

52. M. Westermaier: Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchym's.

Eingegangen am 6. October 1883.

I.

Endosmotische Saugung.

Schon mehrfach und neuerdings durch Zimmermann's Kritik der Böhm-Hartig'schen Gasdrucktheorie (Berichte der deutschen Botanischen Gesellschaft Heft 4 p. 183) ist jene Vorstellung als unhaltbar zurückgewiesen worden, der zu Folge das Wasser im Gefässsystem der Pflanzen durch Luftverdünnung im oberen Stammtheil auf eine Höhe von 300 Fuss und höher emporgeschafft werden soll. Zimmermann's Arbeit ergab insbesondere, dass es sich bei der Fortpflanzung der Saugung innerhalb der angenommenen Jamin'schen Kette allerhöchstens um eine Strecke von 10 *m* handeln könne. Dieser allergünstigste Fall setzt bei Tracheen eine Druckdifferenz von einer Atmosphäre zwischen Spitze und unterem Baumtheil voraus, bei geschlossenen Tracheiden eine ebenso grosse Differenz und hier noch ausserdem einen verschwindend kleinen Filtrationswiderstand der einzelnen Membran.

Schreitet man auf dem Wege vorwärts, welcher zur Erklärung der Wasserbewegung in die Spitzen der hohen und höchsten Bäume führt, so richtet sich naturgemäss unser Augenmerk auf ein anderes Gewebesystem, welches gleich dem todtten Gefässsystem ebenfalls ein integrirender Bestandtheil des Hadrom's ist, nämlich auf das System der lebenden Zellen des Holzes, auf die Holzparenchymzellen sammt den Markstrahlen. Es handelt sich also zunächst um die Leistungsfähigkeit der genannten Xylemelemente in Hinsicht auf die fragliche Wasserbewegung, und zwar lautet die Frage, ob die lebenden Zellen des Holzes für sich allein fähig sind, vermöge ihrer Wasser anziehenden Kraft (also auf dem Wege endosmotischer Saugung) Wasser auf die verlangte Höhe von 300—400 Fuss emporzuschaffen.

Dies wäre in der Weise denkbar, dass eine lebende Zelle (Holzparenchym- oder Markstrahlzelle) in dem obersten Theil eines Baumes, nachdem sie Wasser verloren hat, auf die nächst untere, anstossende, Wasser entziehend wirkt, letztere Zelle ebenso auf die nach unten folgende und so fort bis zum unteren Baumtheil. Daraus würde folgen, dass der Filtrationswiderstand der Membran nicht hinreicht, um die Aufwärtsbewegung des Wassers in den endosmotisch thätigen Zellen unterhalb der betreffenden Baumhöhe zu sistiren.

Die Maximalleistung der endosmotischen Saugung im isolirt gedachten Parenchym anzugeben, bin ich nun allerdings nicht in der Lage. Es ist dies eine Lücke in meinen Schlussfolgerungen. Doch ist dies vielleicht im Hinblick auf zwei bekannte Thatsachen nicht von principieller Bedeutung. Denn für's Erste ist das lebende Parenchym im Holz bekanntlich nicht durch isolirten Verlauf, sondern im Gegentheil durch seine vielfältige, durch Poren vermittelte Communication mit dem Gefässsystem characterisirt, und zweitens wissen wir, dass Parenchym im Zustand der Turgescenz Flüssigkeit in angrenzende todte Elemente hinein filtriren lässt. Es erscheint nun die Annahme gerechtfertigt, dass tiefer gelegene Parenchymzellen, wenn auch nicht immer, doch im Allgemeinen zu dieser Wasserausscheidung früher gelangen als beträchtlich höher liegende, und meiner Ansicht nach könnte man nun nicht mehr von einer Bewegung des Wassers einzig auf dem Wege der endosmotischen Saugung im Parenchym reden; wir hätten nämlich schon eine combinirte Thätigkeit des Parenchym- und des Gefässsystems vor uns. Weil also im Holz isolirte Parenchymstränge von grosser Länge unseres Wissens überhaupt fehlen, verliert die Frage, wie lang ein schlaffer Parenchymstrang sein darf, der bei eingetauchtem unterem Ende bis oben sich unter günstigen Verhältnissen turgescens zu saugen vermag, etwas an Bedeutung.

Die Kenntniss des Maximalleistung wäre trotzdem sehr erwünscht gewesen, doch muss ich mich damit begnügen, zu zeigen, dass eine derartige Saugung in einem isolirten Parenchymstrange auf eine gar nicht unbeträchtliche Entfernung hin erfolgen kann. Nachstehend theile ich die von mir hierüber angestellten Versuche mit.

Als Untersuchungsmaterial dienten Stränge aus Markgewebe von *Helianthus annuus*. An den unteren Stammtheilen ist im Sommer nur der peripherische Theil des Markes saftig, an den oberen das gesammte Markgewebe. Präparirt man einen solchen Markstrang vom Gefässbündelring frei, so ist der Parenchymstrang entweder schon durch Wasserverlust erschlafft oder wird an der Luft in einigen Stunden schlaff. Ein solcher erschlaffter Strang wird nun in einem Glascylinder von 9—10 cm Durchmesser im Lumen und 80—100 cm Höhe aufgehängt, mit seinem unteren Ende im Wasser eingetaucht, und ein bis mehrere Tage hängen gelassen. Um eine weitere Verdunstung herabzudrücken oder ganz zu verhindern, war der Cylinder durch eine mit Fett beschmierte Glasplatte bedeckt und die Innenseiten des Cylinders mit feuchtem Filtrirpapier ausgekleidet. Letzteres tauchte ebenfalls unten in's Wasser, so dass es immer feucht blieb.

Ein Strang, welcher vom Wasserspiegel, in den er tauchte, bis an sein oberes Ende 80 cm mass, wurde auf diese Weise bis oben steif, d. h. also turgescens. Dauer des Versuchs 36—48 Stunden. Bei einem anderen Versuch war das über dem Wasser befindliche Stück 57 cm

lang. Der Strang war noch nicht sehr schlaff beim Einhängen; in ca. 24 Stunden war das ganze 57 cm lange Stück turgescent ohne merkliche Abnahme der Steifheit nach oben

Manchmal beobachtet man, dass in einem schlaffen Parenchymstrang, der in solcher Weise mit seinem untersten Ende in Wasser taucht, eine Stelle oben steif wird, während tieferliegende Parthien noch schlaff sind. Dieses Verhalten gehört wohl zu jener Kategorie von Erscheinungen, welche Nägeli (Nägeli & Schwendener, Mikroskop p. 383) an Fettpflanzen und Kartoffeln constatirte, wenn dieselben der allmäligen Verdunstung ausgesetzt wurden. An der betreffenden Stelle haben die Parenchymzellen aus gewissen Gründen, vielleicht wegen höherer Concentration des endosmotisch wirksamen Stoffes, eine grössere wasseranziehende Kraft, die sich auf ihre nächste Umgebung erstreckt, und so kann es kommen, dass höher gelegene Partien eines Stranges sich aus tieferliegenden früher turgescent saugen, als diese letzteren dazu gelangen durch Schöpfen aus dem ihnen näher befindlichen Wasserreservoir.

Ich gehe nun dazu über, Folgerungen aus dem Gesagten zu ziehen und zu zeigen, wie unter Zugrundelegung der beschriebenen einfachen Thatsache von der Saugung im Parenchym der Gang der Wasserbewegung in die grössten Höhen hinauf construierbar ist, nämlich mit Hülfe der combinirten Thätigkeit der beiden Gewebesysteme, des todtten trachealen und des lebenden parenchymatischen Systems.

II.

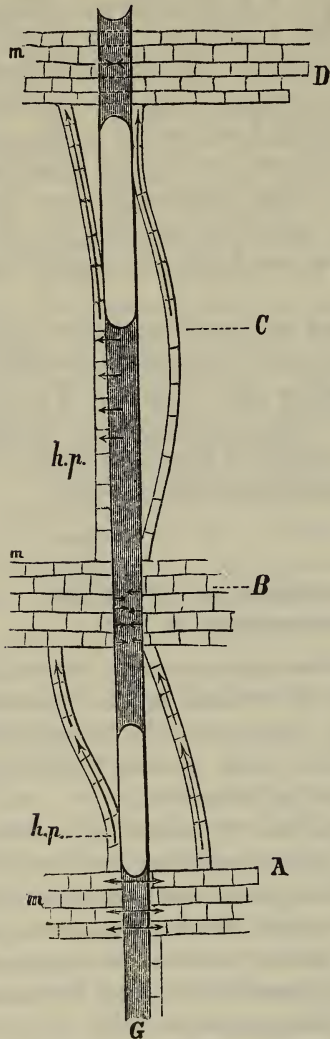
Theoretisches über die Rolle des Parenchyms und der Gefässe (incl. Tracheiden) bei der Wasserbewegung im Holz.

Eine befriedigende Lehre von der Wasserbewegung im Holz muss der Anatomie Rechnung tragen. Jeder Fortschritt in der Gewebephysiologie ist eine neue Bestätigung des Satzes, dass die Ergründung einer unbekanntenen Gewebefunction gerade durch genaue Berücksichtigung des anatomischen Baues wesentlich gefördert wird.

Es drängt sich nun bei der anatomischen Betrachtung der Holzstruktur dem Beobachter so zu sagen als anatomischer Grundzug die Thatsache auf, dass zwischen dem Gefässsystem einerseits und dem parenchymatischen System (Holzparenchym nebst Markstrahlen) andererseits nicht bloss ein vielfältiger Contact besteht, sondern, dass in diesen Berührungspunkten beider Systeme die Communication durch Poren erleichtert, bisweilen sogar in auffälliger Weise gefördert ist¹⁾.

1) Aus neuerer Zeit vergleiche man hierüber mehrere Arbeiten aus der Schwendener'schen Schule: J. Troschel, 1879, Untersuchungen über das Mestom etc., Paul Schulz, 1882, Das Markstrahlengewebe etc.; W. Krahe, 1883, Ueber die Vertheilung der parenchymatischen Elemente etc.

Die nun folgende Darstellung von der Wasserbewegung basirt einmal auf der Voraussetzung, dass es sich bei der Füllung des Gefässsystems eines Baumes während reichlicher Wasserzufuhr zum Wurzelsystem einzig und allein um das Problem handelt: Wiederherstellung der Jamin'schen Kette. Die einzelnen Wassersäulen in der Kette müssen sich zweitens selbst tragen, d. h. dürfen eine gewisse Länge — nach Zimmermann (Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd I, Heft 4



p. 184) etwa $\frac{1}{4}$ der capillaren Steighöhe — nicht überschreiten. Das Abwechseln von Luft- und Wassersäulen, also das Vorhandensein einer Jamin'schen Kette überhaupt, ist eine mehrfach beobachtete Thatsache. Untersuchungen über die Länge der vorkommenden Wassersäulen sind allerdings bis jetzt nicht angestellt. Wohl aber wissen wir a priori, dass Wassersäulen, welche die gedachte Länge überschreiten, mit dem Uebermass ihres Gewichtes die unterliegende Luftblase zusammenpressen, und dass Reihen solcher übermässig langer Wassersäulen auf grössere Entfernung nach unten hin die Luft comprimiren würden, und dass endlich, wenn sich, abwechselnd mit Luftblasen, lauter übergrosse Wassersäulen von der Basis bis in die Spitze eines Baumes erstrecken, beim Abschneiden des Stammes in einiger Entfernung von seiner Spitze Wasser mit einer gewissen Gewalt hervortreten müsste. Solche Erscheinungen aber, sowie überhaupt comprimirt Luft in den Gefässen gehören wohl nicht zu den gewöhnlichen Vorkommnissen.

An nebenstehender Figur soll nun der Gang des Wassersteigens erläutert werden.

Die Punkte *A*, *B*, *C*, *D* gehören über einander liegenden Niveaus an. Wir sehen ein Gefäss (*G*), Holzparenchym (*h. p.*) und Markstrahlen (*m*). *A* sei der Nullpunkt, von dem wir ausgehen. Es steht also das Wasser im Gefäss *G* im Niveau des Punktes *A*; auf dieser

Höhe wird es gehalten durch die endosmotisch wirksamen, Wasser ausscheidenden Parenchymzellen im Wurzelsystem und in dem unter *A* liegenden Stammtheil. Es ist aber gleichgültig für unsere Betrachtung, ob der Punkt *A* 10 *m* oder 1 *m* oder noch weniger hoch über dem Boden liegt.

Jedenfalls wird sich dasjenige Parenchym, welches dem Gefäßsystem im Niveau *A* angrenzt, aus diesem System schöpfend, nach und nach in den Zustand eines gewissen Wasserreichthums versetzen können.

In *B* und oberhalb *B* seien die Parenchymzellen etwas wasserarm geworden. Sie wirken saugend auf unterliegende wasserreichere Parenchymzellen des Holzes. Auf eine gewisse Entfernung wirkt, wie wir oben sahen, diese saugende Kraft; der Abstand zwischen *A* und *B* repräsentire diese Strecke. Durch diese Saugung innerhalb des Parenchyms können also auch Zellen im Niveau *B* allmählich zu höherem Wassergehalt und schliesslich in jenen Zustand gelangen, in welchem aus ihnen Wasser in das mit verdünnter Luft gefüllte Gefäßsystem hineinfiltrirt. Die ausgeschiedenen Wassertröpfchen lassen wir zu einer kleinen Wassersäule sich sammeln; diese Wassersäule wächst nun nach beiden Richtungen hin, nach unten und nach oben; wichtig ist, dass sie sich bis zu einer gewissen Länge selbst trägt, bis dahin also nicht den Wasserstand im Gefäßsystem bei *A* durch ihr Gewicht herabdrückt! Bevor aber die maximale Länge erreicht wird, ist es schon sicher ein höheres Niveau, nämlich *C*, bis zu welchem ein höherer Turgor der Parenchymzellen durch Schöpfen aus den Gefässen sich entwickelt. Jetzt kann sich wiederum die saugende Kraft des Parenchyms geltend machen. Wie vorhin abwärts von *B* nach *A* die endosmotische Saugung wirkte, so wird sie nun von *D* nach *C* sich erstrecken und zwar mit dem schliesslichen Erfolge eines höheren Wassergehaltes in *D*. Nachdem nun in *D* der hydrostatische Druck innerhalb der Parenchymzellen so hoch gestiegen ist, dass der Filtrationswiderstand der Membranen, welche Parenchym und Gefässe scheiden, überwunden wird, dann erfolgt in *D* wie vorhin in *B* Filtration in die mit verdünnter Luft gefüllten Gefässe hinein.

Wiederum betone ich, dass die entstehende und heranwachsende Wassersäule sich bis zu einer gewissen Länge selbst trägt. In dieser Weise gehe das Spiel fort.

Frägt man nach den wirklichen Abständen der Punkte *A*, *B*, *C*, *D*, so kann man die Distanzen *A—B* und *C—D* nach unseren obigen Erfahrungen auf 80 *cm* und wohl auch auf mehr veranschlagen. Die Länge der Wassersäulen aber, die sich selbst tragen, d. h. also durch Capillarität gehalten werden, würde nach Obigem bei einem Gefässdurchmesser von 100 Mik. 5 *cm*, bei 25 Mik. Durchmesser 20 *cm* betragen.

Zwei Kräfte sind hiernach im Spiel: die endosmotische Kraft und die Capillarität; bewegend wirkt aber nur eine einzige, die endosmotische Kraft und zwar theils durch Erzeugung eines hohen hydrostatischen Druckes, welcher eine Filtration in die Gefässe (Tracheiden) veranlasst, theils durch Saugung im Parenchym; die Capillarität wirkt bloss haltend, nicht bewegend. So ist mit Zuhülfenahme der zwei genannten Kräfte, welche in den beiden Gewebesystemen thätig sind, das Steigen des Wassers auf beliebige Höhen construierbar.

Hier findet ein Citat passenden Platz, welches ich dem „Mikroskop“ von Nägeli und Schwendener entnehme, und das sich nicht bloss im Allgemeinen auf vorliegende Frage bezieht, sondern ganz und gar auf das hier behandelte Problem der Wasserbewegung anwendbar ist.

Nachdem die Verfasser (S. 382) die in Betracht kommenden Kräfte erörtert, wobei allerdings die endosmotische Leistung lebender Zellen zu gering veranschlagt wurde, ziehen die beiden Forscher die Schlussfolgerung: „Es bleibt also nichts Anderes übrig, als dieselben (die bewegendes Kräfte nämlich) auf zahlreiche, nahe liegende Punkte zu vertheilen, und da kein Grund vorliegt, sie auf bestimmte Zellen im Gewebe zu concentriren, so erscheint es am natürlichsten, jede einzelne saftführende Zelle damit auszustatten.“

Nach obiger Darstellung trifft dies buchstäblich zu: Denn jede beliebige lebende Zelle im Holzkörper hat ohne Zweifel sowohl die Fähigkeit, zu saugen, nämlich Wasser aus einem anstossenden Gefäss oder aus einer benachbarten wasserreicheren lebenden Zelle an sich zu ziehen, als auch das Vermögen, Flüssigkeit in die Gefässe hinein filtriren zu lassen, und in diesen Fähigkeiten liegt die einzige bewegendes Kraft.

Eine mächtige Stütze der von mir vertretenen Auffassung von der Wasserbewegung liegt darin, dass sie mit den anatomischen Verhältnissen in Zusammenhang steht. Es ist, wie schon angedeutet, bei Erforschung der Funktionen eines Gewebesystems so zu sagen ein unfehlbares Prinzip, den anatomischen Sachverhalt stets vor Augen zu haben, und so wird es keineswegs überraschen, wenn uns auch hier, wie sonst, die physiologische Bedeutung aus dem anatomischen Bau entgegenleuchtet. Meines Erachtens lässt sich die Richtigkeit einer Theorie von der Funktion eines Gewebesystems mit grosser Sicherheit dadurch prüfen, dass man verlangt, die betreffende Lehre müsse über einen anatomischen Grundzug Licht verbreiten. Dieser Grundzug ist in unserem Falle die bekannte anatomische Wechselbeziehung zwischen Gefässen und Tracheiden einerseits, Holzparenchym und Markstrahlen andererseits.

Wenn ich noch versuche, meine Auffassung über den Vorgang des Wassersteigens gegenüber der „Imbibitionstheorie“, „Gasdrucktheorie“ bündig zu bezeichnen, so möchte die von mir vorhin geschilderte Be-

wegung als „Kletterbewegung“ zu charakterisiren sein. Um dies Bild zu rechtfertigen, diene Folgendes. Zum Klettern sind nothwendig bewegende Muskeln und feststehende Sprossen. Die bewegenden Kräfte liefern die lebenden Zellen des Holzes mit ihrer endosmotischen und Filtrations-Thätigkeit; die feststehenden Leitersprossen bietet die Capillarkraft, indem sie Wassersäulen bis zu einer gewissen Länge trägt, d. h. sie nicht auf ihre Unterlagen drücken lässt.

Weiteren Untersuchungen bleibt es vorbehalten, uns nebst Anderem auch über die Schnelligkeit dieser Wasserbewegung Kenntniss zu verschaffen, sei es auf mikroskopischem Wege, sei es mit Zuhülfenahme genauer Wägungen, wie sie von R. Hartig ausgeführt wurden. In wiefern bei dem besprochenen Aufbau der Jamin'schen Kette das Vorhandensein der ringförmigen und leiterförmigen Querwandreste in den Gefässen von Bedeutung sei, dieser Punkt mag hier nur angedeutet sein. Bei den Monocotylen, wo bekanntlich der Contact zwischen Holzparenchym und Gefässen zu einem continuirlichen sich gestaltet, dürften das eben erwähnte Verhältniss sowie die S. 373 besprochene Eigenthümlichkeit von besonderem Belang sein.

Die folgenden Zeilen beziehen sich auf die neueste Veröffentlichung Dufour's: „Ueber den Transpirationsstrom in Holzpflanzen“ (Würzburg 1883).

So lange die hohe Beweglichkeit des Imbibitionswassers in den verholzten Membranen weder als vorhanden sicher nachgewiesen, noch widerlegt ist, verstösst weder derjenige, der die Imbibitionstheorie annimmt, noch jener, welcher sie ignorirt, gegen erwiesene Thatsachen.

Dufour bezeichnet in seiner vorläufigen Mittheilung das in den Hohlräumen (der Gefässe und Tracheiden) des Holzes vorhandene Wasser als „Vorrath“ für die Fälle einer gesteigerten Verdunstung und Fortführung in den Zellwänden. Wie dieser Vorrath in die Gefässlumina der Krone gelangt, diese Frage lässt der Autor ausdrücklich offen. Hier in meinem Aufsatz ist gerade von diesen Wasservorräthen, resp. von ihrem Emporsteigen die Rede. Für den auf dem Standpunkt der Imbibitionstheorie Stehenden ist dies eine für sich bestehende Frage von geringerer Bedeutung — denn für ihn sind die Wasservorräthe im Lumen nicht absolut nothwendig —; von prinzipieller Bedeutung aber ist diese Frage für denjenigen, welcher den nicht erwiesenen Imbibitionsstrom negirt und in dem Aufsteigen der „Vorräthe“ zugleich den hauptsächlichsten Vorgang bei der Wasserbewegung erblickt. Dies im Allgemeinen.

Im Besonderen bemerke ich Folgendes.

Dufour's erstes Experiment bestand darin, dass er einen Ast (z. B. von *Salix alba*) mit aller Schärfe einknickte und in dieser Lage festband; der Gipfel blieb Monate lang vollkommen frisch. Es konnte andererseits durch das abgeschnittene Stück, welches die Knickungs-

stelle enthielt, bei einem Druck von 85 cm Quecksilber kein Wasser durchgepresst werden. Ferner brachte der genannte Verfasser an den entgegengesetzten Seiten eines Astes (bei verschiedenen Holzpflanzen) nahe über einander zwei tiefe Einkerbungen an, welche die mittlere Axe sogar etwas überschritten. Solche Zweige blieben lange Zeit lebend, und wiederum wurden die betreffenden Stücke mit den Einkerbungen in geeigneter Weise auf ihre Permeabilität geprüft und in mehreren Fällen sogar als absolut impermeabel befunden. Aus beiderlei Experimenten schliesst dann der Vertheidiger der Imbibitionstheorie, dass das Transpirationswasser im Innern des Membranengerüsts im imbibirten Zustande emporsteige.

Den beiden Versuchen Dufour's mangelt die Beweiskraft in den Augen derer, welche auf anatomische Verhältnisse Gewicht zu legen gewohnt sind. Wer die Anatomie beachtet, — eine unerlässliche Forderung für den Gewebephysiologen —, zieht in Betracht, dass das parenchymatische Gewebe im Holzkörper ein in radialen Platten (Markstrahlen) und in mehr oder weniger longitudinalen und besonders auch in tangential schiefen Strängen (Holzparenchym) verlaufendes System ist. Es ist also einleuchtend, dass über einander stehende opponirte Einkerbungen, welche sogar die Axe überschreiten, die Continuität dieses Systems nicht unterbrechen. Der Knickungsversuch Dufour's aber lässt uns ebenfalls darüber zweifelhaft, ob an der Einknickungsstelle in der betreffenden Querschnittsfläche der Contact der lebenden Zellen des Xylems oberhalb der Knickung mit denen unterhalb dieser Stelle vollkommen zerstört ist.

III.

Hydrostatischer Druck und endosmotische Kraft in Zellen mit schwach concentrirtem Zellsaft.

Wie bekannt, besitzen wir von Pfeffer, H. de Vries, N. I. C. Müller, Ambronn Versuche, welche, ganz allgemein gesprochen, auf hohe endosmotische Leistungen in den von ihnen untersuchten pflanzlichen Geweben schliessen lassen.

Pfeffer¹⁾ operirte mit reizbaren Organen (Staubfäden von *Cynara Scolymus*, Blattstielgelenk von *Mimosa pudica*, Bohnenblattgelenke). In den Zellen der Bohnengelenke beträgt nach der Berechnung dieses Forschers der hydrostatische Druck mindestens 7 Atmosphären, in den Zellen des Hauptblattstielgelenkes einer *Mimosa* über 5 Atmosphären. Nach Ambronn's²⁾ Untersuchung saftiger Gewebe junger Blattstiele und Internodien erreicht dieser Druck eine Höhe von ca. 10 Atmosphären.

1) Pflanzenphysiologie I, 54; ebenda die Resultate von de Vries und N. I. C. Müller.

2) Pringsheim's Jahrbücher XII.

Im Anschluss hieran versuchte ich nun auf experimentellem Wege zur Lösung nachstehender zwei Fragen beizutragen:

1. Wie hoch ist der hydrostatische Druck ausgewachsener lebender Zellen, deren Zellsaft eine so geringe Concentration besitzt, dass die Plasmolyse schon durch zwei-procentige Kalisalpeterlösung hervorgerufen werden kann?

2. Wie gross ist die endosmotische Kraft, welche Zellen mit so verdünnten Zellsaft zu entfalten vermögen?

Das von mir gewählte Untersuchungsobjekt war das epidermale Wassergewebe ausgebildeter *Peperomia*-Blätter (*Pep. latifolia*, *Pep. magnoliaefolia*). Die Zellen dieses Gewebes entsprechen der oben gestellten Bedingung in der That, indem das Zurückziehen des Primordialschlauches schon durch eine 2procentige Kalisalpeterlösung hervorgerufen wird. Dieser geringe Concentrationsgrad scheint gerade im epidermalen Gewebe weiter verbreitet zu sein; sehr schön ist die Plasmolyse durch 2procentige Kalisalpeterlösung in den rothen Zellen der Blattunterseite von *Tradescantia discolor* zu sehen.

H. de Vries hielt seiner Zeit schon eine 4–5 procentige Kalisalpeterlösung im Allgemeinen für die geringste Concentration, bei welcher der plasmolytische Vorgang einzutreten pflegt.

Die folgenden Bemerkungen beziehen sich nun im Allgemeinen auf den Versuch, welcher uns über die Höhe des hydrostatischen Druckes, in zweiter Linie aber auch über die Grösse der endosmotischen Kraft Aufschluss geben soll.

Eine geschlossene Blase (Schweinsblase) sei mit einer beliebigen Salzlösung gefüllt und liege in destillirtem Wasser. Die untergetauchte Blase werde nun allmählich mit immer grösserem Gewicht so lange belastet, bis schliesslich unmittelbar nach Wegnahme der Belastung deutliche Collabescenz-Erscheinungen an der Blase sich zeigen. Das Vorhandensein von Einfaltungen an der Blase beweist uns dann, dass der Druck der im Innern befindlichen Flüssigkeit auf die Innenfläche der Membran, d. h. also der hydrostatische Druck, jedenfalls kleiner ist als eine Atmosphäre. Vor dem Auflegen der Gewichte, und so lange während der anfänglichen Belastung die Erscheinung des Collapsus noch nicht eintrat, die Membran vielmehr ganz gespannt war, betrug derselbe mehr als eine Atmosphäre. Durch Steigerung der Belastung wird somit der hydrostatische Druck der Flüssigkeit, diese für sich allein betrachtet, allmählich vermindert, indem nämlich Flüssigkeit ausgepresst wird. Dasselbe Resultat, die Collabescenz, wäre natürlich auch zu erreichen durch Austrocknen an der Luft oder durch Einwirkung concentrirter Lösungen von aussen.

Uns kömmt es aber darauf an, jenes kleinste Gewicht kennen zu lernen, das eben im Stande ist, den hydrostatischen Druck unter eine Atmosphäre herabzumindern. Um dieses Gewicht in Atmosphären aus-

drücken zu können, hat man nur nöthig, den Druck zu bestimmen, welcher auf einen beliebigen Bruchtheil der Blasenoberfläche wirkt.

Giebt man zu diesem Behufe jener Blase die Gestalt eines cylindrischen Lampions, an welchem die Einfaltungslinien durch Ringe vor-gezeichnet sind, so ist dadurch nicht blos die Richtung des allmählichen Zusammenfallens regulirt, sondern es lässt sich eine auf die obere messbare Endfläche des Cylinders gleichmässig vertheilte Belastung in Atmosphären ausdrücken; man hat nur die Anzahl von Grammen, welche auf 1 $\square mm$ Fläche drücken, mit 10,3 zu dividiren. Von der gedrückten Fläche aus pflanzt sich der Druck in der Flüssigkeit im Innern der Blase nach allen Richtungen gleichmässig fort. Die Wahl einer lampionartigen cylindrischen Blase ermöglicht das Gleichbleiben der gedrückten Fläche.

Denkt man sich nun eine Anzahl cylindrischer Blasen oder Zellen mit einander seitlich fest verwachsen, so bewirkt auch bei einer solchen Zellgruppe ein auf die oberen Endflächen aufgelegtes hinlänglich grosses Gewicht ein Collabiren in einer Richtung, und eine derartige Beschwerung stellt, falls kein Auseinanderweichen der Zellen stattfindet, eine immer gleiche Belastung pro Flächeneinheit dar.

Im letzten Fall würde uns also bekannt, welcher Druck, in Atmosphären ausgedrückt, dem hydrostatischen Druck in den Zellen annähernd gleichkommt. Die Grösse des hydrostatischen Druckes liegt nämlich zwischen jenem kleinsten Gewicht, welches Collabescenz hervorruft, und dem grössten Gewicht, bei welchem noch kein Collapsus eintritt.

Gehen wir jedoch, fussend auf den Untersuchungen bekannter Autoren (Brücke, Pfeffer), um einen Schritt weiter.

Der osmotisch wirksame Stoff im Innern einer Blase, welche an Wasser grenzt, bewirkt einen Einstrom. Der steigende Druck der Membran auf die Flüssigkeit in der Blase erzeugt andererseits einen Ausstrom. Der Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrom ist angezeigt durch die maximale Druckhöhe in der geschlossenen Blase. Ist diese Druckhöhe erreicht, dann gehen momentan in der Zeiteinheit gleiche Flüssigkeitsmengen nach innen und nach aussen. Es ist dann, wenn wir die endosmotische Kraft, welche den Einstrom erzeugt, mit E , den hydrostatischen Druck mit H und die Widerstände, welche den beiden Strömen im Wege stehen, mit W und W_1 bezeichnen,

$$\frac{E}{W} = \frac{H}{W_1}$$

Sind W und W_1 ungleich gross, dann verschafft uns die experimentelle Bestimmung von H keine Kenntniss über die Grösse von E . Dies ist der Fall, wenn der im Innern der Blase befindliche gelöste Körper zu diosmiren vermag. Dann ist $W > W_1$; denn es wirkt der den Ausstrom erzeugende Druck auf den ganzen Querschnitt eines durch die

Interstitium dargestellten Kanals; der Einstrom hingegen hat seine Bahn nur in der Peripherie eines solchen Kanals, während die axile Mittelpartie der Hydrodiffusion dient. Ein Strom aber, welcher im gesammten Querschnitt eines (z. B. cylindrischen) Kanals sich bewegt, hat einen geringeren Reibungswiderstand zu überwinden, als ein anderer, der sich nur an der Wand des cylindrischen Kanals bewegen kann.

Die Grössen der Reibungswiderstände W und W_1 werden einander um so mehr gleich, je weniger Salz nach aussen passiren kann. W und W_1 sind endlich gleich gross, wenn kein Salz nach aussen zu diosmiren vermag. Denn in diesem Falle begegnen sich die beiden Ströme im gesammten Querschnitt der ausserordentlich engen Kanälchen. Eine Hydrodiffusion kommt dann überhaupt nicht zu Stande.

Es ist nun klar: Wenn es gelingt, bei gleicher Grösse von W und W_1 die Höhe des hydrostatischen Druckes H in Atmosphären zu bestimmen, dann ist aus H auf die Grösse von E direkt zu schliessen.

Denn wenn $\frac{E}{W} = \frac{H}{W_1}$ und $W = W_1$, dann ist $E = H$.

Die Annahme der Gleichheit von W und W_1 halte ich für zulässig unter Hinweis auf Pifferrer's Versuch (Osmotische Untersuchungen, S. 159). Ein sorgfältig gewaschenes Stück einer zuckerreichen rothen Rübe lag hierbei während 6 Stunden in 100 *ccm* Wasser. Letzteres ergab, mit Fehling'scher Lösung geprüft, keine Spur von Zuckerreaktion.

Unter der Voraussetzung also, dass die Gleichheit von W und W_1 angenommen werden darf, giebt ein auf obige Weise angestellter Pressungs-Versuch zugleich Aufschluss über die Grösse von H und von E .

Die mit mächtigem Wassergewebe versehenen Blätter von *Peperomia latifolia* und *magnoliaefolia* waren, wie schon gesagt, mein Versuchsobjekt. Die Zellen dieses Gewebes besitzen bei reichlicher Wasserversorgung gespannte Membranen; dagegen sind sie nach erlittenem Wasserverlust auf den Radialwänden mit Falten versehen, also collabirt. Solche Blattstücke mit collabirten Zellen saugen sich beim Einlegen in Wasser wieder voll.

Kreisförmige Scheibchen dieser Blätter (etwa von 6 *mm* Durchmesser) wurden im wassererfüllten (turgescen) Zustand allmählich stärker belastet und dabei immer mit Wasser umgeben gehalten. Schliesslich war jenes Gewicht erreicht, nach dessen Wegnahme Collapsus der Wassergewebezellen deutlich beobachtet werden konnte.

Etwas geringere Belastung in einem anderen Versuch erzeugte noch keine Collabescenz. Das aufgelegte Gewicht sowohl als die Kreisfläche des Scheibchens waren bekannt, und somit war auch der wirksame Druck in Atmosphären auszudrücken.

Eine Scheibe von 6 *mm* Durchmesser war ungefähr 12 Stunden mit ca. 870 *g* belastet, und es zeigten die Zellen nach Wegnahme der

Gewichte und bei sofortiger mikroskopischer Untersuchung keine Col-labescenz; somit betrug der Druck etwas über 3 Atmosphären. 4 At-mosphären erzeugten in einem anderen Fall in etwa gleicher Zeit Col-lapsus. Ein anderes Scheibchen zeigte schon bei 3 Atmosphären schwach beginnende Collabescenzerscheinungen.

Zwischen 3 und 4 Atmosphären liegt also nach meinen Versuchen die Höhe des hydrostatischen Druckes in den besagten Zellen.

Die Methode der Belastung suchte ich allmählich zu vervollkomm-nen. Schliesslich operirte ich mit einer Waage, die nach dem Prinzip der Brückenwaagen konstruirt ist. Die Schalen bewegen sich senkrecht nach unten und ruhen auf metallenen Leisten; eine solche Leiste en-digt unter der Waagschale am äusseren Rande der Waage. Wird im Gleichgewichtszustand der Waage ein Gewebescheibchen, bedeckt mit einer kleinen Glasplatte und ruhend auf einem Objektträger, unter das Ende dieser Leiste geschoben, so dass die Waagschale nur ganz leicht auf dem Scheibchen aufruft, und werden nun Gewichte auf die Schale gelegt, so erzeugt man einen gleichmässigen vertikalen Druck auf das (von Wasser umgebene) Scheibchen. Die Zellen dürfen nicht zum Platzen, sondern sollen nur zum Collabiren gebracht werden. Das Auflegen der Gewichte muss daher vorsichtig erfolgen.

Zerlegen wir noch die Vorgänge bei unserem einfachen Versuche mit den *Peperomia*-Blättern, so werden wir zu dem Schluss gelangen: Jenes grösste Gewicht, das in mehreren Stunden noch keinen Collapsus verursachte, giebt uns nicht allenfalls bloss die Grösse des Filtrations-widerstandes des lebenden Primordialschlauches, sondern den hydro-statischen Druck H und unter der Voraussetzung, dass von dem dios-motisch wirksamen Stoff durch den Primordialschlauch Nichts passirt, auch die Grösse der endosmotischen Kraft (E).

Denkt man sich nämlich die Zellen des Wassergewebes ohne Be-lastung in Wasser liegend, so werden in jener Zeit, in welcher der höchste Turgor erreicht ist und also keine Volumenzunahme mehr statt-findet, Einstrom und Ausstrom einander das Gleichgewicht halten. Ist nun trotz mehrstündiger Pressung mit 1, 2, 3 Atmosphären nach Weg-nahme der Gewichte kein Collapsus zu beobachten, so ist daraus zu entnehmen, dass ungeachtet der momentanen Störung des Gleichgewichts-zustandes sofort nach Auflegen einer Last sich immer wieder das Gleich-gewicht zwischen Ein- und Ausstrom hergestellt hat. Obwohl also im obigen Versuch ein Druck von über 3 Atmosphären aus den Zellen Flüssigkeit herauszupressen suchte, verminderte sich doch das Volumen der Zellen nicht so, dass nach Wegnahme der Belastung Einfaltungen der Membranen da waren. Ein dem Ausstrom aequivalenter Einstrom machte sich eben trotz des Membrandruckes von etwas über 3 Atmo-sphären geltend; seine (des Einstroms) Triebkraft ist aber keine andere als die endosmotische; ihre Grösse ist in unserem Falle also auch etwas über 3 Atmosphären.

Es sei somit wie oben E die endosmotische Kraft in den Wassergewebezellen und H der hydrostatische Druck in denselben. W und W_1 seien die Widerstände, welche dem Ein- und Ausstrom entgegenstehen. W sei = W_1 , d. h. es gehe von dem diosmotisch wirksamen Körper während des Versuches durch den Primordialschlauch nach aussen. Dann ist der erste Gleichgewichtszustand gegeben durch

$$\frac{E}{W} = \frac{H}{W_1}$$

Durch Auflegen eines Gewichtes g tritt im ersten Moment eine Störung dieses Gleichgewichtszustandes ein; denn g addirt sich anfangs zu H . Wir haben also

$$\frac{E}{W} < \frac{H + g}{W_1}$$

Das durch g repräsentirte Übergewicht presst nun eine gewisse Menge Wasser aus der Zelle, so dass H kleiner wird, und zwar soll es zu h werden. Der Gleichgewichtszustand wird dann wieder hergestellt, und wir haben

$$\frac{E}{W} = \frac{h + g}{W_1}$$

Während allmählich mehr Gewichte aufgelegt werden, ohne dass bei Wegnahme derselben Collapsus zu beobachten ist, wird g immer grösser, h immer kleiner. Schliesslich ist g so gross, dass die Zellen collabiren; kurz vorher war der durch g repräsentirte Druck annähernd gleich dem hydrostatischen Druck H ; denn h ist in diesem Stadium fast 0 und $g + h = H$. —

Vor der Thatsache stehend, dass der hydrostatische Druck in unserm Falle etwas über 3 Atmosphären beträgt, und angesichts der daraus gezogenen Folgerung betreffs der Höhe der endosmotischen Kraft ist der Schluss naheliegend, dass die endosmotische Kraft in collabirten Zellen im vorliegenden Fall bei einem Druck von circa 3 Atmosphären die Membranen gerade zu strecken vermag. (Bei einer Blattflächengrösse von 6000 $\square mm$ könnte hiernach ein Gewicht von etwa 180 kg von einem einzigen Blatt auf eine kleine Höhe gehoben werden.)

Ich kann den vorstehenden Aufsatz nicht beschliessen, ohne dankbarst der Förderung zu gedenken, welche mir bei Abfassung desselben aus dem vielfachen Verkehr mit meinem hochverdienten Lehrer und Vorstand Herrn Professor Dr. Schwendener erwachsen ist.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Westermaier Max

Artikel/Article: [Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchym's. 371-383](#)