

# Zur Frage der Ionenpermeabilität.

Von

W. Ruhland.

LIBRARY  
NEW YORK  
BOTANICAL  
GARDEN.

In seiner bekannten Abhandlung über die elektrischen Eigenschaften halbdurchlässiger Scheidewände<sup>1)</sup> gelangte W. Ostwald zu dem Ergebnis, daß von Durchlässigkeit oder Undurchlässigkeit einer Membran für bestimmte Salze nicht wohl die Rede sein könne, wohl aber von einer solchen für bestimmte Ionen. Hierzu führte ihn vor allem die Betrachtung der wenigen Versuche, welche Traube seiner bekannten Poren-(Molekülsieb-) Theorie zugrunde gelegt hatte. Im übrigen wurde eigentlich nur ein einziger besonderer Versuch von Ostwald ad hoc durchgeführt, und von ihm im Sinne seiner obigen Annahme gedeutet, auf dessen Beschreibung indessen hier verzichtet werden muß. Mit besonderem Nachdruck wies Ostwald auf die weitgehende physiologische Bedeutung dieser Verhältnisse hin. „Befindet sich z. B. auf der einen Seite der Membran ein Salz, dessen positives Ion nicht durchzutreten vermag, während das negative kein Hindernis findet, so wird das letztere doch nicht durchgehen, weil sonst eine Scheidung der Elektrizitäten eintrete . . . . »Dagegen wird man den Durchgang ermöglichen können, wenn man die Scheidung der Elektrizitäten vermeidet«, und zwar entweder, indem man der Lösung in der Zelle ein anderes Salz hinzufügt, dessen positive Ionen durchgehen können, oder wenn in der Außenflüssigkeit andere negative Ionen vorhanden sind, welche gleichfalls durch die Zellwand zu gehen vermögen. Auf diese Weise könnte eine Zelle gewisse Stoffe unter bestimmten Umständen zurückhalten, unter anderen Umständen austreten lassen, je nach der Flüssigkeit, von der sie umspült ist.

<sup>1)</sup> Zeitschrift für physikalische Chemie, 1890. 6, 71.

Die Möglichkeit, auf diese einfachen physikalischen Verhältnisse die wichtige Fähigkeit der lebenden Zellen zurückzuführen, aus Salzlösungen die Bestandteile in einem gänzlich anderen Verhältnisse, als sie dargeboten sind, aufzunehmen, schien verlockend und veranlaßte, daß man von physiologischer Seite öfter wieder auf die Ostwaldsche Theorie zurückgriff, obwohl sie vom physikochemischen Standpunkte aus bereits kurze Zeit nach ihrer Aufstellung als abgetan gelten mußte.

Schon 1892 brachte nämlich Tamman<sup>1)</sup> eine Widerlegung. Er stellte fest, daß z. B. die Chloride und Nitrate der Alkalien in großen Mengen durch Ferrocyan kupfer- oder Ferrocyanzinkmembranen treten, ebenso viel Schwefelsäure, so daß also weder die Ionen  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Li^+$  noch andererseits das Ion  $SO_4^-$  an der Membran einen bedeutenden Widerstand findet. Trotzdem gehen aber die Sulfate der genannten Kationen nur in äußerst geringer Menge durch die Membran. Ähnlich vermag das Chlorid, das Bromid und das Nitrat des Strontiums die Membran zu durchdringen. Obwohl weiter auch Kaliumdithionat dieselbe leicht durchwandert, ist das entsprechende Strontiumsalz dazu nicht imstande.

Auch O. Walden<sup>2)</sup>, welcher seine Untersuchungen im Institute Ostwalds begann, vermochte die Annahme, daß bei den Elektrolyten die diosmotischen Vorgänge wesentlich durch die Ionen bedingt werden, nicht zu stützen. Er stellt lediglich fest, daß bei der Diosmose der Säuren und der sauren Salze der Dissoziationsgrad insofern eine gewisse Rolle spielt, als hier aus der enormen elektrischen Wanderungsgeschwindigkeit der Wasserstoffionen eine Beschleunigung folgt. Im übrigen aber vermehrte er die von Tamman zur Widerlegung der Ostwaldschen Theorie erbrachten Beispiele noch um ein Beträchtliches. Auch wenn durch die Membran die Lösungen zweier verschiedener, nicht permeirender Elektrolyte von einander geschieden waren, welche je ein in anderer Bindung permeierendes Ion enthielten, so wurde ein durchaus im Widerspruch zur Theorie stehendes Verhalten beobachtet d. h. es fand unter solchen Umständen kein Austausch der entsprechenden Ionen durch die Membran hindurch statt.

<sup>1)</sup> Zeitschrift für physikalische Chemie, 1892. **10**, 255.

<sup>2)</sup> »Über Diffusionserscheinungen an Niederschlagsmembranen. Ebenda S. 699.

Es sei auch noch auf eine allgemeine physikalische Schwierigkeit der Ostwaldschen Theorie verwiesen. Beim Übertritt nur der positiven oder negativen Ionen eines binären Elektrolyten in die semipermeable Membran, welche wir uns nach Nernst<sup>1)</sup> als Lösungsmittel für die ersteren zu denken haben, müßte eine Scheidung der Elektrizitäten stattfinden, welcher indessen die elektrostatischen Kräfte entgegenstehen würden. Die Überwindung dieser bis zu einem gewissen Gleichgewichtszustand soll nun dem Diffusionsbestreben d. h. also dem osmotischen Druck der permeirenden Ionenart möglich sein. Dem wird man aber entgegenhalten müssen, daß ein derartiges Übertreten nur einer Ionenart von einem Lösungsmittel in irgend ein anderes, bisher in keinem Falle nachgewiesen worden ist.

Anhänger unter den Physikochemikern hat die Ostwaldsche Theorie, soweit ich sehe, nicht mehr aufzuweisen. Es ist wohl auch kein Zufall und also bemerkenswert, daß Ostwald selbst, welcher in seiner oben zitierten Arbeit von seinem Satze der Ionendurchlässigkeit meint, daß er auf viele wichtige Gebiete eine »Fülle von Licht« werfe, und daß seine »Tragweite sich noch gar nicht absehen« lasse, später, z. B. in seinem »Grundriß der allgemeinen Chemie«, (IV. Aufl. Leipzig 1909) bei Besprechung der semipermeablen Membranen diesen Satz gar nicht mehr erwähnt.

Ich glaubte auf diese Verhältnisse kurz eingehen zu sollen, um zu zeigen, auf wie fragwürdiger Grundlage sich diejenigen physiologischen Forscher bewegen, welche bei ihren Versuchen an lebenden Zellen Ionenpermeabilität feststellen zu können glaubten. Der einzige aus der tierischen Physiologie stammende, also an sich schon viel unübersichtlichere scheinbare Fall von Ionenpermeabilität ist folgender: Wenn man durch Blut Kohlensäure leitet, so tritt das Chlor des NaCl aus dem Serum in die Körperchen über, und gleichzeitig nimmt die Alkaleszenz des Serums zu. Dieser Vorgang wurde von Koeppe<sup>2)</sup> so gedeutet, daß das Gas CO<sub>2</sub> in die Körperchen eindringe, daß

<sup>1)</sup> Theoretische Chemie. 5. Aufl. Stuttgart 1907. S. 132.

<sup>2)</sup> Pflügers Archiv, 1897. 67, 189. Vergl. auch die Darstellung Höbers (»Physikalische Chemie der Zelle« [2. Aufl. Leipzig 1906]), in der es ein besonderes Kapitel »Ionenpermeabilität« gibt. Höbers Darstellung ist durch seine Folgerungen aus den Arbeiten Waldens und Tammanns recht befremdlich.

dort durch eine Reaktion, wahrscheinlich mit den Eiweißkörpern, Kohlensäure-Ionen  $\text{HCO}_3^-$  und  $\text{CO}_3^{=}$  entstanden, die dann in das Serum unter Austausch gegen Chlor-Ionen übertreten sollten. Wie wenig spruchreif indessen diese Frage ist, zeigt eine neuere Mitteilung von Spiro und Henderson<sup>1)</sup>, die auf Grund von Versuchen mit Leimplatten und Diffusionsschläuchen in wichtigen Punkten zu einer wesentlich anderen Auffassung als z. B. Höber gelangen, welche auseinanderzusetzen uns indessen zu weit führen würde.

Auf pflanzenphysiologischem Gebiet hat vor einigen Jahren Nathansohn<sup>2)</sup> die Aufnahme verschiedener Ammonsalze in Knollenscheiben des *Helianthus tuberosus* und in Wurzelscheiben der roten Rübe studiert. Er glaubt durch seine Versuche das gesonderte Permeieren von Ionen nachgewiesen zu haben, und zwar ganz im Ostwaldschen Sinne; denn wenn, soweit ich sehe, der Name Ostwalds von Nathansohn in diesem Zusammenhange garnicht erwähnt wird, so dürfte dies ein Zufall sein, da die von ihm entwickelten Gedankengänge (vgl. z. B. a. a. O. S. 418 f.) ganz mit denen Ostwalds zusammenfallen. Auf diesen vermeintlichen Nachweis glaubte er dann weitgehende Schlüsse hinsichtlich der Mechanik der die Nährstoffauswahl bedingenden regulatorischen Vorgänge gründen zu sollen.

Neuerdings hat dann R. Meurer<sup>3)</sup> mit der völlig gleichen Methodik, z. T. sogar an demselben Objekt<sup>4)</sup> (außer der roten Rübe noch den Wurzeln von *Daucus Carota*) auf Anregung von Nathansohn die Aufnahme einer größeren Zahl von Salzen studiert und gelangte hierbei zu einer Bestätigung und Erweiterung der Nathansohnschen Resultate.

Ich vermag mich nun den Schlußfolgerungen und Anschauungen der genannten Autoren über diesen wichtigen Gegenstand nicht anzuschließen und halte auch die angewandte Me-

1) »Über Ionenwanderung im heterogenen System.« Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide, 1908. **3**, 91.

2) »Weitere Mitteilungen über die Regulation der Stoffaufnahme.« Jahrb. f. wiss. Botanik, 1904. **40**, 411.

3) »Über die regulatorische Aufnahme anorganischer Stoffe durch die Wurzeln von *Beta vulgaris* und *Daucus Carota*.« Jahrb. f. wiss. Botanik, 1909. **46**, 503.

4) Ich beziehe mich deshalb im folgenden hauptsächlich auf Meurers Angaben.

thodik nicht für zweckmäßig. Man möge mir deshalb die nachstehenden Ausführungen verstatten, wobei ich mich auf das wichtigste beschränke.

Was zunächst den letzten Punkt betrifft, so habe ich bereits in einer früheren Abhandlung<sup>1)</sup> die Unzulänglichkeit der Nathansohnschen Methode, wobei zur Messung der Salzaufnahme aus dargebotenen Lösungen etwa 3 mm dicke Scheiben von fleischigen Wurzeln und Rhizomen verwandt werden, wie ich glaube, überzeugend dargetan. Die von Meurer und Nathansohn zum Nachweis des Ionenaustausches verwandte Methode weicht von der an jener Stelle kritisierten nur insofern unwesentlich ab, als hier nicht wie dort am Schlusse des Versuches die Menge des aufgenommenen Salzes durch Untersuchung des Preßsaftes der Gewebestücke, sondern durch Feststellung der Abnahme des Salzgehaltes der in bestimmter Menge dargebotenen Lösung ermittelt wird.<sup>2)</sup>

Aus dem vielen gleichsinnigen mir zu Gebote stehenden Zahlenmaterial will ich nur anführen, daß ich auf diese Weise bei einer unter den obwaltenden Bedingungen maximal zu nennenden Versuchsdauer, nämlich nach siebentägigem Verweilen von *Daucus Carota*-Scheiben in 1 % iger Ammonnitratlösung, wenn diese (wie in den Versuchen Nathansohns und Meurers) etwa 3 mm dick waren, ein Konzentrationsverhältnis der Innenlösung der Scheiben zur Versuchsflüssigkeit wie  $\frac{52,76}{100,0}$ , berechnet auf das Kation, erhielt; waren die Scheiben aber nur 1 mm dick, so stieg der Wert in derselben Frist auf  $\frac{83,42}{100,0}$ .

Also auch hier zeigt sich, ein wie bedeutendes Hindernis für das Eindringen der an und für sich schon langsam permeierenden Salze in die inneren Zellen der Wurzelstücke deren äußere Zellschichten bilden. Näheres hierüber wolle man in meiner oben zitierten Arbeit nachlesen. Außerdem findet sich Material in den von Meurer als Belege für angeblich regu-

<sup>1)</sup> W. Ruhland: »Beiträge zur Kenntnis der Permeabilität der Plasmahaut.« *Jahrb. f. wiss. Botanik*, 1908. **46**, 1.

<sup>2)</sup> Die Verfasser wählten ein für allemal ein Gewichtsverhältnis der Lösung zu den Gewebestücken wie 2 : 1. Die Versuchsgefäße verweilten bei 5° C. im Eisschrank. Bei den folgenden Nachprüfungen wurden naturgemäß diese wie die übrigen von den Verfassern angeführten Bedingungen sorgfältig beobachtet.

latorische Vorgänge mitgeteilten Zahlen, welche aber nur lehren, wie langsam der Anstieg der Innenkonzentrationen vor sich ging.

Es erhellt, daß an Objekten mit vielen Zellschichten, auch wenn sie nur dünne Scheiben bilden, nach den Nathansohnschen Methoden einigermaßen brauchbare Permeabilitätsmessungen nicht auszuführen sind; im besonderen kann es, wie gesagt, nicht überzeugend wirken, wenn aus einem sehr langsamen Konzentrationsanstieg in derartigen Versuchen auf eine physiologische Permeabilitätsänderung geschlossen wird. Selbst wenn während weniger Tage bei so dicken Scheiben einmal ein scheinbarer Stillstand in der Salzaufnahme eintritt, ist ein solcher Schluß nicht zwingend, da nach Erreichung des Konzentrationsausgleiches in den peripheren Zellen natürlich eine sehr bedeutende Verlangsamung des weiteren Salzimportes erfolgt. Ich erinnere daran, daß Pfeffer<sup>1)</sup> sogar bei dem schnell permeierenden Methylenblau nach Färbung der äußeren Schichten von *Elodea*-Sprossen einen 24stündigen scheinbaren Stillstand der Farbaufnahme beobachtete. Dies kann natürlich bei besonders langsam permeierenden Salzen noch viel ausgesprochener in die Erscheinung treten. Welche Unterschiede aber in der diosmotischen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen von Meurer benutzten Salzen bestehen, läßt sich auf Grund der nach der Nathansohnschen Methode gewonnenen Resultate schwer oder gar nicht beurteilen; es sind hierzu vielmehr exakte Messungen nötig.

Daß sich übrigens nach letzterer Methode die Aufnahme vielfach recht langsam darstellt, kann ich bestätigen; jedoch habe ich einen direkten „Stillstand“, wie ihn an *Beta vulgaris* übrigens auch Meurer nur in verhältnismäßig seltenen Fällen für verschiedene Salze angibt, unter Verwendung derselben Konzentrationen (0,4 % und 0,08 %  $\text{CaCl}_2$ , 0,04 %  $\text{MgCl}_2$ , 0,5 %  $\text{KNO}_3$ ) nicht finden können. In allen Fällen, namentlich natürlich in dünneren Stücken stieg die Konzentration deutlich und stetig an, was durch direkte chemische Untersuchung des mit Hilfe einer hydraulischen Presse bei 300 Atmosphären Druck gewonnenen Preßsaftes, also unter Vermeidung der Meurer-

<sup>1)</sup> Untersuch. a. d. bot. Inst. Tübingen, 1886. 2, 201.

schen Umrechnungen, bestätigt werden konnte. Ich greife hierfür aus meinen Tabellen nur folgende Daten heraus:

Lösung: 0,4%  $\text{CaCl}_2$ ; Objekt: *Beta vulgaris*.

Zeitdauer des Versuches	Konzentrations-Verhältnis von Innen- zu Außenlösung in den			
	3 mm dicken Scheiben		1 mm dicken Scheiben	
	Kation	Anion	Kation	Anion
2 Tage	$\frac{25,82}{100}$	$\frac{3,54}{100}$	$\frac{34,21}{100}$	$\frac{5,22}{100}$
4 Tage	$\frac{32,66}{100}$	$\frac{4,86}{100}$	$\frac{56,16}{100}$	$\frac{8,26}{100}$

Ich vermag daher die Meurerschen Angaben von dem regulativen Stillstand der Salzaufnahme ebensowenig zu bestätigen, wie diejenigen, welche Nathansohn seinerzeit über die angebliche Herstellung eines konstanten Konzentrationsverhältnisses zwischen Innen- und Außenlösung gemacht hatte; diese wurden vielmehr bereits von mir a. a. O. widerlegt und konnten, wie ich hier besonders hervorheben möchte, auch von Meurer für seine Objekte nicht bestätigt werden.

Von der weittragendsten Bedeutung, wie oben dargelegt, würden, wenn sie zuträfen, die auf die Ionenpermeabilität bezüglichen übereinstimmenden Angaben Meurers und Nathansohns sein. Bei letzterem lese man die Ausführungen über die Folgerungen nach, welche sich auf das Wahlvermögen der Zelle beziehen. Nathansohn hat sich auch über die physikochemische Deutung seiner Versuche in einem besonderen, die Mechanik des Ionenaustausches behandelnden Kapitel (a. a. O. S. 415 ff.) eingehend ausgesprochen. Bei Meurer handelt es sich mehr um ein Beibringen neuer tatsächlicher Belege, theoretische Erörterungen treten bei ihm weniger hervor. Daß indessen auch er auf demselben Ostwaldschen Prinzip steht, beweisen u. a. seine kurzen Ausführungen über die Erhaltung des elektrochemischen Gleichgewichts bei der Salzaufnahme (a. a. O. S. 556).

Es läßt sich nun unschwer dartun, daß die Versuche beider Autoren keineswegs beweisen, was sie sollen; es spricht vielmehr alles dafür, daß die Schlüsse derselben bezüglich ihrer Versuchsergebnisse durchaus fehlgehen, und daß von einem Ionenaustausch hier so wenig wie anderwärts die Rede sein kann.

Es ist zunächst klar, daß nur dann von einer Ionen-permeabilität die Rede sein könnte, wenn der Nachweis geliefert würde, daß der Austausch gleichsinnig geladener Ionen zwischen Zelle und Außenlösung ohne gleichzeitigen Übertritt der zugehörigen Kationen bzw. Anionen erfolgt. Von einer Klarstellung dieses wichtigsten Punktes ist in den Versuchen und Ausführungen der Verfasser nirgends die Rede. Dieselben finden vielmehr nur, daß von dem lebenden Objekt aus der Lösung eines dargebotenen Salzes Kation und Anion nicht im äquivalenten Verhältnis, sondern meist mehr vom Kation aufgenommen wurde. Demungeachtet bleibt, wie sie weiter finden, die Außenlösung »im wesentlichen« (Meurer S. 558) neutral<sup>1)</sup>, und in ihr läßt sich nunmehr eine gewisse Menge Calcium und Magnesium nachweisen, welche aus den Zellen stammen. Nach Ansicht der genannten Autoren soll dieser Tatbestand das Resultat eines Ionenaustausches sein.

Irgend ein Beweis hierfür wird nun, wie erwähnt, nicht erbracht. So lange aber für einen Ionenaustausch der bindende Nachweis fehlt, hat man sich, da alle bisherigen physikalischen Erfahrungen, wie wir sahen, gegen eine solche Annahme sprechen, nach einer näherliegenden Erklärung des fraglichen Vorganges umzusehen, die auf Grund einer einfachen Überlegung folgendermaßen gegeben werden kann:

Die lebenden Objekte lassen bei Übertragung in eine der fraglichen Salzlösungen neben einem Gemisch organischer Stoffe irgendwelche, vermutlich ebenfalls organische Na-, K-, Ca- und Mg- usw. Verbindungen austreten, welche naturgemäß mit dem ursprünglichen Salz der Außenlösung Umsetzungen ergeben. Infolgedessen werden dann diejenigen Bestandteile des ursprünglichen Salzes, welche an eine organische Säure oder Base gebunden worden sind, mit veränderter, im allgemeinen wohl erheblich größerer Geschwindigkeit in die Zellen übertreten; (es sei hierfür daran erinnert, daß

<sup>1)</sup> Bei Darbietung von wässrigen Ammonsalzlösungen, die bekanntlich sämtlich hydrolytisch zersetzt sind, kann wohl von einem Neutral-»bleiben« nicht gut die Rede sein!



wir außer gewissen Zuckern und allenfalls noch dieser oder jener Aminoverbindung keine einzige kristalloide organische Verbindung kennen, deren Import annähernd so langsam oder gar noch langsamer als bei den Salzen der starken anorganischen Säuren von statten ginge.) Außerdem wäre eventuell auch innerhalb der Zelle eine Reaktion zwischen dem eingedrungenen Salz und irgendwelchen Inhaltsbestandteilen, welcher eine entsprechende Exosmose leichter permeirender Produkte derselben folgen könnte, nicht ausgeschlossen.

Wie man sieht, kann auf diese Weise die neutrale Reaktion der Lösung gewahrt bleiben, ohne daß die Zelle durch »regulatorische« Abgabe von Ionen dafür »sorgt«.

Mit diesen Bemerkungen könnte man bereits die Beurteilung der Nathansohn-Meurerschen Arbeiten abschließen. Es sollen indessen die zugrunde liegenden Vorgänge noch etwas genauer besprochen werden, da auf sie auch in jüngster Zeit wiederum von dritter Seite hingewiesen wurde<sup>1)</sup>.

Die eingehendsten Mitteilungen über die Abgabe von Magnesium und Calcium unter den von Nathansohn zuerst angegebenen Versuchsbedingungen veröffentlicht Meurer. Es muß doch aber befremden, wenn dieser Autor fast genau die gleichen Mengen beider Metalle in Lösungen solcher Salze, deren Ionen ganz ungleichmäßig, und andererseits in Lösungen, deren Ionen in äquivalentem Verhältnisse von den Zellen aufgenommen werden sollen, findet; er versucht, dieses merkwürdige Ergebnis durch die Annahme zu erklären, daß in früheren Phasen des Versuches Ungleichheit in der Ionenaufnahme geherrscht habe, und also kompensatorische Abgabe von Ca und Mg nötig gewesen sei. Aber nicht genug damit, selbst in solchen Fällen, wo die Aufnahme des Anions in die Zelle überwog, waren in der Außenlösung Ca und Mg, und zwar wiederum in ganz ähnlichen Mengenverhältnissen, nachzuweisen!

Wenn man hierzu die weiteren Angaben des Verf. nimmt, daß seine Versuchsobjekte bereits an destilliertes Wasser beide fraglichen Körper abgeben, obwohl freilich in mehrfach geringerer Menge als an Salzlösungen (die von Verf. wenig

<sup>1)</sup> Br. Niklewski: »Über den Austritt von Calcium- und Magnesiumionen aus der Pflanzenzelle«. Berichte der deutsch. bot. Gesellsch., 1909. 27, 224.

berücksichtigte Abgabe von Alkaliverbindungen, welche gleichzeitig ebenfalls stattfindet, ist bei Verwendung destillierten Wassers bereits ziemlich erheblich), so kann man sich der Verwunderung kaum erwehren, daß der Verf. an seiner Deutung festhalten und sich nicht vielmehr bereits bei Überblickung dieser wenigen Tatsachen zu der Annahme entschließen konnte, es möchten diese Exosmose-Erscheinungen lediglich die Folge einer Schädigung durch die Versuchsbedingungen sein.

Sein und Nathansohns einziges Argument hiergegen, daß unter den fraglichen Versuchsbedingungen die Scheiben der roten Rübe ihren Farbstoff nicht austreten lassen, scheint mir denn doch wenig stichhaltig zu sein. Schädigungen können verschieden weit gehen, und es ist sehr wohl eine Stufe denkbar, in der eine Zelle bereits in erhöhtem Maße manche kristalloiden Stoffe, wie anorganische und organische Metallsalze usw., abgibt, aber andere, zumal kolloïdale Körper wie den roten Farbstoff, noch zurückhält. Es muß also als willkürlich bezeichnet werden, wenn erst von dem Moment des Farbstoffaustrittes an von Schädigung gesprochen wird.

Ich möchte in diesem Zusammenhange ganz kurz auf die neuere umfangreiche Literatur über »ausgeglichene Lösungen«<sup>1)</sup> (balanced solutions) hinweisen, in welcher sich ein reiches Material über allmähliche, zunächst kaum merkliche Schädigungen durch die einseitige Wirkung nur eines Salzes findet. Dieselbe kommt am unzweideutigsten in einer sehr wesentlichen Verkürzung der Lebensdauer der Objekte in einer solchen Lösung im Vergleich zu einem entsprechenden Salzgemisch oder zu reinem Wasser zum Ausdruck.

Im vorliegenden Falle mußte die Befürchtung einer Schädigung insofern besonders nahe rücken, als die verwandten Objekte bei Zimmertemperatur bereits nach wenigen Stunden die Giftwirkung der Salzlösungen deutlich erkennen lassen. Durch die von Meurer gewählten tiefen Temperaturen wird nun zwar die Lebensdauer der Objekte erheblich verlängert, aber die Anzeichen der giftigen Einwirkung sind gleichwohl unverkennbar und bestehen eben in der gesteigerten Exosmose

<sup>1)</sup> Vergl. z. B. Osterhout: »On the importance of physiologically balanced solutions for plants.« Bot. Gaz., 1907. **44**, 259—272.

der verschiedensten Stoffe, unter denen sich auch das angeblich so wichtige Calcium und Magnesium befinden. Der Einfluß der Temperatur auf die Abgabe gerade dieser Stoffe geht z. B. aus der folgenden, aus meinen Daten herausgegriffenen Werten hervor: In 750 ccm einer einprozentigen  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Lösung, in welcher 3 Stunden lang bei  $15^\circ \text{C}$  375 g vor dem Versuch aufs sorgfältigste ausgewaschener Scheiben von *Daucus Carota* (frisch dem Erdboden entnommen) verweilt hatten<sup>1)</sup>, wurden bei der Analyse gewogen:

0,1370 g CaO  
 0,0421 g  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$   
 0,6274 g Alkalisulfat.

Annähernd gleiche Mengen Ca und Mg wurden aber bei nur  $5^\circ \text{C}$  mit gleichem Material und in derselben Lösung erst nach 3—5 tägiger Versuchsdauer erhalten.

Bei dem dreistündigen Versuch hatte im Ammoniakgehalt der Außenlösung eine Abnahme um 0,04080 g stattgefunden, so daß das Konzentrationsverhältnis der Innenlösung zu dieser in Bezug auf das Kation  $\frac{5,75}{100,0}$  betrug. Es war also mehr Ca und Mg ausgeschieden worden, als zur Kompensation des gesamten  $\text{NH}_3$ -Verlustes nötig gewesen wäre. Dabei würde man aber die Permeabilität des Anions unberücksichtigt lassen, in bezug auf welches sich in derselben Frist ein Konzentrationsverhältnis von  $\frac{4,98}{100,0}$  ergeben hatte, so daß in Wahrheit nur eine ganz minimale Kompensation nötig gewesen wäre.

Ähnliche Beobachtungen kann man unter Zugrundelegung einer kurzen Versuchsdauer auch bei tiefer Temperatur ( $5$ — $6^\circ \text{C}$ ) machen, wenn man z. B. eine 0,8%ige NaCl-Lösung auf die halbe Gewichtsmenge Rübenscheiben einwirken läßt. Auch bei diesem, wie es scheint, in die Parenchymzellen der Wurzel von *Beta vulgaris* nur langsam permeierenden Salze bekam ich durchweg so relativ hohe Ca- und Mg-Werte, daß die Möglichkeit, hier an eine kompensatorische Abgabe derselben in

<sup>1)</sup> Dieselben Möhrenscheiben erhielten sich, als sie nach Abschluß des Versuches in eine gleiche Menge neuen 1%igen Ammonitrats übertragen wurden, bei  $+5^\circ \text{C}$ . noch viele Tage am Leben, ohne die Außenflüssigkeit im geringsten zu trüben.

Ionenform an Stelle importierter Na-Ionen zu denken, entfiel. Ich führe hierfür nur folgende Zahlen an: Nach dreistündigem Verweilen des Gefäßes im Eisschrank ergaben sich als Konzentrationsverhältnisse für Na  $\frac{1,57}{100,0}$  und für Cl  $\frac{1,91}{100,0}$ , während die abgegebene Ca-Menge 0,0219 und von Mg 0,0101 g auf 400 ccm Lösung betrug! Noch entschiedener würde die Unzulässigkeit der Nathansohn-Meurerschen Deutungen durch derartige Kompensations-Berechnungen dargetan werden, wenn man in sie die von den genannten Autoren recht willkürlich vernachlässigten, erheblichen K- (und Na-) Abgaben der Zelle einbeziehen würde. Es wird nämlich auch von Meurer kein recht plausibler Grund dafür vorgebracht, weshalb immer nur Ca und Mg, nicht aber die übrigen exosmierenden Metalle, von denen K besonders reichlich, Na und Al aber wenigstens in merklichen Mengen regelmäßig mit abgegeben werden, oder die massenhaften organischen Stoffe ebenfalls als Ionen gegen Bestandteile der Außenlösung ausgetauscht werden sollen?

Es dürfte schließlich nicht ohne Interesse sein, mit einigen Worten auf das Verhalten der Wurzelstücke in entsprechenden Lösungen nicht dissozierender Verbindungen hinzuweisen, bei denen also ein Ionenaustausch nicht in Frage kommt. Ich habe einige derartige Verbindungen auf ihre Wirkung untersucht, und zwar nur solche, welche selbst in hohen Konzentrationen ausgezeichnet, und zwar wesentlich besser als die Nathansohn-Meurerschen Salzlösungen vertragen werden. Es waren dies Carbamid, Methylharnstoff (mono-), 1,2-Propylenglycol, sowie Monochlorhydrin. Alle diese Körper dringen ziemlich leicht in die *Daucus*- und *Beta*-Zellen ein, so daß sie selbst in hohen Konzentrationen keine Plasmolyse ergeben. Das Gewichtsverhältnis zwischen lebendem Objekt und Lösung betrug auch hier 1 : 2. Ich setze einige Daten über die in 400 g der nachstehenden Lösungen in 4 Tagen im Eisschrank bei 5—6° C abgegebenen Calcium- und Magnesium-Mengen her. Für diese Versuche wurden Wurzeln von *Daucus Carota*, und zwar hauptsächlich einer hellgelben Futtermöhre, benutzt, welche frisch dem Boden entnommen und lange Zeit sorgfältig (mindestens 24 Stunden)

ausgewaschen worden waren. Ich bemerke noch zum Verständnis der nachstehenden Zahlen, daß mein Material fast durchweg auch in Salzlösungen erheblich weniger Mg. als Meurer für das seinige angibt, austreten ließ.

Lösung	Ca	Mg
0,5% Propylenglycol	0,0081	0,0004
2% Methylhamstoff	0,0084	0,0005
3% Monochlorhydrin	0,0079	0,0008
7,5% Carbamid	0,0205	0,0015
Destill. Wasser <sup>1)</sup>	0,0026	0,0002
1% NH <sub>4</sub> NO <sub>2</sub>	0,0498	0,0032

Wie man aus den Zahlen ersieht, wird in die Lösungen deutlich mehr Ca als in destilliertes Wasser abgegeben, freilich auch immer noch erheblich weniger als in die fraglichen Salzlösungen. Es hängt dies natürlich mit deren weit größerer Giftigkeit zusammen und es wäre vermutlich leicht, eine solche Lösung eines Nichtleiters (z. B. eines Alkohols, von Chloralhydrat usw.) durch Ausprobieren zu finden, in welche etwa dieselben Mengen der genannten Stoffe wie in Elektrolytlösungen bei ähnlicher Lebensdauer der Objekte austreten würden. Es genügte mir indessen, hier zu zeigen, daß eine merklich vermehrte Calcium- und Magnesium-Abgabe selbst in den Lösungen solcher wenig oder fast gar nicht schädlicher Stoffe eintritt, die gar nicht in ionisiertem Zustande vorhanden sind.

Vielleicht könnte es bei oberflächlicher Überlegung den Eindruck erwecken, als ob in unseren obenstehenden Betrachtungen die Frage der Ionenpermeabilität ungebührlich in den Vordergrund gerückt worden sei. Denn wenn die Behauptung, es sei von ihnen hier ein Ionenaustausch im Ostwaldschen Sinne nachgewiesen worden, von Nathansohn wie Meurer auch ausdrücklich erhoben worden ist und hier zurückgewiesen werden mußte, so könnte es doch zunächst manchem so scheinen, als sei dies nur eine mehr untergeordnete Frage der Form, in welcher sich die Wechselwirkung zwischen Zelle und umspülender Lösung abspielt. Habe doch ich selbst in den obigen Zeilen eine zwischen beiden stattfindende chemische Wechsel-

<sup>1)</sup> Mittel aus drei Bestimmungen.

wirkung angenommen und erörtert, welche unter den Nathansohn-Meurerschen Versuchsbedingungen auch zweifellos häufig zur Folge hat, daß die Säuren- und Basenanteile der betr. Salze nicht im äquivalenten Verhältnisse aufgenommen werden.

Und doch ist gerade dieser Punkt der springende. Denn es ist klar, daß nur im Falle der Ionenpermeabilität von einem »Austausch« zwischen Zelle und Außenlösung gesprochen werden kann. Unter »Erhaltung der elektrochemischen Gleichgewichte« ist die Abgabe eines Ca- etc. Ions nur dann vorstellbar, wenn an seiner Stelle ein Ion mit gleicher Ladung von außen permeiert.

Findet aber eine chemische Umsetzung zwischen dem Salze der Außenlösung und den aus der Zelle austretenden Verbindungen statt — eine in der Literatur schon seit vielen Jahren öfter ausführlich erörterte Möglichkeit, an welche Nathansohn und Meurer gar nicht gedacht haben — mit nachfolgender Endosmose der leichter permeierenden Produkte, so kann von einem Austauschvorgang natürlich keine Rede sein, und wenn bei den Meurerschen Versuchen das Resultat der chemischen Untersuchung etwas derartiges vortäuschen konnte, so lag dies lediglich in der besonderen Versuchsbedingung begründet, daß hier mit einer abgegrenzten und im Verhältnis zu den lebenden Objekten geringen Lösungsmenge gearbeitet wurde<sup>1)</sup>. Denkt man sich aber die Meurerschen Versuche in einem sehr großen resp. nicht abgegrenzten Volumen von Lösung vor sich gehend, so würden sich nach den Diffusionsgesetzen die aus der Zelle exosmierenden Stoffe in der Umgebung so gleich derart verteilen, daß ein Einfluß derselben auf die Zusammensetzung der intrameirenden Stoffe nur bei einer derart ungeheuren ständigen Verschwendung von Inhaltsbestandteilen zu erreichen wäre, daß man wohl schwerlich an ein regelmäßiges Zustandekommen regulatorischer Vorgänge auf diesem Wege einen Augenblick ernsthaft denken kann. In der Tat sind aber, nach allem, was wir bisher wissen, die Ausscheidungen der aufnehmenden Wurzeloberfläche an Aschenbestandteilen so ungeheuer arm, daß über das Vorhandensein selbst chemisch besonders leicht nachweisbarer Bestandteile Meinungsverschieden-

<sup>1)</sup> In einem nach den Nathansohn-Meurerschen Vorschriften hergerichteten Versuchsgefäß erscheint die Salzlösung bis nahe an die Oberfläche mit Scheiben erfüllt.

heiten entstehen konnten<sup>1)</sup> und diese minimalen Spuren für das physiologische Wahlvermögen im Sinne der obigen Ausführungen schwerlich irgend eine Bedeutung haben dürften.

Wie man sieht, wird also mit der Hypothese der Ionen-diosmose auch diejenige der regulatorischen Bedeutung des ab-geschiedenen Ca und Mg unhaltbar, und zwar um so mehr, als diese Abscheidungen nur infolge Giftwirkung durch einseitige Darbietung einer verhältnismäßig starken Salzlösung eine nennens-werte Höhe erreichen.

Anhangsweise will ich hier noch kurz auf einen Punkt hinweisen, der von Nathansohn in einem solchen Zusammen-hange erwähnt wird, daß es scheinen könnte, als existiere bereits reiches empirisches Material in bezug auf Ionen-austausch bei Wurzeln unter natürlichen Bedingungen; ich meine die Angaben der älteren Agrikulturchemiker über »physiologisch saure« oder »physiologisch alkalische Salze. Be-trachtet man, wie ich hier nur andeuten kann, diese Literatur näher, so sieht man, daß auf Grund von gewöhnlichen Wasser-, Sand- oder Bodenkulturversuchen behauptet wird, die Pflanze nütze elektiv aus »physiologisch sauren« ( $\text{NH}_4$ -Salze!) oder »physiologisch alkalischen« (Nitrate!) Salzen nur den Basen-bezw. den Säureanteil aus. Es bedarf wohl keiner näheren Auseinandersetzung, daß alle diese Angaben dringend einer Nachprüfung von modernen mikrobiologischen Gesichtspunkten aus bedürfen und, so lange eine solche nicht vorliegt, als frag-würdig beiseite zu lassen sind. Zudem stimmen die charak-teristischen Anzeichen der hier zugrunde liegenden Vorgänge — nämlich Alkalisch- bzw. Sauerwerden des Substrats (also Ansammlung von OH- und H-Ionen in demselben!) — wenig zu den Nathansohn - Meurerschen Versuchen, in welchen die Zelle gerade für das Neutralbleiben der Außen-lösung »sorgen« sollte!

Ich möchte nach allem diese Zeilen mit der nochmaligen Feststellung schließen, daß die von Nathansohn und Meurer für die Wurzeln von *Beta*, *Daucus* usw. behauptete Ionen-permeabilität (Ionenaustausch unter Erhaltung des elektro-

<sup>1)</sup> Czapek, Jahrb. f. wiss. Bot. 29, 321; Kunze, ebenda 42, 357; Stoklasa und Ernest, ebenda 46, 55.

chemischen Gleichgewichts) durch keinerlei Beweise gestützt ist und daß eine solche Behauptung sogar mit unsern bisherigen physikalischen Erfahrungen im Widerspruch steht; alles weist vielmehr, wie wir sahen, mit Bestimmtheit darauf hin, daß die reichliche Abgabe von Calcium und Magnesium nichts weiter als eine Folge der schädigenden Versuchsbedingungen darstellt. Unter diesen Versuchsbedingungen — aber nur unter diesen — permeieren allerdings, wie Nathansohn und Meurer angeben, die Säuren- und Basenanteile der dargebotenen Salze meist nicht im äquivalenten Verhältnis, doch konnte hierfür eine eben aus den besonderen, von beiden Autoren gewählten Versuchsbedingungen folgende Erklärung gegeben werden, welche nicht nur den Gedanken an einen Ionenaustausch, sondern überhaupt die regulatorische Deutung der fraglichen Vorgänge für die Salzaufnahme ausschließt.

Wir dürfen deshalb nach unseren bisherigen Kenntnissen annehmen, daß die Wurzeln die gelösten Bodensalze, ohne sie zu zersetzen, aufnehmen. Die älteren agrilkulturchemischen Angaben, welche diesem Satze zu widersprechen scheinen, bedürfen dringend einer mikrobiologischen Nachprüfung.

Was die Nathansohnsche Methode anbelangt, so ist sie überhaupt für Permeabilitätsmessungen nicht brauchbar, und vermag deshalb auch keinen Aufschluß über regulatorische Änderungen der Durchlässigkeit der Plasmahaut für Salze zu geben. Einen zuverlässigen Weg für solche Untersuchungen hat vielmehr erst Lepeschkin<sup>1)</sup> angegeben, welcher von der Vergleichung der theoretisch berechneten und empirisch gefundenen isotonischen Koeffizienten (oder der Dissoziationsfaktoren [Tröndle]) ausging. Lepeschkin hat hierbei mit Recht die Durchlässigkeit der Plasmahaut für Ionen gar nicht ernsthaft in Frage gezogen und konnte mit Hilfe der erwähnten Methode unzweifelhafte regulatorische Permeabilitätsänderungen feststellen.<sup>1)</sup>

Berlin-Dahlem, Oktober 1909.

Kaiserl. Biolog. Anstalt.

<sup>1)</sup> Lepeschkin zuerst in: »Zur Kenntnis des Mechanismus der Variationsbewegungen«. Berichte der deutsch. bot. Gesellsch., **26a**, 724. Tröndle: »Permeabilitätsänderung und osmotischer Druck in den assimilierenden Zellen des Laubblattes.« Ebenda **27**, 71.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Botanik](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Ruhland Wilhelm Otto Eugen

Artikel/Article: [Zur Frage der Ionenpermeabilität. 749-762](#)