Ueber den osmotischen Mechanismus der Pflanzenzelle

Autor(en): **Ursprung, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **1 (1944-1945)**

Heft 3

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-306729

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

D.K. 581.112.7

Ueber den osmotischen Mechanismus der Pflanzenzelle

Von **A. Ursprung**

Vor allem danke ich Ihnen für die freundliche Einladung, aus meinem Arbeitsgebiet einen Vortrag zu halten.

I.

Einleitend erinnere ich an zwei Daten, die für uns hier von besonderem Interesse sind. 1849 führte *C. Nägeli* in Zürich die ersten osmotischen Studien an Pflanzenzellen aus, und 1877 publizierte *Pfeffer* in Basel seine klassischen «Osmotischen Untersuchungen».

Nägeli hielt die osmotischen Vorgänge in der Zelle für so kompliziert, daß, wie er sagt, «an eine quantitative Analyse wohl nie gedacht werden darf» (1855). Heute sind wir immerhin so weit, daß wir die osmotischen Zustandsgrößen in Atmosphären anzugeben pflegen.

Diesen Fortschritt verdanken wir *de Vries* und *Pfeffer*. Wird ein junger Blütenstiel plasmolysiert, so verkürzt er sich; *de Vries* fand, daß ein Zug von 3–6 Atm nötig ist, um die ursprüngliche Länge wieder herzustellen. Damit war gezeigt, daß turgeszente Zellen durch Kräfte von mehreren Atmosphären gedehnt werden.

Die Natur dieser Kräfte war zunächst unbekannt. Wohl dachte man an Osmose. Aber mit den damaligen Osmometern (Tierblase, Pergament) waren osmotische Drucke von mehreren Atmosphären niemals gefunden worden.

Da lehrte *Traube* eine semipermeable Membran herzustellen, und *Pfeffer* lagerte sie in eine Tonzelle ein und konstruierte so das erste Osmometer mit semipermeabler Wand. 1877 zeigte er, daß mit einer Ferrocyankupfermembran ein viel höherer osmotischer Druck entsteht als mit einer Membran aus Tierblase oder Pergament. So erzeugt eine 6% Rohrzuckerlösung mit Ferrocyankupfer 3,8 Atm, also 19mal mehr als mit Tierblase, und eine 6% KNO_3-Lösung erzeugt sogar 77mal mehr als mit Tierblase, d. h. 9,2 Atm. Damit war der Nachweis erbracht, daß

die hohen Innendrucke in Pflanzenzellen tatsächlich auf osmotischem Wege möglich sind, dank der Semipermeabilität des lebenden Protoplasmas.

II.

Die ersten botanischen Osmosestudien erinnern uns auch an die gegenseitige Befruchtung verschiedener naturwissenschaftlicher Gebiete.

Pfeffers Untersuchungen führten *van't Hoff* zu seiner kinetischen Theorie der Lösungen. Durch plasmolytische Versuche vermochte *de Vries* das damals unbekannte Molekulargewicht der Raffinose aufzufinden. *De Vries* erkannte ferner, daß bei organischen metallfreien Verbindungen «äquimolekulare Lösungen isosmotisch» sind; und die bei Salzlösungen gefundenen Ausnahmen veranlaßten ihn, seine «isotonischen Koeffizienten» aufzustellen, für welche die Ionentheorie Aufklärung brachte.

III.

Außer diesen allgemein gewürdigten Verdiensten enthielten die ersten botanischen Osmosestudien Anregungen, die leider unberücksichtigt blieben. 1877 veröffentlichte *de Vries* eine Figur, die deutlich zeigte, daß eine turgeszente Zelle bei der Plasmolyse ihr Volumen verkleinert; somit ist der Zustand bei Grenzplasmolyse verschieden vom normalen Zustand. Und wenn die Wand bei der Plasmolyse sich kontrahiert, so war sie eben im normalen Zustand elastisch gedehnt, übte also auf den Zellinhalt einen Druck aus, den Wanddruck. Daraus folgt, daß die Saugkraft der Zelle, d. h. die Kraft, mit der die isolierte, turgeszente Zelle Wasser zu absorbieren strebt, von 2 Komponenten abhängt: von der Saugkraft des Zellinhaltes, welche Wasser osmotisch einzusaugen sucht, und dem Wanddruck, der Wasser auszupressen strebt. So gelangen wir zur Saugkraftgleichung:

Saugkraft der Zelle (Sz_n) = Saugkraft des Inhaltes (Si_n) — Wanddruck (W_n).

Für eine genau durchgemessene Zelle von Impatiens ergaben sich folgende Werte:

$$Sz_n = Si_n - W_n$$
$$4{,}4 \text{ Atm} = 9{,}9 \text{ Atm} - 5{,}5 \text{ Atm}$$

Der Grenzplasmolysewert dieser Zelle betrug 10,6 Atm.

Wir haben also 4 osmotische Größen, die begrifflich und numerisch verschieden sind, von denen aber bis 1916 für die Einzelzelle nur der Grenzplasmolysewert gemessen wurde. Die so erhaltenen 10,6 Atm nannte man nach Belieben bald osmotischen Druck (= 9,9 Atm), bald Saugkraft (= 4,4 Atm), bald Turgordruck (= 5,5 Atm) usw.

Beispiel. Ein Autor studiert die Wasseraufnahme unserer Impatienszelle.

Er *sucht* die Saugkraft der Zelle im normalen Zustand . . = 4,4 Atm
Er *mißt* aber die Saugkraft bei Grenzplasmolyse . . . . = 10,6 Atm
Er *spricht* von Turgordruck . . . . . = 5,5 Atm

Beispiel. 1905 sah *Raciborski* den Pilz Aspergillus glaucus auf einer konz. NaCl-Lösung wachsen und eine Torula sogar auf einer konz. LiCl-Lösung. Hieraus wurde in einem unserer besten Handbücher der damals übliche Schluß gezogen, daß in den Zellen dieser Pilze «Drucke von 300 Atm und mehr vorkommen können». Tatsächlich liegt aber der Innendruck in diesen Zellen in der Nähe von Null. Die 300 Atm stellen somit einen Druck dar, der gar nicht drückt, sondern Wasser in die Zellen einzusaugen strebt und daher besser als Saugkraft der Zelle bezeichnet wird. So müssen wir in der älteren osmotischen Literatur stets unterscheiden zwischen der Größe, von welcher der Autor spricht, der Größe, die er zu messen glaubt, und der Größe, die er tatsächlich gemessen hat.

Die neuere Terminologie verfolgt den Zweck, Mißverständnisse nach Möglichkeit auszuschalten.

IV.

Wir kommen nun zu den *Meßmethoden.* Wir beschränken uns dabei auf die für die Wasserversorgung wichtigste Größe; es ist das die Saugkraft der Einzelzelle im normalen Zustand. Alle Verfahren, die aus dem Preßsaft mit Hilfe der Kryoskopie oder mit Dampfdruckmethoden den sog. osmotischen Druck bestimmen, fallen für uns nicht in Betracht, weil wir mit dem Preßsaft nicht die Saugkraft der Zelle erhalten, sondern die Saugkraft des Zellinhaltes, und weil wir außerdem nur Durchschnittswerte für Gewebe, Organe oder selbst ganze Pflanzen finden. Was wir suchen, ist aber die Saugkraft der Einzelzelle.

Früher benützte man jahrzehntelang zu diesem Zweck die grenzplasmolytische Methode, d. h. man suchte jene Rohrzuckerkonzentration, in der sich das Protoplasma eben von der Wand abzuheben beginnt; dadurch gelangt aber die Zelle in einen abnormalen Zustand. Im Gegensatz dazu sucht nun die Saugkraftmethode jene Rohrzuckerkonzentration, in der das normale Zellvolumen erhalten bleibt.

Wir wollen jetzt an 2 Beispielen die mit den beiden Methoden erhaltenen Resultate vergleichen.

1. In einem turgeszenten Efeublatt untersuchen wir eine Palisadenreihe, die von einem Hauptnerv ausgeht. Es war zu erwarten, daß die maßgebende osmotische Größe am Nerv am kleinsten ist und in Rich-

tung des Wassertransportes ansteigt. Die grenzplasmolytische Methode ergab keine Gesetzmäßigkeit. Die Saugkraft dagegen stieg von einem Minimum in der Nähe des Nervs an bis zum Maximum von ca. 33 Atm in der 210. Palisade; von hier an fiel die Saugkraft wieder, offenbar weil die Wasserversorgung nun von einem Nerv aus erfolgte.

2. Als 2. Beispiel diene ein Querschnitt durch die Absorptionszone der Wurzel von Vicia Faba. Das Wasser muß von der Epidermis bis in die Gefäße wandern. Der Grenzplasmolysewert läßt keine Beziehung zum Wassertransport erkennen. Die Saugkraft steigt in der Rinde von außen nach innen an, wie zu erwarten war. Aber in der Endodermis fällt die Saugkraft ab, obschon die Endodermis aus der Rinde Wasser erhalten muß. Der Vorgang blieb unklar, bis man die Saugkraft*differenzen* zwischen gegenüberliegenden Seiten einer Zelle messen lernte. Es zeigte sich, daß die Endodermis als Saugpumpe und Reduzierventil wirkt; auf der Rindenseite ist die Saugkraft der Endodermis so groß, daß Wasser aufgenommen werden kann; auf der Perizykelseite ist die Saugkraft der Endodermis so klein, daß der Perizykel Wasser einzusaugen vermag. Noch auffallender ist die polare Differenzierung der Saugkraft im Gefäßparenchym; es wirkt, nach den vorliegenden Messungen, als Saug- und Druckpumpe; es entzieht den Nachbarzellen Wasser und preßt es in die Gefäße hinein. Damit ist noch eine andere rätselhafte Erscheinung, das Bluten, dem Verständnis näher gerückt.

V.

Bevor wir zum Mechanismus übergehen, schicke ich einige Angaben voraus über *Saugkraftschwankungen* und *Saugkraftmaxima*. Hier konnten gewöhnlich einfachere Meßmethoden benützt werden, welche Mittelwerte für Gewebestreifen liefern.

Die Saugkraft einer Bellisblüte schwankte an einem schönen Sommertag zwischen 7½ und 13½ Atm. Diese Schwankung wurde ausgelöst vornehmlich durch die Veränderung der Luftsaugkraft.

Die Saugkräfte von Lotusblüten variierten gleichzeitig an benachbarten alpinen Standorten zwischen 9,5 und 34,5 Atm. Diese Schwankungen beruhten hauptsächlich auf Unterschieden in der Bodensaugkraft.

Die Blätter von Sempervivum auf einem Felsblock in den Gastlosen hatten bei einer Messung nach langer Trockenheit 45 Atm ergeben. Da aber die Saugkräfte dieser Sukkulenten gewöhnlich um 3 Atm herum liegen, schienen Versuchsfehler vorzuliegen. Als man aber die Versuchspflanzen langsam immer weiter austrocknen ließ, stieg nach 37 Wochen dauerndem Welken die Saugkraft der inneren, noch lebenden Rosettenblätter auf 40, 80 und selbst 100 Atm an.

Im feuchten Urwald von Tjibodas sinkt die Saugkraft vielfach auf 3 Atm. In Ostjava zeigte nach einer Trockenperiode Acacia leucophloea eine Blattsaugkraft von 74 Atm. Für die Assimilationsdornen von Zollikoferia arborescens in der Sahara wurden bis 130 Atm angegeben.

Die Bedeutung des Salzgehaltes des Bodens zeigten 2 Messungen an Sonneratia acida. Der eine Baum wuchs in Buitenzorg in einem Süßwasserteich (Bodensaugkraft 0,5 Atm), der andere am Meeresstrand (Bodensaugkraft 22 Atm). Bei 0,5 Atm Bodensaugkraft betrug die Blattsaugkraft 17,8 Atm, bei 22 Atm Bodensaugkraft betrug die Blattsaugkraft 40 Atm.

Bei Wüstenhalophyten hatte *Fitting* (1911) mit der Grenzplasmolyse bis über 100 und *Harris* (1924) am großen Salzsee mit der Kryoskopie bis zu 169 Atm gefunden. Beide Autoren hatten nicht die Saugkraft gemessen, doch dürfte diese nicht weit unter den angegebenen Werten liegen.

Die höchsten Saugkräfte wies aber offenbar jene Torula auf, die *Raciborski* auf konzentrierter LiCl-Lösung kultivierte. War die Lösung wirklich konzentriert, so besaß sie eine Saugkraft von 2500 Atm, und die Torula mußte noch stärker saugen, um dem Substrat Wasser entziehen zu können.

VI.

Wenn wir nun noch zum *osmotischen Mechanismus* übergehen, so haben wir zunächst zu untersuchen, welches die osmotisch wirksamen Stoffe sind, denen die Zelle ihre Saugkraft verdankt. Die Grundlagen schuf wiederum *de Vries*, der 1884 in seiner «Analyse der Turgorkraft» feststellte, daß es sich im wesentlichen um Zucker, organische Säuren, organische und anorganische Salze handelt. Für jede Zelle sollten nun alle osmotischen Komponenten bekannt sein und für jede Komponente sollte angegeben werden können, wie stark sie an der Gesamtsaugkraft des betr. Zellinhaltes beteiligt ist. Doch dieses Ziel liegt noch in weiter Ferne.

Wir wenden uns jetzt zum Mechanismus der Saugkraft*schwankungen*. Gehen wir aus von unserer Impatienszelle, in welcher

$$Sz_n = Si_n - W_n$$
$$4{,}4 \text{ Atm} = 9{,}9 \text{ Atm} - 5{,}5 \text{ Atm}$$

Die Pflanze mache eine Trockenperiode durch; unsere Zelle verliert mehr Wasser, als sie aufnimmt, ihr Volumen wird immer kleiner, die Wand zuletzt entspannt, der Wanddruck also gleich Null. Gleichzeitig steigt die Saugkraft des Inhaltes infolge des Wasserverlustes etwas an. So geht obige Saugkraftgleichung über in

$$10{,}6 = 10{,}6 - 0{,}0$$

Die Saugkraft der Zelle ist also auf mehr als das Doppelte angestiegen. Dadurch wird die Wasseraufnahme erleichtert und die Wasserabgabe erschwert. Die Störung der Wasserbilanz löst somit eine Reaktion aus, die auf Wiederherstellung des früheren Zustandes hinarbeitet. Wir können das als eine zweckmäßige Erscheinung interpretieren. Dabei handelt es sich um rein physikalische Prozesse, die ganz automatisch vor sich gehen. Allerdings ist dieser Mechanismus an die Semipermeabilität des Protoplasmas gebunden, und die Semipermeabilität geht mit dem Tode verloren.

Auf den physikalischen Prozeß pflegt ein physiologischer zu folgen, der noch wirksamer sein kann und in einer weiteren Erhöhung der Saugkraft des Inhaltes besteht. Als extremen Fall erwähne ich eine austrocknende Sempervivum-Rosette, die ihren Grenzplasmolysewert von 21 auf 106 Atm erhöhte. Die Zelle setzt sich also energisch gegen das drohende Vertrocknen zur Wehr. Dabei handelt es sich offenbar um die Neubildung osmotisch wirksamer Substanz, die leider gewöhnlich nicht näher bekannt ist, für die aber eine Reihe von Möglichkeiten vorliegen: Entstehung von Zucker bei der CO_2-Assimilation, Überführung von Stärke in Zucker, Zerlegung der Disaccharide in Monosaccharide usw.

Wieder in anderer Weise helfen sich die Halophyten. Das Salzwasser, in dem sie wurzeln, ist wohl physikalisch feucht, aber, wie *Schimper* sagte, physiologisch trocken. So erklären sich teleologisch die uns schon bekannten hohen Saugkräfte der Halophyten. Aber wie kommen sie kausal zustande? Soweit bekannt, dadurch, daß das lebende Protoplasma der Halophytenzelle das Salz permeieren läßt. Hat dieses in Boden und Wurzel dieselbe Konzentration erreicht, so ist die Saugkraft des Substrates äquilibriert und die physiologische Trockenheit überwunden.

Wollen wir ferner verstehen, auf welche Höhe eine Pflanze die Saugkräfte ihrer verschiedenen Zellen einstellt, so sind eine Reihe weiterer Faktoren zu berücksichtigen; neben den Saugkräften des Bodens und der Luft fallen in Betracht: der Bau und die physiologischen Eigenschaften der wasseraufnehmenden, der wasserabgebenden, wasserleitenden und speichernden Organe und Gewebe. Wir haben also die ganze Pflanze samt ihrer Umgebung zu analysieren, um zu einem richtigen Verständnis ihrer Saugkraft zu gelangen.

Zusammenfassung

Es wird an die Verdienste von *de Vries* und *Pfeffer* auf osmotischem Gebiete erinnert und an die Befruchtung anderer naturwissenschaftlicher Disziplinen durch diese ersten osmotischen Studien.

Anschließend wird auf die Mißverständnisse hingewiesen, die durch Nichtberücksichtigung der Volumkontraktion bei der Plasmolyse und durch Nachlässigkeiten in der Terminologie entstanden sind.

An einigen Beispielen wird dann die Bedeutung der richtigen Meßmethodik erläutert.

Nach Angaben über Saugkraftschwankungen und Saugkraftmaxima wird der osmotische Mechanismus bei Nicht-Halophyten und Halophyten besprochen.

Résumé

L'auteur rapelle les mérites que se sont acquis *de Vries* et *Pfeffer* dans le domaine de l'osmose et à l'impulsion conférée aux autres disciplines scientifiques par ces premières études sur l'osmose.

Il attire ensuite l'attention sur les malentendus qui se sont produits parce qu'il n'a pas été tenu compte de la diminution de volume au cours des plasmolyses et par l'imprécision de la terminologie employée.

Quelques exemples illustrent la véritable méthode de mesure.

Le mécanisme de l'osmose chez les halophytes et les non-halophytes est discuté à l'aide des variations de la force d'aspiration et de son maximum.

Riassunto

Si accenna ai meriti di *de Vries* e *Pfeffer* nel campo dell'osmosi nonchè al vantaggio che da questi primi studi osmotici hanno tratto le altre discipline di scienze naturali.

In seguito si mettono in evidenza i malintesi che si sono presentati perchè non si è tenuto debito conto della contrazione di volume durante la plasmolisi e per le manchevolezze della terminologia.

Alla scorta di alcuni esempi si illustra poi l'importanza del giusto metodo di misurazione.

In base a dati sulle alterazioni e sui massimi della forza d'aspirazione si illustra il meccanismo d'osmosi nei non-alofiti e negli alofiti.

Summary

The author refers to the work of *de Vries* and *Pfeffer* in the domain of osmosis and to the incitement given to other scientific workers by their preliminary studies.

He then draws attention to the errors committed due to the fact that diminution of volume during plasmolysis was ignored and careless terminology used.

Some examples demonstrate the correct method of measurement.

In accordance with variations of the power of aspiration and its maximum, the mechanism of osmosis in halophytes and non-halophytes is discussed.