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

wenn die Einwirkung der Säure aufgehört hatte, bis zum vorzeitigen Blattfall.[1])

Bei den Rotbuchen ist demnach unbedingt der Chloroplast empfindlicher gegen die Säure als das Zellplasma. Es führt aber nicht zu einem Absterben unter den gleichen Farbenerscheinungen wie bei akuten Schäden. Es ist deshalb höchst wahrscheinlich, daß auch in allen den Fällen, wo die Charaktere der akuten Beschädigung auftreten, selbst wenn es sich um chronische Schäden handelt, das Zellplasma direkt durch die Säure getötet wird. Wenn nun auch vielleicht anzunehmen ist, daß die Chloroplasten in den Versuchen von WISLICENUS zuerst gelitten haben, so sind doch die Zellen durch die Säure getötet worden, und nicht sind die Zellen abgestorben, weil die Assimilation aufgehört hatte.

Die Untersuchungen von WISLICENUS zeigen, daß die Bäume unter den von ihm eingehaltenen Versuchsbedingungen — ob sie sich in der Natur ebenso verhalten? — gegen schweflige Säure im Lichte ganz außerordentlich empfindlich sind, sie geben aber keinen befriedigenden Aufschluß darüber, welche Vorgänge sich beim Absterben der Blattzellen abspielen.

Aachen, Botan. Institut d. Techn. Hochschule, im Oktober 1916.

---

49. A. Ursprung und G. Blum: Zur Methode der Saugkraftmessung.

(Eingegangen am 7. Oktober 1916.)

Die in dieser Zeitschrift mitgeteilten Untersuchungen[2]) über die Verteilung und die periodischen Schwankungen des osmotischen Wertes sollten auch als Vorarbeit dienen für entsprechende Studien über die Saugkraft.

Das Vorhandensein einer Saugkraft in bewurzelten Pflanzen, abgeschnittenen Sprossen und Blättern ergab sich von jeher aus der Wasserabsorption ganzer Pflanzen und abgetrennter Organe. Schon längst wissen wir ferner, daß die Saugkraft nicht nur in lebenden sondern auch in toten Zellen ihren Sitz haben kann.

1) l. c. S. 209 ff.

2) A. URSPRUNG und G. BLUM, Über die Verteilung des osmotischen Wertes in der Pflanze. — Über die periodischen Schwankungen des osmotischen Wertes. — Diese Berichte 1916, p. 88—123.

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

A. Für **tote Zellen** bildet das schönste Beispiel der Farnannulus, in dem die Saugkraft 300 Atm. übersteigen kann. Damit dieser hohe Wert möglich ist, muß die Quellungskraft der Wand und die Kohäsion des Wassers ebenfalls 300 Atm. erreichen, und es darf überhaupt vorher keine Blasenbildung erfolgen.

Eine Flüssigkeitskohäsion von dieser und noch bedeutenderer Größe war zwar theoretisch schon längst abgeleitet, experimentell aber erst 1915 bestimmt worden. Hohe Quellungskräfte hat REINKE[1]) bereits 1879 nachgewiesen. Für den Druck, der nötig ist, um aus *Laminaria*laub mit einem Wassergehalt von 93 pCt. Wasser auszupressen, fand er 200 Atm.; bei einem geringeren Wassergehalt wollte Auspressung überhaupt nicht mehr gelingen. Nach RODEWALD[2]) zieht trockene Stärke das Wasser mit einer Kraft von über 2000 Atm. an. Für Holzmehl aus Fichtenholz fand VOLBEHR[3]) als mittleren Druck, unter dem das Wasser in der gequollenen Faser steht, 1674 Atm. Wenn die Blasenbildung z. B. in Equisetensporangien[4]) viel leichter erfolgt als in Polypodiaceensporangien, so daß nur relativ kleine Saugkräfte möglich sind, so ist das nicht durch eine geringere Kohäsion bedingt, denn das abweichende Verhalten bleibt auch dann bestehen, wenn beide Sporangien mit demselben Wasser gefüllt werden.[5])

Für das Saftsteigen sind die Saugkräfte von besonderem Interesse, die im Innern toter Leitbahnen auftreten. Die früheren Bestimmungen an Blasen führenden Leitbahnen (v. HÖHNEL, SCHWENDENER etc.) hatten zu Drucken zwischen + 1 und 0 Atm. geführt und naturgemäß auch keine größeren Saugkräfte ergeben können. Bei unseren neueren Untersuchungen an blasenfreien Leitbahnen operierten wir mit Tracheiden und Gefäßen. Die Tracheiden wurden aus Blättern und Zweigen von Koniferen durch bloßes Zerzupfen isoliert und im wassergefüllten Zustande in die früher[6]) beschriebenen kleinen Exsikkatoren gebracht; beim Verdunsten

---

1) J. REINKE, Untersuchungen über die Quellungen einiger vegetabilischer Substanzen. Botan. Abh von HANSTEIN IV, p. 55; 1879.

2) H. RODEWALD, Versuchsstat. 1894, Bd. 45, p. 237; Zeitschr. f. phys. Chemie, Bd. 24, p. 193; 1897.

3) B. VOLBEHR, Unters. über die Quellung der Holzfaser. Inaug.-Diss. Kiel 1896.

4) A. URSPRUNG, Dritter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Berichte 1916.

5) Vgl. hierzu auch URSPRUNG, Über die Blasenbildung in Tonometern. Diese Berichte 1915, S. 140.

6) A. URSPRUNG, Über die Kohäsion des Wassers im Farnannulus. Diese Berichte 1915, p. 159.

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

traten im Füllwasser Zugspannungen auf. Die Gefäße befanden sich in lebenden, beblätterten *Clematis*- und *Cornus*sprossen[1]), die mit der Schnittfläche in Hg tauchten. Das Quecksilber stieg bedeutend über das korrigierte Barometerniveau empor, womit in noch anschaulicherer Weise Zugspannungen auch im Füllwasser von Gefäßen lebender Sprosse demonstriert war.

Damit ist nun wohl gezeigt, daß Zugspannungen im Füllwasser der Leitungsbahnen entstehen können; es ist aber nicht bewiesen, daß diese Zugspannungen auch in der intakten Pflanze unter normalen Verhältnissen auf die Dauer vorhanden sind. Das letztere aber ist nötig, wenn Zugspannungen bei der Mechanik des Saftsteigens wirklich eine Rolle spielen. Das Unnatürliche der Versuchsbedingungen liegt ja auf der Hand: im ersten Falle grenzten isolierte Tracheiden an Luft, im zweiten Falle tauchte die Schnittfläche des Sprosses in Hg, so daß die Blätter wohl transpirieren, der Sproß aber kein Wasser von außen aufnehmen konnte. Wie weit selbst im zweiten Falle, der den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommt, die Versuchsresultate täuschen können, zeigen blutende Sprosse. Hier herrscht in den Leitbahnen der intakten Pflanze ein positiver Druck, während das in den angeschnittenen Leitbahnen aufsteigende Quecksilber gleichzeitig Zugspannung anzeigt.

Da die toten Leitbahnen von lebenden Zellen umgeben sind, werden auch ihre Saugkräfte durch die Saugung lebender Zellen hervorgerufen. So kann z. B. unter normalen Verhältnissen die Saugkraft eines Gefäßes nicht größer sein als die des angrenzenden Blattparenchyms; das Gefäß vermag aber in der Wurzel Wasser nur dann aufzunehmen, wenn es an dieser Stelle stärker saugt als das angrenzende Wurzelparenchym.

B. Über die Saugkraft **lebender Zellen** liegen keine speziellen Untersuchungen vor. Das Minimum ist natürlich Null und wird bei voller Wassersättigung erreicht. Das Maximum ist in einer turgeszenten Zelle kleiner als die Saugkraft des Zellsaftes bei Grenzplasmolyse; dagegen sind nach Aufhebung der Turgeszenz noch höhere Werte möglich. Man denke nur an das Wassergewebe, das durch Fältelung der Wand das Volumen weit unter die Dimensionen bei Grenzplasmolyse reduzieren kann. Durch einfache Überlegung ergibt sich ferner, daß die Saugkraft in verschiedenen Teilen derselben Pflanze verschieden sein muß. Es sollen hierfür,

1) A. Ursprung, Dritter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Berichte 1916.

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

unter Annahme des Fehlens von Blutungstätigkeit, einige Beispiele erwähnt werden. Bei *Penicillium* kann der Konidienträger dem im Substrat lebenden Mycel Wasser nur dann entnehmen, wenn er es stärker anzieht; im Konidienträger selbst ist zur Wasserversorgung nötig, daß jede Zelle eine etwas höhere Saugkraft besitzt als die nächst untere. Für höhere Pflanzen gilt mutatis mutandis natürlich dasselbe. Bei erschwerter Wasserzufuhr welken die an der Pflanze befindlichen Blüten rascher als die abgeschnittenen, was auf Wasserentzug durch die Blätter, also auf eine stärkere Saugkraft der letzteren hinweist. Aber auch in einem Blatt selbst müssen Differenzen vorhanden sein. Wenn z. B. die Palisaden dem angrenzenden Wassergewebe soviel Wasser entziehen, daß dieses seine Wände in Falten legt, so ist das durch Unterschiede in der Saugkraft bedingt. Saugkraftdifferenzen ermöglichen den Schließzellen die Wasseraufnahme aus der Epidermis. Endlich kann die Saugkraft selbst in verschiedenen Teilen derselben Zelle verschieden sein.

RENNERs Bemühungen die Saugkraft zu messen, ergaben tatsächlich nur Werte für den Filtrationswiderstand[1]). Meine Verfahren durch Ansaugen von Hg die Flüssigkeitskohäsion zu demonstrieren[2]), demonstrieren gleichzeitig auch eine Saugkraft, aber nicht die der intakten Pflanze. Denn — wie schon erwähnt — kann in einem, beim Abschneiden blutenden Gefäß das Hg über Barometerniveau steigen, obschon also in natura ein positiver Druck vorhanden war. Mit diesen und ähnlichen Methoden könnte aber, auch wenn sie zuverlässig wären, die Saugkraft nur für ganze Organe bestimmt werden, nicht aber für einzelne Zellen.

Ein ganz anderer Weg wurde schon vor mehr als 30 Jahren von DE VRIES[3]) angegeben. Um die „Saugkraft transpirierender Blätter" zu messen, braucht man hiernach „nur die Konzentration derjenigen Salpeterlösung zu ermitteln, in welcher die betreffenden Blätter weder Zu- noch Abnahme ihrer Größe zeigen". Wie sich DE VRIES die praktische Ausführung dachte, ist nicht zu sagen, da Bestimmungen meines Wissens nie vorgenommen wurden. Bei einem Organ, das so viele und große Interzellularen besitzt, wäre

---

1) A. URSPRUNG, Filtration und Hebungskraft. Diese Berichte 1915, p. 112.

2) A. URSPRUNG, Über die Bedeutung der Kohäsion für das Saftsteigen; l. c. 1913, p. 402. — Zweiter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion; l. c. 1915, p. 253. — Dritter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion; l. c. 1916.

3) DE VRIES, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Pringsh. Jahrb., Bd. 14, p. 562.

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

zuerst zu untersuchen, in wie weit kleine Volumänderungen der Zellen Dimensionsänderungen des ganzen Organs bedingen. Jedenfalls sind jene Zellvergrößerungen, welche in die Interzellularen hinein erfolgen, äußerlich am Blatt nicht zu erkennen. Auf diese Weise bleibt natürlich auch die Saugkraft einzelner Zellen unbestimmbar.

PFEFFER[1]) schreibt in seiner Energetik: „Dieses (das Energiepotential im lebenden Parenchym) findet seinen Ausdruck in der Senkung der Turgorkraft unter den in den gegebenen Bedingungen maximalen Turgeszenzzustand, denn mit Erreichung des letzteren ist, wie hoch die osmotische Kraft immer sein mag, eine wasserbefördernde Wirkung ausgeschlossen. Demgemäß ist mit der vergleichend plasmolytischen Methode in unseren Fragen nichts zu erreichen, wohl aber sind in Beachtung von Biegungselastizität, Kompressionswirkung, Wasseraufnahme bis zum Maximalturgor usw. Mittel geboten, um diese Turgorsenkung mehr oder weniger genau zu ermitteln.“

Weitere Angaben über die Methode der Saugkraftmessung sind mir nicht bekannt geworden.

Unter den verschiedenen Wegen, die zur Bestimmung der Saugkraft einzelner Zellen führen können, habe ich zwei eingeschlagen; für ihre Auswahl waren die folgenden Gesichtspunkte maßgebend. Die Volumänderung einzelner Zellen sollte direkt ermittelt und aus bereits erwähnten Gründen nicht aus Dimensions- oder Krümmungsänderungen ganzer Organe erschlossen werden, die Kraft, mit der eine Zelle Wasser einsaugt, läßt sich angeben durch die Kraft, die nötig ist, um dieses Einsaugen zu verhindern; dies wiederum ist möglich auf mechanischem und osmotischem Wege. Will man mechanisch vorgehen, so hat man die Druck- oder Biegungskraft zu messen, welche die Wasseraufnahme äquilibriert. Das ist aber an Einzelzellen nicht durchführbar und bei Organen oder Gewebestücken stoßen wir, wenn auch nicht immer so doch meistens, auf die angeführte Fehlerquelle. Dazu gesellen sich noch andere Schwierigkeiten, deren Erörterung unterbleiben kann.

Was die Terminologie betrifft, so soll die Bezeichnung „Kraft“ beibehalten werden, obschon es sich ja um $\frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$ handelt, also um eine Größe die nicht in Kg sondern in Atm. gemessen wird. Man pflegt ja auch in der Physik von Zug- und Druckkräften zu reden.

---

1) W. PFEFFER, Studien zur Energetik der Pflanze. 1892, p. 259.

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

I. Methode.

Die Saugkraft einer lebenden Zelle ist die Resultante aller auf den Ein- und Ausstrom des Wassers hineinarbeitenden Kräfte.

Für den Einstrom ist zu berücksichtigen die osmotische Saugung des Inhaltes und jeder von außen wirkende Zug, der das Volumen der Zelle zu vergrößern strebt. Dagegen kommen negative Spannungen im Innern turgeszenter Zellen natürlich nicht vor. Für den Ausstrom fällt in Betracht die Spannung der elastisch gedehnten Wand, sowie jeder von außen wirkende Druck, der das Volumen der Zelle zu verkleinern strebt. Der Zentraldruck ist zu vernachlässigen. Lassen sich auch die Außenkräfte (Gewebespannung usw.) vernachlässigen, so wird:

Saugkraft der Zelle = Saugkraft des Inhaltes = Wanddruck.

Die erste Methode besteht in der Ermittlung der Resultante durch Messung der Komponenten.

Die Saugkraft des Inhaltes ergibt sich aus dem osmotischen Wert bei unverändertem Zellvolummen und den Tabellen von MORSE bzw. Lord BERKELEY und HARTLEY. Zu messen ist der osmotische Wert bei Grenzplasmolyse mit Rohrzucker, sowie das Zellvolumen im normalen Zustand und bei Grenzplasmolyse. Der Wanddruck bei normalem Volumen berechnet sich aus dem Wanddruck bei Wassersättigung (=osmot. Druck bei Wassersättigung, da Gleichgewicht herrscht) und bei Grenzplasmolyse (= Null).

Nach dieser Übersicht können wir auf die Ermittlung der einzelnen Größen näher eingehen.

Die Messung des Zellvolumens gestaltet sich einfach, wenn Rotationskörper, besonders Kugel oder Zylinder, vorliegen. Auch prismatische Zellen mit unregelmäßig begrenztem Querschnitt bieten keine Schwierigkeit, wenn man den Querschnitt bei starker Vergrößerung z. B. auf Milimeterpapier zeichnet und wenn sich die Zelldicke genau genug messen läßt. Muß man die Zelle in Abschnitte von Kugeln, Kegeln, Zylindern, Ellipsoiden usw. zerlegen, so wird die Inhaltsberechnung komplizierter und ungenauer und läßt sich bei unregelmäßiger Gestalt überhaupt nicht mehr befriedigend durchführen. Es sind daher für unsere Zwecke möglichst regelmäßig geformte Zellen auszusuchen. Wo kein Rotationskörper vorliegt, wie z. B. bei der Epidermis, muß auch die Zelldicke d. h. die Dimension in Richtung der Mikroskopachse gemessen werden. Man kann sich hierzu der Mikrometerschraube bedienen, doch ist auf den Brechungsexponenten der Beobachtungsflüssigkeit Rücksicht zu nehmen. Die gemessene Dicke ist mit ihm zu multiplizieren um die wirkliche Dicke zu finden. Die Brechungs-

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

exponenten der benutzten Flüssigkeiten sind nach Bestimmungen mit dem Refraktometer nach FÉRY [1]): Wasser = 1,332; Paraffinöl = 1,427; die Rohrzuckerlösungen schwankten zwischen 0,71 Mol. = 1,368 und 1,0 Mol. = 1,383. Einfacher ist es jedoch die Luftschicht zwischen Objektiv und Deckglas durch die Beobachtungsflüssigkeit zu ersetzen, dann stimmt die gewonnene Dicke mit der wirklichen überein.

Die Messung des normalen, unveränderten Zellvolumens hat in einem Medium zu geschehen, das keine Volumänderung verursacht, Wasser bleibt somit ausgeschlossen; in Luft ist die Beobachtung erschwert und Verdunstung zu befürchten. Es wurde daher das intakte, an der unversehrten Pflanze befindliche Organ unter Paraffinöl geschnitten und der Schnitt unter Paraffinöl untersucht ohne vorher mit einer anderen Flüssigkeit oder Luft in Berührung gekommen zu sein. Die Wahl fiel auf Paraffinöl, weil es nach den vorliegenden Erfahrungen von SCHMIDT, HELLER[2]) und SCHILLING[3]) weder in die lebende Zelle einzudringen, noch einen chemischen Einfluß auszuüben scheint. Dagegen war mit der gewünschten Aufhebung der Transpiration eine Erschwerung der Atmung verbunden, die jedoch während der kurzen Dauer der Untersuchung kaum von Nachteil sein konnte. Diesbezügliche Versuche zeigten uns auch, daß in Paraffinöl, während der in Betracht fallenden Zeit, weder der osmotische Wert, noch das Volumen oder die Fähigkeit der Volumänderung merkbar beeinflußt werden. Selbst fast plasmolysierte, also mit relativ hoher Saugkraft begabte Zellen ergaben bei längerem Liegen in Paraffinöl keine Volumzunahme.

Das Deckglas ist stets zu unterstützen, um einen Druck auf die Zelle und eine dadurch ermöglichte Formänderung auszuschließen.

Der Wechsel der Flüssigkeiten (Paraffinöl, Rohrzucker, Wasser) erfolgt entweder bei aufgelegtem Deckglas, wobei man solange durchsaugen muß, bis die alte Flüssigkeit sicher entfernt ist oder durch Übertragen des Schnittes. Auf letztere Art läßt sich besonders das Paraffinöl leichter entfernen und der Wechsel rascher erreichen; doch muß die Übertragung mit genügender Vorsicht geschehen, damit die Zelle ihre Lage nicht ändert.

---

1) Herrn Dr. v. HAUER danke ich für Überlassung des Apparates.

2) HELLER, Über die Wirkung ätherischer Öle und einiger verwandter Körper auf die Pflanzen. Flora, Bd. 93, p. 1; 1904.

3) SCHILLING, Über hypertrophische u. hyperylastische Gewebewucherungen an Sproßachsen, verursacht durch Paraffine. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 55, p. 177; 1915.

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

Das für unsere Zwecke geeigneteste Plasmolytikum ist aus verschiedenen Gründen Rohrzucker. Unter den von TRUE[1]) geprüften Stoffen ist er der unschädlichste, indem er weder giftig wirkt, noch den Zellen das Wasser zu rasch entzieht. Er gehört auch zu den Substanzen, bei denen Fehler durch Permeieren in die Zelle am wenigsten zu befürchten sind.[2]) Ferner läßt sich für ihn, auf Grund der Untersuchungen von MORSE, Lord BERKELEY und HARTLEY der osmotische Druck genau angeben, was natürlich sehr wichtig ist, wenn man den absoluten Wert der Saugkraft messen will.

MORSE[3]) und seine Mitarbeiter operierten mit gewichtsnormalen (xGM Rohrzucker auf 1000 g Wasser), BERKELEY und HARTLEY[4]) mit volumnormalen (xGM Rohrzucker in 1 Liter Lösung) Lösungen. MORSES Messungen erstrecken sich bis 1 Mol, sind aber in Intervallen ven $^1/_{10}$ Mol ausgeführt, während BERKELEYS Messungen vornehmlich höhere Konzentrationen betreffen und nur in weiteren Zwischenräumen erfolgten. Die folgende Tabelle fertigen wir uns an, um die Auffindung des Druckes zu einer bestimmten Konzentration zu erleichtern. Die schief gedruckten Zahlenwerte sind den Arbeiten der genannten Autoren direkt entnommen, die übrigen von uns berechnet. Die zur Umrechnung nötigen Daten für das spez. Gewicht und die Volumkontraktion finden sich bei MORSE. Die Temperaturkorrektion für 20° erfolgte nach der Gleichung $P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ Bis 1 Mol gewichtsnormal wurde nur MORSE berücksichtigt.

---

1) TRUE, The physiological action of certain plasmolyting agents. Botan. Gaz. 1898, Vol. 26, p. 407.

2) Selbstverständlich ist auf alle Fehlerquellen genau zu achten, also u. a. dafür zu sorgen, daß die Zellen ganz normal sind und nicht etwa Erscheinungen des „langsamen Absterbens" zeigen. — Dem Zucker könnte man vorwerfen, daß er schwieriger durch die Zellwand trete als Salpeter und daß daher statt der Abhebung des Plasmas eine Einstülpung der Wand zu befürchten sei; indessen ist uns bei den bisherigen Untersuchungen eine solche Störung — die zu hohe Werte ergeben müßte — nicht aufgefallen. — Während des Aufenthaltes in den verschiedenen Lösungen dürfen sich natürlich auch keine Wachstumserscheinungen abspielen.

3) H. N. MORSE, The osmotic pressure of aqueous solutions. Washington, D. C. Published by the Carnegie Institution of Washington. 1914. Publication 198, p. 184.

4) BERKELY and HARTLEY, On the osmotic pressures of some concentrated aqueous solutions. Phil. Trans. Roy. Soc. London. Ser. A, Vol. 206, p. 503; 1906. — BERKELEY, Note on the application of van der Waals' Equation to solutions. Proc. Roy. Soc. London. Ser. A, Vol. 79, p. 126.

Osmotischer Druck von Rohrzuckerlösungen.

Mol Rohrzucker auf 1000 g Wasser	Mol Rohrzucker in 1 Liter Lösung	Osmotischer Druck bei 20° in Atm.	Mol Rohrzucker auf 1000 g Wasser	Mol Rohrzucker in 1 Liter lösung	Osmotischer Druck bei 20° in Atm.
	0,010	0,264		0,460	13,009
	0,020	0,528		0,470	13,335
	0,030	0,793		0,480	13,661
	0,040	1,057		0,490	13,987
	0,050	1,321		0,500	14,313
	0,060	1,586		0,510	14,638
	0,070	1,850		0,520	14,964
	0,080	2,114		0,530	15,290
	0,090	2,379	*0,6*	0,533	*15,388*
0,1	0,098	*2,590*		0,540	15,637
	0,100	2,643		0,550	15,993
	0,110	2,906		0,560	16,349
	0,120	3,169		0,570	16,705
	0,130	3,432		0,580	17,061
	0,140	3,695		0,590	17,416
	0,150	3,959		0,600	17,772
	0,160	4,222	*0,7*	0,610	*18,128*
	0,170	4,485		0,620	18,498
	0,180	4,748		0,630	18,869
	0,190	5,011		0,640	19,239
0,2	0,192	*5,064*		0,650	19,609
	0,200	5,290		0,660	19,979
	0,210	5,572		0,670	20,350
	0,220	5,855		0,680	20,720
	0,230	6,137	*0,8*	0,685	*20,905*
	0,240	6,419		0,690	21,100
	0,250	6,702		0,700	21,491
	0,260	6,984		0,710	21,881
	0,270	7,266		0,720	22,272
	0,280	7,549		0,730	22,663
0,3	0,282	*7,605*		0,740	23,053
	0,290	7,838		0,750	23,444
	0,300	8,129	*0,9*	0,757	*23,717*
	0,310	8,420		0,760	23,844
	0,320	8,711		0,770	24,267
	0,330	9,002		0,780	24,691
	0,340	9,293		0,790	25,114
	0,350	9,584		0,800	25,537
	0,360	9,875		0,810	25,961
0,4	0,369	*10,137*		0,820	26,384
	0,370	10,169	*1,0*	0,826	*26,638*
	0,380	10,483		0,878	28,73 (BERKELEY)
	0,390	10,798		1,229	47,19 (BERKELEY)
	0,400	11,112		1,580	72,46 (BERKELEY)
	0,410	11,427		1,931	108,16 (BERKELEY)
	0,420	11,741		2,195	143,54 (BERKELEY)
	0,430	12,056		2,485	196,4 (BERKELEY)
	0,440	12,371			
	0,450	12,685			
0,5	0,452	*12,748*			

Wir kommen zum Wanddruck. Den Wanddruck bei normalem Volumen leiten wir ab aus dem Wanddruck bei Grenzplas-

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

molyse (=Null) und bei Wassersättigung (=osmotischer Druck bei Wassersättigung). Um dies tun zu können müssen wir die Beziehungen kennen, die in einer turgeszenten Zelle zwischen Wanddruck und Zellvolumen herrschen. Nach NÄGELI und SCHWENDENER[1]) wächst, innerhalb der Elastizitätsgrenze der Wandungen, die Spannung der Wand notwendig in demselben Verhältnis wie der hydrostatische Druck oder, was dasselbe ist, mit dem in die Zelle aufgenommenen Wasservolumen. Diese Angabe wird auch von PFEFFER[2]) übernommen. Ein Beweis für ihre Richtigkeit ist an den zitierten Stellen jedoch nicht erbracht. In einfacher Ableitung findet er sich in einer Arbeit von SACERDOTE[3]). Hiernach ist für eine Hohlkugel mit dünner Wand:

$$\left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right) = -3\,a\left[(1-2\sigma)\,p' - (1-\sigma)\,\frac{R}{2e}\,(p-p')\right]$$

und für einen Hohlzylinder mit dünner Wand und starren Endflächen:

$$\left(\frac{\Delta V_1}{V_1}\right) = -a\left[2\,(1-2\sigma)\,p' - (2-\sigma)\,\frac{R}{e}\,(p-p') + (1-2\sigma)\,p''\right]$$

Hierin bedeutet R = Radius, e = Wanddicke, p und p' = Druck auf die innere und äußere Seite der Wand, V_1 = Volumen, a und σ = Konstante.

Wenn nun $\frac{R}{e}$ sehr groß ist und der Einfluß des zweiten Termes überwiegt, wird die Volumenvergrößerung dem Überdruck $p-p'$ proportional. Hieraus folgt, daß die Wanddruckzunahme der Volumenzunahme nicht genau, sondern nur näherungsweise proportional ist. Diese Proportionalität gilt ferner nur solange die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird und solange der Elastizitätsmodul konstant bleibt.

Was die Elastizitätsgrenze der Zellwand betrifft, so ist ihre Überschreitung in unseren Versuchen in der Regel nicht zu befürchten. So verlängern sich nach SCHWENDENER und KRABBE[4]) junge Markzylinder beim Einlegen in Wasser (unter Ausschluß von Wachstum) von 100 auf 125—130 und gehen nach Plasmolyse wieder genau auf die Länge zurück, die sie in einer gleich nach ihrer Isolierung vorgenommenen Plasmolyse hatten. Daß es auch

1) NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. 2. Aufl. 1877, p. 404.

2) PFEFFER, Physiologische Untersuchungen 1873, p. 49.

3) SACERDOTE, Sur les déformations élastiques des vases minces. Journ. de physique, T. VII, p. 516; 1898.

4) SCHWENDENER und KRABBE, Über die Beziehungen zwischen dem Maß der Turgordehnung usw. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 25, p. 5; 1893.

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

Ausnahmen gibt, zeigt z. B. das Platzen von in feuchter Luft gewachsenen Wurzelhaaren beim Einlegen in Wasser [1]).

Über das Verhalten des Elastizitätsmoduls innerhalb der Elastizitätsgrenze liegen ausreichende Bestimmungen nicht vor. PFEFFER [2]) schreibt, gestützt auf eigene Versuche an Cynareenstaubfäden: „Vermutlich wird bei Zellwänden zumeist, wie beim tierischen Muskel, mit zunehmender Dehnung derselbe Spannungszuwachs eine etwas geringere Verlängerung bewirken“ [3]). Bei derartigen Dehnungsversuchen mit pflanzlichen Geweben muß man berücksichtigen, daß in vielen Fällen die Verlängerung des Gewebes nicht nur durch Dehnung der Zellwände, sondern auch durch Deformation der Zellen bedingt sein kann. Außerdem ist zu bedenken, daß die Zellen in verschiedene Lösungen (Paraffinöl, Wasser, Rohrzucker) gebracht werden und daß daher geprüft werden muß, ob die dadurch bedingten Quellungsdifferenzen den Elastizitätsmodul beeinflussen.

Bei dieser Sachlage schienen einige orientierende Versuche wünschenswert. Zunächst benutzten wir einen Kautschukschlauch, dessen Volumänderung direkt gemessen wurde durch Einschließen des Schlauches in ein weites, mit Wasser gefülltes Glasrohr, das in eine enge, auf einer Millimeterteilung befestigte Kapillare auslief. An dem einen Ende war der mit Wasser gefüllte Schlauch mit Quecksilbermanometer und Niveaugefäß in Verbindung, so daß sein Innendruck beliebig variiert und bequem abgelesen werden konnte. Die Messungen werden erschwert durch die elastische Nachwirkung und es sind brauchbare Zahlen nur unter Berücksichtigung dieses Umstandes zu erhalten. Die zuverlässigsten Werte ergaben sich bei gleichmäßiger Verringerung des hydrostatischen Druckes in dem gespannten Schlauch. Eine solche Reihe ist im folgenden mitgeteilt:

Druckabnahme in cm Hg:	1	1	1	1	1	1	1	1
Entsprechende Volumabnahme:	10	11	11	11	11	11	11	11

Sie weist innerhalb der Versuchsgrenzen auf Proportionalität hin.

Zur Prüfung des Verhaltens lebender Zellen gingen wir von folgender Überlegung aus. Eine Zelle besitze bei Grenzplasmolyse das Volumen 75 und den osmotischen Wert 0,60 (Mol Rohrzucker); ihre Saugkraft ist dann gleich der Saugkraft von 0,60 Mol Rohr-

1) WORTMANN, Beiträge zur Physiologie des Wachstums. Bot. Ztg. Bd. 47; 1889.

2) PFEFFER, Pflanzenphysiologie II, p. 62.

3) Vgl. auch DETLEFSEN, Arb. d. Würzb. Inst. III. 1888.

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

zucker, da der Wanddruck = 0. Dieselbe Zelle nehme nach Liegen in Wasser das Volumen 97 an, erhalte folglich den osmotischen Wert 0,46; da die Saugkraft der Zelle 0 ist, muß auch der Wanddruck 0,46 werden. Herrscht nun wirklich die in Rede stehende Proportionalität, so muß der halben Zunahme des Wanddruckes auch die halbe Volumzunahme entsprechen, d. h. es muß beim Wanddruck $\frac{0,46}{2} = 0,23$ das Volumen $75 + \frac{97 - 75}{2} = 86$ betragen. Legte man die Zelle in 0,30 Mol Rohrzucker, so daß sie die Saugkraft dieser Lösung annahm, so wurde ihr Volumen in dem untersuchten Falle 87 (also annähernd 86), woraus sich für den Zellinhalt die Saugkraft von 0,52 Mol Rohrzucker berechnet, was den Wanddruck 0,22 (statt 0,23) ergibt. Bei der Untersuchung wurde nicht mit einzelnen Zellen, sondern mit langen, schmalen Streifen von jungem Hollundermark operiert, deren Volumdifferenzen den Längendifferenzen annähernd gleich gesetzt werden konnten. Nach Wassersättigung kam die eine Längshälfte in 0,60, die andere in 0,30 Mol Rohrzucker.

Zum Schlusse sei die praktische Durchführung von Methode I noch an einem Beispiel erläutert.

Beispiel. Topfpflanze von *Hedera*, seit Wochen im Arbeitszimmer stehend. Epidermiszelle der Blattoberseite. 25. III. 1916. 3^h p. m.

Unter Paraffinöl geschnitten, in Paraffinöl untersucht (Flächenschnitt). Bei stärkster zulässiger Vergrößerung auf Millimeterpapier gezeichnet. Flächeninhalt = 2454; Dicke mit Mikrometerschraube gemessen = 9, multipliziert mit dem Brechungsexponenten des Paraffinöls (1,427) = 12,84. Somit Volumen in Paraffinöl = 31509.

Schnitt in dest. Wasser gebracht. Flächeninhalt derselben Zelle = 2486; Dicke = 10,5, multipliziert mit dem Brechungsexponenten des Wassers (1,332) = 13,99. Somit Volumen in Wasser = 34779.

Schnitt in 0,78 Mol Rohrzucker gebracht (hier tritt nach Vorversuch Grenzplasmolyse ein). Flächeninhalt = 1989; Dicke = 8, multipliziert mit Brechungsexponenten von 0,78 Mol Rohrzucker, (ca. 1,37) = 10,96. Somit Volumen in Rohrzucker = 21799.

Da der osmotische Wert bei Grenzplasmolyse = 0,78 so berechnet sich der osmotische Wert in Wasser zu 0,49 und
der osmotische Wert in Paraffinöl zu 0,54.

Hieraus ergibt sich — unter Annahme von Proportionalität zwischen Zunahme des Wanddruckes und Zellvolumens — für den Wanddruck in Paraffinöl, d. h. im normalen Zustand, 0,37.

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

Somit wird — unter Vernachlässigung der Außenkräfte — Saugkraft der Zelle = Saugkraft des Inhaltes 0,54 — Wanddruck 0,37 = 0,17; d. h. die Saugkraft der Zelle ist gleich der Saugkraft einer Rohrzuckerlösung von 0,17 Mol oder gleich 4,49 Atm.

II. Methode.

Bringen wir eine Zelle mit der Saugkraft s in eine Rohrzuckerlösung mit der Saugkraft $>$ s, so nimmt das Volumen der Zelle ab, in einer Zuckerlösung mit der Saugkraft $<$ s nimmt das Volumen zu, in einer Lösung mit der Saugkraft s bleibt das Volumen dasselbe. Zur Ermittelung der Saugkraft braucht man also nur jene Zuckerkonzentration zu ermitteln, in welcher die Zelle ihr Volumen nicht ändert.

Praktisch wurde folgendermaßen verfahren. Das unversehrte, an der intakten Pflanze befindliche Organ wurde unter Paraffinöl geschnitten; die in Paraffinöl liegende Zelle (Deckglas unterstützt) bei stärkster zulässiger Vergrößerung gezeichnet und der Umfang möglichst genau gemessen. Bei Epidermen oder anderen Zellen, die in der Dicke stärkere Schwankungen erwarten ließen als im Umfang, wurde auch die Dicke gemessen, dabei aber stets (um die Multiplikation mit dem Brechungsexponenten zu umgehen) zwischen Deckglas und Objektiv die betreffende Beobachtungsflüssigkeit gebracht. Durch Probieren wurden 2 Rohrzuckerkonzentrationen gesucht, von denen die eine das Zellvolumen ein wenig vergrößerte, die andere ein wenig verkleinerte. Die indifferente Konzentration, welche die gesuchte Saugkraft der Zelle besitzt, mußte nun zwischen diesen beiden Werten liegen und ließ sich durch Näherung der beiden Grenzwerte mit steigender Genauigkeit ermitteln. Dabei ist selbstverständlich für jede Zuckerkonzentration ein neuer Schnitt anzufertigen.

Diese Methode hat gegenüber der ersten ihre Vorteile. Die genaue Messung des Volumens, die oft trotz äußerster Sorgfalt bei der Zeichnung und Ausmessung nicht befriedigend zu erhalten ist, fällt hier weg; an ihre Stelle tritt die viel einfachere Konstatierung der Volumenänderung. Die Behandlung mit Wasser wird überflüssig und die Frage der Proportionalität zwischen Zunahme des Wanddrucks und Zellvolumens spielt keine Rolle.

Beispiel: Topfpflanze von *Hedera*; Epidermiszelle der Blattoberseite, genau wie bei Methode I. 5 und 6. VI. 1916.

Zelle a: Umfang in Paraffinöl = 15,6 cm; Dicke in Paraffinöl = 9 Teilstriche. Umfang in Rohrzucker 0,20 Mol = 16,1 cm; Dicke in Rohrzucker 0,20 Mol = 9 Teilstriche.

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

Benachbarte Zelle b: Umfang in Paraffinöl = 15,2 cm; Dicke in Paraffinöl = 7,5 Teilstriche. Umfang in Rohrzucker 0,22 Mol = 14,6 cm; Dicke in Rohrzucker 0,22 Mol = 7,5 Teilstriche.

Die gesuchte Saugkraft liegt zwischen 0,20 und 0,22 Mol, beträgt also ca. 0,21 Mol d. h. ca. 5,57 Atm.

Eine Uebereinstimmung mit dem Resultate der I. Methode ist nicht zu erwarten, da die Untersuchung zwar an demselben Gewebe aber in einem Intervall von mehreren Monaten erfolgte.

Wir haben bisher die Zelle gleichsam als isoliert betrachtet, d. h. keine Rücksicht darauf genommen, daß sie sich im Gewebeverband befindet. Bei Herstellung der Schnitte sind infolge der Loslösung aus dem Gewebeverband Änderungen der Zellform und des Zellvolumens denkbar. Formänderungen fallen nicht in Betracht, wenn Volumen und Außenkräfte konstant bleiben. Dagegen müssen eventuelle Änderungen des Volumens und der Außenkräfte berücksichtigt werden.

Besteht z. B. im intakten Organ eine Gewebespannung, welche auf die Zelle einen Außendruck von 5 Atm. ausübt, und ergibt sich für die isolierte Zelle eine Saugkraft von 5 Atm., so würde durch Vernachlässigung der Gewebespannung offenbar ein ganz falscher Wert für die Saugkraft gefunden. Man muß sich also entweder auf Zellen beschränken, auf die in der unversehrten Pflanze keine nennenswerte Außenkraft einwirkt, oder man muß diese in Rechnung ziehen.

War in der intakten Pflanze das Gefäßwasser in negativer Spannung und das angrenzende Parenchym mit ihm im Gleichgewicht, so wird beim Anschneiden des Gefäßes dessen negative Spannung aufhören und das angrenzende Parenchym Wasser aufnehmen. Seine Saugkraft wird also kleiner gefunden als sie tatsächlich war. Diese Fehlerquelle fällt nicht in Betracht, wenn der Schnitt keine Gefäße enthält.

Hängen der zu untersuchenden intakten Zelle angeschnittene Zellen an, z. B. einer ganzen Epidermiszelle angeschnittene Palisaden, so ist in den verletzten Palisaden der Wanddruck Null, ihre Saugkraft also stärker falls ihr Zellsaft derselbe bleibt. Entziehen nun die Palisaden infolge des Anschneidens der Epidermis Wasser, so muß für letztere eine zu hohe Saugkraft gefunden werden. Man wird daher zur Saugkraftmessung eine solche Zelle benützen, die von verletzten möglichst weit abliegt.

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

Auf Volumenänderung durch mechanische Reizung, die gelegentlich (z. B. Cynareenstaubfäden) vorkommen kann, muß ebenfalls geachtet werden.

Da sich auch bei sorgfältigem Experimentieren nicht alle Fehlerquellen vermeiden lassen, und da ihre quantitative Bedeutung im Einzelfalle nur schwer anzugeben ist, müssen stets mehrere, möglichst gleichartige Zellen von möglichst benachbarten Stellen zur Untersuchung gelangen.

---

50. A. Ursprung und G. Blum: Zur Kenntnis der Saugkraft.

(Eingegangen am 7. Oktober 1916.)

1. *Fagus silvatica.*

Die untersuchte Buche (Buche 1) ist 20 m hoch und steht am Südrand eines Wäldchens, so daß die Krone auf der einen Seite frei exponiert, auf der andern durch benachbarte Bäume beschattet ist. Die Saugkraft wurde gemessen an Saugwürzelchen und ausgewachsenen Blättern. Alle untersuchten Blätter hatten den anatomischen Bau von Schattenblättern; sie befanden sich auf der Schattenseite der Krone, mit Ausnahme von Blatt 4 u. 5, die einem Ast auf der Südseite entstammten; Blatt 5, an der Astbasis inseriert, war jedoch ebenfalls beschattet, während Blatt 4 allerdings von direktem Sonnenlicht getroffen werden konnte. Wir hatten uns die Aufgabe gestellt, einige Gewebe eines Blattes, sowie die gleichen Gewebe verschieden hoch inserierter Blätter miteinander und mit den absorbierenden Wurzelteilen zu vergleichen. Um dies tun zu können mußte auch die Saugkraft ein und desselben Gewebes an verschiedenen Stellen desselben Blattes und ebenso die Saugkraft benachbarter Blätter bestimmt werden. An demselben Blatt maßen wir Spitze und Basis, weil hier die größten Differenzen zu vermuten waren. Da im Laufe des Tages periodische Schwankungen zu erwarten sind, da ferner plötzliche Witterungswechsel die Saugkraft bedeutend beeinflussen dürften, müssen zwei Messungen um so eher vergleichbar sein, je weniger sie zeitlich differieren. Handelte es sich z. B. darum die Palisaden in 1 m u.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: 34

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred

Artikel/Article: Zur Methode der Saugkraftmessung. 525-539