
60 "	—	—	3	3	4	22,5

Tab. 135. NaCl 0,6 n + n/40 Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
20 "	5	3	1	1	—	80,0
30 "	1	3	3	2	—	52,5
40 "	1	5	1	2	1	57,5
50 "	2	4	4	—	—	70,0
60 "	—	6	3	1	—	62,5
70 "	2	2	4	2	—	60,0
80 "	1	5	2	2	—	62,5
90 "	—	3	5	2	—	52,5
100 "	—	3	4	1	2	45,0
120 "	—	4	—	4	2	40,0

1) Die Zahlen bedeuten % % der plasmolysierbaren Fläche der Schnitte.

Tab. 136. KCl $0,6n + n/40$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolyseerte Teil d. Schnittfläche				Plasmolyseerte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	
10 Min.	10	—	—	—	100,0
20 "	3	3	3	1	70,0
30 "	1	4	5	—	65,0
40 "	—	4	2	3	47,5
50 "	—	3	3	2	42,5
60 "	—	1	3	3	30,0
70 "	—	1	4	3	35,0
80 "	—	1	1	4	22,5
90 "	—	—	3	2	20,0
100 "	—	—	1	2	10,0
120 "	—	—	1	2	20,0

Tab. 137. NH_4Cl $0,6n + n/40$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolyseerte Teil d. Schnittfläche				Plasmolyseerte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	
10 Min.	10	—	—	—	100,0
20 "	1	3	4	2	57,5
30 "	—	1	3	2	50,0
40 "	—	3	2	3	40,0
50 "	—	4	3	1	47,5
60 "	—	—	3	4	25,0
70 "	—	—	3	4	25,0
80 "	—	—	7	3	17,5
90 "	—	—	2	3	17,5
100 "	—	—	1	5	17,5
120 "	—	—	2	1	12,5

Tab. 138. $LiCl$ $0,6n + n/40$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolyseerte Teil d. Schnittfläche				Plasmolyseerte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	
15 Min.	10	—	—	—	100,0
30 "	6	4	—	—	90,0
45 "	—	2	4	3	42,5
1 Stde	—	5	3	2	57,5
1 St. 15 M.	2	5	2	1	70,0
1 St. 30 M.	3	4	2	1	72,5
1 St. 45 M.	—	2	4	3	42,5
2 Stdn	1	3	3	3	55,0
3 Stdn	1	4	2	2	55,0
14 "	—	2	4	1	40,0
16 "	—	4	2	1	52,5

Tab. 139. $MgCl_2$ $0,6n + n/40$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolyseerte Teil d. Schnittfläche				Plasmolyseerte Gesamtläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	
15 Min.	10	—	—	—	100,0
30 "	9	1	—	—	97,5
45 "	10	—	—	—	100,0
1 Stde	8	2	—	—	95,0
1 St. 15 M.	8	2	—	—	95,0
1 St. 30 M.	9	1	—	—	97,5
1 St. 45 M.	10	—	—	—	100,0
2 St. 30 M.	9	1	—	—	97,5
3 Stdn	8	2	—	—	95,0
16 "	3	5	2	—	77,5
23 "	6	3	1	—	87,5

Tab. 140. $CaCl_2$ $0,6n + \frac{n}{40}$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
30 Min.	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
1 St. 30 M.	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
3 "	10	—	—	—	—	100,0
14 "	8	2	—	—	—	95,0
16 "	10	—	—	—	—	100,0
20 St. 30 M.	9	1	—	—	—	97,5
25 Stdn	8	2	—	—	—	95,0
41 "	10	—	—	—	—	100,0
50 "	7	2	1	—	—	90,0

Tab. 141. $NaC_2H_3O_2$ $0,6n + \frac{n}{40}$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
15 Min.	9	1	—	—	—	97,5
30 "	7	2	1	—	—	90,0
45 "	4	3	3	—	—	77,5
1 Stde	2	5	3	—	—	72,5
1 St. 15 M.	6	2	2	—	—	85,0
1 St. 30 M.	4	4	2	—	—	80,0
1 St. 45 M.	4	5	1	—	—	82,5
2 Stdn	3	4	3	—	—	75,0
2 St. 15 M.	3	4	2	1	—	72,5
2 St. 30 M.	1	4	4	1	—	62,5
3 Stdn	—	4	2	4	—	50,0

Tab. 142. Na -Zitrat $0,6n + \frac{n}{40}$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn	6	3	1	—	—	87,5
4 "	—	7	3	—	—	67,5
5 "	—	10	—	—	—	75,0
6 "	—	7	1	—	—	77,5
7 "	—	5	3	2	—	57,5
8 "	—	6	4	—	—	65,0
9 "	—	5	3	2	—	57,5
11 "	—	4	5	1	—	57,5

Tab. 143. Na_2SO_4 $0,6n + \frac{n}{40}$
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	4	5	1	—	—	82,5
5 "	7	3	—	—	—	92,5
6 "	7	3	—	—	—	92,5
7 "	6	3	1	—	—	87,5
9 "	4	5	1	—	—	82,5
22 "	—	2	4	3	1	47,5
25 "	—	2	3	2	3	35,0

Tab. 144. *Na-Tartrat* 0,6 n + ⁿ/₄₀
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	⁴ / ₄	³ / ₄	¹ / ₂	¹ / ₄	0	
20 Min.	10	—	—	—	—	100,0
40 "	7	3	—	—	—	92,5
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
1 St. 30 M.	8	2	—	—	—	95,0
2 Stdn	9	1	—	—	—	97,5
3 "	10	—	—	—	—	100,0
5 "	8	2	—	—	—	95,0
7 "	9	1	—	—	—	97,5
9 "	5	5	—	—	—	87,5
24 "	7	2	1	—	—	65,0
28 "	3	4	3	—	—	50,0

Tab. 145. *MgSO₄* 0,6 n + ⁿ/₄₀
Sodalösung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	⁴ / ₄	³ / ₄	¹ / ₂	¹ / ₄	0	
1 Stde	10	—	—	—	—	100,0
2 Stdn	10	—	—	—	—	100,0
4 "	10	—	—	—	—	100,0
6 "	10	—	—	—	—	100,0
7 "	10	—	—	—	—	100,0
9 "	10	—	—	—	—	100,0
22 "	5	5	—	—	—	87,5
23 "	5	5	—	—	—	87,5
24 "	6	3	1	—	—	87,5
26 "	3	6	1	—	—	80,0
28 "	4	5	1	—	—	82,5

Die Tabellen 132—145 zeigen uns, dass die Koagulationsenergie der Anionen und Kationen in bezug auf das Rotkrautplasma in alkalischer Lösung nach folgenden Reihenfolgen abnimmt:

Anionen — *CNS* > *NO₃*, *I* > *Cl* > *C₂H₃O₂* > *Zitrat* > *SO₄* > *Tartrat*;
Kationen — *NH₄*, *K* > *Na*, *Li* > *Mg*, *Ca*.

In der Tabelle 146 sind die Endresultate der 8 Serien der Versuche dargestellt. Die Protokolle sind wegen Raumersparnis nicht angeführt.

Die Wirkung der Anionen in alkalischem Medium.

Übersichtstabelle.

Tabelle 146.

Pflanze	Kation	Konzentration		Anion →
		d. Salzes	d. Lauge	
Zebrina pendula	Natrium	0,3 n.	ⁿ / ₃₀₀₀ KOH	<i>CNS</i> > <i>I</i> > <i>Br</i> > <i>NO₃</i> > <i>Cl</i> > <i>Tartrat</i> , <i>SO₄</i> > <i>C₂H₃O₂</i>
		0,45 n.	ⁿ / ₆₄ NaOH	<i>CNS</i> > <i>I</i> , <i>NO₃</i> , <i>C₂H₃O₂</i> , <i>Cl</i> , <i>SO₄</i>
Rotkohl	Natrium	0,6 n.	ⁿ / ₄₀ Soda	<i>CNS</i> > <i>NO₃</i> , <i>I</i> > <i>Cl</i> > <i>C₂H₃O₂</i> > <i>Zitrat</i> > > <i>SO₄</i> > <i>Tartrat</i>
		0,8 n.	ⁿ / ₁₀₀ NaOH	<i>I</i> > <i>Cl</i> , <i>NO₃</i> , <i>C₂H₃O₂</i> , <i>Tartrat</i> , <i>SO₄</i>

Tabelle 146. (Fortsetzung).

Pflanze	Kation	Konzentration		Anion →
		d. Salzes	d. Lauge	
Zebrina pendula	Kalium	0,2 n.	$\frac{n}{2500}$ NaOH	CNS > I > NO ₃ > Cl > C ₂ H ₃ O ₂ , Tartrat > SO ₄
Rotkohl		0,6 n.	$\frac{n}{40}$ Soda	CNS, NO ₃ , Br, I > Cl > C ₂ H ₃ O ₂ > SO ₄ > Tartrat
		0,8 n.	$\frac{n}{64}$ NaOH	Br > CNS, Cl, I > NO ₃ , C ₂ H ₃ O ₂ , Tartrat, SO ₄
Rotkohl	Ammonium	0,6 n.	$\frac{n}{40}$ Soda	CNS > Br, NO ₃ > I, C ₂ H ₃ O ₂ > Cl > HPO ₄ > Tartrat

Wie uns die Tabellen 132—145 und die Übersichtstabelle 147 zeigen, ist die Wirkung der Salze in alkalischem Medium im Grunde genommen dieselbe, wie in neutralem. Die Aktivität einzelner Ionen im Vergleich zueinander bleibt ungefähr dieselbe, wie auch ohne Lauge, und wir haben hier dieselbe lyotrope Reihenfolge, in welcher die Rodanide am stärksten, die Sulfate am schwächsten wirken. Man sieht hier kein Umladen des Plasmaeiweisses, ungeachtet dessen, dass verschiedene Konzentrationen der Lauge angewandt wurden. Der Einfluss der Lauge macht sich im allgemeinen dadurch geltend, dass die Koagulationsenergie der Salze in Gegenwart der OH-Ionen etwas abgeschwächt wird, was auch im Einklang mit den Befunden anderer Autoren steht¹⁾.

Andererseits ist es bekannt, dass das lebende Plasma der Blätter sich umladen lässt, wenn man die Reaktion des Aussenmediums ändert. Das folgt aus den Versuchen von Ender²⁾. Dieser Autor untersuchte die Beeinflussung der Farbstoffspeicherung (Methylenblau, Neutralrot) durch Salze bei Elodea und anderen Wasserpflanzen. Er fand, dass in neutralem und alkalischem Medium die Exosmose vom Farbstoff durch Neutralsalze gefördert wird, und zwar umso mehr, je grösser die Konzentration eines Salzes ist. Die Wirkungskraft der Kationen der Chloride nimmt zu nach der Reihenfolge:

1) Vgl. Lepeschkin, Zur Kenntnis der Plasmamembran I u. II. Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 28. 1910. S. 98 u. 383.

2) Ender, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 360.

$Na < K < Ca < Mg < Ba < Al$. Die Anionen der Kaliumsalze fördern die Exosmose nach der Reihe:

$NO_3 < Cl < SO_4 < CNS < Tartrat < Zitrat^1$). Die angeführte Anionenreihe, in welcher die Anionen, wie man sieht, in der lyotropen Aufeinanderfolge sich anordnen, und die Kationenreihe betrachtet Endler für das negativgeladene Plasma als typisch (l. c. S. 407).

Die ausschliessliche Stellung *CNS* erklärt der Autor dadurch, dass $NaCNS$ in Wechselwirkung mit dem Farbstoff tritt und deswegen seine Stellung in der Reihenfolge keine zuverlässige ist (l. c. 404, 405).

In Gegenwart der $\frac{n}{6400}$ Oxalsäure im Aussenmedium, kehrt die Anionenreihe um und die Exosmose wird durch die Reihe: $Tartrat < Zitrat, SO_4 < Cl < CNS < NO_3$ gefördert²). Die Kationenreihe kehrt endgültig bei $\frac{n}{3200}$ Oxalsäure um:

$Al < Ba < Mg < Ca < K, Na$; d. h. die ersten Kationen fördern hier den Farbstoffaustritt am wenigsten (l. c. S. 392).

Wir haben somit hier das Umladen der Plasmakolloide in saurer Lösung; die negative Ladung verändert sich in eine positive. Nach den Grenzwerten der Säure, innerhalb welcher die Umkehrung der Anionen- und Kationenreihen stattfindet, bestimmt Endler den isoelektrischen Punkt des Elodeaplasmas. Derselbe liegt nach seinen Ergebnissen zwischen $1,56 \cdot 10^{-4} n$ und $0,78 \cdot 10^{-4} n$ H-Ionen Konzentrationen.

Ferner fand Plotho³), dass zerkleinerte Hyphenstücke verschiedener Schimmelpilze (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Citromyces* und and.) in alkalischem Medium den anodischen, in saurem den kathodischen Wanderungssinn aufweisen.

Aus der Tatsache, dass sich in der alkalischen Lösung dieselbe Anionenreihe wie in der neutralen ergibt, kann man einen zweifachen Schluss ziehen: 1) entweder befinden sich im Plasma keine ausschlaggebenden positiven Eiweisskörper, 2) oder diese oder jene koagulierende Wirkung der Salze ist ein sekun-

1) Ausser den obenangeführten Ionen ist bei Endler noch das NO_2 -Ion genannt.

2) Endler, II Mitteilung, S. 385.

3) V. Plotho, Biochem. Zeitschr. Bd. 110. 1920. S. 49.

därer Prozess, der von einem primären physiologischen Vorgang abhängig ist.

Um diese Fragen zu entscheiden, müssen wir noch wissen, wie sich die Salzwirkung in saurem Medium verändert. Wenn unsere Voraussetzung bezüglich der positiven Eiweissstoffe im Pflanzenplasma unbegründet ist, dann müssen wir zum Schlusse kommen, dass im Plasma hauptsächlich negative Proteine vorkommen. In diesem letzteren Falle könnten wir in saurem Medium eine Veränderung der Anionenwirkungen infolge der Umladung des Plasmaeiweisses erwarten, vorausgesetzt, dass die lyotrope Anionenreihe aus der unmittelbaren und direkten Wirkung der Salze auf das Plasmaeiweiss resultiert.

Der Kürze wegen sind in der folgenden Übersichtstabelle nur die Endresultate der Versuche mit *Zebrina pendula* in saurer Lösung angeführt.

Übersichtstabelle der Versuche mit Schnitten von *Zebrina pendula* in saurem Medium.

Konzentration der Lösungen $0,2n + \frac{n}{6000} \text{COOH} - \text{COOH}$.

Tabelle 147.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	KCNs	KBr	KI	KNO ₃	KCl	K ₂ H ₂ O ₄	K-Tartrat	K-Zitrat	K ₂ SO ₄
	Jede Zahl ist das Mittelprozent der plasmolysierten Zellen in 10 Schnitten.								
1 Stde	100,0	98,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 Stdn	100,0	93,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3 „	29,8	63,9	84,7	90,0	92,9	100,0	100,0	100,0	100,0
4 „	12,7	15,2	54,9	75,8	85,4	100,0	100,0	100,0	100,0
5 „	0	19,6	38,4	86,6	90,6	100,0	100,0	100,0	100,0
6 „	—	3,7	18,1	59,6	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0
7 „	—	1,7	3,0	70,1	78,8	95,0	100,0	100,0	100,0
8 „	—	0	0	76,0	77,7	86,2	82,0	100,0	100,0
9 „	—	—	—	38,6	70,9	88,1	84,0	88,9	100,0
10 „	—	—	—	30,6	78,0	69,4	95,8	98,2	100,0
12 „	—	—	—	25,6	47,1	87,0	84,7	92,3	100,0
14 „	—	—	—	24,0	33,6	70,2	80,9	75,0	100,0
Das Mittel	17,3	24,7	33,3	64,8	78,7	91,3	93,9	96,2	100,0

Aus den Ergebnissen der Versuche in saurem Medium (Tab. 148) folgt, dass die koagulierende Wirkung der Salze in bezug auf das Protoplasma nach derselben Reihenfolge — $CNS, Br > I > NO_3 > Cl > C_2H_3O_2, Tartrat, Zitrat > SO_4$ vor sich geht, wie in alkalischem und neutralem Medium. Die Versuche mit den Rotkrautschnitten ergaben etwa dieselben Resultate.

Ohne die ausführlichen Protokolle darzustellen, führen wir in der Übersichtstabelle 148 die Endergebnisse mit den Rotkrautschnitten in saurem Medium an.

Übersichtstabelle.

Wirkung der Anionen der Salze in saurem Medium.

Versuchspflanze — Rotkohl.

Tabelle 148.

Kation	Konzentration		Anion →
	der Salze	der Oxal- säure	
Kalium	0,5 n.	n/2500	$CNS, Br > I > NO_3 > C_2H_3O_2, Cl, Tartrat, SO_4$
	0,75 n.	n/2000	$Br > NO_3, I, CNS > Cl > C_2H_3O_2, Tartrat, SO_4$
Natrium	0,5 n.	n/2500	$CNS > I, NO_3 > C_2H_3O_2 > Cl, Tartrat, SO_4$
	0,75 n.	n/2000	$I > NO_3, Cl, Br > C_2H_3O_2, Tartrat, SO_4$
Ammonium	0,5 n.	n/2500	$CNS > I > C_2H_3O_2, Br, NO_3, Cl, SO_4$
	0,75 n.	n/2000	$I, Br > NO_3 > Cl > C_2H_3O_2 > SO_4$

Aus den Versuchen in alkalischem und saurem Medium folgt unmittelbar, dass die Aktivität der Salze in keinem engeren Zusammenhang (im Sinne der Umladbarkeit des Plasmas) mit der Reaktion des Aussenmediums steht, denn wie die Wasserstoff- so auch die Hydroxyliionen haben keinen tieferen Einfluss auf die Wirkung der Salze. Ausser den angeführten Konzentrationen der Säure, haben wir auch Versuche mit vielen anderen Konzentrationen mit demselben Erfolg angestellt. Wenn sich in der Plasmamembran negative Eiweisskörper befinden sollten, wie das die meisten Autoren annehmen, so müsste die Umladung schon

in einer Säurekonzentration über $\frac{n}{6400}$ erfolgen, wie das Endler¹⁾ zeigte. Ferner hat Czapek²⁾ gefunden, dass die Exosmose von Gerbsäure, Anthokyan und and. bei einer Säurekonzentration von $\frac{n}{6400}$ beginnt, welche Erscheinung nach der Meinung von Endler³⁾ mit dem Umladen des Protoplasten verbunden ist. Dass das Plasma von Pflanzenzellen bei solcher Säurekonzentration intakt bleibt, das haben die Versuche von Kahlenberg und True gezeigt⁴⁾. In der neuesten Zeit sind interessante Untersuchungen über die Umladbarkeit des Plasmas von Tier- und Pflanzenzellen seitens der Schüler Höbers — Collander⁵⁾ und Heesch⁶⁾ gemacht.

Collander war bestrebt, bei der Plasmolyse elektroosmotische Vorgänge bei Pflanzenzellen (*Rhoeo discolor*) zu finden. Zu diesem Zweck wirkte er auf die Zellen mit kapillaraktiven Elektrolyten ein, und zwar mit organischen Säuren, wie Wein- und Milchsäure, und mit Aluminium- und Lantansalzen. Diese Verbindungen rufen bei der Elektrosmose bei toten Membranen verschiedene starke Abweichungen hervor.

Von dieser Tatsache ausgehend, untersuchte Collander den Einfluss dieser Salze auf den Wasserdurchtritt bei der Plasmolyse bei Pflanzenzellen. Die Plasmolyse ging aber unter dem Einflusse dieser Salze ganz normal vor sich, und es liessen sich keine Abweichungen vom gewöhnlichen und typischen Prozess feststellen. Daraus schliesst der Autor, dass die Plasmamembran von *Rhoeo* sich unter den beschriebenen Versuchsbedingungen nicht umladet⁷⁾.

Nichtsdestoweniger gelang es Heesch⁸⁾ bei Anwendung einer besonderen Methodik, gewisse Pflanzenzellen, wie Hefezellen, Sporen von *Lycopodium*, ferner auch Leukozyten mit den Lantansalzen umzuladen. Es hat sich dabei erwiesen, dass gewisse Stoffe, wie Albumin und Gelatine, als Sensibilisatoren

1) Endler, Biochem. Zeitschr. Bd. 45. 1912. S. 359.

2) Czapek, Über eine Methode zur Bestimmung der Oberflächenspannung lebender Zellen. Jena. 1910.

3) Endler, l. c.

4) Kahlenberg und True, Zeitschr. für physikal. Chemie Bd. 22. 1897. S. 473. (Referat).

5) R. Collander, Pflügers Arch. Bd. 185. 1920. S. 224.

6) K. Heesch, Pflügers Arch. Bd. 190. 1921. S. 198.

7) Collander, l. c.

8) Heesch, l. c.

das Umladen fördern. Es verdient hervorgehoben zu werden, dass während Albumin als guter Sensibilisator dient und in eiweisshaltigen Lösungen das Umladen von Plasma bei zweimal schwächerem Lantangehalt, als ohne Eiweiss, stattfindet, — die Lipide: Lezithin und Cholesterin das Umladen von Pflanzenplasma überhaupt nicht begünstigen.

Bezugnehmend auf die Tatsache, dass die Reaktion des Mediums keinen wesentlichen Einfluss auf die koagulierende Wirkung der Salze ausübt, gelangen wir zur zweiten Voraussetzung — und zwar, dass die Wirkung der Salze bei unseren Versuchen von einem anderen physiologischen Prozess abhängig ist, der als primärer anzusehen ist. Dieser Schluss wird auch durch das Verhalten der Kationen der Salze zum Plasma bestätigt.

Die Kationen der Alkalisalze lassen sich nach ihrer Wirkung nicht überall in derselben Reihenfolge anordnen. Die Ursache dieses Umstandes liegt, wie darauf schon früher hingewiesen wurde, darin, dass der Unterschied zwischen den Kationenwirkungen sehr wenig ausgeprägt ist und in der Mehrzahl der Fälle innerhalb der Grenzen des Versuchsfehlers liegt. Am besten ist der Aktivitätsunterschied der Kationen bei der Konzentration $0,2n$ (Zebrinaschnitte) ausgeprägt, hier haben wir die Reihenfolge $K > NH_4 > Na$.

Diese Kationenreihe ist ebenso, wie die der Anionen, eine umgekehrte Koagulationsreihe des nativen (negativen) Eiweisses.

Im allgemeinen ist die Kationenreihe der Alkalisalze nicht so charakteristisch für die Wirkung dieser Salze, wie die Anionenreihe. Insbesondere ist aber die Aktivität der Kationen der Erdkalien im Vergleich mit der der Alkalikationen merkwürdig.

Wir haben oben (S. 73) gesehen, dass die koagulierende Wirkung der ein- und zweiwertigen Kationen in bezug auf das Plasma nach folgender Reihe abnimmt:

$K > NH_4 > Na > Sr, Ba, Mg, Ca$, wobei die zweiwertigen Kationen schwächer, als die einwertigen wirken.

Wenn die Plasmakoagulation ein primärer Prozess im Sinne der unmittelbaren Wirkung der Salze auf das Plasmaeiweiss wäre, so müsste die Koagulationskraft der Erdalkalien viel grösser sein, als die der Alkalisalze; hier ist es aber umgekehrt. Wie bekannt, sind z. B. die durch Erdkalien erzeugten Eiweissfällun-

gen irreversibel, die durch die Alkalisalze — reversibel¹⁾. Bei der Koagulation des Alkalieiwisses (negatives Eiweiss) wirken die Erdalkalien bedeutend stärker, als die Alkalisalze. So sagt Pauli²⁾: ... „zwischen dem Einfluss von Alkaliionen und der zweiwertigen Erdalkaliionen (und *Mg.*) ... ist bei Laugeneiweiss der Unterschied sehr ausgeprochen. In Konzentrationen, in denen die Alkaliionen kaum oder gar nicht wirken, veranlasst die Gruppe der Erdalkaliionen eine vollständige grobflockige Hitzekoagulation“... Es verdient hier hervorgehoben zu werden, dass das Magnesium beim Alkalieiwiss nach seiner Wirkungsweise sich an die Gruppe der Erdalkalien anschliesst, während es beim nativen Eiweiss analog den schwächeren Alkaliionen wirkt.

Ferner hat man gefunden, dass *Mg* und die Erdalkaliionen bei der Fällung von Lezithin- und Cholesterinemulsion eine bedeutend stärkere Koagulationskraft aufweisen, als die Alkaliionen³⁾. Aus dem Obengesagten ist ersichtlich, dass überall bei der Wirkung der Neutralsalze auf tote Kolloide, zweiwertige Kationen eine viel grössere Fällungskraft aufweisen, als die einwertigen, und im allgemeinen sind in der Kolloidchemie solche Fälle unbekannt, wo die koagulierende Wirkung der Neutralsalzkationen mit der Vergrösserung der Wertigkeit kleiner wird. Umgekehrt, wie das insbesondere deutlich bei den Suspensionskolloiden hervortritt, wächst die koagulierende Energie mit der Wertigkeit der koagulierenden Ionen. So verhalten sich für das Hydrosol des Arsensulfids die Konzentrationen der Salze, die einen gleichen Fällungseffekt hervorrufen, $K_1 : K_2 : K_3 = 350 : 20 : 1$, wo die Zahlen bei *K* die Wertigkeit der Kationen bedeuten. Wie man sieht, hat hier das zweiwertige Kation eine $17\frac{1}{2}$ mal grössere Fällungskraft als das einwertige⁴⁾.

Bekanntlich hat bei der Koagulation von Suspensionskolloiden in Salzen nur ein Ion die Hauptbedeutung. Die Kolloide des Plasmas dürfen wohl emulsoider Natur sein und die Bedeutung der Wertigkeit des Kations bei der Koagulation tritt nicht so scharf hervor, denn hier sind die beiden Ionen von Bedeu-

1) L. Kassuto, Kolloidchemie 1915. S. 110 (russisch).

Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 112.

2) Pauli und Handowsky, Biochem. Zeitschr. Bd. 24. 1910. S. 241.

3) Porges und Neubauer, Biochem. Zeitschr. Bd. 7. 1907. S. 153.

4) L. Kassuto, l. c. S. 101.

tung¹⁾. Nichtsdestoweniger verhalten sich in einigen Fällen auch die stabilen Kolloide analog den instabilen, insbesondere wenn den Kolloidteilchen eine starke Ladung durch das Einführen von Wasserstoff-, Hydroxyl- oder polyvalenten Ionen gegeben worden ist²⁾. Im Plasma sind stets verschiedene Elektrolytionen vorhanden, und aus dem Grunde können wir voraussetzen, dass die Biokolloide des Plasmas mehr oder weniger ionisiert sind³⁾ und mit den Eigenschaften der stabilen Kolloide zugleich auch die der instabilen aufweisen.

Es sei hier noch hervorgehoben, dass die kolloidchemischen Beziehungen der Neutralsalze zu den Eiweisskörpern nicht ohne weiteres auf das Plasma übertragen werden können aus dem einfachen Grunde, dass bei der Einwirkung eines Salzes auf das Eiweiss die Salzteilchen in innige Berührung mit allen Eiweisspartikelchen kommen und gewisse Änderungen des kolloidalen Zustandes hervorrufen. Bei dem Plasma kommen die Salzteilchen in erster Linie nur mit der Oberflächenschicht in Kontakt, die inneren Schichten aber, deren Desorganisierung durch Neutralsalze, nach unserer Meinung, bei der Giftwirkung eines Salzes den Ausschlag gibt, sind vor der Salzwirkung in sofern geschützt, als ein Neutralsalz von der Oberflächenschicht zurückgehalten wird. Es ist dabei kaum anzunehmen, dass alle Salze gleich leicht die Plasmaoberflächenschicht passieren.

Aus dem Auseinandergesetzten folgt, dass die beiden Ionenreihen, die sich bei der Plasmakoagulation ergeben und die mit den Koagulationsreihen des negativen Eiweisses (das Plasmaeiweiss ist negativ) nicht übereinstimmen, kein Resultat der primären und direkten Koagulation von Plasmaproteinstoffen sind, sondern als Folge von einem anderen selbstständigen physiologischen Prozess anzusehen sind.

Die Untersuchungen über die Wirkung der Salze bei verschiedenen Aussenfaktoren haben ergeben, dass alle Faktoren, die das Eindringen der Salze in das Plasma fördern, wie z. B. die

1) Handowsky l. c. S. 112 ff.

Höber, Physikalische Chemie etc. S. 307.

2) L. Kassuto, l. c. S. 109.

3) Pauli, Kolloidchemie der Muskelkontraktion. Leipzig. 1912. S. 8.

sonst nicht schädliche Erhöhung der Temperatur und die stärkere Belichtung, gleichzeitig auch die koagulierende Wirkung der Salze steigern.

Die folgenden Versuche zeigen uns den Einfluss dieser Aussenfaktoren auf die Wirkung der Salze.

Es wurden parallel Versuche mit Rotkrautschnitten (von demselben Blatt) mit denselben Salzlösungen bei gleichen übrigen Aussenbedingungen im Dunkeln und im Hellen (in einem sonnigen Raume) angestellt. Die Temperatur war in beiden Fällen annähernd gleich: 23°—24° C¹).

Zwecks einer grösseren Zuverlässigkeit der Resultate wurden in einigen Fällen (vgl. Tab. 120—153) gleichzeitig doppelte Serien von Versuchen angestellt.

Tabelle 149. NaI 0,48 n.
Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 "	3	5	2	—	—	77,5
1 Stde	6	3	1	—	—	87,5
1 St. 20 M.	1	4	2	2	*1	55,0
1 St. 40 M.	—	5	1	1	*3	47,5
2 Stdn	—	3	2	2	*3	37,5
2 St. 20 M.	—	1	1	2	*6	17,5
2 St. 40 M.	—	—	1	4	*5	15,0
3 Stdn	—	—	1	2	*7	7,5
3 St. 20 M.	—	—	—	1	*9	2,5
Das Mittel						44,7

Tabelle 150. NaI 0,48 n.
Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d.Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 "	5	4	1	—	—	85,0
1 Stde	4	4	1	1	—	77,5
1 St. 20 M.	—	3	4	1	*2	45,0
1 St. 40 M.	—	3	2	1	*4	35,0
2 Stdn	—	1	2	2	*5	22,5
2 St. 20 M.	—	—	3	2	*5	20,0
2 St. 40 M.	—	1	1	3	*5	20,0
3 Stdn	—	—	—	1	*9	2,5
3 St. 20 M.	—	—	—	—	*10	0
Das Mittel						40,7

Das Mittelprozent aus 2 Versuchen = 42,7%.

1) Die Temperatur wurde hier nur einmal mit den gewöhnlichen Zimmerthermometern gemessen, und deswegen sind grössere Schwankungen als ein Grad nicht ausgeschlossen.

Tabelle 151. *NaI* 0,48 n.
Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 "	10	—	—	—	—	100,0
1 Stde	5	3	2	—	—	82,5
1 St. 20 M.	5	4	1	—	—	85,0
1 St. 40 M.	4	2	3	1	—	72,5
2 Stdn	4	5	1	—	—	80,0
2 St. 20 M.	4	4	2	—	—	75,0
2 St. 40 M.	4	3	2	1	—	52,5
3 Stdn	2	3	1	3	*1	55,0
3 St. 20 M.	4	3	2	1	—	55,0
Das Mittel						75,7

Tabelle 152. *NaI* 0,48 n.
Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche.					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 "	9	1	—	—	—	97,5
1 Stde	3	2	4	1	—	67,5
1 St. 20 M.	4	3	3	—	—	77,5
1 St. 40 M.	5	2	1	2	—	75,0
2 Stdn	2	5	2	1	—	70,0
2 St. 20 M.	2	3	2	3	—	60,0
2 St. 40 M.	1	3	2	3	1	50,0
3 Stdn	2	3	2	3	—	60,0
3 St. 20 M.	2	3	3	2	—	62,5
Das Mittel						72,0

Das Mittelprozent aus 2 Versuchen = 73,8⁰/₀.

Zwecks einer besseren Übersicht der Resultate sind in der Tabelle 154 die Mittelprocente aus je zwei Versuchen (Tab. 149, 150, 151, 152) dargestellt und das Verhältnis zwischen den im Lichte und im Dunkeln koagulierten Zellen ausgerechnet.

Mittelresultate der *NaI*-wirkung (0,48 n) im Lichte und im Dunkeln.

Tabelle 153.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösungen.		10 Min.	30 Min.	1 Stde	1 St. 20 M.	1 St. 40 M.	2 Stdn	2 St. 20 M.	2 St. 40 M.	3 Stdn	3 St. 20 M.
Mittelproz. der koagul. Zellen.	im Lichte	0	18,8	17,8	50,0	58,8	80,0	81,3	81,3	95,0	98,8
	im Dunkeln	0	1,3	25,0	18,8	26,3	25,0	32,5	48,8	42,5	41,3
Das Verhältnis zwischen den koagul. Zellen im Lichte und im Dunkeln.		—	14,4	0,7	2,6	2,2	3,2	2,5	1,7	2,2	2,4

Wie man aus diesem Vergleich (Tabelle 153) sieht, ist während der ganzen Versuchszeit das Mittelprozent der toten Zellen im Hellen bedeutend grösser als im Dunkeln. Während im Hellen nach

3 Stdn 20 Min. beinahe alle Zellen (98,8%) abgestorben sind, ist im Dunkeln mehr als die Hälfte der Zellen (58,7%) noch lebend. Wenn wir nicht die erste Stunde des Versuchs in Betracht ziehen wollen, wo die Wirkung des Salzes noch nicht ganz gleichmässig ist, so sehen wir, dass in späteren Zeitabschnitten die koagulierende Wirkung des Salzes im Hellen ungefähr zweimal grösser ist, als im Dunkeln. Vergleichen wir die Mittelwerte der plasmolysierbaren Flächen der Schnitte im Hellen (42,7% — Tab. 149, 150) und derjenigen im Dunkeln (73,8% — Tab. 151, 152), so ergibt sich, dass bei Verdunkelung die Mittelzahl der noch plasmolysefähigen Zellen ungefähr 1,7 mal grösser ist, als bei Belichtung. Obwohl diese Daten wegen der subjektiven Schätzungsmethode keineswegs auf eine absolute Genauigkeit präbendieren, so geben sie uns doch nichtdestoweniger eine klare Vorstellung über die Wirkungsdifferenz eines Salzes bei Veränderung der Aussenfaktoren.

Diese Daten stimmen ziemlich gut mit der von Lepeschkin und Tröndle¹⁾ gefundenen Permeabilitätssteigerung des Plasmas für Salze bei Belichtung überein. Nach Lepeschkin steigt bei Belichtung die Durchlässigkeit bei *Spirogyra* für KNO_3 1,3—1,8 mal.

Wir können daher den Schluss ziehen, dass die grössere Koagulationsenergie der Salze bei Belichtung von einer grösseren Durchtrittsfähigkeit der Salze bei dieser Bedingung abhängig ist. Dieser Befund ist für das Verständnis der Neutralsalzwirkungen auf das Plasma von grosser Bedeutung.

Die Giftigkeitssteigerung des Natriumjodids bei Belichtung ist keine spezifische Eigenschaft nur dieses Salzes, sondern sie ist auch einem jeden Salze in dem einen oder anderen Grade eigen. Am besten tritt diese „Lichtgiftigkeit“ bei den ersten Gliedern der lyotropen Reihe hervor (bei den Rhodaniden, Iodiden etc.), d. h. insbesondere bei den wirksamsten Salzen.

Die folgenden Ergebnisse zeigen uns die Wirkung eines anderen Salzes, nämlich des Natriumbromids, parallel bei Belichtung und Verdunkelung.

1) W. W. Lepeschkin, Pflanzenphysiologie. 1912. S. 88, 89 (russisch).
W. W. Lepeschkin, Beihefte zum botan. Zentralblatt Bd. 24. 1909. S. 334.

A. Tröndle, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd 27. 1909. S. 71. Jahrb. für Bot. Bd. 48. 1910. S. 171.

Tab. 154. *NaBr* 0,5 n. 22—23°.
Bei Belichtung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	1/2	1/4	0	
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0
30 "	8	2	—	—	—	95,0
60 "	4	3	2	1	—	75,0
1 St. 20 M.	4	1	1	2	*2	62,5
1 St. 40 M.	—	1	2	2	*5	22,5
2 Stdn	—	1	—	1	*8	10,0
2 St. 20 M.	—	—	—	3	*7	7,5
2 St. 40 M.	—	—	1	—	*9	5,0
3 Stdn	Die Zahl der Schnitte.	—	—	—	*10	0
Das Mittel						41,9 %

Tab. 155. *NaBr* 0,5 n. 20—21°.
Bei Verdunkelung.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %	
	4/4	3/4	1/2	1/4	0		
10 Min.	10	—	—	—	—	100,0	
30 "	10	—	—	—	—	100,0	
60 "	9	1	—	—	—	97,5	
1 St. 20 M.	5	3	2	—	—	82,5	
1 St. 40 M.	6	2	2	—	—	85,0	
2 Stdn	5	2	1	2	—	75,0	
2 St. 20 M.	4	1	2	2	*1	62,5	
2 St. 40 M.	2	3	2	2	*1	57,5	
3 Stdn	Die Zahl der Schnitte.	1	3	1	1	*4	40,0
Das Mittel						77,8 %	

Aus den Tabellen 154 und 155 sieht man, dass die Ergebnisse der Versuche mit Natriumbromid vollständig mit den Daten der Tab. 150—154 übereinstimmen. Wie dort, so auch hier bleibt nach einer zweistündigen Verdunkelung mehr als die Hälfte der Zellen lebend, d. h. plasmolysefähig, während nach einer zweistündigen Belichtung beinahe alle Zellen abgestorben sind. Der Vergleich der Zahlen, welche die Grösse der geschädigten Schnittfläche ausdrücken, zeigt bei *NaBr* ungefähr dasselbe, wie auch bei *NaI*.

Übersichtstabelle der Wirkung des *NaBr* bei Belichtung und Verdunkelung.

Tabelle 156.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösungen.		10 Min.	30 Min.	60 Min.	1 St. 20 M.	1 St. 40 M.	2 Stdn	2 St. 20 M.	2 St. 40 M.	3 Stdn
Mittelproz. der koagul. Zellen.	im Lichte	0	5,0	25,0	37,5	77,5	90,0	92,5	95,0	100,0
	im Dunkeln	0	0	2,5	17,5	15,0	25,5	37,5	42,5	60,0
Das Verhältnis zwischen den koagul. Zellen im Lichte und im Dunkeln.		—	∞	10,0	2,1	5,1	3,5	2,4	2,2	1,6

Man sieht, dass hier, ebenso wie bei *NaI* (vgl. Tab. 153), ein gewissermassen stabiles Verhältnis zwischen den Wirkungen des Salzes, im Hellen und im Dunklen nur nach Ablauf der ersten Stunde sich einstellt. Übrigens ist die Schwankung des Verhältnisses in diesem Falle etwas grösser, als bei *NaI*, was sich dadurch erklären lässt, dass bei *NaBr* die Zahlen nur von einem Versuch herrühren, während sie bei *NaI* die Mittelwerte von je zwei Versuchen darstellen.

Im allgemeinen sieht man, dass die Ergebnisse beider Versuchsserien ziemlich gut übereinstimmen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass in beiden Fällen (insbesondere im letzteren) ein kleiner Temperaturunterschied die Giftwirkung des Salzes im Hellen förderte, denn bekanntlich steigt die Plasmapermeabilität mit der Temperatursteigerung¹⁾. In der neuesten Zeit hat Delf²⁾ gezeigt, dass die Durchlässigkeit des Plasmas für Wasser bei einer Temperaturerhöhung um je 10°C (in den Temperaturgrenzen von 5°—40°C) 1,5 bis 3 mal steigt; dabei erwies sich, dass bei niedrigen Temperaturen (15°—20°) die Permeabilitätserhöhung verhältnismässig kleiner ist, als bei höheren. Andererseits haben die neuesten Untersuchungen von Blackman und Paine³⁾ mit Hilfe der Leitfähigkeitsmethode (electrical conductivity method) die von Lepeschkin und Tröndle gefundene Permeabilitätssteigerung bei Belichtung in bester Weise bestätigt. Es ist somit sehr wahrscheinlich, dass die grössere Koagulationskraft von *NaBr* bei Belichtung, die als Folge eines grösseren Durchtritts des Salzes durch das Plasma anzusehen ist, bis zu gewissem Grade auch durch diese kleine Temperatursteigerung bedingt ist.

Im gegebenen Falle ist es für uns von geringerer Bedeutung, welche äussere Bedingungen den Durchtritt des Natriumbromids ins Plasma förderten: die Belichtung oder die Temperaturerhöhung. Von grosser Wichtigkeit für uns ist aber die Tatsache, dass alle diejenigen äusseren Faktoren, die die Durchlässigkeit des Plasmas für Salze erhöhen, gleichzeitig auch die Giftwirkung derselben erhöhen und umgekehrt. Daraus können wir schliessen, dass die Permeabilität des Plasmas für Salze derjenige primäre physiologische Prozess ist, von

1) van Rysselberghe, Recueil de l'Institut. bot. Univ. de Bruxelles. Vol. 5. 1902. p. 283.

2) M. Delf, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 283.

3) Blackman and Paine, Ann. of Botany. Vol. 32. 1918. p. 69.

welchem diese oder jene koagulierende Wirkung der Salze abhängt. Die Ursache eines grösseren Durchtrittsvermögens der Salze ist nicht die „Giffigkeit“ derselben, sondern umgekehrt, die Giftwirkung ist als die Folge eines zu grossen Durchtritts der Salze durch das Plasma anzusehen.

Die Permeabilität des Plasmas für Salze ist der durch die physiko-chemische Beschaffenheit der Plasmaoberflächenschichten bedingte primäre Faktor, und das Durchlässigkeitsvermögen des Plasmas für Salze ist vollständig unabhängig von der nachfolgenden Giftwirkung der eingedrungenen Salzlösungen.

Aus dem Gesagten folgt, dass das Plasma für diejenigen Salze der lyotropen Reihe, die, wie die Rhodanide, Iodide u. and., für das Plasma sehr giftig sind, auch eine grössere Permeabilität haben muss. Somit sind die Plasmakoagulationsreihen: $CNS > I > Br > NO_3 > C_2H_3O_2 > Cl > Tartrate > > Zitrates > SO_4$ und $K > NH_4 > Na > Sr, Mg, Ba, Ca$ auch gleichzeitig Permeabilitätsreihenfolgen, d. h. die Koagulationsenergie der Salze verändert sich parallel der Permeabilität des Plasmas für die betreffenden Salzlösungen. Folglich muss die Permeabilität des Plasmas für Rhodanide, Iodide und für andere diesen in der lyotropen Reihe nahestehende Salze eine verhältnismässig grosse, für Tartrate, Zitrates, Sulfate aber eine ziemlich kleine und für Chloride und Azetate eine mittelmässige sein.

Wenn wir von der Hypothese ausgehen, dass die Giftwirkung der Neutralsalze eine Funktion der Permeabilität ist, so wird uns auch die schwächere Wirkung der Erdalkalien verständlich, indem wir dabei voraussetzen müssen, dass das Durchtrittsvermögen dieser Salze viel kleiner als das der Alkalisalze ist.

Wir sind nun indirekterweise zum Schluss gekommen, dass beim Durchtritt der Neutralsalze durch das Plasma die lyotrope Reihenfolge massgebend ist. In dem folgenden, zweiten Teile unserer Arbeit wollen wir dieses, soweit es methodisch möglich ist, durch direkte Messungen der eingedrungenen Salzmenge beweisen¹⁾.

1) Die neueste Literatur der in dieser Abhandlung behandelten Fragen ist bis zum Juli 1922 berücksichtigt worden.

Zweiter Teil.

Über die Methoden der Permeabilitätsbestimmung bei Pflanzenzellen.

Alle Methoden der Permeabilitätsbestimmung bei Pflanzenzellen können in zwei Gruppen geteilt werden.

Zur ersten Gruppe gehören alle diejenigen Methoden, bei denen die in die Zellen eingedrungene Salzmenge indirekt durch subjektive Schätzung bestimmt wird. In erster Linie gehören hierher alle solchen plasmolytischen Methoden, bei welchen die Veränderung der Grösse der Plasmolyse, oder einfach der Grad der letzteren, nach Augenmass bestimmt wird.

Lepeschkin¹⁾ war wohl einer der ersten, der eine Methode der Permeabilitätsbestimmung des Plasmas für Salze mittels der isotonischen Koeffizienten ausarbeitete. Der mit dieser Methode erhaltene „Permeabilitätsfaktor“ „ μ “ ist eine der Permeabilität der Plasmamembran proportionale Grösse $\mu = 1 - \frac{K_1}{K}$, wo K_1 der auf plasmolytischem Wege bestimmte isotonische Koeffizient des zu untersuchenden Salzes, K der theoretisch ausgerechnete isotonische Koeffizient ist.

Ganz analog bestimmt die Permeabilität des Plasmas auch Tröndle²⁾. Nach ihm ist der Permeabilitätsfaktor $\eta = 1 - \frac{i_1}{i}$, wo i_1 und i die plasmolytisch und theoretisch bestimmten Dissoziationsfaktoren der zu untersuchenden Verbindung sind. Es fällt nicht schwer, die Identität der beiden angeführten Methoden der Permeabilitätsbestimmung zu ersehen, denn die Dissoziationsfaktoren sind den isotonischen Koeffizienten proportionale Grössen.

1) W. W. Lepeschkin, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 27. 1909. S. 129.

W. W. Lepeschkin, Pflanzenphysiologie. 1912. S. 87 (russisch).

2) A. Tröndle, l. c.

In der letzten Zeit haben Fitting¹⁾ und Tröndle²⁾ plasmolytische Methoden für eine direkte Bestimmung der Salzaufnahme in die pflanzliche Zelle ausgearbeitet. Beide Autoren nehmen als Merkmal für den Durchtritt verschiedener Salze durch das Plasma den Rückgang der Plasmolyse in diesen Salzlösungen an.

Alle beschriebenen Methoden sind gut bei der, so zu sagen, qualitativen Bestimmung der Permeabilität des Plasmas für Salze anwendbar, wenn bloss ein Konstatieren des Eindringens eines Salzes ins Plasma genügt und wenn man nicht die eingedrungene Menge festzustellen braucht. Wünscht man aber verschiedene Grade der Plasmapermeabilität für eine grössere Anzahl von Salzen zu vergleichen, so versagt häufig die plasmolytische Methode wegen der subjektiven Schätzung des Plasmolysegrades, wobei feinere Abstufungen des letzteren sich nicht immer mit Sicherheit feststellen lassen.

Einige Methoden sind an bestimmte Pflanzen angepasst, wie z. B. die „grenzplasmolytische Methode“ von Fitting bei *Rhoeo discolor*, wo die anthokyanhaltigen Epidermiszellen sehr wenig durchlässig für Salze sind³⁾, und wo daher feinere Unterschiede im Eindringen der Salze schwer festgestellt werden können.

Andererseits ist die Anwendung der plasmolytischen Methode (Tröndle und and.) bei Objekten, die für Salze gut durchlässig sind, für unsere Zwecke aus dem Grunde unbrauchbar, weil der Grad und die Zeit des Rückganges der Plasmolyse bei verschiedenen Zellen auch eines und desselben Objektes in der Regel sehr verschieden sind, und daher bei der subjektiven Schätzung des Totalbildes eines plasmolysierten Schnittes feinere Differenzen der Permeabilität für verschiedene Salze mit einer zuverlässigen Genauigkeit kaum zu bestimmen sind. In einigen Fällen macht das Fehlen von Anthokyan in den Zellen gewisse Momente für die Entscheidung der Frage sehr schwierig, ob man es mit einer echten Plasmolyse oder mit einer „falschen“ (Osterhout)⁵⁾ zu tun hat; übrigens kann man auch nicht sicher sein, ob nicht die abnorm hohen Salzkonzentrationen (bis 2-fach normal und höher), die

1) Fitting, Jahrbüch. für wiss. Bot. Bd. 56. 1915. S. 1.

2) Tröndle, Arch. des sciences phys. et nat. Vol. 45. 1918. p. 38, 117.

3) Tröndle, loco cit.

4) Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 14. 1884. S. 465.

5) Osterhout, Science. Vol. 34. 1911. p. 187.

Tröndle bei der Plasmolyse anwendet, das Plasma der Zellen beschädigen.

Zur zweiten Gruppe der Untersuchungsmethoden der Plasma-permeabilität für Salze gehören alle diejenigen Methoden, bei welchen der Grad der Permeabilität mit gewissen der letzteren proportionalen und exakt messbaren Grössen verglichen werden kann.

Eine von diesen Methoden ist von Osterhout¹⁾ in die Wissenschaft eingeführt und bereits von vielen Forschern, wie z. B. Stiles und Jörgensen²⁾, Hind³⁾ und and., angewandt worden. Diese Methode besteht darin, dass zu einem Zylinder übereinander gelegte kreisrunde Gewebestücke in der zu untersuchenden Lösung zwischen Elektroden plaziert werden und nach der Kohlrausch'schen Methode der Widerstand gemessen wird. Es hat sich erwiesen, dass in diesem Falle das Durchtrittsvermögen der Salze durch das Plasma etwa umgekehrt proportional dem Widerstand ist.

Stiles und Jörgensen⁴⁾ haben eine quantitative Wägemethode der Bestimmung der Salzaufnahme durch das pflanzliche Gewebe aus Lösungen ausgearbeitet. Diese Methode besteht darin, dass gleiche Portionen feingeschnittener und gleicher Gewebestücke abgewogen und in die zu untersuchenden Lösungen übergeführt werden. Nach bestimmten Zeitabschnitten wird das Gewicht kontrolliert und die Zunahme desselben ausgerechnet. Die Veränderung, bzw. Zunahme, im Gewicht dient hier als Kriterium zur Beurteilung des Eindringens der Salze in die Zellen.

In der letzten Zeit ist von Höfler⁵⁾ eine neue plasmolytische Methode, die „plasmolytisch-volumetrische Methode“, erfunden worden, die ziemlich genau die in die Zelle eingedrungene Salzmenge zu messen gestattet. Diese Methode ist vorzugsweise bei den zylindrischen Zellen (den Zellen des Grundgewebes bei *Tradescantia elongata*, Markzellen von *Gentiana Sturmi*ana und and.) anwendbar. Bei diesen Zellen hebt sich der Plasmaschlauch

1) Osterhout, Science. Vol. 35. 1912. p. 112. Vol. 36. 1912. p. 350.

2) Stiles and Jörgensen, Ann. of Botany. Vol. 29. 1915. p. 349. Vol. 31. 1917. p. 47.

3) Hind, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 223.

4) Stiles and Jörgensen, Ann. of Botany. Vol. 31. 1917. p. 415.

5) Höfler, Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 35. 1917. S. 706; Bd. 36. 1918. S. 475; Bd. 37. 1919. S. 314.

in hypertonen Lösungen von beiden zylindrischen Enden der Zellwand ab und bildet hier sphärische kugelähnliche Flächen.

Infolgedessen kann man das Volumen eines solchen Plasmaschlauches ziemlich genau ausrechnen, wenn man ihn in Gedanken in den mittleren zylindrischen Teil und in zwei sphärische Enden zerlegt. Durch von Zeit zu Zeit aufeinander folgende Messungen wird es möglich, die Zunahme des Volumens der Vakuole in verschiedenen Salzlösungen zu messen und die eingedrungene Salzmenge auszurechnen.

Vor kurzem veröffentlichte O s t e r h o u t¹⁾ eine neue Methode der Bestimmung des in die Zelle eingedrungenen Salzes. Die in eine Salzlösung gelegten Zellen von *Nitella* werden mit einer feinen Kapillare angestochen und der Zellsaft ausgesogen. Im letzteren werden die diosmierten Stoffe auf mikroanalytischen Wege nachgewiesen. O s t e r h o u t hat mit Hilfe dieser Methode gezeigt, dass andere indirekte Methoden, wie z. B. die Leitfähigkeitsmethode, zuverlässige Resultate geben. Man muss hinzufügen, dass in Fällen, wo andere Methoden versagen, die Leitfähigkeitsmethode unter gewissen Bedingungen sehr feine Veränderungen in der Plasmapermeabilität zu bestimmen gestattet. So haben in der neuesten Zeit B l a c k m a n und P a i n e²⁾ diese Methode mit Erfolg für den Nachweis der Elektrolytexosmose aus den Blattzellen von *Mimosa pudica* bei seismonastischen Bewegungen angewandt. Zu diesem Zweck wird ein abgetrenntes Blatt mit dem Gelenkpolster in das Leitfähigkeitswasser (*conductivity water*) gebracht und die Veränderungen im Widerstand bei der Reizung des Blattes in Betracht gezogen.

Zu den negativen Seiten aller oben beschriebenen Methoden muss man vielleicht den Umstand zählen, dass die Bestimmungen der Permeabilität meistens an Schnitten und Gewebestücken ausgeführt werden, die grosse Wundflächen haben, und dass man nicht sicher sein kann, ob nicht diese Wundflächen die Permeabilität der Zellen beeinflussen. Infolgedessen bevorzugten wir für unsere Zwecke eine solche Methode der quantitativen Permeabilitätsuntersuchung, bei welcher die zu untersuchenden Pflanzenorgane nach Möglichkeit intakt bleiben und die Wundfläche bis auf ein

1) Botan. Centralblatt Bd. 1 (neue Folge). 1922. S. 231.

2) Blackman and Paine, Ann. of Botany. Vol. 32. 1918. p. 69.

Minimum reduziert wird. Zu diesem Zweck wählten wir die sog. Methode der Gewebespannung¹⁾.

Diese Methode besteht im Prinzip darin, dass ein turgeszentes Pflanzenorgan in eine schwachhypertonische Lösung eines Stoffes übergeführt wird. Infolge der Hypertonie wird im Laufe der Zeit eine Kontraktion des Organs stattfinden, bis das osmotische Gleichgewicht sich herstellt.

Dringt der zu untersuchende Stoff in die Zellen ein, so wird der Turgordruck allmählich wiederhergestellt und das Organ beginnt sich wieder auszudehnen. Nach dem Grade des Ausdehnens und der Geschwindigkeit dieses Vorganges kann man über das Eindringen des Stoffes in das Plasma urteilen.

Schon Wieler²⁾ benutzte diese Methode zur Bestimmung der Permeabilität des Pflanzenplasmas für gelöste Stoffe. Er legte junge Pflanzen von *Phaseolus multiflorus*, *Vicia Faba* und dgl. in hypertonische Rohrzucker- und Salpeterlösungen. Die Pflanzen verloren in den Lösungen ihre Turgeszenz, doch nach einiger Zeit wurden die erschlafften Organe wieder steif und man konnte mikroanalytisch die zu untersuchenden Stoffe in den Zellen nachweisen.

Krabbe und Rysselberghe untersuchten mit Hilfe dieser Methode den Temperatureinfluss auf den Wasserdurchtritt durch das Pflanzenplasma.

Krabbe³⁾ legte halbierte Markzylinderstücke von *Helianthus annuus* in die plasmolysierende Zuckerlösung. Die Gewebestücke wurden infolge der Entspannung der Zellwände kürzer und die maximale Verkürzung wurde bei 20° viel schneller erreicht, als bei 0—1°. Ähnliche Resultate erhielt Krabbe auch bei den Versuchen mit jungen Wurzeln von *Phaseolus multiflorus* und *Vicia Faba*. Er zog aus diesen Versuchen den Schluss, dass bei 0—10° C die Wasserfiltration durch das Plasma 5 mal langsamer geschieht, als bei 20° C.

Van Rysselberghe⁴⁾ untersuchte auch mit Hilfe der Gewebespannungsmethode (teilweise auch mit Hilfe anderer Methoden) den Einfluss der Temperatur auf die Diosmose des Wassers,

1) Vgl. Lundegårdh, Svenska Vetenskaps akad. Handl. Bd 47 № 3. 1911. S. 24.

2) Wieler, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 5. 1887. S. 375.

3) Krabbe, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 29. 1896. S. 441.

4) l. c.

und der Lösungen von Salpeter, Glycerin und Harnstoff bei *Spirogyra* und *Tradescantia discolor* und kam dabei zu seinen bekannten und häufig zitierten Schlüssen.

Die Gewebespannungsmethode wurde neuerdings von Lundegårdh¹⁾ bei der Untersuchung der Permeabilität der Wurzelspitzen von *Vicia Faba* für Salze angewandt.

Er legte die abgeschnittene (etwa 10 mm lange) Wurzelspitze von *Vicia Faba* in ein mit einem Ab- und einem Zuflussrohr versehenes Glasschälchen. In den Boden desselben wurde ein Platindraht eingeschmolzen und an letzterem ein mit Paraffin getränktes Korkstück befestigt. In einem gewissen Abstände von diesem Korkstück wurde ein Paraffinbänkchen am Boden festgeschmolzen. Das Objekt wurde mit einer dünnen Platinnadel an das Korkstück befestigt, so dass seine Spitze auf dem Paraffinbänkchen lag. Auf den Wurzeln wurden mit Russ oder mit Eisenoxyd zwei Marken angebracht, die eine unmittelbar an der Spitze, die andere in einer gewissen Entfernung vom Ende. Die Lösungen der zu untersuchenden Stoffe wurden in die Schale durch zwei besondere an ihr angeschmolzene Glasröhren ein- und ausgegossen. Die durch den Einfluss verschiedener Stoffe hervorgerufene Veränderung des Abstandes zwischen den Marken der Wurzel wurde unter dem Mikroskop (Okularmikrom. 2, Objektiv № 1 Leitz) gemessen.

In der neusten Zeit wiederholte Delf²⁾ mit Hilfe der Gewebespannungsmethode (rate of tissue-shrinkage) die Versuche von Rysselberghe. Dazu benutzte er einen ziemlich komplizierten Apparat, der im Prinzip darin bestand, dass ein Stück vom turgeszenten pflanzlichen Gewebe in vertikaler Stellung in der plasmolysierenden Zuckerlösung in einem besonderen Gefäß-Thermostat befestigt wurde. Am oberen Ende des Gewebestückes war ein dünner Faden angebracht, der in Verbindung mit einem besonderen beweglichen Spiegel stand. Auf den Spiegel wurde der Lichtstrahl einer elektrischen Lampe gerichtet, der auf eine Skala geworfen wurde. Auf solchem Wege wurden am erwähnten Gewebestück die feinsten Veränderungen in der Länge sichtbar.

Für unsere Untersuchungen wandten wir Lundegårdh's Gewebespannungsmethode an, die wir etwas vereinfachten. Als

1) l. c.

2) M. Delf, Ann. of Botany. Vol. 30. 1916. p. 283.

Untersuchungsobjekt dienten junge Wurzeln von *Lupinus luteus*. Die von H a a g e und S c h m i d t (Erfurt) bezogenen Samen mussten in destilliertem Wasser ein- bis zweimal 24 Stunden quellen und wurden nachher in feuchten Sägespänen im Gewächshaus gezogen. Für die Versuche dienten 25—40 mm lange Hauptwurzeln. Vor dem Versuch wurden die Wurzeln zur Entwicklung einer guten Turgeszenz 30 Min. in destilliertem Wasser gehalten. Die Beobachtungen wurden an den abgeschnittenen (10—15 mm. langen) Wurzelspitzen ausgeführt.

Eine abgeschnittene Wurzelspitze wurde in einer Schale an einem Paraffinblock mit einer Glasnadel so befestigt, dass die obere Fläche der Wurzel nach Möglichkeit horizontal zu liegen kam, um so das Mikroskopieren zu ermöglichen. Zu diesem Zweck stützte sich das lose Ende der befestigten Wurzelspitze auf eine Paraffinunterlage bzw. Glasplatte von entsprechender Höhe.

An der auf solche Weise befestigten Wurzel wurden vorläufig zwei Marken mit Kienruss (bzw. Tusche) angebracht: die eine ganz an der Spitze, die andere in einem Abstand von etwa 6 mm. Die Distanz zwischen den Marken wurde wiederholt in Wasser unter dem Mikroskop gemessen (Okularmikrom. No 2, Objektiv No 1* Leitz), nachher wurde an Stelle des Wassers eine schwach hypertonische Salzlösung gebraucht.

Um mit dieser Methode durchaus vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen zwei Bedingungen erfüllt werden. Erstens müssen die angewandten Salzlösungen schwachhypertonisch sein. Bekanntlich ist die Zellwand bei jungen Zellen stark angespannt, im turgorlosen Zustande aber wird die Zellwand entspannt und die Dimensionen der Zellen werden kleiner. Nach den Daten von K r a b b e und S c h w e n d e n e r¹⁾ erreicht die Turgorspannung der Zellwand bei jungen Wurzelspitzen von *Phaseolus multiflorus* und *Vicia Faba* durchschnittlich 15 %; etwa dieselbe Grösse fand P a n t a n e l l i²⁾ für die Hyphen gewisser Schimmelpilze. In einer hypertonischen Lösung kontrahiert in der ersten Zeit die Zellwand bis zur völligen Erschlaffung, wobei der Plasmaschlauch sich noch nicht von der Zellwand abhebt. Auf dieser Stufe der osmotischen Wasserbewegung entsprechen

1) K r a b b e und S c h w e n d e n e r, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 25. 1893. S. 323.

2) P a n t a n e l l i, Jahrbücher für wiss. Botan. Bd 40. 1904. S. 303.

die Veränderungen der Zellwanddimensionen den Veränderungen in der Grösse des Plasmaschlauches. Im Weiteren wird unter dem Einflusse der osmotischen Kräfte das Plasma von der Zellwand abgerissen und die erschlaffte Zellwand ist nicht mehr im Stande zu kontrahieren, und äusserlich sind in der Länge des zu untersuchenden Organs keine Veränderungen mehr zu bemerken. Bei unseren Versuchen waren wir bestrebt, solche Konzentrationen der Lösungen zu wählen, bei welchen das Plasma mit der Zellwand im Kontakt bleibt und die Entspannung der letzteren noch nicht das Maximum erreicht.

Praktisch ist das nicht schwer zu erreichen in folgender Weise: wenn man in zunehmender Abstufung verschiedene Salzkonzentrationen erprobt, in welchen die Kontraktion der Wurzeln immer grösser wird, kommt man schliesslich zu solchen Konzentrationen, in denen keine weitere Kontraktion mehr erfolgt. Hier hat sich das Plasma von der Zellwand schon abgehoben.

Man wählt dann für die Versuche solche Konzentrationen der Lösungen, in welchen die Kontraktion der Wurzeln ihre maximale Grösse noch nicht erreicht hat; z. B. ist in den Lösungen von KNO_3 — in 0,10 Mol noch keine Kontraktion vorhanden, in 0,15 Mol — ist die Kontraktion der Wurzel etwas mehr als 4%, in 0,20 Mol — ist sie mehr als 8%, in 0,25 Mol — ist sie etwas grösser als bei 0,20 Mol; in den Lösungen von 0,25—0,30 Mol ist keine weitere Zunahme der Kontraktion zu bemerken, und 0,25 Mol ist schon solch eine Konzentration, bei welcher der Plasmaschlauch sich von der Zellwand abgehoben hat. Um nun ganz sicher zu sein, dass in den zu untersuchenden Salzkonzentrationen das Plasma in den Wurzelzellen mit der Zellwand im Kontakt bleibt, waren die Konzentrationen der Lösungen bei unseren Versuchen in den meisten Fällen niedriger, als 0,20 Mol, sie schwankten in der Regel in den Grenzen 0,15 Mol — 0,20 Mol. Es sei hier noch erwähnt, dass Lundegårdh¹⁾ zu gleichen Zwecken für die Wurzelspitzen von *Vicia Faba* die Salzkonzentrationen 0,2 norm. angewandt hat. Eine Anwendung der oben beschriebenen schwach hypertonen Lösungen ist aus dem Grunde sehr wichtig, weil, wie die neuesten Untersuchungen über die

1) l. c. S. 120.

Zellwand gezeigt haben,¹⁾ die Plasmaoberflächenschichten organisch mit der Zellwand verbunden sind und daher ein jedes Aufheben dieser Verbindung die Permeabilität des Plasmas für gelöste Stoffe beeinflussen kann.

Zweitens ist es von grosser Bedeutung, solche Konzentrationen der Lösungen anzuwenden, die einen gleichen osmotischen Wert haben. Dieses erreicht man durch die Anwendung der isotonischen Lösungen. Auf die Anwendung der äquimolekularen Lösungen, wie sie Lundegårdh²⁾ benutzt, mussten wir verzichten, denn solche Lösungen haben keine gleichen osmotischen Werte und man erhält bei den Untersuchungen mit solchen Lösungen keine streng vergleichbaren Resultate. Für die Mehrzahl der Salze sind die isotonischen Lösungen nach den Fitting'schen isotonischen Koeffizienten ausgerechnet worden³⁾. Der isotonische Koeffizient von Natriumbromid und -jodid wurde als ein dem isotonischen Koeffizienten von Natriumnitrat gleicher angenommen.

Nach der Übertragung der Wurzel in die schwach hyper-tonische Salzlösung beginnt sogleich die Kontraktion der Länge derselben, bis sich das osmotische Gleichgewicht einstellt. Im Moment des Eintretens des osmotischen Gleichgewichts bleibt die Länge der Wurzel eine kurze Zeit konstant und hierauf beginnt die Wiederausdehnung derselben, vorausgesetzt dass die Salzlösung die Fähigkeit hat in das Plasma einzudringen. Es ist dabei praktisch sehr wichtig, bei der Wurzel den Übergang von der Kontraktion zur Wiederausdehnung festzustellen. Bei beständiger Beobachtung ist dieses nicht so schwierig, denn obwohl anfangs die Kontraktion der Wurzel ziemlich schnell vor sich geht, wird sie allmählich immer langsamer, bis der Wendepunkt erreicht ist und nach diesem die Ausdehnung beginnt.

Zur Erläuterung des Gesagten seien hier zwei Beispiele angeführt, wobei nur die wichtigsten Messungen angegeben sind.

Tabelle 157. KNO_3 0,20 Mol. Temperatur 20° C.

Zeit in Minuten	0	1	2	4	5	7	8	10	11	13	16	41	45	49	60
Die Länge der Wurzel in Mikrometerstrichen	123	119	116	115	114	113	112	112	113	114	115	117	118	119	119

1) Hansteen Cranner, Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd 37. 1919. S. 380.
Meldinger fra Norges Landbrukshöiskole. Bd 2. 1922. S. 1.

2) l. c. S. 120.

3) Fitting, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 57. 1917. S. 553.

Aus diesem Beispiel ersieht man, dass die Länge der zu beobachtenden Wurzelspitze ursprünglich 123 Mikrometerstriche betrug. In der Salpeterlösung geht allmählich eine Kontraktion vor sich, und die Wurzel zieht sich im Laufe von 8 Minuten bis zu 112 Mikrometerstrichen zusammen. Hier stellt sich das osmotische Gleichgewicht ein, und die Länge der Wurzelspitze bleibt einige Zeit äusserlich unverändert. Nach 10 Minuten beginnt infolge des Eindringens des Salzes in die Vakuole die Wiederausdehnung der Wurzel, welche nach 60 Minuten 119 Mikrometerstriche erreicht.

Es war nicht wünschenswert, den Versuch über eine Stunde auszudehnen, da wir nicht gewiss waren, ob bei längerem Verweilen der Wurzeln in Lösungen, die letzteren nicht einen schädlichen Einfluss ausüben würden. Infolgedessen dauerte ein jeder Versuch mit Wurzeln eine Stunde.

Wie das aus dem obenangeführten Beispiel ersichtlich ist, haben wir es hier mit folgenden Grössen zu tun.

1) die Verkürzung der Wurzel in der Lösung; in der Tabelle 157 beträgt sie 11 Mikrometerstriche (123—112). Am besten ist diese Kontraktion in Prozenten der beobachteten Länge der Wurzelspitze auszudrücken — gegebenenfalls beträgt die Kontraktion — $K = 8,9\%$; 2) die Ausdehnung der Wurzel; in unserem Falle beträgt sie 7 Mikrometerstriche (119—112). Auch diese Grösse drückt man am besten in Prozenten der beobachteten Länge aus; gegebenenfalls ist die Ausdehnung — $A = 5,7\%$. Von diesen zwei Grössen K und A hat für uns die Grösse A , die proportional der Menge des in die Zelle eingedrungenen Salzes ist, die grössere Bedeutung. Ausser der absoluten Grösse der Ausdehnung der Wurzel in der Lösung ist es noch wichtig das Verhältnis der Ausdehnung zur vorhergehenden Kontraktion zu kennen. Am einfachsten ist das in Prozenten der Kontraktionsgrösse auszudrücken. $\frac{100A}{K} = B$; in unserem Falle ist diese Beziehung — $B = 63,6\%$ (Tabelle 157).

Nehmen wir noch ein anderes Beispiel, bei einer stärkeren Lösung.

Tabelle 158. KNO_3 0,30 Mol. Temperatur $20^\circ C$.

Zeit in Minuten	0	1	2	4	5	7	12	17	25	29	37	51	60
Die Länge der Wurzel in Mikrometerstrichen	131	128	123	116	115	115	115	117	118	118 $\frac{1}{2}$	120	121	121

$$K = 12,2\%; A = 4,6\%; B = 37,5\%$$

Im Vergleich mit dem ersten Versuch (Tabelle 157) ist infolge der höheren Konzentration der Lösung in diesem Falle die Kontraktion der Wurzel bedeutend grösser — bei 0,20 Mol beträgt sie — 8,9%, bei 0,30 Mol — 12,2%. Dieses zeigt uns, dass bei den Konzentrationen, die isotonisch mit 0,20 Mol KNO_3 sind, die Kontraktion der Wurzeln noch weit vom Maximum ist, und wir können daraus den Schluss ziehen, dass das Plasma in diesen und noch schwächeren Lösungen sich wahrscheinlich von der Zellwand noch nicht abhebt, sondern im Kontakt mit derselben bleibt. Auf die grosse Bedeutung dieses Umstandes wurde oben (vgl. S. 107) hingewiesen. Andererseits ist im gegebenen Falle die Grösse A kleiner, so ist bei 0,20 Mol $A = 5,7\%$, bei 0,30 Mol — $A = 4,6\%$. Da die beiden Versuche unter ganz identischen Bedingungen und mit gleichem Versuchsmaterial ausgeführt worden sind, so zeigt die kleinere Wiederausdehnung der Wurzel, bzw. auch die grössere Kontraktion, dass in dieser Lösung der Plasmaschlauch in den Wurzelzellen sich von der Zellwand abhebt und sich noch im Inneren der Zellwand kontrahiert. Mit dem Eindringen der Salzlösung in die Vakuole wird das Plasma wieder an die Zellwand gepresst; äusserlich ist von diesem Prozess nichts zu bemerken, der einzige Unterschied besteht nur darin, dass der Zeitabschnitt zwischen der Beendigung der Kontraktion und dem Beginn der Wiederausdehnung der Wurzel länger ist. Infolge dieses oben beschriebenen Prozesses ist die äusserliche sichtbare Wiederausdehnung der Wurzel in dieser letzten Salzkonzentration kleiner, als in der ersten.

Wenden wir uns jetzt der Untersuchung der Plasmapermeabilität für Natriumsalze zu.

Da die äusseren Bedingungen, wie die Temperatur, Belichtung und and., während der ganzen Versuchszeit nicht konstant waren, so sind in allen unten folgenden Tabellen die Daten nur innerhalb einer jeden Serie vergleichbar. Die Versuche einer jeden Serie sind unter möglichst identischen Bedingungen angestellt, das Versuchsmaterial stammt aus ein und derselben Kultur.

Die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze.

Anionen.

Tabelle 159.

I. Serie.		Temperatur 20°–21°C.					
Alle Lösungen isotonisch 0,15 Mol KNO_3 .							
Salze.		$NaBr$ 0,15 Mol.	NaI 0,15 Mol.	$NaNO_3$ 0,15 Mol.	$NaCl$ 0,15 Mol.	Na -Tar- trat 0,118 Mol.	Na_2SO_4 0,113 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 8,2	% 5,1	% 5,3	% 7,8	% 5,1	% 6,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,2	2,2	2,2	2,1	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	51,2	43,1	41,5	26,9	0	0
II. Serie.		Temperatur 20°.					
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	9,4	4,7	—	3,7	3,7	4,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,6	1,5	—	1,4	0,7	7
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	48,9	31,9	—	37,8	18,9	14,9

Nach den Daten der Tabelle 159 nimmt die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze nach folgender Reihenfolge ab: $Br > I, NO_3 > Cl > Tartrat, SO_4$. Die Plasmapermeabilität für Natriumsulfat und -tartrat ist im Vergleich mit derjenigen für andere Salze so klein, dass sie sich nach dieser Methode nicht gut nachweisen lässt.

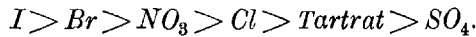
Tabelle 160.

I. Serie.		Temperatur 24°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3 .							
Salze.		NaI 0,18 Mol.	$NaBr$ 0,18 Mol.	$NaNO_3$ 0,18 Mol.	$NaCl$ 0,18 Mol.	Na -Tar- trat 0,114 Mol.	Na_2SO_4 0,135 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 6,6	% 9,5	% 10,7	% 11,0	% 6,0	% 4,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,3	4,0	3,0	2,2	1,5	0,7
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	65,1	42,1	28,0	20,0	25,0	15,0

Tabelle 160. (Fortsetzung).

II. Serie.		Temperatur 20°–22°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3 .							
Salze.		NaI 0,18 Mol.	$NaBr$ 0,18 Mol.	$NaNO_3$ 0,18 Mol.	$NaCl$ 0,18 Mol.	Na -Tar- trat 0,141 Mol.	Na_2SO_4 0,135 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	11,9	9,2	10,8	12,4	6,2	3,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,1	6,1	5,4	3,6	1,5	0,7
$\frac{100A}{K} =$	(B)	42,9	66,3	50,0	29,0	24,2	18,9

Die erste Versuchsserie der Tab. 160 zeigt uns, dass die Permeabilität des Plasmas für die Salze nach folgender Reihenfolge abnimmt:



Aus den Daten der zweiten Versuchsserie ergibt sich folgende Reihenfolge: $Br > NO_3 > I > Cl > Tartrat > SO_4$.

Tabelle 161.

I. Serie.		Temperatur 23°–25°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3 .							
Salze.		NaI 0,20 Mol.	$NaBr$ 0,20 Mol.	$NaCl$ 0,20 Mol.	$NaNO_3$ 0,20 Mol.	Na -Tar- trat 0,157 Mol.	Na_2SO_4 0,150 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 12,9	% 12,0	% 10,0	% 8,4	% 5,7	% 6,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,8	3,6	3,3	2,1	0,8	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	44,9	30,0	33,0	25,0	14,0	0

II. Serie.		Temperatur 24°.					
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	12,0	7,1	10,0	7,0	9,6	8,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,7	5,0	3,0	1,9	0	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	39,1	70,4	30,0	27,1	0	0

Nach den Ergebnissen der Tabelle 161 werden die Salze nach folgenden Reihenfolgen in das Plasma aufgenommen:

I Serie — $I > Br > Cl > NO_3 > Tartrat > SO_4$,

II Serie — $Br > I > Cl > NO_3 > Tartrat, SO_4$.

Die drei angeführten Konzentrationen der Natriumsalze (Tab. 159—161) zeigen uns, dass die Permeabilität des Plasmas für diese Salze nach der lyotropen Reihe $I > \dots SO_4$ abnimmt. In allen Versuchen dringen am besten in das Plasma ein die Iodide, Bromide und Nitrate, am schlechtesten — die Tartrate und Sulfate; die Chloride nehmen in den meisten Versuchen etwa eine Mittelstellung zwischen den beiden angeführten Gruppen ein, wobei sie sich mehr an die erste Gruppe anschliessen. Es sei hier darauf hingewiesen, dass verschiedene äussere Faktoren das Eindringen der Salze sehr stark beeinflussen können, und dadurch erklärt sich auch teilweise, dass die Anionenreihen nicht gänzlich übereinstimmen und hier und da Abweichungen vorkommen. Im allgemeinen sind alle angeführten Anionenreihen ebensolche Modifikationen einer gewissen Mittelreihe, wie das bei den Koagulationsreihenfolgen des Plasmas der Fall ist (vgl. S. 71). Diese Mittelreihe ist die bekannte lyotrope Reihe:

$I > Br > NO_3 > Cl > Tartrat > SO_4$.

Untersuchen wir ferner die Permeabilität des Plasmas für die Kaliumsalze.

Für diese Salze untersuchen wir ebenso wie für die Natriumsalze drei Konzentrationen, beginnend mit der niedrigsten, die noch eine ganz schwache Hypertonie zeigt.

Die Permeabilität des Plasmas für Kaliumsalze.

Tabelle 162.

I Serie.		Temperatur 20°—21°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,160 Mol <i>KBr</i> .							
Salze.		<i>KBr</i> 0,160 Mol.	<i>KNO₃</i> 0,165 Mol.	<i>KCl</i> 0,161 Mol.	<i>K-Tartrat</i> 0,127 Mol.	<i>K₂SO₄</i> 0,123 Mol.	<i>K-Zitrat</i> 0,101 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 3,1	% 3,0	% 3,6	% 3,2	% 3,1	% 2,8
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	2,3	2,0	1,8	0,8	0	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	74,2	66,6	20,9	25,0	0	0

Tabelle 162. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 20°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,160 Mol <i>KBr</i> .							
Salze.		<i>KBr</i> 0,160 Mol.	<i>KNO₃</i> 0,165 Mol.	<i>KCl</i> 0,161 Mol.	<i>K-Tartrat</i> 0,127 Mol.	<i>K₂SO₄</i> 0,123 Mol.	<i>K-Zitrat</i> 0,101 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	5,8	5,8	5,0	3,0	2,6	—
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,7	3,2	2,1	0	0	—
$\frac{100A}{K} =$	(B)	63,8	55,2	42,0	0	0	—

Wie die Daten der Tabelle 162 zeigen, werden die Kaliumsalze nach diesen Reihenfolgen in die Zelle aufgenommen:

- I Serie — *Br* > *NO₃* > *Cl* > *Tartrat* > *SO₄*, *Zitrat*.
- II Serie — *Br* > *NO₃* > *Cl* > *Tartrat*, *SO₄*.

Tabelle 163.

I Serie.		Temperatur 19°—20°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,180 Mol <i>KBr</i> .							
Salze.		<i>KBr</i> 0,180 Mol.	<i>KNO₃</i> 0,185 Mol.	<i>KCl</i> 0,181 Mol.	<i>K-Tartrat</i> 0,143 Mol.	<i>K₂SO₄</i> 0,138 Mol.	<i>K-Zitrat</i> 0,114 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 8,4	% 6,7	% 9,4	% 5,4	% 6,1	% 6,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,2	3,7	5,0	1,5	0	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	61,9	55,2	53,2	27,9	0	0

II Serie.		Temperatur 18°—19°.					
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	8,7	7,1	8,9	5,0	4,1	4,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,8	5,5	4,8	0	0	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	55,2	77,4	53,9	0	0	0

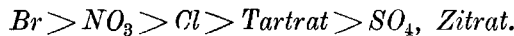
Nach den Daten der Tabelle 163 nimmt die Permeabilität des Plasmas nach folgenden Reihenfolgen ab:

- I Serie — *Br* > *Cl* > *NO₃* > *Tartrat* > *SO₄*, *Zitrat*.
- II Serie — *NO₃* > *Br* > *Cl* > *Tartrat* > *SO₄*, *Zitrat*.

Tabelle 164.

		Temperatur 19 ^o —20 ^o .					
		Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol <i>KBr</i> .					
Salze.		<i>KBr</i> 0,20 Mol.	<i>KNO₃</i> 0,206 Mol.	<i>KCl</i> 0,201 Mol.	<i>K-Tar-</i> <i>trat</i> 0,159 Mol.	<i>K₂SO₄</i> 0,153 Mol.	<i>K-Zitrat</i> 0,126 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	% 10,7	% 11,0	% 12,3	% 5,5	% 8,2	% 7,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	4,6	4,4	4,3	1,1	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	42,9	40,0	34,9	20,0	0	0

Nach den Ergebnissen der Tabelle 164 werden die Salze nach folgender Reihe in die Zelle aufgenommen:



Aus den obenangeführten Ergebnissen ist ersichtlich, dass das Eindringen der Natrium- und der Kaliumsalze in das Plasma derselben Gesetzmässigkeit unterworfen ist. Im allgemeinen dringen die Natriumsalze in das Plasma weniger schnell als die Kaliumsalze ein, und infolgedessen treten die Eindringungsunterschiede zwischen den einzelnen Anionen bei den Natriumsalzen besser hervor als bei den Kaliumsalzen. Es ist möglich, dass bei denjenigen Kaliumsalzen, deren Anionen am Anfange der lyotropen Reihe stehen, wie z. B. bei den Rhodaniden und Iodiden, das zu schnelle Eindringen in das Plasma eine sehr grosse Giftwirkung verursacht, indem die Salzflut das Plasma desorganisiert bzw. seine Kolloide zur Koagulation führt. Infolgedessen gelangen die Versuche mit diesen Salzen nicht so gut, wie mit den übrigen Kaliumsalzen. Mit *KCNS* gelingt der Versuch in den meisten Fällen überhaupt nicht.

Neuerdings hat Prat¹⁾ gefunden, dass Rhodankalium so schnell in die Spirogyrazellen eindringt, dass eine Plasmolyse nicht stattfindet. Diese Tatsache stimmt mit dem oben Gesagten gut überein. Dabei erwies sich dieses Salz für Spirogyrazellen als sehr giftig. Im Gegensatz zu den Rhodaniden und Iodiden dringen die Sulfate, Zitratre und teilweise auch Tartrate so langsam in das Plasma ein, dass im Laufe der ersten Stunde in den meisten

1) S. Prat, Biochem. Zeitschr. Bd. 128. 1922. S. 557.

Fällen die Wurzeln in den Lösungen dieser Salze keine Wiederausdehnung zeigen.

Untersuchen wir nun weiter die Permeabilität des Plasmas für Salze in bezug auf Kationen.

Die Permeabilität des Plasmas für die Kationen.

Tabelle 165.

I Serie.		Temperatur 18°.				
Alle Lösungen isotonisch 0,190 Mol <i>KCl</i> .						
Salze.		<i>KCl</i> 0,190 Mol.	<i>NaCl</i> 0,193 Mol.	<i>MgCl₂</i> 0,133 Mol.	<i>BaCl₂</i> 0,138 Mol.	<i>CaCl₂</i> 0,134 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	% 8,6	% 11,8	% 9,3	% 8,5	% 10,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel.	(<i>A</i>)	5,7	3,9	0	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	66,3	33,0	0	0	0
II Serie.		Temperatur 18°—19°.				
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	9,6	10,7	8,4	9,6	9,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	5,8	4,3	0	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	60,4	40,2	0	0	0

Wie die Tabelle 165 zeigt, ergibt sich aus dem Vergleich der Versuchsergebnisse der Alkalisalze mit denen der Erdalkalien, dass die Salze mit einwertigem Kation viel schneller in das Plasma eindringen, als die Salze mit zweiwertigem Kation, vorausgesetzt, dass das Anion in beiden Fällen dasselbe ist. Die Eindringungsfähigkeit der untersuchten Erdalkalien ist so gering, dass die Wurzeln sich in den Lösungen nach der Kontraktion gar nicht ausdehnen. Es ergibt sich für die Kationen folgende Permeabilitätsreihe:



Eine höhere Konzentration ergibt dieselben Resultate.

Tabelle 166.

I Serie.		Temperatur 20°—21°.					
Alle Lösungen isotonisch 0,21 Mol <i>KCl</i> .							
Salze.		<i>KCl</i> 0,210 Mol.	<i>NaCl</i> 0,214 Mol.	<i>LiCl</i> 0,204 Mol.	<i>MgCl₂</i> 0,148 Mol.	<i>BaCl₂</i> 0,152 Mol.	<i>SrCl₂</i> 0,149 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 7,0	% 7,5	% 5,6	% 11,2	% 8,0	% 8,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,1	2,1	1,3	0,9	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	44,3	28,0	23,2	8,0	0	0
II Serie.		Temperatur 21°.					
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	8,9	7,1	6,9	11,2	7,3	8,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,4	1,7	0,9	0,9	0	0
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	38,2	23,9	13,0	8,0	0	0

Die Eindringungsfähigkeit der Kationen in das Plasma nimmt nach den Daten der Tabelle 167 nach folgenden Reihen ab:

I Serie — $K > Na > Li > Mg > Ba, Sr$.

II Serie — $K > Na > Li, Mg > Ba, Sr$.

Besprechung der bisherigen Ergebnisse.

Die Messungen der Fähigkeit der Neutralsalze in das Plasma einzudringen haben gezeigt, dass diese Fähigkeit bei den Salzen vollständig parallel ihrer Koagulationswirkung auf das Plasma ist. Die beiden physiologischen Prozesse sind im gleichen Masse wie von den Anionen, so auch von den Kationen der Salze abhängig und stellen eine additive Wirkung der Salze dar. Vom Standpunkte der Anionenwirkungen aus nimmt die Giftigkeit der Salze, und auch die Fähigkeit derselben in das Plasma einzudringen, nach der Reihenfolge ab: $CNS > I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4, Zitrates$, in welcher die Rodanide, Iodide und Bromide die grösste Fähigkeit haben in das Plasma einzudringen und eine hohe Giftwirkung besitzen, die Sulfate und die Zitrates dagegen haben diese Fähigkeiten in geringerem Masse.

Betrachten wir die erwähnten Fähigkeiten der Salze in ihrer

Abhängigkeit von den Kationen, so haben wir diese Reihenfolge — $K > Na > Li > Mg > Ba > Sr > Ca$.

Man sieht also, dass die Versuche der Permeabilitätsbestimmungen des Plasmas für Salze denselben Schluss, zu dem wir früher indirekt gekommen waren, in bester Weise bestätigen, und zwar, dass die Giftwirkung der Neutralsalze eine Funktion der Fähigkeit derselben in das Plasma einzudringen ist. Die Fähigkeit in grösserem oder kleinerem Masse in das Plasma einzudringen ist dabei eine primäre Eigenschaft der Salze, die ganz unabhängig von der Giftwirkung derselben ist. Beim Eindringen ist die Kolloidaktivität der Neutralsalze massgebend, während die Giftigkeit der Salze nur als Folge dieser primären Eigenschaft anzusehen ist. Man kann folglich bestätigen, dass ein Neutralsalz nicht deswegen in das Plasma eindringt, weil es sehr giftig ist, d. h. weil es auf die Plasmakolloide koagulierend wirkt, sondern umgekehrt: die Giftwirkung des Salzes ist direkt abhängig von der Eindringungsfähigkeit derselben. Je mehr und je schneller ein Neutralsalz sich im Plasma ansammelt, desto schneller desorganisiert es die lebende Substanz, desto giftiger ist es. Denn die Giftigkeit und die tödliche Wirkung ist die unvermeidbare Folge der raschen Anhäufung einer grösseren Menge eines Neutralsalzes im Plasma.

Dieses wird dadurch bewiesen, dass in bezug auf das Plasma die giftigsten (tötlich wirkenden) Salze diejenigen sind, die den toten Kolloiden gegenüber eine sehr geringe Aktivität aufweisen. So z. B. sind Iodide und Bromide nicht im Stande natives Eiweiss zu fällen, beim Plasma aber haben diese Salze eine grösste Giftwirkung aus dem Grunde, weil sie sich sehr schnell im Plasma anhäufen.

Andererseits: alle Faktoren, die die Permeabilität des Plasmas für die Salze fördern, wie z. B. bis zu einem gewissen Grade die starke Belichtung, die optimale Temperatur, steigern auch gleichzeitig beinahe proportional der Permeabilitätsvergrösserung die tödliche Wirkung der Salze. Diese Tatsache beweist völlig klar, dass die Giftwirkung der Salze die Folge des Eindringungsgrades der Salze in das Plasma ist, und nicht umgekehrt.

Untersuchen wir jetzt, inwiefern unsere Ergebnisse für die Plasmapermeabilität für Salze mit den Literaturangaben übereinstimmen.

Beginnen wir mit den Anionen der Salze.

Pantanelli¹⁾ fand, dass bei *Aspergillus* in den isoosmotischen Lösungen von KNO_3 und $NaNO_3$ die Plasmolyse nach 2—3 Stunden zurückgeht, in den Lösungen von $NaCl$ und NH_4Cl — nach 10—12 Stunden, also: $NO_3 > Cl$.

Nach den Versuchen von Lundegårdh²⁾, die in der oben beschriebenen Weise (vgl. S. 104) angestellt waren, dehnen sich die Wurzelspitzen von *Vicia faba* um 25 % der kontrahierten Länge in den isomolekularen Lösungen von Salzen in folgenden Zeiten aus³⁾:

KNO_3 — in 45 Min.	$NaBr$ — in 100 Min.
KCl — in 159 Min.	NaI — in 120 „
	Na_2SO_4 — in 127 „
also: $NO_3 > Cl$.	$NaCl$ — in ∞ „
	Na -Zitrat — in ∞ „
	also: $Br > I > SO_4 > Cl$, Zitrat.

Fitting⁴⁾ kam bei seinen plasmolytischen Versuchen zu den Ergebnissen, dass die Kaliumsalze — Nitrat, Chlorid, Bromid und Chlorat — gleich schnell in die Zellen (*Tradescantia discolor*) eindringen, während das Sulfat verhältnismässig schlechter durch das Plasma dringt, also: $(NO_3, Cl, Br, ClO_3) > SO_4$.

Tröndle⁵⁾ fand mit Hilfe der plasmolytischen Methode, dass bei den Wurzelschnitten von *Lupinus albus*, in einem Falle, die Chloride viel langsamer in die Zellen eindrangen als die Bromide und Jodide, also: $I, Br > Cl$; im anderen Falle, dass Nitrat und Chlorid schneller in die Zelle eindrangen als das Sulfat, also: $NO_3 > Cl > SO_4$.

Neuerdings hat Prat⁶⁾ beobachtet, dass die Plasmolyse bei Spirogyrazellen in Nitratlösungen schneller zurückgeht als in den Lösungen von Chlorid, und am langsamsten in denen von Sulfat, also: $NO_3 > Cl > SO_4$.

Man sieht aus dieser Gegenüberstellung, dass die in der Literatur bereits vorhandenen Ergebnisse unsere Resultate in bester

1) Pantanelli, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 40. 1904. S. 303.

2) Lundegårdh l. c.

3) Lundegårdh (l. c. S. 129) hat ausser den angeführten Salzen noch viele andere angewandt. Die Anordnung der Salze hier ist die unsrige.

4) Fitting, Jahrb. f. wiss. Botan. Bd. 56. 1915. S. 1.

5) Tröndle, Arch. des sciences phys. et nat. V. 45. 1918. p. 117.

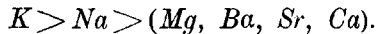
6) l. c.

Weise bestätigen. Dasselbe finden wir auch bezüglich der Kationen.

Pantanelli (l. c.) fand bei der Untersuchung der Turgorregulation bei Schimmelpilzen ausser den bereits oben angeführten Tatsachen noch, dass die Erdalkalien in das Plasma bedeutend langsamer als die Alkalisalze eindringen. So geht z. B. die Plasmolyse in den Lösungen von $MgSO_4$ und $CaCl_2$ erst nach 24 Stunden zurück. Nach den Ergebnissen von Pantanelli ergibt sich für das Eindringen in das Plasma folgende Kationenreihe:



Fitting (l. c.) zeigte, dass die Permeabilität der Epidermiszellen von *Rhoeo discolor* für Erdalkalien und für Magnesiumsalze so gering ist, dass es ihm mit seiner plasmolytischen Methode nicht gelang sie nachzuweisen, während die Natriumsalze nach seinen Ergebnissen etwa ebenso gut wie die Kaliumsalze in das Plasma eindringen, wenn auch im allgemeinen etwas schwerer, also:



Tröndle (l. c.) untersuchte in ausgedehnten Versuchen die Permeabilität des Plasmas für Erdalkalien und Magnesiumsalze. Seine Ergebnisse stimmen vollständig mit denen der anderen Forscher überein. Er fand, dass die Erdalkalien im allgemeinen viel langsamer als die Alkalisalze durch das Plasma gehen, wobei von ihnen am besten die Magnesiumsalze und am schlechtesten die Kalziumsalze eindringen (bei $CaCl_2$ konnte er keine Eindringungsfähigkeit nachweisen). Bei den Wurzelzellen von *Lupinus albus* stellt Tröndle folgende Permeabilitätsreihenfolge für die Kationen auf:



Prat (l. c.) fand für *Spirogyra*, dass die Geschwindigkeit der Deplasmolyse in den Salzlösungen nach folgender Kationenreihe abnimmt: $K > Na > Ca, Mg$.

Aus dem Angeführten ist ersichtlich, dass unsere Ergebnisse mit den Literaturangaben gut übereinstimmen.

Wir sehen also, dass sich die Neutralsalze aus den Lösungen im Pflanzenplasma nicht nach dem Bedürfnis ansammeln, sondern dass das Eindringen nach einer ganz anderen Gesetzmässigkeit geschieht. Das Salzbedürfnis des Plasmas ist Hunderte von

Malen kleiner, als die eindringende Menge eines Neutralsalzes aus reinen Lösungen¹⁾, und es leuchtet ein, warum die reinen Lösungen insbesondere der Alkalisalze sehr giftig für das Plasma sind, auch in dem Falle, wenn die Konzentration der Salze in physiologischen Grenzen schwankt, denn aus reinen Lösungen gehen stets ins Plasma so grosse Salzmengen hinüber, dass das Plasma völlig desorganisiert wird.

Dieser Befund, dass das Eindringen der Salze ins Plasma nach der lyotropen Reihenfolge $CNS > I > \dots SO_4$ vor sich geht, zeigt uns in klarer Weise, dass dem physiologischen Prozess der Permeabilität des Plasmas für Salze ein physikochemischer Vorgang zu Grunde liegt, denn die lyotrope Anionenreihe ergibt sich hauptsächlich bei den physikochemischen²⁾ (kolloidchemischen) Prozessen.

Welcher ist nun dieser physikochemische Prozess, der sich aller Wahrscheinlichkeit nach in der Plasmaoberfläche abspielt, und dem zufolge das Plasma für einige Salze mehr, für andere aber bedeutend weniger durchlässig ist?

Eine wahrscheinliche Antwort auf diese Frage sehen wir im Folgenden.

In einer vorläufigen Mitteilung³⁾ haben wir die Meinung geäußert, dass sich auf der Plasmaoberfläche der Zelle für das Eindringen der Elektrolyte eine Regulationsvorrichtung befinden muss, die darin besteht, dass diese Stoffe, gemäss ihrer Kolloidaktivität, eine Verdichtung (bzw. Entquellung) der Oberflächenkolloide des Plasmas hervorrufen und somit eine Schutzschicht (Haptogenmembran)⁴⁾, die für den betreffenden Stoff wenig durchlässig ist, erzeugen. Diejenigen von den Neutralsalzen, die eine grosse Kolloidaktivität besitzen, verdichten die Plasmaoberflächenschicht in dem Masse, dass sie sehr wenig oder überhaupt nicht fähig sind diese Schicht zu passieren. Diese Salze sind auch infolgedessen weniger giftig für das Plasma als diejenigen, die eine geringere Kolloidfällungskraft aufweisen und eine weniger dichte

1) Höber, Physikalische Chemie der Zelle, S. 363.

2) Ibidem, S. 308.

Vgl. Bechhold. Die Kolloide in Biologie und Medizin. 4 Aufl. 1922. S. 322.

3) H. K a h o, Biochem. Zeitschr. Bd. 120. 1921. S. 125.

4) R a m s d e n, Pflügers Arch. 1894. S. 117; Zeitschr. für physiol. Chemie Bd. 47. 1904. S. 336.

Schutzschicht erzeugen, die sie leichter passieren können. Bekanntlich wächst bei den Neutralsalzen die Fähigkeit Kolloide (z. B. Hühnereiweiss) zu fällen nach den Reihenfolgen $CNS < I < \dots SO_4$ und $K < Na < Li < \text{Erdalkalien}$, und es leuchtet ein, warum die Fähigkeit der Salze in das Plasma einzudringen, sowie die dieser Fähigkeit parallele Giftwirkung, gerade im umgekehrten Verhältnis zu der Kolloidaktivität der Neutralsalze stehen. Die ersten Glieder der lyotropen Reihe: die Rhodanide, Iodide, Bromide, teilweise auch die Nitrate besitzen keine Fähigkeit natives Eiweiss und auch Lipotide zu fällen, sie wirken im Gegenteil quellend, und demgemäss häufen sich auch diese Salze im Plasma an, worin die Hauptursache der verhältnismässig grossen Giftigkeit dieser Salze besteht. Angefangen von den Chloriden bis zu den Sulfaten wächst das Fällungsvermögen in bezug auf die toten Kolloide und demgemäss bilden diese Salze auf der Plasmaoberfläche eine mehr oder minder dichte Schutzschicht, was wohl die Ursache der schwachen Giftwirkung der Salze ist. Übrigens haben einige Chloride, z. B. KCl , noch keine besonders starke Kolloidaktivität und sind deswegen noch ziemlich giftig.

Die Annahme der obenerwähnten Schutzschicht macht uns auch die geringe Permeabilität des Plasmas für die Erdalkalien verständlich. Ihrer grösseren Kolloidaktivität gemäss, erzeugen diese Salze auf der Plasmaoberfläche eine dichtere Haptogenmembran und können infolgedessen nicht in das Plasmainnere gelangen, haben daher eine sehr geringe Giftwirkung.

Zu Gunsten der oben auseinandergesetzten Ansicht sprechen folgende Literaturangaben.

Wir wollen hier nicht die älteren Angaben von Schultze¹⁾ näher erörtern, der bei den Protoplasten eine besondere Schutzschicht, eine sog. „Kontaktmembran“, unter dem Einflusse des Aussenmediums beobachtet hat. Wir wollen auch nicht auf die Ergebnisse von Provazek²⁾ eingehen, der auf der Oberfläche der Plasmotropfen von *Vaucheria* die Bildung einer ziemlich starken Membran konstatierte. Wir wenden uns aber zu den Versuchen von Küster, dessen Beobachtungen in direktem Zusammenhang mit unseren Folgerungen stehen.

1) Schultze, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. Leipzig. 1863.

2) Provazek, Biol. Zentralbl. Bd 27. 1907. S. 737.

Küster¹⁾ beobachtete bei der Plasmolyse der Zellen von *Elodea densa* und *Allium Cepa* in Normallösungen von Kalziumnitrat in einigen Zellen die Bildung von zwei Plasmaballen, die in der ersten Zeit nach der Übertragung des Präparates in reines Wasser wieder zu einem Plasmaschlauch zusammenschmolzen, wobei eine normale Deplasmolyse stattfand. Nach einem längeren Verweilen im Plasmolytikum schwoilen wohl die Plasmaballen an und legten sich dicht aneinander, wobei aber die Fusion unterblieb. Aus diesen und ähnlichen Tatsachen zieht Küster den Schluss, dass unter dem Einflusse von Kalziumnitrat sich auf der Plasmaoberfläche eine Membran (Haptogenmembran) bildet, die die Fusion der plasmolysierten Protoplasten verhindert.

Die Alkalisalze fördern infolge ihrer kleinen Kolloidaktivität nicht die Bildung einer solchen Schutzmembran und die Protoplasten sterben in den Lösungen dieser Salze leichter ab.

Wie man sieht, stützen die Befunde von Küster unsere Ansichten in bester Weise. Besonders ins Gewicht fallende Beweise zu Gunsten unserer Hypothese finden wir in den Untersuchungen von Spek²⁾, die etwa gleichzeitig mit unserer vorläufigen Mitteilung veröffentlicht wurden.

Spek untersuchte den Einfluss der Neutralsalze auf die Plasmakolloide von *Actinosphaerium Eichhorni*. Wir erlauben uns wegen der Wichtigkeit, die die Beobachtungen dieses Autors für unsere Arbeit haben, einiges aus seiner Arbeit zu zitieren³⁾.

... „Schon kleine Mengen von Salzen können eine feine Fällung der Plasma- (bzw. auch der Membran-) kolloide bewirken. Eine Fällung der Kolloide des Zellinnern (des Ecto- und Entoplasmas) ist bei den Actinosphaerien direkt optisch als Trübung nachweisbar. Die Dispersionsverminderung bleibt aber ultramikroskopisch.

Ein Salz verrät sein Eindringen in die Zelle nach kurzer Zeit direkt durch Verursachung einer solchen Trübung. Diese Trübung entsteht am leichtesten bei den auch bei anderem Zellmaterial rasch eindringenden Kaliumsalzen. In mittleren physio-

1) E. Küster, Zeitschr. f. Botan. 2 Jahrg. 1910, S. 689; Ber. d. Deutsch Bot. Ges. Bd 27. 1909. S. 589.

2) I. Spek, Der Einfluss der Salze auf die Plasmakolloide von *Actinosphaerium Eichhorni*. Acta Zoologica 1921. S. 153.

3) l. c. S. 191, 192.

logischen Konzentrationen dringen Natriumsalze schwerer ein als Kalisalze, Lithiumsalze schwerer als Natriumsalze und am schwersten die Kalziumsalze. Je schwerer ein Salz also eindringt, um so klarer, heller bleibt das Plasma der Actinosphaerien in seinen Lösungen.

Diesen schwer eindringenden Salzen fehlt aber das Vermögen eine Fällung (und damit Trübung) des Plasmas hervorzurufen keineswegs, ja ihr Fällungsvermögen ist noch viel stärker, wie man dann erkennt, wenn dem Salz durch Zufall oder durch geeignete Versuchsbedingungen der Eintritt in die Zelle ermöglicht wird, es ruft dann nämlich eine tief braune Trübung oft schon letaler Natur in dem Plasma hervor.

Bei genauer Berücksichtigung aller der Beobachtungstatistiken, welche einerseits das verschieden grosse Vermögen der Salze in die Zelle einzudringen, andererseits ihr Vermögen die Plasmakolloide zu fällen, dartun, ergibt sich in vorzüglichem Einklang mit meinen theoretischen Vorstellungen, dass die Salze, welche stärker fällend wirken, schwerer in die Zelle eindringen; die schwachfällenden sind die leicht eindringenden. Je nach der Intensität der Dispersitätsverminderung der Membrankolloide treten die Salz-moleküle schwerer oder leichter durch die Membranen durch. Die Fällungsreihe der Kationen lautet: $K < Na < Li < Ca$.“ ... (L. c. S. 173:) ... „Offenbar wird das Oberflächenhäutchen des Actinosphaerium umso zäher, je stärker die fällende Wirkung des betr. Salzes ist, und umso leichtflüssiger, je schwächer das Salz die Kolloide ausflockt.“ ... (L. c. S. 163:) ... „Das Resultat unserer Untersuchungen lautet also: Fällungsvermögen und Eindringungsvermögen der Salze sind zueinander umgekehrt proportional ... und dass um so höhere Konzentrationen eines Salzes vertragen werden, je schwerer das betreffende Salz eindringt.“

Aus dem Ziterten ist ersichtlich, dass unsere Hypothese über die Verdichtung der Plasmaoberflächenschicht unter dem Einflusse von Neutralsalzen eine sehr gute Bestätigung in Speks Untersuchungen an Tierzellen findet. Dieselben Ergebnisse, zu denen wir auf Grund der theoretischen Auseinandersetzungen sowie auch auf Grund der koagulierenden Wirkung und des Eindringungsvermögens der Salze gekommen sind, konnte auch Spek bei den Tierzellen durch unmittelbare Beobachtung feststellen.

Schon vor den Befunden von Spek sagte Höber bei der Erklärung der Salzwirkungen auf die elektrischen Eigenschaften

der Muskeln: „ich habe die von mir beobachteten ruhestromhemmenden Fähigkeiten von *Ca*, *Sr* und *Ba* als eine Art „Gerbung“ der Plasmahaut aufgefasst, bei welcher durch die Erdalkalien die Quellbarkeit der Plasmahautkolloide verringert wird“ (l. c. 531).

Aus allem oben Gesagten folgt, dass beim Eindringen der Neutralsalze ins Plasma es vor allem darauf ankommt, inwiefern die Neutralsalze das Vermögen besitzen den kolloidalen Zustand der Plasmahautkolloide (Plasmaoberflächenschicht) zu verändern.

Von diesem Standpunkte aus stimmen die Versuchsergebnisse vollständig mit den theoretischen Schlüssen überein.

Wir müssen noch hinzufügen, dass ausser der Kolloidaktivität auch die Adsorptionserscheinungen einen gewissen Einfluss auf das Eindringen der Salze in das Plasma ausüben können.

Nach älteren Angaben von Röntgen, Schneider und I. Traube¹⁾ wächst die Adsorbierbarkeit der Anionen und Kationen nach den Reihenfolgen: $SO_4 < Cl < Br$, $NO_3 < I$ und $Na < K < Rb < Cs$ und $Ca < Sr < Ba$, wobei nach Freundlich²⁾ die Adsorbierbarkeit von der Wertigkeit des Ions abhängig ist: die einwertigen Kationen werden schwächer adsorbiert als die zweiwertigen. Nach den neuesten Untersuchungen von Rona und Michaelis³⁾ werden die Anionen und Kationen durch die Tierkohle nach den Reihenfolgen: $OH > CNS > I > NO_3 > Br > Cl$, $HPO_4 > SO_4$ und $H > Al > Cu > Zn > Mg$, $Ca > NH_4$, Na , K adsorbiert.

Man sieht, dass die Adsorptionsreihe der Anionen (ausser denen, die in unseren Versuchen nicht vorkommen) mit der Plasmakoagulationsreihe und Permeabilitätsreihe der Ionen (bezeichnen wir diese Reihenfolgen als „physiologische“) gut übereinstimmt. Rhodanide, Iodide und andere Salze, die gut adsorbiert werden, dringen auch am besten in das Plasma ein und sind daher giftig. Diese Übereinstimmung der Adsorptionsreihen mit den physiologischen Ionenreihen trifft aber nicht überall zu. Bei Kationen haben die physiologische und die Adsorptionsreihenfolge eine entgegengesetzte Richtung. Diejenigen Kationen, die am besten adsorbiert werden, wie z. B. *Ca*, *Mg*, dringen in das Plasma, wie wir das bereits gesehen haben, weit langsa-

1) Zit. nach Höber, Physikalische Chemie der Zelle. S. 215.

2) H. Freundlich, Kolloid. Zeitschr. Jahrg. 1. 1906—7. S. 321.

3) Rona und Michaelis, Biochem. Zeitschr. Bd. 94. 1919. S. 254.

mer ein, als die viel schwächer adsorbierbaren *K* und *Na*. Daraus folgt, dass die Permeabilität des Plasmas für Salze ein physiologischer Vorgang ist, der in erster Linie nicht von der Adsorbierbarkeit der Salze abhängt, denn die am stärksten adsorbierbaren Ionen können nichtsdestoweniger sehr schwach in das Plasma eindringen. Für das Eindringen der Salze ist in erster Linie ihre Kolloidaktivität massgebend.

Aus dem Gesagten folgt nicht, dass die Adsorptionserscheinungen beim Stoffwechsel überhaupt keine Bedeutung haben. Denn in dem Falle, wenn die Ionenreihen (Adsorptions- und physiologische Reihen) eine gleiche Richtung aufweisen, wie wir das bei den Anionen gesehen haben, kann die Adsorbierbarkeit der Ionen das Eindringen auch gewissermassen fördern. Dieses findet aber unter der Bedingung statt, dass die gut adsorbierbaren Salze keine grosse Kolloidaktivität besitzen und wenn sie die Biokolloide der Plasmaoberfläche nicht verdichten. Bei unseren Versuchen ist das bei den ersten Gliedern der lyotropen Reihe (Rhodaniden, Iodiden und and.) der Fall.

Wenn aber ein gut adsorbierbares Neutralsalz gleichzeitig auch eine grosse Kolloidfällungskraft besitzt, so wird es sich nur an der Plasmaoberfläche ansammeln und die Grenzschichten dermassen verdichten, dass es nicht merklich durch das Plasma geht. Dieser Fall trifft bei den Erdalkalien zu. Die Adsorbierbarkeit der Salze kann in gewissen Fällen bei den sog. antagonistischen Ionenwirkungen eine Bedeutung haben. Darüber wird unten ausführlicher die Rede sein.

Einen guten Beweis dafür, dass beim Eindringen der Elektrolyte das Vermögen der Salze Zustandsänderungen der Plasmakolloide hervorzurufen die Hauptrolle spielt, liefern uns die Versuche von Brenner¹⁾.

Dieser Autor untersuchte die sog. „Säureresistenz“ des Plasmas der Rotkrautzellen gegenüber der Salzsäure und auch das Eindringen der Säure in die Zelle, wobei ihm als Indikator das Anthokyan des Zellsaftes diente.

Er fand, dass die Anwesenheit der isotonischen Mengen von Neutralsalzen in einigen Fällen die Resistenz der Rotkrautzellen in bezug auf die Säure vergrössern. Entnehmen wir der Arbeit von Brenner²⁾ einige sog. „kritische Konzentrationen“ der Säure,

1) W. Brenner, Ber. der Dtsch. Bot. Ges. Bd 38, 1920. S. 277.

2) l. c.

d. h. solche Konzentrationen der Salzsäure, in welchen das Plasma nach Brenner im Laufe von 4 Stunden noch leben bleibt.

Alle Salze sind isotonisch 3,75 ‰ KNO_3 .

Plasmolytikum	Kritische Konzentration der <i>HCl</i> in Mol.
<i>NaCl</i>	$\frac{1}{1000}$
<i>KNO₃</i>	$\frac{1}{800}$
<i>KCl</i>	$\frac{1}{600}$
<i>K₂SO₄</i>	$\frac{1}{400}$
<i>MgCl₂</i>	$\frac{1}{400}$
<i>CaCl₂</i>	$\frac{1}{250}$
Saccharose	$\frac{1}{700}$

Wenn wir hier die Anionenwirkung in Betracht ziehen, so ergibt sich bei den Kaliumsalzen die Reihenfolge $NO_3 < Cl < SO_4$, in welcher das Vermögen der Salze die Säureresistenz zu fördern von den Nitraten zu den Sulfaten zunimmt. Bei den Kationen wächst dieses Vermögen nach der Reihe $Na < K < Mg < Ca$, wobei die zweiwertigen Kationen viel stärker als die einwertigen die schädliche Wirkung der Säure vermindern. Wie man sieht, erhalten wir hier unsere bekannten physiologischen Ionenreihen.

Die beschriebene Neutralsalzwirkung lässt sich sehr leicht durch unsere Hypothese erklären, nämlich: die Endglieder der Reihen SO_4 und Ca verdichten, wie auch bei unseren Versuchen, die Oberflächenschicht des Plasmas dermassen, dass die Säure viel schwerer eindringt und die Säurekonzentration höher sein muss, um dieselbe Wirkung zu erzielen, wie ohne das Salz. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass auch die Saccharose die Plasmaoberflächenschicht zu verändern (verdichten) vermag, wie das aus den oben besprochenen Fusionsversuchen von Küster folgt. Brenner hat durch den Farbenumschlag des blauen Anthokyans unmittelbar beobachtet, dass diejenigen Salze, die die Giftwirkung der Salzsäure vermindern, gleichzeitig auch das Eindringen der Säure in die Vakuole erschweren. Er sagt: „So ist z. B. mit K_2SO_4 , $MgSO_4$ und $CaCl_2$ der Nachweis der *HCl* in den Zellen erst viel später und nur bei viel höheren Konzentrationen möglich, als bei Rohrzucker“ (l. c.).

Wäre die Giftigkeitsverminderung der Salzsäure bei Anwesenheit von Neutralsalzen ein Adsorptionsvorgang, wobei die einen Ionen die anderen verdrängen würden, denn bekanntlich ver-

drängt aus dem Gemisch zweier Stoffe der stärker adsorbierbare den schwächer adsorbierbaren ¹⁾, so bleibt es hier vollständig unklar, warum die Giftigkeit der Salzsäure bei Anwesenheit von K_2SO_4 viel kleiner ist als bei $NaCl$, denn K^+ und SO_4^{--} werden weniger adsorbiert als Na^+ , Cl^- und insbesondere H^+ . Auf Grund des Erörterten kommen wir zur Folgerung, dass beim Eindringen der Neutralsalze in das Plasma die Adsorption keine Hauptrolle spielt, insbesondere bei hohen Salzkonzentrationen.

Um beim Eindringen der Salze in das Plasma die Bedeutung der Adsorption näher kennen zu lernen, um ferner auch die Permeabilität des Plasmas für Salze näher von allen Seiten zu erforschen, ist es notwendig, auch die gegenseitige Beeinflussung der Salze in Gemischen auf das Eindringen zu untersuchen.

Zu diesem Zweck untersuchen wir zuerst die gegenseitige Beeinflussung der Kationen. Um diese Beeinflussung deutlicher zutage treten lassen, nehmen wir aus der Permeabilitätsreihe: $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ ein Salz mit dem Kation, das am leichtesten in das Plasma eindringt, und fügen kleine Mengen der Salze mit zweiwertigen Kationen hinzu. Um die gegenseitige Beeinflussung der Dissoziation zu vermeiden, sind die Salze mit verschiedenen Anionen genommen, z. B. KNO_3 und Chloride der Erdalkalien und des Magnesiums.

Die Konzentrationen des reinen Kontrollsalzes und der Gemische sind streng isotonisch.

Die Beeinflussung der Permeabilität des Plasmas durch Salzgemische. Kationen.

Tabelle 167.

I Serie.		Temperatur 19 ^o .			
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3 .					
Salze.	KNO_3 0,18 Mol (Kontroll- vers.)	KNO_3 0,15 Mol. +			
		+ $MgCl_2$ 0,020 Mol.	+ $BaCl_2$ 0,021 Mol.	+ $CaCl_2$ 0,020 Mol.	
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 9,4	% 11,5	% 8,0	% 9,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,4	3,6	1,6	0
$\frac{100A}{K} =$	(B)	46,8	31,2	20,2	0

1) Höber, l. c. S. 213, 214.

Tabelle 167. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 19°–20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,18 Mol KNO_3 .					
Salze.	KNO_3 0,18 Mol. (Kontroll- vers.)	KNO_3 0,15 Mol +			
		+ $MgCl_2$ 0,020 Mol.	+ $BaCl_2$ 0,021 Mol.	+ $CaCl_2$ 0,020 Mol.	
Die Kontraktion der Wurzel (K)	5,6	7,5	11,4	8,0	
Die Wiederausdehnung der Wurzel (A)	4,8	4,0	0,8	0	
$\frac{100 A}{K} =$ (B)	85,4	53,3	7,0	0	

Wie uns die Versuchsergebnisse der Tabelle 167 zeigen, verhindern die Erdalkalien und $MgCl_2$ das Eindringen des KNO_3 in die Zelle. Dieses Vermögen der zweiwertigen Kationen die Aufnahme des KNO_3 zu verhindern wächst nach den Reihenfolgen:

I Serie — $Mg < Ba < Ca$.

II Serie — $Mg < Ba < Ca$.

Besonders stark wird die Aufnahme von KNO_3 durch Kalziumchlorid herabgesetzt. Bei unseren Versuchsbedingungen wird durch $CaCl_2$ das Eindringen der Salpeterlösung überhaupt sistiert.

Das Vermögen der anderen zweiwertigen Kationen die Aufnahme der Salpeterlösung durch die Zelle zu verhindern steht im umgekehrten Verhältnis zum Eindringungsvermögen in das Plasma dieser Salze selbst: je mehr das entsprechende Kation selbst in das Plasma eindringt, desto weniger verhindert es auch das Eindringen anderer Kationen und umgekehrt. Daraus ergibt sich eine praktische Regel: je näher in der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ ein zweiwertiges Kation zu den einwertigen steht, desto weniger setzt es das Eindringen der letzteren herab; mit dem Abstand in der Reihe wächst die Fähigkeit antagonistisch zu wirken.

Untersuchen wir nun die Beeinflussung der Salzaufnahme durch Erdalkalien und Magnesium in etwas stärkeren Lösungen.

Tabelle 168.

I Serie.		Temperatur 20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,23 Mol KNO_3 .					
Salze.	KNO_3 0,23 Mol. (Kontroll- vers.)	KNO_3 0,202 Mol +			
		+ $MgCl_2$ 0,019 Mol.	+ $BaCl_2$ 0,020 Mol.	+ $CaCl_2$ 0,019 Mol.	
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 11,4	% 9,0	% 12,0	% 11,3
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,8	3,7	1,8	0
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	42,1	41,1	15,0	0
II Serie.		Temperatur 20°.			
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	10,8	11,0	10,6	8,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	5,6	4,4	1,9	0
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	51,8	40,0	17,9	0

Bei den in Tabelle 168 angeführten Versuchen verhindern die zweiwertigen Kationen die Salpeteraufnahme in die Zelle genau so, wie wir das aus der Tabelle 167 gesehen haben:

I Serie — $Mg < Ba < Ca$.

II Serie — $Mg < Ba < Ca$.

Wenn man aus den Ergebnissen der vier letzteren Versuchsserien (Tab. 167 und 168) die Minderung der Salpeteraufnahme in die Zelle durch die zweiwertigen Kationen prozentmässig ausrechnet, wobei diese Minderung mit dem Zeichen Minus versehen ist, so erhält man folgende Zahlen:

$$\begin{array}{c} \overbrace{KNO_3} \\ + Mg; + Ba; + Ca \\ - 20\% \quad - 69\% \quad - 100\% \end{array}$$

Die Zahlen zeigen uns, dass während eine kleine Menge von Kalziumchlorid (etwa $\frac{1}{9}$ der Gesamtmenge des Gemisches) die Aufnahme von KNO_3 in die Zelle vollständig sistiert, die äquivalenten Mengen von Bariumchlorid die Salzaufnahme um 69% und von Magnesiumchlorid nur um 20% herabsetzen.

Wenn wir annehmen, dass bei den zweiwertigen Kationen das Vermögen das Eindringen von einwertigen Kationen in das Plasma herabzusetzen etwa umgekehrt proportional ist der Fähigkeit der zweiwertigen Kationen selbst ins Plasma hineinzugehen, so erhalten wir die Permeabilitätsreihe für Erdalkalien: $Mg > Ba > Ca$.

Untersuchen wir noch weiter die gegenseitige Beeinflussung der Alkalikationen beim Durchtritt durch das Plasma.

Zu diesem Zweck wählen wir aus der Permeabilitätsreihe Salze mit weit voneinander stehenden Kationen, denn in diesem Falle treten die gegenseitigen Einflüsse am schärfsten hervor.

Die Kationen der Alkalisalze.

Tabelle 169.

I Serie.		Temperatur 20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3 .					
Salze.		KNO_3 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,19 Mol. II	KNO_3 0,17 Mol. + $LiCl$ 0,028 Mol.	$LiCl$ 0,17 Mol. + KNO_3 0,021 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 5,3	% 8,2	% 4,5	% 6,1
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,1	1,5	1,9	1,9
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	77,3	18,3	42,2	31,1
II Serie.		Temperatur 20°.			
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	5,8	6,2	5,6	—
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,9	1,0	1,8	—
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	67,2	16,1	32,1	—
III Serie.		Temperatur 19°—20°.			
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	6,8	4,5	7,0	9,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,0	0,9	2,6	1,2
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	44,1	20,0	37,1	13,0

Tabelle 169. (Fortsetzung).

IV Serie.		Temperatur 16 ⁰ —18 ⁰ .			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KNO_3 .					
Salze.		KNO_3 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,19 Mol. II	KNO_3 0,17 Mol. + $LiCl$ 0,028 Mol.	$LiCl$ 0,17 Mol. + KNO_3 0,021 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	7,3	5,0	5,2	5,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,2	0,4	1,1	0,7
$\frac{100A}{K} =$	(B)	43,8	8,0	21,1	14,0

Beim Vergleichen aller derjenigen Fälle in der Tabelle 169, in welchen zum KNO_3 kleine Mengen von $LiCl$ hinzugefügt worden sind, sehen wir, dass $LiCl$ das Eindringen von Salpeter in die Zelle überall gewissermassen hemmt. Ungeachtet dessen, dass die zum Salpeter hinzugefügte Lithiumchloridmenge etwa $\frac{1}{7}$ der Gesamtmenge des Gemisches ausmacht, setzt sie doch die Aufnahme von KNO_3 bis etwa auf die Hälfte herab (um 48% — das Mittel aus 4 Serien). Dagegen wird, wenn kleine Mengen von Kaliumnitrat (ungef. $\frac{1}{9}$ des Gemisches) zum Lithiumchlorid hinzugefügt werden, die Salzaufnahme durch das Plasma durchschnittlich um ein Drittel erhöht (um 33% — das Mittel aus 4 Serien).

Untersuchen wir jetzt den Fall, wenn die Alkalisalze gleiche Anionen haben.

Tabelle 170.

I Serie.		Temperatur 17 ⁰ —19 ⁰ .			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol KCl .					
Salze.		KCl 0,20 Mol. I	$LiCl$ 0,192 Mol. II	KCl 0,15 Mol. + $LiCl$ 0,048 Mol.	$LiCl$ 0,15 Mol. + KCl 0,043 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	% 5,4	% 3,7	% 3,3	% 3,9
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	3,5	1,4	1,6	1,9
$\frac{100A}{K} =$	(B)	64,8	37,8	48,5	48,7

Tabelle 170. (Fortsetzung).

II Serie.		Temperatur 18°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol <i>KCl</i> .					
Salze.		<i>KCl</i>	<i>LiCl</i>	<i>KCl</i>	<i>LiCl</i>
		0,20 Mol. I	0,192 Mol. II	0,15 Mol. + <i>LiCl</i> 0,048 Mol.	0,15 Mol. + <i>KCl</i> 0,043 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel	(K)	6,7	4,6	4,9	4,6
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(A)	4,0	1,9	2,6	2,3
$\frac{100 A}{K} =$	(B)	59,7	41,3	53,1	50,0

Die Ergebnisse der Tabelle 170 stimmen mit denen der vorhergehenden Tabelle gut überein. Aus der Tatsache, dass in diesem Falle die Anionen dieselben sind, können wir schliessen, dass wir es hier allein mit den Kationenwirkungen zu tun haben. Jedoch sind, wie wir das im Weiteren sehen werden, hier die beiden Ionen eines jeden Salzes von Bedeutung.

Die Hinzufügung einer kleinen Menge von Lithiumchlorid zur Kaliumchloridlösung hemmt die Aufnahme von *KCl* durchschnittlich um 44%, umgekehrt, der Zusatz derselben Mengen von *KCl* zur Lithiumchloridlösung erhöht die Aufnahme etwa um 27%.

Auf Grund der Versuche mit Salzgemischen können wir folgende Regel aufstellen: die Aufnahme eines jeden Salzes¹⁾ der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$ wird durch ein beliebiges anderes Salz gehemmt, dessen Kation in der Reihe rechts von dem ersteren steht. Diese Hemmung ist umso stärker, je grösser der Abstand zwischen den Kationen in der Reihenfolge ist. Die zweiwertigen Kationen haben ihrer grösseren Kolloidaktivität gemäss eine bedeutend grössere Hemmungskraft.

Bei den Salzen mit einwertigen Kationen wird die Aufnahme durch den Zusatz von in der Reihe links stehenden Kationen erhöht. Durch den Zusatz von Alkalisalzen zu den Erdalkalien wird die Aufnahme der letzteren infolge der grossen Kolloidaktivität nicht beeinflusst.

1) Im allgemeinen die gleiche Säure vorausgesetzt.

Untersuchen wir jetzt die Beeinflussung der Salzaufnahme in die Zelle durch die Anionen. Zu diesem Zweck nehmen wir ein Salz, dessen Anion ungefähr in der Mitte der lyotropen Reihe sich befindet, und setzen ihm kleine Mengen von Salzen hinzu, deren Anionen links und rechts von dem erwähnten Anion stehen. Alle Lösungen der Salzgemische sind streng isotonisch.

Die Beeinflussung der Plasmapermeabilität durch Anionen.

Tabelle 171.

I Serie.		Temperatur 19°—20°.				
Alle Lösungen isotonisch 0,22 Mol <i>KCl</i> .						
Salze.		<i>KCl</i> 0,20 Mol +				
		+ 0,02 Mol <i>KI</i>	+ 0,025 Mol <i>KNO₃</i>	+ 0,020 M. <i>KCl</i> (Kontroll- vers.)	+ 0,0153 Mol <i>K₂SO₄</i>	+ 0,0126 Mol <i>K-Zitrat</i>
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	% 10,3	% 11,1	% 10,0	% 10,8	% 12,5
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	5,9	4,9	4,1	3,8	0,8
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	57,1	44,1	41,0	35,2	6,4
II Serie.		Temperatur 20°.				
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	11,0	10,7	9,5	11,1	13,4
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	6,0	5,6	4,4	3,9	1,4
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	54,5	52,3	46,3	35,1	10,4

Die in der Tabelle 171 angeführten Versuchsergebnisse zeigen uns, dass die Aufnahme eines Salzes durch andere Salze mit gleichem Kation und verschiedenen Anionen in sehr merklicher Weise beeinflusst werden kann. Um dieses zu veranschaulichen, ist unten die Hemmung und die Förderung der Aufnahme des Kontrollsalzes (*KCl*) in Salzgemischen durch Prozente ausgedrückt. Das Zeichen Minus bedeutet die Hemmung und Plus die Erhöhung der Aufnahme; die Zahlen sind nach den Daten von zwei Versuchsserien ausgerechnet.

<i>KCl</i>				
+ <i>KI</i> ;	+ <i>KNO₃</i> ;	+ <i>KCl</i> ;	+ <i>K₂SO₄</i> ;	+ <i>K-Zitrat</i>
+ 40%	+ 23%	0%	— 9%	— 74%

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass die Beeinflussung der Aufnahme des Kaliumchlorids durch verschiedene Anionen nach der lyotropen Reihe vor sich geht, wobei die ersten Glieder der Reihe die Aufnahme des *KCl* fördern, die letzten sie aber hemmen.

Im allgemeinen kann man folgende Regel aufstellen: die Aufnahme eines Salzes der lyotropen Reihe in die Zelle wird (das gleiche Kation vorausgesetzt) durch die von ihm links stehenden Anionen erhöht und durch die rechts stehenden gehemmt. Diese Erhöhung bzw. Hemmung der Aufnahme ist umso grösser, je weiter in der Reihenfolge von dem Kontrollsalz das Anion des hinzugesetzten Salzes steht.

So wird unter den Kaliumsalzen der Reihenfolge *I*, NO_3 , *Cl*, SO_4 , Zitrat die Aufnahme des Chlorids in die Zelle durch kleine Mengen von Jodid und Nitrat gefördert, durch Sulfat und Zitrat gehemmt.

Zwei andere Versuchsserien bestätigen die gefundene Regel.

Tabelle 172.

I Serie.		Temperatur 20°.			
Alle Lösungen isotonisch 0,22 Mol <i>KCl</i> .					
Salze.		<i>KCl</i> 0,20 Mol +			
		+ 0,02 Mol <i>KBr</i>	+ 0,02 M. <i>KCl</i> (Kontrollvers.)	+ 0,0153 Mol K_2SO_4	+ 0,0126 Mol <i>K</i> -Zitrat
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	% 9,0	% 6,9	% 9,3	% 11,7
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	6,5	3,8	2,9	2,7
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	72,2	55,1	31,2	23,1
II Serie.		Temperatur 20°.			
Die Kontraktion der Wurzel	(<i>K</i>)	10,2	11,2	8,0	8,9
Die Wiederausdehnung der Wurzel	(<i>A</i>)	4,7	3,7	1,6	1,6
$\frac{100 A}{K} =$	(<i>B</i>)	46,1	33,0	20,0	17,9

Die Daten der Tabelle 172 zeigen uns eine ganz analoge Beeinflussung der Salzaufnahme durch die Anionen, wie wir das in der vorhergehenden Tabelle gesehen haben. Die Versuchsergebnisse in Prozenten ausgedrückt geben uns folgende Zahlen (das Mittel aus zwei Versuchsserien):

$$\begin{array}{cccc} & \text{KCl} & & \\ \hline + \text{KBr}; & + \text{KCl}; & + \text{K}_2\text{SO}_4; & + \text{K-Zitrat} \\ + 50\% & 0\% & - 42\% & - 45\% \end{array}$$

Das Bromid, das in der lyotropen Reihe links vom Kaliumchlorid steht, erhöht die Aufnahme des letzteren Salzes durchschnittlich um 50%, während die von ihm rechts stehenden Sulfat und Zitrat die Aufnahme stark herabsetzen.

Bisher hatten bei der Untersuchung der Anionenwirkungen die Salze dieselben Kationen und verschiedene Anionen.

Wir werden aus dem Folgenden sehen, dass sich dieselben Verhältnisse auch dann ergeben, wenn die beiden Ionen bei den Salzen verschieden sind.

Tabelle 173.

I Serie.		Temperatur 20°–22°.				
Alle Lösungen isotonisch 0,20 Mol <i>KBr</i> .						
Salze.	<i>KBr</i> 0,20 Mol.	<i>Na₂SO₄</i> 0,154 Mol.	<i>Na₂SO₄</i> 0,125 Mol. + <i>KBr</i> 0,037 Mol.	<i>KBr</i> 0,16 Mol. + <i>Na₂SO₄</i> 0,03 Mol.	<i>NaCl</i> 0,20 Mol.	<i>NaCl</i> 0,17 Mol. + <i>KBr</i> 0,029 Mol.
Die Kontraktion der Wurzel (<i>K</i>)	% 10,2	% 8,4	% 10,3	% 9,3	% 7,1	% 8,0
Die Wiederausdehnung der Wurzel (<i>A</i>)	4,1	0	3,2	2,6	3,2	4,1
$\frac{100 A}{K} =$ (<i>B</i>)	40,0	0	31,1	27,9	45,1	51,2
II Serie.		Temperatur 20°.				
Die Kontraktion der Wurzel (<i>K</i>)	9,1	7,2	7,6	7,4	5,9	6,2
Die Wiederausdehnung der Wurzel (<i>A</i>)	4,1	0	1,3	1,7	2,8	3,5
$\frac{100 A}{K} =$ (<i>B</i>)	45,1	0	17,1	22,9	47,4	56,4

Die Resultate der zwei letzten Versuchsserien (Tabelle 173) zeigen uns, wie die für die Anionen gefundene Regel auch für Salze mit verschiedenen Kationen gültig ist.

Kleine Mengen (weniger als $\frac{1}{5}$ des Gemisches) von KBr , einem in das Plasma gut eindringenden Salze, zum Na_2SO_4 (einem in der Versuchszeit nicht eindringenden Salze) hinzugesetzt, erhöhen merklich die Aufnahme von Glaubersalz, so dass die aufgenommene Menge des letzteren etwa die Hälfte der des reinen KBr beträgt.

Andererseits setzt der Zusatz von Na_2SO_4 zum KBr die Aufnahme des letzteren Salzes herab.

Etwa dieselben Verhältnisse finden bei $NaCl$ und KBr statt. Geringe Mengen von Kaliumbromid (etwa $\frac{1}{7}$ des Gemisches), zum Kochsalz hinzugesetzt, erhöhen die Aufnahme des letzteren in die Zelle um ungefähr 27%.

Theoretische Folgerungen.

Wir haben gesehen, dass bei demselben Kation und verschiedenen Anionen (Tabellen 159—164) das Eindringungsvermögen der Salze in das Plasma sehr verschieden ist. Daraus kann man über die Abhängigkeit dieses Vermögens von den Anionen schließen. Andererseits ist bei demselben Anion und verschiedenen Kationen die Aufnahme der Salze noch viel verschiedener, woraus man über die Kationenwirkungen folgern kann. Somit ist die Aufnahme der Salze in die Zelle ein Vorgang, der von den beiden Ionen des Salzes abhängt.

Es entsteht hier die Frage, welche Rolle jedes Ion eines Salzes bei diesem Vorgang spielt, ob alle beide Ionen die Aufnahme des Salzes fördern, oder ob ihre Wirkung eine entgegengesetzte ist. Die Frage findet ihre Beantwortung durch die Versuche mit Salzkombinationen.

Setzt man zum KCl kleine Mengen von KI bzw. KNO_3 hinzu, so wird die Aufnahme von KCl in die Zelle erhöht, bei unseren Versuchsbedingungen in dem einen Falle um 40%, im anderen um 23% (siehe Tabelle 171 auf Seite 133). Versetzt man dieselbe Kaliumchloridlösung mit kleinen Quantitäten von K_2SO_4 bzw. K -Zitrat, so wird die Aufnahme um 9% bzw. 74% herabgesetzt (Tabelle 171). Da hier die Salze überall dasselbe Kation haben, so ist es ganz natürlich die Beeinflussung der Aufnahme

dem Anion zuzuschreiben. Auf diese Weise kommen wir zum paradoxen Schlusse, dass die Anionen der Salze in dem einen Falle die Salzaufnahme in die Zelle fördern, in dem anderen aber hindern!

Diese ungewöhnliche Folgerung wird leicht durch die Annahme beseitigt, dass die Anionen der Neutralsalze die Aufnahme in die Zelle fördern, die Kationen aber hindern.

Wir gelangten oben zum Schlusse, dass das Vermögen der Salze in das Plasma einzudringen im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Kolloidaktivität steht. Diejenigen Neutralsalze, die die Oberflächenschicht des Plasmas verdichten, d. h. mehr oder weniger zur Entquellung bringen, dringen infolgedessen auch sehr langsam in die Zelle ein (vgl. S. 120).

Die Biokolloide des Plasmas haben eine negative elektrische Ladung und infolgedessen werden sie nach der Hardy'schen Regel¹⁾ durch die Kationen gefällt, die Anionen dagegen wirken peptisierend (lösend) auf die Plasmakolloide. Je nachdem welche Wirkung bei den Ionen eines Neutralsalzes stärker ist, die entquellende des Kations oder die lösende des Anions, wird das Salz entweder sehr langsam eindringen oder verhältnismässig schnell durch das Plasma gehen. Somit ist endgültig das Eindringen eines Neutralsalzes in das Plasma von der algebraischen Summa seiner Ionenwirkungen abhängig, wobei sich die Kationen in dieser Summa mit dem Zeichen Minus, die Anionen — mit Plus beteiligen.

Bei den Anionen nimmt die peptisierende (lösende) Wirkung gegenüber den Plasmakolloiden nach der lyotropen Reihenfolge ab: $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4, Zitate$; das Vermögen der Kationen die Biokolloide zu koagulieren (verdichten) wächst nach folgender Reihe: $K < Na < Li < Mg < Ba < Ca$.

Es leuchtet ein, dass, wenn ein schwachwirkendes Kation, wie z. B. K^+ , mit einem energisch peptisierenden Anion wie I^- , Br^- , NO_3^- verbunden ist, in den Salzen die peptisierende (lösende) Wirkung des Anions dominiert und die Oberflächenkolloide des Plasmas unter dem Einflusse dieser Salze aufgelockert werden, und infolgedessen dringen die Jodide, Bromide und Nitrate des Kaliums verhältnismässig leicht in das Plasma ein. Infolge der

1) Zit. nach Höber, Physik. Chemie etc. S. 328.

dominierenden Wirkung des Anions fördern diese Salze, den anderen Salzen hinzugesetzt, die Aufnahme der letzteren, indem sie die fallende Wirkung der Kationen in den schwer eindringenden Salzen vermindern, bei denen die Kationenwirkung dominiert.

Bei den Chloriden der Alkalisalze, insbesondere bei *NaCl* und *LiCl*, ist die Wirkung beider Ionen noch ziemlich gleich. Dagegen tritt bei den Sulfaten und Zitraten die peptisierende Wirkung der Anionen hinter der koagulierenden Wirkung der Kationen zurück und dringen diese Salze ziemlich langsam in das Plasma ein; zu den leicht permeierenden Salzen hinzugesetzt, hemmen sie die Aufnahme der letzteren infolge der dominierenden Kationenwirkung (vgl. die Tabellen 171 und 172).

Bei den Erdalkalien ist das Koagulationsvermögen der zweiwertigen Kationen schon verhältnismässig sehr gross, und in einigen Fällen deckt es die peptisierende Wirkung des Anions völlig zu. Aus diesem Grunde hemmen die Erdalkalien, zu gut permeierenden Salzen hinzugesetzt, das Eindringen derselben beinahe vollständig.

Diese oben auseinandergesetzte antagonistische Ionenwirkung bei der Aufnahme der Salze in die Zelle stellt nichts prinzipiell Neues vor: man hat schon seit langem solchen Ionenantagonismus bei kolloidchemischen¹⁾ und neuerdings auch bei physiologischen Prozessen gefunden. So fand Pauli²⁾ als erster, wie bereits oben beschrieben, dass bei der Fällung des nativen Hühnereiweisses die Kationen fällend, die Anionen aber lösend wirken. Dasselbe fanden auch Porges und Neubauer³⁾ bei der Fällung von Lezithin- und Cholesterinsuspensionen.

M. Fischer meint, dass die Quellung von toten Kolloiden (Gelatine und and.) und die Wasseraufnahme von Muskeln unter dem Einflusse von Säuren eine Wirkung der Wasserstoffionen minus die Wirkung der betreffenden Anionen vorstellt⁴⁾. Porodko⁵⁾ fand, dass bei den chemotropischen Erscheinungen der

1) H. Handowsky, Leitfaden der Kolloidchemie. 1922. S. 111.

2) Pauli, Beitr. zur chem. Physiol. und Pathol. Bd. 3. 1903. S. 225.

3) Porges und Neubauer, Biochem. Zeitschr. Bd. 7. 1907. S. 167.

4) M. Fischer, Oedema. Übersetzt aus dem Englischen. Moskau 1913.

S 41 ff. (russisch).

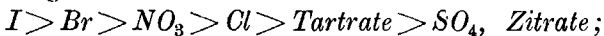
5) Porodko, Chemotropismus der Wurzeln II T. (Diss), I. c. S. 279 (russisch).

Wurzeln die Kationen als Träger der negativen, die Anionen als solche der positiven chemotropischen Eigenschaften anzusehen sind. Er sagt: „Die chemotropische Wirkung eines Stoffes, die in konkreten Fällen beobachtet wird, ist das Resultat der algebraischen Summierung der positiven chemotropischen Wirkung des Anions und der negativen chemotropischen Wirkung des Kations“.

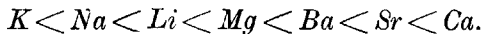
Den Antagonismus zwischen dem Kation und Anion eines Salzes hat auch Spek¹⁾ beim Magnesiumsulfat beobachtet. Dieses Salz dringt, zum Unterschied von Magnesiumchlorid, nach den Angaben von Spek schwer in das Plasma von Heliozoa ein.

Er sagt: ...„Wir lernen somit hier zum ersten Male in dieser Arbeit einen auffälligen starken Antagonismus zwischen zwei Ionen kennen, der bewirkt, dass keines der beiden Ionen seine charakteristischen spezifischen Wirkungen entfalten kann und der dadurch verursacht wird, dass die beiden Ionen, wenn sie zusammen wirken, die Permeabilität der Zelle... verringern, so dass sie selbst nicht mehr in die Zelle hineingelangen können“.

Das Erörterte über das Eindringen der Neutralsalze in die Zelle zusammenfassend, kommen wir zum Schluss: die Anionen fördern die Aufnahme eines Salzes nach der Reihenfolge:



die Kationen hemmen die Aufnahme nach der Reihenfolge:



In Abhängigkeit von den beiden antagonistischen Eigenschaften der Ionen, je nachdem, welche Glieder der beiden Reihenfolgen an der Konstruktion eines Salzes sich beteiligen, ergibt sich auch dieses oder jenes Eindringungsvermögen eines Neutralsalzes. Es ist nicht schwer zu ersehen, dass eine Kombination der ersten Glieder der beiden Ionenreihen Salze bildet, die leicht in das Plasma eindringen, eine Kombination der letzten Glieder aber schwer permeierende Salze ergibt.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir noch kurz die Bedeutung der Adsorption in den Salzgemischen erwähnen.

Aus den Wirkungen der Salzkombinationen ist besonders klar ersichtlich, dass bei der Aufnahme der Salze in die Zelle die Adsorptionserscheinungen keine prävalierende Rolle spielen.

1) Spek, l. c. S. 177.

Die Adsorption der Neutralsalze nimmt ab nach der Reihenfolge: $I > NO_3 > Cl > SO_4$ (siehe S. 124), und wenn man eine Mischung des Chlorids mit einem anderen Salz derselben Reihe hat, so kann das Chlorid nur durch das Jodid oder Nitrat verdrängt werden, d. h. durch stärker adsorbierbare Salze als das Chlorid. Das Chlorid selbst verdrängt das Sulfat. Das Experiment zeigt uns jedoch das Gegenteil, nämlich, dass in den Gemischen gut adsorbierbare Salze (Jodid, Nitrat) das Eindringen von Chlorid fördern, und nicht von der Plasmaoberfläche dasselbe verdrängen. Dagegen setzen schwach adsorbierbare Salze, wie das Sulfat, die Aufnahme von Chlorid stark herab, ganz als ob das letztere Salz von der Plasmafläche verdrängt wäre.

Die Tatsachen stimmen wenig gut mit den Gesetzen der Adsorption überein, und daraus folgt, dass bei der Aufnahme der Salze ins Plasma die Adsorption keine dominierende Bedeutung haben kann, sondern der Durchtritt der Salze nach der oben auseinandergesetzten Gesetzmässigkeit vor sich geht.

Eine der wichtigsten Folgerungen unserer Permeabilitätsversuche mit den Salzgemischen ist die Deutung der sog. antagonistischen Ionenwirkungen der Salze.

Wegen der grossen Bedeutung dieser Frage wollen wir auf sie etwas näher eingehen.

Schon seit langem ist es bekannt, dass Pflanzen, die in reinen Salzlösungen insbesondere der Alkalisalze kultiviert werden, bald erkranken und eingehen: ihre Wurzeln verschleimen sich und quellen auf, kranke Stellen werden braun und verfaulen¹⁾. Dagegen entgiftet die Anwesenheit von kleinen Mengen Kalzium in der Nährlösung die schädliche Lösung, und die Pflanzen entwickeln sich mehr oder weniger normal. Diese Erscheinung wurde am Ende des vorigen Jahrhunderts seitens mehrerer Forscher untersucht, die jedoch zu keinen bestimmten und einheitlichen Schlüssen bezüglich der Ursachen der Giftigkeit der Salzlösungen gelangten.

Erst Loew²⁾ war bestrebt, bestimmte theoretische Vorstellungen über die Erkrankung der Pflanzen in reinen Salzlösungen

1) Wolf, Landw. Versuchst. Bd. 6. 1864. Raumer, ibid. Bd. 29. 1883.
Boehm, Sitzungsber. Wiener Ak. Wiss. Math.-nat. Kl. Bd. 71 I. 1875.
Porthem, ibid. 110 I. 1901.

2) O. Loew, Flora 1892. S. 368.

zu entwickeln. Dieser Autor bringt die Giftigkeit solcher Lösungen mit den Strukturveränderungen im Inneren der Zelle in Zusammenhang. Nach seiner Meinung wird durch die Abwesenheit von Kalzium und Magnesium in den Nährlösungen die Entwicklung des Zellkerns und der Chloroplasten zurückgehalten, was zuletzt die Zelle zum Tode führt.

Diese Meinung wurde in der neuesten Zeit durch den norwegischen Gelehrten Hansteen-Cranner¹⁾ einer experimentalen Kritik unterworfen. In einer Reihe von sehr gediegenen und interessanten Arbeiten zeigte er, dass die Giftigkeit der reinen Salzlösungen nicht durch die Veränderungen im Innern der Zelle bedingt wird, sondern dass die Veränderungen stets in den Oberflächenschichten der Zellen stattfinden.

Mit Hilfe scharfsinnig veranstalteter Kulturen, zu deren genauerer Kenntnisnahme hier auf die Originalarbeit hingewiesen sei, hat Hansteen-Cranner bewiesen, dass in kalkfreien reinen Lösungen „der Angriff zuerst an solchen Organen, die mit der Lösung in unmittelbarem Kontakt sind, erfolgt“... „An der Streckungszone führt der Angriff zu einer Auflösung der Zellwände, die bei den Wurzeln — wegen des unmittelbaren Kontaktes dieser Organe mit dem schädlichen Aussenmedium — allmählich von aussen nach innen, bei den Stengeln dagegen — wegen der inneren Zufuhr der schädlichen Flüssigkeit — von innen nach aussen fortschreitet“... „Der Angriff von aussen erfolgt unabhängig von dem Kalkreichtum im Innern der Wurzeln. Eine Wurzel oder ein Wurzelteil, der kalkreich ist oder eine stetige Versorgung mit Kalk von innen bekommt, geht doch in der schädlichen Lösung von aussen her zugrunde“... „In einer kalkhaltigen Lösung gedeiht die Pflanze nicht allein normal, sondern ihre Wurzeln zeigen ein energisches Längenwachstum und verästeln und behaaren sich reich“...

Auf Grund dieser und noch anderer Tatsachen kommt Hansteen-Cranner zum Schlusse, dass: „die Erkran-

1) Hansteen-Cranner, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 47. 1910. S. 289; Bd. 53. 1914. S. 536; Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 37. 1919. S. 380.

kung einer Pflanze in einem kalkfreien resp. ihre normale Entwicklung in einem kalkhaltigen Medium jedenfalls hauptsächlich und in erster Linie nicht auf Innen-, sondern auf Oberflächenwirkungen beruhen“... (l. c. 1910, S. 367 ff).

Ferner sei hier auf die bekannten Fundulusversuche von Loeb¹⁾ hingewiesen. Die befruchteten Eier von *Fundulus heteroclitus* entwickeln sich nicht in den reinen Kochsalzlösungen, sondern für ihre normale Entwicklung ist die Anwesenheit von zweiwertigen Kationen in der Lösung unentbehrlich.

In Zusammenhang mit Loeb's Untersuchungen stehen auch die Versuche von Wo. Ostwald²⁾ über die Lebensdauer des Süßwasserkrebse *Gammarus pulex de Geer* in den Lösungen der Alkalisalze und Erdalkalien. Dieser Autor zeigte, dass die Giftigkeit der Kalium- und Natriumsalze paralyisiert wird, wenn sich gleichzeitig in der Lösung Magnesium- und Kalziumsalze befinden. Von den Versuchen von Loeb ausgehend, untersuchte Osterhout an einer ganzen Reihe von pflanzlichen Objekten die antagonistischen Wirkungen der Salze.

Wir wollen hier nicht auf die Einzelheiten seiner Arbeiten³⁾ eingehen, die genug bekannt sind und häufig zitiert werden. Es sei nur kurz erwähnt, wie in Übereinstimmung mit anderen Autoren Osterhout fand, dass reine Salzlösungen (besonders der Alkalisalze) für die Pflanzen immer giftig sind, und dass eine Pflanze für ihre normale Entwicklung ausser den Alkalisalzen auch der Erdalkalien bedarf. In den Salzgemischen entgiften sich die schädlichen Eigenschaften der Salze, und eine günstige Salzlösung für Pflanzen nennt Osterhout „a physiologically balanced solution.“

Ferner sei hier noch auf die Arbeiten von Benecke⁴⁾ und Szücs⁵⁾ hingewiesen.

1) Zit. nach Höber, Physik. Chemie etc. S. 527 ff.

2) Wo. Ostwald, Pflügers Arch. Bd. 106. 1905. S. 563.

3) Osterhout, University of California publ. Vol. 2, No 10 und 11. 1906.

Idem, Botanical Gazette, Vol. 42. 1906. p. 127. Vol. 44. 1907 p. 259.

Vol. 47. 1909. p. 48. Vol. 48. 1909, p. 98.

Idem, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 46. 1908. S. 121.

Idem, Science, Vol. 36. 1912. p. 571.

4) Benecke, Ber. der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 25. 1907. S. 322.

5) Szücs, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 52. 1913. S. 85.

Es lässt sich leicht experimentell nachweisen, dass die Erdalkalien in hohem Masse die für Pflanzen schädlichen Lösungen der Alkalisalze entgiften.

In den folgenden Tabellen sind Versuche mit in die Zelle leicht eindringenden und deswegen giftigen Salzen — NH_4CNS , $NaNO_3$ und KI — dargestellt. Parallel mit den Versuchen, die die Giftwirkung der reinen Lösungen zeigen, sind auch Versuche mit Salzgemischen dargestellt. Die Lösungen sind in der Weise hergestellt, dass in den Salzgemischen die Konzentration des zu untersuchenden Salzes dieselbe bleibt, wie in den Kontrollversuchen. So z. B. wenn die Kontrolllösung NH_4CNS die Konzentration 0,7 norm. hat, so hat das Gemisch NH_4CNS 0,7 norm. + $CaCl_2$ 0,3 norm., die Gesamtkonzentration 1,0 norm., wobei die Konzentration NH_4CNS im Gemisch auch 0,7 norm. bleibt.

Tab. 174. NH_4CNS 0,7 norm.
Pflanze — Rotkohl.
Kontrollversuch.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
1 Min.	5	4	1	—	—	85,0
3 "	2	5	3	—	—	72,5
5 "	—	3	4	3	—	50,0
7 "	—	4	3	3	—	52,5
10 "	—	2	5	2	—	45,0
12 "	—	2	4	3	*1	42,5
15 "	—	1	1	5	*3	22,5
17 "	—	—	2	3	*5	17,5
20 "	—	—	2	5	*3	22,5
25 "	—	—	3	4	*3	25,0
30 "	—	—	2	4	*4	20,0
35 "	—	—	2	5	*3	22,5
40 "	—	—	2	5	*3	22,5
45 "	—	—	1	2	*5	12,5
Das Mittelprozent						35,7

Tabelle 175. Salzkombination.
 NH_4CNS 0,7 norm. + $CaCl_2$ 0,3 norm. Gesamtkonz. 1,0 norm.
Pflanze — Rotkohl.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	Der plasmolysierte Teil d. Schnittfläche					Plasmolysierte Gesamtfläche für je 10 Schn. %
	4/4	3/4	2/4	1/4	0	
1 Min.	10	—	—	—	—	100,0
3 "	10	—	—	—	—	100,0
5 "	10	—	—	—	—	100,0
7 "	10	—	—	—	—	100,0
10 "	10	—	—	—	—	100,0
12 "	9	1	—	—	—	97,5
15 "	8	2	—	—	—	95,0
17 "	9	1	—	—	—	97,5
20 "	7	3	—	—	—	92,3
25 "	9	1	—	—	—	97,5
30 "	6	2	2	—	—	85,0
35 "	7	2	1	—	—	90,0
40 "	5	4	1	—	—	85,0
55 "	5	3	2	—	—	82,0
Das Mittelprozent						94,5

Die Tabellen 174 und 175 ergeben, dass ein Zusatz von Kalziumsalz zur giftigen Lösung von NH_4CNS die schädliche Wirkung des letzteren ziemlich stark entgiftet. Während in der reinen Lösung nach 45 Min. fast $\frac{9}{10}$ der Gesamtmenge

der Zellen abgestorben sind, sind bei Anwesenheit von Kalzium noch 82 % der Zellen lebend, ungeachtet dessen, dass die Salzmischlösung mehr konzentriert ist, als die Kontrolllösung und infolge der stärkeren Plasmolyse der Zellen dem Plasma weniger günstig sein dürfte¹⁾.

Beim Vergleichen der Mittelprozentage (35,7 % und 94,5 %) erweist sich, dass die reine Rhodan ammoniumlösung während der ganzen Versuchszeit etwa dreimal giftiger ist, als in der Kombination mit $CaCl_2$. Diese Verhältnisse treten bei der anderen Versuchspflanze noch besser hervor (Tabelle 176).

Tabelle 176.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	$NaNO_3$ 0,3n.	$NaNO_3$ 0,3 n. + $MgCl_2$ 0,2 n. Gesamtkonz. 0,5 n.
4 Stdn	100,0	100,0
7 „	98,8	100,0
10 „	57,6	100,0
13 „	5,4	96,8
22 „	0,8	98,0
25 „	0	100,0
28 „	—	91,5
32 „	—	91,2
36 „	—	97,3
Das Mittel	37	97,3

Hier ist ein weniger giftiges Salz — $NaNO_3$ — und eine schwächere Konzentration (0,3 norm.) angewandt. Infolgedessen tritt die entgiftende Wirkung von $MgCl_2$ noch schärfer als bei dem vorhergehenden Versuch hervor, und zwar starben in der reinen Lösung alle Zellen in den Schnitten nach 24 Stunden ab, während bei Anwesenheit von $MgCl_2$ im Laufe dieser Zeit fast alle Zellen noch intakt waren.

Wenden wir uns nun zu den Ursachen des Entgiftungsvermögens der Erdalkalien.

Auf Grund der oben auseinandergesetzten Hypothese über das Eindringen der Neutralsalze in die Zelle fällt es nicht schwer, die Ursachen der antagonistischen Salzwirkungen zu deuten. Wir haben bewiesen, dass die Giftigkeit eines Neutralsalzes in erster Linie von einem abnormen Eindringungsvermögen in die Zelle abhängt. Andererseits haben wir gesehen, dass gerade die Alkalisalze besonders leicht in die Zelle eindringen, und es ist daher begreiflich, warum die Pflanzen in reinen Lösungen dieser Salze nicht gedeihen können. In dieser Beziehung sind besonders die Salze der ersten Hälfte der lyotropen Reihe, die Jodide, Bromide, Nitrate und Chloride, giftig, da sie in die Zelle schnell in solchen Mengen eindringen, die Hunderte von Malen die phy-

1) Vgl. Lepeschkin, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 28. S. 385.

siologischen Bedürfnisse übersteigen und die die Plasmamembran desorganisieren, was den Tod zur Folge hat. Bei diesen Salzen ist in bezug auf die Plasmakolloide die peptisierende Wirkung der Anionen grösser als die dehydratisierende der Kationen, und infolgedessen werden die Plasmakolloide aufgelockert. Damit ist vielleicht auch die von Hansteen-Cranner beobachtete Tatsache zu erklären, dass bei den jungen Wurzelzellen die Zellwände in reinen Salzlösungen aufgelöst werden¹⁾.

Bekanntlich quillt die Gelatine nach den Untersuchungen von Hofmeister²⁾ und Pauli³⁾ in reinen Lösungen der Jodide, Bromide, Nitrate und Chloride von Kalium, Natrium und Ammonium bedeutend mehr auf als im Wasser, und im allgemeinen fördern diese Salze auch das Gelatinieren nicht, während die Sulfate, Zitate und Tartrate die Quellung herabsetzen.

Ferner haben Weinland und Höber am Flimmerepithel der Rachenschleimhaut des Frosches und Lillie an den bewimperten Larven von *Arenicola* und dem Kiemenepithel von *Mytilus edulis* beobachtet, dass die Dauer des Flimmerschlages in den Sulfatlösungen am längsten und in den Jodidlösungen am kürzesten ist⁴⁾. Nach Lillie macht sich hier die lyotrope Reihenfolge geltend, wobei die ersten Glieder (Jodide, Bromide etc.) am meisten, die letzten am wenigstens schaden. Nach Lillie's Untersuchungen werden die Arenicolacilien durch die reinen Lösungen von Jodiden, Bromiden, Nitraten und Chloriden beinahe verflüssigt⁵⁾.

Wir haben ferner gesehen, dass die Salze der Erdalkalien, insbesondere die des Kalziums, sehr schwer in die Zelle eindringen, wobei sie nach unseren Ansichten die Oberflächenschicht des Plasmas verdichten. Besonders wichtig ist die Tatsache, dass die Erdalkalien das Eindringen der anderen, dem Plasma schädlichen Salze verhindern (vgl. die Tabelle 169).

Durch dieses Verhindern der Aufnahme der „giftigen“ Salze in die Zelle kann man die antitoxischen Eigenschaften der Erdalkalien in bezug auf

1) Hansteen-Cranner, Jahrb. für wiss. Botan. Bd. 47. 1910. S. 368.

2) Hofmeister, Arch. für exper. Physiol. und Pathol. Bd. 27. 1890. S. 395.

3) Wo. Pauli, Pflügers Arch. Bd. 71. 1898. S. 333.

4) Höber, l. c. S. 508.

5) l. c. S. 510.

das Plasma erklären. Wegen der dominierenden Wirkung des zweiwertigen Kations setzen die Erdalkalien die durch die Alkalisalze bewirkte allzu grosse Aufquellung der Plasmaoberflächenkolloide herab und infolgedessen können die Alkalisalze nur in physiologisch brauchbaren Mengen in die Zelle gelangen. Dass die Erdalkalien eine abnorme Quellung der Gewebe herabsetzen können, das hat auch Höber¹⁾ beobachtet. Er sagt: „Ich habe die von mir beobachteten ruhestromhemmenden Fähigkeiten von *Ca*, *Sr* und *Ba* als eine Art „Gerbung“ der Plasmahaut aufgefasst, bei welcher durch die Erdalkalien die Quellbarkeit der Plasmahautkolloide verringert wird.“

Einen unbedeutenden antagonistischen Einfluss können auch die Alkaliionen gegenseitig ausüben, wie dieses schon Osterhout²⁾ gefunden hatte. Wir haben oben gesehen, dass in der Permeabilitätsreihe $K > Na > Li \dots > Ca$ ein jedes Kation infolge der grösseren Kolloidaktivität das Eindringen der von ihm in der Reihe links stehenden Kationen verringert. Daraus lässt sich leicht erklären, warum z. B. die Lösungen von *KCl* giftiger als die von *KCl* + *NaCl* sind.

Andererseits wird infolge des gleichen *Cl*-Ions die Dissoziation in den Gemischen von Chloriden etwas zurückgedrängt, ein Umstand, der bei den antagonistischen Ionenwirkungen nicht immer in Betracht gezogen wird, denn die Ionen sind die wirksamen Teile der Salze und jede Verminderung ihrer Zahl in der Lösung verringert auch die Aktivität des entsprechenden Salzes.

Bei den antagonistischen Wirkungen der zweiwertigen Ionen gegenüber den einwertigen kann auch die stärkere Adsorbierbarkeit der ersteren eine gewisse Rolle spielen, wobei die einwertigen Ionen, als die schwächer adsorbierbaren, durch die zweiwertigen von der Plasmaoberfläche verdrängt werden (vgl. S. 125).

Dass aber bei den antagonistischen Wirkungen die Adsorption keine prävalierende Bedeutung hat, das zeigt uns die Tatsache, dass entgiftend auch solche Salze wirken können, die, obwohl sie schwächer adsorbiert werden als das Kontrollsalz, nichtsdestoweniger eine grössere Kolloidaktivität haben. Z. B.

1) l. c. S. 531.

2) Osterhout, Botanical Gazette. Vol. 43. p. 98.

werden die Sulfate schwächer als die Jodide adsorbiert, doch wirkt ein Zusatz von Na_2SO_4 zu KI ziemlich gut entgiftend, wie dies uns die Tabelle 177 zeigt. Aus den Permeabilitätsversuchen haben wir ersehen, dass ein Zusatz von Na_2SO_4 zu KBr in gewissem Grade die Aufnahme des letzteren in die Zelle verringert.

Wie die Tabelle 177 lehrt¹⁾, wird die Giftwirkung von KI durch einen Zusatz von Na_2SO_4 in gewissem Grade verringert. Dieses beweist uns, dass es hier in erster Linie nicht auf die Adsorption ankommt, denn das Jodid wird im allgemeinen stärker adsorbiert und muss das Sulfat verdrängen. Daraus folgt, dass bei den antitoxischen Salzwirkungen in erster Linie das Vermögen der Salze den kolloidalen Zustand der Plasmakolloide zu verändern massgebend ist.

Obwohl die Bedeutung der Adsorption bei den antagonistischen Ionenwirkungen keine dominierende ist, so können wir doch im allgemeinen diese Bedeutung nicht leugnen. Die antagonistische Wirkung des Sulfats ist viel schwächer, als wir das nach seinem Eindringungsvermögen erwarten könnten, und es ist sehr wahrscheinlich, dass diese Eigentümlichkeit gegebenenfalls davon abhängt, dass obwohl das Sulfat dem KI gegenüber eine grössere Kolloidaktivität besitzt, seine Adsorbierbarkeit dagegen schwächer ist.

Die Erdalkalien haben deswegen eine grössere antagonistische Wirkung, weil hier eine grössere Kolloidaktivität mit einer grösseren Adsorbierbarkeit vereinigt ist und diese zwei Fähigkeiten in einer Richtung arbeiten.

Somit besteht nach unserer Auffassung die Ursache der antagonistischen (entgiftenden) Ionenwirkung in den Nährlösungen darin, dass unter dem Einflusse der Erdalkalien ein übermässig grosses und deswegen schädliches Ein-

Tabelle 177.
Versuchspflanze — *Zebrina pendula*.

Die Zeit des Aufenthalts der Schnitte in d. Lösung.	KI 0,1 norm. Das Mittel aus zwei Kontrollversuchen.	KI 0,1 norm. + Na_2SO_4 0,1 n. Gesamtkonzentration 0,2 norm.
		% d. plasmol. Zell.
2 Stdn	97,2	100,0
4 "	91,0	100,0
6 "	92,4	100,0
8 "	90,4	100,0
12 "	45,4	96,1
14 "	33,7	77,8
16 "	6,6	43,1
	Das Mittelproz. 65,2	89,6

1) Die Versuche sind in der oben beschriebenen Weise angestellt worden (s. Methodik S. 14).

dringen von Alkalisalzen verhindert wird. Den Erdalkalien und teilweise auch dem *Mg* kommt dieses Vermögen infolge der hohen Kolloidaktivität des zweiwertigen Kations zu, welches die Fähigkeit der Alkalianionen die Plasmakolloide aufzulockern (zu peptisieren) stark vermindert und die Plasmaoberflächenschicht gewissermassen verdichtet, wodurch auch die schädliche Salzflut zurückgehalten wird. Eine gewisse Rolle spielt hier auch die grössere Adsorbierbarkeit der zweiwertigen Kationen, die infolgedessen die weniger adsorbierbaren einwertigen Kationen von der Adsorptionsfläche verdrängen können.

In den Nährsalzlösungen haben die Kalziumsalze für die Pflanzen eine besonders wichtige Bedeutung. Wir haben gesehen, dass in den Salzgemischen die Kalziumsalze mehr als die Barium- und Magnesiumsalze das übermässige Eindringen von KNO_3 in die Zelle verringern. Während $MgCl_2$ unter unseren Versuchsbedingungen das Eindringen von KNO_3 um 20% herabsetzt, d. h. das Eindringen zu wenig zurückhält, um dieses Salz vollständig zu entgiften, hemmt das $CaCl_2$ das Eindringen von KNO_3 in der Versuchszeit vollständig.

Das Hemmungsvermögen der Barium- und Strontiumsalze liegt zwischen dem des Magnesiums und Kalziums und näher zum letzteren. Obwohl man nach einigen Versuchen von Osterhout¹⁾ das $CaCl_2$ in den Weizenkulturen bis zu einem gewissen Grade durch das $SrCl_2$ oder $BaCl_2$ ersetzen kann, können wir auf Grund unserer Versuche die entgiftende Wirkung des Bariums und Strontiums in bezug auf das Pflanzenplasma der des Kalziums nicht gleich stellen, denn beim Zusatz z. B. von $BaCl_2$ zur KNO_3 -Lösung dauert das Eindringen des Nitrates in die Zelle noch in zu grossen Mengen fort, was zuletzt die Entwicklung der Pflanze ungünstig beeinflussen könnte. Wenn wir aus den Versuchen von Tröndle²⁾ die Salzmen gen der Erdalkalien ausrechnen, die durchschnittlich im Laufe einer Minute (bei einer Versuchsdauer von 20 Min.) in die Zellen der Wurzelspitzen von *Lupinus albus* eindringen, so erhalten wir folgende Zahlen:

1) Zit. nach Höber, l. c. S. 525 und 538.

2) Tröndle, l. c. S. 119.

$MgCl_2$ — 0,03222 Mol.

$BaCl_2$ — 0,00763 „

$SrCl_2$ — 0,00396 „

$CaCl_2$ — 0

Aus diesen Daten ist ersichtlich, dass die in die Zelle eingedrungenen Salzmengen sich folgendermassen verhalten — $Mg:Ba:Sr:Ca = 3222:763:396:0$, oder abgerundet — $8:2:1:0$. Nach unseren Versuchen ist die antagonistische Wirkung dieser Salze dem Eindringungsvermögen derselben ungefähr umgekehrt proportional; nach den Ergebnissen von Tröndle würde sich dann die antagonistische Wirkung der angeführten Erdalkalien verhalten — $Mg:Ba:Sr:Ca = 1:4:8:\infty$. Aus dieser Gegenüberstellung ist es klar, dass *Sr* und *Ba*, ihrer physiologischen Wirkung nach, dem *Ca* nicht äquivalent sind und daher in Nährlösungen die Kalziumverbindungen nicht vollständig ersetzen können. Wenn aber beim Ersetzen der Kalziumsalze durch Strontium- oder Bariumsalze eine mehr oder weniger normale Entwicklung der Pflanze beobachtet wird, so müsste das wohl vorübergehend in die erste Zeit fallen, oder man hat nur, wie das bei Osterhout der Fall ist, die Länge und überhaupt die Entwicklung der Wurzeln nach einem bestimmten Zeitabschnitt verglichen. Wenn aber zum Vergleich die Entwicklung der ganzen Pflanze in der ganzen Vegetationszeit in Betracht gezogen werden würde, dann müsste wohl die weniger günstige Wirkung der Strontium- bzw. Bariumsalze im Vergleich mit den Kalziumverbindungen deutlich zutage treten.

Fragen wir nun: welches sind die Stoffe, die sich an der Plasmaoberfläche am Prozess der Salzaufnahme beteiligen? Bekanntlich sind die Eiweissstoffe und die Lipide¹⁾ die Hauptbestandteile des Plasmas.

Gegen die Möglichkeit der Beteiligung der Eiweissstoffe an diesem Prozess spricht der Umstand, dass die Oberflächenstoffe des Pflanzenplasmas ein sehr schwaches Säurebindungsvermögen besitzen. Bei der Einwirkung von Mineralsäuren verschiedener Konzentrationen auf die Zelle erfolgen keine wesentlichen Veränderungen in der Aktivität der Salze²⁾. Die Eiweissstoffe haben dagegen ein starkes Säurebindungsvermögen, wobei sie

1) Vgl. Lepeschkin, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 28. 1910. S. 101; Bd. 29. 1911. S. 255 ff.

2) Vgl. H. K a h o, Acta et Commentationes Univ. Dorpat. A II. 1921.

ihre Eigenschaften sehr wesentlich verändern¹⁾. Gegen die Beteiligung der Eiweissstoffe an der Plasmaoberfläche am Prozess der Aufnahme der Salze spricht auch das Verhalten der Erdalkalisalze. Es genügen nämlich ganz kleine Mengen der Erdalkalien, um das Eindringen der Alkalisalze in die Zelle stark, in einigen Fällen beinahe gänzlich, zu hemmen.

Wir wissen, dass die Eiweisskörper nur durch konzentrierte Lösungen von Neutralsalzen gefällt werden, z. B. koagulieren die Kalziumsalze das Alkalieiwiss nur als 4—7-fache Normallösungen²⁾. Ausgehend vom Standpunkt, dass die Salze der Erdalkalien die Plasmaoberflächenschicht verdichten, sehen wir keine genügenden Beweise für die Voraussetzung, dass an der Plasmaoberfläche gerade die Eiweissstoffe verdichtet werden.

Es spricht alles dafür, dass diese Stoffe eine einfachere Zusammensetzung als das Eiweiss haben müssen, und solche sein müssen, die 1. das Plasma mit einem kleineren Energieverlust immer wieder synthetisieren können und die 2. wegen ihrer Oberflächenaktivität sich an der Plasmaoberfläche anzusammeln vermögen. Solche Eigenschaften besitzen die Lipide.

Wenn wir voraussetzen würden, dass an der Plasmaoberfläche die Eiweissstoffe des Plasmas verdichtet werden, so bliebe es unklar, warum nur immer ausschliesslich die Oberflächenschicht verdichtet werden soll und warum diese Verdichtung sich nicht nach innen in tiefere Schichten des Plasmas weiterverbreiten könnte. Eine solche Verdichtung der inneren Schichten des Plasmas ist aber wenig wahrscheinlich, denn in solchem Falle müssten alle Lebensprozesse des Plasmas stehen bleiben.

Es ist viel wahrscheinlicher, dass an der Plasmaoberfläche solche Stoffe verdichtet werden, die vom Plasma sehr leicht für Schutzzwecke ausgearbeitet werden können. Solche Stoffe können Lipide und den letzteren nahestehende Verbindungen sein, die später näher besprochen werden sollen.

Zu Gunsten der Lipide spricht der Umstand, dass die Aktivität der Erdalkalien bei den Permeabilitätsversuchen viel grösser ist, als die der Alkalisalze.

Nach den Untersuchungen von Porges und Neubauer³⁾ fällen $\frac{n}{100}$ Lösungen der Chloride von *Ca*, *Sr*, *Ba* und *Mg*

1) Wo. Pauli, Kolloidchemie der Eiweisskörper. 1920. S. 45.

2) Pauli und Handowsky, Biochem. Zeitschr. Bd. 24. S. 246. 1910.

3) Porges und Neubauer, l. c.

das Lezithin ebenso gut wie die $\frac{n}{1}$ Lösungen, während die koagulierende Wirkung der Alkalisalze schon bei 0,2 norm. erlischt. Bei der Fällung des Eiweisses besteht, wie schon oben erwähnt, kein Unterschied in den Konzentrationen der Erdalkalien und Alkalisalze. Beide Salzgruppen bedürfen zur Fällung grosser Salzmengen, obwohl die durch die Erdalkalien erzeugten Niederschläge, im Gegensatz zu denjenigen der Alkalisalze, irreversibel sind.

In unseren Versuchen hemmen schon ganz kleine Mengen von Kalziumchlorid (0,019 Mol) das Eindringen der Alkalisalze (KNO_3) in die Zelle. Ebenso genügen kleinere Mengen von Kalziumverbindungen, um eine schädliche Lösung der Alkalisalze zu entgiften. Dieser grosse Unterschied zwischen den Wirkungen der Alkalisalze und Erdalkalien bei den Permeabilitätsvorgängen und Entgiftungsprozessen ist ein guter Beweis dafür, dass bei diesen Prozessen nicht die Eiweissstoffe des Plasmas den Ausschlag geben, sondern andere, wahrscheinlich lipoidähnliche Körper.

Wir sind zum Schlusse gekommen, dass in den Oberflächenschichten des Plasmas Lipide oder ähnliche Stoffe (Phosphatide) sich bei der Salzaufnahme beteiligen, mit anderen Worten, wir sind zu Overtons Lipoidtheorie gelangt.

Infolgedessen müssen wir auch zu dieser Theorie Stellung nehmen. Es sei hier gleich darauf hingewiesen, dass in der Form, wie diese Theorie gewöhnlich aufgefasst wird, nämlich dass das Plasma von einer lipoiden Membran eingehüllt sei, dieselbe kaum annehmbar ist.

Allein die Mängel dieser Theorie liegen nicht darin, dass sie im Prinzip falsch ist, sondern in dem Ausbau und der Entwicklung der Theorie, denn der Parallelismus zwischen der Lipoidlöslichkeit und dem Eindringungsvermögen der Stoffe in die Zelle bleibt als Tatsache, mit welcher man immer zu rechnen hat, bestehen. Es sind bisher gegen die Overton'sche Theorie noch keine schlagenden Beweise, die sie gänzlich widerlegen würden, aufgestellt worden.

Wenden wir uns nun den Lipoiden zu.

Als Overton bei verschiedenen Stoffen den Parallelismus zwischen der Lipoidlöslichkeit und dem Vermögen in die Zelle einzudringen entdeckte, kam er zur Annahme, dass Lezithin und Cholesterin, die in den Zellkörpern stets vorkommen, als diejenigen fettähnlichen Stoffe anzusehen seien, die eine hervorragende

Rolle bei der Stoffaufnahme spielen. Da die Lezithin- und Cholesterinpräparate diese Stoffe in festem Zustande enthalten, so musste Overton¹⁾ bei der Untersuchung der Löslichkeit der Anilinfarbstoffe in den Lipoiden die letzteren in Benzol, Xylol und anderen organischen Lösungsmitteln auflösen, die für Farbstoffe mehr oder minder unlöslich sind. Dabei fand er, dass alle basischen Farbstoffe, die im allgemeinen gut vital färben, auch stark von Cholesterin und Lezithin adsorbiert werden, die sauren Farbstoffe, die nicht vital färben, sich auch in den Lipoiden nicht lösen (eine Ausnahme bilden Methyloorange und Tropaeoline).

Overton sagt: „Überhaupt ist ein so weitgehender Parallelismus zwischen der Schnelligkeit der Aufnahme aller vor mir untersuchten organischen Farbstoffe durch lebende Pflanzen- und Tierzellen und der Leichtigkeit, mit welcher diese Farbstoffe durch Lösungen von Cholesterin, Lezithin, Protagon und Cerebrin aufgelöst werden, resp. zwischen der Schnelligkeit der Speicherung dieser Farbstoffe aus wässrigen Lösungen durch suspendiertes Lezithin, Protagon etc., dass bei Berücksichtigung des Umstandes, dass Lezithin und Cholesterin tatsächlich in allen lebenden Pflanzen- und Tierzellen vorzukommen scheinen, dieser Parallelismus allein genügen würde, um die grosse Wahrscheinlichkeit der Abhängigkeit der osmotischen Eigenschaften der Zelle von deren Lezithin- und Cholesterin-Gehalt zu begründen“ (l. c. S. 691).

Später wies Ruhland²⁾ noch auf einige andere Ausnahmen aus dieser Regel hin. Er fand einige Sulfosäurefarbstoffe (Wollviolett *S*, Echtrot *A* und and.), die trotz der Nichtaufnahme ins Plasma sich in Terpentin-Cholesterin oder in Benzol-Cholesterin bzw. in echten Fetten mehr oder minder auflösten.

Obwohl die Befunde von Ruhland von grosser Wichtigkeit sind, so können sie doch die grosse Bedeutung der Lipoide bei der Stoffaufnahme der Zelle gerade deswegen nicht vermindern, weil alle käuflichen Präparate der Lipoide

1) E. Overton, Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. 34. 1900. S. 669.

2) W. Ruhland, Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. 46. 1909. S. 1.

bei der chemischen Bearbeitung viele sehr wichtige Eigenschaften, die sie in dem lebenden Plasma kennzeichnen, verloren haben. Die Eigenschaften der Lipoidpräparate verhalten sich zu den Eigenschaften der nativen Lipoide ungefähr ebenso, wie die physikochemischen Eigenschaften des denaturierten Eiweisses — zu denjenigen des nativen Eiweisses.

Die Lipoide des lebenden Plasmas stellen ein sehr labiles kolloidales System vor, das durch die chemische Bearbeitung irreversibel zerstört wird und dessen Stoffe mit Verlust ihrer wichtigen Eigenschaften denaturiert werden. Ein Vergleich dieses komplizierten Systems mit der Cholesterin- oder Lezithinlösung in Benzol bzw. Terpentin ergibt nur eine sehr entfernte Annäherung an die natürlichen Bedingungen, und man könnte hier kaum eine völlige Übereinstimmung des Verhaltens der Farbstoffe zu den oben erwähnten Lösungen der denaturierten Lipoide und zum Plasma erwarten. Ja, wenn man die ganze Künstlichkeit der Bedingungen hier in Betracht zieht, muss man gerade erstaunen, dass dennoch im allgemeinen ein so guter Parallelismus im Verhalten der Farbstoffe in beiden Fällen zu beobachten ist.

Wie wenig die käuflichen Präparate des Lezithins zuverlässig sind, ist daraus ersichtlich, dass sich die beiden Präparate (von Merck und Grübler), die Overton bei seinen Untersuchungen zur Verfügung standen, sehr stark durch ihre Eigenschaften unterschieden¹⁾.

Vollständig neue Bahnen hat in der Untersuchung der pflanzlichen Lipoide Hansteen-Cranner²⁾ gebrochen. Dieser Forscher fand die höchst wichtige Tatsache, dass pflanzliche Gewebe bzw. intakte Organe, sowie Wurzeln oder sogar ganze Pflanzen in intaktem Zustande an das Aussenmedium (Wasser) bei gewöhnlichen Temperaturen in grossen Mengen verschiedenartige Phosphatide abgeben. Dabei treten bei einer Temperatur bis 20—25° C nur wasserlösliche, bei einer Temperatur von ca. 30° C dagegen

1) l. c.

2) Hansteen-Cranner, Zur Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen. Meldinger fra Norges Landbrukshöiskole, Bd. 2. 1922. S. 1.

Ber. der. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 37. 1919. S. 380; ferner noch die zitierten Arbeiten in Jahrb. f. wiss. Bot.

ausserdem auch wasserunlösliche Phosphatide aus den pflanzlichen Geweben in das Wasser aus.

Hansteen-Cranner sagt folgendes: „...dass diese Phosphatide sich wesentlich an die Oberflächen der Plasmakörper sammeln werden und so hier, sowohl nach Aussen als nach Innen gegen die Vakuolen, die peripheren und für den Stoffaustausch verantwortlichen Grenzsichten bilden. Und dass sie hier zudem als die einzigen Baubestandteile auftreten, geht, meine ich, aus dem hervor, dass in sämtlichen meinen vielen Versuchen traten, wie wir sahen, niemals eiweissartige Substanzen gleichzeitig mit den unlöslichen Phosphatiden heraus. Kämen eiweissartige Substanzen in den genannten Grenzsichten vor, müssten doch ihre Moleküle mit den ebenfalls unzweifelhaft sehr grossen Molekülen der unlöslichen Phosphatide zusammen haben heraustreten können.

Notwendigerweise müssen endlich nach dem Obigen die hydrophilen, wasserunlöslichen Phosphatide der plasmatischen Grenzsichten auch die anliegenden Zellwände durchdringen und so die Plasmakörper mit diesen überall, nicht bloss durch die Plasmodesmen, intim verbunden sein.“ (l. c. S. 104, 105).

Ferner hat Hansteen-Cranner gezeigt, dass die Permeabilität des Plasmas in völliger Abhängigkeit von den kolloidalen Zustandsänderungen der genannten Phosphatide steht. Diejenigen Salze, die diese Phosphatide gut fällen, setzen auch die Permeabilität des Plasmas infolge der Verdichtung der unlöslichen Zellphosphatide stark herab.

Wenn z. B. die Schnitte der roten Rübe mit den Normallösungen von $CaCl_2$ und KCl bearbeitet werden, so fällen diese Salze an der Plasmaoberfläche ihrer Kolloidaktivität gemäss die Phosphatide (welcher Prozess von Hansteen-Cranner experimentell nachgewiesen wurde) und setzen dementsprechend auch das Durchlässigkeitsvermögen des Plasmas für gelöste Stoffe herab. Dabei ist $CaCl_2$ aktiver als KCl , ferner $Pb(C_2H_3O_2)_2$ (0,5 %) energischer als das Kalzium, und ergibt letzteres, wie alle Schwermetallsalze, irreversible Fällungen. Bei den Versuchen mit le-

benden Epidermisstücken der Zwiebelchuppen von *Allium Cepa* erhielt Hansteen-Cranner für die wasserunlöslichen Phosphatide die Fällungsreihe $Ca > Mg > K$ (l. c. S. 95). Ferner zeigte er, dass der Aktivitätsunterschied zwischen den Alkalisalzen und den Erdalkalien in bezug auf die Phosphatide sehr gross ist: es wurden nämlich in $\frac{n}{100}$ Lösungen von KCl die Phosphatide nicht gefällt, sondern im Gegenteil: grosse Mengen dieser Stoffe gelangten aus den Betazellen ins Aussenmedium. Dieses ist ganz verständlich, denn auch nach den Versuchen von Porges und Neubauer sind die $\frac{n}{100}$ Alkalisalzlösungen und besonders die der Kaliumsalze nicht im Stande Lipoiden zu fällen. Dagegen weisen $\frac{n}{100}$ $CaCl_2$ -Lösungen in bezug auf die Phosphatide eine grosse Fällungskraft auf. Die unlöslichen Phosphatide werden unter dem Einflusse dieser Salze an der Plasmaoberfläche vollständig gefällt (verdichtet), wodurch auch die Permeabilität des Plasmas sehr stark herabgesetzt wird (l. c. S. 99 ff.).

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass kleine Mengen von Kalziumchlorid auch bei unseren Versuchen die Permeabilität des Plasmas für andere Salze vollständig herabsetzen. Von sehr grosser Bedeutung ist auch der Befund von Hansteen-Cranner, dass die wasserlöslichen Phosphatide, falls sie nach dem Austreten aus dem pflanzlichen Gewebe mit Aether bearbeitet worden sind, gleich vollständig denaturiert werden: „sie verlieren ihre Löslichkeit in Wasser und sind nur in Ather bzw. Alkohol etc., wie gewöhnliche Lipoiden löslich“ (l. c. S. 69 ff. 135). Dasselbe gilt auch für die wasserunlöslichen Phosphatide. Die letzteren lassen sich aus dem Wasser „weder mit Äther noch Petroläther ausschütteln und sind auch in Alkohol ganz unlöslich“. „Fällt man sie aber mit Bleiazetat, wäscht die Fällung mit Wasser und spaltet sie dann in kochend heissem Alkohol mittels H_2S , so ist die isolierte Fraktion nun leicht und vollkommen in Alkohol löslich — also auch denaturiert geworden“ (l. c. S. 135).

Aus dem Angeführten geht vollständig klar hervor, dass man die Permeabilität des Plasmas für gelöste Stoffe durchaus nicht mit ihrem Löslichkeitsvermögen in den käuflichen Präparaten von Lezithin und Cholesterin vergleichen kann, denn diese Lipoiden haben durch die chemische Bearbeitung von ihren Eigenschaften sehr viel verloren. Ja, man kann sogar nach Hansteen-Cranner die von ihm entdeckten Phosphatide der pflanz-

lichen Gewebe nicht zu den obenerwähnten Lipoiden rechnen. Er sagt: „Die Phosphatide sollten demnach wohl nach den Löslichkeitsverhältnissen, die sie in unberührtem Zustande in der lebenden Zelle besitzen, den „Lipoiden“ nicht zugerechnet werden; denn nach Overton hat ja diese Stoffgruppe die physikalische Ähnlichkeit mit den Fetten, dass sie wie diese in organischen Solventien wie Äther, Alkohol, Chloroform und Benzol löslich sind. Besser würden sie wohl eine eigene hydrophilkolloide Gruppe bilden, deren physikalisch-chemische Eigenschaften (Löslichkeitsverhältnisse, Verhalten zu Metallen, Säuren und anderen Stoffen sowie Temperatur) nur auf Grundlage solcher Phosphatide beurteilt werden müssen, die direkt aus lebenden Zellen und bei Lebensbedingungen in reines Wasser extrahiert worden sind. Denn diese Stoffe sind unzweifelhaft äusserst labil.

Jedenfalls muss es nach dem obenangeführten ganz irreführend sein, wenn man, so wie es noch in der gesammten Physiologie geschieht, die physiologische Bedeutung der Phosphatide im lebenden Zellkörper nach solchen Löslichkeitsverhältnissen beurteilt, die diese Stoffe nach Extraktion aus im voraus getöteten und vollständig getrockneten Zellgeweben durch Äther, Alkohol etc. und zudem bei höheren Temperaturen zeigen. Diese Eigenschaften repräsentieren nicht die natürlichen, und doch baut u. a. die ganze Lipoidtheorie, sowohl die Lehre von dem Stoffaustausche als diejenige von den narkotischen Wirkungen, auf ihnen.“ (l. c. 135, 136).

Wir haben gesehen, dass die neuesten Untersuchungen auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie neue sehr wertvolle und schlagende Beweise für die Prinzipien gebracht haben, die zuerst von Overton aufgestellt und im Sinne von Hansteen-Cranner modifiziert worden sind, nämlich, dass die Grenzschichten des Plasmas nicht aus Eiweissstoffen, auch nicht aus einem Lezithin-Cholesterin-Gemisch, wie das Overton meinte, sondern aus den letzteren nahestehenden Stoffen; nämlich Phosphatiden (wasserlöslichen und unlöslichen), besteht. Man muss noch hinzufügen, dass bei den pflanzlichen Zellen infolge des Vorhanden-

seins der Zellwand bessere Bedingungen im Vergleich mit der Tierzelle dafür gegeben sind, dass an der Plasmaoberfläche die oberflächenaktiven Stoffe sich ansammeln können. Die Zellwand schützt die Plasmaoberflächenschichten vor einem zufälligen Durchmischen und macht sie somit stabil, wobei diese Schichten ganz allmählich in die Zellwand übergehen, mit welcher sie in organischer Verbindung stehen.

Wir erlauben uns hier noch die Beobachtungen von Hansteen-Cranner über den Bau der plasmatischen Grenzschichten anzuführen. Seine höchst interessanten Untersuchungen sind gegenwärtig die ausführlichsten und vollständigsten auf diesem Gebiete. Er sagt: „Alles in Allem finde ich mich auf Grundlage meiner gesammelten Beobachtungen berechtigt, folgende, noch weiter zu prüfende Schlüsse zu ziehen:

1) dass die plasmatischen Grenzschichten der Zellkörper — die Plasma- und die Vakuolenhaut — ein kolloides System darstellen, dessen halb-feste, hydrophile Dispersionsmittel aus in Wasser unlöslichen, aber kolloid schwellbaren, dessen flüssige, disperse Phase aber aus in Wasser ganz löslichen Phosphatiden bestehe,

2) dass diese Grenzschichten mit ihren sämtlichen Phosphatiden die anliegenden Zellwände überall durchdringen und so mit diesen intim verbunden sind, und endlich,

3) dass deshalb die Zellwände aller lebenden Zellen ein kolloidales Netzwerk darstellen, dessen festes Gerüst aus Cellulose und Hemicellulosen gebildet ist, dessen Maschen aber sämtliche Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten enthalten.“ (l. c. S. 105).

Die Befunde von Hansteen-Cranner bilden den schlagendsten Beweis auch für unsere Folgerungen. Seine Beobachtungen stehen in vollständiger Übereinstimmung mit den unsrigen, nach welchen die Oberflächenschichten des Plasmas der pflanzlichen Zellen keine Eiweissstoffe enthalten, sondern das Verhalten des Plasmas zu den Neutralsalzen dafür spricht, dass hier lipoidartige Stoffe anwesend sein müssen. Die letzteren

stimmen in bester Weise mit den von Hansteen-Cranner entdeckten Phosphatiden überein. Diese Phosphatide werden unter der Einwirkung von Neutralsalzen je nach der Kolloidaktivität eines Salzes in reversibler Weise verdichtet, wodurch auch dem grösseren oder kleineren Grade dieser Verdichtung entsprechend die Permeabilität des Plasmas beeinflusst wird.

Nach Hansteen-Cranner werden die Phosphatide nach der Reihenfolge $Ca > Mg > K$ gefällt, wobei das KCl nur in höheren Konzentrationen das Fällungsvermögen hat (vgl. oben S. 155). Bei unseren Versuchen hemmen die schwachen Lösungen von $CaCl_2$ und $MgCl_2$ das Eindringen anderer Alkalisalze in das Plasma, wobei die Aufnahme von KNO_3 durchschnittlich durch Ca um 100%, Mg — um 20%, K — um 0% herabgesetzt wird. Wir haben also hier genau dasselbe, was auch Hansteen-Cranner bei der Phosphatidenfällung gefunden hat, über welche er folgendes sagt: „und ferner, wie wir gleichfalls sahen, gingen durch Metallionen hervorgerufene Änderungen in dem Vermögen der genannten Phosphatiden aus den Zellen herauszutreten, bzw. Fällungen oder Nichtfällungen dieser Substanzen, auch Hand in Hand mit Permeabilitätsänderungen“ (l. c. S. 104).

Von den Beobachtungen anderer Forscher der neuesten Zeit, die in näherer Beziehung zu unseren Versuchen stehen, seien hier noch die Untersuchungen von Boas erwähnt. Dieser Autor¹⁾ untersuchte den Einfluss des Saponins und der demselben nahestehenden Stoffe (Saponin ist bekanntlich ein spezifisches Agens auf Lipoide) wie auch der Neutralsalze auf die alkoholische Gärung. Von den interessanten Ergebnissen von Boas seien hier einige angeführt.

Er fand folgendes: „Saponin fördert infolge der Änderung des kolloidalen Zustandes der Plasmahautlipoide im Sinne einer gesteigerten Permeabilität die Vergärung der wichtigsten Zucker durch Hefe beträchtlich.“ Ferner: „die Salze der ein- und zweiwertigen Kationen lassen in ihrer Wirkung auf die alkoholische Gärung eine Anionen- und Kationenreihe erkennen, die mit ihrer Ein-

1) Fr. Boas, Biochem. Zeitschr. Bd. 117. 1921. S. 166; Bd. 129. 1922. S. 144.

wirkung auf Lipide — Lezithin und Cholesterin — annähernd übereinstimmt“... Und noch weiter: „...diese sämtlichen Ergebnisse deuten auf kolloidale Vorgänge in der Plasmahaut hin und erstrecken sich auf Änderung des Dispersitätsgrades der Hautlipide. Soweit die Saponinwirkung in Betracht kommt, ist die Mitwirkung von Lipoiden an der Stoffaufnahme erwiesen, soweit die Salzwirkung zur Diskussion steht, ist die Anwesenheit von Lipoiden und ihre Mitwirkung bei der Stoffaufnahme wahrscheinlich.“ (1921 S. 205).

Wie man aus dem Angeführten sieht, ist Boas auf Grund seiner Ergebnisse prinzipiell zu denselben Schlüssen gekommen, wie Hansteen-Cranner und wir, und seine Versuche bilden einen guten Beweis für unsere Folgerungen, soweit die Neutral-salzwirkungen in Betracht kommen.

Es wurde oben darauf hingewiesen, dass bei der pflanzlichen Zelle das Vorhandensein der Zellwand das Ansammeln von Phosphatiden an der Plasmaoberfläche fördert. Es fragt sich nur: wie können wir das Ansammeln von lipoidartigen Stoffen an der Oberfläche des Plasmas in dem Falle erklären, wenn keine Zellwand vorhanden ist, wie z. B. bei den Schleimpilzen? oder wie ist das zu erklären, dass aus der Zelle herausgepresste Plasmotropfen genau dieselben Eigenschaften wie die intakten Zellen besitzen¹⁾? man muss hier ein rasches Ansammeln der Phosphatide an der nackten Plasmafläche voraussetzen.

Auch auf diese Fragen finden wir in den physiologischen Untersuchungen der neuesten Zeit die Antwort.

Biedermann²⁾ und sein Schüler Walter³⁾ haben gezeigt, dass bei der künstlichen Verdauung in Pepsin und Trypsin das Pflanzenplasma im Vergleich mit den Eiweissstoffen gar nicht angegriffen wird. Wenn man z. B. Plasmodien und Sklerotien von *Fuligo varians* (lebende oder getötete) mit Pepsin und Trypsin 24 Stunden lang behandelt, so sind keine besonderen Veränderungen wahrzunehmen. Das Plasma ist unverdaut geblieben. Bearbeitet man aber zuerst die Objekte mit Alkohol und Äther, so erfolgt eine vollständige Verdauung in Trypsin (Walter). Diese und ähnliche Versuche zeigten, dass das Plasma von

1) Vgl. Höber, l. c. S. 64.

2) W. Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 174. 1909. S. 373.

3) H. Walter, Pflügers Arch. Bd. 181. 1920. S. 271.

Idem, Biochem. Zeitsch. Bd. 122. 1921. S. 86.

Schleimpilzen und höheren Pflanzen (Elodea, Dahlia, Mnium und and.) von den proteolytischen Enzymen überhaupt, auch nach dem Tode, nicht angegriffen wird, obgleich es zweifellos ist, dass diese Enzyme in das Plasma eindringen. Dagegen geht nach der Extraktion mit Alkohol und Äther die Verdauung von Pflanzenplasma mehr oder minder vollständig vor sich.

Aus diesen Tatsachen schliessen die genannten Autoren, dass die Ursache der Inaktivität der proteolytischen Enzyme in bezug auf das Pflanzenplasma in den Lipoiden des letzteren liegt; nach Extraktion mit Alkohol bzw. Äther werden diese Lipoide entfernt, und dann geht die Verdauung gut vonstatten. Walter, der von der Tatsache ausgeht, dass die ganze Plasmamasse mit Lipoiden so zu sagen durchtränkt sei, kommt zur Vorstellung, dass ein jedes Kolloideiweissteilchen von einem lipoiden Häutchen umgeben sein müsste, wobei das Lipoid etwa als Schutzkolloid auftritt und das unmittelbare Einwirken der Verdauungsenzyme auf das Plasmaeiweiss verhindert. Er sagt: „Die Eiweissteilchen, besonders die kleineren (da mit abnehmender Teilchengrösse die Oberflächenaktivität zunimmt), werden an der äusseren Oberfläche (Plasmahaut, Vakuolenhäute) dichter liegen, wodurch ein Gelatinieren mit teilweiser Verfestigung (Plasmamembran) stattfinden kann. Ausserdem werden um jedes Eiweissteilchen regelmässig Lipoidteilchen angeordnet sein, wodurch vielleicht eine den chemischen Verbindungen nahestehende Adsorptionsverbindung zustande kommen kann. Eine Ansammlung von Lipoidteilchen muss auch an der äusseren Oberfläche stattfinden. Da die Eigenschaften der äusseren Oberfläche sowohl vom Zustande des Plasmas, als auch von dem des Aussenmediums abhängen, so wird bei Änderung des ersten oder des letzteren die Plasmahaut sich gleichfalls verändern. Ebenso muss die Plasmahaut sofort verschwinden, wenn sie ins Innere des Plasmas gelangt, und wird sich sofort neu bilden, wenn Teile des Innenplasmas ans Aussenmedium grenzen werden“¹⁾.

Mit Hilfe der angeführten Hypothese von Walter lässt sich leicht erklären, warum Plasmatrophen sich ganz analog wie das Plasma einer intakten Zelle verhalten. An einer jeden neuen Plasmaoberfläche sammeln sich die mit Lipoiden umgebenen Eiweissteilchen dicht an, eine neue Plasmahaut, und somit auch eine

1) Walter, Biochem. Zeitsch. Bd. 122. 1921. S. 96.

neue Lipoidschicht (Phosphatidenschicht) bildend. Infolge der Oberflächenaktivität sammeln sich auch die Lipoide (Phosphatide), ausser denen, die die Eiweissteilchen umgeben, auf der neuen Plasmafläche selbständig an. Gelangt die Oberflächenschicht in das innere Plasma hinein, so werden die Plasmahautteilchen peptisiert und verteilt, dagegen bildet sich auf der neuen Fläche eine neue Oberflächenschicht.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Versuche haben gezeigt, dass die physiologische Wirkung der Neutralsalze von ihrem Vermögen den kolloidalen Zustand der Plasmakolloide zu ändern abhängig ist, wobei diejenigen Salze, die ein ausgesprochenes Peptisationsvermögen besitzen, wie die Jodide, Bromide und Nitrate, verhältnismässig schnell in das Plasma in solchen Mengen eindringen, die weit über die physiologischen Grenzen hinausliegen und das Plasma vollständig desorganisieren, was rasch zum Tode führt. Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass nach den Angaben von Porges und Neubauer (l. c.) die Lezithinsuspension unter dem Einflusse der obengenannten Salze klar festgestellt ist, d. h. diese Salze wirken auf Lezithin lösend.

Da das Eindringen der Neutralsalze in das Plasma stets der kolloidchemischen Wirkung dieser Salze gemäss vor sich geht, so haben wir keinen Grund vorauszusetzen, dass die Wirkung einiger rasch eindringenden und daher giftigen Salze von irgend welchen besonderen spezifischen und in dieser Arbeit nicht auseinandergesetzten Eigenschaften dieser Salze abhängt. Alle Permeabilitätsversuche zeigen, dass überall das Eindringen der Neutralsalze nach den physikochemischen Gesetzen vor sich geht und wir nirgends eine aktive Selbstregulierung seitens des Plasmas bei diesem Prozess konstatieren konnten. So dringen ins Plasma verhältnismässig leicht solche Salze ein, die demselben keinen Nutzen bringen und durchaus nicht nötig sind, wie die Rhodanide, Jodide und Bromide, und dieses geschieht nur deshalb, weil diese Salze das Vermögen besitzen, die lipoidartigen Stoffe (Phosphatide) der plasmatischen Grenzschichten zu peptisieren (aufzulockern), und daher können die letzteren die Salzflut nicht zurückhalten. Auf diese Weise würde die Pflanzenzelle ein Spielzeug der Salzionen des Aussenmediums sein, wenn nicht in natürlichen Bedingungen stets sehr verschiedene

Salzmischungen vorkämen, während dagegen reine Lösungen eines einzigen Salzes in der Natur überhaupt nicht anzutreffen sind.

Ferner muss man noch hinzufügen, dass insbesondere von jenen Salzen, die sehr leicht das Plasma passieren, in natürlichen Bedingungen im Boden nur wenige vorkommen, wie etwa die Nitrate und Chloride, und dazu in äusserst verdünnten Lösungen. Andererseits schafft die grosse Verbreitung der Kalkverbindungen in der Natur sofort ein physiologisches Gleichgewicht in den Bodenlösungen, denn die *Ca*-Ionen verändern in reversibler Weise stärker als andere Ionen den Dispersitätsgrad der Biokolloide der plasmatischen Grenzschichten und verhindern das Eindringen der Nitrate und anderer Salze in nicht physiologischen Mengen.

Aus unseren Versuchen folgt auch eine Erklärung für die sog. antagonistischen Ionenwirkungen. Dieser Prozess ist im Prinzip mehr ein kolloidchemischer als ein Adsorptionsvorgang und besteht darin, dass die Salze mit grosser Kolloidaktivität das Peptisationsvermögen anderer Salze den Biokolloiden gegenüber herabsetzen und infolgedessen ein abnormes und schädliches Eindringen hemmen. Es ist ganz begreiflich, dass eine normale physiologische Arbeit für eine Pflanzenzelle nur dann möglich wird, wenn bei den Salzionen der Aussenlösung ein gewisses Gleichgewicht zwischen ihren entgegengesetzten kolloidchemischen Tendenzen besteht.

Somit kann eine Pflanzenzelle sich aus einem beliebigen und schwachen Nährsalzgemisch weder qualitativ nach quantitativ diejenigen Stoffe wählen, welche sie für ihre physiologischen Bedürfnisse nötig hat, sondern eine jede Nährsalzlösung muss, um ein normales Gedeihen zu ermöglichen, so zusammengesetzt sein, dass die kolloidchemische Wirkung aller Salzionen in der Summa den Dispersitätsgrad der Plasmaoberflächenkolloide nur in engeren, physiologisch möglichen Grenzen in reversibler Weise beeinflusst, wodurch eben ein normaler Stoffaustausch möglich wird.

Es sei noch hinzugefügt, dass normalerweise die Permeabilität des Plasmas für die Nährsalze sehr gering sein muss, denn die Masse des Plasmas in den erwachsenen Zellen ist verhältnismässig sehr klein, wenn wir einen dünnen Wandbelag im Auge haben, und deshalb müssen auch die nötigen Mengen eines vom Plasma aufgenommenen Nährsalzes sehr unbedeutend

lich sein. Wenn aber irgend ein Stoff in beträchtlichen Mengen das Plasma passiert, so ist das immer schädlich, ganz abgesehen von den Ursachen eines solchen Eindringens, und führt in den meisten Fällen zum Tode.

Andererseits können die vom Plasma ausgearbeiteten Stoffe, wie verschiedene Zucker und and., kein grosses Durchdringungsvermögen besitzen, denn sonst würden diese für die Pflanze wichtigen Stoffe ebenso leicht aus der Zelle in das Aussenmedium heraustreten, wie sie hineindringen würden, denn zwischen der Ex- und Endosmose besteht kein prinzipieller Unterschied.

Es ist bekannt, dass z. B. der Rohrzucker so langsam in die Zelle permeiert, dass dies mit den üblichen Methoden überhaupt nicht nachgewiesen werden kann; bei der Wanderung wird die Saccharose invertiert, denn die Hexosen permeieren etwas leichter und werden im Speichergewebe wieder in Disaccharid kondensiert¹⁾. Interessant ist Küsters²⁾ Befund bei seinen Fusionsversuchen, dass der Rohrzucker ebenso wie $Ca(NO_3)_2$ beim längeren Liegen des Objektes in Lösungen eine Verdichtung (wahrscheinlich Fällung) der Plasmaoberflächenschichten hervorruft. Diese Tatsache zeigt in bester Weise, dass die lipidartigen Stoffe der plasmatischen Grenzschichten sich von den käuflichen Lezithin- und Cholesterinpräparaten nach ihren physikochemischen Eigenschaften stark unterscheiden, denn die Saccharose hat als Nichtelektrolyt nicht das Vermögen das Lezithin oder Cholesterin zu fällen³⁾. Diese Tatsache liefert einen guten Beweis für die Richtigkeit der obenangeführten Ansichten von Hansteen-Cranner, nämlich, dass die physikochemischen Eigenschaften der Phosphatide mit denen der gewöhnlichen Lipoide nicht übereinstimmen.

Ferner zeigen die erwähnten Versuche von Küster, dass die Saccharose (ein häufiges Assimilationsprodukt) das Vermögen besitzt, die Phosphatide der plasmatischen Grenzschichten zu verdichten. Dieser Umstand kann auch die wahrscheinliche Ursache des langsamen Diosmierens der Zuckerlösungen sein.

Das Paradoxe an der Plasmapermeabilität für gelöste Stoffe, was von einigen Biologen hervorgehoben wird, nämlich der Umstand,

1) Vgl. Ruhland, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 50. 1912. S. 200.

2) Küster, Zeitschr. für Bot. 10. Jahrg. 1910. S. 689.

3) Porges and Neubauer, l. c.

dass die physiologisch nötigen Stoffe, wie die Zucker, Aminosäuren und and., nicht merklich in die Zelle eindringen, während Stoffe, deren die Pflanze nicht bedarf, wie Alkohole, Äther und and., sehr schnell das Plasma passieren, ist nun eine äusserst zweckmässige physiologische Einrichtung. Denn die Zelle muss ja die nötigen Stoffe im Plasma festhalten können, und dieses wird auf physikochemischem Wege in erster Linie dadurch erreicht, dass diese Stoffe ein sehr geringes Diffusionsvermögen besitzen, d. h. dass gewisse Biokolloide der plasmatischen Grenzschichten unter dem Einflusse dieser Stoffe ihren Dispersitätsgrad in entsprechender Weise verändern (nach den Untersuchungen von Hansteen-Cranneer ist die Vakuolenwand ganz analog der Plasmaoberfläche gebaut) und das leichte Durchdringen hemmen.

Bei der Wanderung werden die Stoffe bekanntlich in leichter osmierende Verbindungen verwandelt. Würde z. B. Zucker ebenso momentan wie Alkohol in die Zellen eindringen, so würde er auch gleich schnell aus der Zelle wieder heraustreten, ferner würde er wegen des raschen Diffusionsvermögens giftig für das Plasma sein. Andererseits kommen Alkohole, Äther und andere leicht eindringende Stoffe in natürlichen Bedingungen nicht vor, und das Pflanzen- wie auch das Tierplasma bedarf keiner speziellen Regulationsvorrichtungen für die Aufnahme bzw. Abwehr dieser Stoffe.

Kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

I. Das Eindringen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma ist ein physikochemischer Prozess, der von der Kolloidaktivität der Salze abhängt, wobei die beiden Ionen eines Salzes von Bedeutung sind.

In der Abhängigkeit vom Anion nimmt das Vermögen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma einzudringen nach der lyotropen Reihenfolge — $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4$ ab, in welcher die ersten Glieder der Reihe verhältnismässig am schnellsten das Plasma passieren.

In der Abhängigkeit vom Kation nimmt das Vermögen der Neutralsalze in das Plasma einzudringen nach folgender Reihe ab: $K > Na > Li > Mg > Ba > Ca$.

II. Das Eindringen der Neutralsalze in das Pflanzenplasma ist abhängig von ihrem Vermögen den kolloidalen Zustand der Plasmaoberflächenkolloide zu verändern, wobei die Wirkung eines jeden Salzes sich additiv aus den entgegengesetzten Wirkungen seiner Ionen ergibt. Die Kationen haben dabei eine koagulierende (bzw. entquellende) Wirkung in bezug auf die Biokolloide des Plasmas, und diese Wirkung führt zur Verminderung der Permeabilität für die Salze. Diese beiden Wirkungen der Kationen (die koagulierende und die Permeabilität vermindern) verändern sich parallel und nehmen ab nach der Reihenfolge: $Ca > Ba > Mg > Li > Na > K$.

Die Anionen der Salze wirken peptisierend (lösend) auf die Plasmakolloide, und diese Wirkung führt zur Steigerung der Permeabilität des Plasmas für Salze, die sich parallel der peptisierenden Wirkung der Salze verändert. Beide Anionenwirkungen nehmen ab nach der Reihenfolge: $I > Br > NO_3 > Cl > Tartrate > SO_4$.

Aus den in diesem Punkte angeführten Ergebnissen folgt, dass das beobachtete Vermögen eines Neutralsalzes in das Plasma einzudringen die algebraische Summa der entgegengesetzten kolloidchemischen Tendenzen der Ionen dieses Salzes darstellt.

III. Die Giftigkeit (tötliche Wirkung) der Neutralsalze ist die Folge ihres Vermögens in das Pflanzenplasma einzudringen: diejenigen Salze, die sich leicht im Plasma ansammeln, sind sehr giftig, die langsam eindringenden Salze sind verhältnismässig unschädlich. Die Giftwirkung der Salze ist direkt proportional ihrem Vermögen das Plasma zu passieren und nimmt ab nach den im Punkt I angeführten Ionenreihen.

IV. Diese Versuche haben gezeigt, dass bei der Aufnahme der Neutralsalze in die Zelle die lipoidartigen Stoffe (nach Hansteen-Cranner: Phosphatide) der Oberflächenschichten des Plasmas eine hervorragende Rolle spielen.

Die reversiblen kolloidalen Zustandsänderungen dieser Stoffe unter dem Einflusse der Salzionen haben eine entscheidende Bedeutung für die Geschwindigkeit der Aufnahme eines jeden Neutralsalzes in die Zelle.

Inhalt.

	Seite.
Einleitende Bemerkungen	3
Erster Teil.	
Die Methodik der Versuche mit Rotkrautschnitten	5
Die Methodik der Versuche mit Schnitten von <i>Zebrina pendula</i>	14
I Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten	15
Übersichtstabelle der Resultate der I Versuchsserie	21
Die Kurven der koagulierenden Wirkung der Kaliumsalze	23
II Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten	24
Übersichtstabelle der Resultate der II Versuchsserie	30
III Serie der Versuche mit Rotkrautschnitten	31
Übersichtstabelle der Versuche der III Versuchsserie	37
IV Serie. Kationen der Chloride der Alkalisalze und Erdalkalien	39
Übersichtstabelle der Kationenwirkungen. IV Serie.	41
V Serie der Versuche. Versuchspflanze <i>Zebrina pendula</i>	42
Übersichtstabelle der V Versuchsserie	51
Die Kurven zur V Versuchsserie	52
VI Serie der Versuche. Versuchspflanze <i>Zebrina pendula</i>	52
Übersichtstabelle der VI Versuchsserie und die Kurven dazu	59
VII Serie der Versuche. Versuchspflanze <i>Zebrina pendula</i>	60
Übersichtstabelle der VII Versuchsserie und die Kurven dazu	67
Übersichtstabelle der Wirkungen der Alkali- und Erdalkalikationen	68
Die Kurven der Kationenwirkungen	69
Versuchsergebnisse mit den Natriumsalzen 0,1 n und Kaliumsalzen 0,05 n	70
Besprechung der Resultate.	71
Übersichtstabelle der Anionenwirkungen.	71
Übersichtstabelle der Kationenwirkungen	72
Versuche mit Schnitten von <i>Zebrina pendula</i> in alkalischem Medium	80
Versuche mit Rotkrautschnitten in alkalischem Medium	81
Übersichtstabelle der Anionenwirkungen in alkalischem Medium	84
Übersichtstabelle der Versuche in saurem Medium.	87, 88
Übersichtstabellen der Salzwirkungen bei Belichtung und Verdunkelung	94, 96
Zweiter Teil.	
Über die Methoden der Permeabilitätsbestimmung	99
Die Permeabilität des Plasmas für Natriumsalze	110
Die Permeabilität für Kaliumsalze	112

Die Permeabilität für Kationen der Alkalisalze und Erdalkalien	115
Besprechung der bisherigen Ergebnisse.	116
Die Beeinflussung der Permeabilität durch Salzgemische. Kationen der Alkalisalze und Erdalkalien	127
Die Kationen der Alkalisalze	130
Die Beeinflussung der Plasmapermeabilität durch Anionen der Alkalisalze.	133
Theoretische Folgerungen.	136
Kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.	164