

XII.

Ueber die Porosität des Holzes.

Von

- Julius Sachs.

Unter diesem Titel habe ich im Februar 1877 vorläufige Mittheilungen über Untersuchungen veröffentlicht,¹⁾ die den Zweck verfolgen, eine Reihe physikalischer Eigenschaften des Holzes, welche bei der Wasserbewegung in lebenden Holzpflanzen vorwiegend betheilt sind, näher kennen zu lernen. Hier wünsche ich nun das dort Gesagte ausführlicher zu begründen und die Resultate einiger seitdem von mir gemachten Beobachtungen nachzutragen. Ich muss jedoch bemerken, dass meine Untersuchungen auch jetzt noch nicht für abgeschlossen gelten können, obgleich ich ihnen ungewöhnlich viel Zeit und Mühe gewidmet habe; ein sehr fühlbares Hinderniss lag in der Schwierigkeit, brauchbares Material zu beschaffen; als solches ist für die Mehrzahl der Versuche nur gut gewachsenes Tannenholz (*Abies pectinata*) und zwar von 5—10jährigen Stämmen (nicht Aesten) zu betrachten, weil es keine Gefässe und keine Harzgänge besitzt, breite Jahrringe bildet und mit dem Messer leicht glatt zu schneiden und selbst im ganz nassen Zustand auf der Drehbank zu bearbeiten ist. Zwar wurden auch andere Abietineen und gelegentlich Laubbölzer benutzt, aber so brauchbar wie die Edeltanne fand ich keines, und leider ist gerade diese in Würzburg schwierig zu beschaffen, was um so mehr ins Gewicht fällt, als viele Versuche nur dann ein genügendes Ergebniss liefern, wenn sie mit ganz frischem Holz angestellt werden. Wenn in Folgendem die zur Untersuchung benutzte Holzart nicht ausdrücklich genannt ist, so ist immer frisches Edeltannenholz zu verstehen.

Einen Theil des in der vorläufigen Mittheilung Gesagten habe ich bereits in der Abhandlung: »Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstroms u. s. w.« im vorigen Heft dieser Arbeiten (Bd. II, p. 148 ff.) ausführlicher bearbeitet, und werde ich hier nur gelegentlich darauf zurückkommen, von dem übrigen Inhalt der vorläufigen Mittheilung aber nehme ich hier Einzelnes wörtlich auf:

1) Verh. der phys.-med. Gesellschaft. Würzburg 1877. Bd. XI.

§ 1.

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, und es wird eine der wesentlichsten Aufgaben des Folgenden sein, zu beweisen, dass die mit Quellung verbundene Imbibition nicht, wie man bisher allgemein glaubte, eine Form der Capillarität sei; mit der Beseitigung dieses Grundirrhums fällt, wie ich schon früher hervorhob, eine der grössten Schwierigkeiten in der Theorie der Wasserbewegung im Holz, nämlich die, warum das Wasser mit grosser Geschwindigkeit bis zu den höchsten Baumtheilen, selbst einige hundert Fuss hoch steigt.

Das leitende Holz enthält bekanntlich in seinen Hohlräumen neben Wasser auch Luft; über das Volumen-Verhältniss beider, sowie über das Volumen der Zellwände (der Holzmasse) können blossе Wägungen ebenso wenig, wie mikroskopische Beobachtungen Aufschluss geben; aber gerade in der richtigen Beurtheilung dieser Volumen-Verhältnisse von Holz, Wasser und Luft liegt der Schlüssel zum Verständniss zahlreicher Erscheinungen, die bisher ganz unerklärt bleiben mussten. Das Volumen des in einem gegebenen Raumtheil frischen Holzes enthaltenen Wassers lässt sich leicht durch den Gewichtsverlust beim Trocknen bestimmen; dann aber kommt die Frage, wie viel von dem Volumen des nun getrockneten Holzes wird von den Zellwänden eingenommen? Erst wenn dies bekannt ist, kann auch das Volumen der Luft oder besser der nicht von Wasser und Zellhaut erfüllten Hohlräume berechnet werden. Um dies zu erreichen, musste zunächst das specifische Gewicht der Holzzellwand festgestellt werden, welches bisher nur sehr ungenau bekannt und zu dem angegebenen Zweck noch kaum in Anspruch genommen ist.

Nicht minder wichtig zum Verständniss der Rolle, welche die Holzzellwand bei der Wasserleitung spielt, ist die Beantwortung der Frage, wie gross im Maximum die Wassercapazität eines Volumens Holzzellwand ist; meine neueren Beobachtungen führen zu dem überraschenden Ergebniss, dass diese Wassercapazität eine auffallend geringe ist und dass Zellwände und andere Stoffe, welche nicht verholzt sind und eine grosse Wassercapazität besitzen, das Wasser festhalten, es aber nicht oder äusserst

langsam fortleiten; es ist eine spezifische Eigenschaft der Holzzellwand, das in ihr enthaltene geringe Wasserquantum mit grosser Geschwindigkeit fortzuleiten. Es war ein Grundfehler aller bisherigen Theorien auf diesem Gebiet, die Holzzellwand mit beliebigen anderen Zellwänden oder überhaupt mit beliebigen anderen imbibitionsfähigen Körpern in eine Reihe zu stellen. Die Natur erzeugt das Holz nur und ausschliesslich da, wo es auf rasche Wasserbewegung ankommt, und damit stimmen meine Versuchsergebnisse vollkommen überein; eben die Geschwindigkeit der Wasserverschiebung in der Holzzellwand macht eine grosse Wassercapacität derselben überflüssig, auch würde eine solche, da sie nothwendig mit entsprechender Quellung verbunden ist, Nachtheile für die Landpflanze mit sich bringen.

Ferner war es nöthig, die Filtration des Wassers durch Holz¹⁾ ohne Gefässe näher kennen zu lernen; noch jüngst wurden Angaben gemacht, wonach die Filtration des Wassers im Holz Widerstände erfahren soll, die durchaus nicht existiren. Manche Erscheinungen im lebenden Baum werden aber nur verständlich, wenn man weiss, dass das Wasser auch durch gefässfreies Holz ausserordentlich leicht filtrirt. Dass diese rasche Filtration in der Längsrichtung durch die gehöften Tüpfel wesentlich begünstigt wird, dürfte keinem Zweifel unterliegen. In dieser Beziehung aber war die Frage von Interesse, ob die gehöften Tüpfel wirklich offen oder mit einer feinen Haut verschlossen sind.

Ich werde nun im Verlauf der Darstellung gelegentlich auf diejenigen bekannten Erscheinungen im Leben der Holzpflanzen hinweisen, welche sich durch die Ergebnisse meiner Beobachtungen erklären lassen oder durch sie erst problematisch werden; eine in sich zusammenhängende Theorie aller mit der Wasserleitung in Holz verbundenen Erscheinungen ist aber erst von weiteren Untersuchungen, zumal auch an lebenden Bäumen zu erwarten; denn so reich auch die Literatur in letzterer Beziehung ist, enthält sie doch nur wenig Verwerthbares.

§ 2.

Ob die Hohlräume der Holzzellen 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, HOFMEISTER, DIPPEL, NÄGELI, SCHWENDENER, ich und Andere glaubten, die feine, den Tüpfelraum

1) Worüber bereits ziemlich ausgedehnte Beobachtungen älterer Autoren sowie RAUWENHOFF's von 1868 (Phyto-physiol. Bijdragen, Amsterdam) vorliegen; Letzterer hat auch die ältere Literatur gesammelt, die ebenso wie RAUWENHOFF's Arbeit in der neun Jahre späteren von HORWATH: Beiträge zur Lehre über die Wurzelkraft, Strassburg 1877 nicht erwähnt ist.

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 HARTIG²⁾ 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 Körnehen, dass sie sämtlich lebhafte »Molecularbewegung« zeigen und selbst nach mehreren Tagen nicht zu Boden sinken. Frisch vom lebenden Stamm abgeschnittene Holzcylinder von 3—4 cm Länge wurden an das untere Ende eines Glasrohrs befestigt, welches oben mit einem weiten Gefäss versehen war;³⁾ Rohr und Gefäss wurden mit der Zinnoberemulsion gefüllt, so dass auf dem Holzcylinder ein constanter Wasserdruck von 460 cm 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 Holzcylinders zeigt alle Schichten von Frühjahrsholz satt zinnoberroth, die des Herbstholzes nicht oder in radialen Streifen roth, das Kernholz ganz ungefärbt. Spaltet man den Holzcylinder, so findet man ausnahmslos den Zinnober nur 2—3 mm tief eingedrungen, 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) dieser selben Zellen sind mit dem Zinnober dicht angefüllt, so zwar, dass man deutlich sieht, wie die Körnehen 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 aufhielt.⁴⁾ Neben den so erfüllten Zellen liegen oft, wie man zumal auf tangentialen Längsschnitten erkennt, leere durch den Schnitt nicht geöffnete Zellen; dagegen 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

1) SANIO, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX 4873—74. Seitdem ist auch DE BARY in seiner »Vergleich. Anatomie« 4877 dieser Ansicht beigetreten.

2) HARTIG, Botanische Zeitung 4863, p. 293.

3) Vergl. weiter unten Fig. 4.

4) Vergl. die von TH. HARTIG gegebene Abbildung Bot. Zeitg. 4863, Taf. XI. 4.

tiefere Zellen und lässt die Körnerhen 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 Jahrring 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.

Befestigt man ein frisches Stück Tannenholz auf dem kürzeren Schenkel eines gebogenen Rohrs und füllt dieses mit Quecksilber, so dass es die untere Querschnittsfläche des Holzes berührt und im längeren Schenkel um 30—40 cm höher steht, und lässt man diesen Druck 2—3 Tage einwirken, so dringt das Quecksilber ebenfalls nur in die durch das Messer geöffneten Holzzellen, erfüllt diese ganz und ebenso die Tüpfelräume, dringt aber nicht durch diese hinaus in benachbarte Zellen;¹⁾ auch hier wird also nur eine 2—3 mm dicke Schicht am Holzquerschnitt mit Quecksilber gefüllt, wie der Längsschnitt zeigt, und das übrige Holz bleibt vollkommen frei davon.

Diese Ergebnisse bestätigen also HARTIG's und SANIO's Angaben, wonach die gehöften Tüpfel geschlossen sind.

Die von SCHACHT 1859 aufgestellte Lehre vom Offensein der gehöften Tüpfel²⁾ fand damals von Seiten aller hervorragenden Phytotomen mit Ausnahme Th. HARTIG's so allgemeine Billigung, dass ich dieselbe früher, ohne eigene experimentelle Nachuntersuchung, wie eine feststehende Thatsache betrachtete und in meine Schriften aufnahm. Wurde doch selbst der entscheidende HARTIG'sche Versuch von UNGER ansehnend widerlegt,³⁾ und HOFMEISTER (Flora 1862, p. 139) glaubte bei geringem Druck einen mit Zinkweiss getrübbten Gummischleim durch die von ihm deshalb für offen erklärten Tüpfel des Kiefernholzes gepresst zu haben; offenbar hatte er es aber mit Spalten und Rissen im Holz zu thun; wer aber konnte vermuthen, dass diese damals hervorragenden Botaniker nicht im Stande gewesen seien, den an sich so einfachen und schlagenden Versuch HARTIG's mit dem nöthigen Geschick zu wiederholen? Ich war daher nicht wenig erstaunt, als

1) Ich besass früher ein Stück Tannenholz, welches offenbar lange Zeit zum Umrühren geschmolzenen Zinns oder einer Legirung desselben gedient hatte. Alle Zellen dieses Holzes waren mit dem Metall vollständig erfüllt und ebenso die Tüpfelräume. Dieses Präparat war es vorwiegend, was mich an das Offensein der Letztern glauben liess. Jetzt muss ich jedoch annehmen, dass die Schliesshäute der Holtüpfel von dem heissflüssigen Metall durchbrochen waren.

2) Vergl. die Literatur darüber bei SANIO im Jahrb. f. Wiss. Bd. XI. p. 94 ff.

3) UNGER, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 50. p. 430.

ich 1876 zum ersten Mal selbst derartige Versuche anstellte und sofort die Richtigkeit der HARTIG'schen Angaben erkannte.

§ 3. Filtration des Wassers durch Holz.

Ist das Tannenholz sehr wasserreich, so genügt der kleinste denkbare Druck, Wasser durch dasselbe hindurehzupressen. Dies zeigt z. B. folgender Versuch: Man befestigt ein frisches Stück Tannenholz an dem kürzeren Schenkel eines Uförmigen Rohres, welches mit Wasser gefüllt wird. 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 Loupe 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 unbedeutliche Temperaturänderungen der Luftblasen in den Holzzellen die nöthigen Druckdifferenzen liefern ¹⁾. Wo möglich noch einfacher und lehrreicher ist folgende Erfahrung. Schneidet man die Endflächen eines sehr wasserreichen, aber lebensfrischen Tannenstammes im Winter 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 Hülfe 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 40 bis 45 cm langen, sondern auch mit 400 und mehr Centimeter langen Stammstücken der Tanne. Eine bequeme Methode, die Filtration zu beobachten, besteht auch darin, dass man einen Cylinder frischen Holzes auf den kürzeren Schenkel eines Uförmigen Rohres bindet, welches dann mit Wasser gefüllt wird; je nachdem man das Rohr neigt, quillt Wasser aus dem glattgeschnittenen Querschnitt des Holzes oder wird wieder eingesogen. Man sieht deutlich, dass es ganz gleichmässig aus dem Frühlingsholze kommt und in dieses wieder einsinkt; ob das Herbstholz überhaupt Wasser durchlässt, bleibt auch hier fraglich.

Dem entsprechend ist auch die Filtrationsgeschwindigkeit des Wassers im Holz bei gesteigertem Druck eine ausserordentlich grosse. Aus sehr

1) Vergl. SACHS, Botan. Zeitg. 1860. No. 29 und hier weiter unten.

zahlreichen Versuchen hierüber führe ich nur folgende Resultate an: Der Splint (das Kernholz lässt unter diesen Bedingungen überhaupt kein Wasser durch) eines lebenden 70 mm langen Stammstückes von *Taxus baccata* liess bei 65—55 cm Quecksilberdruck in den ersten 2 Minuten eine Wassersäule von 50 mm Höhe (von gleichem Querschnitt wie der Splint) durchpassiren, was auf die Stunde berechnet 4,5 m Höhe giebt. Ebenso filtrirte durch lebendes Tannenholz von 68 mm Länge bei einem Druck von 80—77 cm Quecksilber eine Wassersäule gleichen Querschnittes von 14,5 mm Höhe in der ersten Minute; was auf die Stunde berechnet 690 mm 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 Bruchtheil jener Werthe sinken und nach mehreren Tagen fast Null werden. Es beruht dies zum grossen Theil auf einer eigenthümlichen Veränderung an der das Wasser aufnehmenden Seite¹⁾; denn es genügt, nachdem die Filtration sehr klein geworden ist, an dieser Seite eine Holzschicht von 0,2 mm Dicke wegzuschneiden, um dann die Filtration wieder sehr lebhaft werden zu lassen. Jede Verunreinigung des Wassers (z. B. mit feinen Zinnobertheilchen) macht, dass die Filtration gleich anfangs sehr unbedeutend ist.

Die 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 eitirten Versuchen von 1860 schon hervorgeht. Ebenso folgt aus dem Gesagten, dass innerhalb der fertig ausgebildeten Holzzellen keine Turgeseenz möglich ist.

Dass es vorwiegend die gehöften Tüpfel sind, welche die Raschheit der Filtration ermöglichen, dürfte folgender Versuch beweisen. Aus einem mit Wasser fast gesättigten Stammstück einer Tanne liess ich einen Cylinder so auf der Drehbank herstellen, dass seine Axe von 48,5 mm Länge einem Querdurchmesser des Stammes entsprach. Die Dicke dieses Cylinders war 23,5 mm; er wurde sofort nach dem Ahdrehen wieder in Wasser

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 22 Jahren (*Flora* 1856 pag. 613) zeigte. — In der oben bereits erwähnten Untersuchung von 1868 kommt RAUWENHOFF auch betreffs der Laubhölzer mit Gefässrohren zu dem Resultat, dass das Wasser anfangs viel rascher filtrirt als später; nach ihm ist die Filtration auch ausgiebiger, wenn sie in acropetaler, als wenn sie in basipetaler Richtung geht. — Vergl. auch die cit. Abhandlung von HORWATH.

gelegt. Die Jahrringe standen also quer zur Axe des Cylinders, der nun einem Wasserdruck von 160 cm unterworfen wurde. In den ersten Stunden filtrirte kein Tropfen heraus, während Längsabschnitte von gleichen Dimensionen in den ersten Stunden viele Cubik-Centimeter Wasser durchfiltriren lassen. Erst nach 24 Stunden fand ich 2,3 ccm Filtrat.

Dieser Erfolg wird verständlich, wenn man annimmt, dass die Tüpfel es sind, durch welche das filtrirende Wasser mit grosser Geschwindigkeit hindurchgeht, während die dicken Wandstellen ihm einen ihrer Dicke entsprechenden Widerstand entgegensetzen. Da nun die Tüpfel auf den Tangentialflächen der Holzzellwände fehlen, so trifft das rechtwinkelig auf diese Flächen drückende Wasser nur auf dicke Wandstellen, die ihm den Durchgang sehr schwierig gestatten. Dieser Effect wird nun aber noch dadurch wesentlich erhöht, dass das so filtrirende Wasser auf seinem Wege radial durch das Holz den Herbstholzlagen begegnet, deren Wände besonders dick und, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, vielleicht ohnehin für Wasser weniger durchdringbar sind. Mag dem so oder anders sein, der Versuch lehrt jedenfalls soviel, dass die Filtration des Wassers in radialer Richtung durch das Holz im Vergleich zu der in der Längsrichtung äusserst gering ist; wenn nun daran vor Allem die Anordnung der Tüpfel schuld ist, so wird man weiter folgern dürfen, dass die Filtration auch innerhalb einer jeden peripherischen Zellschicht, deren Zellen ja durch Tüpfel auf den Radialwänden verbunden sind, eine sehr begünstigte sein muss, und dies wird wieder im Frühlingsholz in höherem Grade, als im Herbstholz der Fall sein, da in letzterem die Tüpfel kleiner und wohl auch weniger zahlreich sind. Aus all' dem würde dann schliesslich folgen, dass das Wasser zwar innerhalb der peripherisch zusammenhängenden Zellschichten in tangentialer und longitudinaler Richtung sehr leicht durch Filtration alle Ungleichheiten seiner Vertheilung ausgleicht, während dagegen dem Austausch in radialer Richtung, besonders aber durch die Herbstholzschiechten hindurch grosse Hindernisse entgegenstehen, so dass man wohl annehmen darf, dass die durch Filtration bewirkten Wasserbewegungen in einem Tannenstamm zunächst vorwiegend innerhalb einzelner Jahrringe im Frühjahrholz stattfinden, dass aber die Filtrationsbewegungen in benachbarten Jahrringen von einander ziemlich unabhängig sind, indem dieselben durch die Herbstholzlagen eingedämmt werden.

Zum genaueren Verständniss des in § 3 Gesagten lasse ich nun die Beschreibung einer Reihe von Versuchen über die Filtration folgen, welche, wo es nicht anders angegeben ist, mit der Vorrichtung in Fig. 1 ausgeführt wurden. Durch den Kork *a* einer tubulirten Glasglocke *an* geht ein ca. 150 cm langes, ca. 12 mm dickes, dickwandiges Glasrohr *bb*, welches unten mittelst eines sehr gut schliessenden Korkes eine kurze weite Glasröhre *dc* trägt; über diese letztere ist ein Stück sehr dickwandigen Kautschukrohres *dh* gestülpt, in dessen unteren Theil der zur Filtration benutzte

Holzylinder (mit oder ohne Rinde) eingelassen ist; die Dichtung des Kautschukschlauches sowohl am Glasrohr wie am Holz ist durch Umwicklung mit Bindetrath noch weiter gesichert. Diese ganze Vorrichtung *nh* hängt an der Wand mittels eines gestielten eisernen Ringes, in dessen Seitenöffnung der Hals *a* so eingeschoben werden kann, dass der Ring oberhalb des Tubulus die Glocke trägt. Vor Beginn des Versuchs wird der graduirte enge Messzylinder *f* mit dem Trichter *e* so unter das Holz *h* gestellt, dass dessen Ränder den Trichter berühren, wodurch das bei *e* aus dem Holz austropfende, durch das Holz filtrirte Wasser vor Verdunstung geschützt wird. — Endlich wird frisch destillirtes Wasser, welches sorgfältigst vor Staub gesichert war, oder auch Zinnoberemulsion, oder filtrirtes Regenwasser in das Rohr *bb* eingegossen, bis es das Niveau bei *n* erreicht; dieses liegt 160 cm über dem oberen Querschnitt des Holzes *h* und da dieser Querschnitt nur sehr klein ist im Verhältniss zum Querschnitt des Niveaus *n*, so ändert sich das letztere nur wenig, wenn auch die Filtration ziemlich raseh verläuft, so dass erst nach mehreren Stunden eine Wiedererhöhung des Niveaus bis *n* nöthig wird, um gleichen Druck von 160 cm Wasser zu erhalten. Das Holz wurde immer so eingesetzt, dass die Filtration in der aeropetalen Richtung erfolgte.

Alle Versuche wurden in den Wintermonaten (October bis März) gemacht; das Holz, frisch vom lebenden Stamm, war daher von vornherein schon sehr wasserreich.

Die hier aufgeführten Versuche sind aus zahlreichen, hier nicht erwähnten ausgewählt:

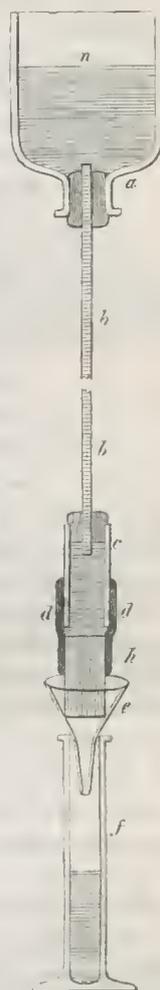
No. 1. *Taxus baecata*, October 1876.

Ein cylindrisches Holzstück von 147 mm Länge und 21 mm Durchmesser, 51,9 g schwer, an den Apparat Fig. 4 gesetzt; das Wasser ist filtrirtes Regenwasser.

Es filtrirt in den ersten 3 Stunden pro Stunde	11,3	cm
in den folgenden 2 Stunden	6,5	-
in den folgenden 15 Stunden im Mittel	4,3	-
in den folgenden 7 Stunden	3,00	-
- - - 3 - - -	2,8	-
- - - 14 - - -	2,1	-

Nach dieser Zeit ist das Holz um 1,4 g durch zurückgehaltenes Wasser schwerer geworden. Dieser Versuch zeigt, wie zahlreiche andere, dass

Fig. 4.



die in der Zeiteinheit durchfiltrirte Wasserquantität mit der Dauer stetig abnimmt. Dass bei dem angewandten Druck weder Mark noch Markkronen Wasser durchlässt, wurde hier bei den andern Hölzern durch besondere Versuche constatirt. Ebenso ist das braune Kernholz bei der Filtration unthätig.

No. 2. *Taxus baccata* im November 1876.

Stammstücke 70 mm lang; Durchmesser 29 mm, des Kerns 20 mm.

Filtrat in den ersten 4 Stunden pro Stunde	16,2 ccm
in den folgenden 5 Stunden	10,0 -
in den folgenden 14 Stunden im Mittel	2,9 -

Es wurde nun an dem Querschnitt, wo das durchfiltrirende Wasser eintrat, eine Querschicht von ca. von 0,5 mm Dicke weggeschnitten und das Holz wieder an den Apparat gesetzt. Das Filtrat betrug jetzt

in der ersten Stunde	31,5 ccm
in den folgenden 3 Stunden pro Stunde	12,7 -
in der folgenden Stunde	7,5 -
in den folgenden 2 Stunden pro Stunde	6,1 -
in den folgenden 14 Stunden - - - - -	3,4 -

Jetzt wurde an der Eintrittsseite des Holzes nur vom Splint eine 0,5 mm dicke Querschicht abgenommen; das Filtrat betrug darauf in der ersten Stunde 22,5 ccm.

Dieser Versuch zeigt, wie viele andere, dass die Abnahme des Filtrats in der Zeiteinheit ganz vorwiegend von einer Veränderung des als Eintrittsstelle dienenden Querschnitts herrührt, da die Entfernung einer sehr dünnen Schicht an dieser Seite die verminderte Filtrationsfähigkeit sofort enorm steigert; da eine solche Steigerung auch dann eintritt, wenn nur die Splintfläche erneuert wird, so folgt, dass es wesentlich nur dieser ist, durch den die Filtration stattfindet, was auch durch die Zinnoberemulsion bewiesen wird.

No. 3. *Abies pectinata*, 30. November — 4. December 1876.

Dreijähriges Stammstück sammt Rinde, 63 mm lang, Holz 47,5 mm Durchmesser; destillirtes Wasser. Die Messung des Filtrates beginnt erst, nachdem die Filtration bereits eine Stunde gedauert hatte. Erste Messung ergab für $\frac{1}{4}$ Stunde 36 ccm, also pro Stunde 144 ccm, dann filtrirte das Wasser 15 Stunden ohne Messung. Darauf filtrirten pro Stunde 27 ccm.

In den folgenden 23 Stunden liefen 300 ccm durch, pro Stunde 43 ccm (Mittel), darauf während 4 Stunde 10,4 ccm.

Das Holz wurde jetzt abgenommen, die Eintrittsfläche für das Wasser war schmutzig grau, vorwiegend am Frühjahrsholz; es wurde eine 0,2 mm dicke Schicht abgetragen und das Holz wieder an das Filter gesetzt:

Filtrat in der ersten Stunde = 48 ccm.

Die schmutzige Färbung des Querschnittes, wo das Wasser eintritt, rührt hier und in anderen Versuchen, wie die mikroskopische Untersuchung zeigt, her von einem feinen Mulm, der sich in den Oeffnungen der durchschnittenen Zellen angesammelt hat, in diese selbst aber kaum eingedrungen und nicht bis zu den gehöften Tüpfeln gelangt ist; das angewandte Wasser war frisch destillirt und erschien vollkommen krystallklar; dennoch enthielt es diesen feinertheilten Staub, der bei der Filtration die Zellenöffnungen verstopfte.

No. 4. *Abies pectinata*, 28. December 1876.

Dicht über einander wurden von demselben Stamm zwei Stücke abgesehen und an 2 Filtern gleichzeitig beobachtet, das eine Stück A war 46 mm lang und hatte 26,5 mm Durchmesser; destillirtes Wasser filtrirte in den ersten 10 Minuten und gab 46 cem, noch 20 Stunden später filtrirten in 10 Minuten 5,5 cem.

Durch das zweite ebenso dicke, aber nur 38 mm lange Stück, welches also etwas mehr Filtrat hätte geben müssen, wurde eine Zinnoberemulsion (vergl. § 2) ebenfalls bei 160 em Druck filtrirt; schon in den ersten 20 Minuten betrug das Filtrat nur 5 cem, das Wasser lief ganz klar durch (in drei weiteren Stunden nur 23,5 cem). In den nächsten 42 Stunden liefen noch 212 cem klares Wasser durch, also pro Stunde 5 cem.

Als jetzt das Holz aus dem Rohr genommen wurde, zeigte sich auf dem Querschnitt, durch welchen die Zinnoberemulsion bei der Filtration eingetreten war, eine sehr lehrreiche Vertheilung des Zinnobers; derselbe bedeckte die Frühlingssehichten der drei jüngeren Jahrringe als homogen rothe Schicht, dagegen waren die Herbstholzonen ebenso wie der ganze innerste, in Kernholz verwandelte Jahrring kaum davon gefärbt; offenbar eine Folge des Umstandes, dass das durchfiltrirende Wasser nur an den Querschnittsorten reichlich Zinnober absetzt, wo es rasch und in grosser Menge in das Gewebe eindringt, also im jüngeren Frühlingsholz; wo es dagegen langsam, vielleicht gar nicht infiltrirt, am Kern- und Herbstholz, wird auch wenig oder kein Zinnober abgelagert. Derselben Ursache ist es offenbar zuzuschreiben, dass auch der Querschnitt von Rinde und Bast farblos, nicht mit Zinnober bedeckt war; auch das Rindengewebe ist so gut wie nicht filtrationsfähig, denn wäre durch dieses eine erhebliche Wassermasse filtrirt, so hätte der darin enthaltene äusserst fein zertheilte Zinnober an der Eintrittsfläche zurückbleiben müssen, was eben nicht geschah.

Von der sattrothen Fläche der drei äusseren Jahrringe wurde nun eine circa 0,2 mm dicke Schicht mit scharfem Messer abgetragen, wobei die mit Zinnober gefüllten Holzzellen von 2—4 mm Länge natürlich nicht entfernt wurden; sie blieben mit Zinnober gefüllt, aber ihre Wandungen hatten

jetzt frische, reine Querschnitte. So wurde das Holz wieder an das Filter befestigt und in dieses destillirte Wasser 160 cm hoch gegossen. In der ersten $\frac{1}{2}$ Stunde liefen 11 cm durch, also in 20 Minuten 7,4 cm, nur wenig mehr, als zuerst, wo Zinnoberlösung durchfiltrirte; dies scheint zu beweisen, dass die Anfüllung der Zellenlumina und Tüpfelräume mit Zinnober es ist, was die Filtration so sehr verlangsamt; käme es auf die Querschnitte der Holzwände selbst an, so hätte jetzt, nachdem diese erneuert waren, das destillirte Wasser viel rascher durchlaufen müssen, da es bei dem Stück A in den ersten 40 Minuten, also in der halben Zeit 16 cm Filtrat gab, und da eine Erneuerung des Schnittes, wenn kein Zinnober angewendet war, die ursprüngliche Filtration beinahe wieder herstellt.

No. 5. *Abies pectinata*, 28. December 1876.

Um zu sehen, in welcher Beziehung die Quantität des Filtrats in der Zeiteinheit zu der Länge des von dem Wasser zu durchlaufenden Holzes steht, wurde ein besonders schön gewachsenes Stammstück mit 4 Jahrringen von 29,1 mm mittlerem Durchmesser (oben 28,7, unten 29,5 mm) und 360 mm Länge an das Filter Fig. 4 gesetzt; nachdem einige Minuten lang bei 160 cm Druck destillirte Wasser durchgelaufen, begann der Versuch, nämlich so, dass jedesmal 40 Minuten lang bei 160 cm Wasserdruck filtrirt und dann jedesmal ein genau 60 mm langes Stück von dem Holz abgesägt wurde.

Länge des Holzes.	Filtrat in 40 Min.
36 cm . . .	10,5 ccm
30 - . . .	13,5 -
24 - . . .	13,8 -
18 - . . .	21,0 -
12 - . . .	27,0 -
6 - . . .	40,0 -

Die Filtrate sind also den Längen nicht umgekehrt proportional, vielmehr geben die Filtrate als Ordinaten auf der Längenabscisse des Holzes eine Curve, welche der letzten ihre Convexität zukehrt; dasselbe Resultat ergab ein entsprechend angestellter Versuch mit *Taxus baccata*. Da die Filtration eine Stunde im Ganzen in Anspruch nahm, konnte sich die Querschnittsfläche, durch welche das Wasser eintrat, erheblich verändern. Wäre nämlich das Filtrat der Holzlänge umgekehrt proportional, so hätte das 6 cm lange Stück nicht 40 ccm, sondern 63 ccm Filtrat geben müssen.

Auch eine Reihe von Versuchen, wo das Wasser durch dasselbe Holzstück abwechselnd mit verschiedenen Druckkräften filtrirt, ergab zwar, dass offenbar die Filtration, wie ja selbstverständlich, von dem Druck direct abhängt, aber auch hier wird das Zahlenergebniss durch die sehr rasche Veränderung der Eintrittsfläche am Holz wesentlich getrübt.

No. 6. *Abies peetinata*, 4. Februar 1878.

Die oben erwähnte Thatsache, dass selbst über 1 m lange Stammstücke der Tanne (und Aeste der Fichte, *Ab. excelsa*) eine auf den oberen Querschnitt aufgesetzte dünne Wasserschicht sofort einsinken lassen, während eine gleiche Wassermasse unten aus dem Frühlingsholz der Jahrringe austritt, ist nur dann zu beobachten, wenn das Holz einen gewissen nicht allzu geringen Wasserreichthum besitzt; das Merkwürdige dabei ist aber, dass das Holz keineswegs mit Wasser gesättigt zu sein braucht.

Aus der Mitte eines 2 m hohen Tannenstammes, der seit 4 Wochen frei in Luft gestanden, ohne Wasser zu saugen, wurde ein 30 cm langes Stück mit 6 Jahrringen und 4 cm dick ausgeschnitten und entrindet. Eine auf den oberen Querschnitt gesetzte Wassermasse wurde sofort eingesogen, ohne dass unten Wasser austrat; dasselbe geschah bei wiederholtem Versuch.

Das Holz wurde nun gewogen und dann in einen hohen Cylinder mit Wasser gestellt, aus dem es schwimmend weit hervorragte. In 93 Stunden sog es hier 32,2 g Wasser auf, nachdem es vorher 363,2 g gewogen und ein Volumen von 425 cem gehabt hatte. Das Holz war während dieser Sanguung natürlich immer tiefer eingesunken, aber auch zuletzt schwamm es noch, d. h. es war noch lange nicht mit Wasser gesättigt (selbst in Wasser untersinkendes Holz enthält noch Luft, s. unten).

Nun wurde das Holz herausgenommen, abgetrocknet und als jetzt auf den oberen Querschnitt eine dünne Wasserschicht gesetzt wurde, trat unten sofort ebenso viel Wasser aus, wie oben einsank; wurde dieser Querschnitt aufwärts gekehrt, so sank das Wasser wieder in ihn ein und trat an dem nunmehr untern aus.

Demnach braucht das Holz nicht mit Wasser gesättigt zu sein, um diese Filtrationserscheinung zu zeigen; aber auch sehr wasserreiches, fast gesättigtes Holz, welches kaum noch im Stande ist, Wasser von aussen aufzusaugen, thut es.

Zahlreiche derartige Versuche führen überhaupt zu dem Resultat, dass Holz von sehr verschiedenem Wassergehalt, wenn es aufrecht gehalten wird, am untern Querschnitt durchaus kein Wasser ausfliessen lässt, dass dies aber sofort geschieht, wenn man eine sehr dünne Wasserschicht auf den oberen Querschnitt setzt. Es handelt sich hier also nicht etwa um einen Ueberschuss von Wasser, den das Holz nicht mehr festzuhalten vermöchte; denn ein Stück Holz, welches im Stande ist, 5—10 cem Wasser aufzusaugen, ohne es ausfliessen zu lassen, lässt doch sofort unten Wasser austreten, wenn oben einige Cubik-Millimeter aufgesetzt werden; warum wird nun dieses kleine Quantum nicht festgehalten, da doch ein viel grösserer im Holz noch Raum findet?

§ 4. Imbibition, Hygroskopicität und Quellung der Holzzellwände.

Um hier etwaigen Irrthümern zu begegnen, wird es nicht überflüssig sein zu bemerken, dass in diesem Paragraph nicht etwa von der Wasseraufnahme und Volumenänderung von Holzstücken die Rede ist. Ein beliebig abgeschnittenes Holzstück, in Wasser gelegt, kann dieses einsaugen und dabei sein Volumen vergrössern; dasselbe, an die Luft gelegt, kann Wasser verlieren und dabei sein Volumen verkleinern. Aber Wasseraufnahme und -Abgabe stehen in keinem constanten Verhältniss zur Volumenänderung, diese lässt sich aus jener nicht beurtheilen, weil die Volumenänderung ausschliesslich von den Quellungserscheinungen der Zellwände herrührt, die Aufnahme und Abgabe des Wassers dagegen auch von den Hohlräumen der Zellen abhängt; diese können Wasser aufnehmen und abgeben, ohne dass dabei der Imbibitionszustand und das Volumen der Zellwände selbst irgendwie verändert wird; erst dann, wenn die Hohlräume der Zellen kein Wasser mehr enthalten, wird ein weiterer Wasserverlust die Imbibition der Wände und ihr Volumen vermindern, und erst wenn dies eingetreten ist, wird eine Wasseraufnahme ihr Volumen wieder vergrössern. Es wäre also ganz vergebliche Mühe, die Imbibition und Quellung der Holzzellwände aus den Volumenänderungen grösserer Holzstücke direct erschliessen zu wollen; da die Quellung der Zellwände, nur insofern sie ihre Fläche trifft, das Volumen des grösseren Holzstückes verändert; quellen die einzelnen Wände in ihrer Dicke, so braucht das Volumen des ganzen Holzes sich gar nicht zu verändern, indem es genügt, dass durch die Verdickung der Wände die Zellenlumina verkleinert werden.

Es ist aber für die Beurtheilung der inneren Zustände des Holzes und der Bewegung des Wassers in ihm von Bedeutung zu wissen, wie sich die Wand einer Holzzelle verändert, wenn sie zwischen ihre Moleküle Wasser aufnimmt oder es abgibt, und wie es mit der Verschiebbarkeit des Wassers in den Molekularinterstitien der Wandmasse sich verhält.

Um auf diese Fragen näher eingehen zu können, ist es aber nöthig, vorher eine richtige Vorstellung von dem Vorgang der Imbibition und Quellung zu gewinnen, und die durchaus falsche Ansicht abzulegen, als ob die Imbibition ein besonderer Fall der Capillarität wäre und die Bewegung des imbibirten Wassers mit capillaren Bewegungen verglichen werden könnte¹⁾. Ich wiederhole betreffs dieses Punktes zunächst, was ich darüber bereits in der vorläufigen Mittheilung gesagt habe.

1) Dass die Capillartheorie in keiner Weise im Stande ist, die Saftbewegung im Holz zu erklären, geht schon aus NÄGELI'S und SCHWENDENER'S (das Mikroskop 2. Aufl. § 374) Erwägungen hervor und zwar um so schlagender, als diese Forscher die Capillartheorie ihren Betrachtungen zu Grunde legen.

Diese Ansicht, dass die Imbibition nur ein besonderer Fall der Capillarität sei, wurde zuerst von DE LUC¹⁾ ausgesprochen, und zwar weil hygroskopische Körper, nachdem sie mit Wasser vollgesogen sind, in Alkohol gebraucht, anscheinend ihren Imbibitionszustand beibehalten. Die Thatsache ist jedoch unrichtig aufgefasst. Bringt man wasserfreie quellungsfähige Körper, wie thierischen Leim, geronnenes Eiweiss, trockene Laminarienstämme u. s. w. in fast wasserfreien Alkohol (98 $\frac{0}{100}$), so quellen sie darin niemals auf, nehmen an Gewicht nicht oder nur ganz unerheblich zu. Bringt man sie trocken ins 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 beträgt²⁾. 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 aneinander. 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 Vorganges mit dem capillären Eindringen der Flüssigkeiten in grosse Körper wohl kaum 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 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 ein gleiches Volumen Alkohol oder Glycerin eindringt. Ganz anders verhält sich Laminaria; sie zieht sich in 98 procent-

1) DE LUC in Philos. Transactions 4791. p. 12. In der vorläufigen Mittheilung ist leider die Jahreszahl falsch gedruckt worden.

2) Abgesehen von der geringen Volumenminderung, die bei der mit Wärmebildung verbundenen Verdichtung eintritt.

tigen 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 eingedrun- genen 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 untersinkt¹⁾. Der Alkohol hat also nicht die Fähigkeit, die Moleküle der Zellwände, wenn diese trocken sind, auseinander zu drängen; hat das Wasser sie aber 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 formverhaltendes 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 welkes Aussehen. Das innerhalb der so erstarrten Zellwände liegende Protoplasma contrahirt sich dagegen, indem es im Alkohol erstarrt.

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 hinein²⁾. 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 ebenso wenig aufeinander, wie die Salzmoleküle in einer Lösung³⁾; so wenig, wie die gelösten Salzmoleküle einen Krystall, ebenso wenig bilden die imbibirten Wassermoleküle eine zusammenhängende Flüssigkeitsmasse, was in einem porösen capillaren Körper allerdings der Fall ist. In einem solchen mit präformirten Capillaren versehenen Körper hängt daher

1) Selbst in einer Lösung von salpetersaurem Kalk von 1,57 sp. Gewicht.

2) Und dieser Vorgang kann sich bei sehr quellungsfähigen Körpern (wie Lein-samenschleim) so steigern, dass die Moleküle selbst sich in Wasser vertheilen, ein Vorgang, den man doch unmöglich als Capillarität deuten kann.

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

die 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 400 Meter hoch befindet.

Noch anschaulicher ist vielleicht der Vergleich des in einer Zellhaut oder sonst einem imbibitionsfähigen und quellbaren Körper imbibirten Wassers mit dem Zustand des Krystallwassers, von welchem ja auch Niemand annehmen wird, dass es in capillaren Hohlräumen des Krystalls enthalten sei. Auch das Krystallwasser ist zwischen den Molekülen des Salzes in einer Form vorhanden, in welcher es nicht mehr als Flüssigkeit bezeichnet werden kann, in einer Form, welche es hindert, dass die Wassermoleküle auf einander drücken und den hydrostatischen Gesetzen unterliegen, die für eine noch so dünne capillare Wassersäule gelten. Wie das Imbibitionswasser kann auch das Krystallwasser wenigstens in manchen Fällen durch Wärme verdunsten; dann aber wird freilich die Krystallform zerstört; dies ist aber im Grunde kein Einwand, denn man hat allen Grund, anzunehmen, dass auch viele Zellhäute und Protoplasma bei völliger Austrocknung eine moleculare Veränderung erleiden, die sie unfähig macht, in normaler Weise am Leben der Pflanze sich zu betheiligen. Zwar giebt es ja viele Pflanzen, die längere Zeit lufttrocken bleiben und dann mit Befeuchtung wieder aufleben können; das ist aber ihre Besonderheit; denn andere, wie die Samen vieler Wasserpflanzen (*Trapa*, *Zizania*) und des Kaffees, vertragen nicht einmal eine kurze Austrocknung an der Luft, geschweige denn eine vollständige Wasserentziehung. Wenn letztere die Pflanzen tödtet, so kann es eben nur darauf beruhen, dass das nach der Austrocknung eindringende Wasser nicht mehr diejenige Molecularstructur vorfindet, die vor der Austrocknung vorhanden war.

Diese Vergleichen der Imbibition und Quellung mit den Lösungsvorgängen und dem Krystallwasser zeigen, dass es Zustände des Wassers giebt, die kein Naturforscher als auf Capillarität gegründet anerkennen wird, und die sich doch mit dem Zustand des Wassers in einer imbibirten Zellhaut vergleichen lassen.

Indem ich nun auf die Imbibition der Holzzellwände speeiel eingeehe, kommt es mir vorwiegend darauf an, zwei Fragen zu beantworten; erstens die nach der Sättigungscapacität mit Wasser und dann die Frage nach der Verschiebbarkeit des imbibirten Wassers in der Holzwand.

A. Sättigungscapacität der Holzwand für Wasser.

Es sind früher zahlreiche Versuche in der Art gemacht worden, dass man gemessene trockene Holzstücke so lange in Wasser legte, bis die Ein-

saugung und Quellung aufhörte¹⁾. Derartige Beobachtungen, so werthvoll sie für manche andere Zwecke sein mögen, geben aber, wie schon gesagt, keine Auskunft darüber, wie viel Wasser in die Holzzellwand als Quellungswasser eindringen kann: schon das Ergebniss, dass das aufgesogene Wasservolumen vielmal grösser ist als die Volumenzunahme des Holzstückes, zeigt, dass der grösste Theil des Wassers nicht zur Quellung der Wände, sondern zur Ausfüllung der Hohlräume der Zellen verwendet worden ist. Auch zeigen die Zahlen von WEISBACH, dass zwischen der Quellung und dem Volumen des aufgesogenen Wassers bei gleichartigem Holz kein constantes Verhältniss besteht, was dagegen bei der Imbibition der einzelnen Wand nothwendig der Fall sein muss. So zeigt WEISBACH'S Tabelle z. B., dass Tannenholz das eine Mal auf 100 Gewichtstheile des trockenen Holzes 83 Wasser aufnahm, und sein Volumen um 3,6% vermehrte, während ein anderes Stück Tannenholz 94 Wasser aufnahm und sein Volumen um 7,2 vermehrte; ähnlich war es bei Ahorn, Aspe, Birke, Eiche, Erle, Fichte. Derartige Versuche beweisen daher nichts für unsere Frage, sie beweisen aber, dass, wenn man ein trockenes Stück Holz in Wasser legt, dieses sehr reichlich in die Zellhöhlungen eindringt, was nur dann möglich ist, wenn letztere sehr verdünnte Luft enthalten, worauf ich unten zurückkomme.

Ich habe verschiedene Methoden versucht, unsere Frage experimentell zu beantworten, bin aber erst nach langem Bemühen auf einen Weg gekommen, der zum Ziele führend das überraschende Resultat liefert, dass ein Volumen Holzzellwand nur ungefähr ein halbes Volumen Wasser zu imbibiren vermag.

Um zu einem befriedigenden Ergebniss zu gelangen, ist vor Allem nöthig, dass die benutzten, vorher getrockneten Holzstücke nicht mit flüssigem Wasser in Berührung kommen, da dieses, wie ich noch zeigen werde, z. Th. in capillare Spalten eindringt, z. Th. aber in die Zelllumina hineingepresst wird. Ausserdem müssen die Holzstücke dünn sein, damit die Aufsaugung des Wasserdampfs in kurzer Zeit vollendet wird, bevor Pilze auf dem Holze sich ansiedeln.

Um die Ergebnisse der zu beschreibenden Beobachtungen in eine physiologisch verwerthbare Form zu bringen, habe ich die imbibirte Wassermasse nicht auf das Gewicht, sondern auf das Volumen der Zelloberfläche bezogen; dies ist aber nur dann möglich, wenn man das specifische Gewicht derselben kennt; in einem folgenden Paragraphen werde ich zeigen, dass es zweckmässig ist, dieses so anzunehmen, dass 100 g als 64 ccm gelten.

¹⁾ Vergl. LAVES im polyt. Centralblatt von Hulse und Weinlig 1837. p. 799 und JULIUS WEISBACH, ibidem 1845. p. 370, auch SACHS, Exper. Physiologie 1863. p. 432.

Ich lasse einige Versuche in ausführlicher Beschreibung folgen, weil nur eine solche ganz verständlich sein dürfte.

No. 7. *Pinus sylvestris*, Februar u. März 1878.

In eine Schachtel von dünnstem Messingblech mit sehr gut schliessendem Deckel wurden 16 Stücke von circa 4 cm im Geviert von ausgesucht dünnen und reinen Hobelspänen gelegt; die offene Schachtel blieb im Trockenofen so lange, bis kein Gewichtsverlust mehr eintrat; vor den Wägungen wurde jedesmal der Deckel auf die noch heisse Schachtel gesetzt und dann diese hinreichend abgekühlt gewogen; dieses Verfahren hatte den Zweck, die hygroskopische, bei 100° C. getrocknete Substanz vor dem Wasserdampf der Luft zu schützen.

Das trockene Holz wog 5,675 g.

Die Hobelspäne blieben in der offenen Schachtel, welche selbst in dem mit Wasserdampf gesättigten Raum eines grossen Glascylinders stand, dessen Boden mit Wasser bedeckt war; Temp. = 15—17° C.; es wurde oft gewogen und folgende Gewichtszunahmen durch imbibirten Wasserdampf gefunden:

		Gewichtszunahme:	
	nach 14 Stunden	. . .	0,330 g
	nach weiteren 24	- . . .	0,360 -
	- - 24	- . . .	0,160 -
	- - 24	- . . .	0,080 -
	- - 48	- . . .	0,120 -
	- - 48	- . . .	0,070 -
	- - 48	- . . .	0,067 -
	- - 96	- . . .	0,093 -
	- - 96	- . . .	0,069 -
	- - 31 Tagen	. . .	0,201 - 1)
		<hr/>	
	in 48 Tagen	. . .	1,750 g
Demnach haben 5,675 g trockenes Holz			
aufgenommen 1,750 - Wasser			
oder 100 g Holz aufgenommen 30,83 g Wasser			
64 cem Holz aufgen. 30,83 cem Wasser			
100 - - - 48,2 - -			

No. 8. *Pinus sylvestris*, Februar u. März 1878.

Ganz in derselben Art wurde abgeseihtes feines Sägemehl von Kiefernholz behandelt.

1) In den letzten Tagen war keine Gewichtszunahme mehr zu bemerken.

In 48 Tagen haben 10,470 g trockenes Holz
 aufgenommen 3,447 - Wasser
 also 100 g Holzmehl nahmen auf 32,92 g Wasser
 oder 6½ cem Holz wand - - 32,92 cem Wasser
 - 100 - - - - 31,4 - - 1)

Das bei diesen Versuchen von dem Holz aufgenommene Wasser war aus der feuchten Luft condensirt. Die Frage war nun, nimmt Holz aus der feuchten Luft so viel Wasser auf, dass es damit das Quellungsmaximum erreicht?

Wenn das hygroskopische, aus der Luft aufgenommene Wasser wirklich das Quellungsmaximum der Holzwände erzeugt, so müssen diese dabei wieder die Form und das Volumen annehmen, die sie vor dem Versuch bei völliger Durchfeuchtung hatten. Mikroskopisch ist dies nicht zu beweisen. Dagegen kann man aus dem Verhalten der beim Austrocknen erhaltenen Spalten schliessen, ob das Quellungsmaximum eingetreten ist.

Schliesst sich ein bei dem Austrocknen (bei 100° C.) entstandener und weit klaffender Radialspalt einer Holzquerscheibe durch hygroskopische Wasseraufnahme ganz vollständig, so dass der Spalt gar nicht mehr zu sehen ist, so muss das Quellungsmaximum eingetreten sein; denn das Holz befindet sich dann wieder in dem Zustand, den es besitzt, wenn es ganz mit Wasser durchtränkt ist.

Dieser Erfolg tritt nun wirklich ein und die bei dem Schliessen des Spaltes aufgenommene Wassermenge repräsentirt also das Quellungsmaximum der Wände. Es ist aber auch nicht anzunehmen, dass bis zu dieser Zeit ein Theil aufgenommenen Wassers in die Zellräume eindringt; weil gar kein Grund vorliegt, warum noch vor Eintritt des Quellungsmaximums oder auch später Wasser aus den Zellwänden in die Zellräume austreten sollte; letzteres könnte geschehen und geschieht wirklich, wenn das Holz mit flüssigem Wasser in Berührung ist, aber nicht wenn das Wasser aus der Luft erst durch die Zellwand condensirt werden muss.

Ich glaubte anfangs, der Versuch liesse sich auch so anstellen, dass man eine feuchte Holzscheibe ohne Riss so lange in trockner Luft hängen lässt, bis ein radialer Riss von selbst entsteht, in diesem Augenblicke wägt, dann trocknet und so bestimmt, wie viel Wasser im Augenblick des Reissens vorhanden war; denn offenbar tritt die Rissbildung erst ein, wenn alles Wasser in den Zellhöhlen verdunstet ist und das Imbibitionswasser selbst zu verdunsten beginnt; es zeigte sich jedoch, dass die Austrocknung der Wände selbst schon weit fortgeschritten sein muss, bevor der Spalt ent-

1) Ganz in derselben Art wurde Stärke behandelt und es fand sich, dass wenn man das specif. Gewicht der Stärke zu 1,54 annimmt) 100 cem Stärke 38,3 cem Wasser hygroskopisch aufsaugen.

steht; offenbar in Folge der Zähigkeit und Cohärenz des Holzes. Ich führe daher nur einige Versuche an, wo ich umgekehrt vom trockenen, bereits mit einem Riss versehenem Holz ausging und den Riss durch Aufnahme von Wasserdampf sich schliessen liess.

Nr. 9. *Abies pectinata*, März 1878.

Mitten aus einem sehr wasserreichen Tannenstamm mit 8 Jahrringen wurde eine 7,5 mm dicke, 58,5 mm im Durchmesser breite Scheibe auf der Drehbank abgeschnitten, so dass die Querflächen glatt waren; das Mark wurde sammt der Markkrone ausgebohrt. Die Scheibe wurde in trockene Luft gehängt, und als hinreichend Wasser verdunstet war, entstand ein radialer Spalt, der am centralen Bohrloch eng war, am Umfang weit klaffte.

Die Scheibe wurde nun bei 100° C. getrocknet und wog 7,74 g.

In diesem Zustand wurde sie auf ein nur wenig angefeuchtetes Filtrirpapier gelegt und mit Glasglocke bedeckt. Nach 13 Stunden hatte sich der Spalt so vollkommen geschlossen, dass man ihn gar nicht mehr erkannte. Die Scheibe wog jetzt 9,922 g, hatte also 2,212 g Wasser aufgenommen. Demnach hatten

100 g Holz aufgenommen	29,7 g Wasser
oder 64 cem Holz wand	- 29,7 cem -
oder 100 - - -	- 46,4 - -

Die Scheibe wurde nun abermals aufgehängt und, als nach 1 Stunde der Spalt wieder klaffte, auf feuchtes Papier gelegt, bis er sich wieder schloss. Diesmal ergab die Rechnung, dass

100 cem Holz wand aufgenommen 44 cem Wasser.

Dies ist nahezu derselbe Werth, wie der vorige; das zur Erreichung des Quellungsmaximums nöthige Wasser ist weniger als das halbe Volumen der Zellhautmasse. Dieselbe Scheibe wurde wieder getrocknet, bis sie klaffte, und dann in feuchte Luft gehängt (Cylinder unten mit Wasserseicht); nach 7 Tagen schloss sich der Spalt und die Scheibe wog 9,770; wieder in die feuchte Luft gehängt, nahm sie jedoch später noch 0,04 g Wasser auf. Das heisst, bis zum Schliessen des Spaltes hatte sie 2,06 g, in den folgenden 8 Tagen nur noch 0,04, also nur äusserst wenig mehr aufgenommen, was beweist, dass mit dem Schliessen des Spaltes die Quellung so gut wie beendigt ist.

Demnach hatten jetzt

100 g Holz aufgenommen	27,2 g Wasser
oder 64 cem Holzmasse	- 27,2 cem -
oder 100 - - -	- 42,5 - -

Was wieder mit den obigen Werthen genügend übereinstimmt.

Die Wägungen wurden auch hier in der unter No. 7 erwähnten Messingschachtel vorgenommen.

Wie ganz anders die Sache sich gestaltet, wenn man die bei 100° C. getrocknete Holzscheibe in eine niedrige (1 cm hohe) Wasserschicht hält oder auf ganz nasses Papier legt, davon habe ich mich wiederholt überzeugt. Das Wasser dringt mit enormer Gewalt ein, in Folge der raschen, aber unregelmässigen Quellung entsteht ein Prasseln und Knistern, wie wenn man eine Schwefelstange in der Hand erwärmt; das eindringende Wasser treibt Luftblasen aus und in wenigen Minuten schliesst sich der Spalt. Das so eindringende Wasser aber steigt z. Th. in capillaren Spalten empor, die bei dem Trocknen entstanden sind; davon überzeugt man sich leicht, wenn man die trockene, wo möglich noch warme Scheibe auf eine 2—3 mm hohe Schicht Zinnoberemulsion legt; binnen kurzem erkennt man am oberen Querschnitt der Scheibe rothe Adern, von denen aus das Wasser die ganze obere Fläche befeuchtet. Auch dringt das Wasser offenbar in die mit sehr verdünnter Luft gefüllten Zellenlumina selbst ein, denn die beschriebene Scheibe nahm auf diese Art pro 100 cem Holzwandmasse 145 cem Wasser auf, also 3,5 mal so viel, als zur Erreichung des Quellungsmaximums nöthig war.

No. 10. *Prunus domestica* (Ast), October 1878.

Eine auf der Drehbank hergestellte Querscheibe von 49 mm Durchmesser und 4,5 mm Dicke. Das Mark und das ganze Kernholz mittels eines Korkbohrers ausgebohrt; centrales Loch 15 mm weit. Lufttrocken geworden, klaffte der entstandene radiale Riss an der Peripherie 10,5 mm weit. Die Scheibe wurde bei 100° C. getrocknet (in Blechkapsel) und wog trocken 4,780 g.

In feuchte Luft gehängt, schloss sich der Spalt nach 8 Tagen; die Scheibe wog jetzt 6,332 g, hatte also 1,552 g Wasser; woraus sich berechnet:

	für 100 g Holz	aufgenommenes Wasser	=	32,4 g
oder 64 cem Holzwandmasse	-	-	=	32,4 cem
oder 100 -	-	-	=	50,6 -

Demnach ergaben die vier beschriebenen Versuche auf 100 cem Holzwandmasse:

<i>Pinus sylv.</i> -Späne	. . .	48,2 cem	aufgen. Wasser
- - Sägemehl	. . .	51,4 -	-
<i>Abies peet.</i>	42,5 -	-
<i>Prunus dom.</i>	50,6 -	-

Mittel = 48,2.

Die Uebereinstimmung dieser Zahlen ist hinreichend für unseren Zweck; sie zeigt, dass die hygroskopische Sättigung der Holzwände hinreicht, denselben das Quellungsmaximum zu ertheilen, und dass das dazu nöthige Wasser nur circa das halbe Volumen der trockenen Holzwand ausmacht.

Man kann sich von der Thatsache, dass die hygroskopische verholzte Zellwand aus feuchter Luft so viel Wasser aufnimmt, bis das Quellungsmaximum erreicht ist, auch an den sehraubig gedrehten Grannen von *Erodium gruinum* überzeugen; hängt man diese ganz trocken in feuchte Luft, so strecken sie sich nach 4—2 Tagen fast genau gerade, d. h. sie nehmen die Form an, die sie auch in Wasser liegend annehmen.

In der vorläufigen Mittheilung, wo ich die oben beschriebenen Beobachtungen noch nicht gemacht, hatte ich die Wassereapazität der Holz- wände ihrem eigenen Trockenvolumen gleich angenommen, so also, dass 100 ccm Holzwand sich mit 100 ccm Wasser sättigen würden; diese nur vorläufige, aber irrthümliche Annahme ist nun dahin zu berichtigen, dass ein Volumen trockener Holzwand nur ungefähr $\frac{1}{2}$ Volumen Wasser ein- saugt, um das Quellungsmaximum zu erreichen.

Daraus folgt nun aber keineswegs, dass etwa eine Holzzelle oder ein grösseres Holzstück, wenn es aus dem trockenen in den gesättigten Zu- stand übergeht, um die Hälfte des ursprünglichen Volumens zunehmen müsste, denn die äussere Volumenzunahme einer ganzen Zelle und also auch eines grösseren Holzstückes hängt nur von der in den Richtungen der Fläche der Zellwände stattfindenden Wassereinlagerung ab; sie ist von der Einlagerung in Richtung der Dicke der Zellhaut ganz oder zumeist unabhängig. Die oben citirte Tabelle von WEISBACH zeigt in der That, dass trockene, dann mit Wasser gesättigte Holzstücke ihr äusseres Volumen nur um 5 bis 13 % vermehren; da aber nach meinen obigen Bestimmungen die Volumenzunahme der Zellwand selbst circa die Hälfte ihres Trocken- volumens, also circa 50 % ausmacht, so muss die Holzzellwand vorwiegend in Richtung ihrer eigenen Dicke quellen. Genaueres über die Quellung in den verschiedenen Richtungen eines Holzstückes erfährt man aus der citirten Tabelle von LAVES; sie zeigt, dass die äusserlich messbare Quellung in peripherischer Richtung 3 bis 12 %, in radialer 1 bis 6 %, in longitudi- naler aber nur $\frac{1}{100}$ bis $\frac{7}{10}$ % beträgt. Diese Angaben beziehen sich jedoch ebenfalls nur auf die Flächenansdehnungen der einzelnen Zellwände, nicht aber auf ihre Quellung in Richtung der Dicke, da diese vorwiegend durch Verengerung der Zellenlumina sich geltend machen muss.

So lange in den Hohlräumen des Holzes überhaupt noch Wasser ent- halten ist, werden diese Volumenänderungen, welche durch Austrocknung und Quellung der Holz- wände bewirkt sind, an der lebenden Holzpflanze kaum zur Geltung kommen; da jeder etwaige Verlust an Imbibitionswasser der Zellwände aus dem im Hohlraum enthaltenen Wasser sofort aus- geglichen werden kann. Gefährlich für die Holzpflanze wird die Sache aber dann, wenn die Hohlräume der Holzzellen gar kein flüssiges Wasser mehr enthalten und doch noch Wasser aus den Zellwänden selbst austritt; in diesem Falle müssen die Holz- wände schwinden, am stärksten in peri- pherischer Richtung. Die bei grosser Kälte entstehenden Frostspalten der

Baumstämme erklären sich so; denn das Gefrieren des Wassers im Holz wirkt wie Austrocknung (vergl. mein Lehrbuch IV. p. 703); aber auch in der Längsrichtung muss Austrocknung und Gefrieren des Holzwassers Veränderungen hervorrufen und zwar Krümmungen, wenn die Zusammenziehung auf der einen Seite der Längsaxe kleiner als auf der andern ist; auf diese Art erklären sich die Bewegungen der Baumäste bei starker und wechselnder Kälte (vergl. mein Lehrbuch IV. Aufl. p. 697) und ebenso die Wirkung der sogen. Asthygrometer.

Uebrigens war der Zweck meiner Untersuchung über die Wassereapazität der Holzzellwand ein ganz anderer; mir kam es, wie schon in der vorläufigen Mittheilung angedeutet, darauf an, aus dieser Eigenschaft zu berechnen, ob und wieviel Wasser unter Umständen in den Hohlräumen des Holzes und wie viel davon in den Wänden enthalten sei; worauf ich später zurückkomme.

B. Die Verschiebbarkeit des Imbibitionswassers

zwischen den Molekülen der verholzten Zellwand ist das Problem, welches der Erforschung der Ursachen des aufsteigenden Saftstromes der Holzpflanzen zu Grunde liegt. Dass das Problem unrichtig aufgestellt und deshalb einer Erklärung unzugänglich gemacht wurde, indem man die mit Quellung verbundene Imbibition der Zellwände irrthümlicher Weise unter die Gesetze der Capillarität stellte, habe ich oben bereits angedeutet. Nachdem dieser Irrthum als solcher erkannt ist, kommt es nun darauf an, auf der richtigen Basis weiter zu bauen. Da tritt aber vor Allem die merkwürdige Thatsache hervor, dass die Imbibitions-Eigenschaften der Holz- wände von denen anderer nicht verholzter sehr wesentlich verschieden sind. Die Holzzellwand unterscheidet sich von anderen Zellwänden dadurch, dass ihre Sättigungscapazität so gering ist, und dadurch, dass ihr Imbibitionswasser so leicht verschiebbar, leicht beweglich ist; letztere Eigenschaft ist aber gerade die werthvollste der Holzzellwand, denn auf ihr beruht die Möglichkeit des aufsteigenden Wasserstroms der Landpflanzen, durch den die von den Wurzeln aufgenommenen Nahrungsstoffe den transpirirenden und assimilirenden Blättern mit merkwürdiger Geschwindigkeit zugeführt werden. Dass diese bei starker Transpiration oft 1, selbst bis 2 Meter in der Stunde betragen kann, habe ich in meinem »Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstromes« (voriges Heft p. 482) gezeigt.

Hier möchte ich nur noch speciell darauf hinweisen, dass gerade in sehr stark quellbaren Zellhäuten eine solche Verschiebbarkeit des Imbibitionswassers nicht existirt und dass es eben die spezifische Eigenschaft verholzter Zellwände ist, das Imbibitionswasser zwischen ihren Molekülen in einem leicht beweglichen Zustande zu enthalten. Dass nur Holzzellen die Fähigkeit besitzen, Wasser mit namhafter Geschwindigkeit in den

Molekularinterstitien ihrer verholzten Wände fortzuleiten, davon kann man sich durch einfache Beobachtungen leicht überzeugen. Während ein holziger abgeschchnittener transpirirender Laubspross frisch bleibt, wenn sein unteres von Rinde entblößtes Ende in Wasser taucht, welkt er dagegen sofort, wenn man unten das Holz entfernt und dafür die Rinde in Wasser tauchen lässt. Hätten die Elemente der Rinde, vor Allem die den Holzfasern sonst so ähnlichen dickwandigen, aber nicht verholzten Bastzellen und die Collenchymzellen die Eigenschaft, das Wasser mit derselben Geschwindigkeit fortzuleiten, so müsste der Erfolg eines derartigen Versuchs ein wesentlich anderer sein. Auch das Gewebe der Moose und Flechten entbehrt einer genügenden Leitungsfähigkeit, um dieselben in einer nur einigermaßen trockenen Luft saftig zu erhalten, auch wenn die unteren Theile in feuchtem Boden sich befinden; unter Verhältnissen, wo stark transpirirende holzige Pflanzen vollkommen frisch bleiben.

Sehr instructiv sind in dieser Beziehung die Stämme von Laminarien. Stellt man einen lufttrockenen Stiel mit dem unteren Ende in Wasser, selbst so, dass das aus dem Wasser in die Luft aufragende Stück nur einige Centimeter lang ist, so quillt zwar der unmittelbar im Wasser befindliche Theil ausserordentlich auf; allein unmittelbar über dem Wasserniveau erfolgt keine Quellung, selbst nach Wochen nicht, der Stiel bleibt hart und fast trocken, selbst dann, wenn die umgebende Luft mit Wasserdampf beinahe gesättigt ist. Frische saftige Laminariestiele, ebenso behandelt, fliessen ihren in Luft ragenden Theil austrocknen und nur der in Wasser tauchende untere blieb feist und wasserreich.

Das überaus quellungsfähige Gewebe der Laminaria verhält sich in dieser Hinsicht wie Stärkekleister und Traganthgummi. Bindet man ein hinreichend weites Glasrohr von circa 30—40 cm Höhe unten mit Leinwand oder Fliesspapier zu, füllt es dann mit Stärkepulver und taucht das untere Ende der Röhre in siedendes Wasser, so bildet sich sofort eine dünne Schicht Kleister, die aber jedes weitere Eindringen von Wasser hindert; man kann die Röhre 10 oder mehr Centimeter tief in dem kochenden Wasser verweilen lassen, es tritt keine weitere Kleisterbildung ein, weil die zuerst gebildete dünne Kleisterschicht wasserdicht ist und ihr eigenes Wasser keineswegs an die auf ihr liegenden Stärkekörner abgibt; lässt man das Rohr nunmehr tagelang in Wasser stehen, so dass auf die untere Kleisterschicht ein Wasserdruck von 20—30 cm einwirkt, so dringt doch kein Wasser ein; man braucht nur das Rohr umzukehren und die Stärke anzuschütten, um zu sehen, dass sie bis an die Kleisterschicht staubig trocken ist. Derselbe Versuch giebt dasselbe Resultat mit fein pulverisirtem Traganthgummi, wobei man nicht nöthig hat, heisses Wasser anzuwenden, da diese Substanz durch kaltes Wasser hinreichend quillt und der gequollene Schleim weder Wasser durchlässt, noch auch solches an die über ihm liegende staubige Masse abgibt. Es scheint, dass

diese Eigenschaft stark quellender Substanzen bisher unbekannt war oder doch nicht wissenschaftlich verwerthet wurde. Aber auch die Holzzellwand kann in einen ähnlichen Zustand übergehen und ihre normalen Imbibitionseigenschaften völlig verlieren und zwar durch blosse langjährige Austrocknung an der Luft. Als ich einen aus Kiefernholz geschnittenen Cylinder von 25 cm Länge und 3 cm Dicke Monate lang unter Wasser hatte liegen lassen, schwamm er noch immer, als er frei gelassen wurde, und fast so stark, wie anfangs. Als ich ihn nun mit dem Messer zerschnitt, zeigte sich, dass eine 2—3 mm dicke äussere Holzschicht ein eigenthümlich homogenes, speckiges Aussehen angenommen hatte und allein ganz durchfeuchtet war; innerhalb dieser Schicht machte das Holz den Eindruck frischen, lufttrockenen Holzes. Die äussere, speckige, wasserreiche Schicht hatte den Zutritt des Wassers zum Innern gehindert. Wahrscheinlich geht mit dem zu manchen technischen Zwecken benutzten Holze eine ähnliche Veränderung vor; es wäre sonst kaum zu begreifen, wie in hohen Fässern und noch mehr in hölzernen Wasserleitungsröhren und hölzernen Brunnenröhren das Wasser so dicht eingeschlossen sein könnte, dass es nicht wenigstens langsam durchsickerte. Die Sache wäre auch in physiologischem Interesse einer genaueren Untersuchung werth.

Wenn sich nun also zeigt, dass gerade solche Körper, welche, wie das Laminiengewebe, der Stärkekleister, das Tanganthgummi und das speckig gewordene Holz zwar grosse Massen von Wasser durch Imbibition aufnehmen, dieses aber sehr festhalten und nicht an ihre Umgebung abgeben, so tritt die Eigenschaft der normalen Holzzellwand, welche so wenig quellbar ist, dafür aber ihr Wasser in einem leicht beweglichen Zustande enthält, als besonders eigenartig hervor. Auf welche Ursachen oder molekularen Strukturverhältnisse aber diese Eigenschaft zurückzuführen ist, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Einstweilen aber betrachte ich es als einen Gewinn, erkannt zu haben, dass es ganz zwecklos wäre, das specifische Leitungsvermögen des Holzes für Wasser aus oberflächlichen Vergleichen mit beliebigen quellungsfähigen Substanzen näher erklären zu wollen.

§ 5. Die Hohlräume der Holzzellen und ihr Luftgehalt.

Eine Reihe der merkwürdigsten Erscheinungen im Leben der Holzpflanzen sowie an abgeschnittenen Holzstücken findet ihre genügende mechanische Erklärung in der Thatsache, dass die Hohlräume der Holzzellen und Gefässe nicht mit Wasser oder Saft vollständig erfüllt sind, sondern dass für gewöhnlich auch dampffaltige Luftblasen in denselben enthalten sind, die sich je nach der Temperatur ausdehnen und zusammenziehen und ausgiebige Filtrationsbewegungen des nicht imbibirten Wassers im Holz hervorrufen; es lässt sich aber zeigen, dass auch in Folge des

Wasserverbrauchs der Holzpflanzen durch Transpiration der Blätter, durch Verminderung des Wassers im Hohlraum der Holzzellen die Blasen sich ausdehnen und dass die dadurch bewirkte negative Spannung eine der wichtigsten Ursachen neuer Wasseraufnahme und neuer Anfüllung der Zellenlumina durch von aussen her aufgenommenes Wasser sein kann. Die Luftblasen im Holz spielen bei den Wasserbewegungen in den Bäumen die Rolle von Saug- und Druckpumpen und sind zugleich Regulatoren der Wasservertheilung im Holz, deren Wirkung aber nur dann verständlich wird, wenn man zwei weitere Thatsachen hinreichend beachtet, nämlich:

1. dass die durch die Volumenänderung der Luftblasen bewirkten Wasserbewegungen im Holz Filtrationsbewegungen sind und mit der Imbibition der Wände unmittelbar nichts zu thun haben, und

2. dass zu allen Zeiten, wo das Holz nicht mit Wasser gesättigt ist, die Luftblasen in ihm negative Spannung haben müssen, ja dass sie zu Zeiten nur Luft von äusserst geringer Dichte enthalten können.

Dass in frischem wie ausgetrocknetem Holz Luft in den Hohlräumen enthalten sein müsse, konnte schon seit dem 17. Jahrhundert, wo man überhaupt erst die Eigenschaften der Luft näher kennen lernte, nicht zweifelhaft sein. Das Aussprühen von Wasser aus Querschnitten von frischen Aesten, wenn sie ins Feuer gelegt werden, das anfängliche Schwimmen und spätere Untersinken ins Wasser gelegten Holzes und andere Ersehnungen konnten kaum anders gedeutet werden. Als man auch auf anatomischem Wege mit dem Bau des Holzes vertrauter wurde, konnte den Beobachtern nicht entgehen, dass an dünnen Längsschnitten desselben, wenn sie in Wasser unter das Mikroskop gebracht wurden, die Holzzellen oft mit umfangreichen Luftblasen erfüllt sind, deren Entfernung nur schwerer gelingt.

Auch wurde schon seit längerer Zeit die Luft im Holz zur Erklärung der Wasserbewegungen in diesem mehrfach benutzt. Ich erinnere zunächst an die bekannte Jamin'sche Theorie (*Comptes rendus* 1860. Bd. 50. p. 172), nach welcher das »Saftsteigen« in den Bäumen durch die Capillarität der Hohlräume im Holz bewirkt und durch die Luftblasen die Capillarwirkung wesentlich unterstützt werden sollte; eine Theorie, welche von HOFMEISTER (*Flora* 1862. p. 97) und Anderen ganz, theilweise früher auch von mir (*Experiment. Physiologie* 1865) acceptirt wurde, die ich aber längst für eine in der Hauptsache verfehlt halte.

MATEUCCI (*Revue des deux mondes*. Bd. 34. 1861. p. 654 cit. bei HOFMEISTER l. e.) versuchte sogar das Thränen der Rebe aus der blossen Wärme-Ausdehnung der Luftblasen in ihrem Holze zu erklären, ohne zu bedenken, dass Volumen und Ausdehnung der Holzluft in gar keinem Verhältniss zu der ausfliessenden Saftmenge stehen (HOFMEISTER, *Flora* 1862. p. 101). — Ich hatte schon vorher (*Botan. Zeitg.* 1860. No. 29, 30) auf Grund eingehender eigener Untersuchungen und der älteren Literatur gezeigt, dass

Temperaturschwankungen den Wassergehalt des Holzes verändern und lebhaft Wasserbewegungen in den Holzpflanzen veranlassen, dass aber das Thränen und Bluten eingewurzelter Pflanzen im Frühjahr und bei beinahe constanter Temperatur auf ganz anderen Ursachen beruhen müssen. Nur gewisse, bei starken Temperaturerhebungen eintretende Wasserausflüsse der Bäume und abgeschnittener Holzstücke, besonders im Winter, konnten auf diese Art erklärt werden. Mir blieb aber bei der citirten Arbeit verborgen, dass bei den durch Temperaturänderungen bewirkten Wasserbewegungen die Luftblasen im Holz die wichtigste Rolle spielen, und es war HOFMEISTER'S Verdienst, bald darauf (Flora 1862. p. 103) zu beweisen, dass gerade die Volumenänderung der Luftblasen die wahre Erklärung der von mir studirten Erscheinungen im Holz ergeben.

Indem ich wegen der Literatur und der Einzelheiten auf meine citirte Abhandlung verweise, will ich hier nur das Wesentliche der dort beschriebenen Vorgänge hervorheben. Im Winter abgeschnittene cylindrische, an beiden Querflächen glatt gemachte Ast- oder Stammstücke von *Abies excelsa*, *Rhamnus Frangula*, *Corylus Avellana*, *Betula alba*, *Quercus robur*, *Fagus silvatica*, frisch oder vorher in Wasser gelegt, wurden, wenn man sie abwechselnd in kaltes ($0^{\circ} - 5^{\circ} \text{C.}$) oder warmes ($25^{\circ} - 40^{\circ} \text{C.}$) Wasser legte und darin jedesmal $\frac{1}{4}$ oder eine bis mehrere Stunden verweilen liess, abwechselnd schwerer und leichter; ersteres im kalten, letzteres im warmen Wasser. Tauchte man die Holzstücke in warmes Wasser so tief, dass nur ein kurzes oberes Ende in Luft ragte, so trat zuerst aus dem äusseren Jahrring, dann aus dem nächst inneren und so fortschreitend nach innen Wasser hervor, während gleichzeitig kleine Luftblasen, zumal aus den Gefässen, lebhaft, selbst mit Geräusch entwichen; wurde dasselbe Holzstück vorsichtig ebenso in kaltes Wasser getaucht, so sank das auf dem oberen Querschnitt befindliche Wasser wieder in derselben Reihenfolge in das Holz zurück, bis die Oberfläche trocken aussah. Wurde die Rinde eines solchen Holzcyinders mit einem warmen Tuch umwickelt, so quoll das Wasser aus der nach unten gehaltenen Querschnittsfläche hervor, gleichgiltig, ob diese dem basalen oder dem Gipfelende angehörte; wurde das Holz darauf wieder in kalter Luft abgekühlt, so zog sich der an dem Querschnitt hängende grosse Wassertropfen wieder in das Holz, bis es trocken war; dieses Aus- und Eintreten lässt sich leicht beobachten und dauert nur wenige Minuten. Indem ich die im Holz enthaltene Wassermenge ebenso wie die Quantität des ausgequollenen Wassers bestimmte und letztere mit dem Wärmeausdehnungscoefficienten des Wassers verglich, ergab sich auf das Bestimmteste, dass die Erscheinung nicht etwa auf eine Wärmeausdehnung des Wassers selbst zurückgeführt werden kann, da die ausquellende Menge viel zu gross ist. Die wiederholten Wägungen des bald in kaltem, bald in warmem Wasser liegenden Holzes ergaben ausserdem, dass bei jeder Abkühlung etwas mehr Wasser aufge-

nommen, als bei der vorhergehenden Erwärmung ausgestossen wurde, so dass das Holz im Verlauf des Versuchs immer wasserreicher wurde. Um von dem Verlauf der Erscheinung ein Bild zu geben, führe ich ein Beispiel an; eine Rothbuchscheibe von 26 Jahrringen, 26 cm Durchmesser und 2,2 cm Dicke, wurde abwechselnd in kaltes und warmes Wasser untergetaucht und aus dem später bestimmten Trockengewicht des Holzes die jedesmal in 400 g desselben enthaltene Wassermasse berechnet

100 g trockenes Holz			
Zeit des Unter- tauchens	in Wasser von ° C.	enthält Wasser	Differenz
3 Stunden	0 °	69,651 g	
1/1 -	24 °	67,580 -	- 2,071 g
1/4 -	26 °	67,580 -	
1/4 -	0 °	72,899 -	+ 5,319 -
1/6 -	0 °	75,604 -	+ 2,705 -
1/2 -	24 °	72,628 -	- 2,976 -
1/2 -	24 °	72,110 -	- 0,518 -
1/2 -	0 °	75,475 -	+ 3,365 -
4 -	0 °	77,673 -	+ 2,198 -
1/2 -	24 °	74,051 -	- 3,622 -

Der erste Gewichtsverlust dieser Buchscheibe hätte, wenn die thermische Ausdehnung des Wassers die einzige Ursache wäre, 0,2923 g betragen müssen; er betrug aber 2,071, also sieben mal so viel, und die Tabelle weist weiterhin noch viel grössere Gewichtsveränderungen auf. Nach dem von HOFMEISTER geltend gemachten Gedanken und meinen neueren eigenen Erfahrungen bleibt auch gar kein Zweifel, dass die rasche Austossung und Einsaugung von Wasser durch Temperaturerhöhung und Erniedrigung in weit überwiegendem Maass den Ausdehnungen und Zusammenziehungen der wasserdampfhaltigen Luftblasen in den Holzzellen zuzuschreiben sind.

Man kann den Effect der Temperaturänderungen auf wasser- und lufthaltiges Holz durch einen sehr einfachen und mühelosen Versuch gut demonstrieren. Zu diesem Zweck füllt man einen gewöhnlichen, langhalsigen Kochballon mit Wasser und senkt in dieses einen entrindeten, glatten Holzcylinder einer Conifere von circa 20 cm Länge, der den Hals beinahe ausfüllt, und aufrecht so schwimmt, dass z. B. 5 cm herausragen; erwärmt man nun das Wasser bis zum Kochen, so steigt der Holzcylinder immer mehr heraus; lässt man erkalten, so sinkt er wieder tiefer und tiefer ein. Die Verminderung des specifischen Gewichts des Holzstückes wird offenbar dadurch bewirkt, dass durch die Erwärmung die Spannung von Luft und Wasserdampf im Holz viel grösser wird als der Druck, den die Atmosphäre auf den Querschnitt des Holzes übt; der innere Gasdruck

treibt daher das in den Zellen enthaltene Wasser hinaus; wird der innere Gasdruck durch Abkühlung vermindert, so treibt der Atmosphärendruck das Wasser durch den Querschnitt des Holzes wieder in die Zellen hinein; dieses wird schwerer und sinkt daher tiefer ein.

Die weitere Erfahrung, dass das Holz bei jedesmaligem Abkühlen mehr Wasser aufnimmt, als es vorher bei der Erwärmung abgegeben hat, liess mich hoffen, es werde dieses durch lange Zeit fortgesetzte Verfahren endlich dahin führen, alle Luft aus dem Holz zu entfernen und alle Hohlräume der Zellen ganz mit Wasser zu erfüllen; es fand sich aber, dass selbst abwechselndes langes Kochen und dann Versenken des heissen Holzes in Wasser von 0° C. nicht ganz zum Ziele führte, wie ich weiter unten noch zeigen werde.

Die Luftblasen innerhalb der Holzzellen werden je nach Umständen Luft von sehr verschiedener Spannung enthalten müssen und dem entsprechend ihr Volumen verändern. Hat z. B. ein Stück abgeschnittenen Tannenholzes lange Zeit in kaltem Wasser gelegen, und so viel von diesem aufgenommen, dass nun weiter nichts mehr eindringt und ein statischer Zustand erzielt ist, so werden die Luftblasen nahezu die Spannung der gewöhnlichen atmosphärischen Luft haben; denn hätten sie eine erheblich geringere Spannung, so würde der auf den Querschnitten des Holzes lastende Atmosphärendruck das Wasser in das Holz hineindrücken, so lange bis die dadurch zusammengepressten Blasen dem äusseren Luftdruck das Gleichgewicht halten. Nimmt man nun das Holzstück in diesem Zustand aus dem Wasser heraus und setzt es in trockener Luft der Verdunstung aus, so entweicht das Wasser aus den Zellwänden, diese nehmen dafür ebenso viel aus den Zellhöhlungen u. s. f., bis aus letzteren alles Wasser verdunstet ist, wobei die Wände jedoch noch mit Imbibitionswasser gesättigt sein können. In diesem Zustand, wo alles flüssige Wasser aus den Zellhöhlungen verschwunden ist, haben sich nun die dampfbaltigen Luftblasen so ausgedehnt, dass sie die Zellenlumina gerade ausfüllen. Man könnte nun glauben, dass in dem Masse, wie das Wasser aus dem Holz entweicht, dafür Luft eindringt, dass also in dem angegebenen Zustande die Holzzellen mit Luft von gewöhnlicher Spannung erfüllt sind. Diese Annahme ist aber ganz unmöglich, wie sofort aus folgendem einleuchtet. Wären an einem solchen Stück Holz die Zellenlumina mit gewöhnlicher Luft erfüllt, und man legte nun das Holz wieder in Wasser von derselben Temperatur, so könnte jetzt unmöglich abermals Wasser in die Hohlräume der Holzzellen eindringen; denn die Holzluft würde jetzt dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht halten und welche andere Kraft sollte im Stande sein, Wasser durch die geschlossenen Wände in die Lumina hineinzupressen? Nun findet aber thatsächlich das Gegentheil statt; das Holz »saugt« sofort viel Wasser auf, d. h. dieses wird durch den Luftdruck in die Hohlräume der Holzzellen hineingepresst; dies ist nur möglich, wenn

die Holzluft geringere Spannung hatte als die äussere Luft. Da nun aber jedes frische¹⁾ Holzstück, in Wasser gelegt, sofort grosse Quantitäten davon »einsaugt«, so folgt, dass die Luft in den Holzzellen verdünnt sein muss; denn diese Einsaugung ist eben weiter nichts als die Hineinpressung des Wassers durch den äusseren Luftdruck so lange, bis die in den Holzzellen enthaltenen Luftblasen diesem das Gleichgewicht halten.

Somit kommt man zu dem Resultat, dass auch in den unverletzten Holzpflanzen zu den Zeiten, wo ihre Blätter stark transpiriren und in ihrem Holz nur sehr wenig Wasser enthalten, die in den geschlossenen Holzzellen enthaltene Luft eine sehr verdünnte sein muss. Und diese Einrichtung ist von grossem Nutzen, denn eben dadurch allein ist es möglich, dass, wenn die Verdunstung aufhört oder sich vermindert (Nachts und im Winter), nunmehr wieder neues Wasser in die Zellenräume hineingepresst werden kann, um als Vorrath für die Zeit stärkeren Verbrauches zu dienen; wären die von Wasser fast entleerten Hohlräume mit Luft von gewöhnlicher Spannung erfüllt, welche Kräfte sollten dann im Stande sein, das Wasser in diese hineinzudrücken? Auch kann diese Folgerung betreffs der Holzzellen nicht mehr überraschen, da wir jetzt aus von HÖNNEL's und meinen Versuchen wissen, dass die Gefässe des Holzes transpirirender Pflanzen ebenfalls nur sehr verdünnte Luft enthalten. Ich habe die Sache betreffs der geschlossenen Holzzellen übrigens schon in meiner vorläufigen Mittheilung so aufgefasst, indem ich, im Anschluss an die Versuche über das rasche Aufsteigen der Lithiumlösung in die soeben geöffneten Gefässe (l. e. p. 43) bemerkte: »Es leuchtet ein, dass die entsprechenden Versuche mit Coniferenzweigen geringere »Geschwindigkeiten« ergeben müssen. Sie enthalten nur in der Markkronen Gefässe und zwar sehr enge, deren grosser Reibungswiderstand der aufsteigenden Lithiumlösung ein beträchtliches Hinderniss entgegengesetzt²⁾. Was die Holzzellen des sekundären 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*

1) Dass altes lufttrockenes Holz, wie es von Schreibern u. s. w. verarbeitet wird, nur äusserst langsam sich mit Wasser sättigt, dürfte z. Th. auf der oben erwähnten Veränderung des Holzes beruhen, vielleicht aber auch darauf, dass die äussere Luft im Laufe langer Zeiten in die Zellhöhlungen hinein diffundirt, und dann das Eindringen des Wassers in diese hindert.

2) Diese Gefässe der Markkronen aber sind nach SANIO (s. unten) keine eigentlichen Gefässe, sondern geschlossene lange Zellen.

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 in äusserem und mittelbarem Holz 9—10 cm hoch,
in der Markkrone 15 cm;

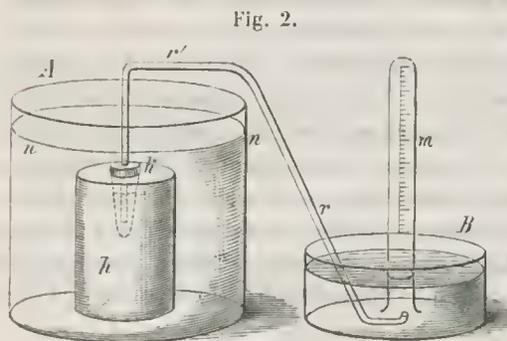
bei Cryptomeria in Holz 5—6 cm hoch,
in der Markkrone 6—7 cm hoch.

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

HÖHNEL bewies die Verdünnung der Luft in den Gefässen dadurch, dass er sie in Quecksilber öffnete, wobei dieses in die Gefässe hinaufgepresst wurde. Dieses Verfahren würde für die geschlossenen Holzzellen nicht zum Ziele führen. Aber es bedarf eines derartigen Beweises gar nicht, da die oben gemachten Ueberlegungen über das »Einsaugen« von Wasser in abgeschnittene gefässlose Holzstücke einen andern Schluss gar nicht zulassen. Ausserdem werden folgende Erfahrungen weitere Belege für meine Behauptung liefern, indem sie zeigen, dass beträchtliche Quantitäten Wasser in abgeschnittene Holzstücke eindringen, ohne dass ein entsprechendes Luftvolum ausgetrieben wird.

No. 11. Abies pectinata, Januar 1876.

Zum besseren Verständniss der am Holz auftretenden Erscheinungen will ich zunächst das Verhalten eines porösen Körpers von ganz anderer innerer Structur durch einen einfachen Versuch erläutern.



In Fig. 2 sei *h* ein Stück gegossenen Gypses, den man vorher hat lufttrocken werden lassen. Bei *k* ist ein conisches Loch eingebohrt und dieses mit einem Kork sorgfältig geschlossen, durch den das Rohr *rr'* eingeführt ist. Dieses Rohr geht mit dem freien Ende in das mit

Wasser gefüllte Gefäss *B* unter die Oeffnung eines calibrierten Reagenzrohres *m*, welches anfangs mit Wasser gefüllt ist. Nachdem Alles vorge richtet ist, wird in das Gefäss *A* Wasser bis *nn* gegossen, welches vorher

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

auf dieselbe Temperatur gebracht ist, wie der Gyps *h*. — Indem nun das Wasser in die capillaren Räume des trockenen Gypses eindringt, treibt es die in diesem enthaltene Luft vor sich her und diese kann nirgends anders entweichen, als an der einzigen nicht mit Wasser benetzten Fläche, nämlich in dem Loch bei *k*. Dort sammelt sich alle Luft, welche in den Capillaren des Gypses enthalten war, und entweicht nun durch das Rohr *rr'* in das calibrierte Rohr *m*. Sobald alle Capillaren des Gypses mit Wasser erfüllt sind, hört das Ausströmen der Luft in *m* auf und man kann nun sehen, wie viel Luft in den Capillaren enthalten war und durch das Wasser verdrängt worden ist.

Beispielsweise nahmen bei einem solchen Versuch 100 cem trockenen Gypses auf: 36,5 cem Wasser. und stießen dafür aus. 23,8 cem Luft ¹⁾.

Um nun zu sehen, wie sich unter gleichen Umständen das Tannenholz verhalte, wurden Versuche mit demselben Apparat angestellt; der Gyps aber durch ein vorher mehr oder minder abgetrocknetes Stück Tannenholz ersetzt. Da ist aber der Erfolg ein ganz anderer. Das Wasser dringt zwar langsam in das Holz ein, aber Luft wird nicht, oder nur in ganz minimaler Quantität ausgetrieben. Ich führe zur Vergleichung auch hier unter vielen nur ein Beispiel an. Ein walzenförmiges Stammstück von *Abies pectinata*, vorher sehr wasserreich, hatte 6 Tage lang in trockener Luft gelegen, war aber noch nicht lufttrocken geworden; es hatte 5 Jahrringe, war 89,5 mm lang und hatte einen Durchmesser von 31,5 mm; Gewicht (entrindet) betrug 54,25 g; das Holz war, wie der Gyps in Fig. 2, mit einem Loch *k* versehen und ganz so wie dort Alles eingerichtet. Als das (lufthaltige) Brunnenwasser aufgegossen war, kamen aus dem Frühlingsholz feine Luftbläschen, die aber wahrscheinlich von dem in die Wände eindringenden Wasser abgegeben wurden. Nach 23 Stunden war nur ein äusserst geringes Luftvolumen in *m*, etwa 0,4 cem vorhanden. Dafür ergab aber die Wägung, dass das Holz 7,85 cem Wasser aufgesogen hatte. Demnach war dieses Wasser in Hohlräume des Holzes eingedrungen, ohne entsprechende Luftmengen auszutreiben; dies ist aber gar nicht anders möglich, als so, dass die Luft in den Hohlräumen des Holzes vorher verdünnt war.

Aus dem Trockengewicht dieses Holzes bei 100° C. = 24,55 g und dem spezifischen Gewicht der Holzzellwände ergab sich nun,

das Volumen der Holzwände = 16,3 cem

das Volumen des Wassers = 37,5 -

beides in Summa = 53,8 cem

1) Bei sehr zahlreichen und unter den verschiedensten Modificationen angestellten Versuchen ergab sich constant, dass für circa 3 Volumina eingedrungenen Wassers nur circa 2 Volumina Luft ausgetrieben wurden. Ganz ähnlich verhält es sich bei Kreide- und Ziegelstücken. Ob dies dadurch zu erklären ist, dass die Luft in den Capillaren poröser Körper verdünnt ist, oder ob es auf anderen Ursachen beruht, wage ich noch nicht zu entscheiden.

und da das Volumen des ganzen Holzes = 74 cem, so war am Ende des Versuchs noch $74 - 53,8 = 17,2$ cem Luft oder Hohlraum in dem Holz vorhanden.

Die Thatsache, dass die Luft in den Hohlräumen der Holzzellen ebenso wie in denen der Gefässe gewöhnlich sehr verdünnt ist, überrascht zwar im ersten Moment, ist aber im Grunde nur insofern überraschend, als man bei genauerer Ueberlegung der obwaltenden Verhältnisse eher vermuthen müsste, dass die Hohlräume des Holzes einer unverletzten Pflanze eigentlich geradezu luftleer sein könnten. Wenn die aus der Cambialzone hervortretenden jungen Holzzellen ihren flüssigen Inhalt verlieren, woher kommt denn dann die Luft als Ersatz? Die Zellen sind geschlossen; Inter-cellularräume, die mit Spaltöffnungen communiciren, sind im Holz nicht vorhanden. Nun denkt man unwillkürlich daran, dass die Luftgase von der Rinde her in die Hohlräume des Holzes hineindiffundiren, oder gar, dass sie in dem von den Wurzeln aufgenommenen Wasser aufgelöst (absorbirt) mit in das Holz eingeführt werden. Für diese Annahme aber fehlt jeder strikte Beweis und die Beobachtung scheint eher dagegen zu sprechen. Lässt man wasserarmes Holz oder sonstige imbibitionsfähige Körper in lufthaltigem Wasser liegen, so bemerkt man sofort, dass bei der Einsaugung des Wassers an der Oberfläche des Körpers reichlich feinste Luftblasen abgesehen werden, offenbar, weil das in die Häute eindringende Wasser die in ihm aufgelöste Luft abgiebt; ob das eindringende Wasser ganz luftfrei ist, bleibt dabei freilich fraglich, und da nun wirklich in den Hohlräumen des Holzes etwas Luft vorhanden ist, so mag man glauben, dass das Imbibitionswasser ein wenig Luft mitnimmt und dass diese dann in die Hohlräume diffundirt. Ich habe dieser Betrachtung hier auch nur deshalb Ausdruck gegeben, weil ich zeigen wollte, dass es schwieriger ist, zu erklären, warum überhaupt Luft in den Hohlräumen der Zellen ist, als zu erklären, warum diese verdünnte Luft enthalten. Aber vielleicht ist in dieser Hinsicht nicht ganz ohne Bedeutung, dass auch im frischen, gesunden Holz äusserst enge Luftwege vorhanden zu sein scheinen, die anatomisch zwar bis jetzt nicht nachgewiesen sind, sich aber doch experimentell aufweisen lassen. In meiner vorläufigen Mittheilung machte ich bereits darauf aufmerksam:

»Befestigt man einen circa 3—4 cm langen Holzcyliner vom lebenden Stamm mittelst eines dicken Kautschuksehlauches an dem 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 cm 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 Herbstholzellen oder aus den ersten Frühlingszellen kommen, ist nicht deutlich zu sehen, doch glaube ich, dass Ersteres der Fall ist. Gewöhnlich kommt auch aus den Gefässen der Markkrone 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 im 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. «

Herr Dr. SANIO, der mich nach Zusendung meiner vorläufigen Mittheilung mit einem Briefe vom 26. März 1877 erfreute, ist betreffs der dort erwähnten Luftwege allerdings anderer Meinung. Er schrieb mir u. A.: »dass bei der Kiefer, ausser den Harzgängen, nichts vorkommt, was zu einer Annahme von besonderen Luftwegen Veranlassung geben könnte. Die Scheidewände der Hoftüpfel sehe er bis zum Herbstringe selbst hin vorhanden und gelte also für sämtliche Holzellen die VALENTIN'sche Entdeckung. Indess sei meine Beobachtung auch auf andere Weise zu erklären. Zunächst müsse er bemerken, dass gar nicht einzusehen sei, weshalb offene Canäle nothwendig seien, um durch Druck Luft durchzupressen, da die Scheidewände der Hoftüpfel selbst, wenn sie Wasser hindurchlassen, ebenso auch Luft hindurchlassen müssen. Es müssten also, wenn das Holz lufthaltig wäre, auf der ganzen Schnittfläche Luftblasen hervortreten, sobald ein hinreichender Druck angewendet wird.« Auf eine von mir brieflich gemachte Einwendung, die, wenn ich mich recht erinnere, darauf hinauslief, dass die Molekularporen der Häute eben mit Wasser gefüllt sind und, wenn dieses entfernt sei, keine Molekularporen für Luftdurchtritt mehr da seien, erhielt ich (vom 30. März 1877) die Entgegnung: »Für trockene Häute gebe ich Ihren Schluss unbedingt zu, anders verhält es sich aber wohl, wenn die Membranen aufgeweicht sind. Es dürfte dann doch wohl ein hinreichend starker Druck im Stande sein, die Adhäsion zwischen den Molekülen der Haut und des Wassers zu überwinden. Ich bemerke, dass beim Kochen durch thierische Haut sowohl Wassergas, als auch Luft hindurchgeht, da nach der Abkühlung die Haut concav wird.«¹⁾

Wenn durch diese Betrachtungen die Frage auch nicht entschieden wird, so wird sie doch dadurch noch weiter beleuchtet. Ich für meinen Theil halte mich allerdings an das Ergebniss des oben beschriebenen Versuchs und der sonstigen experimentellen Erfahrungen, wenn ich auch nicht

1) Es folgt noch die Bemerkung, dass die sogen. Gefässe der Markkrone im Coniferenholz keine eigentlichen Gefässe sind, sondern sehr spitzig geschlossene Zellen.

im Stande bin, dieselben in alten Einzelheiten anatomisch und physikalisch zu erklären.

§ 6. Das specifische Gewicht und Volumen der Holzzellwand.

Die erste Berechnung zu dem Zweck, Einsicht in die Volumenverhältnisse von fester Substanz, Wasser und Luft im Holz zu gewinnen, scheint die von HOFMEISTER (Flora 4862, p. 103) angestellte zu sein. Sie ist aber nur ganz gelegentlich und auf sehr unsichere Daten hin durchgeführt. HOFMEISTER führt an, KOPP habe das specifische Gewicht der Wandsubstanz der Holzzellen zu 1,3 angenommen, er selbst glaubt aber, dass es höher, wenigstens 1,45 sei. Es ist mir leider nicht gelungen, die von HOFMEISTER nicht genannte Quelle für KOPP'S Angabe aufzufinden; dagegen giebt es andere Angaben, welche bis 1,55 steigen.

Als es mir in Verfolg meiner Untersuchung immer klarer wurde, dass eine richtige Beurtheilung der inneren Zustände des Holzes eines lebenden Baumes in verschiedenen Vegetationsperioden nur dann möglich, wenn man das Volumenverhältniss der festen Holzmasse zum Wasser und den Hohlräumen berechnen kann und dass dazu eine genauere Kenntniss des specifischen Gewichtes der Holzzellwand unentbehrlich ist, unternahm ich es selbst, dieses auf verschiedene Weise festzustellen. In meiner vorläufigen Mittheilung von 1877 gab ich darauf hin das specifische Gewicht zu 1,55 an und zeigte an einigen Beispielen, wie dasselbe zu oben genannter Berechnung benutzt werden kann.

Die sehr grosse Schwierigkeit, der man bei diesen Untersuchungen begegnet, liegt in der Hartnäckigkeit, womit die Luft in den geschlossenen Holzzellen festgehalten wird, wenn man, was aus anderen Gründen durchaus nöthig ist, grössere Holzstücke zu den Wägungen benutzt.

No. 12. *Pinus pumilio*, Januar 1876.

Es wurde hier versucht, die Hohlräume des Holzes wo möglich ganz mit Wasser zu füllen und dann aus Messungen und Wägungen das specifische Gewicht der Holzwände zu finden.

Ein aus 8 Jahrringen bestehendes, von Rinde und Bast sorgfältig gereinigtes cylindrisches Aststück, an den Querflächen glatt geschnitten, wurde an ein Filter (Fig. 4) befestigt und 48 Stunden lang Wasser durch dasselbe filtrirt; als es abgenommen und in Wasser gelegt wurde, sank es rasch unter.

Das frische Holz war 427 mm lang, der Durchmesser des Cylinders unten 14,5 mm, oben 14,2 mm. Das Volumen des Holzes nach der Filtration war nach Berechnung aus den Dimensionen = 21 ccm, durch Eintauchen im Maasscylinder = 21,5 ccm.

Gewicht des untersinkenden Holzes 25,07 g. Nach dem Trocknen bei 100° C. bis zum Aufhören des Gewichtsverlustes wog es = 40,537 g.

Nach dem Trocknen durch Eintauchen unter Quecksilber bestimmt, war das Volumen = 19,35 cem. Die Verminderung des Volumens betrug also 2,15 cem, bei einem Wasserverlust von 14,333 cem, woraus erhellt, dass ein grosser Theil Wassers in den Zellräumen enthalten war. Nimmt man nun, was nicht erwiesen ist, an, dass in den Holzzellen keine Luft mehr enthalten war, so ergibt sich:

400 cem nasses (luftfreies?) Holz enthalten
 67 - Wasser, folglich
 33 cem Raum,

welcher von Holzwänden eingenommen ist. Diese 33 cem Holzmasse wiegen aber trocken 49 g, folglich 4 cem wiegt 1,5 g.

Dieses spezifische Gewicht ist aber, wie weitere Beobachtungen zeigen, noch zu niedrig, offenbar war nämlich die Luft aus den Hohlräumen nicht ganz verdrängt, demnach das Volumen des Wassers zu gering, das der Wände zu gross und in Folge dessen das spezifische Gewicht zu klein gefunden. Zudem lag ein Fehler darin, dass bei diesem ersten Versuch versäumt wurde, das allerdings sehr dünne Mark auszubohren.

No. 13. *Abies pectinata*, Januar 1877.

Eine nach derselben Methode durchgeführte Bestimmung an einem cylindrischen Stammstück von *Abies pectinata*, wo Mark und Markkrone ausgebohrt waren, ergab sogar nur 1,4 spec. Gewicht.

No. 14. *Abies pectinata*, Januar 1877.

Da die Holzzellen der Edeltanne 3—4 mm lang sind, so wird eine Querscheibe von 3 mm Dicke offenbar zumeist geöffnete Zellen enthalten müssen, von denen zu erwarten ist, dass ihre Luftblasen durch Kochen in Wasser entfernt werden können; auf diese Erwägung gründet sich folgender Versuch:

Von einem 7 jährigen Stammstück, welches seit 8 Tagen in Wasser gestanden, wurden in diesem Zustande auf der Drehbank Querscheiben glatt abgeschnitten; diese waren nahezu 3 mm dick bei einem Durchmesser von circa 45 mm. Diese Scheiben sanken in Wasser sofort unter; mittels eines Korkbohrers wurde das Mark und der innerste Jahrring glatt ausgebohrt. Eine der Scheiben wurde nun 2 Stunden lang in Wasser gekocht, wobei nur anfangs aus den Herbststringen einige Bläschen austraten. Nach dem Kochen wurde das Gefäss sammt der Scheibe vor das Fenster gestellt, um abzukühlen; nach 21 Stunden war das Wasser auf 1,5° C. erkaltet. Die Scheibe wurde mit alter feuchter Leinwand abgetrocknet, dann in Luft und darauf in Wasser von 5° C. gewogen.

Gewicht in Luft = 5,725 g
 - - Wasser = 0,590 -

also äusseres Volumen der Scheibe = 5,135 cem.

Die Holzseibe wurde nun erst 7 Tage lang über Schwefelsäure getrocknet und dann bei 100° C. bis zum Aufhören des Gewichtsverlustes.

Gewicht der trockenen Seibe = 1,757 g.

Demnach waren in dem Volumen = 5,135 cem der Seibe

enthalten Wasser . . . = 3,968 -

also das Volumen der Holzwände = 1,167 cem.

Wenn man annimmt, dass die Seibe nur aus Holz und Wasser bestand und keine Lufträume enthielt:

Gewicht der Holzwände = $\frac{1,757}{1,167} = 1,505 = \text{spec. Gewicht der Holzwände.}$

Ein ebenso durchgeführter Versuch mit Pappelholz ergab als spec. Gewicht 1,488.

No. 15. *Abies pectinata*, Januar 1878.

Von der bekannten Thatsache ausgehend, dass die in feinen Inter-cellularräumen, in Pilzgewebe und sonst schwer zu entfernende Luft an mikroskopischen Präparaten durch Alkohol leicht entfernt werden kann, da er vermöge seiner grossen Absorptionsfähigkeit für die Luftgase diese rasch aufsaugt, glaubte ich, dass der Alkohol auch die in grösseren Holzstücken enthaltenen Luftblasen absorbiren und dann die Hohlräume der Zellen ganz anfüllen werde. Auf diese Erwägung gründet sich folgender Versuch:

Von einem lebenden Tannenstamm wurde ein 40 cm langer Cylinder abgesehritten, die Flächen geglättet, sorgfältig entrinde, Mark und erster Jahrring ausgebohrt. Das Holz war sehr wasserreich und wurde in diesem Zustand in 4200 cem Alkohol von 95% in ein wohl verkorktes Gefäss gelegt; in 32 Tagen wurde der Alkohol 2mal erneuert. Zur Bestimmung des äusseren Volumens des Holzeylinders wurde dieser erst in Luft, dann in demselben Alkohol gewogen, in welchem er zuletzt gelegen, und das spec. Gewicht dieses Alkohols bestimmt.

Gewicht des mit Alkohol erfüllten Holzes in Luft = 46,60 g

- in Alkohol = 8,67 -

Gewichtsverlust im Alkohol = 37,93 g

Da 1 cem Alkohol = 0,836 g, so ist das äussere Volumen des Holzstückes = 45,37 cem.

Gewicht des Holzes mit Alkohol = 46,600 g

- des bei 100° C. getrockneten Holzes = 19,215 -

Gewicht des Alkohols in Holz = 27,385 g

Volumen des Alkohols in Holz = 32,750 cem

Demnach:

Äusseres Volumen des Holzes = 45,37 cem

Volumen des Alkohols . . . = 32,75 -

Volumen der Holzwände . . . = 12,62 cem

$$\frac{\text{Gewicht der Holzwände}}{\text{Volumen der Holzwände}} = \frac{19,215}{12,62} = 1,523$$

4 cem Holzwand wiegt also 1,523 g.

Die nicht zu vermeidende Ungenauigkeit derartiger Versuche liegt darin, dass bei dem Wägen des mit Alkohol gesättigten Holzes in Luft ein gewisses Quantum des Alkohols verdunstet; freilich ist der Fehler nicht gross, da die Wägung nur etwa 20—30 Secunden dauert und so vorgenommen wird, dass die das Holz umgebende Luft Alkoholdämpfe enthält.

No. 15. Specificisches Gewicht der Holzwände in Salzlösungen bestimmt.

Die vorausgehenden Bestimmungen sind nicht frei von dem Verdacht, dass sie zu niedrige specificische Gewichte ergeben haben, weil keine Sicherheit besteht, ob die Holzstücke ganz frei von Luftblasen waren. Dieser Unsicherheit hoffte ich nun dadurch zu entgehen, dass ich statt der Cylinder und Scheiben von Holz sehr dünne Querlamellen von 0,1—0,2 mm Dicke benutzte, die offenbar gar keine ganzen Holzzellen mehr enthalten konnten. In diesem Falle konnte aber von der Bestimmung des äusseren Volumens durch Wägungen oder im Maasscylinder keine Rede sein. Es blieb der Ausweg, zu versuchen, ob diese dünnen Querlamellen in Salzlösungen von mehr als 1,5 spec. Gewicht noch untersinken würden. Da das specificische Gewicht dieser selbst durch das Araeometer bei mittlerer Temperatur von 44° R. zu bestimmen war, so mussten Salze gewählt werden, welche bei dieser Temperatur so concentrirt darzustellen sind, dass ihr spec. Gewicht über 1,5 geht, ohne dass sie dabei ihrem Sättigungspunkt schon sehr nahe sind. Dies muss nämlich deshalb vermieden werden, weil eine der Sättigung nahe Lösung durch das Einbringen des Holzes zur Bildung von Krystallen des gelösten Salzes Veranlassung geben könnte; setzen sich diese aber an die feinen Holzlamellen, so stören sie das Resultat.

Ich fand nun Salze von der gewünschten Eigenschaft in dem salpetersauren Kalk und dem salpetersauren Zink. Davon wurden zunächst Lösungen hergestellt, welche ungefähr 1,5 spec. Gewicht hatten, in diese wurden die auf der Drehbank am sehr nassen Holze hergestellten Querlamellen von 0,1—0,2 mm Dicke gelegt; anfangs schwammen sie auf der Lösung, offenbar in Folge ihres Wassergehaltes. Längere Zeit hindurch in der auf etwa 100° C. erhitzten Lösung liegend begannen sie dann unterzusinken. Bei dem Erhitzen verloren die Lösungen noch Wasser und wurden schwerer. Auch Stücke von 3 mm dicken Querscheiben wurden mit in die Lösungen gesetzt, die nach dem Untersinken aller oder der meisten Holzlamellen sammt diesen in hohe Cylindergläser ausgefüllt wurden. In diesen wohl verstopft, blieben nun die Flüssigkeiten sammt dem Holz über 20 Monate lang und zu verschiedenen Zeiten wurde mit dem

Araometer das spec. Gewicht der Lösungen bestimmt. Das Ergebniss ist nun nach 20 Monaten dasselbe, wie nach dem Erkalten der Lösungen, nämlich folgendes: *Prunus cerasifera*, dünne Querlamellen in Lösung von salpetersaurem Kalk von 1,54 spec. Gewicht liegen am Boden des Gefässes; wird dieses umgekehrt und wieder hingestellt, so sinken die Holzlamellen in 1—2 Minuten um circa 20 cm abwärts; nur eine, die dickste (?), braucht dazu 45 Minuten.

Populus dilatata in gleicher Lösung verhält sich ebenso; die 3 mm dicken Scheiben aber schwimmen oben, jedoch so, dass sie von einer Flüssigkeitsseehie bedeckt sind; offenbar enthalten sie noch etwas Luft in den Zellen, da die dünnen Lamellen alle am Boden liegen.

Abies pectinata in Lösung des salpetersauren Zinks von 1,56 spec. Gewicht; alle dünnen Lamellen untergesunken; nach dem Aufschwimmen derselben durch Umkehrung des Gefässes sinken sie in 45—20 Minuten circa 20 cm tief hinab.

Abies pectinata in Lösung des salpetersauren Kalkes von 1,56 spec. Gewicht verhält sich ebenso; zwei 3 mm dicke Scheiben steigen jedesmal zur Oberfläche empor, ohne doch über diese emporzuragen.

Ich ziehe aus diesen Thatsachen den Schluss, dass die Substanz der Holzzellwände ein spec. Gewicht besitzt, welches nahezu 1,56 beträgt, oder vielleicht ein wenig grösser ist.

In FRANZ SCHULZE'S Lehrbuch der Chemie für Landw. II. 1860. p. 9, findet sich die Angabe, das specifische Gewicht der Cellulose werde gewöhnlich 1,525 gesetzt; er selbst habe 1,55 (wie? ist nicht gesagt) beobachtet. FLÜCKIGER (Lehrbuch der Pharmakognosie 1867, p. 711) sagt, das specifische Gewicht der Marantastücke habe er zu 1,565 gefunden und in Chloroform von 1,507 sinke die trockene Stärke dauernd unter; ganz entwässerte Kartoffelstärke soll 1,633 spec. Gewicht haben.

Ich fand endlich, dass sehr fein abgeseigte Sägespäne von *Pinus sylvestris*, die nur aus Bruchstücken von Zellwänden bestehen, bei 400°C. getrocknet, auf Chloroform von 1,5 spec. Gewicht anfangs schwimmen, nach Monaten aber untersinken. Da das specifische Gewicht der Stärke von dem der Holzwand jedenfalls nur wenig verschieden ist, so kann auch der geringe Stärkegehalt der von mir benutzten Hölzer nicht erheblich störend auf die Bestimmung ihres spec. Gewichts eingewirkt haben.

Nach alledem ist es wohl wahrseheinlich, dass meine frühere Annahme, dass 1 cem Holzwand 1,55 g wiege, eher etwas zu klein war und mit mehr Wahrscheinlichkeit auf 1,56 anzunehmen sei: demnach sind

$$400 \text{ cem Holzwand} = 456 \text{ g und}$$

$$400 \text{ g} \quad - \quad = 64,4 \text{ cem.}$$

Für die Berechnung der inneren Volumenverhältnisse des Holzes wird daher, wie schon oben § 3 angenommen wurde, genügen, 400 g Holzzellwand = 64 cem anzunehmen.

Zunächst gewährt die Kenntniss des specifischen Gewichts des Holzes die Möglichkeit, uns durch Rechnung eine Vorstellung von der Flächen- ausdehnung der Holzwände in einem Stück Holz zu maehen. Für ein frisches Stück Tannenstamm fand ich im Winter, dass 400 cem desselben nahezu 25 cem Wandmasse enthielten; nimmt man nun die Dicke einer imbibirten Wand zu 0,0025 mm an¹⁾, so ergibt sich, dass die Holzwände von 400 cem frischen Tannenholzes flach ausgebreitet den Flächenraum von 40 □m einnehmen würden.

Ebenso möchte ich noch an einem Beispiel zeigen, wie man mit Hülfe des specifischen Gewichts die Volumenverhältnisse von Holzmasse, Wasser und Lufträumen in einem gegebenen Stück Holz aus dessen äusserem Volumen Frischgewicht und Trockengewicht berechnen kann.

Von einem lebenden Tannenstamm wurde am 2. Januar 1877 ein cylindrisches, aus 5 Jahrringen bestehendes Stück Holz entnommen, welches 105 mm lang und 33 mm dick war; aus diesen Dimensionen ergab sich das Volumen zu 89,8 cem, durch Untertauchen in Quecksilber zu 90 cem.

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

$$\begin{array}{r} \text{Gewicht des frischen Holzes} = 87,60 \text{ g} \\ - \quad - \quad \text{trocknen} \quad - = 34,83 \text{ -} \\ \hline \text{Wasser im frischen Holz} = 52,77 \text{ g} \end{array}$$

Aus dem Trockengewicht des Holzes findet man $\frac{34,83}{1,56} = 22,33$ cem als Rauminhalt der Holzzellwände.

Aus diesen Daten berechnet sich, dass 400 cem frischen Holzes bestanden aus:

$$\begin{array}{l} 24,81 \text{ cem Wandmasse (trocken gedacht),} \\ 58,63 \text{ - Wasser (in Zellräumen und imbibirt),} \\ 16,56 \text{ - Lufträume.} \end{array}$$

Da Intercellularräume und Gefässröhren im Tannenholz nicht existiren, so waren also die 16,56 % Lufträume in den Holzzellen selbst enthalten. Da nach § 3 die Holzwände nur circa ihr halbes Volumen Wasser durch Imbibition aufnehmen, so enthielten sie nur 12,4 cem Wasser, das übrige Wasser, nämlich 46,23 cem, musste in den Zellhöhlungen enthalten sein. Der Raum der Zellhöhlungen berechnet sich sonach auf

$$\begin{array}{r} 16,56 \text{ cem Luftraum,} \\ + 46,23 \text{ - Wasserraum,} \\ \hline = 62,79 \text{ cem Hohlraum überhaupt.} \end{array}$$

1) Mein Assistent, Herr WEBER, der für mich die nöthigen Messungen machte, fand im Mittel für alle Holzzellen einer Radialreihe 0,005 als die Dicke einer Wand zwischen zwei Zellräumen, davon ist oben die einem Zellraum entsprechende Hälfte genommen.

Der Raum der imbibirten Zellwände auf:

$$\begin{array}{r} 24,81 \text{ ccm trockene Wandmasse,} \\ + 12,4 \quad - \text{ Imbibitionswasser,} \\ \hline = 37,21 \text{ ccm imbibirte Holzwände.} \end{array}$$

Der von den imbibirten Wänden eingenommene Raum verhält sich also in diesem Falle zu dem von dem Wasser und der Luft eingenommenen Hohlraum wie 4 : 4,68; oder der von den imbibirten Wänden eingenommene Raum ist wenig grösser als $\frac{1}{3}$ des gesammten Holzvolumens.

Es wäre nun eine der lohnendsten Aufgaben, zu untersuchen, wie sich diese Verhältnisse im Holz der lebenden Bäume zu verschiedenen Jahreszeiten, besonders zur Zeit des grössten und geringsten Wasserreichthums, ferner in der Nacht und am Tage gestalten, da man auf diese Art ein Urtheil über die Volumen- und Spannungsänderungen der Luft und des Wasserdampfes in den Zellräumen gewinnen und aus diesen die Filtrationsbewegungen des Wassers im Holz beurtheilen könnte. Leider sind die sonst so verdienstlichen Beobachtungen GELESNOW'S (*Mélanges biologiques*, Acad. imp. St. Pétersbourg. T. IX. 1872) zu diesem Zweck nicht zu benutzen, da die Volumina der von ihm untersuchten Baumtheile nicht das Holz allein, sondern dieses sammt der Rinde angeben; ich hatte dies in meiner vorläufigen Mittheilung übersehen, weshalb die auf GELESNOW'S Zahlen gegründete Berechnung daselbst p. 10 betreffs der Lufträume ungiltig ist. Da in Folge der Verlegung des hiesigen botanischen Gartens das gesammte frühere Arboretum desselben zerstört und gegenwärtig nur durch ganz junge Bäumchen vertreten ist, so fehlt es mir für die nächste Zukunft an Material, meine Untersuchungen in dieser Richtung weiter zu führen.

Würzburg, im Januar 1879.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: [Ueber die Porosität des Holzes 291-332](#)