

c
ÜBER DIE
POROSITÄT DES HOLZES.

VORLÄUFIGE MITTHEILUNG

VON

J. SACHS.

WÜRZBURG.

DRUCK UND VERLAG DER STAHEL'SCHEN BUCH- & KUNSTHANDLUNG.

1877.

I
4.

Das Holz besteht aus einem Gerüst verholzter Zellstofflamellen, welche Hohlräume (Zellenräume) umschliessen. Je nach Umständen können die Hohlräume Wasser oder Luft (mit Wasserdampf) oder beides enthalten; die Wände selbst können trocken oder wasserhaltig (imbibirt) sein; mit dem Wassergehalt ändert sich ihr Volumen oder ihr Quellungszustand. — Die Zellräume des Holzes sind capillare Räume; die Zellwände selbst enthalten dagegen, wie unten gezeigt werden soll, keine Capillaren, in welche Flüssigkeit oder Luft ohne Weiteres eindringen könnte.

Um die durch die Transpiration und andere Ursachen hervorgerufene Bewegung des Wassers im Holz beurtheilen zu können, muss man die Capillarität der Hohlräume von der Imbibition der Zellwände scharf unterscheiden.

Bei der experimentellen Untersuchung sind die offenen Gefässröhren des Dicotylenholzes oft störend, zuweilen aber auch günstig. Im ersten Fall bietet das Coniferenholz, zumal wenn es keine Harzgänge besitzt, wie bei *Taxus* und *Abies pectinata*, das erwünschte Material.

1) Ob die Hohlräume der Holzellen durch offene Canäle (in den gehöften Tüpfeln) unter einander in Verbindung stehen, oder ob die gehöften Tüpfel geschlossen, die Hohlräume der Zellen also auch allseitig geschlossen sind, diese Frage ist bisher verschieden beantwortet worden. *Th. Hartig* hielt die gehöften Tüpfel für geschlossen; *Schacht*, *Unger*, *Sanio*, ich und Andere glaubten, die feine, den Tüpfelraum durchsetzende Haut verschwinde später und die Zellen öffnen sich so ineinander. *Sanio* erklärte sich

neuerdings, auf anatomische Untersuchungen gestützt, für die Persistenz des fraglichen Häutchens und somit für die Geschlossenheit der Holzzellen. ¹⁾ Da mir der anatomische Befund, selbst nach den sorgfältigen Auseinandersetzungen eines so ausgezeichneten Phytotomen, wie *Sanio*, doch nicht alle Zweifel löste, so griff ich zunächst auf den von *Hartig* zuerst gemachten Versuch, in Wasser fein zertheilten Zinnober durch Tannen- und Taxusholz zu filtriren, zurück, den ich jedoch in anderer Form einrichtete. Die beste Sorte des in eckigen Stücken als Malerfarbe käuflichen Zinnobers wurde in viel destillirtem Wasser diluirt, dann wiederholt durch Filtrirpapier filtrirt. Das Filtrat enthält den Zinnober in so feinen Körnchen, dass sie sämmtlich lebhaft „Molecularbewegung“ zeigen und selbst nach mehreren Tagen nicht zu Boden sinken. Frisch vom lebenden Stamm abgeschnittene Holzcyylinder von 3—4 ctm. Länge wurden an das untere Ende eines Glasrohrs befestigt, welches oben mit einem weiten Gefäss versehen war; Rohr und Gefäss wurden mit der Zinnoberemulsion gefüllt, so dass auf dem Holzcyylinder ein constanter Wasserdruck von 160 ct. Höhe lastete. Die Versuche dauerten 1—3 Tage. Das durchfiltrirende Wasser war vollkommen klar, es enthielt keine Spur von Zinnober. Der obere Querschnitt eines so behandelten Holzcyinders zeigt alle Schichten von Frühjahrsholz satt zinnoberroth, die des Herbstholzes nicht oder in radialen Streifen roth, das Kernholz ganz ungefärbt. Spaltet man den Holzcyylinder, so findet man ausnahmslos den Zinnober nur 2—3 Mill. tiefeingedrungen entsprechend der Zellenlänge der von mir benutzten Holzstücke; das übrige Holz ist vollkommen farblos. Die mikroskopische Untersuchung von Querschnitten, radialen und tangentialen Längsschnitten zeigt, dass die Mehrzahl der geräumigen Frühlingsholzzellen gänzlich mit Zinnober, bis an ihre unteren Spitzen erfüllt sind; auch die Tüpfelräume (Höfe) derselben Zellen sind mit dem Zinnober dicht angefüllt, so zwar, dass man deutlich sieht, wie die Körnchen durch den einen Tüpfelcanal in den Hofraum eingedrungen sind, diesen erfüllt haben, aber offenbar auf der anderen Seite, an der Stelle, wo sich der Hofraum in die benachbarte Zelle zu öffnen scheint, einem Hinderniss begegnet sind, welches ihre weitere Bewegung

¹⁾ *Sanio* Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. IX. 1873—74.

aufhielt. Neben den so erfüllten Zellen liegen oft, wie man zumal auf tangentialen Längsschnitten erkennt, leere Zellen. Jedenfalls sind die mit Zinnober erfüllten solche, welche durch das Abschneiden des Holzstückes geöffnet worden sind. Das Wasser filtrirt durch die Tüpfel in die benachbarten und tieferen Zellen und lässt die Körnchen offenbar an einer auswärts gedrängten feinen Haut, der Schliesshaut des Tüpfels, zurück. Wie die Holzzellen gegen die Herbstgrenze hin immer enger und enger werden, so nimmt auch ihr Zinnobergehalt ab; die letzten Herbstholzzellen scheinen gar keinen Zinnober aufzunehmen und auch die etwas weiter nach innen im Jahresring liegenden sind nur zum Theil erfüllt; gewöhnlich sind es radiale Reihen solcher Zellen, welche, vom Frühlingsholz ausgehend, fast bis an die äusserste Grenze des Herbstholzes Zinnober führen, während die zwischenliegenden Reihen farblos sind. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Spiegelfasern (Markstrahlen) keinen Zinnober enthalten.

Diese Ergebnisse bestätigen also *Hartig's* und *Sanio's* Angaben, wonach die gehöften Tüpfel des Frühlings- und eines Theils des Herbstholzes geschlossen sind. ¹⁾

Dennoch existiren an der Grenze des vorausgehenden Herbst- und des nachfolgenden Frühlingsholzes offene Communicationswege, welche Luft durchlassen, wie folgende Erfahrungen zeigen.

Befestigt man einen circa 3—4 Ctm. langen Holzcyylinder vom lebenden Stamm mittels eines dicken Kautschukschlauches an den einen Schenkel eines *U* förmigen Rohrs und giesst man in den anderen Quecksilber, so dass der auf der Luft im vorigen Schenkel lastende Ueberdruck 15—20 Ct. beträgt, und taucht man dann das Ganze unter Wasser, so sieht man aus jeder Grenzlinie zwischen Herbst- und Frühlingsholz einen Kreis feinsten Luftblasen ausströmen, die so lange stromweise hervorsprühen, als der Druck hinreichend gross ist; aus der breiten Lage des Frühlingsholzes kommt dagegen keine Luft. Ob diese äusserst feinen Bläschen aus den letzten Herbstholzzellen oder aus den ersten Frühlingszellen kommen, ist nicht deutlich zu sehen,

¹⁾ Damit ist *Quinke's*, schon von *Wiesner* bestrittene Annahme, das Wasser steige an den Oberflächen der Holzzellen empor, beseitigt.

doch glaube ich, dass Ersteres der Fall ist. Gewöhnlich kommt auch aus den Gefässen der Markkronen ein Blasenstrom. Dieser Versuch wurde mit sehr wasserreichem Holz der Tanne im Januar, und von *Pinus laricio*, *P. Brutia* und *P. pinsapo* im Februar gemacht. — Dasselbe Resultat giebt aber auch lufttrockenes Tannenholz. Ist dieses dagegen mit Wasser künstlich überladen, durch langes Stehen des unteren Endes in Wasser, dann ist selbst bei sehr hohem Druck keine Luft durch das Holz zu pressen. Es wird Aufgabe weiterer anatomischer Untersuchungen sein, diejenigen Elemente des Coniferenholzes aufzusuchen, welche für Luft gangbar sind.

Macht man den vorigen Versuch so, dass der Raum zwischen Quecksilber und Holz im *U* Rohr von Wasser eingenommen ist, so bemerkt man bei dem Auf- und Abneigen desselben, dass das durch das Holz filtrirende Wasser zuerst aus dem Frühlingsholze kommt; es ist sogar fraglich, ob aus dem äussersten Herbstholz überhaupt Wasser ausfiltrirt.

2) Die Kenntniss des *Filtrationswiderstandes* der Holzzellwände ist zur Beurtheilung der natürlichen Vorgänge im Holz von grosser Wichtigkeit. Von meinen sehr zahlreichen darüber angestellten Versuchen will ich hier nur einige anführen.

Ist das Tannenholz sehr wasserreich, so genügt der kleinste denkbare Druck, Wasser durch dasselbe hindurchzupressen. Diess zeigt z. B. der zuletzt beschriebene Versuch mit dem *U* Rohr; das Wasser quillt solange oben aus, bis der Druck vollkommen ausgeglichen ist; indem man den oberen Querschnitt, aus dem das Wasser hervorquillt öfter abtrocknet und mit der Lupe besichtigt, kann man sich leicht überzeugen, dass das Wasser nicht etwa aus einzelnen gröblichen Poren, sondern ganz gleichförmig aus dem Frühlingsholz hervorquillt. — Dass schon sehr geringe Druckdifferenzen das Wasser im Holz durch die geschlossenen Zellwände hindurchdrücken, zeigen auch meine früheren Angaben über das Ausquellen und Wiedereinsaugen des Wassers, wenn wasserreiche Holzstücke bald erwärmt bald abgekühlt werden, wobei schon unbedeutende Temperaturänderungen der Luftblasen in den Holzzellen die nöthigen Druckdifferenzen liefern.¹⁾ Womöglich noch einfacher und lehrreicher ist folgende Erfahrung. Schneidet man die Endflächen eines sehr wasserreichen aber

¹⁾ Vergl. *Sachs botan. Zeitg.* 1860. Nr. 29.

lebensfrischen Tannenstammes mit dem Messer glatt und hält man das Holz nun vertical, so erscheinen die obere und untere Querschnittsfläche trocken. Setzt man nun auf den oberen Querschnitt mit Hilfe eines Pinsels eine dünne Wasserschicht, so sinkt diese sofort in das Holz ein und am unteren Querschnitt sieht man eine ebenso grosse Wassermenge ausquellen, zuerst aus dem Frühlingsholz des äussersten, dann des folgenden inneren Ringes u. s. f. Dreht man das Stück rasch um, so wiederholt sich der Vorgang, der deutlich zeigt, dass auch die kleinsten Druckdifferenzen ausgeglichen werden. Der Versuch gelingt nicht nur mit 10—15 Ctm. langen, sondern auch mit 100 und 110 Ctm. langen Stammstücken der Tanne.

Dementsprechend ist auch die Filtrationsgeschwindigkeit des Wassers im Holz bei gesteigertem Druck eine ausserordentlich grosse. Aus sehr zahlreichen Versuchen hierüber führe ich nur folgende Resultate an: der Splint¹⁾ eines lebenden 70 Mill. langen Stammstückes von *Taxus baccata* liess bei 65—55 Ctm. Quecksilberdruck in den ersten 2 Minuten eine Wassersäule von 50 Mill. Höhe (von gleichem Querschnitt wie der Splint) durchpassiren, was auf die Stunde berechnet 1,5 Meter Höhe giebt. — Ebenso filtrirte durch lebendes Tannenholz von 68 Mill. Länge bei einem Druck von 80—77 Ctm. Quecksilber eine Wassersäule gleichen Querschnitts von 11,5 Mill. Höhe in der ersten Minute; was auf die Stunde berechnet 690 Mill. Höhe ergiebt.

So ausgiebig ist die Filtration jedoch nur unter zwei Bedingungen; das Holz muss ganz frisch und das destillirte Wasser sehr rein sein. Setzt man die Filtration länger fort, so nimmt ihre Geschwindigkeit sehr rasch ab; sie kann schon nach einigen Minuten auf die Hälfte, in einigen Stunden auf einen kleinen Bruchtheil jener Werthe sinken und nach mehreren Tagen fast Null werden. Es beruht diess zum grossen Theil auf einer eigenthümlichen Veränderung der Holzwände an der das Wasser aufnehmenden Seite;²⁾ denn es genügt, nachdem die Filtration sehr klein geworden ist, an dieser Seite eine Holzschicht von 0,2 Mill. Dicke wegzuschneiden, um dann die Filtration wieder sehr leb-

¹⁾ Das Kernholz lässt überhaupt kein Wasser durch.

²⁾ Eine ähnliche Veränderung erfahren offenbar auch abgeschnittene und in Wasser gestellte Zweige, deren Saugung daher von Tag zu Tage geringer wird, wie ich vor 20 Jahren (*Flora*. 1856. p. 613) zeigte.

haft werden zu lassen. Jede Verunreinigung des Wassers, (z. B. mit feinen Zinnobertheilchen) macht, dass die Filtration gleich anfangs sehr unbedeutend ist; es weist diess offenbar darauf hin, dass die an die Schliesshäute der Tüpfel sich dicht anlegenden Körnchen dem Wasser den Durchtritt erschweren, denn man wird wohl annehmen dürfen, dass es vorwiegend die gehöften Tüpfel sind, durch welche das Wasser mit so grosser Geschwindigkeit filtrirt. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die betreffenden Holzstücke auf ihre Unversehrtheit geprüft wurden und dass dieselben keine groben Poren enthielten.

Die grosse Leichtigkeit, mit welcher das Wasser aus einer Holzzelle in die andere gedrückt oder gesogen werden kann, beweist, dass die durch Temperaturänderungen und Transpiration bewirkten Volumenänderungen der Luftblasen im Holz hinreichen, Wasserströmungen in demselben zu veranlassen, was übrigens aus meinen oben cit. älteren Versuchen schon hervorgeht.

Es wurde oben erwähnt, dass, wenn Wasser durch wasserreiches Holz der Länge nach filtrirt, das Herbstholz dabei untheiligt zu sein scheine; dies wird durch folgenden Versuch bestätigt. Aus einem mit Wasser fast gesättigten Stammstück einer Tanne liess ich einen Cylinder so auf der Drehbank herstellen, dass seine Axe von 48,5 Mill. Länge ¹⁾ einem Querdurchmesser des Stammes entsprach. Die Jahrringe standen also quer zur Axe des Cylinders, der nun einem Wasserdruck von 160 Ct. unterworfen wurde. In den ersten Stunden filtrirte kein Tropfen heraus, während Längsabschnitte von gleichen Dimensionen in den ersten Stunden viele Cub.-Centim. Wasser durchfiltriren lassen. Erst nach 24 Stunden fand ich 2,3 C. C. Filtrat. Dieses Ergebniss mit den früheren zusammengehalten dürfte zu dem Schluss führen, dass das Herbstholz der Filtration zumal in der Querrichtung (von Jahrring zu Jahrring) einen grossem Widerstand entgegengesetzt. Die in den Jahrringen des Holzes stattfindenden Wasserströmungen werden also von den Herbstholzsichten eingedämmt, gegenseitig isolirt.

3) Dass das Holz, wenigstens in den Zeiten stärkerer Transpiration *Luft in den Zellräumen* enthält, ist allgemein bekannt; bisher hat jedoch Niemand versucht diesen Luftgehalt quantitativ

¹⁾ Die Dicke des Cylinders war 25,5 Mill. Er wurde sofort nach dem Abdrehen wieder in Wasser geworfen.

zu bestimmen und seine Veränderungen zu verfolgen. Auf anatomischem Wege ist darüber jedenfalls nicht viel Brauchbares zu erfahren. Kennt man jedoch das specifische Gewicht der trockenen Holzzellwand, so lässt sich aus dem leicht zu bestimmenden absoluten Gewicht eines Stückes Holz der Rauminhalt der (trocken gedachten) Zellwände berechnen, und da auch das in dem Holzstück enthaltene Wasservolumen (theils in den Hohlräumen, theils in den Zellwänden imbibirt) durch Wägung leicht zu finden ist, so kann man das Volumen der lufthaltigen Räume berechnen, wenn man das Volumen des beobachteten Holzstückes kennt.

Es kommt also zunächst darauf an, das specifische Gewicht der (trockenen) Zellwand zu kennen. In der Literatur schwanken die Angaben darüber von 1,3 bis 1,55. Meine eigenen Untersuchungen nach verschiedenen Methoden (welche ich später veröffentlichen werde) führen zu dem Resultat, dass das specifische Gewicht der Holzzellwände (von *Pinus pumilio*, *Abies pectinata*, *Populus dilatata*, *Prunus cerasifera*) jedenfalls grösser als 1,51 und wahrscheinlich nahezu 1,55 sei. ¹⁾ Nimmt man den letzten Werth einstweilen als genau an, so

sind 100 CC. Holzwandmasse = 155 Grm.

und 100 Grm. Holzwandmasse = 64,5 CC.

Von einem lebenden Tannenstamm wurde am 2. Januar 1877 ein cylindrisches Stück Holz entnommen, welches

105 Mill. lang,

33 Mill. dick war

und 90 CC. Rauminhalt hatte. ²⁾

Dass das sichtlich sehr wasserreiche Holz noch Luft enthielt, war ohne Weiteres klar, da es in Wasser schwamm, doch ragte es dabei nur wenig vor.

Das Gewicht des frischen Holzes = 87,6 Grm. Nachdem es 18 Tage über Schwefelsäure und dann bis zum Aufhören des Gewichtsverlustes bis 100 °C. getrocknet war,

wog es 34,83 Grm.; daher $\frac{34,83}{1,55} = 22,5$ CC. das Volumen der Holzwände.

¹⁾ Getrocknete Stammstücke von *Laminaria* zeigen ohne Weiteres ein spec. Gewicht von 1,57.

²⁾ Aus den Dimensionen ergab sich 89,8 CC., durch Untertauchen in Quecksilber 90 CC. Das Holz besass 5 Jahrringe.

Das im frischen Holze sowohl in den Wänden imbibirte, als in den Zellräumen enthaltene Wasser betrug also 52,77 CC.

Trockene Holzwandmasse und Wasser zusammen nahmen also den Raum $22,5 + 52,77 = 75,27$ CC. ein.

Da der ganze Rauminhalt des Holzstückes = 90 CC. war, so bleibt $90 - 75,27 = 14,73$ CC. Luftraum oder 100 CC. dieses Tannenstammes enthielten

25,0 CC. Wandmasse,

58,6 CC. Wasser (in Hohlräumen und imbibirt),

16,4 CC. Lufträume.

Da Intercellularräume und Gefäße (abgesehen von den sehr engen der Markkrone) im Tannenholz nicht existiren, so waren also die 16,4⁰/₀ Luftraum in den Zellhöhlungen vorhanden. Es ist nicht wahrscheinlich, dass 25 CC. Wandsubstanz 58 CC. Wasser imbibiren können, es muss daher ein Theil des Wassers in den Zellhöhlungen, neben Luftblasen vorhanden gewesen sein.

Dagegen kommt es gewiss auch vor, dass das Holz lebender Bäume nur Luft und gar kein Wasser in den Zellhöhlungen führt. *Geleznow*²⁾ fand, dass ein Stammstück, *Betula alba*, im September folgende Dimensionen und Gewichte darbot:

3,32 Ct. Dicke,

5,17 Ct. Länge,

also Volumen = 44,75 CC.

37,25 Grm. Frischgewicht,

22,48 Grm. Trockengewicht,

also 14,77 Grm. (CC.) Wasser.

Daraus berechnet sich, wie vorhin, dass 100 CC. des frischen Holzes enthielten:

32,4 CC. Holzwandmasse,

33,2 CC. Wasser,

34,4 CC. Luftraum.

Da man annehmen darf, dass trockene Holzwandsubstanz wenigstens ihr gleiches Volumen Wasser imbibirt, so waren also die 33,2 CC. Wasser in der 32,4 CC. Zellwand enthalten und die Zellräume ganz frei von Wasser.

Dass die in den Holzzellen enthaltene Luft in Folge der Transpiration verdünnt sein muss, wurde von mir und Anderen

1) *Geleznow* in *Mélanges biol.* Petersburg T. IX. (1872).

schon früher hervorgehoben. Kürzlich hat nun *von Hönel*¹⁾ gezeigt, dass die Verdünnung in den Gefässröhren der Laubhölzer eine sehr beträchtliche sein könne. Er schnitt transpirirende Sprosse unter Quecksilber ab und fand, dass dieses sofort viele Centimeter weit in die Gefässe, sowohl aufwärts wie abwärts eindrang, so dass, wenn man den von ihm gemessenen Capillarwiderstand der Gefässöffnungen für Quecksilber in Rechnung bringt, die Spannung der Gefässluft bei

Quercus pedunculata	24,5	Ct. Quecksilber.
Aesculus Hipocast	37	„ „
Syringa vulgaris	24	„ „
Ulmus camp	20	„ „
Helianthus con	46	„ „

betrug, statt 76 Ct. Quecksilberdruck. Wenn nun vermöge dieser starken Druckverminderung der Gefässluft das Quecksilber bis 20, selbst 38 Ct. tief in die Gefässe eindringt, so muss Wasser oder eine wässrige Lösung, unter gleichen Umständen in sehr kurzer Zeit noch viel tiefer eindringen, wenn auch nicht gerade im Verhältniss der specif. Gewichte (1 : 13,6), da die Reibung an den Gefässwänden u. A. in Betracht kommt. Eine Reihe von Versuchen, welche ich unmittelbar nach Empfang der genannten Abhandlung *v. Hönel's* mit einer Lösung salpetersauren Lithiums (1 0/0) unternahm, bestätigt diese Folgerung in ganz überraschender Weise; obgleich die verwendeten Pflanzen bei trübem Wetter nur im geheizten Laboratorium transpiriren konnten.

Ein sehr grosses Exemplar von *Montanoa heracleifolia* wurde aus dem Warmhaus in das Laboratorium gestellt und nach 6 Stunden bei 17—18° C. ein stark belaubter, etwa ein Meter langer Spross an seiner unteren Partie in eine Schüssel mit Lithiumlösung hinabgebogen und dort durchschnitten. Die Schnittwunde des distalen Endes blieb nicht ganz eine Minute in der Lösung, wurde dann sofort unter dem Wasserlauf abgespült und 50 Ct. oberhalb der Spross durchschnitten, diess Alles dauerte etwa 10 Sec. Die spectroskopische Prüfung ergab nun 50 Ct. über dem ersten Schnitt die deutlichste Lithiumreaction. Unmittelbar darauf wurde auch der Gipfel geprüft, in welchem sich das Li-

¹⁾ Franz von Hönel: über den negativen Druck der Gefässluft; Dissertation Wien, 1876.

thium bis 80 Ct. über dem Schnitt, d. h. bis in die halbwüchsigen jungen Internodien unter der Knospe nachweisen liess.

Gleiche Versuche mit *Malva silvestris* (Stamm) und einem Blattstiel von *Livistona sinensis* ergaben, dass die Lithiumlösung in einer Minute bis 50 resp. 45 Ct. gestiegen war.

Hönel hat (l. c.) ferner gefunden, dass auch bei solchen Sprossen, die man in Luft abgeschnitten und einige Zeit hat liegen lassen, das Quecksilber noch in die Gefässe eine kleinere Strecke weit emporsteigt, wenn man das untere sodann unter Quecksilber abschneidet. Dem entspricht folgender von mir gemachter Versuch: ein etwa 1 Meter langer Spross von *Nerium Oleander* war in Luft abgeschnitten, dann seine Schnittstelle benetzt und mit einem engen Glasrohr verbunden und dieses in Wasser gestellt worden, um zu sehen, ob die Luft im Rohr sich verdünnen würde; diess geschah nicht. Nach 24 Stunden wurde von dem kaum gewelkten Spross das untere 7 Ctm. lange Stück unter Lithiumlösung abgeschnitten; nach 1 Minute langer Saugung fand ich 30 Ctm. über dem Schnitt deutliche Lithiumreaction. Ein anderer in Wasser gestandener Oleanderspross wurde einfach unten abgetrocknet und 1 Minute lang in Lithium gestellt; dieses liess sich dann nur bei etwa 5 Mill. über der Schnittfläche nachweisen.

Diesen Versuchen entsprechen die von *M'Nab* und *Pfitzer* angestellten. *M'Nab* schnitt die Sprosse in Luft ab und stellte sie dann in Lithiumlösung; *Pfitzer* schnitt sie unter Wasser ab und brachte sie dann in Lithiumlösung. *M'Nab* fand, dass das Lithium nach zwanzig Minuten bis 13,5 Zoll hoch gestiegen war, *Pfitzer* berechnet aus seinen, wenige Minuten dauernden Versuchen, dass die Geschwindigkeit der Lithiumlösung pro Stunde bis über 22 Meter betrage.

Es leuchtet jedoch ein, dass es sich bei diesen Versuchen nicht um die in den Zellwänden aufsteigende Wasserbewegung normal vegetirender Pflanzen handelt, sondern um ein plötzliches Hineinstürzen der Flüssigkeit in die luftverdünnten Räume der Gefässe, welches in kuzer Zeit vollendet ist und nicht in dieser Weise fortdauert, daher auch nicht pro Stunde berechnet werden darf. Durch derartige Versuche kann also die Geschwindigkeit des Wasserstroms in den Zellwänden einer transpirirenden Pflanze nicht gemessen werden.

Es leuchtet ein, dass die entsprechenden Versuche mit Coniferenzweigen geringere „Geschwindigkeiten“ ergeben müssen. Sie enthalten nur in der Markkrone Gefässe und zwar sehr enge, deren grosser Reibungswiderstand der aufsteigenden Lithiumlösung ein beträchtliches Hinderniss entgegensetzt. Was die Holzzellen des secundären Holzes betrifft, so enthalten diese in der lebenden Pflanze Luftblasen, deren Druck geringer ist, als der der Atmosphäre. Da nun die Zellwände des Holzes, wie sich oben zeigte, auch bei sehr geringem Drucke noch Wasser schnell durchlassen, so wird, wenn man einen transpirirenden Coniferenzweig unter Lithiumlösung abschneidet, diese auch in das Holz bis zu gewisser Höhe eindringen. Ferner kommen hier die oben nachgewiesenen Luftwege an der Herbstholzgrenze der Jahrringe in Betracht. Diesen Erwägungen entsprechen die Resultate, die ich mit *Pinus Culteri* (Hauptstamm), *Pinus Brutia* und *Cryptomeria japonica* (Aeste) erhielt. Die Bäume wurden aus dem Gewächshaus in das Laboratorium gestellt und denselben Bedingungen, wie die früher genannten Pflanzen ausgesetzt. In 1 Minute nach Durchschneidung unter Lithiumlösung liess sich das Metall nachweisen: ¹⁾

bei *Pinus Brutia* im äusseren und mittelbaren Holz 9—10 Ct. hoch; in der Markkrone 15 Ct.

bei *Cryptomeria* im Holz 5—6 Ct. hoch, in der Markkrone 6—7 Ct. hoch.

Pinus Culteri war nach der Durchschneidung 8 Minuten lang in Lithium geblieben, dieses fand sich dann 25 Ct. hoch über dem Schnitt im Holz.

4) Wenn die eben beschriebenen, auf der Luftverdünnung in Holz beruhenden Vorgänge zwar für die Beurtheilung der im lebenden Holz stattfindenden Prozesse werthvoll sind, aber durchaus keinen Anhalt zur Beurtheilung der Geschwindigkeit des normalen Wasserstroms in den Zellwänden geben, so sind andererseits auch die mit färbenden Stoffen gewonnenen Resultate nur unter besonderen Umständen und Erwägungen brauchbar. Stellt man einen abgeschnittenen Spross in eine Farbstofflösung oder in die Auflösung eines Stoffes, der im Gewebe Färbungen hervorruft, wie das schwefelsaure Anilin die Gelbfärbung verholzter Zellwände, so findet man nach einiger Zeit gewisse Ge-

¹⁾ Die Rinde war wie bei den früheren Versuchen immer frei von Lithium,

webetheile gefärbt, andere nicht. Die seit mehr als hundert Jahren aus derartigen Versuchen gezogenen Schlüsse, dass nur die gefärbten Gewebe den Weg der aufgesogenen Flüssigkeiten bezeichnen und dass die Steighöhe der letzteren mit der Grenze der Färbung zusammenfalle, sind unrichtig. — Ob Zellwände mit einem Farbstoff oder mit schwefelsaurem Anilin gefärbt erscheinen, hängt von ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit und nicht bloß davon ab, ob sie mit der färbenden Flüssigkeit in Berührung gekommen sind, wie folgende Versuche beweisen.

Stellt man einen Zweig von *Annona ovata* in eine Lösung von schwefelsaurem Anilin, so findet man nach einigen Tagen das Holz bis zu beträchtlicher Höhe hinauf intensiv gelb, das parenchymatische Gewebe des Markes und die Rinde farblos. Mitten in dem farblosen Mark jedoch liegen vereinzelte Steinzellen, welche ebenfalls intensiv gelb gefärbt sind. Da diese das färbende Salz nur durch Vermittelung der umliegenden farblosen Markzellen erhalten können, so folgt, dass auch in diesen letzteren sich das schwefelsaure Anilin bewegt hat. — Von einer lebenden Tanne (*Abies pectinata*) wurde der Stammgipfel abgeschnitten. Einige Centimeter oberhalb des Schnittes wurde ein ungefähr einen Centimeter breiter Rindenring weggenommen und das entblösste Holz mit Stanniol dicht umwickelt, Der untere Schnitt blieb einige Tag lang in einer Lösung von schwefelsaurem Anilin stehen, während welcher Zeit die zahlreichen Blätter transpirirten. Als darauf der Stamm gespalten wurde, war das Holz bis zu 30 Ctm. Höhe über der Ringwunde gelb gefärbt. Die in der Rinde der Tanne bekanntlich liegenden dickwandigen, verzweigten Spicularzellen waren aber ebenfalls intensiv gelb geworden, obgleich sie durch mehrere Schichten farblosen Gewebes von dem Holz getrennt waren; diese farblosen Zellen hatten, ohne sich zu färben, das Salz aus dem Holz quer zu den Spicularzellen hinüber geleitet.

Demnach kann aus der Färbung auf den von der Flüssigkeit verfolgten Weg nicht ohne Weiteres geschlossen werden; hätte die Anona im Mark, die Tanne in der Rinde nicht Zellen, welche sich ähnlich wie das Holz färben, so würde man geschlossen haben, das schwefelsaure Anilin habe sich überhaupt nur im Holz und gar nicht im Parenchym bewegt, was offenbar unrichtig wäre.

Ebenso wenig geben derartige Versuche ohne Weiteres Aufschluss über die Geschwindigkeit der aufsteigenden Flüssigkeit.

Ich habe gerade über diesen Punkt eingehende Untersuchungen angestellt, die ich später ausführlicher veröffentlichen werde; sie führen zu dem Schluss: Wenn die aufgesogene Flüssigkeit einen Stoff enthält, der färbend oder chemisch auf die Zellhäute einwirkt, so eilt das Wasser dem gelösten Stoff voraus, so zwar, dass mit der Zeit die obere Grenze des aufsteigenden Wassers sich immer mehr von der oberen Gränze der entstandenen Färbung des Gewebes entfernt. Wenn der in Wasser gelöste Stoff dagegen nicht verändernd auf die Zellhäute einwirkt und von ihnen nicht aufgespeichert wird, wie Kochsalz, Salpeter, Lithiumsalze u. dgl., so nimmt das Wasser diese Stoffe ohne Verzögerung mit sich fort. Derartige Stoffe können also, wenn die unter 3.) genannte Mitwirkung des negativen Luftdruckes im Holz vermieden wird, dazu dienen, die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms in den Zellwänden des Holzes zu bestimmen.

5) *Imbibition der Zellwände und Bewegung des Wassers in ihnen.* Dass Fälle vorkommen, wo die Hohlräume des Holzes einer transpirirenden Pflanze überhaupt kein Wasser enthalten, wurde oben constatirt, in solchen Fällen kann sich der aufsteigende Wasserstrom überhaupt nur im Inneren der Wände, d. h. in den Molecularinterstitien (Micellarinterst. Nägeli) bewegen. Dass diese Bewegung mit einer Geschwindigkeit von mindestens 10—20—30 Ct. per Stunde stattfindet, kann nicht zweifelhaft sein. Dem gegenüber hat bisher die Thatsache unerklärt dagestanden, dass trockenes Holz das Wasser ausserordentlich langsam in sich einsaugt, ich kann hinzusetzen, dass das Wasser in trockenes Tannenholz von gleicher Temperatur der Länge nach binnen 8 Tagen nur 20—25 Mill. tief eindringt, was in der Stunde nur 0,13 Mill. ausmacht.

Das Eindringen des Wassers in trockene Holzzellwände ist also äusserst langsam im Vergleich mit seiner Bewegung in den mit Wasser durchdrungenen Zellwänden.

Das Problem löst sich jedoch befriedigend, wenn man bedenkt, dass das in trockenes Holz eindringende Wasser eine sehr grosse mechanische Arbeit zu leisten hat, indem es die an einander liegenden Molecüle (Micellen) erst auseinander drängen, ihre Cohäsion überwinden muss. Da der so zu überwindende Widerstand sehr gross ist, so ist die Geschwindigkeit entsprechend gering. — Ist dagegen die Holzzellwand bereits mit Wasser

durchtränkt, so ist eine Verschiebung der Wassermoleküle ohne namhafte Widerstände, also mit grösserer Geschwindigkeit möglich.

Diese Erklärung ist jedoch nur dann möglich, wenn man die Ansicht, als ob die Imbibition auf Capillarität beruhte, aufgibt. Diese Ansicht wurde zuerst von *de Luc*¹⁾ ausgesprochen, und zwar weil hygroskopische Körper, nachdem sie mit Wasser vollgesogen sind, in Alkohol gebracht, anscheinend ihren Imbibitionszustand beibehalten. Die Thatsache ist jedoch unrichtig aufgefasst. Bringt man *wasserfreie* quellungsfähige Körper, wie thierischen Leim, geronnenes trockenes Eiweiss, trockene Lamiariestämme u. s. w. in fast wasserfreien Alkohol (98 %), so quellen sie darin niemals auf und nehmen an Gewicht nicht zu. Bringt man sie trocken in Wasser, so nehmen sie sehr viel davon auf, wie die Wägung zeigt, und vergrössern ihr Volumen nahezu um das Volumen des aufgenommenen Wassers. Diese Volumenzunahme beweist, dass das Wasser *nicht in präformirte Hohlräume* (Capillaren) eindringt, sondern dass es die Moleküle der Substanz auseinander drängt und zwar nur um so viel, als sein eigenes Volumen beträgt.²⁾ Lässt man einen so vollgesogenen Körper wieder austrocknen, so nimmt er das frühere Volumen wieder an, die Hohlräume, welche das Wasser erzeugt und ausgefüllt hatte, verschwinden, die Moleküle legen sich wieder an einander. Alkohol und dickes Glycerin sind nicht befähigt, die Moleküle trockener quellungsfähiger Körper auseinander zu drängen und dringen daher auch nicht in diese ein. Da nun also Hohlräume, in welche das Wasser oder Glycerin oder Alkohol, ohne Weiteres eindringen könnte, in trocknen Körpern dieser Kategorie nicht vorhanden sind, so kann von einer Vergleichung dieses Vorgangs mit dem capillaren Eindringen der Flüssigkeiten in poröse Körper wohl nur in sehr entferntem Grade die Rede sein.

Wenn Wasser, Alkohol oder andere Flüssigkeiten in Körper eindringen, welche im trockenen Zustand wirklich capillare Hohlräume besitzen, wie gegossener Gyps, Kreide, gebrannter Thon, so treiben sie die in den Hohlräumen enthaltene Luft vor sich

1) De Luc in Philos. Transactiones 1871 p. 12.

2) Abgesehen von der geringen Volumverminderung durch Verdichtung, die dabei eintritt.

her, die man aufsammeln und messen kann; wenn das Wasser dagegen in einen trockenen quellbaren Körper eindringt, so wird keine Luft ausgetrieben, eben weil es in Räume eindringt, die es sich selbst erst öffnet.

Werden quellbare trockene Körper, die Alkohol oder Glycerin nicht aufnehmen, erst in Wasser gelegt, bis sie völlig aufgequollen sind und bringt man sie sodann in sehr starken Alkohol oder in Glycerin, so kann die Wirkung je nach der Natur des Körpers eine sehr verschiedene sein. Leim zieht sich energisch zusammen, indem ihm das Quellungswasser entzogen wird, ohne dass Alkohol oder Glycerin eindringt. Ganz anders verhält sich *Laminaria*; sie zieht sich in 98 % igem Alkohol nur wenig zusammen und wie Wägungen und Volumenbestimmungen zeigen, tritt Alkohol in die von dem Wasser verlassenen Räume. Dabei verändert sich aber der innere Zustand der *Laminaria*; sie war im wasserhaltigen Zustand biegsam, weich; im Alkohol wird sie hart und brüchig. Selbst dann, wenn man den statt des Wassers eingedrungenen Alkohol durch Wärme vertreibt, zieht sich die *Laminaria* nicht mehr auf ihr früheres Trockenvolumen zusammen; sie enthält jetzt offenbar capillare Hohlräume, die mit Luft gefüllt sind, denn sie schwimmt auf Wasser, während die trockene *Laminaria* sonst sofort untersinkt. Der Alkohol hat also nicht die Fähigkeit, die Moleküle der Zellwände, wenn diese trocken sind, auseinander zu drängen; hat das Wasser aber sie auseinander gedrängt, so dringt der Alkohol in die vom Wasser eingenommenen Räume ein, weil er bei seinem Vordringen die Moleküle der Zellhäute unbeweglich macht, die Zusammenziehung hindert. Diese Erfahrungen erklären nun auch, warum der Alkohol als formhaltendes Conservierungsmittel für Pflanzen so ausgezeichnete Dienste leistet; er tritt an die Stelle des Wassers der Zellhäute indem er die Zusammenziehung der Moleküle derselben verhindert. Legt man ganz frische Pflanzen in Alkohol, so behalten sie ihr frisches, legt man welke Theile hinein, so behalten sie ihr welches Aussehen. Das innerhalb der so erstarrten Zellwände liegende Protoplasma contrahirt sich dagegen, indem es im Alkohol erstarrt.

Die Thatsache nun, dass in einer imbibirten Zellhaut nur so viel Hohlraum vorhanden ist, als das Wasser einnimmt, eröffnet uns einen Weg, die Geschwindigkeit des Wasserstroms

transpirirender Pflanzen in den Holzzellwänden wenigstens annähernd zu berechnen. Gelingt es festzustellen, wie viel Wasser ein Volumen Zellhaut durch Imbibition einsaugen kann, so lässt sich aus dem Gewicht des trockenen Holzes und seinem specifischen Gewicht das Volumen und der Querschnitt der trockengedachten Holzwände eines beobachteten Stammes berechnen; kennt man das Volumen der imbibirten Zellwände oder ihren Querschnitt, so giebt die Differenz der Querschnitte (des trockenen und imbibirten) den Querschnitt des imbibirten Wassers, der zugleich die Querschnittsumme der in den Zellwänden vorhandenen Wasserwege ist.

Da es mir gegenwärtig an geeigneten Pflanzen fehlt, um Saugung und Verdunstung neben den anderen hier in Betracht kommenden Grössen zu bestimmen und da noch nicht feststeht, wie viel Wasser ein gegebenes Volumen Holzzellhaut imbibirt, so verschiebe ich nähere Angaben auf eine spätere, ausführliche Publication, die im 5ten Heft der Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg erscheinen wird.

Besser als mit der Capillarität poröser Körper mag die Imbibition der Zellhaut mit dem Vorgang der Auflösung eines Salzes verglichen werden. Wie das lösende Wasser von einem Krystall Moleküle abreisst und diese zwischen die eigenen aufnimmt; ebenso reisst der trockene imbibitionsfähige Körper Wassermoleküle ab und schiebt sie zwischen seine eigenen hinein. Beide Vorgänge bedürfen viel Zeit. Sind aber die Wassermoleküle endlich zwischen denen des quellbaren Körpers gleichmässig vertheilt, so werden sie dort eben so festgehalten, wie die im Lösungswasser vertheilten Salzmoleküle.

Die in einer imbibirten Zellhaut enthaltenen Wassermoleküle drücken offenbar ebensowenig aufeinander, wie die Salzmoleküle in einer Lösung; ¹⁾ so wenig, wie die gelösten Salzmoleküle einen Krystall, ebensowenig bilden die imbibirten Wassermoleküle eine *zusammenhängende* Flüssigkeitsmasse, was in einem porösen Körper allerdings der Fall ist. In einem solchen mit praeformirten Capillaren versehenen Körper hängt daher die

¹⁾ Wäre diess der Fall, so müsste der Salzgehalt des Meerwassers in grossen Tiefen grösser sein als in geringen, was durch Beobachtung widerlegt ist.

capillare Steighöhe von dem Gewicht der continuirlichen Wassersäule ab, und diese übt einen ihrer Höhe entsprechenden Druck auf die Wände. In einem imbibirten Körper kommt das Gewicht des Wassers nicht in Betracht. Es ist daher gleichgiltig, ob sich das imbibirte Wasser in den Zellwänden eines Baumes 20 oder 100 Meter hoch befindet.

Würzburg, den 13. Februar 1877.
