Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wird das Saftsteigen in den Pflanzen durch Diffusion, Capillarität oder durch den Luftdruck bewirkt?

Von **Joseph Boehm.**

(Mit 1 zinkographirten Tafel.)

Der Fortschritt hängt in keiner Erfahrungswissenschaft mehr von dem der Hilfswissenschaften ab, als der Fortschritt in der Physiologie von dem in der Chemie und Physik, da ja die Physiologie nichts anderes ist, als die Physik und Chemie der Organismen. Die meisten Lebenserscheinungen werden daher je nach dem verschiedenen Stande der Physik und Chemie verschieden erklärt. Ein schlagendes Beispiel hierfür liefert der Vorgang des Saftsteigens in den Pflanzen.

Es ist eine in der Physik schon längst bekannte Thatsache, dass Flüssigkeiten in engen Röhren, an deren Wänden sie adhäriren, je nach der Weite der Röhren verschieden hoch aufsteigen und wir wissen nun, dass bei sonst gleichen Umständen sich diese Höhen umgekehrt verhalten wie die Durchmesser dieser Capillarröhrchen. — Kaum hatten Malpighi und Grew gefunden, dass in dem Pflanzenkörper enge Röhrchen in grosser Menge vorhanden sind, so war man auch mit der Erklärung des Saftsteigens fertig, ohne sich weiter um den factischen Inhalt der Spiralgefässe selbst dort, wo sie wirklich vorhanden sind, weiter zu kümmern.

Als Dutrochet die Erscheinungen der sogenannten Endosmose und Exosmose (Membrandiffusion, Diosmose, Osmose) entdeckt hatte, trat auch die Erklärung des Saftsteigens in ein neues Stadium. Es wurde nun kurzweg angenommen, dass die Verschiedenheit der Concentrationszustände des flüssigen Zellinhaltes in den oberen und unteren Pflanzentheilen das Saftsteigen bewirke. Ohne auch nur einen Versuch gemacht zu haben, stellte man sich vor, dass die Säfte in den oberen Pflanzentheilen concentrirter seien, als

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

in den unteren, und dass diese grössere Concentration durch die stetige Verdunstung bewirkt werde.

Diese, noch jetzt von den meisten Menschen, welche sich überhaupt eine Vorstellung von der Ernährung der Pflanzen machen, getheilte Ansicht erweiset sich jedoch als völlig unhaltbar, denn:

1. sind, wie directe Versuche zeigten, die Säfte in den oberen Pflanzentheilen diluirter als in den unteren, oder es ist ihre Concentrationsdifferenz doch eine so geringe, dass sich daraus ein Effect, wie der des Emporhebens des Wassers in die Baumwipfel, nicht ableiten lässt;

2. besässen die Säfte der obersten Zellen eine Concentration, geeignet um durch Diosmose das Saftsteigen zu bewirken, so müssten die Pflanzen auch im absolut feuchten Raume durch die Blätter Wasser abgeben, was jedoch, wie ich zeigte [1]), nicht der Fall ist, oder es müssten die betreffenden Zellen zerreissen, was ebenfalls nicht geschieht.

Hinsichtlich des letzten Punktes könnte man vielleicht Folgendes einwenden: Wenn sich die Pflanze längere Zeit im absolut feuchten Raume befindet, so müsse sich offenbar die Concentrationsdifferenz der Säfte in den oberen und unteren Zellen ausgleichen. Werde die Pflanze sodann an die freie Luft gestellt, so würden durch die nun eintretende Verdunstung die Säfte in den oberen Zellen wieder concentrirter und so neuerdings zur Einleitung eines Diffusionsstromes befähiget.

Es ist einerseits eine nun endgiltig entschiedene Thatsache, dass die Menge des von den Pflanzen transpirirten Wassers ausnahmslos durch den jeweiligen Feuchtigkeitsgrad der umgebenden Luft bedingt wird, so wie es andererseits eine durch nichts gerechtfertigte Hypothese ist, dass die Concentration des Zellsaftes mit der Verdunstung, daher auch mit der Menge des zu hebenden Wassers gleichen Schritt halte, ja diese Annahme ist sogar höchst widersinnig. Stark belaubte Pflanzen transspiriren unter günstigen Bedingungen täglich das zehn- und mehrfache ihres Körpergewichtes. Wäre das Aufsteigen der Nahrungssäfte durch eine immer steigende Concentration des Inhaltes der relativ oberen Zellen bedingt, so

[1]) Boehm, „Über die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen." Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften. XLVII. Bd., 1863.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

müsste die kaum entfaltete Pflanze unter Vollführung einer ihrer wichtigsten Lebensverrichtungen in jugendlicher Fülle verknöchern [1]).

Stellt man im Flusswasser gezogene Weiden in destillirtes Wasser, so ändern sich die Transspirationsverhältnisse nicht im mindesten. Ich habe Weiden im absolut feuchten Raume durch vierzehn Tage völlig unversehrt erhalten. Dies scheint mir ein hinreichend langer Zeitraum, um einen Ausgleich der verschiedenen Concentrationszustände des flüssigen Inhaltes der Zellen, in denen das Saftsteigen erfolgt, zu bewerkstelligen, wenn das mögliche Vorhandensein desselben schon als Ursache betrachtet wird, warum die Pflanzen im absolut feuchten Raume nicht transspiriren. Wurden diese Pflanzen sodann in einer trockenen Stickstoffatmosphäre in destillirtes Wasser gegeben, so verdunsteten sie gerade so viel, als ob sie sich fortwährend in Flusswasser befunden hätten [2]).

Durch die Untersuchungen von Graham [3]) wissen wir allerdings, dass die sogenannten Colloidsubstanzen ein sehr hohes endosmotisches Äquivalent besitzen. Man könnte daher einwenden, dass die obersten Zellen mit solchen Colloidsubstanzen erfüllt seien, wie dies Hofmeister [4]) von den Wurzelzellen nachgewiesen hat. Wäre dies aber der Fall und dadurch das Saftsteigen bedingt, so müssten die Pflanzen auch im absolut feuchten Raume Wasser abgeben.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich somit in zweifelloser Weise, dass das Saftsteigen keine von dem Inhalte der oberen Pflanzenzellen aufgebrachte Diffusionswirkung sei.

Hofmeister [4]) hat, von der Erscheinung des Thränens beim Weinstocke etc. ausgehend, die Behauptung aufgestellt: dass der Nahrungsstoff durch eine von dem Inhalte der Wurzelzellen aufgebrachte diosmotische Kraft in die Höhe getrieben werde.

---

[1]) Wir wissen durch die werthvollen Arbeiten von Knop, Sachs, Stohmann, Wolf etc., dass die Pflanzen nur in sehr diluirten Lösungen ihrer Nährstoffe gezogen werden können.

[2]) Unter eine mit Stickstoff gefüllte Glasglocke wurden die Pflanzen desshalb gestellt, um den Einwand zu beseitigen, dass in Folge der Assimilation die Säfte der oberen Zellen concentrirter geworden seien.

[3]) Graham, Flüssigkeitsdiffusion, angewandt auf Analyse. Poggendorf, Ann. d. Chem. und Physik. Bd. 24, pag. 187, 1861. Auch Comptes rendus, t. 53, p. 275.

[4]) Hofmeister, Bericht der k. sächs. Ges. d. Wiss. 1857, pag. 149 u. s. w. — Flora, 1858 und 1862.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Ich habe bei mehreren Pflanzen die von diesem Forscher angestellten Versuche, aber, wie ich dies schon in der oben citirten Abhandlung angegeben, mit völlig abweichendem Resultate wiederholt. Hofmeister ist jedoch ein viel zu gediegener Forscher, als dass ich an der Richtigkeit seiner Angaben auch nur im mindesten zweifeln möchte, zumal da bei diesen Versuchen eine Täuschung, wie sie z. B. bei den verlässlichsten Mikroskopikern so häufig vorkommt, völlig unmöglich ist. Meine Versuche galten mir nur als Fingerzeig, die Richtigkeit der von Hofmeister aufgestellten Hypothese über die Ursache des Saftsteigens weiter zu prüfen. Hofmeister gibt selbst die Unzulänglichkeit der von der Diffusion des Inhaltes der Wurzelzellen aufgebrachten Kraft, in so weit sie von ihm nachgewiesen wurde, für die Emporschaffung der grossen Wassermengen in die Baumwipfel zu, und bei meinen Versuchen, die nach Hofmeister von den Wurzeln aufgebrachten Druckkräfte bei Steckreisern oder schon stark bewurzelten Zweigen durch den Druck von Quecksilbersäulen von bestimmter Höhe zu ersetzen oder zu unterstützen, hörte das Wachsthum alsbald (nach dem Verbrauche der Reservestoffe) auf und die Pflanzen gingen zu Grunde.

Die Resultate dieser und meiner anderweitigen Manometerversuche und insbesondere der Umstand, dass die Pflanzen im absolut feuchten Raume nicht verdunsten, „verschafften mir die Überzeugung, dass die den Saft in den Stamm und in die Blätter treibende Kraft nicht von der Wurzel aufgebracht werde [1]).“

Würde das Saftsteigen, wie Hofmeister will, durch eine Vis a tergo bewirkt, so wäre es das allergrösste Wunder in dem geheimnissvollen Walten der Pflanze, dass die von den Wurzeln aufgebrachten Kräfte gerade nur hinreichen, um die je nach Umständen so variable Menge von Wasser gerade nur bis zu den Blättern und nie über diese hinauszupressen, mag nun das Individuum gross oder klein, stark oder ärmer bewurzelt sein!

Im Obigen glaube ich nun bewiesen zu haben, dass das Saftsteigen keine Diffusionswirkung sei. Würde sich auch durch fernere

---

[1]) Wenn auch das Saftsteigen der belaubten Pflanzen nicht durch Diosmose bewirkt wird, so ist dies doch zweiffellos bei dem Thränen der Fall, und es fällt mir nicht ein, die wichtige Rolle der Endosmose bei der Aufnahme des Nahrungssaftes aus dem Boden in Abrede zu stellen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Versuche meine Ansicht, dass das Saftsteigen durch den Luftdruck bewirkt werde, als unrichtig herausstellen, so nehme ich doch das Verdienst in Anspruch, unter allen Pflanzenphysiologen die völlige Unhaltbarkeit der früheren Ansichten über diese so wichtige Lebensfunction der Pflanze zuerst bewiesen zu haben.

Ich sage: unter allen Pflanzenphysiologen; denn im Jahre 1860 veröffentlichte Jamin [1]) eine auch in meiner oben citirten Abhandlung angeführte Arbeit, in welcher das Saftsteigen als eine Capillaritätswirkung aufgefasst wird.

So trefflich auch die Abhandlung von Jamin in hydrostatischer Beziehung ist, so werthlos schien sie mir in physiologischer. Jamin scheint nämlich den anatomischen Bau und die bekannten Lebenserscheinungen der Pflanze gar nicht zu kennen, und desshalb berücksichtigte ich auch seine Ansicht nicht, in der Meinung, auf die Zustimmung jedes Pflanzenphysiologen rechnen zu können.

Jamin construirt sich einen Cylinder aus fein porösen Substanzen und überträgt die Gründe der an demselben gefundenen Erscheinungen hinsichtlich des Aufsteigens der Flüssigkeit ohne weiters auf die ähnlichen Erscheinungen der lebenden Pflanzen.

Mag auch in den von Jamin angewendeten Cylindern aus Kreide, gebranntem Thone, lithographischem Steine u. s. w. das Wasser bis zu einer den höchsten Bäumen entsprechenden Höhe aufsteigen, so wissen wir doch nicht, bis zu welcher Höhe das Wasser in einem homogenen Cylinder, den wir uns aus einer der Zellwand ganz gleichen Substanz mit einer ihr gleichen Structur gebaut denken, aufsteigen würde. Die Höhe, bis zu welcher die Flüssigkeit in capillaren Röhren gehoben wird, ist von zweierlei Factoren bedingt: 1. von der Weite des Röhrchens und 2. von der Adhäsion der Flüssigkeit an die bezügliche Röhrensubstanz. Die Grösse der Adhäsion des Wassers an die Zellwand kennen wir nicht und nichts berechtigt uns zur Behauptung, dass das für Haarröhrchen giltige Gesetz auch für die mit der stärksten Vergrösserung natürlich unsichtbaren Räume zwischen den Molekülen (Molekularinterstitien) Geltung habe, vielmehr sprechen alle Capillaritätserscheinungen und die des Holzes insbesondere entschieden dagegen.

---

1) Jamin, Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des liquides dans les corps poreux. Comptes rendus, tom. 50, 1860, pag. 172, 311, 383

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Abgesehen von dem anatomischen Baue der Pflanze, dass dieselbe nämlich hinsichtlich ihrer Structur und Substanz von den Cylindern Jamin's himmelweit verschieden ist, abgesehen ferner davon, dass in diesen porösen Apparaten die Flüssigkeit ausschliesslich oder doch insbesondere zwischen den einzelnen Körnchen aufsteigt [1]), also in Räumen, welche im Verhältnisse zu den Molekularinterstitien der Zellwand unverhältnissmässig gross sind, abgesehen von diesem und vielen anderen, würde die Capillarität allerdings sämmtliche Erscheinungen des Saftsteigens, die uns, wenn wir uns dasselbe durch Diffusion bewirkt vorstellen, völlig räthselhaft bleiben, ausreichend erklären.

Sehen wir nun zu, zu welchen Resultaten wir gelangen, wenn wir das Saftsteigen als Folge von Capillarität bei Rücksichtnahme auf den factischen Bau der Gewächse betrachten.

Die Transspiration und der ganze Ernährungsprocess sind durch die Permeabilität der Zellwände für Wasser bedingt. Welcher Kraft immer man die Ursache des Saftsteigens zuschreiben mag, so steht es unumstösslich fest: dass die Zellwände der verdunstenden Oberfläche der Pflanze nur in Folge ihrer capillaren Eigenschaften das verlorene Wasser wieder ersetzen. Es ist nun unsere Aufgabe, auf Versuche gestützt, uns über die Grösse dieser von den Zellwänden aufgebrachten capillaren Kraft ein Urtheil zu bilden.

Wir haben keinen Grund zur Annahme: dass die abgestorbene Zellwand andere capillare Eigenschaften besitze als die der lebenden Pflanze. In lufttrockenen Zweigen steigt aber das Wasser selbst nach Monaten nicht höher als sechs Zoll über den Wasserspiegel. Ich überzeugte mich hiervon auf das Bestimmteste dadurch, dass ich von ausgetrockneten Zweigen, welche durch drei Monate in's Wasser gestellt waren, die Enden derselben in einer Entfernung von sechs Zoll über dem Wasserniveau abschnitt und wog. Selbst nach wochenlangem Liegen verloren die Stücke nicht an Gewicht [2]).

---

[1]) Wenn das Aufsteigen der Flüssigkeit in porösen Cylindern in analoger Weise wie bei lebenden Pflanzen erfolgen würde, so müsste sich der Nahrungssaft nicht in den Zellen, sondern vielmehr in den Intercellularräumen fortbewegen.

[2]) So wie Jamin, war auch ich darauf bedacht, ein Object ausfindig zu machen, das mir zur Veranschaulichung des Saftsteigens als eines rein physikalischen Vorganges ein völliges Äquivalent für die lebende Pflanze liefern sollte. Ich glaubte

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Damit der Pflanzenleib hinsichtlich des Saftsteigens so functioniren würde wie ein poröser Cylinder, so müsste derselbe nicht nur gleichsam ein riesiges Stück einer Zellwand ohne den charakteristischen Zellbau darstellen, sondern derselbe müsste auch im lebenden Zustande ganz andere capillare Eigenschaften besitzen als im todten. Die Möglichkeit hierfür kann allerdings nicht geleugnet werden, ist aber andererseits auch eine völlig unbegründete Hypothese, und dann ist der Bau des Pflanzenkörpers weit entfernt, obiger Bedingung zu genügen. Unter der meist von Spaltöffnungen durchbrochenen Aussenwand der Oberhautzellen liegen die auf die Oberfläche mehr weniger senkrechten Seitenwände und die Lumina der Epidermiszellen. Wenn man das Saftsteigen erklären will, muss man diese Thatsachen wohl berücksichtigen. Jamin that dieses nicht, und darum glaubte ich am besten zu thun, seine Ansicht ganz zu ignoriren.

Herr Professor Unger [1]) hat nun, die Ansicht von Jamin dem factischen Baue der Pflanze adaptirend, die Behauptung ausgesprochen: dass der Nahrungssaft in den Zellwänden aufsteige. In die Zellhöhlen soll die Flüssigkeit in Folge von Diffusion gelangen, indem die Zellen ja sicher concentrirtere Lösungen führen als jene sind, welche in den Wänden derselben aufsteigen.

Ich kann dieser Ansicht nicht beipflichten.

Wenn die äusserste Wandschicht der Oberhautzellen in Folge der Verdunstung Wasser verloren hat, so wird in Folge der Capillarattraction das von der nächstfolgenden Wandschicht imbibirte Wasser nachrücken u. s. w. Die an das Zelllumen grenzende Wandschicht wird ihr nach Aussen hin abgegebenes Wasser von dem Zellinhalte selbst ersetzen und diesem muss eine seinem Verluste äquivalente Menge durch seine inneren Zellwände nachfliessen.

Würden die Seitenwände aller übereinander stehenden Zellen nicht zu zarte senkrechte Säulen bilden, so könnten wir die Annahme gelten lassen, dass bei Voraussetzung einer grossen, Flüssigkeit anziehenden Kraft im Lumen der Epider-

---

dasselbe in einem zuerst ausgetrockneten und dann mit Wasser injicirten Zweige gefunden zu haben. Diese Meinung war aber, wie ich mich seither überzeugte, ein grosser Irrthum.

[1]) Unger, Studien zur Kenntniss des Saftlaufes in den Pflanzen. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. 101. 44. Bd. 1864.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

miszellen das hier verdunstete Wasser aus diesen Leisten nachgezogen werde [1]). Nun sind aber, wenigstens die Zellen des Blattes, nicht dieser Voraussetzung gemäss geformt und angeordnet. Das aus den Oberhautzellen in Folge der Verdunstung an ihrer Oberfläche verloren gegangene Wasser kann nur durch die inneren Zellwände nachrücken. Durch die Seitenwände ist dies desshalb unmöglich, weil ja alle Epidermiszellen einen Theil ihres Inhaltes verdunstet und selbst den Verlust zu ersetzen haben. Es müssen somit jene Wände der Epidermiszellen welche an die inneren Zellen grenzen, einen Theil ihrer imbibirten Flüssigkeit in die Höhlen der Oberhautzellen abgeben, so dass sich diese Wände gerade so verhalten, wie die direct verdunstenden Aussenwände. Das in die Lumina der Epidermiszellen abgegebene Wasser werden diese Zellwände offenbar von dem flüssigen Inhalte der Höhlen der zweiten Zellschichte nehmen. Derselbe Vorgang muss sich bei der darauf folgenden Zelllage u. s. w. wiederholen.

Gegen die Richtigkeit dieser Vorstellung kann wohl nicht der geringste Einwand erhoben werden und damit ist vom anatomischen Standpunkte die Unmöglichkeit dargethan, dass der Nahrungssaft in den Zellwänden aufsteige.

Steigt aber der Nahrungssaft auch nicht in den Zellwänden, sondern in den Zellhöhlen auf, so ist die Möglichkeit, dass das Aufsteigen desselben durch Capillarität bewirkt werde, noch keineswegs ausgeschlossen. Die Lumina der saftleitenden Zellen sind nämlich so klein, dass durch die Capillarattraction derselben vielleicht bedeutende Wirkungen hervorgebracht werden können.

Man kann jede Zelle als ein Röhrchen betrachten, welches sich in Folge seiner capillaren Eigenschaft, selbst wenn es unvergleichlich länger wäre als es factisch ist, ganz mit Wasser füllen könnte. Damit nun das Saftsteigen in der angedeuteten Weise erfolgen könnte, müsste in den Epidermiszellen unter der verdunstenden äusseren Zellwand ein leerer Raum entstehen, denn nur dann wäre es möglich, dass die Capillarattraction dieser Zellhöhlen wirksam würde. Wäre diese Kraft hinreichend, der unteren Zelle so viel Wasser zu entziehen, als sie selbst verloren, so müsste sich dieser

[1]) Die in den übrigen Zellen sich befindliche Flüssigkeit würde sich nur in so ferne bewegen können, als dieselbe mit dem in den Zellwänden aufsteigenden Nahrungssafte diffundirt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Vorgang in der unter der Epidermis liegenden Zellschicht wiederholen und bis zu den äussersten Wurzelzellen fortsetzen. Die zum Heben der Flüssigkeit von Zelle zu Zelle nothwendige Kraft müsste von der Wärme der Umgebung geliefert werden.

So plausibel diese Anschauung über den Vorgang des Saftsteigens Manchem auf den ersten Blick scheinen mag, so unhaltbar ist dieselbe bei näherer Betrachtung.

Vorerst fordert obige Hypothese, dass die Zellen starre Bläschen seien, denn wären sie dies nicht, so müssten sie offenbar, nachdem in denselben ein leerer (nur von Wasserdünsten erfüllter) Raum entstanden wäre, in Folge des äusseren Luftdruckes zusammengepresst werden. Wären die Zellen aber in der That starre Bläschen, so könnte doch der in Folge der Verdunstung entstehende leere Raum nicht an der Zellenwand entstehen, da ja das Aufsteigen von Flüssigkeit in capillare Röhren fordert, dass die Adhäsion der Röhrenwand zur Flüssigkeit grösser sei als die Cohäsion der letzten. In dem Momente also, in welchem die Zellwand ihr entweder nach aussen oder an die obere Nachbarzelle abgegebenes Wasser aus dem Zelllumen ersetzt, würde die Zellflüssigkeit gleich an die Wände nachrücken, so dass der leere Raum innerhalb der Zellflüssigkeit entstehen müsste. In Folge der Capillarattraction könnten somit die Epidermiszellen erst dann ihren inneren Nachbarzellen Wasser entziehen, nachdem sie ihren ganzen flüssigen Inhalt verdunstet haben! [1])

Von der Richtigkeit dieser Folgerung überzeugt uns folgender Versuch: Wenn man lufttrockene Weidenzweige, entweder unter der Luftpumpe oder durch Auskochen oder vermittelst meiner Injectionsapparate mit Wasser imprägnirt, in Wasser stellt, so sollten, falls das Saftsteigen in der besprochenen Weise erfolgen würde, nicht nur die Zellwände, sondern die ganzen Zweige um so eher andauernd mit Wasser getränkt bleiben, als dasselbe in die offenen Spiralgefässe und die in Folge der Injection durch Zerreissung von Zellen entstandenen capillaren Canäle ungehindert eintreten kann. Dies ist jedoch durchaus nicht der Fall; die Zweige vertrocknen alsbald, nachdem sie der Sonne und dem Luftzuge ausgesetzt worden, vom

---

[1]) Dass die in den Holzzellen enthaltenen Luftblasen dem Saftsteigen, falls dasselbe in der angedeuteten Weise erfolgen würde, kein Hinderniss entgegenstellen könnten, brauche ich wohl nur anzudeuten.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

oberen Ende an bis zu einer Entfernung von sechs Zoll über dem Wasserspiegel. Dieses Vertrocknen erfolgt aus Gründen, die wir später einsehen werden, um so schneller, wenn man lufttrockene, stark bewurzelte Weidenpflanzen, um die Zerreissung von Zellen möglichst zu verhindern, durch acht- bis vierzehntägiges Einsenken unter Wasser von 40 bis 60° C. und erst dann vermittelst der Luftpumpe möglichst vollständig injicirt. Hier erfolgt auch das Vertrocknen häufig bis über einen Zoll vom Niveau des Wassers, in welches die mit Wasser getränkten Pflanzen so gestellt wurden, dass ein Theil der Wurzeln sich über dem Wasserspiegel befand. Dasselbe ist der Fall mit den aus irgend welchem Grunde abgestorbenen, aus Zweigen im Wasser gezogenen Weidenpflanzen.

Wir haben schon oben gesehen, dass, wenn die Zellwände ähnliche capillare Eigenschaften, wie die von Jamin zu seinen Versuchen angewendeten porösen Substanzen, besitzen und in ihnen das Saftsteigen erfolgen würde, ein in Wasser gestelltes Stück Holz sich in Schnelligkeit völlig imbibiren müsste. Ein Gleiches wäre der Fall, wenn das Saftsteigen durch die Capillarität der Zellhöhlen bewirkt würde. Es wäre unbegreiflich, warum einzelne Zweige auf sonst üppig vegetirenden Pflanzen, oder warum die Blätter eines in Wasser gestellten Zweiges oder von einer in Wasser gezogenen Weidenpflanze nach Entfernung der Wurzeln vertrocknen u s. w., man müsste denn wieder annehmen, dass die Membran der lebenden Zelle eine viel grössere Adhäsion zum Wasser besitze als die der todten.

Wäre die Capillarattraction der Zellhöhlen eine so bedeutende, wie sie zur Erklärung der in Rede stehenden Function sein müsste, ja würde sie nur von Ferne der von gleichweiten Haarröhrchen aus Glas entsprechen, so wäre es bei der bekannten und besprochenen Eigenschaft der Zellwand geradezu unmöglich, dass die saftleitenden Holzzellen theilweise mit Luft gefüllt sind. Diese Luft befindet sich nicht etwa inmitten der Zellflüssigkeit, sondern sie füllt das obere und untere Ende der Holzzellen ganz aus. Diese Luft, von der nicht zu begreifen wäre, wie sie sich hätte abscheiden können, müsste sich bei dem Streben der Zelle, sich in Folge ihrer Capillarität mit Flüssigkeit voll zu füllen, jedenfalls unter einem bedeutenden Drucke befinden und in Folge dessen entweder durch die Zellwand entweichen oder dieselbe zerreissen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Dass die Zellhöhlen als Capillarröhrchen das Saftsteigen nicht bewirken, dafür spricht auch der Inhalt der Spiralgefässe. Ich will hier, obwohl ich keinen Grund dafür habe, es als noch unerwiesen betrachten, dass nach Caspary [1]) bei sehr vielen Pflanzen (besonders Monocotyledonen) die sogenannten Spiralgefässe keine Gefässe, sondern übereinander gestellte geschlossene Zellen seien, und auch von den Spiralgefässen des Stammes nicht reden, sondern ich will nur die Frage stellen: Wenn die Capillarität der Zellhöhlen eine so grosse ist, wie sie es sein müsste, um alle Erscheinungen beim Saftsteigen zu erklären, wie kommt es dann, dass selbst die engsten Spiralgefässe der Wurzelfasern auch von in Wasser gezogenen Pflanzen mit Luft gefüllt sind?

Hier scheint mir auch der geeignete Platz für die Mittheilung folgender Beobachtung zu sein.

Wenn man im Frühlinge frische Weidenzweige in's Wasser stellt, so nehmen sie schnell nicht unbedeutend an Gewicht zu. Diese Gewichtszunahme dauert aber nur so lange, bis sich die Wurzeln und Knospen entwickeln, dann werden die Zweige wieder leichter, bis nach Entfernung der neugebildeten Triebe und Wurzeln das ursprüngliche Gewicht wieder fast oder ganz erreicht ist.

Diese Beobachtungen zeigen auf das Augenscheinlichste, wie werthlos zur Entscheidung der Frage über die Ursache des Saftsteigens alle aus Versuchen mit abgeschnittenen Zweigen gezogenen Schlüsse sind. Dies ist auch der Grund, warum ich meine zahlreichen derartigen Versuche als nicht zur Sache gehörig vorläufig bei Seite legte.

Durch die angeführten Versuche und Schlüsse glaube ich bewiesen zu haben: dass das Saftsteigen weder durch Diffusion noch durch Capillarität bewirkt werde. Ehe ich zur detaillirten Darlegung der Gründe übergehe, welche mich bestimmten, das Saftsteigen für einen durch Transspiration bedingten Saugungsprocess zu erklären, muss ich die Ansicht eines in der Wissenschaft hochverdienten Mannes, des Herrn Prof. Dr. Hartig, über die in Rede stehende Frage vorausschicken. Ich glaube am besten zu thun, Hartig's eigene Worte selbst anzuführen:

---

[1]) Caspary, Über die Gefässbündel der Pflanzen. Berliner Akadem. 1862, pag. 448—483.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

„Da selbst im saftreichsten Zustande des Baumes jede einzelne der leitenden Holzfasern annähernd ½ ihrer Raumerfüllung Saft, ½ Luft enthält, liegt der Gedanke nahe, dass das gegenseitige Verhältniss zwischen Luft und Saft im Faserraume wesentlich mitwirkend sei bei der Hebung des Pflanzensaftes. Da das Bodenwasser von den Pflanzenwurzeln sehr wahrscheinlich luftreich aufgenommen, da durch Aufnahme oder Abgabe von Gasen das Volumen der Flüssigkeit nicht verändert wird, könnte es wohl sein, dass die Bewegung des Holzsaftes in den leitenden Fasern auf einem erhöhten oder verminderten Dichtigkeitszustande der Holzluft, auf einer darauf beruhenden Druck- oder Saugkraft des Fasergewebes beruht, die aus einer wechselnden Abscheidung und Wiederaufnahme der Holzluft in den Holzsaft resultirt [1]).

„Dass das die Säfte nach oben leitende Fasergewebe des Holzkörpers durch die für Flüssigkeiten sowohl wie für Gase nachweisbare Permeabilität der Schliesshäute seiner Tüpfelcanäle als ein System capillarer Röhren betrachtet werden dürfe, ist keinem Zweifel unterworfen. Nach der Weite der engräumigen Tüpfelcanäle in den Breitfaserschichten des Tannenholzes berechnet (weniger als 0·001 Millim.) würde eine capillare Ascension von mehr als 60 Meter möglich sein, wenn der Holzsaft Flüssigkeitssäulen bildete, die nur von den permeablen Schliesshäuten der Tüpfelcanäle unterbrochen sind.

„Wie ich nachgewiesen habe, enthält aber jede leitende Holzfaser nur ungefähr zur Hälfte freie Flüssigkeit, während die andere Hälfte ihres Innenraumes mit Luft erfüllt ist, und wir wissen durch Jamin, dass unter diesen Umständen eine capillare Ascension überhaupt nicht stattfindet [1]).

„Es muss daher neben der Capillarität noch eine andere Kraft bei der Hebung des Baumsaftes mitwirkend sein, durch welche jenes Hinderniss aufgehoben wird, welches den zwischenlagernden Luftträumen entspringt. Es liegt gewiss sehr nahe, die Expansivkraft

---

[1]) Über die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. Botanische Zeitung, 1861, pag. 18.

[2]) Ich verweise hier auf das pag. 532 und 533 Gesagte. Das System der mit einander zum Holzkörper verbundenen Prosenchymzellen mit ihren permeablen Wänden und ihrem Inhalte von Luft und Saft sind ja weit entfernt, einem abwechselnd mit Luftbläschen und Wassertröpfchen gefüllten Capillarrohre zu gleichen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der aus dem Bodenwasser abgeschiedenen Gase hiermit in Beziehung zu bringen.

„Wenn lufthaltige Flüssigkeiten durch poröse Körper zu einem Raume sich fortbewegen, dessen Luftgehalt eine, wenn auch nur wenig geringere Dichtigkeit besitzt, als die äussere atmosphärische Luft, so tritt eine Trennung der Luft von der Flüssigkeit ein, die eine Vergrösserung des ursprünglichen Volums der Vereinigung beider, mithin in geschlossenem Raume einen Druck zur Folge haben muss.

„Diese Abscheidung der Luft setzt einen der Atmosphäre gegenüber expandirten Zustand der Luft in denjenigen Baumtheilen voraus, zu denen der Saft sich hinbewegen soll. Lässt es sich nachweisen, dass ein solcher Zustand der Baumluft, wenn auch nur in geringem Grade besteht, dann würde die von der Expansivkraft abgeschiedener Gase unterstützte Capillarattraction ein genügender Erklärungsgrund des Saftsteigens sein [1]).

„Wird durch die Verdunstung der Holzfasern die im Bereiche derselben befindliche Luft in einen gegenüber der äusseren Luft verdünnten Zustand versetzt, dann ist damit die Bedingung des Aufsteigens der Baumsäfte erfüllt“ [2]).

Das Gemeinsame Hartig's und meiner Ansicht über den Vorgang des Saftsteigens ist: dass der rohe Nahrungssaft wohl in den Zellhöhlen aber nicht in Folge von Diffusion aufsteige.

Untersuchen wir nun die Gründe, welche, wie ich dies l. c. behauptet habe, es als zweifellos erscheinen lassen: dass das Saftsteigen eine Saugwirkung, eine Folge von Transspiration sei, dass die Hubkraft von dem Luftdrucke geliefert werde.

Bei der Transspiration der Pflanzen werden offenbar die der Atmosphäre ausgesetzten, mit Flüssigkeit erfüllten Zellen zuerst ihr Wasser verlieren.

Es fragt sich nun, was wohl die nothwendige Folge davon sein werde? Diese muss sich aus den physikalischen Eigenschaften der Zellen ergeben. Wären diese starre Bläschen, so würde in den-

---

1) Über Abscheidung von Gasen aus lufthältigen Flüssigkeiten beim Eindringen letzterer in capillare Räume. Bot. Ztg 1863. pag. 302.

2) Über den Einfluss der Verdunstung auf Hebung des Pflanzensaftes. Bot. Ztg. 1863, pag. 303.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

selben, wie wir schon oben sahen, entweder ein leerer Raum entstehen oder sie würden sich mit Luft füllen. Dass Ersteres bei der factischen Beschaffenheit der Zellwand nicht der Fall sein kann, liegt auf der Hand. Ein von so zarten Wänden gebildetes Bläschen sollte, ohne zusammenzubrechen, einen ganzen Atmosphären-Druck ertragen! Und dies müsste es, wenn auch nur sehr wenig Wasser aus derselben verschwunden wäre, da es hierbei ganz gleichgiltig ist, ob der leere Raum gross oder klein ist. Eher als in der Zelle ein leerer Raum entsteht, würde wohl in dieselbe Luft eintreten. Leicht wird dieser Eintritt jedenfalls nicht werden. Diese Schwierigkeit ist nicht vielleicht, so wie bei Jamin's Haarröhrchen, durch abwechselnd folgende Luftbläschen und Wassertröpfchen in den unsichtbaren Poren der Zellwand, sondern dadurch bedingt, dass die ganze Wand der mit Flüssigkeit gefüllten Zelle völlig mit Wasser imbibirt ist. Setzen wir den Fall, dass durch den Verlust von einer geringen Menge Flüssigkeit in der Zelle ein leerer Raum entstehen könnte, so würde, der Adhäsion des Wassers zur Zellwand wegen, dieser leere Raum nicht an der Zellwand, sondern weiter im Zellraume entstehen, so dass die Zellwand immer allseitig mit Flüssigkeit benetzt bliebe. Sobald nämlich von der äussersten Zellwandschichte Wasser verdunstet, muss von der nächstfolgenden Schichte ein gleiches Quantum nachrücken, bis die innerste Schichte die nach aussen abgegebene Flüssigkeit von dem Zellinhalte nimmt. Die Molekularinterstitien werden, so lange die Zellflüssigkeit alle Punkte der inneren Oberfläche der Zellwand benetzt, vollständig mit Wasser gefüllt sein und so den Lufteintritt unmöglich machen. Sobald jedoch irgend eine Stelle der inneren Zellwandfläche nicht mehr von Zellflüssigkeit berührt wird, so wird das dort verdunstete Wasser durch eintretende Luft ersetzt werden, in so ferne dieser Ersatz nicht mehr in Folge der Capillarität von den Wassertheilchen der angrenzenden Zellwand möglich wird. Es ist also klar, dass dem Lufteintritte in die Zelle bei deren Verdunstung jedenfalls ein bedeutender Widerstand entgegensteht [1]).

Nun ist aber die Zelle kein starres, sondern ein elastisches Bläschen. Wenn sie in Folge von Verdunstung Wasser

---

[1]) Jamin hat l. c. p. 311 nachgewiesen, dass durch die Kraft, mit welcher das Wasser in poröse Körper eindringt, die zwischen den Poren derselben enthaltene Luft unter einen Druck von mehreren (3—6) Atmosphären gesetzt wird.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

verliert, so braucht in dieselbe, ohne dass in ihr ein leerer Raum entstände, keine Luft einzutreten. Die elastische Zellwand wird nämlich durch den äusseren Luftdruck enge an die Zellflüssigkeit angepresst. Vermöge ihres mehr weniger gewölbten Baues wird die Widerstandsfähigkeit der Zellhülle, selbst wenn sie ziemlich zart ist, eine nicht unbedeutende und die Elasticität selbst eine vollständige sein.

Wenn die äussersten Zellen der transspirirenden Pflanzenoberfläche Wasser verlieren und durch den Luftdruck etwas zusammengepresst werden, so werden dieselben in Folge der Elasticität ihrer Wände bestrebt sein, dem Luftdrucke entgegen, ihre ursprüngliche Form wieder anzunehmen. Auf diese Weise stellt nun in der That jede Zelle eine Saugpumpe dar [1]. „Wenn die oberflächlichen Zellen der Pflanze Wasser verdunsten, so müssen sie entweder zusammensinken und vertrocknen oder eine entsprechende Menge Flüssigkeit von den gegen das Innere der Pflanze gelegenen Nachbarzellen aufsaugen. Letzteres findet nun bei normalen Verhältnissen der Pflanze wirklich statt; jede Zelle saugt aus der inneren Nachbarzelle so viel Wasser, als ihr von den äusseren und oberen Nachbarzellen entzogen wurde und diese Mittheilung pflanzt sich fort bis zu den äussersten Wurzelzellen, welche ihr abgegebenes Wasser durch das ihrer äusseren Umgebung ersetzen."

Indem ich im vorigen Jahre das Saftsteigen als einen „durch Transspiration bedingten Saugungsprocess" erklärte, „wobei der Nahrungssaft von Zelle zu Zelle emporgepumpt wird," wollte ich nicht ausdrücken, dass man sich den Vorgang etwa so vorstellen dürfe, als pflanze sich der Luftdruck von der Basis des Baumes bis zu dessen Spitze fort. Man kann das Wasser durch Saugpumpen viel höher als 32 Fuss, ja fast bis zur Atmosphärengrenze heben, indem man die Saugwerke mit dem jeweiligen Luftdrucke entsprechend langen Saugröhren über einander stellt. So wie auf die einzelnen über einander gestellten Saugwerke der entsprechende Luftdruck lastet, so ist

---

[1]) Diesen Vorgang kann man sich durch den Fig. 1 dargestellten Apparat veranschaulichen: *a)* ist eine oben luftdicht geschlossene, vulcanisirte Kautschukröhre, in welche das Glasrohr *b)* eingebunden ist. Presst man die Kautschukröhre zusammen und taucht dann das untere Ende der Glasröhre in Quecksilber, so wird dieses bis zu einer der Elasticität des nun sich selbst überlassenen Kautschukrohres entsprechenden Höhe (in meinem Apparate bis zu 10 Zoll) gehoben.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ja auch jede Zelle von der in den Intercellularräumen befindlichen Luft umgeben, welche unter dem Atmosphärendrucke steht, und die meisten Pflanzen sind zudem von zahlreichen, in der Regel Luft führenden Spiralgefässen durchzogen.

Die Vorstellung über die Ursache des Saftsteigens als eines durch Transspiration bedingten Saugungsprocesses fordert das Geschlossensein der saftleitenden Zellen. In neuester Zeit war das Coniferenholz Gegenstand der sorgfältigsten bezüglichen Untersuchungen, ohne dass diese Frage auf mikroskopischem Wege zur endgiltigen Lösung gebracht werden konnte. Nachdem ich, auf physiologische Gründe gestützt, die Nothwendigkeit des Geschlossenseins der saftleitenden Zellen und insbesondere der der Coniferen behauptet habe, hat Hartig [1]) sich aus anatomischen Gründen dafür, Unger [2]) dagegen erklärt.

Da das Saftsteigen in offenen Zellen nicht möglich ist, so wiederhole ich hinsichtlich der in Rede stehenden Frage vorläufig den l. c. pag. 22 ausgesprochenen Satz: „die Ursache des Saftsteigens fordert, dass die Zellen des Coniferenholzes, soweit dieses den Saft leitet, geschlossene Bläschen sein müssen".

Der oben auseinander gesetzte, in dem Baue des Pflanzenkörpers begründete Vorgang des Saftsteigens erklärt sämmtliche Erscheinungen im Pflanzenleben auf einfache und ungezwungene Weise.

Von safterfülltem Gewebe umgebene Zellen und Gefässe werden sich dann vollständig mit Luft füllen, wenn aus irgend welchem Grunde deren Wände ihre Elasticität verloren haben. Darin ist auch das Austrocknen abgestorbener, noch mit der Mutterpflanze in Verbindung gebliebener oder in Wasser gestellter Zweige begründet. Werden nämlich abgeschnittene Äste von *Salix fragilis* in Wasser gestellt, so vertrocknen die Blätter von der Spitze gegen die Basis schon am zweiten Tage, eine Erscheinung, die, wenn man das Saftsteigen als eine Capillaritätserscheinung auffasst, nicht erklärt werden kann. Presst man aber das Wasser vermittelst meiner Injectionsröhren (l. c. Fig 1) in die abgeschnittenen Zweige, so bleiben die

---

[1]) Hartig, Über die Schliesshaut des Nadelholz-Tüpfels. Bot. Ztg. 1863, p. 293.

[2]) Unger, Studien zur Kenntniss des Saftlaufes in den Pflanzen. Sitzungsberichte der kais. Akad. d. Wissensch. LIV. Bd., 1864.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Blätter oft 4—8 Wochen völlig frisch und lösen sich dann unter der Erscheinung des Gelbwerdens nach Bildung der runzelligen Schichte von den Zweigen ab. Häufig starben aber auch unter diesen Umständen die Blätter, von der Spitze an vertrocknend, schon viel früher ab. Die Ursache dieser Erscheinung liegt offenbar darin, dass die von der Schnittfläche mehr entfernten Stellen durch den Schnitt selbst weniger, oder bei manchen Pflanzen, z. B. jenen, deren kleinste Zweige sich sehr leicht individualisiren können, gar nicht leiden. Wird nun durch die in Folge des Schnittes functionsunfähig gewordenen Zellen das Wasser gepresst, so können sich solche Zweige sammt ihren Blättern lange Zeit frisch und lebendig erhalten. Meine diesbezüglichen Versuche sind noch nicht zum Abschlusse gelangt.

In dem nachgewiesenen Processe des Saftsteigens findet auch die sehr interessante Beobachtung von Sachs [1]) über das Erfrieren bei Temperaturen über 0° ihre Erklärung. Sachs fand nämlich, dass Kürbis- und Tabakpflanzen schon bei +3° R. zu welken anfangen. Wurden die Töpfe im warmen Sande erwärmt und die aufsteigende Wärme von den Blättern abgehalten, so richteten sich diese nach 1—2 Stunden wieder auf. Wurden die Töpfe hingegen in Eis abgekühlt, die Blätter aber bei einer Temperatur von 10—12° erhalten, so fingen diese zu welken an. Unter dem Glassturze blieben die genannten Pflanzen bei 3—4° R. vollkommen turgid. — Phaseolus multiflorus erhielt die Blätter bei 0 Grad R., wenn der Topf auf 10° R. erwärmt wurde, vollkommen turgid, während die Pflanze sonst bei 1—2° R. ganz schlaff wurde.

Diese Erscheinungen lassen sich weder durch Diffusion noch durch Capillarität, wohl aber durch die Annahme erklären: dass die Elasticität der Wurzelzellen dieser Pflanzen unter besagten Umständen, wenn auch vorübergehend, bis zur Functionsunfähigkeit alterirt wurde. Ein gleiches scheint mir, wie ich schon früher darauf hingewiesen habe, manchen anderen eigenthümlichen Erscheinungen beim Erfrieren von Pflanzen und Pflanzentheilen zu Grunde zu liegen: sie beruhen auf gestörter Elasticität der Zellwand.

Ein fernerer Grund, welcher dafür spricht, dass das Saftsteigen in der von mir dargestellten Weise erfolge, liegt auch in der dadurch

---

[1]) Sachs. Das Erfrieren bei Temperaturen über 0°. Bot. Ztg. 1860.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bedingten Theilung der Arbeit. „Jede Zelle saugt aus der inneren Nachbarzelle so viel Wasser, als ihr von den äusseren und oberen Nachbarzellen entzogen wurde."

Durch ganz andere Kräfte als das Saftsteigen in belaubten Pflanzen wird das sogenannte Bluten oder Weinen mancher Gewächse im Frühlinge bedingt. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass dasselbe eine Folge von Diffusion ist, welche durch den Inhalt der Wurzelzellen eingeleitet wird. Dass mit der Entwicklung der Blätter und der damit verbundenen grösseren Transspiration diese Vis a tergo schwindet oder wenigstens ausserordentlich abgeschwächt wird, ist zweifellos durch Verminderung des colloiden Inhaltes der Wurzelzellen bedingt, sei es, dass derselbe eine chemische Umsetzung erfährt oder dass er durch die grosse Menge des nun die Zellen passirenden Wassers, trotz seiner Colloidnatur, nach und nach in alle Zellen der Pflanze vertheilt wird, um sich dann im Herbste wieder in den Wurzelzellen anzusammeln. Wenn aber auch selbst bei blutenden Pflanzen die von den Wurzelzellen aufgebrachte Kraft nicht hinreicht, den Saft in die belaubte Pflanze zu treiben, so geht doch aus Hofmeister's Versuchen zweifellos hervor, dass während der ganzen Vegetationszeit zwischen dem Inhalte der Wurzelzellen und der Bodenflüssigkeit ein für die Aufnahme des Nahrungsaftes nicht zu unterschätzender Diffusionsstrom eingeleitet wird. Man muss staunen, dass oft in trockener Jahreszeit Pflanzen in fast dürrem Boden, der unter diesen Verhältnissen gesteigerten Transspiration ungeachtet, nicht verdorren. Das Zusammenwirken von mehreren Kräften zur Erzielung einer gemeinsamen Wirkung lässt das Factum minder räthselhaft erscheinen.

Wenn auch der Inhalt der Wurzelzellen bei der Nahrungsaufnahme zweifellos betheiligt ist, so scheint der Inhalt der Holzzellen hingegen in der Regel nicht dazu angethan, bei dem weiteren Saftsteigen auch nur die geringste Rolle zu spielen.

Die Gründe, welche ich im Vorhergehenden für meine Ansicht: dass das Saftsteigen eine auf Elasticität der Zellenwand beruhende, durch Transspiration eingeleitete Saugung sei, ins Feld geführt habe, halte ich für überzeugend genug. Zur Befestigung einer neuen Ansicht kann man aber nicht genug Belege finden, und der direkte Beweis: dass der mächtigste Factor beim Saft-

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

steigen der Luftdruck sei, fehlt bisher noch. Es tritt nun vorerst die Frage auf, wie derselbe geführt werden soll?

Wenn der Luftdruck wirklich die beim Saftsteigen thätige Kraft darstellt, welche in Folge der Transspiration in den elastischen Zellwänden in Spannkraft umgesetzt wird, so müsste das Saftsteigen offenbar sistirt werden, wenn die irgendwie luftleer gemachten Pflanzen in einen luftleeren Raum gebracht würden.

Selbst dem Laien in der Wissenschaft sagt ein freilich nicht weiter zu rechtfertigendes Gefühl: dass die Pflanzen im luftleeren Raume zu Grunde gehen werden. Von dem Pflanzenphysiologen aber muss, wenn das Leben eben nichts anderes ist, als ein Complex von harmonisch zusammenwirkenden chemisch-physikalischen Kräften, das Warum erforscht werden.

Das Wachsthum und wie es scheint, sämmtliche Lebensprocesse der Pflanzen überhaupt, der grünen sowohl wie der chlorophylllosen sind mit stetiger Consumption von Sauerstoff verbunden (wofür ich seinerzeit die bisher allerdings noch fehlenden Beweise liefern werde). Es könnte nun der Einwand gemacht werden, dass die Pflanzen im luftleeren Raume nicht in Folge des mangelnden Luftdruckes, sondern vielmehr in Folge des Mangels an Sauerstoff zu Grunde gehen [1]).

Um dies zu entscheiden, brachte ich Weidenpflanzen nebst Chlorcalcium in trockenes Stickgas, in welchem, so wie im leeren Raume alle Lebensfunctionen stille stehen [2]).

---

[1]) Diejenigen, welche die Ursache des Saftsteigens in der Diffusion suchen, werden sagen: dass bei Mangel an Sauerstoff die zur Unterhaltung des endosmotischen Stromes nothwendigen Substanzen nicht gebildet werden können. — Wenn man das Saftsteigen hingegen für eine Capillarwirkung hält, so wäre es wohl begreiflich, wenn Pflanzen im trockenen, luftleeren Raume absterben, nicht aber dass sie vertrocknen, denn Absterben und Vertrocknen sind nicht Wechselbegriffe. Während viele Zellpflanzen und Samen, ohne zu sterben, völlig lufttrokken werden können, ist bei Stämmen, Zweigen und Blättern das Vertrocknen ein sicheres Kennzeichen des eingetretenen Todes. Anderseits aber vertrocknen abgestorbene, 4—6 Zoll lange, mit Wasser injicirte und in Wasser gestellte Zweige selbst nach Monaten nicht. Es steigt hier die der Verdunstung entsprechende Wassermenge, so wie in einen Streifen Löschpapier, in Folge von Capillarität auf.

[2]) Der Stickstoff zu diesen und zu den später anzuführenden Versuchen wurde durch Verbrennen von Phosphor in einer geeigneten Glasröhre (deren eines Ende zur Aufnahme des Phosphors etwas aufgeblasen und dann in eine Spitze ausgezogen war) gewonnen und über Baumwolle filtrirt, in einem Gasometer angesammelt. —

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nach vierzehn Tagen, wo der Versuch, da ich die Apparate anderweitig benöthigte, abgebrochen wurde, fingen die Blätter einer Pflanze an zu welken, während die zwei anderen Pflanzen noch völlig unverändert waren, und in freie Luft zurückversetzt, normal weiter wuchsen [1]).

Das Resultat dieses Versuches ist von grosser Wichtigkeit und Tragweite. Die Anhänger der Diffusion und der Capillarität als Ursache des Saftsteigens können nun nicht mehr behaupten: dass im trockenen luftleeren Raume, wegen Mangel an Sauerstoff, die zur Unterhaltung des endosmotischen Stromes nothwendigen Substanzen nicht gebildet werden etc. und desshalb das Saftsteigen unterbleibe, oder dass die das Saftsteigen bewirkende Capillaratraction von der Fortdauer der übrigen Lebensprocesse der Pflanze bedingt sei. Es stimmt aber dieses Versuchsresultat vollständig mit meiner Erklärung des Saftsteigens: die Pflanzen bleiben nämlich in einer trockenen Stickstoffatmosphäre so lange frisch und turgid, als unter diesen anomalen Verhältnissen die zur in Rede stehenden Function nothwendige Elastizität der Zellwände andauert [2]).

Leider sind wir nicht im Stande, obiger Bedingung: luftleere Pflanzen in einen luftleeren Raum zu bringen, völlig zu genügen. Falls wir nämlich auch einen hinreichend grossen leeren Raum erzeugen könnten, so können wir doch die Pflanze vor dem Versuche nicht luftleer machen. Wenn wir aber die Versuche in einem mittelst der Luftpumpe erzeugten luftverdünnten Raume mit luft-

---

Als Glassturz, unter welchen die Pflanzen gebracht wurden, verwendete ich einen Luftpumpenrecipienten von geeigneter Grösse, welcher mittelst der Luftpumpe und des weiter unten zu beschreibenden Luftpumpentellers (Fig. 4) mit Stickstoff gefüllt wurde. Es wurde zuerst die Luft sorgfältig (bis auf 2 Millim. Quecksilberdruck) ausgepumpt, dann langsam Stickstoff eingelassen, wieder ausgepumpt und abermals Stickstoff eingelassen. Um das Stickgas vollständig von Sauerstoff zu reinigen, wurde dasselbe vor seinem Eintritte in den Recipienten über glühende Kupferdrähte geleitet.

[1]) Die mögliche Dauer dieser künstlich hervorgerufenen Ruhe aller Lebensprocesse der Pflanze, ihrer weiteren Entwickelung unter wieder hergestellten günstigen Bedingungen unbeschadet, festzustellen, muss künftigen Versuchen vorbehalten bleiben.

[2]) Dass ein solcher Stillstand aller Lebensprocesse, unbeschadet der weiteren Entwickelung der in die normalen Verhältnisse zurückversetzten Pflanze, nicht unbegrenzt lange andauern könne, werde ich sehr bald beweisen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

hältigen Pflanzen anstellen, so ist das Resultat dieser Versuche, falls es anders ausfällt, als es nach unserer Voraussetzung im leeren Raume ausfallen müsste, kein Beweis gegen die Richtigkeit unserer Erklärung des Saftsteigens.

Unsere Theorie des Saftsteigens fordert nicht das Vorhandensein des ganzen Atmosphärendruckes; der Druck muss nur so gross sein, dass derselbe hinreicht, von der elastischen Zellwand in Folge der Transspiration ganz oder theilweise in Spannkraft umgesetzt, das Wasser von einer Zelle in die andere zu heben. Wie gross zu dieser Function der Luftdruck sein müsse, können wir von vorne herein nicht angeben, möglich aber ist es, dass, um das Saftsteigen wenigstens einige Zeit zu unterhalten, bei geeigneter physikalischer Beschaffenheit der Zellwand dazu ein Druck hinreichen würde, der nur einer Wassersäule von der Höhe einer saftleitenden Zelle gleichkommen würde [1]).

Von diesen Betrachtungen geleitet, habe ich von April bis November l. J. mit zwei Luftpumpen und mehreren Luftpumpentellern eine grosse Anzahl von Versuchen (mit mehr als 200 Pflanzen) und zwar ausschliesslich mit *Salix fragilis* angestellt. Die Pflanzen wurden aus meist 2—3jährigen $1/2$ bis 3 Fuss langen Zweigen, welche luftdicht durch die eine Öffnung eines doppelt durchbohrten Kautschukstoppels gesteckt wurden, in ziemlich dickwandigen Flaschen von verschiedener Grösse gezogen. Um während der Cultur der Pflanzen die lästige Entwickelung von Algen in den Flaschen unmöglich zu machen, wurden diese in Papier eingewickelt.

Bei den meisten Versuchen wurde die Luft auf 8—10 Millim. Quecksilberdruck verdünnt und wo dies nicht der Fall war, werde ich es ausdrücklich angeben.

Um mit mehreren Pflanzen gleichzeitig den Versuch machen zu können, liess ich mir einen 35 Zoll hohen und $7\frac{1}{2}$ Zoll weiten Recipienten und einen fast eben so hohen eisernen Dreifuss von 6 Zoll Durchmesser anfertigen. An diesen Dreifuss wurden die Apparate mit Bindfäden befestiget. Da es sich bei diesen Versuchen darum

---

1) Dies wäre unter Anderem nur dann möglich, wenn die Schwere der Flüssigkeit durch die Querwände der Zellen ganz aufgehoben würde, was jedoch, da die Zellwände für Wasser permeabel sind, vollständig gewiss nicht der Fall ist. Die Flüssigkeit in den unteren Zellen eines hohen Baumes steht jedenfalls unter einem höheren Drucke als in den der oberen Baumtheile. V. l. c. pag. 13.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

handelte, auch die Luft aus der Flasche, so weit es eben ging, zu entfernen, anderseits aber verhütet werden musste, dass durch die zweite Öffnung des Kautschukstoppels zu viel Wasser in den Recipienten entwich, so wurde in diese Öffnung eine in ein Haarröhrchen ausgezogene Glasröhre gesteckt und der Kautschukstoppel sodann luftdicht in die nicht völlig gefüllte Flasche eingesenkt.

Um die Transspiration der Versuchspflanzen unter dem evacuirten Recipienten der Luftpumpe zu ermöglichen, wurden an den Dreifuss in verschiedener Höhe mehrere mit Chlorcalcium gefüllte Gefässe befestigt.

Das gemeinsame Resultat aller dieser mit mehr als 100 Pflanzen angestellten Versuche war: dass die Blätter nach zwei oder höchstens drei Tagen vertrocknet waren. Das Absterben erfolgte in der Regel bei kleinen, reichbeblätterten Pflanzen schneller als bei grösseren, wenig beblätterten; schneller bei Pflanzen, aus deren unteren Schnittflächen beim Evacuiren viel Luft entwich, als wo dies nicht der Fall war; schneller, wenn das obere Ende der Zweige frisch angeschnitten wurde als bei unverletzten Pflanzen; schneller bei alten rigiden, als bei jungen Blättern [1]). Constant war ferner die Art und Weise des Vertrocknens der Blätter. Dasselbe erfolgte stets von der Spitze und dem Rande aus, meist verbunden mit Verfärbung und Bräunung.

Was wir als mögliches Resultat dieser Versuche vorausgesehen, hat sich nun in der That gezeigt; die Pflanzen transspirirten noch ziemlich viel Wasser vor dem Absterben.

Ist diese Thatsache, wie wir schon oben hervorgehoben, auch kein Beweis, dass das Saftsteigen nicht durch den Luftdruck bewirkt werde, so spricht dieselbe doch auch nicht zu Gunsten unserer Theorie und es stellt sich uns daher die Aufgabe, vorurtheilsfrei zu erwägen und zu prüfen, ob die Resultate dieser Versuche und somit der ganze Process des Saftsteigens, trotz der bisher dagegen angeführten Bedenken, nicht dennoch eine Wirkung von Diffusion oder Capillarität seien, und wenn nicht, wie sie sich als Wirkung des Luftdruckes zwanglos erklären lassen.

---

[1]) Häufig geschieht es, dass bei älteren Blättern das Parenchym, wie es scheint, in Folge der Zerstörung durch Blattläuse bis auf die obere Epidermis schwindet, so dass solche Blätter stellenweise gleichsam macerirt und wie durchlöchert erscheinen. Solche Blätter vertrockneten schon am ersten Tage.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Nicht der verminderte Luftdruck, sondern vielmehr das Verhalten der Luft im Innern der in den luftverdünnten Raum gebrachten Pflanze ist es, was uns in Anbetracht der obigen Versuchsresultate gerechtes Bedenken gegen die Richtigkeit der von uns gegebenen Erklärung des Saftsteigens einflössen muss.

Die Pflanze enthält bekanntlich nicht blos in den Spiralgefässen und Intercellularräumen, sondern auch in den saftleitenden Holzzellen etwas Luft. Wenn wir nun die Pflanze in einen luftverdünnten Raum bringen, so wird die Luft aus den Spiralgefässen und Intercellularräumen entweichen und des aufgehobenen Gegendruckes wegen sich die in den Holzzellen enthaltene Luft auszudehnen suchen. Die nothwendige Folge davon sollte nun, falls das Saftsteigen durch den Luftdruck bewirkt wird, ein alsbaldiges Vertrocknen der Pflanze sein, was aber, wie wir sahen, nicht der Fall ist.

Wenn es der Luftdruck nicht wäre, welcher die Kraft für das Saftsteigen liefert, so könnte dieses offenbar nur durch Diffusion oder Capillarität bewirkt werden.

Wir wollen hier von den oben besprochenen Gründen, welche so entschieden gegen das Saftsteigen als eine Folge von Diffusion oder Capillarität sprechen, völlig absehen und uns ausschliesslich auf das obige Versuchsresultat beschränken.

Dass das Saftsteigen in den Zellwänden nicht erfolge, geht aus obigen Versuchen klar hervor. Es wäre absolut nicht einzusehen, warum die Pflanzen am 2. oder 3. Tage in der besagten Weise absterben sollten. Wenn daher im folgenden von der Capillarität als Ursache des Saftsteigens gesprochen wird, so kann nur die Capillarattraction der Zellhöhlen gemeint sein.

Die Folgen des gestörten Druckverhältnisses zwischen der Luft ausser und innerhalb der saftleitenden Holzzellen einer in einen luftverdünnten Raum versetzten Pflanze sind offenbar von der physikalischen Beschaffenheit der Zellwand, ihrer Starrheit und Elasticität und deren Permeabilität für Luft bedingt. Es sind in dieser Beziehung folgende Fälle möglich:

1. Die Zellwände sind starr oder elastisch und für die eingeschlossene Luft impermeabel, oder in Folge des einseitigen Druckes beim Evacuiren permeabel.

Es ist klar, dass unter den angeführten Bedingungen das Saftsteigen im luftverdünnten Raume, wäre dasselbe nur Folge von

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Capillarität oder Diffusion (insbesondere in Anbetracht der oben beschriebenen Versuche mit Pflanzen in Stickgas) nicht beeinträchtiget werden könnte. Da nämlich der äussere Luftdruck durch die starren Zellwände ohnehin ganz aufgehoben würde, so wäre es, selbst bei der Impermeabilität der Zellwände für die eingeschlossene Luft ganz gleichgiltig, ob von aussen der Luftdruck wirkt oder nicht. Bei für Luft ebenfalls impermeablen elastischen Zellmembranen würde der Druck innerhalb der Zelle beim Evacuiren nicht nur nicht vergrössert, sondern nach Massgabe der Ausdehnung der Zellen und der in ihnen enthaltenen Luft sogar verringert. Würde aber die Luft durch die starren oder elastischen Zellwände entweichen, so müsste das Saftsteigen, wäre dessen Ursache nun Diffusion oder Capillarität, im luftverdünnten Raume nur um so leichter erfolgen.

2. Die Zellwände sind starr oder elastisch und werden durch die eingeschlossene Luft in Folge des schwindenden Gegendruckes beim Evacuiren zerrissen.

Wenn das Saftsteigen durch Capillarität bewirkt würde, so müsste dies nach Zerreissung der Zellen im luftverdünnten Raume ebenfalls um so leichter geschehen, da die Flüssigkeit in Röhrchen von der Weite der Zellen viel höher steigt, als die ganzen Versuchspflanzen waren.

Wenn wir nicht im Stande sind, durch das Mikroskop solche Zerreissungen nachzuweisen, so folgt natürlich nicht, dass nicht in der That eine grosse Menge von luftführenden Zellen der in den luftverdünnten Raum versetzten Pflanze zerrissen werden. Wenn man sich jedoch vergegenwärtiget und bedenkt, wie enge die Holzzellen an einander schliessen und sich gegenseitig stützen, so halte ich die Behauptung, dass alle diese saftleitenden Zellen in Folge ihres Luftgehaltes zerreissen, für noch viel unrichtiger als die, dass alle unversehrt bleiben. Man kann eine Pflanze in kurzen Abständen von den entgegengesetzten Seiten bis über das Mark einschneiden, ohne dass die oberen Theile derselben selbst in der Sonne und im Luftzuge absterben, ein Beweis, dass eine verhältnissmässig nur geringe Anzahl von Holzzellen hinreicht, den nothwendigen Saft in die Höhe zu leiten.

Mit dieser Erwägung ist aber die Behauptung derjenigen, welche das Saftsteigen als eine Folge von Diffusion (in natürlich allseitig

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

geschlossenen Bläschen) erklären, dass die Pflanzen nämlich im luftverdünnten Raume in Folge der dadurch bedingten Zerreissungen absterben, mit nichten widerlegt. Obwohl das Mikroskop nicht das Mittel ist, um hierüber in's Klare zu kommen, so lässt sich doch die Frage durch physiologische Versuche auf das Schlagendste erledigen.

Ich habe schon oben angeführt, dass bei den Versuchen mit Pflanzen in Stickstoff, um die Glasstürze mit diesem Gase zu füllen, die Luft wiederholt ausgepumpt wurde; dessen ungeachtet lebten die Pflanzen fort. Wenn ich Pflanzen unter dem auf 2 Millim. Quecksilberdruck evacuirten Recipienten der Luftpumpe so lange stehen liess, bis aus dem im Wasser befindlichen Stamme und den Wurzeln keine Luft mehr entwich, so wuchsen dieselben, in die freie Luft zurückversetzt, ganz normal weiter. Wurden die Pflanzen im luftverdünnten Raume so lange stehen gelassen, bis die Spitzen der Blätter zu vertrocknen anfingen und dann der Versuch unterbrochen, so starben diese Blätter nicht ab. Dies geschah erst, nachdem die Blätter bei Unterbrechung des Versuches schon bis zu $^1/_3$ vertrocknet waren, und zwar nicht durch fortgesetztes Vertrocknen, sondern nach erfolgter Bildung einer Trennungsschichte an der Basis. Pflanzen, welche sich mehrere Tage im luftverdünnten Raume befanden und deren Blätter alle schon völlig vertrocknet waren, entwickelten in freier Luft wieder frische Triebe. — Um zu erfahren, wie lange sich selbst die Blätter einer Pflanze im evacuirtem Raume lebend erhalten, musste der Versuch unter Umständen gemacht werden, unter welchen die Transspiration aufgehoben war, also bei absoluter Feuchtigkeit. Dies geschah in dem Fig. 2 abgebildeten Apparate, wodurch einerseits der beabsichtigte Zweck vollständig erreicht, anderseits aber die Luftpumpe nicht unnöthiger Weise zu sehr mit Wasserdämpfen verunreiniget wurde. Damit die Blätter nirgends mit Wasser in Berührung kommen und von der sonst nothwendig erfolgenden Injection geschützt waren, wurde der obere beblätterte Theil der Pflanze von der Wasserfläche und den Glaswänden des Apparates durch ein doppeltes Netz von Eisendraht, dessen beide Platten beiderseits mit starkem Papiere überkleidet waren, sorgfältig abgeschlossen. Der Spannung der Wasserdünste wegen, die sich im Recipienten ansammeln, konnte die Luft nur bis auf 18—20 Millim. Quecksilberdruck ausgepumpt werden, eine Verdünnung,

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bei welcher die Blätter in trockener Luft jedenfalls sicher am dritten Tage vertrocknen. Nach 14 Tagen waren die Pflanzen noch so frisch und gesund, als ob sie in freier Luft gestanden wären und als nach dieser Zeit der Versuch, da ich bei der gestellten Frage kein weiteres Interesse an dessen Fortdauer hatte, unterbrochen wurde, wuchsen dieselben ungehindert fort [1]). Aus dem Angeführten und bei Berücksichtigung und verständiger Würdigung des Umstandes, dass Pflanzen in einer Stickstoffatmosphäre bei gewöhnlichem Luftdrucke und im absolut feuchten luftverdünnten Raume durch 14 Tage lebend erhalten wurden, ergibt sich somit, dass, wenn das Saftsteigen durch Diffusion oder Capillarität bewirkt würde, das Absterben der Pflanzen im luftverdünnten Raume nach 1—3 Tagen geradezu unmöglich wäre.

Dass das Saftsteigen nicht eine Folge von Capillarität sei, dafür sprechen auch meine l. c. mitgetheilten Manometerversuche mit 1—2 Fuss hohen Pflanzen, von welchen beim Tansspiriren ein einer Quecksilbersäule von 22 Zoll entsprechender Luftdruck überwunden wurde. Bei der zu dieser Wirkung nothwendigen Capillarattraction wäre das Vorkommen von Luftblasen in den saftleitenden Holzzellen, und wenn diese schon vorhanden und durch die Zellwände nicht entweichen könnten, deren Ausdehnung und das Aufhören des Saftsteigens im trockenen luftleeren Raume ein physikalisches Wunder.

Ich habe schon oben angeführt, dass in todten injicirten Zweigen, welche in Wasser an die Luft gestellt werden, das Aufsteigen der Flüssigkeit einen ganz anderen Grund habe, als bei lebenden transspirirenden Pflanzen. Wurden derartige Zweigstücke statt einer Pflanze in den doppelt durchbohrten Kautschukstoppel derart in die Flaschen gestellt, dass ein 4—5 Zoll langes Stück derselben aus dem Wasser herausragte, so verloren dieselben innerhalb einer bestimmten Zeit im trockenen luftverdünnten Raume eben so unbedeutend an Gewicht, als wenn sie bei gewöhnlichem Luftdrucke neben Chlorcalcium unter einen Glassturz gestellt wurden. Diese Versuche wurden auch in der torricellischen Leere (Fig. 3) mit demselben Resultate gemacht [2]).

---

[1]) Dieser Versuch kann in mehrfacher Beziehung dem Versuche mit Pflanzen in Stickgas an die Seite gestellt werden.

[2]) Bei diesen Versuchen müssen die Zweige vollständig mit ausgekochtem Wasser injicirt sein. Die Zusammenstellung des Apparates geschieht in folgender

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Dies Ergebniss unserer Untersuchungen: dass das Verhalten der Pflanzen im luftverdünnten Raume bei der Annahme des Saftsteigens als eine Diffusions- oder Capillaritätswirkung unerklärlich sei, fordert uns auf, den oben erhobenen Einwand gegen den Luftdruck als Ursache des Saftsteigens (dass nämlich die Pflanzen im luftverdünnten Raume viel früher zu Grunde gehen müssten, als dies wirklich der Fall ist) einer genauen Prüfung zu unterziehen.

Wir haben oben angenommen, dass aus den Spiralgefässen und den Intercellularräumen der in den luftverdünnten Raum versetzten Pflanze die Luft sofort entweichen und die in den Holzzellen enthaltene Luft, des aufgehobenen Gegendruckes wegen, sich in entsprechender Weise ausdehnen werde.

Beobachtet man jedoch die unter den Recipienten der Luftpumpe versetzten Pflanzen während des Evacuirens, so sieht man aus gleich grossen Pflanzen bei Weitem nicht gleich viel Luft entweichen. Besonders auffallend ist dies, wenn man noch jüngere, nur erst schwach bewurzelte neben älteren schon stark bewurzelten Pflanzen zum Versuche wählt. Während bei ersteren aus der ganzen unteren Schnittfläche reichlich Luft herausdringt, entweichen bei stark bewurzelten Pflanzen aus der unteren Schnittfläche oft gar keine und aus den Wurzeln häufig nur sehr wenig Luftblasen. Diese Pflanzen aber leben unter gleichen Verhältnissen constant länger als die ersteren.

Nachdem ich auf diesen Umstand einmal aufmerksam war, habe ich die Pflanzen, ehe ich sie unter den Recipienten der Luft-

---

Weise: Zuerst wird an das untere Ende der engen Röhre *g* ein Stück Spagat gebunden, dasselbe mit einer Kappe verschlossen und bis *h* mit Quecksilber gefüllt. Dann wird die Röhre mit kochendem Wasser vollgefüllt, so dass die gesammte Säule einer Quecksilbersäule von 760 Millim. entspricht. Alsdann wird der sorgfältig injicirte und zuletzt durch mehrere Tage ausgekochte nasse Zweig *i* bis zur gehörigen Tiefe in das Wasser eingesenkt und mittelst eines Kautschukrohres befestiget. Das Ganze wird nun in die äussere Röhre gestellt, diese von unten mit einer Kautschukkappe in der Weise geschlossen, dass der an die Basis der inneren Röhre befestigte Spagat herausragt, bis zu *e* beiläufig mit Quecksilber gefüllt, in den weiteren Theil der Röhre dichte Stücke von geschmolzenem Chlorcalcium (*ff*) gegeben, mit Quecksilber vollgefüllt und die an den Glaswänden und an dem Chlorcalcium haftenden Luftblasen mittelst einer an einem Eisendrahte befestigten Feder sorgfältig entfernt. Endlich wird die obere Mündung der äusseren Röhre mit einem durchbohrten Kautschukstoppel und die Öffnung des letzten mit einem Glasstabe sorgfältig verschlossen, die Kautschukkappen von den unteren Röhrenenden unter Quecksilber entfernt und das herausragende Spagatende, um das Aufsteigen der inneren Röhre zu verhüten, an die äussere Röhre befestiget.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

pumpe brachte, auf ihre Durchlässigkeit von Luft in folgender Weise untersucht. Es wurde aus der Flasche das Wasser ganz oder grösstentheils ausgeleert, in die zweite Öffnung des Kautschukstoppels ein Rohr mit einem angeblasenen Trichter bis auf den Grund der Flasche eingesenkt, der ganze Apparat unter Wasser gestellt und sodann durch den Trichter in die Röhre Quecksilber gefüllt, bis die in der Flasche eingeschlossene Luft unter einem Drucke von wenigstens 30 Zoll Quecksilber stand. Es wurde Sorge getragen, dass die Schnittfläche des Stecklinges selbst bei comprimirter Luft nicht in's Wasser tauchte.

Unter den untersuchten Pflanzen fanden sich sehr viele, durch welche auf diese Weise nur sehr wenig oder gar keine Luft gepresst werden konnte [1]). Es ist dies um so auffallender, als durch frische oder getrocknete Zweige bei gleicher Behandlung die Luft durch die obere Schnittfläche wie durch ein Sieb hindurchgepresst wird. Das Hinderniss, welches sich dem Entweichen der Luft in dem zur Pflanze individualisirten Zweige entgegenstellt, liegt, wie der Versuch zeigt, an den Zweigenden. Entfernt man nämlich die Spitze des Zweiges, oder schneidet man die Pflanze oberhalb des unteren Endes von den zwei entgegengesetzten Seiten in kurzen Distanzen bis zum Marke ein, so ändert dies an der Erscheinung nichts. Werden hingegen beide Operationen an derselben Pflanze zugleich vollzogen, so entweicht die Luft wie aus einem eben geschnittenen frischen Zweige. Diese Erscheinung ist nur dadurch erklärlich, dass bei den sich zu selbstständigen Pflanzen entwickelnden Stecklingen die durchschnittenen Spiralgefässe nach und nach selbst für Luft unwegsam werden.

Auffallend ist es, dass bei einem frischen Zweige aus absichtlich verletzten Blättern bei Schonung der Mittelrippe selbst bei einem Quecksilberdrucke von einer Atmosphäre keine Luft entweicht. Dies war aber der Fall bei einer älteren Pflanze, dessen Blätter durch Aphiden macerirt und dessen unteres bewurzeltes Ende weggeschnitten ward.

Ich glaube nicht, dass die Ursache hiefür in der geringen Weite der Spiralgefässe und dem dadurch bedingten Reibungswiderstande, sondern vielmehr darin liegt, dass die feinen Blattnerven keine Gefässe, sondern nur Spiralfaserzellen besitzen.

---

[1]) Aus diesen Pflanzen entwich auch beim Evacuiren unter dem Recipienten der Luftpumpe wenig oder gar keine Luft.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wenn auch, wie ich dies bei einer anderen Gelegenheit zeigen werde, die Spiralgefässe, in Folge der Bewurzelung, für Luft unwegsam gemacht werden, so sollte diese doch durch die Intercellularräume, falls sie wirklich ein zusammenhängendes Ganglabyrinth bilden würden, entweichen können. Man muss daher annehmen, dass die lufterfüllten kleinen Räume zwischen den Holzzellen entweder abgeschlossene Lücken seien, oder dass die Verbindungscanäle so klein sind, dass durch dieselben selbst bei einem Drucke von 30 Zoll Quecksilber keine Luft gepresst werden kann, oder endlich, dass dieselben in Folge der Individualisirung des Zweiges, so wie die Spiralgefässe, durch mechanische Hindernisse (Zellenbildung) unwegsam werden.

Aus dem Gesagten ergibt sich somit, dass bei einer in den evacuirten Raum versetzten Pflanze der Luftdruck innerhalb der Pflanze anfänglich ein ganz anderer sein wird, als der von der Barometerprobe angegebene im Recipienten, dass die Luft aus den Spiralgefässen und Intercellularräumen nicht plötzlich entweicht, sondern sich nur nach und nach mit der Luft im Recipienten in's Gleichgewicht setzt. Diese Verhältnisse müssen aber auch auf die in den Holzzellen eingeschlossene Luft im luftverdünnten Raume ihren Einfluss üben.

Wären die Holzzellen trockene, ganz mit Luft erfüllte Bläschen, so wäre ihre Permeabilität für Luft zweifellos; wenn aber ihre Wände mit Wasser imbibirt sind, so wird deren Diffusionsfähigkeit und Permeabilität für Luft wesentlich alterirt [1]).

Da die Luft einen bestimmten Theil der Holzzellen ganz ausfüllt, so ist nicht erwiesen, dass die von der eingeschlossenen Luft berührten Theile der Zellwände vollständig mit Flüssigkeit imbibirt seien, und selbst wenn dies der Fall wäre, so kann man doch mit voller Bestimmtheit behaupten, dass die in den Holzzellen eingeschlossene Luft im luftverdünnten Raume, ohne dass die Zellen zu zerreissen brauchen, sich bald mit der Luft in den Intercellularräumen in's Gleichgewicht setzen werde. Die verschiedenen Gase lösen sich nämlich im Wasser in bestimmten, von dem Luftdrucke mit

---

[1]) Hierüber belehren uns recht augenscheinlich die bekannten Luftpumpenversuche mit zugebundenen trockenen und nassen Thierblasen und die Injection des Hollundermarkes mit Wasser im luftverdünnten Raume.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

bedingten Verhältnissen auf. Die in der Pflanze enthaltenen Gase sind daher auch von dem in der Zellwand imbibirten Wasser in gewisser Menge gelöst. Entweicht Luft aus den Intercellularräumen, so wird eine dem geänderten Druckverhältnisse entsprechende Menge aus dem Imbibitionswasser der Zellwand in dieselben austreten und die Flüssigkeit in den Zellwänden sich wieder mit Zellluft für den entsprechenden Druck derselben sättigen u. s. w. Diese Diffusion wird um so schneller vollendet sein, als die in den Holzzellen enthaltene Luft reicher ist an Kohlensäure, wovon das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur und Luftdrucke bekanntlich ein ganzes Volum absorbirt. Der auf diese Weise hergestellte Gleichgewichtszustand wird aber, wenn die peripheren Zellen in Folge der Verdunstung Wasser verlieren, sofort gestört und sich theilweise wenigstens durch das aus den unteren Zellen nachgesaugte Wasser so lange wieder herzustellen trachten, als der Druck der in den Intercellularräumen befindlichen Luft noch ausreicht, die hierzu nothwendige Spannkraft aufzubringen.

Die vorstehenden Erwägungen sind, wie ich glaube, geeignet, uns zu überzeugen: dass das noch einige Zeit andauernde Saftsteigen bei den in den luftverdünnten Raum versetzten Pflanzen, durchaus nicht gegen das Saftsteigen als eine Wirkung des Luftdruckes und der Elasticität der Zellwände, sondern im Gegentheile vielmehr zu Gunsten unserer Theorie spricht.

Mit der eben erörterten Frage über die Permeabilität der Zellwände für Gase und mit der über die Ursache des Saftsteigens überhaupt hängt auch die Frage innig zusammen: Wie kommt die Luft in die Holzzellen?

Die Luft kann möglicher Weise entweder in dem die Zellen passirenden Wasser gelöst in die Holzzellen importirt werden, oder es wird dieselbe in Folge des Assimilationsprocesses entbunden oder aber aus den Intercellularräumen eingesaugt.

Würde die Luft, von dem Nahrungssafte aufgelöst, in die Holzzellen gelangen (denn im jugendlichen Zustande enthalten sie natürlich keine Luft) und in dieselben vielleicht in Folge der Reibung beim Durchgange durch die Zellwände abgeschieden, oder wäre dieselbe ein Product des Assimilationsprocesses, so wäre einerseits nicht einzusehen, warum diese Abscheidung nicht schon in den Zellen der Wurzel und nicht auch in denen des Blattparenchymes

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

und jedem dünnwandigen, unvollständigen, lebenden, saftführenden Gewebe erfolgt, und andererseits bliebe es unerklärlich, warum sich die Holzzellen nicht sehr bald ganz mit Luft füllen, da ja sowohl das Saftsteigen als die Assimilation unter gleichen Bedingungen fortdauern.

Die Luft in den saftleitenden Holzzellen stammt meines Erachtens zweifellos aus den Intercellularräumen oder aus den an die Holzzellen anliegenden Spiralgefässen. Werden nämlich die Wände der Holzzellen durch den Luftdruck in Folge deren gegenseitiger Lagerung bei starker Verdunstung und trockenem Boden in eine grosse Spannung versetzt, so muss in den Zellen ähnlich wie bei dem Blasenversuche Luft eintreten.

In Folge der Bedingungen des Saftsteigens ist es klar, dass, wenn die Verdunstung bei mangelnder Wasserzufuhr lange andauert, die Blätter eher vertrocknen werden, als bis aus den Holzzellen der letzte Wassertropfen verschwunden ist. Wurde aber in Folge der erwähnten Vorgänge in die Holzzellen eine übergrosse Luftmenge hineingepresst, so wird sich bei genügender Wasserzufuhr und gehemmter Verdunstung wieder bald ein für das Saftsteigen normaler Zustand herstellen. Der in die Zellen aufgenommene Sauerstoff verwandelt sich auf Kosten des organischen Zellinhaltes in Kohlensäure, welche einerseits von der Zellflüssigkeit absorbirt wird, und andererseits, so wie der zurückgebliebene Stickstoff durch die Zellwand hindurchdiffundirt. Völlig luftfrei kann begreiflich die Zelle nimmer werden.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht glaube ich auch einen directen Beweis gefunden zu haben. Ich habe nämlich stark bewurzelte Weidenpflanzen, welche selbst bei einem Drucke von 30 Zoll Quecksilber für Luft impermeabel waren, in Manometern aber das Quecksilber über 20 Zoll hoben [1]), durch mehrere Tage in einen absolut feuchten Raum gegeben und dann so schnell als möglich Längsschnitte aus dem Holze auf den trockenen Objectträger gebracht und das Deckglas rundum mit Wasser eingesäumt. Ich sah

---

[1]) Diese Pflanzen wurden so wie die zu den obigen Versuchen verwendeten, in Flaschen gezogen, welche durch die eine Öffnung des doppelt durchbohrten Kautschukstoppels gesteckt waren. Vor dem Versuche wurde die Flasche mit ausgekochtem Wasser gefüllt und die zweite Öffnung des in den Hals der Flasche gut eingeriebenen Kautschukstoppels mit einem Glasstabe luftdicht verschlossen.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

keine Formveränderung der in den Holzzellen eingeschlossenen Luftblase. Es wurden nun dieselben Pflanzen im Luftzuge an die Sonne gestellt, und als die Spitzen mehrerer Blätter zu vertrocknen angefangen, so wie oben, Längsschnitte aus dem Holze unter das Mikroskop gebracht. Meine Vermuthung zeigte sich bestätiget. Sobald das Wasser in die Holzzellen eingedrungen, sah ich die meisten Luftblasen, ohne ihre Dicke zu verändern, sich bedeutend verkürzen. Dies ist nur dadurch möglich, dass die Luft in den Holzzellen verdünnter war als die der Atmosphäre, und dass die nasse Zellwand für Wasser permeabler ist als für Luft. Dieselbe Erscheinung zeigte sich auch, wenn das Object mit kohlensaurem Wasser befeuchtet wurde — eine Entgegnung, auf den allerdings, wie ich glaube, nicht sehr begründeten Einwand, dass die Verkürzung der Luftblase durch Absorption der in den Zellen enthaltenen Kohlensäure bedingt war.

Nachdem ich einmal wusste, dass die Pflanzen im luftverdünnten, absolut feuchten Raume, wo alle Lebensprocesse stille stehen, nicht abstirbt, so war mir auch der Fingerzeig gegeben, durch den Versuch meine Behauptung zu bekräftigen: dass im luftverdünnten trockenen Raume das Saftsteigen so lange andauere, als von der Grösse der Differenz des in der Pflanze vorhandenen Luftdruckes in- und ausserhalb der Zellen die zur Hebung des Nahrungssaftes nothwendige Kraft geliefert wird. Es handelte sich hierbei darum, den Luftdruck im Inneren der im trockenen luftverdünnten Raume befindlichen Pflanze länger als bei den früheren Versuchen in zur Bewirkung des Saftsteigens nöthiger Grösse zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurden die Flaschen, in welcher die Versuchspflanzen gezogen waren, ganz mit Wasser gefüllt und nachdem der Kautschukstoppel fest in den Hals der Flasche eingerieben war, die zweite Öffnung desselben mit einem Glasstabe hermetisch verschlossen. Hierdurch wurde das Entweichen der Luft durch die in der Flasche eingeschlossenen Pflanzentheile verhindert und somit das Entweichen der Luft aus der Pflanze verlangsamt.

Das Resultat des Versuches bestätigte meine Voraussetzung: die Pflanzen lebten stets länger als bei den vorhergegangenen Versuchen, manche sogar fünf Tage; dann vertrockneten die Blätter in der früher angegebenen Weise von der Spitze und den Rändern aus.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Wenn die Pflanzen bei diesen Versuchen länger lebten als bei den früheren, so lag es nahe, anzunehmen, dass dieselben noch länger frisch bleiben müssten, wenn die hermetisch verschlossene Flasche statt ganz mit Wasser, theilweise mit Luft gefüllt würde.

Zu diesen Versuchen wurden die Pflanzen stets früher auf ihrer Durchlässigkeit von Luft bei einem Drucke von 30 Zoll Quecksilber in der pag. 552 angegebenen Weise geprüft. Das Resultat bewahrheitete auch hier die gemachte Annahme. Hinsichtlich der allgemein längeren Lebensdauer gelten mit Bezug auf die einzelnen Versuchspflanzen die pag. 22 angegebenen Verschiedenheiten mit dem Beisatze, dass sich die Blätter jedenfalls drei Tage, und wenn die Pflanze für Luft ganz impermeabel war und ihr in grossen Flaschen sehr viel Luft zugeführt wurde, sich dieselben nicht selten sechs Tage lang frisch erhielten.

Wurden die Apparate vor und nach dem Versuche gewogen, so erfuhr ich die Menge des während des Versuches transspirirten Wassers. Wurden die Apparate sodann in umgekehrter Stellung unter Wasser geöffnet, gewogen und dann mit Wasser vollgefüllt wieder gewogen, so konnte man leicht die Verdünnung der Luft in der Flasche am Schlusse des Versuches berechnen. Es zeigte sich stets, dass nach dem Vertrocknen der Blätter die in der Flasche befindliche Luft, die Spannung der Wasserdünste mit eingerechnet, dieselbe Tension besass, wie die im Recipienten der Luftpumpe.

Um auch hier dem allerdings schon zurückgewiesenen Einwande zu begegnen, dass bei diesen Versuchen die längere Lebensdauer durch den den Pflanzen zugeführten Sauerstoff bedingt sei, wurde in die Flaschen statt atmosphärischer Luft, Stickstoff eingeschlossen [1]).

---

[1]) Zu diesem Zwecke wurde in einem enghalsigen Kolben destillirtes Wasser durch drei Stunden gekocht. Um zu verhüten, dass dasselbe während der Abkühlung atmosphärische Luft einsauge, wurde in den Kolben mittelst eines auf dessen Hals aufgesetzten Kautschukrohres der über glühende Kupferspäne geführte und so von Sauerstoff völlig befreite Stickstoff geleitet. Die Flaschen wurden nun mit diesem ausgekochten Wasser gefüllt, dasselbe dann mit Stickstoff verdrängt, abermals unter geeigneter Vorsicht mit dem ausgekochten Wasser gefüllt und dieses dann aus dem umgekehrt in's Wasser gesenkten Apparate beiläufig bis zur Hälfte durch Stickgase verdrängt.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Bei diesen mit zwölf Pflanzen angestellten Versuchen konnte hinsichtlich der Zeit, nach welcher das Vertrocknen der Blätter erfolgte, im Vergleiche mit den früheren Versuchen, kein Unterschied constatirt werden.

Wurde statt atmosphärischer Luft oder Stickstoff hingegen Wasserstoff oder Kohlensäure angewendet, so gingen die Pflanzen sehr bald (nach 10—20 Stunden) eben so zu Grunde, als ob die ganzen Pflanzen in derartige Gase gestellt worden wären. Das Vertrocknen der Blätter erfolgte nicht von der Spitze und dem Rande her, sondern in ihrer ganzen Grösse gleichzeitig. Diese durch oft wiederholte Versuche festgestellte Thatsache ergibt sich bei unserer Theorie des Saftsteigens als eine nothwendige Folge des durch die genannten Gase bewirkten Todes der Zellwände.

War es einmal sicher gestellt, dass die Versuchspflanzen dann, wenn ihnen aus hermetisch verschlossenen Gefässen nebst Wasser auch Luft zugeführt wurde, auffallend länger lebten, als wenn auch aus dem Wasser der Flasche und dem unteren Theile der Pflanze die Luft direct entweichen konnte, so musste ich daran denken, den Versuch so zu modificiren, dass die in der hermetisch verschlossenen Flasche befindliche Luft unter dem evacuirten Recipienten der Luftpumpe, constant unter dem Drucke der Atmosphäre erhalten wurde. Bei der Richtigkeit unserer Theorie des Saftsteigens mussten die Blätter der Pflanzen alsdann unverhältnissmässig länger als bei den früheren Versuchen und zwar so lange frisch bleiben, als sich unter diesen Verhältnissen die Elasticität der Zellwände in dem zum Saftsteigen nothwendigen Grade erhielt und die im Pflanzenkörper enthaltene Luft die erforderliche lebendige Kraft liefern konnte.

Es handelte sich nun darum, obiger Bedingung: die in der hermetisch verschlossenen Flasche befindliche Luft unter dem evacuirten Recipienten der Luftpumpe constant unter dem Drucke der Atmosphäre zu erhalten, gerecht zu werden. Zu diesem Behufe liess ich den schon pag. 544 erwähnten Luftpumpenteller construiren, auf dessen Scheibe drei durch Hähne absperrbare Messingröhren eingekittet sind. Diese Röhren ragen jede einen halben Zoll über die Fläche des Tellers hervor und sind an ihrem oberen Ende etwas ausgerandet. Alles weitere wird durch einen Blick auf Fig. 4, klar.

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Um der in die Flasche eingeschlossenen und eingeleiteten Luft den Eintritt in die Pflanze zu erleichtern, wurden über den Wurzeln auf den entgegengesetzten Seiten in einem Abstande von beiläufig einem Zoll bis in das Mark reichende Einschnitte gemacht und die Pflanzen sodann in der pag. 28 beschriebenen Weise auf ihre Durchlässigkeiten von Luft geprüft. Es wurden zu den Versuchen nur gut schliessende, nicht zu grosse, 15—20 blättrige Pflanzen gewählt. In die zweite Öffnung des Kautschukstoppels wurde ein geeignet gebogenes Glasrohr luftdicht eingesenkt und die drei Apparate so auf den oben beschriebenen Dreifuss befestiget, dass das untere Ende jedes Rohres gerade ein aus der Fläche des Luftpumpentellers hervorragendes Messingrohr berührte. Je ein Glas- und Messingrohr wurden nun mittelst eines mässig dicken Kautschukstoppels, der früher, um ihn völlig luftdicht zu machen, im Wasserbade mit geschmolzenem Schweinfette imprägnirt ward, sorgfältig verbunden.

Nebst diesen drei Pflanzen wurden unter den Luftpumpenrecipienten noch drei andere Apparate α, β und γ mit möglichst ähnlichen Pflanzen gegeben. Bei α war die zweite Öffnung des Kautschukstoppels mit einem in ein Haarröhrchen ausgezogenen Glasrohre verschlossen, bei β war das luftdicht verschlossene Gefäss ganz mit Wasser, bei γ theils mit Wasser, theils mit Luft gefüllt. Der vielen Versuchspflanzen einerseits und andererseits der Voraussetzung wegen, dass das Experiment ziemlich lange dauern würde, wurde sehr viel Chlorcalcium in mehreren Gefässen mit unter den Recipienten der Luftpumpe gebracht. Aus Gründen, die ich seinerzeit entwickeln werde, wurden auch mehrere Gefässe mit Ätznatron an einen Dreifuss befestiget.

In dem einen der drei mit den Messingröhrchen verbundenen Apparate wurde atmosphärische Luft, in den zweiten Sauerstoff und in den dritten Stickstoff geleitet. Dieser wurde in der pag. 543 beschriebenen Weise durch Verbrennen von Phosphor dargestellt, in einem Gasometer angesammelt und bei dem Versuche durch pyrogallussaures Kali von allem Sauerstoffe befreit und endlich im Wasser gewaschen.

Ehe diese Gase in die betreffenden Apparate eingeleitet wurden, liess ich, nachdem der Recipient auf 10 Millim. Quecksilberdruck evacuirt war, in jede Glasröhre etwas Wasser aufsteigen. Dies geschah dadurch, dass ich auf das untere Ende der Messingröhrchen

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

ein kleines Kautschukrohr steckte und dieses in Wasser tauchte. Je mehr die Pflanze verdunstet, und je schneller die Luft aus dem Apparate entweicht, desto schneller erfolgt natürlich das Aufsteigen des Wassers. Früher kommt man zum Ziele, wenn man an dem Kautschukrohre etwas saugt und dann das mit dem Finger verschlossene Ende in Wasser taucht. Diese Wassersäule dient dazu, jede in dem Apparate aufsteigende Luftblase ersichtlich zu machen. Es ist klar, dass man, wenn in Folge der Transspiration bei längerer Dauer des Versuches zu viel Wasser aus den Flaschen verschwunden, dasselbe wieder in beliebiger Menge kann nachsteigen lassen.

In die Apparate, in welche man Sauerstoff und Stickgas leitet, wird natürlich beim Beginne des Versuches atmosphärische Luft mit eingeschlossen und so sind bei aller Vorsicht die angewendeten Gase nicht rein. Der Stickstoff in dem mit Sauerstoff gespeisten Apparate ist natürlich nicht von Belang. Den Sauerstoff in dem Apparate mit Stickgas, suchte ich, so weit als thunlich, dadurch zu entfernen, dass ich an die Versuchspflanze unterhalb des Stoppels eine kleine Eprouvette mit festen Kalistückchen und Pyrogallussäure befestigte. Das Kali zieht sehr bald hinreichend Feuchtigkeit an. Eine Kalilösung anzuwenden, ist desshalb nicht rathsam, weil die Lösung einerseits bei der Zusammenstellung des Apparates leicht verschüttet wird, und dieselbe andererseits, ehe der Versuch in den Gang kommt, zu viel Sauerstoff anzieht. Übrigens halte ich die ganze Vorsicht für übertrieben.

Wenn man die Pflanzen oberhalb der Wurzeln eingeschnitten hat, so genügt es, damit hinreichend Luft in dieselben eindringen könne, wenn sie nur bis unterhalb des unteren Einschnittes von Luft umgeben sind; die ursprünglich in die Flasche mit eingeschlossene Sauerstoffmenge ist alsdann eine geringe und entweicht natürlich sehr bald.

Wenn die Luftpumpe noch so gut schliesst, so wird der Luftdruck im evacuirten Cylinder, in Folge des, wenn auch langsamen Entweichens der Gase durch die Pflanzen, nicht völlig constant sein. Bei meinen Versuchen stieg das Quecksilber in der Barometerprobe nie über 24 Millim. Das Auspumpen wurde von 12 zu 12 Stunden wiederholt.

Das Resultat des Versuches war folgendes: Die Blätter der zu dem Versuche α verwendeten Pflanze fingen am zweiten Tage von

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

der Spitze und dem Rande her zu vertrocknen an. Bei den Versuchen β und γ geschah dies erst am dritten bis fünften Tage, während an den drei anderen Pflanzen noch keine Spur einer Veränderung bemerkbar war. Dies war, als der Versuch zum ersten Male gemacht wurde, selbst noch nach zehn Tagen der Fall. Da aber alsdann die Chlorcalciumgefässe schon fast ganz mit Wasser gefüllt waren, so musste der Recipient abgehoben werden, wobei die mit Stickstoff gespeiste Pflanze zu Grunde ging und von den zwei anderen Apparaten die Röhren zerbrochen wurden.

Als am 1. October der Versuch in der oben angegebenen Weise zum zweiten Male gemacht wurde, war mein Vorrath an Versuchspflanzen schon ziemlich zu Ende. Für den Versuch mit Sauerstoff und atmosphärischer Luft hatte ich noch ganz geeignete Objecte, die Pflanze jedoch, welche zu dem Versuche mit Stickstoff bestimmt wurde, besass nur einige kleine gesunde Blättchen, während die älteren Blättchen schon sehr rigid und an mehreren Stellen ganz durchlöchert waren.

Bei diesem Versuche verhielten sich die drei Pflanzen, welchen keine frische Luft zugeführt wurde, im Wesentlichen wie bei dem vorhergehenden Versuche. Bei der Pflanze, welcher Stickstoff zugeführt wurde, waren die alten Blätter schon am fünften Tage völlig vertrocknet, während die kleinen Blättchen derselben so wie die Blätter der zwei anderen mit Sauerstoff und atmosphärischer Luft gespeisten Pflanzen noch am 14. October völlig frisch und unversehrt waren. Am 16. October begannen auch die Spitzen dieser Blätter zu vertrocknen, das Absterben derselben schritt aber sehr langsam vor und war erst am 30. vollendet.

Ich werde diese Versuche im kommenden Frühjahre wiederholen.

Um zu erfahren, wie gross der zum Saftsteigen nothwendige Luftdruck sein müsse, brachte ich drei Pflanzen, bei welchen die zweite Öffnung des Kautschukstoppels mit einem in ein Capillarröhrchen ausgezogenen Glasrohre verschlossen war, unter den bis auf 5 Zoll Quecksilberdruck evacuirten Recipienten der Luftpumpe. — Nach 14 Tagen waren die äussersten Spitzchen der Blätter verschrumpft, sonst aber noch ganz frisch und gesund und erhielten sich, als der Versuch dann abgebrochen wurde, völlig unverändert. Das während der Versuchszeit sistirte Wachsthum der Pflanzen schien

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

nun mit erneuerter Kraft wieder zu beginnen, die an der Spitze der Zweige gebildeten Sprossen glichen aber nicht den continuirlich fortgewachsenen Zweigen; es blieben deren unterste Blättchen viel kleiner, wie dies an den im Frühjahre hervorbrechenden Zweigen der Fall ist. Auch diese Thatsache scheint mir nicht ganz unwichtig zu sein.

Wenn wir alle angeführten Versuchsresultate und Schlussfolgerungen zusammenfassen, so ergibt sich mit Nothwendigkeit: dass die zum Saftsteigen erforderliche Kraft von dem Luftdrucke geliefert und in den elastischen Zellwänden in Folge der Transspiration, d. i. durch Wärme, in Spannkraft umgesetzt werde, dass mit einem Worte der ganze Vorgang des Saftsteigens im Wesentlichen ein Saugungsprocess sei.

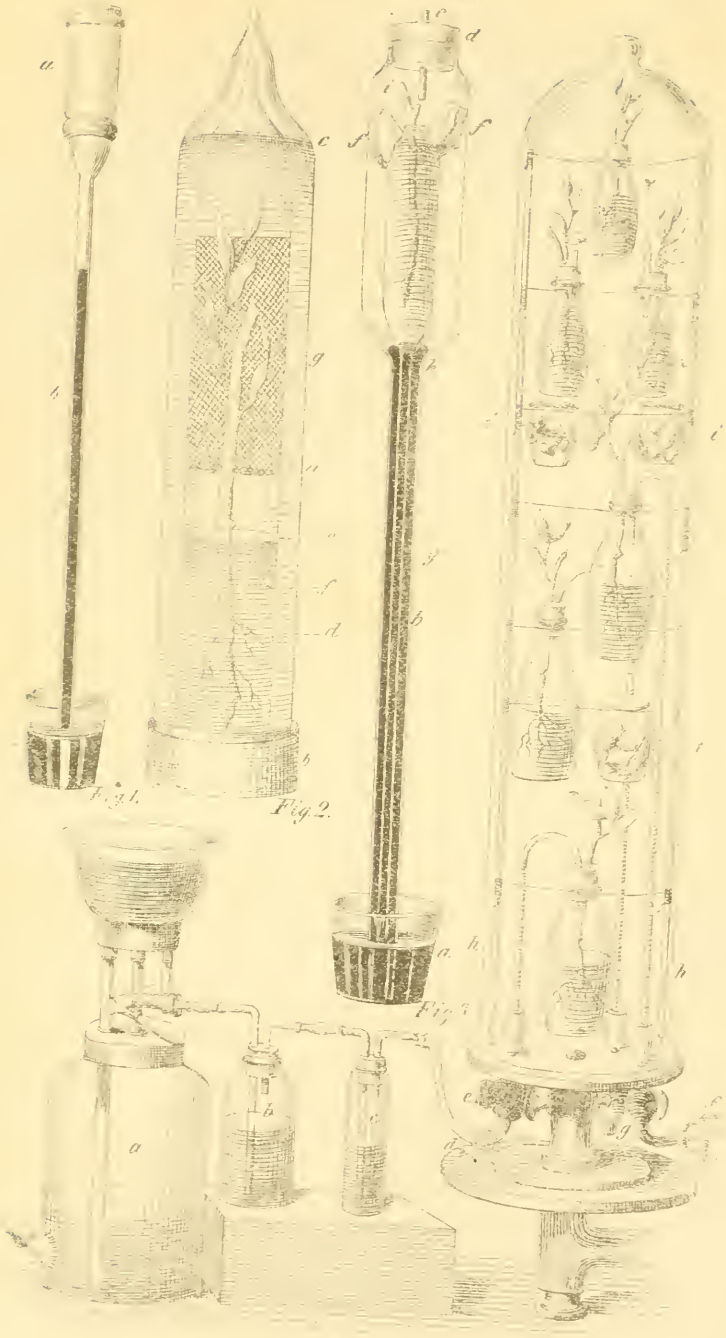
Erklärung der Tafel.

Die Tafel wurde nach der von dem Factor der k. k. Hof- und Staatsdruckerei, Herrn A. Knoblich, angeregten Methode: Zeichnungen mittelst chemischer Tinte auf Zink zu übertragen, ausgeführt, — eine Methode, die sich nicht nur durch die Einfachheit des Verfahrens, sondern auch durch ihre Billigkeit auszeichnet, und überdies noch den Vortheil gewährt, zinkographirte Stöcke mit in den Text drucken zu können, wodurch der viel kostspieligere lithographische Druck theilweise entfällt.

Fig. 1. Apparat zur Veranschaulichung des Saftsteigens in Folge des Luftdruckes und der Elasticität der Zellwände. *a)* Oben geschlossenes Kautschukrohr; *b)* Glasröhre; *c)* Gefäss mit Quecksilber. (S. pag. 539, Note.)

„ 2. Apparat zu dem Versuche mit Pflanzen im luftverdünnten, absolut feuchten Raume. *a)* Äussere, unten mit der Kautschukkappe, *b)* geschlossene, und bis *c)* mit Wasser gefüllte Röhre; *d)* innere Röhre, unten ebenfalls mit einer Kautschukkappe geschlossen und bis *e)* mit Wasser gefüllt; *f)* die Versuchspflanze, welche von dem unteren Wasserniveau und von den Glaswänden durch das mit Papier überzogene Drahtgitter *g)* abgeschlossen ist. (S. pag. 549.)

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum



Lond. [illegible] Bd. [illegible]

[illegible] k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Download from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum

Fig. 3. Apparat zu den Verdunstungsversuchen vollständig injicirter Zweige in der Torricellischen Leere. *a)* Gefäss mit Quecksilber; *b)* äussere Röhre, welche bis *c)* mit Quecksilber (28 Zoll hoch) gefüllt und oben mit dem durchbohrten Kautschukstoppel *d)* sorgfältig verschlossen ist; *e)* Glasstab, luftdicht in die Öffnung des Kautschukstoppels gesteckt; *f, f)* Chlorcalcium-Stücke; *g)* innere Glasröhre, bis *h)* mit Quecksilber und von da an mit Wasser gefüllt; *i)* injicirter Zweig. (S. pag. 550 und 551 Note.)

„ 4. Apparat zu den Versuchen mit Pflanzen im luftverdünnten Raume, wo die in die drei unteren Flaschen mit eingeschlossene Luft immer unter dem Atmosphärendrucke erhalten wurde. *a)* Gasometer mit Stickgas; *b)* Gefäss mit pyrogallussaurem Kali; *c)* Gefäss mit Wasser; *d)* Quetscher, um das Zuleitungsrohr *e)* zu verschliessen, wenn man in die Flasche Wasser nachsteigen lässt; *f)* Röhre, durch welche Sauerstoff zugeleitet wurde; *g)* Hahn des auf die Luftpumpe aufgesetzten Tellers, durch welchen atmosphärische Luft eintrat; *hh)* Gestell aus Eisendraht, an welches die verschiedenen Apparate befestigt sind; *iii)* Gefässe mit Chlorcalcium. — Alles übrige ist selbstverständlich. (S. pag. 558 und 559.)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1865

Band/Volume: 50

Autor(en)/Author(s): Boehm Josef

Artikel/Article: Wird das Saftsteigen in den Pflanzen durch Diffusion, Capilarität oder durch den Luftdruck bewirkt? 525-563