©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ueber

Saftbewegung bei den Pflanzen.

Von

PROF. DR. MATH. WRETSCHKO.

Vortrag, gehalten am 11. Februar 1867.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Hochgeehrte Versammlung!

Ich erlaube mir heute einen Gegenstand zu erörtern, mit dem sich viele ausgezeichnete Forscher der älteren, wie namentlich der neuesten Zeit eindringlich beschäftigt haben, und in dem wir in der That eine der schwierigsten, aber auch wichtigsten Seiten pflanzlichen Lebens näher kennen lernen sollen. Kaum waren zu Ende des 17. Jahrhunderts durch den Italiener Marcellus Malpighi und den Engländer Nehemias Grew die ersten gründlichen Untersuchungen über den inneren Bau der Pflanzen mit überraschendem Erfolge angestellt worden, war man auch mit der Beurtheilung der Function der aufgefundenen durch den Stamm sich hindurchziehenden, feinen Röhrchen (Gefässe) allzuschnell fertig; man erblickte in dieser Einrichtung eine Analogie mit den Blutgefässen höherer Thiere und wäre geneigt gewesen, einen den letzteren zukommenden Säfteumlauf auch den Pflanzen zuzuschreiben.

Meine Herren! Es ist wohl unmöglich, das vorliegende Thema innerhalb des engen Rahmens Eines Vortrages zu erschöpfen, daher kann ich mich im Folgenden nur mit dem aufsteigenden, rohen Pflanzensafte und mit den Ursachen der Bewegung desselben befassen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Der berühmte englische Forscher, Stefan Hales,*) der Begründer der wissenschaftlichen (experimentellen) Methode der Physiologie, war der erste, welcher, durch die Ansicht einer Saftcirculation nicht befriediget, mit anerkennenswerther Gründlichkeit — anerkennenswerth um so mehr, wenn man den damaligen niedrigen Stand der physiologischen Hilfswissenschaften: Physik und Chemie, vor Augen hat — auf den vorliegenden Gegenstand bezügliche Fragen im Wege des Experiments zu beantworten versuchte. Die allgemein bekannte Erscheinung des Thränens, wie sie nicht blos am Weinstocke, sondern an einer grossen Zahl von Pflanzen im Frühjahre sich einstellt, veranlasste ihn über die Gesetzmässigkeit dieses Phänomens Versuche anzustellen. Er durchschnitt zu diesem Zwecke den Stamm der Weinrebe und setzte auf die Fläche des mit den Wurzeln in Verbindung gebliebenen Stammtheiles wasserdicht längere und kürzere Glasröhren auf; da stieg nun der Saft mehr oder weniger hoch empor, in manchen Fällen sogar bis zu der überraschenden Höhe von 25 Fuss und noch darüber. Hales überzeugte sich, dass die Safthöhe zu verschiedenen Tageszeiten ungleich sei, und dass sie im Allgemeinen bedeutender bei Tage sei, als bei Nacht und am bedeutendsten zu derjenigen Tageszeit, wo die höchste Temperatur der Luft eintritt. Je wärmer der Tag war, um eine desto frühere

*) Statical essays 1731.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Stunde des Tages wurde das Maximum der Safthöhe erreicht, worauf die Periode des Fallens, d. i. des Einsaugens des Saftes durch den Stamm, eintrat. Dieses Sinken dauerte bis zum Abende, um sich später wieder in ein allmäliges Steigen zu verwandeln. Um einen bestimmten Ausdruck für die Grösse der Kraft, die den Saft emporhebt, zu gewinnen, setzte Hales auf die vorerwähnte Schnittfläche den kürzeren Schenkel einer zweimal gebogenen Glasröhre auf, und goss in den längeren Quecksilber. Die Grösse der Differenz zwischen dem Quecksilberstande im äusseren und mittleren Röhrenschenkel war das Maass für die zu einer bestimmten Zeit bestehende Druckkraft nach aufwärts. Die höchste, auf diese Weise unter günstigen Umständen erreichte Höhe der getragenen Quecksilbersäule hatte den namhaften Werth von $32\frac{1}{2}$ Zollen, d. i. einer Wassersäule von 36 Fuss $5\frac{1}{3}$ Zoll. In einer andern Reihe von Experimenten brachte Hales die Modification an, dass er solche doppelt gebogene Glasröhren (Manometer) an mehreren Aesten eines und desselben Individuums in verschiedener Höhe befestigte. In der höher angebrachten Röhre fiel der Saft, sobald tiefer eine zweite aufgesetzt wurde. Spätere Versuche, von anderen Forschern angestellt, verfolgten gleichfalls den Zweck der Bestimmung der Druckkraft in verschiedener Höhe; es sei hier nur unseres berühmten Physiologen Brücke*) gedacht,

*) Pogg. Ann. 63. 1844.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

welcher in seiner Abhandlung: „Ueber das Bluten des Rebstocks" in Bestätigung obiger Versuche zu präciseren Resultaten über die Differenz der Druckkraft in verschiedener Höhe zu gelangen suchte. Eine weitere Reihe von Versuchen wurde von Hales angestellt mit abgeschnittenen Aesten des Weinstocks, indem er die Schnittfläche derselben mit einer mit Wasser gefüllten Glasröhre in Verbindung brachte, welche unten in ein weiteres Gefäss mit Quecksilber eingetaucht war. Die Aeste sogen an der Schnittfläche Wasser ein, desto begieriger, je rascher die Verdunstung durch die grünen Theile, Knospen und Blätter stattfand.

Die erwähnten Versuchsreihen, welche genügen dürften, um zu zeigen, mit welch grosser Umsicht und Ueberlegung Hales die Frage behandelte, und welche von späteren Forschern (Mitscherlich, Meyen etc.) mit voller Bestätigung der Resultate wiederholt worden sind, führten diesen grössten Physiologen seines Jahrhunderts zu der Ansicht, dass die Pflanzensäfte in den sehr engen Röhrchen im Inneren des Holztheils durch Capillarität emporgehoben würden; die oben erwähnten Schwankungen in den gehobenen Massen des Saftes, meinte er, seien abhängig von der Feuchtigkeit und Wärme, so wie von der durch jene bedingten Transpiration der Pflanzen durch die Blätter.

Diese älteste theoretische Anschauung über das Saftsteigen konnte nicht lange unangefochten dastehen; einmal liess sich damit nicht in Einklang bringen, dass

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Saft am höchsten steigt zu einer Zeit, wenn noch keine Blätter vorhanden, während später, wenn letztere vollkommen entwickelt sind und eine viel intensivere Transpiration unterhalten, aus einer Querschnittfläche des Stammes oft kein Tropfen Saft ausfliesst; dann würde die Capillarität ja niemals vermögen, Flüssigkeit an der Schnittfläche zum Ausfluss zu bringen, oder über dieselbe zu heben.

Die Capillarität durch eine andere Kraft zu ersetzen, gelang es jedoch erst 100 Jahre später, welcher langsame Fortschritt zum Theile einen Erklärungsgrund darin findet, dass die Botaniker des 18. Jahrhunderts noch vielfach die Idee eines Säfteumlaufes begeisterte, und man sich keine ernstliche Mühe nahm, auf dem von Hales betretenen Wege weiter zu gehen. Nach vielfältigen Versuchen, welche die Entkräftung der Capillaritätstheorie zum Ziele hatten, gelangte nämlich der Franzose Dutrochet*) zu der Ansicht, dass die Aufnahme der Nahrungsflüssigkeit durch die Pflanzenwurzeln auf der Eigenschaft thierischer, wie vegetabilischer Häute beruhe, dünne Flüssigkeiten einzusaugen, wenn die von ihnen eingeschlossene Flüssigkeit consistenter sei. Füllt man das eine verschlossene Ende eines Darmes mit Milch und legt es ins Wasser, so zieht der Darm

*) L'Agent immediat du Mouvement vital devoilé dans sa nature et dans son mode d'action, chez les vegetaux et chez les animaux. A Paris 1826.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

so viel Wasser ein, dass er stark aufschwillt und an seinem obern Ende die Flüssigkeit ausfliesst. Aehnliches lässt sich wiederholen mit pflanzlichen Membranen, selbst wenn sie mehrschichtig sind, z. B. mit einer Hülse der *Colutea*. Dergleichen Versuche von Dutrochet wirkten zündend auf die physiologischen Forscher der ersten Decennien unseres Jahrhunderts, daher diese Vorgänge der Endosmose, d. i. des Eintretens, und der Exosmose, d. i. des Heraustretens einer Flüssigkeit, wie sie Dutrochet genannt, vielfach studirt wurden. Dabei ergab sich, dass die Erscheinung auf gegenseitiger Anziehung der in der trennenden Membran sich berührenden beiden Flüssigkeiten beruhe und daher Endo- und Exosmose gleichzeitig statthabe. Dutrochet selbst hat durch weitere Versuche bewiesen, dass diese Anziehung, welche den Austausch der Flüssigkeiten bewirkt und welche wir endosmotische Kraft nennen, von der materiellen Beschaffenheit der consistenteren Flüssigkeit und von der Dichte derselben abhängig sei. In ersterer Beziehung wäre hervorzuheben, dass nach ihm die grösste endosmotische Kraft das Eiweiss besitze; wenn man diese mit der Zahl 12 bezeichnet, so gebührt dem Zucker 11, dem Gummi 5·17 und der Gelatine 3. In zweiter Beziehung mag ein Beispiel von 3 Zuckerlösungen verschiedener Dichte das Nähere zeigen. Zur Messung der endosmotischen Kraft bediente sich

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dutrochet eines einfachen Apparates, welcher aus einem weiteren Gefässe mit Wasser gefüllt bestand und einer zweimal gebogenen Glasröhre, deren kürzerer Schenkel, unten durch eine Membran verschlossen und mit Lösung gefüllt, ins Wasser getaucht wurde, während man in den offenen, äusseren Quecksilber eingoss. Die Höhe der in Folge des Eintrittes des Wassers zur Lösung gehobenen Quecksilbersäule gab das Maass für obige Kraft. Bei einer Zuckerlösung von der Dichte 1·14 zeigte sich diese Quecksilbersäule nach 48 Stunden 45″ 9‴ hoch und die Dichte der Lösung alsdann = 1·11.

Solche Resultate wirken bestechend, man hielt sie für vollkommen ausreichend zur Erklärung der Bewegung des Pflanzensaftes, indem aus der Constitution eines pflanzlichen Organismus vorläufig keine Erscheinungen noch bekannt waren, welche die Möglichkeit dieser endosmotischen Wirkungen in der Pflanze selbst in ernsten Zweifel gesetzt hätten: an die Stelle der Capillaritäts-Theorie trat nun jene der Endosmose, die bis in die Mitte unseres Jahrhunderts allgemein festgehalten wurde und noch wird, und einen immer mehr erweiterten Ausbau erfuhr.

Dazu trugen anatomische Untersuchungen über den Bau des Stammes einerseits und die Erweiterung der Erfahrungen über das endosmotische Verhalten der Substanzen durch die Physiologen anderseits bei. Besonders wichtig sind mit Bezug auf die vorliegende

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Frage einige Versuche von W. Hofmeister*) und Th. Graham**). Ersterer fand, dass das endosmotische Verhalten des arabischen Gummi wesentlich ein anderes ist, als jenes von Kochsalz, Zucker . . ., die man bis dahin vorzugsweise geprüft hatte. Nimmt man eine permeable Membran, gleichviel ob thierischen oder pflanzlichen Ursprungs, zum Verschluss eines passenden Gefässes und bringt ins Innere desselben destillirtes Wasser, während als umgebende äussere Flüssigkeit eine Gummilösung fungirt, so stellt sich nur ein einseitiger Strom des reinen Wassers zur Lösung hin ein, ohne dass eine angebbare Menge Gummi in das Gefäss eingetreten wäre. Nennt man die Menge des Wassers, durch welche im endosmotischen Vorgange eine bestimmte Quantität von Gummi ersetzt wird, das endosmotische Aequivalent des letzteren, so muss man nach dem angegebenen Resultate sagen, dass dieses Aequivalent bei Gummi unbegrenzt sei. Th. Graham stellte analoge Versuche in einem grösseren Umfange an und gelangte zu dem Schlusse, dass die verschiedenen Substanzen hinsichtlich ihrer Diffusionsfähigkeit sich in zwei Classen theilen lassen. Die erste von ihnen enthält Stoffe, welche mit einer gewissen Kraft vom Lösungsmittel zurückgehalten

---

*) Ueber das Steigen des Saftes der Pflanzen. Berichte der kön. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1857; Flora 1862.

**) Flüssigkeitsdiffusion, angewandt auf Analyse von Thomas Graham. Compt. rend. LIII., auch Pogg. 1861.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

werden. Sie geben eine im Allgemeinen nicht schleimige, Geschmack erregende Lösung — diffusive Substanzen, Krystalloide. In die zweite Classe reihte er solche ein, welche den Charakter thierischer Gallerte an sich tragen. Sie werden nur mit geringer Kraft in Lösungen zurückgehalten, haben keine Neigung zum krystallisiren, erregen selten einen Geschmack und geben concentrirteren Lösungen eine schleimige Beschaffenheit — wenig diffusive Substanzen, Colloide. Hierher ist zu rechnen, ausser manchen anorganischen Verbindungen: Stärkemehl, Gummi, Dextrin, Gerbstoff, Eiweiss u. A.

Es handelt sich nun darum, zu zeigen, in wie weit diese eben gegebenen ausgedehnten Erfahrungen über Diffusion der Stoffe der Vorstellung, dass der Pflanzensaft durch endosmotische Kräfte eingesogen und gehoben werde, zu Hilfe kommen. Folgende Thatsache, welche gleichfalls Hofmeister constatirt hat, möge dies beleuchten. Aus dem fein geraspelten getrockneten Holze der Rebenwurzel lässt sich im Frühjahr die relativ grösste Menge fester Substanz extrahiren. Dieser Rückstand besteht nun zum grösseren Theile aus aufquellenden oder Colloidsubstanzen Dieser Eigenschaft zufolge müssen die Wurzelzellen, von verdünnten Lösungen des Bodens umgeben, eine ausserordentlich grosse Menge von Flüssigkeit begierig einsaugen und bis zum Strotzen damit gefüllt werden. Es ergibt sich daraus eine einsaugende Kraft, welche wir im Folgenden einfach Wurzelkraft nennen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

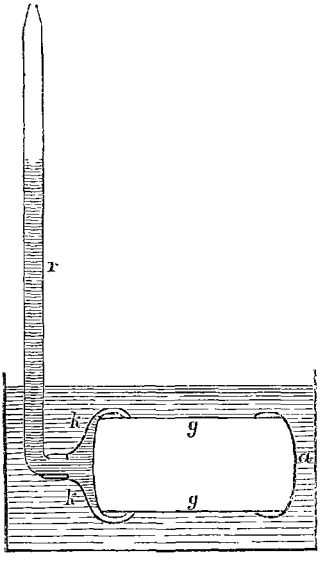
werden. Unter solchen Verhältnissen wird ein Theil der Flüssigkeit in den Zellen, auf welche die Wand der letzteren desto mehr drückt, je mehr sie gespannt wird — vorausgesetzt, dass sie nicht berstet — nach aussen ausgepresst oder durchfiltrirt werden müssen. Das Filtrat aber bleibt viel verdünnter, als der Inhalt dieser Zellen, ein Factum, welches an thierischen wie pflanzlichen Membranen durch Versuche*) constatirt worden ist. Wenn nun die äusseren Zellenlagen der Wurzelrinde die Ausschwitzung der eingesogenen Säfte nicht begünstigen, und das thun sie entschieden nicht, schon wegen der allmähligen Umwandlung ihrer Wände in die der Permeabilität hinderliche Korksubstanz, so wird nach und nach der Saft aus den inneren Rindenzellen in die Holzzellen übergeführt werden mit einem bestimmten, den einschlägigen Ursachen entsprechenden Auftrieb. Hofmeister bemühte sich, einen Apparat zu construiren, an dem möglichst die im Baue der Wurzel massgebenden Verhältnisse nachgeahmt und Messungen der Druckkräfte, welche die Wurzelkraft bilden, ermöglicht werden.

Derselbe wird durch die Figur I. dargestellt. Er besteht aus einem kurzen Glasrohr *g*, das an beiden Enden offen ist. An dem einen Ende *a* wird es durch eine Schweinsblase gut zugebunden, dann Zucker- oder Gummilösung in dasselbe eingefüllt und

*) Wilibald Schmidt Pogg. Ann. Bd. 99. — W. Hofmeister l. c.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

das andere Ende mit einer Membran übergebunden, die aus einer unlöslichen Colloidsubstanz besteht, wozu sich am besten ein durch Schwefelsäure metamorphosirtes Papier — vegetabilisches Pergament — eignet. Darüber wird eine Kautschukkappe gestülpt, die in ein Rohr ausgeht, in welches eine Glasröhre *r* eingefügt ist. Die ganze Vorrichtung bringt man in ein Gefäss mit Wasser, so dass nur die Röhre *r* hoch über dasselbe emporragt. Durch die Wand *a* zieht sich das Wasser allmälig zur Lösung hinein, die beiden Membranen werden immer stärker gespannt und endlich wird durch den Druck innerhalb dieser künstlichen Zelle, die eine aufsaugende Wurzelzelle vorstellen kann, ein Theil der Flüssigkeit in die Röhre *r* gepresst; diese letztere versinnlichet eine saftleitende Zelle der Wurzel. Der Versuch kann nur einen, höchstens zwei Tage dauern, weil dann die Scheidewand *a* zu faulen beginnt. Innerhalb dieser Zeit wurde durch die 700 □Mill. betragende Ober-



©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

fläche der Pergamentwand in die 5 Mill. weite Glasröhre eine Flüssigkeitssäule von 10—12 Cm. durchfiltrirt. Die auf diese Weise ausgeschiedene Flüssigkeit ist nach Hofmeister eine höchst verdünnte Lösung der Pflanzenstoffe in der Zelle.

Dass hier Wirkungen vorliegen, die mit den Erscheinungen des Saftsteigens im wesentlichen verglichen werden können, wird Niemand läugnen. Es bleibt aber die Frage noch unentschieden, ob eine allseitig befriedigende Erklärung des Phänomens der Saftbewegung von diesem Gesichtspunkte aus möglich ist.

Bevor wir darauf näher eingehen, meine Herren, sei es mir gestattet, jenen Weg näher zu bezeichnen, auf welchem die Pflanzensäfte bis an die Spitzen der Zweige und bis in die Blätter gelangen. Schon Hales und Du Hamel haben durch Versuche bis zur Evidenz nachgewiesen, dass das Holz das Organ der Leitung des Wasserstromes bilde. Schon mit freiem Auge sieht man an blutenden Zweigen, welche nach ihrer Organisation eine lebhaftere Wasserströmung ermöglichen, z. B. bei der Rebe, dass der Saft aus dem Holztheile ausströme. In dieser Ansicht wird man aber ganz besonders bestärkt durch das Resultat der Unterbrechung verschiedener Gewebe des Holzstammes. Wird Rinde und Mark an einer Stelle unterbrochen, hingegen der Holzkörper unversehrt belassen, so tritt keine Unterbrechung des Saftstromes ein, und die Pflanze vegetirt weiter. Durchsägt man aber in irgend einem Querschnitte den Holzkörper,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ohne Rinde und Mark desselben rings durchschnitten zu haben, so vertrocknen die Blätter, und der betreffende Axentheil stirbt ab. Von den zwei Elementen, welche den Holzkörper zusammensetzen, sind es die langen, dünnen, an beiden Enden spindelförmig zugespitzten Holzzellen selbst und nicht die Gefässe, denen die Saftleitung zukommt; die letzteren sind ja den grössten Theil des Jahres mit Luft und nicht mit Saft erfüllt. Durch die Holzzellen steigt demnach der rohe Pflanzensaft bis zu den Blättern empor.

Welche Kräfte heben ihn auf diesem Wege? Darüber wurde von den namhaftesten Botanikern in den letzten Jahren eifrig geforscht. Bei der Vielseitigkeit des Thema und der ungewöhnlichen Mannigfaltigkeit der hier zu berücksichtigenden Erscheinungen wird es uns nicht Wunder nehmen, dass man darüber noch zu keiner feststehenden Ueberzeugung gelangen konnte. Haben Hofmeister's, Graham's u. a. Versuche über den Vorgang der Saftaufnahme durch die Wurzeln viel Licht verbreitet, so ist durch sie nicht genügend erklärt, dass die Wurzelkraft ausreiche für die Fortbewegung der Nahrung bis zu jeder beliebigen Höhe einer Pflanze. Die im Anfange erörterten Phänomene des Thränens oder Blutens, wie sie sich an vielen Pflanzen vor der Entfaltung der Zweige und Blätter einstellen, so dass aus jeder in das Holz reichenden Wunde Saft ausströmt, lassen sich leicht aus einer durch die Wurzel aufgebrachten Druckkraft erklären. Allein nach der Entwicklung

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Blätter, wo gerade grosse Quantitäten Wassers an der Oberfläche derselben verdunsten und ein entsprechend grosser Ersatz von unten stattfinden müsste, beobachtet man an quer durchschnittenen Zweigen keinen Tropfen austretender Flüssigkeit.

Ja noch mehr. Prof. Unger*) hat durch eine Reihe von Versuchen theils an krautigen, theils an Holzgewächsen, indem er auf Stammstummeln Manometer anbrachte, gefunden, dass selbst bei mässigem Druck von 1' Wasserhöhe regelmässig begierig Wasser aufgenommen wird — ausser der Zeit der Blutung. Ebenso hat Hartig**) den Sommer über an Hainbuchen und Buchen in passender Weise einen Manometerapparat angebracht und beständig die Wirkung gesehen, dass das Wasser in dem mittleren Schenkel, wie durch eine schwache Saugkraft ein wenig emporgehoben werde, während sich im Frühjahre an gleichen Pflanzen während des Blutens Holzsaft in die Manometerröhre ergoss. Von der Endosmose im eigentlichen Sinne muss bei der Fortbewegung des Nahrungssaftes abgesehen werden, da sich solche auf Dichtigkeitsunterschiede zwischen den aufeinanderfolgenden Zellen basirt und fordert, dass die Säfte in der Höhe bedeutend concentrirter seien, als in der Nähe der

*) Studien zur Kenntniss des Saftlaufes in den Pflanzen. Sitzungsbericht d. kais. Akad. d. Wissensch. Jahrg. 1864.

**) Ueber Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. Bot. Ztg. 1861.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Wurzel. Dieser Forderung entspricht nun der factische Zustand nicht, wie aus folgender Untersuchung von Hartig hervorgehen mag. Hartig hat von mehreren Bäumen Gipfelsäfte und Wurzelsäfte gesammelt, abgedampft und den syrupartigen Rückstand bestimmt. Die Eiche zeigte in auffallender Weise im Gipfel eine viel geringere Concentration als im Wurzelsaft, alle andern, wie Buche, Linde, Birke u. a. besassen zwar einen dichteren Saft am Gipfel, aber der Unterschied bewegte sich zwischen 0·1 und 0·6 % des Saftgewichtes. Nimmt man als den durchschnittlichen Unterschied 0·5 % an und denkt sich ihn auf 50,000 über einander stehende Holzzellen eines etwa 150' hohen Baumes vertheilt, so beträgt die Differenz zwischen je zwei auf einander folgenden Zellen 1 Hunderttausendtel. Es ist aber bekannt, dass selbst bei einer Concentrationsdifferenz von 10 % und bedeutend grössere Aufsaugungsflächen vorausgesetzt, nicht jene rege Fortbewegung der Flüssigkeit eingeleitet werden könnte, um das durch eine lebhafte Verdunstung verlorene Wasser zu ersetzen.

Aus dem Vorhergehenden kann wenigstens Eine bestimmte Folgerung gezogen werden: Der durch Endosmose an der Wurzelspitze eingesogene Nahrungssaft wird weder durch Diffusion noch durch eine von der Wurzel aufgebrachte Druckkraft emporgehoben.

Einen neuen Impuls erhielt das Studium der in Rede stehenden Frage durch eine Abhandlung des

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

französischen Naturforschers Jamin*), der durch Mittheilung einiger für den ersten Augenblick ganz überraschender Resultate die Aufmerksamkeit der Mehrzahl der Pflanzenphysiologen abermals auf die Capillarität hinlenkte.

Jamin hat nämlich in einen Block von Kreide, Lithographirstein . . ., oder in poröse Cylinder aus gestampftem Zinkoxyd, Stärkemehl . . . ein geschlossenes Quecksilbermanometer mit dem offenen Ende eingekittet und dann diese porösen Körper unter Wasser getaucht. Das eintretende Wasser verdrängt zunächst aus den Poren die Luft, die theilweise in das Manometer entweicht und in Folge des andauernden Eindringens des Wassers derart nach und nach comprimirt wird, dass der Druck binnen einigen Tagen einige, bei gestampftem Stärkemehl bei 6 Atmosphären betragen kann! Mit einer ähnlichen Kraft, mit der hier das Wasser imbibirt wird, sollen nun auch in den Pflanzen die gelösten Stoffe aus einer Zellwand in die benachbarte emporsteigen, und so entweder in den Zellwänden selbst oder in den mit Capillarröhren verglichenen Holzzellen sich fortbewegen. Damit eine Reihe von über einander stehenden Holzzellen einer Capillarröhre gleiche, müsste zwischen ihnen eine Communication nachgewiesen werden. Daher entspann sich ein Streit darüber, ob die Prosenchym-

*) Compt. rend. L. 1860.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bündel aus offenen oder geschlossenen Zellen bestehen, an dessen Schlichtung sich Anatomen ersten Ranges betheiligten, wie Unger, Mohl, Hofmeister . . ., von denen sich einige dafür, andere dagegen erklärten. Ohne in das meritorische dieser Vorfrage weiter einzugehen, wollen wir im Folgenden an der Ansicht festhalten, dass die Prosenchymzellen wenigstens in den jüngeren Holzpartien, so weit sie eben Saftleitungsorgane vorstellen, geschlossen seien.

Die Anhänger der Capillaritätstheorie stützen sich auf einen schon von Mongolfier*) angestellten Versuch, dass man das Wasser beinahe zu einer unbestimmten Höhe selbst durch eine geringe Kraft heben könne, wenn man den Druck desselben durch fortgesetzte Theilungen in der Flüssigkeitssäule aufhebt. Diese Theilungen bestehen zwar auch bei einer Reihe über einander liegender, geschlossener und mit Wasser gefüllter Zellen, aber weil die Capillarität nur wirksam sein kann, wenn sie offen sind, so haben ihre Verfechter dies mit einem Versuche Jamin's in Verbindung gebracht, wo die Unterbrechungen in dem Wasserfaden durch Luftblasen vorgenommen werden. Jamin machte mit einer gläsernen Capillarröhre einen sehr interessanten Versuch. Saugt man nämlich an dem einen Ende derselben, indem man das andere abwechselnd mit dem nassen Finger

*) Meyen Physiologie II. Bd. 81.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schliesst und öffnet, so steigen abwechselnd Wassertropfen und Luftblasen empor. Das anfängliche rasche Emporsteigen derselben verlangsamt sich allmählig mit ihrer grösseren Zahl, bis man endlich durch weitere Saugung keine Bewegung derselben hervorzubringen vermag. Durch Vermehrung der Zahl der Tropfen brachte es Jamin dahin, dass dann selbst bei einem Luftdruck von drei Atmosphären, der an dem einen Ende des Rohres wirkte, durch 14 Tage lang keine Verschiebung eintrat. Die Adhäsion der getrennten Tropfen an der Glaswand ist demnach eine ausserordentlich bedeutende. Wendet man dieses Resultat auf die wirkliche Pflanze an und bedenkt, dass die Holzzellen selten ganz mit Saft, sondern theilweise mit Luft erfüllt sind, so lässt es sich begreifen, wie es komme, dass trotz der Höhe dieser Wassersäulen das Gewicht derselben auf die tieferen Gewebe nicht nachtheilig wirke: durch die Adhäsion wird das Gewicht eines jeden Wassertropfens aufgehoben. Eine ganz ungehemmte Fortrückung der Safttheilchen kann alsdann nur in den Zellwänden stattfinden, so dass die Capillarität allhier — Imbibitionsfähigkeit nach Sachs — ungestört das Nachrücken der Flüssigkeit zu den Blättern vermittle; eine Ansicht, zu der sich auch Prof. Unger bekennt.

Am entschiedensten und, wie mir vorkommt, mit glücklichem Erfolge trat der Capillaritäts-Hypothese, so wie jener der Endosmose, die heute allerdings weniger Anhänger zählt, ein jüngerer Wiener — Physiolog,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dr. J. Böhm*) entgegen. Seine entscheidenden Controlversuche sind zunächst folgende: 1. Wenn das Saftsteigen, so dachte er, eine Wirkung der Diffusion, bedingt durch eine grössere Concentration in den obersten Zellen sei, so müssen die oberflächlichen Zellen der Blätter bei jedem Feuchtigkeitszustande der darüber befindlichen Luft, also auch im absolut feuchten Raume, Wasser an die Umgebung abgeben, eine Meinung, welche bisher von den Physiologen für Wahrheit gehalten wurde. Böhm's Versuche bestätigen die diesbezüglichen bisherigen Angaben nicht; er kam vielmehr durch Experimente, welche mit der allergrössten Genauigkeit ausgeführt wurden, zu dem unzweifelhaften Resultate, dass Pflanzen im absolut feuchten Raume nicht verdunsten. Durch den Nachweis dieser Thatsache tritt offenbar ein viel innigerer, ursächlicher Zusammenhang zwischen dem Saftsteigen und der Transpiration hervor, so wie zwischen letzterer und der Feuchtigkeit der Luft. 2. Sollte in der That, nach Hofmeister's Ansicht, von der Wurzel eine hebende Kraft aufgebracht werden, so müsste, schloss Böhm weiter, der ungeänderte Sachverhalt erhalten bleiben, wenn man diese

*) a. Ueber die Ursache d. Saftsteigens in d. Pflanzen Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. Bd. 48. 1863.

b. Wird das Saftsteigen in den Pflanzen durch Diffusion, Capillarität oder den Luftdruck bewirkt? Ebendaselbst. 1864. Bd. 50.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

erwähnten Druckkräfte durch den Druck einer Quecksilbersäule von verschiedener Höhe ersetzen oder unterstützen würde. Mittelst eines passenden Manometers liess er zu diesem Zwecke auf bewurzelte wie nicht bewurzelte Weidenzweige von unten einen verschiedenen Quecksilberdruck ausüben, es zeigte sich dabei, dass diese Zweige selbst unter einem grossen Druck nicht mehr transspirirten als unter normalen Verhältnissen, die Pflanzen hörten nach Verbrauch der Reservestoffe auf zu wachsen und gingen zu Grunde. 3. Mit Recht griff ferner Dr. Böhm die Tragweite und Bedeutung der Jamin'schen Versuche an, indem in seinen sogenannten Aequivalenten für die lebende Pflanze durchaus nicht die gleichen Factoren thätig sind, welche die Erscheinungen im lebenden Pflanzenorganismus hervorrufen, daher die Uebertragung der Resultate an porösen Körpern auf die Pflanze selbst bei weitem nicht eine selbstverständliche Berechtigung hat. Es ist unzweifelhaft, dass ein trockener Zweig viel eher der lebenden Pflanze gleicht als ein poröser, aus anorganischen Substanzen angefertigter Cylinder. In solchen Zweigen steigt aber das Wasser selbst nach Monaten nicht höher als 6″ über den Wasserspiegel, weder in den Zellhöhlen also, noch durch Imbibition in den Zellwänden. Lufttrockene Weidenzweige, welche vermittelst eines geeigneten Injections-Apparates mit Wasser imprägnirt und dann ins Wasser gestellt werden, sollten fortan mit Flüssigkeit getränkt bleiben,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wenn eine Wirkung der Capillarität dabei vorhanden ist; das Resultat jedoch besteht darin, dass diese Zweige dem Luftzuge ausgesetzt, alsbald vertrocknen, und zwar von oben nach unten bis 6 Zoll über dem Wasserspiegel. Man kann gegenüber solchen Thatsachen den Zellwänden oder Zellhöhlen durchaus nicht solche Eigenschaften beimessen, wie sie die porösen Substanzen von Jamin besitzen. Auch theoretische Betrachtungen mit Rücksicht auf den factischen Bau der Zellwand und der Pflanze zeigen, dass die Capillarität in den Zellhöhlen oder Zellwänden beim Saftsteigen aus dem Spiele trete. Diese können wir leider hier nicht weiter verfolgen. — Theils durch Raisonnements, theils durch vielfache Experimente gelangte Böhm zu der festen Ueberzeugung, dass weder die Diffusion noch die Capillarität den Nahrungssaft der Pflanze in die Höhe treibe.

Durch den Zusammenhang der Transpiration mit dem Feuchtigkeitsgrade der Luft wurde ihm die Vorstellung nahe gelegt, dass der ganze Process eine Folge des einseitigen Luftdruckes, eine Saugung sei. Zur Erläuterung dieser Anschauung diene zunächst Folgendes: Man denke sich eine Blase mit elastischer Wand, sie sei mit Wasser gefüllt und stehe etwa durch eine Reihe von Zellen oder eine Röhre mit Wasser in Verbindung, ihre äussere Oberfläche aber werde der Luft ausgesetzt, folglich der Verdunstung unterworfen. Durch den Verlust eines Theiles

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

des flüssigen Inhalts an die Atmosphäre muss im Innern ein kleiner leerer Raum entstehen, wenn die Elasticität der Blasenwand dem Gegendrucke der äusseren Luft einen Augenblick zu widerstehen vermag. Durch den von unten und den Seiten an die Zellenreihe ausgeübten Druck wird augenblicklich Wasser nachgepumpt und so die Blase sich wieder anfüllen. Statt der Blase setzen wir nun eine verdunstende Zelle der Blattoberfläche und statt der unbestimmten Zellenreihe ein Bündel von Holzzellen, von lufthältigen Spiralgefässen umgeben, bis an die Wurzel hinunter, welche von verdünnter Nahrungsflüssigkeit umspült wird und unter dem äusseren Luftdrucke steht, so bekommen wir den factischen Zustand der Pflanze.

Es ist nun unsere Aufgabe, durch beweisende Versuche die Richtigkeit oder Haltlosigkeit dieser Vorstellung ans Licht zu stellen. Ich werde mir erlauben, meine Herren, von den vielen scharfsinnigen Experimenten des Dr. Böhm nur die eclatantesten hier in Kürze zu besprechen.

Es ist unzweifelhaft, dass, wenn das Saftsteigen wirklich ein Saugungsprocess ist, dasselbe in irgendwie luftleer gemachten Pflanzen in einem luftleeren Raume sistirt werden müsste. Da aber in einem solchen Falle die Pflanzen möglicherweise zu Grunde gehen aus Mangel an Sauerstoff, der gleichzeitig durch die Luftverdünnung eintritt, so begegnete Böhm diesem Einwande dadurch, dass er vorher das Ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

halten der Pflanzen in einer Sauerstoff freien Luft prüfte und zwar in trockenem Stickgas, welches bekanntlich keine Lebensfunction begünstiget. Nachdem 14 Tage lang drei Pflanzen so behandelt und der Versuch abgebrochen wurde, wuchsen zwei von diesen Pflanzen in freie Luft zurückversetzt, wieder weiter. Der Mangel an Sauerstoff ist es also nicht, der im luftverdünnten Raume das Emporsteigen des Nahrungssaftes verhindert, das können mit Rücksicht auf den vorstehenden Versuch weder die Anhänger der Diffusion, noch jene der Capillarität behaupten. Es wurden nun in eigens zu diesem Zwecke construirten grossen Recipienten mehr als 100 Pflanzen von *Salix fragilis*, welche in Flaschen aus 2—3jährigen Zweigen gezogen worden sind, in einen luftverdünnten Raum gebracht, von Zeit zu Zeit ward das Auspumpen wiederholt, so dass der Quecksilberdruck 8—10 Mill. betrug. Nach zwei bis drei Tagen waren die Blätter aller dieser Pflanzen vertrocknet. Dass die Pflanzen selbst unter diesen Verhältnissen noch ziemlich Wasserdunst vor dem Vertrocknen abgaben und nicht schon früher als nach ein paar Tagen zu Grunde gehen, kann nicht zu Gunsten der Diffusions- oder Capillaritäts-Hypothese gedeutet werden, sondern diese Erscheinung erklärt sich nach Böhm's begründeter Meinung dadurch, dass der Luftdruck einer in einen luftleeren Raum versetzten Pflanze innerhalb desselben Anfangs ein ganz anderer als der durch die Barometerprobe angegebene ist; nach und nach ent-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

weicht erst die Luft aus den Intercellularräumen und Spiralgefässen und tritt ein Gleichgewichtszustand mit der Luft innerhalb des Recipienten ein.

Im luftverdünnten, trockenen Raume muss sohin das Saftsteigen so lange dauern, als die besagte Differenz im Luftdrucke noch eine Saugkraft liefert. Es liegt der Gedanke nahe, dass die Pflanzen unter den obigen Umständen länger erhalten werden müssten, wenn man im Stande wäre, die Ausgleichung dieser Differenz hintanzuhalten, wenn man also den Luftdruck im Innern der Pflanze länger als bei den erwähnten Versuchen in einer für das Saftsteigen nothwendigen Grösse erhalten könnte. Böhm machte zu diesem Zwecke mehrere Versuchsreihen, deren hervortretendste hier besprochen werden mag. In die zweite Bohrung des Kautschuks, der die zur Hälfte mit Wasser gefüllten Flaschen mit den Pflanzen luftdicht schloss, führte er eine Röhre ein, die ebenfalls luftdicht durch den Luftpumpenteller herausging und mit einem Gasometer in Verbindung gebracht wurde. Diese Leitung ging von drei innerhalb des Recipienten befindlichen Flaschen aus derart, dass in den Flaschenraum über dem Wasser in einem Falle atmosphärische Luft, in dem zweiten Sauerstoff und zur dritten Flasche Stickstoff zugelassen wurde. Das Auspumpen wurde so oft wiederholt, dass der Luftdruck im Recipienten die Grösse von 24 Mill. nie übertraf. Das höchst merkwürdige Resultat, welches dieser complicirte Versuch lieferte, war, dass die zwei Pflanzen, zu denen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

atmosphärische Luft und Sauerstoff geleitet wurden, noch nach 14 Tagen frisch und unversehrt waren, worauf der Versuch abgebrochen werden musste!

Mit Rücksicht auf diese sinnreichen Versuche, die zu glücklichen Resultaten führten, wird die Behauptung wohl am Platze sein, dass die Frage nach der Ursache des Saftsteigens durch sie in eine neue Phase getreten und ihrer Lösung näher gerückt worden ist. —

Meine Herren! Damit die Fähigkeiten und Gedanken der Forscher bei der schwierigen Entwirrung von Erscheinungen, welche wie die Lebensvorgänge überhaupt, das Product vieler, in der Tragweite ihrer Wirkungen oft schwer erkennbarer Factoren vorstellen, in praktische, fruchtbringende Thätigkeit umgesetzt werden, bedarf es neben rastloser Mühe oft grösserer materieller Mittel, als sie den Einzelnen zu Gebote stehen. Hoffen wir, dass Oesterreich in richtiger Erkenntniss der Forderungen unserer Zeit und insbesondere der Bedeutung der Naturwissenschaft in der Gründung und Dotirung physiologischer Institute hinter andern Ländern nicht zurückbleiben werde!

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1868

Band/Volume: 7

Autor(en)/Author(s): Wretschko Matthias

Artikel/Article: Ueber Saftbewegung bei den Pflanzen. 221-247