© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fig. 7a. Körner derselben Gerste von der Rückenseite (nat. Gr.).
Fig. 7b. Körner derselben Gerste von der Bauchseite (nat. Gr.).
Fig. 8a. Körner von *H. vulg. palaeoaegyptiacum*, angeblich aus der Zeit der XII. Dynastie, von der Rücken- und der Bauchseite (nat. Gr.).
Fig. 8b. Körner derselben Form aus einem Grabe der griechisch-römischen Zeit zu Gebelên von der Rücken- und der Bauchseite (nat. Gr.).
Fig. 9. Entspelzte Früchte derselben Form aus dem größeren Speichermodell im Grabe des RAHOTEP, von der Rücken- und der Bauchseite (nat. Gr.).
Fig. 10. Dieselben Früchte wie in Fig. 4 ($1^1/_2$ mal vergrößert).

---

58. M. Nordhausen: Über die Saugkraft transpirierender Sprosse.

(Mit einer Abbildung im Text.)

(Eingegangen am 20. Oktober 1916.)

Die Frage nach der Größe der Saugkräfte, welche von den transpirierenden Zweigen ausgeübt und innerhalb des Stammes bis zu den Wurzeln fortgeleitet werden können, spielt im Rahmen des Saftsteigeproblems eine außerordentlich wichtige Rolle. Ihre Beantwortung ist zwar mehrfach versucht worden, doch liegen wirklich zuverlässige und unbestrittene Angaben, in wie weit derartige Kräfte den Wert einer Atmosphäre überschreiten können, nicht vor. Allerdings wurden bisher von verschiedenen Forschern schon höhere Werte erzielt; sie sind aber nicht einwandsfrei, sei es, daß sie unter Bedingungen entstanden waren, die eine Übertragung auf die natürlichen Verhältnisse in der intakten Pflanze nicht gestatten, sei es, daß sie in der Methode und Berechnung an Zuverlässigkeit zu wünschen übrig lassen. Letzteres muß den an und für sich recht beachtenswerten Versuchen RENNERs (I S. 215 u. II) gegenüber gesagt werden, die zwar eine nicht einstimmige, von Seiten URSPRUNGs (III) jedenfalls durchaus ablehnende Kritik erfahren haben[1]). Auch ich vermag weder seine Zahlenangaben von ca. 10—20 Atmosphären negativer Spannung als wirklich erwiesen betrachten, noch kann ich den Optimismus RENNERs teilen, als ob auf Grund seiner Versuche das Saftsteigeproblem im Sinne der Kohäsiontheorie definitiv gelöst wäre.[2]) Unter diesen Umständen

1) Vergl. RENNERs Entgegnung (III).

2) Eine kurze Begründung meiner Auffassung werde ich an anderer Stelle folgen lassen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

habe ich mich bemüht, durch Änderungen in der Methodik zu beweiskräftigeren Zahlen zu gelangen, als dies bisher der Fall war. Ich bin dabei auf zwei verschiedenen Wegen vorgegangen, von denen der eine hier im folgenden, der andere demnächst in einer späteren Mitteilung beschrieben werden soll.

Die bis jetzt einzige direkte Methode, die Saugkraft transpirierender Pflanzenteile zu demonstrieren und zu messen, besteht bekanntlich in der Hebung von Quecksilber in einem vertikal stehenden, mit Wasser gefüllten Glasrohr, an dessem oberen Ende der betreffende Pflanzenteil luftdicht befestigt ist, während das untere Ende in ein Gefäß mit Quecksilber taucht. Soweit die Messung höherer Werte in Frage kommt, ist diese Methode mangelhaft und wird es wohl mehr oder minder stets bleiben. Immerhin erweist sie sich als verbesserungsfähig. Schon BOEHM (S. 210), neuerdings URSPRUNG (II S. 404) und JOST (II S. 43) sind bis zu Steighöhen von 90,6; 90 und ca. 98 cm, d. h. 16,1; 19 und 23 cm über Barometerstand gelangt. Abgesehen aber davon, daß es sich meist nur um Ausnahmefälle handelt, sind diese Versuche, wie schon URSPRUNG (II, S. 404) hervorhebt, wegen der sie begleitenden künstlichen Veränderungen in den Pflanzenteilen, die später noch erörtert werden sollen, für das Saftsteigeproblem nicht direkt beweisend.

Die Schwierigkeiten dieser Methode beruhen in einer frühzeitigen Unterbrechung der Flüssigkeitssäule zwischen Pflanze und unterem Quecksilberspiegel. Hierbei sind zwei Fehlerquellen zu unterscheiden: Einmal das direkte Zerreißen des Wasser-Quecksilberfadens, ferner der Eintritt von Luftbläschen von der Pflanze aus in den oberen Teil des Apparates. Im ersteren Falle sind wir neuerdings durch die lehrreichen, physikalischen Versuche URSPRUNGs (I, IV) in der Lage, die Fehlerquelle durch bessere Ausnutzung von Kohäsion und Adhäsion erheblich einzuschränken. Ist es ihm doch häufig gelungen, bei gleicher Anordnung beträchtliche Steighöhen des Quecksilbers bis zu maximal 206 cm d. h. 135 cm über Barometerstand zu erreichen, wenn die verdunstende Oberfläche einer mit Wasser durchtränkten Filterkerze oder eines entsprechend geformten Stückes Coniferenholz die Saugquelle abgab. Weniger glücklich waren seine und JOSTs (II) Bemühungen, die zweite Fehlerquelle zu beseitigen. Hier setzen nun meine Versuche ein.

Der Grundgedanke meiner Versuche war folgender: Ist es möglich das Eindringen von Luftblasen, welche sich ja stets in den Interzellularen bzw. Zwickeln der Schnittflächen der benutzten Pflanzenteile vorfinden, in den Apparat dadurch zu verhindern,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß zwischen beide eine Substanz eingeschaltet wird, die zwar für Wasser durchlässig ist, Luftblasen jedoch den Durchtritt von der Pflanze bzw. von außen her verwehrt? Befähigt hierzu ist im Prinzip schließlich jede wasserdurchlässige, poröse Substanz, sofern ihre Kapillaren genügend Feinheit besitzen, um die Wassermenisken fest zu halten. Gips, an den wegen seiner praktischen, mechanischen Eigenschaften in erster Linie zu denken war, erwies sich leider schon bei geringer Inanspruchnahme als zu luftdurchlässig. Geeignet war dagegen feinster plastischer Bildhauerton, der frei von Sand und gröberen festen Partikeln ist.[1])

Ton zeigt je nach dem Wassergehalt und der Dichtigkeit seines Gefüges recht verschiedene Eigenschaften. In sehr wasserreichem Zustande ist er für Wasser relativ noch durchlässig. Wird ihm Wasser entzogen, so wird er fester und schrumpft. Hiermit gewinnt seine Undurchlässigkeit für Luft[2]), jedoch nimmt infolge der Verkleinerung der Kapillaren in entsprechendem Maße auch seine Durchlässigkeit für Wasser ganz erheblich ab. Es empfiehlt sich daher, ihn in sehr dünnen Schichten zu verwenden. Erleichtert wird dies durch eine möglichst weiche, fast schlagrahmartige Konsistenz des Tones, die übrigens während des Versuchs infolge der Saugwirkung der Pflanze sehr bald einer festeren Beschaffenheit Platz macht.

Die Plastizität des Tones macht nun allerdings einige Hilfsmaßnahmen notwendig. Zunächst müssen die zusammenzufügenden Enden des Rohres und des Pflanzenstengels durch die Klammern eines Statives auch während des Versuches unverrückbar in ihrer Lage festgehalten werden. Ferner darf der Ton nicht direkt mit der freien Öffnung des Glasrohres in Berührung treten, da er durch das in diesem enthaltene Wasser abgelöst und das Rohr verstopft würde. Zu diesem Zweck wurde das Glasrohr vorher durch eine feste, aber ebenfalls durchlässige poröse Substanz dicht verschlossen und erst hierauf die Schnittfläche des Sprosses mit Ton „aufgekittet". Als Verschlußmittel diente mir zuerst weißer gebrannter Ton, wie er in Gestalt von Scheiben z. B. zum Trocknen von Kristallen im Laboratorium Verwendung findet, in den letzten drei Versuchen mit noch günstigerem Erfolge totes Coniferenholz *(Chamaecyparis)*.

---

1) Solcher Ton ist z. B. bei jedem besseren Stukkateur erhältlich.

2) Eine Vorstellung von der Höhe des Überdrucks, der zum Hindurchtreten von Luft nötig ist, ergibt die kapillare Steighöhe für Wasser, deren Wert ja mindestens überwunden werden muß. Nach MITSCHERLICH (S. 192) ist mit Werten von 0,43—3,06 km d. h. ca. 31—225 Atm. bei verschiedenen Tonarten zu rechnen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Das naheliegendste Verfahren, den zuerst genannten gebrannten Ton in Gestalt eines dünnen Scheibchens auf das Glasröhrenende aufzukitten, erwies sich leider als undurchführbar, da ich trotz vielen Bemühens keinen Kitt fand, der der späterhin nötig werdenden Dauerbehandlung mit kochendem Alkohol und kochendem Wasser

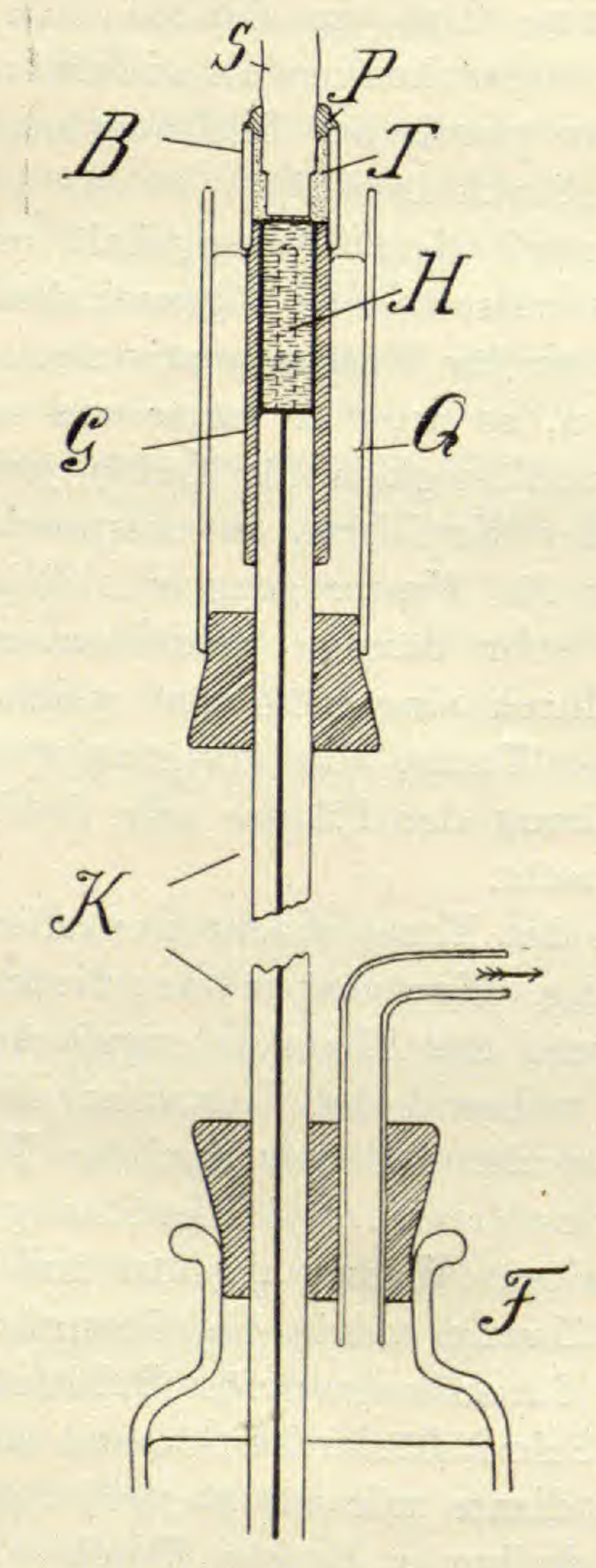

Abb. 1

widerstanden hätte. Schließlich griff ich auf die zwar etwas primitivere, jedoch brauchbare Verwendung von Kautschukschlauch zurück. Das Ton- und ebenso das Holzstück H[1]) wurden in die Form eines genau zylindrischen, ca $2^1/_2$ cm langen Stöpsels von gleicher Dicke wie das Glasrohr gebracht und mit ihm das überstehende

1) Vergl. die Abbildung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ende eines über das Rohr gestülpten Stückes Kautschukschlauches G so verschlossen, daß der Stöpsel auf der einen Seite die Glasröhre direkt berührte, auf der anderen Seite genau mit dem Schlauch abschloß. Um den Tonstöpsel wasserdurchlässiger zu machen, wurde er von der Glasröhrenseite her ausgehöhlt (in der Figur punktiert gezeichnet); beim Holz war dies nicht nötig[1]).

Aus der beschriebenen Verschlußvorrichtung der Glasröhre, die sich übrigens in ihrer ganzen Anordnung eng an den von URSPRUNG konstruierten Apparat zum Nachweis der Kohäsion anlehnt, ergeben sich zwei wesentliche Vorteile: Der Apparat kann in allen seinen Teilen für den Versuch fertig vorbereitet werden, während die Pflanze selbst erst im letzten Moment aufgesetzt wird. Ferner ist es möglich, das von URSPRUNG (I, IV) ausgearbeitete Verfahren zur Verhütung von Unterbrechungen der Flüssigkeitssäule vollkommen für unsere Zwecke auszunutzen; ja ich werde bei der weiteren Beschreibung meiner Versuchsanordnung teilweise auf dessen ausführliche Darstellung verweisen und mich selbst auf ergänzende Bemerkungen beschränken können.

Mein Apparat zeigt folgende Ausführung: Ein möglichst an seinen Enden rund geschmolzenes Kapillarrohr K von ca. 0,6 mm lichtem Durchmesser und einer Länge von ca. 120—150 cm ist in vertikaler Stellung so angeordnet, daß die beiden Enden von je einer Klammer eines auf einem Tisch bzw. am Boden erschütterungsfrei aufgestellten Stativs gehalten werden. An seinem oberen Ende ist der oben beschriebene Verschluß aus Ton oder Holz angebracht. Zur Erhöhung der Dichtigkeit ist der Gummischlauch G mit mehreren Umschnürungen aus Bindfaden versehen, auch wurde meist eine Quecksilberdichtung Q, die wenigstens den größten Teil des Schlauches und dessen unteres Ende bedeckte, angewandt. Das untere Rohrende tauchte in ein weithalsiges Fläschchen F mit reinem, staubfreiem Quecksilber. Zur Beschleunigung und Erreichung höherer Leistungen erwies sich auch bei mir, wie aus der Tabelle auf Seite 627 hervorgeht, die Erniedrigung des Luftdrucks über dem äußeren Quecksilberspiegel als wichtiges Hilfsmittel. Es geschah dies durch Verschluß des Quecksilbergefäßes mittels eines doppelt durchbohrten Gummistopfens, durch dessen eine Öffnung das Kapillarrohr führte, durch dessen andere Öffnung eine Verbindung mit einer gut wirkenden Wasserstrahlpumpe und einem Manometer hergestellt war.

---

1) Das Holz wurde einfach aus einem entsprechend dick gewählten, frischen Ast herausgeschnitten und entrindet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Befestigung der Pflanze, die, wie gesagt, den Abschluß der Versuchsvorbereitungen bringt, geschah folgendermaßen. Ein etwa 1—1$^1/_2$ cm langes Stückchen eines entsprechend weitlumig gewählten Glasrohres B wurde auf wenige Millimeter über das den porösen Verschluß enthaltende Ende des Gummischlauches gestülpt, so daß über diesem ein kleiner becherartiger Behälter entstand. Dieser wurde mit plastischem, möglichst weichem Ton unter Ausschluß von Luftblasen gefüllt. Alsdann wurde der Versuchszweig S in einer zweiten Klammer des oberen Stativs dicht über dem Tonbehälter in genau zentrischer Lage zum Kapillarrohr fixiert, und das Glasrohr nach vorübergehender Lösung der Klammern ganz allmählich gegen die Schnittfläche der Sproßachse gedrückt, bis die Stirnflächen fest aufeinander stießen[1]). Nur eine äußerst dünne Tonschicht bleibt zwischen ihnen zurück. Der überschüssige Ton wird dabei seitlich aus dem Becher herausgepreßt und mit einem Pinsel später sorgfältig entfernt. Zur Vermeidung unstatthafter Verdunstung wurde über den mit Ton T ausgefüllten Spalt zwischen Glas und Sproß ein Ring von Plastilina P gelegt. — Ergänzend sei noch folgendes bemerkt: Die sich berührenden Stirnflächen des Ton- bzw. Holzzylinders einer- und des Zweiges andererseits müssen natürlich genau senkrecht zur Längsachse stehen und vollständig geebnet sein; bei den Holzteilen hat dies mit einem sehr scharfen Messer zu geschehen. Die Durchmesser beider Teile sollen nicht wesentlich voneinander abweichen, auch empfiehlt es sich, die Rinde des transpirierenden Zweiges in der Nähe der Schnittfläche in Form eines schmalen Ringes abzulösen.

Den umständlichsten und zeitraubendsten Teil des ganzen Versuches bildet die Vorbehandlung des Kapillarrohres, die dahin zielt, dieses einschließlich des porösen Verschlusses vollkommen luftfrei zu machen und mit luftfreiem Wasser zu füllen. Nachdem von mir als brauchbar befundenen Verfahren URSPRUNGs wird das verschlossene Ende der Glasröhre zunächst in siedenden Alkohol, später in siedendes Wasser getaucht und durch Verbindung des offenen Endes mit der Luftpumpe beide Flüssigkeiten nacheinander solange durch den Apparat hindurchgesaugt, bis in jedem Falle keine Gasblasen mehr im Rohre zum Vorschein kommen. Für die Behandlung mit siedendem Alkohol stellte ich mir, wie dort angegeben, Wasserbad, Blechgefäß und Rückflußkühler zusammen[2]). Die Verwendung von Holz als Abschluß macht übrigens eine besondere Vorbehandlung mit kochendem Alkohol notwendig, um Wachs und fettartige Substanzen, die das Kapillarrohr etwa verstopfen

1) Die umgekehrte Handhabung: Hineindrücken der Sproßachse bei fixiertem Glasrohr ist natürlich ebenfalls anwendbar, doch wegen der meist unregelmäßigen Form der ersteren nicht so bequem.

2) Bei nur geringen Ansprüchen kann die Alkoholbehandlung wohl fortgelassen werden; Zeitersparnis wird aber dadurch kaum gewonnen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

könnten, aus diesem zu extrahieren. (URSPRUNG IV, S. 254.) Das siedende Wasser befand sich in einem Glaskolben; zwecks Entlüftung hatte es wenigstens zwei Stunden lang vorher gekocht. Bei meinen letzten Versuchen habe ich die Entlüftung des Apparates als ausreichend angesehen, wenn nach vorübergehendem Abstellen und ganz allmählichen Wiedereinschalten der Pumpe bis zur vollen Leistung die übliche Dampfbildung im unteren Ende des Rohres für etwa 1—2 Minuten unterblieb, sofern Erschütterungen vermieden wurden.

Die Wirkung des Durchsaugens der luftfreien Flüssigkeiten ist natürlich um so günstiger, je schneller und in je größerer Menge sie das Rohr bzw. den porösen Verschluß passieren. In diesem Sinne wirkt abgesehen von den schon von URSPRUNG hervorgehobenen Vorteilen z. B. auch die hohe Temperatur mit; bei niederer Temperatur ist die Saugwirkung erheblich geringer. So erklärt es sich offenbar auch, daß mit einem Verschluß aus Coniferenholz durchschnittlich günstigere, zum mindesten bequemere Resultate erzielt wurden als mit gebranntem Ton. Der erheblich größere Filtrationswiderstand des letzteren verzögert den Entlüftungsvorgang merklich; dieser ist bei gleicher Zeit nicht so wirksam wie beim Holz, das ja nur geringen Widerstand bietet. Ich kann die Anwendung des letzteren daher nur empfehlen. Die von URSPRUNG gelegentlich beobachteten Störungen infolge von Rissen im Holz sind in unserem Falle wohl kaum von Bedeutung.

Ist die Saugung beendet, so wird das Wasser rasch abgekühlt, die Pumpe abgestellt und das Rohr in das Quecksilber getaucht. Hierzu sind einige Handgriffe nötig, die leicht ein Mißlingen des ganzen Versuches durch Eintritt von Luftbläschen in das Rohr mit sich bringen können. Da URSPRUNG diesen Teil des Versuchs sehr kurz behandelt, möchte ich zur Vermeidung ärgerlicher Enttäuschungen hierauf etwas näher eingehen. Zwischen Kapillarrohr und Pumpenschlauch ist ein kurzes etwa 20 cm langes Stück Glasrohr von weiterem Lumen, das ich vorsichtshalber in seiner oberen Hälfte noch etwas kugelig aufgeblasen hatte, einzuschalten. Dieses Rohr muß bei Abschluß der Saugung zum größeren Teil mit Wasser gefüllt sein — bei engerem Lumen würde es durch Blasenbildung meist herausgeschleudert werden —. Mehrmalige Entleerung während des Saugens hat ferner zu verhüten, daß störende Alkoholreste der Vorbehandlung im Rohr zurückbleiben. Nach Entfernung des Pumpenschlauches werden die beiden, durch ein kurzes Schlauchstück zusammenhängenden Glasröhren innerhalb eben dieses Schlauches vorsichtig so weit von einander entfernt, bis sie sich nach oben U-förmig aufrichten und gemeinsam in das Quecksilbergefäß eintauchen lassen. Der Wasserüberschuß im Rohr hat hierbei den Zutritt von Luft zu verhindern. Unter Drehen läßt sich nunmehr das Kapillarrohr leicht unter dem Quecksilber von dem Schlauch und dem Hilfsrohr trennen. Zur bequemeren Handhabung hatte ich vorher das in der definitiven Anordnung am Fußboden stehende Stativ mit dem Quecksilberfläschchen auf den Laboratoriumstisch gestellt; eine zweite Klammer an ihm hielt das Kapillarrohr in seiner Vertikalstellung provisorisch fest.

Die letzten Handgriffe zur Fertigstellung der Versuchsanordnung bedürfen weiter keiner Erläuterung. Nachtragen möchte ich nur noch, daß die äußere Stirnfläche der Holzverschlüsse noch vor dem Aufrichten des Kapillarrohrs in die Vertikale mit etwas Ton bestrichen wurde, um ein Eindringen von Luft in die angeschnittenen Tracheiden möglichst zu verhindern. Ähnlich verfuhr ich bisweilen auch mit den Schnittflächen der Versuchszweige, sobald sie aus dem Wasser der Aufbewahrungsgefäße zum Zweck weiterer Verwendung herausgenommen wurden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mißerfolge habe ich seit Beachtung dieser Regeln nicht mehr gehabt. Auch glaube ich, daß der ganze Versuch sich unter gewissen Voraussetzungen sehr wohl zu Demonstrationszwecken eignet. Vermutlich läßt sich nämlich der bis auf das Anbringen der Pflanze fertig vorbereitete Apparat stundenlang oder selbst von einem zum anderen Tage in gebrauchsfähigem Zustande erhalten, wenn das obere Rohrende mit einer Glaskappe bedeckt wird.

Der Verlauf der Versuche war folgender. Meist schon innerhalb von 15—20 Minuten, vereinzelt allerdings auch später, wurde im Kapillarrohr der Quecksilberfaden über dem äußeren Spiegel sichtbar. Wenn er eine Höhe von 3—4 cm erreicht hatte, wurde die Pumpe, soweit deren Benutzung vorgesehen war, allmählich angestellt. Zunächst trat Verzögerung oder Stillstand, ja bisweilen sogar vorübergehendes Sinken des Meniskus ein. Letzteres schadet an und für sich nicht, darf aber ein gewisses Maß nicht überschreiten, da sonst der Eintritt von lufthaltigem Wasser in das Rohrinnere von der Pflanze her befürchtet werden muß. Wenn nötig, muß die Pumpensaugung vorübergehend abgeschwächt und dann allmählich wieder bis zur vollen Leistung gesteigert werden. Meist ist jedoch dieser Übergang bereits in wenigen Minuten überwunden. Nunmehr wird die Steiggeschwindigkeit lebhafter; der höchste von mir beobachtete Wert betrug 3,6 cm pro Minute. Nach ca. 1—2$^1/_4$ Stunde findet der Versuch für gewöhnlich sein Ende[1]). Dieses erfolgt ganz unvermittelt, ausnahmsweise nach kurzer Verzögerung der Meniskusbewegung, und zwar durch Zerreißen der Flüssigkeitssäule. Die Rißstellen befinden sich an den verschiedensten Stellen der Kapillare sowohl im Wasser als auch mit besonderer Vorliebe im Quecksilber, wie dies auch URSPRUNG beobachtet hat.

Für die einzelnen Ablesungen markierte ich den jeweiligen Stand des Quecksilbermeniskus mit Hilfe von angeklebten Papierstreifchen, die mit Zeitangabe versehen waren und später genau ausgemessen wurden. Erschütterungen des Apparates sind hierbei, wie überhaupt, aufs sorgfältigste zu vermeiden. Daß namentlich die ersten Beobachtungen infolge der tiefen Lage in der Nähe des Fußbodens nicht gerade bequem waren, ließ sich leider nicht vermeiden. Bei höherer Anordnung des Ganzen wäre abgesehen von anderen Unbequemlichkeiten in der Handhabung, Mangel in der notwendigen Beleuchtung der Zweige eingetreten. Letztere erfolgte übrigens durch ein nach Süden gehendes Fenster, wobei jedoch direkte Sonnenbestrahlung der Zweige und des Apparates vermieden wurde.

Abgesehen von der in kurzen Zeiträumen wiederholten, direkten Feststellung des Standes der Quecksilbersäule sind noch weitere ergänzende Beobachtungen und Berechnungen nötig. Gegebenenfalls mußte bei jeder einzelnen Markierung der Wirkungsgrad der Luftpumpe festgestellt werden. Bei den

[1]) Die Versuche ohne Pumpe dauern länger.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ersten zwei Versuchen dieser Art (Nr. 2 und 3 der Tabelle 1) begnügte ich mich mit einem genau gehenden Vacuummeter nach BOURDON, das direkt die Differenz zwischen Außen- und Innendruck abzulesen gestattete. Fehler von wenigen Millimetern mögen hier wohl nicht ganz ausgeschlossen sein. In allen späteren Versuchen wurde dagegen ein Quecksilbermanometer in Verbindung mit einem genau gehenden Quecksilberbarometer benutzt. Ersteres war mit einem ihm als Fuß dienenden ca. ½ Liter enthaltenden Glasgefäß verbunden (nach CLAISEN). Hierdurch wurden vorübergehende Schwankungen in der Pumpenleistung so ausgeglichen, das eine häufigere Kontrolle namentlich kurz vor und nach einer Ablesung am Rohr für genauste Angaben genügten. Übrigens waren die Schwankungen nach längerem Gange der Pumpe ganz minimal. Schließlich war noch eine, in der folgenden Tabelle als besondere Spalte aufgeführte Korrektion der gefundenen Werte nötig durch Berücksichtigung des Druckes der Wassersäulen im Kapillarrohr und evtl. über dem äußeren Quecksilberspiegel, ferner der Kapillardepression am Quecksilber-Wassermeniskus in der Kapillare, deren Wirkung nach experimenteller Feststellung für die verwandten Glasröhren auf 1,8 bzw. 2 cm Quecksilber zu veranschlagen war.

Tabelle 1.[1])

		Länge der Hgsäule	Pumpenwirkung	Korrektion	Gesamtleistung	Barometerstand	Versuchsdauer
1	*Chamaecyparis pisifera f. squarrosa*	102,5	—	4,9	107,4	75,1	$3^3/_4$
2	„ „ „ „	59,1	70,5	7,8	137,4	75,1	$2^1/_4$
3	„ „ „ „	50,0	69,0	8,8	127,8	74,6	$1^1/_4$
4	*Thuja gigantea*	103,3	—	5,0	108,3		$3^3/_4$
5	*Chamaecyparis pisifera*[2])	88,9	73,3	5,3	**167,5**	75,0	$1^3/_4$
6	„ „	67,5	73,0	6,9	147,4	74,5	$2^3/_4$
7	*Syringa vulgaris*	59,2	73,5	7,5	140,2	75,1	1

Wenden wir uns nunmehr den Resultaten selbst zu. In der Tabelle 1 sind sämtliche von mir zu Ende geführte Versuche in der Reihenfolge ihrer Ausführung zusammengestellt. Ihre Zahl

1) In der ersten Spalte sind die direkt abgelesenen Steighöhen des Quecksilbers im Kapillarrohr verzeichnet. Ein Strich in der zweiten Spalte bedeutet, daß die Luftpumpe nicht mitgewirkt hat; die Zahlen geben hier die Differenz zwischen Atmosphärendruck und Druck über dem unteren Quecksilberspiegel an. Übrigens erklärt sich die stärkere Pumpenwirkung in den drei letzten Versuchen durch Verwendung eines besseren Stopfens für das Quecksilbergefäß. In der dritten Spalte ist die im Text erwähnte Korrektion verrechnet, sie hat stets ein +Vorzeichen. Die vierte Spalte enthält die Gesamtleistung der Saugkraft der Pflanze, die fünfte den Barometerstand (im Versuch 4, der ja wenig instruktiv ist, war die Barometeraufzeichnung aus Zufall unterblieben, der Stand war etwa 75). Sämtliche bis hier angeführten Zahlenangaben bedeuten die Höhen von Quecksilbersäulen in cm.

In der letzten Spalte ist die Zeitdauer der Versuche vom Moment der Befestigung der Pflanze am Apparat an in Stunden wiedergegeben.

2) Normalform.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ist zwar nicht groß, doch vollkommen genügend, um die zu erzielenden Durchschnittsleistungen zu veranschaulichen. In den letzten drei Versuchen kommt übrigens auch der Fortschritt in der Methodik deutlich zum Ausdruck, wie überhaupt die vorhergehenden Versuche mehr den Charakter von Probeversuchen haben. Die gefundenen Zahlen übertreffen, wenn wir von den Versuchen ohne Mitwirkung der Pumpe absehen, die bisher bekannten Werte recht erheblich. Zweifellos sind aber bei größerer Ausdehnung der Versuche und entsprechender Übung noch höhere Werte zu

Tabelle 2.[1])

Versuch 5		Versuch 7	
Abstand der Ablesungen in Minuten	Steiggeschwindigkeit pro Minute	Abstand der Ablesungen in Minuten	Steiggeschwindigkeit pro Minute
4	0,75	5	0,62
3	1,—	5	0,7
3	1,—	5	0,94
2	1,—	5	1,06
2	1,3	3	1,07
2	1,1	3	1,1
2	1,35	3	1,17
2	1,45	3	1,2
2	1,35	4	1,25
2	1,6	3	1,3
2	1,7	3	1,17
2	2,3	3	1,47
2	2,55	3	**1,5**
1	**3,6**	Schluß	
1	2,9		
2	1,2		
2	1,25		
2	1,1		
4	1,2		
2	1,1		
2	1,1		
6	1,—		
2	1,—		
4	1,—		
2	1,15		
Schluß			

erwarten, und es spricht nichts dagegen, daß der unter „Dutzenden von Versuchen“ von URSPRUNG auf rein physikalischem Wege erreichte Maximalwert von 206 cm auch von der Pflanze in unserem Apparat geleistet werden kann. Zu berücksichtigen ist

1) Die Tabelle des Versuches 5 *(Chamaecyparis pisifera)* umfaßt den Abschnitt von 95—167,5 cm korrigierter Steighöhe des Quecksilbers, die des Versuchs 7 *(Syringa)* einen solchen von 92,4—140,2 cm. Beide reichen bis zum Versuchsschluß. Die Werte für die Steiggeschwindigkeit gelten stets für die nebenstehende Minutenzahl, die ihrer Berechnung zugrunde gelegt war.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nämlich, daß nicht die Saugkraft der Pflanze, sondern die Mängel des Apparates am Schlusse versagten. Die Pflanze saugte mit einer noch zu besprechenden Ausnahme bis zuletzt kräftig weiter, als die Flüssigkeitsfäden im Innern des Apparates zerrissen. Lehrreich sind die Werte für die Steiggeschwindigkeit des Quecksilbermeniskus pro 1 Minute, die sich aus den Einzelbeobachtungen berechnete und an zwei Beispielen in der Tabelle 2 zusammengestellt habe. Sehen wir von den sich notwendiger Weise ergebenden Unregelmäßigkeiten und die anfängliche Zunahme der Steiggeschwindigkeit im Beginn der Versuche ab und lassen wir die stets vorkommenden Schwankungen innerhalb kleiner Zeiträume[1]) außer Betracht, so ergibt sich folgendes Bild: Versuch 3 und 7 zeigen eine deutliche Steigerung der Steiggeschwindigkeit bis zum Schluß, wo das Maximum mit 1,2 bzw. 1,5 cm liegt. Versuch 1, 2 und 4 zeigen überhaupt keine wesentliche Veränderung oder nur ganz undeutliche Steigerung. Anders verläuft Versuch 5 (vergl. Tabelle 2). In einer halben Stunde steigt die Geschwindigkeit von 0,75—3,6 cm pro Minute, während der berichtigte Quecksilberstand sich auf 132 cm erhöhte. In den nächsten paar Minuten sinkt sie aber, um dann bis zum Schluß auf annähernd gleicher Höhe zu bleiben. Eine ziemlich ähnliche, aber viel flachere Gipfelkurve zeigt Versuch 6, der aber insofern eine Ausnahme darstellt, als hier, wie schon oben angedeutet, in den letzten 10 Minuten die Steiggeschwindigkeit ganz rapide von 0,82 auf 0,1 cm herabsank. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß hier als Vorboten für das sichtbare Zerreißen der Flüssigkeitssäule Störungen innerhalb der Verbindung zwischen Pflanze und Apparat stattgefunden hatten.

Am wichtigsten ist nunmehr die Frage, welche Bedeutung den gefundenen Resultaten für das Problem des Saftsteigens zukommt. Ich kann wohl darauf verzichten, das ganze umfangreiche Problem hier in seinen Einzelheiten aufzurollen[2]) und werde mich daher

---

1) Da an den wichtigeren Stellen der Versuche die große Mehrzahl der Ablesungen in Abständen von 2—3 Minuten vorgenommen wurde, dürften bisweilen kleine Beobachtungsfehler für Schwankungen der Steiggeschwindigkeit mit verantwortlich zu machen sein. Größere Übersichtlichkeit und Genauigkeit wird erzielt, wenn man der Berechnung größere Zeitabstände etwa von 6—9 Minuten zugrunde legt, wie ich es zum Vergleich auch getan habe.

2) Zur Orientierung sei auf JOST (I) verwiesen, wo auf S. 86 auch die Literatur über die wichtigsten, zusammenfassenden Darstellungen angegeben ist.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gleich dessen augenblicklichem Kernpunkt, nämlich der Kohäsionsfrage zuwenden. In unserm Falle, wo wir von der Basis eines transpirierenden Sproßteiles eine Saugkraft von nachweislich mehr als 2 Atmosphären negativer Spannung ausgehen sehen, kann es nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse wohl keinem Zweifel unterliegen, daß die Kohäsion der Flüssigkeit eine ausschlaggebende Rolle bei der Kraftübertragung gespielt hat[1]). Die Frage ist nur, ob die von uns im Experiment gefundenen Resultate auch für die Verhältnisse intakter Pflanzen Gültigkeit haben. Bejahendenfalls wäre dann für die extremen Vertreter der Kohäsionstheorie, zu denen ich RENNER zähle, das Saftsteigeproblem allerdings nur von Neuem in ihrem Sinne entschieden, da sie ja theoretisch und wie RENNER „bewiesen" zu haben glaubt, auch praktisch mit noch wesentlich höheren Saugkräften in der Pflanze rechnen können. Die Gegner der Kohäsionstheorie, ich nenne in erster Linie URSPRUNG, bestreiten dagegen überhaupt die Möglichkeit von solchen Kohäsionswirkungen in der intakten Pflanze, weil zusammenhängende Flüssigkeitssäulen in ausreichendem Maße nur selten bestehen sollen, zum mindesten infolge des Luftgehaltes des Saugwassers durch erneute Blasenbildung zerstört würden, sobald die negative Spannung sich dem Wert einer Atmosphäre nähert. Für sie kommen im Stamm besondere Kräfte in Frage, die meist mit der Tätigkeit lebender Zellen in Verbindung gebracht werden. Kennzeichnend für die Auffassung URSPRUNG's (I S. 411) ist, daß nach seinen Versuchen die Saugkraft eines transpirierenden Zweiges noch nicht einmal den Widerstand einer entgegen wirkenden Wasserstrahlpumpe d. h. also noch nicht eine volle Atmosphäre zu überwinden befähigt sein soll[2]), während er auf der anderen Seite es nicht nur für möglich hält, sondern auch experimentell zu erweisen sucht, daß unter gewissen künstlichen Voraussetzungen höhere Saugleistungen vorkommen, wenn durch sie die Möglichkeit für Kohäsionswirkungen geschaffen wird[3]). Es läßt sich nicht leugnen, daß dies bei den eingangs erwähnten Versuchen BOEHM's, URSPRUNG's und neuerdings auch JOST's tatsächlich der Fall ist. In diesem Sinne kamen nämlich als Vor-

---

1) Die praktisch von ihr bis jetzt kaum trennbare, jedoch nicht minder wichtige Adhäsionswirkung sei nebenbei erwähnt.

2) Über die Beweiskraft dieser und ähnlicher Versuche anderer Autoren ist man übrigens recht verschiedener Ansicht (vergl. JOST II S. 38).

3) URSPRUNG (II S. 405) glaubt dabei aus dem Gang des steigenden Quecksilbermeniskus sogar das Zerreißen der Flüssigkeitsfäden im Innern der Pflanze herauslesen zu können.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

behandlung in Frage: Auskochen der ganzen Sproßachse oder von Teilen von ihr (BOEHM, URSPRUNG), Abschneiden der lebenden Sprosse unter luftfreiem abgekochtem Wasser, womöglich nach vorheriger Einschränkung der Transpiration durch Umhüllung mit nassen Tüchern (URSPRUNG), oder Injektion luftfreien Wassers (JOST). Sollen demnach Versuche dieser Art beweisend sein, so ist es nötig, neben der gemessenen Kraftleistung die Vorbehandlung und Beschaffenheit des lebenden Objektes zu berücksichtigen. Hierauf habe ich nun in den beschriebenen Versuchen mein Augenmerk besonders gerichtet und möchte jetzt darauf näher eingehen.

Um mit möglichst einfachen Verhältnissen rechnen zu können, habe ich, wie auch andere Autoren, hauptsächlich mit Coniferen gearbeitet; nur ein Versuch wurde mit *Syringa* durchgeführt. Ich halte es in Bezug auf unser Problem für wichtig, einen schärferen, wenn auch vielleicht nur vorläufigen Unterschied zu machen zwischen Pflanzen, deren Holzteil relativ homogen ist und im wesentlichen nur Tracheiden als Leitelemente enthält, und solchen, deren Holz darneben oder allein Tracheen aufweist. Der zweite Fall bringt stets eine Komplikation des Problems mit sich; dies wird auch aus meinem *Syringa*versuch hervorgehen, obwohl die Saugleistung die gleiche war.

Die Vorbehandlung der Zweige war mit Ausnahme des gesondert zu besprechenden *Syringa*versuches folgende. Ohne jede Vorkehrung wurden sie im Freien (Bot. Garten) abgeschnitten und im Institut bis zu ihrer Verwendung mit ihrem unteren Ende in ein Gefäß mit frischem oder schon längere Zeit bis tagelang an der Luft stehendem Leitungswasser gestellt. Die weitere Verwendung erfolgte für gewöhnlich innerhalb der nächsten Stunde[1]). Zu Herstellung einer geeigneten Schnittfläche wurden die Zweige unter eben solchem Wasser um einige Zentimeter gekürzt und die Schnittflächen geglättet. In gleicher Weise enthielt der zur Verbindung mit dem Apparat benutzte plastische Ton reichlich gelöste Luft: Er war in einer flachen Glasschale mit lose aufliegendem Deckel in Form von kleinen Flocken in dünner Lage wochenlang aufbewahrt und mit gewöhnlichem Leitungswasser angerührt worden. Die einzige Möglichkeit des Eintrittes völlig luftfreien Wassers war nur während des Versuches selbst gegeben.

1) Beispielsweise wurde der Zweig des Versuches 2 nach $^1/_2$ Stunde, der des Versuches 3 ohne jeden Verzug verwandt. Im letzteren Falle handelte es sich um einen Ersatz eines bereits im Apparat befestigt gewesenen Zweiges, dessen anfängliche Saugleistung ungenügend erschien.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wie aber dessen Menge selbst im Höchstfalle d. h. in den Versuchen 1 und 4 mit den längsten Quecksilberfäden oder dem Versuch 5 mit maximaler Saugleistung bis zum Versuchsschluß noch nicht $^1/_3$ ccm erreichte, war sie bis zu dem kritischen Moment der Überschreitung des Barometerstandes praktisch meist ganz zu vernachlässigen. Sobald nämlich bei 3—4 cm Steighöhe des Quecksilbers die Pumpe eingeschaltet bzw. voll in Tätigkeit gesetzt wurde — bekanntlich konnte dabei die Steighöhe sich vorübergehend verringern — war nach genauer Berechnung noch nicht einmal 0,02 ccm Wasser in die Pflanze eingedrungen, während die vollberechnete Saugleistung bereits 85 cm Quecksilber betrug, also um ca. 10 cm den Barometerstand übertraf. Von Veränderungen des Innern der Sproßachse zu Gunsten einer Kohäsionswirkung kann also bei meinen Versuchen nicht die Rede sein. Wären vorher noch keine Unterbrechungen der Flüssigkeit in Gestalt von Luftblasen vorhanden gewesen, so hätten solche durch die Zuführung lufthaltigen Wassers bei entsprechend hoher Zugwirkung sofort auftreten müssen oder können. Daß sie aber schon vorhanden waren, ist mit Rücksicht auf die Jahreszeit — Mitte Mai bis Juli — ziemlich sicher [1]).

In Bezug auf das eben Erörterte ist übrigens ein Vergleich der Versuche 5 und 6 ganz lehrreich, obwohl er kaum etwas direkt Neues besagt. Beide Versuche wurden mit demselben Zweig und derselben Kapillare — das zweite Mal nach vollkommen neuer Vorbereitung — ausgeführt, während der Zweig in der Zwischenzeit von drei Tagen in gewöhnlichem Leitungswasser gestanden hatte. Die Versuche verliefen ziemlich gleichartig (vergl. das auf S. 629 gesagte), nur stieg das Quecksilber im zweiten Falle langsamer; offenbar war vor allem das herrschende Regenwetter für eine geringere Transpiration verantwortlich zu machen. Auffallend verschieden war aber der Beginn der Versuche. Als bei dem zweiten Versuch die Pumpe in der üblichen Weise eingestellt wurde, sank der Quecksilbermeniskus so anhaltend, daß ihre Tätigkeit wiederholt für kurze Zeit ganz unterbrochen werden mußte. Erst ganz allmählich konnte dann in längeren Etappen ihre Wirkung bis wieder zur vollen Tätigkeit gesteigert werden. Ohne diese Vorsicht wären erhebliche Mengen des im Stamm gespeicherten Wassers in den Apparat übergetreten und hätten den Versuch zum Scheitern gebracht. Im ersten Versuch vollzog sich der Übergang zwar nicht besonders schnell, doch bot er nichts besonderes. Die Erklärung ist zweifellos folgende. In der Ruhepause hatte sich der Zweig mit Wasser gesättigt, indem die vorhandenen Luftblasen unter Ausgleich ihrer Spannung und unter der kapillaren Mitwirkung der sie begrenzenden Menisken sich verkleinerten oder z. T. ganz verschwanden. Die Tätigkeit der Luftpumpe stellte zunächst den früheren Zustand wieder her, indem unter Neubildung oder Ausdehnung schon vorhandener Luftblasen das überschüssige Wasser

1) Die drei letzten Hauptversuche fanden sämtlich im Juli statt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zunächst durch Transpiration beseitigt wurde. Die Pumpensaugung von ca. 73 cm Quecksilber genügte also, um eine Unterbrechung der Flüssigkeitsfäden im Stamminnern zu schaffen oder mindenstens zu verstärken, sie genügte aber nicht, um alle Zusammenhänge zu zerstören[1]) und damit die Kohäsionswirkung auszuschalten. (Vergl. S. 630. Anm. 2.)

Aus diesen Versuchen läßt sich übrigens noch der Schluß ziehen, daß die Aufnahme gewöhnlichen Leitungswassers, wie er im gewissem Grade bei allen meinen Versuchen stattfand, nicht etwa erst eine Kohäsionswirkung ermöglichte oder begünstigte. Im Versuch 6 hätte ja dann erst recht die Saugwirkung gegenüber dem Versuch 5 beschleunigt eintreten müssen.

Was den Syringaversuch anbelangt, so verlief er in genau der gleichen Weise wie die Coniferenversuche, nur in einem Punkte wich die Vorbehandlung von jenen ab, insofern als nämlich der Zweig nicht in Luft, sondern unter frischem Leitungswasser abgeschnitten worden war. Dies hatte naturgemäß zur Folge, daß etwas größere Wassermengen vorher in den Zweig gelangten. Da dieses aber stark lufthaltig war, so kann auch hier von einer etwaigen Behinderung der Blasenbildung oder Begünstigung der Kohäsionswirkung nicht gesprochen werden. Allerdings bezweifle ich, daß ohne diese übliche Vorkehrung der Versuch gelungen wäre; mindestens hätte er sich nach allgemein bekannten Erfahrungssätzen zu urteilen, unter starkem Welken der Blätter ungebührlich lange hingezogen. Ungünstige Erfahrungen, die ich bei anderer Gelegenheit machte, schreckten mich von vornherein von Probeversuchen in dieser Richtung ab. Für die von mir zu ziehenden Schlußfolgerungen halte ich, wie schon gesagt, die beschriebene Abweichung für belanglos. Welche Bedeutung der Veränderung des Gefäßinhaltes sonst für das Saftsteigeproblem zukommt, läßt sich zurzeit nicht voraussagen.

Zusammenfassend glaube ich somit als endgültiges Resultat meiner Versuche den unanfechtbaren Nachweis erbracht zu haben, daß unter den normalen Bedingungen des Saftsteigens in der Pflanze die Kohäsion als Übertragungsmittel der von den transpirierenden Organen ausgehenden oder sonst

---

1) Weshalb eine völlige Unterbrechung der Flüssigkeitsfäden unterbleibt, ist eine der vielen Fragen, die sich zurzeit nicht einwandsfrei beantworten lassen. Die Annahme mancher Autoren (Dixon S. 42, Holle S. 121), daß nur ein Teil der Tracheiden Luftblasen enthalten soll, erscheint vorläufig wenig glaublich. Andererseits wird zweifellos eine völlige Verdrängung des Wassers durch die Luftblasen dadurch verhindert, daß die sie begrenzenden Menisken mit dem Eintritt in die zugespitzten Enden der Tracheiden eine Erhöhung ihres kapillaren Widerstandes erfahren. Inwieweit dabei aber ein genügender Zusammenhang der Flüssigkeitsfäden gewahrt bleibt, ist eine andere Frage.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

etwa noch in der Pflanze wirkenden Saugkräfte eine wichtige Rolle spielt und zwar selbst dann, wenn diese Kräfte den Wert von 2 Atmosphären negativer Spannung übertreffen.

In welchem Verhältnis steht nun diese Erfahrung zu der Kohäsionstheorie und den Anschauungen ihrer Gegner? Zweifellos bilden die beschriebenen Versuche zunächst eine wesentliche Stütze für die Kohäsionstheorie. Die Möglichkeit von Kohäsionswirkungen ist ja offenbar im Stamminneren, wie dies auch die neuesten Beobachtungen HOLLE'S erwarten lassen, eine ganz andere als in Glasröhren, die bisher zum Vergleich gedient hatten. Zugunsten dieser Theorie spricht z. T. auch das, was hiernach über die Größenverhältnisse der Saugkräfte vorausgesagt werden kann. Aus dem Verlauf unserer Versuche läßt sich ohne weiteres folgern, daß die gefundenen Höchstwerte von über zwei Atmosphären zweifellos in der Natur noch wesentlich übertroffen werden; es trat ja noch nicht einmal eine auffälligere, im Verhältnis zu der höheren Kraftleistung stehende Abnahme der Wasserförderung ein. Weiterhin mag hinzugefügt werden, daß ich nach der angekündigten zweiten Methode auch größere Saugkräfte nachzuweisen gedenke, die zwar die von RENNER behaupteten Zahlenangaben nicht erreichen, immerhin aber jene nicht als unmöglich erscheinen lassen.[1])

Auf der anderen Seite stehe ich trotzdem aber auch jetzt noch, ähnlich wie JOST (II, S. 54), auf dem Standpunkt, daß die Kohäsionstheorie noch ziemlich weit entfernt davon ist, wirklich bewiesen zu sein. Abgesehen von der Frage, ob selbst stärkere Saugkräfte wirklich ausreichen, um die allerdings noch problematischen Filtrationswiderstände selbst hoher Baumstämme zu überwinden, ist es bekanntlich immer noch unsicher, ob mit Hilfe der Kohäsion der Pflanze auf die Dauer genügend Wasser zugeführt werden kann.

Zu einer vorläufigen Orientierung über diese Frage, die kürzlich von JOST (II, S. 29) allerdings noch ohne entscheidende Ergebnisse für höhere negative Spannungen in Angriff genommen wurde, habe ich als Parallele zu den oben beschriebenen Versuchen

---

1) Zur Orientierung sei hier nur bemerkt, daß diese Methode auf der Verwendung künstlicher, anorganischer Filtrationswiderstände von bestimmten, physikalischen Eigenschaften beruht, die mittelst des hier beschriebenen Verfahrens zwischen Pflanze und einem Potetometer eingeschaltet sind. Die bis jetzt nachgewiesenen Saugleistungen sind mehrmals so groß wie die hier beschriebenen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ein paar Transpirationsmessungen vorgenommen. Entsprechend den Hauptversuchen wurden Zweige von möglichst gleicher Größe und Transpirationsfläche, die denselben Pflanzenindividuen an gleicher Stelle entnommen waren, unter denselben Bedingungen der Transpiration überlassen[1]). Ihre unteren Enden tauchten in kurze Probierröhrchen, die Wasser enthielten und deren Mündung mit Plastilina verschlossen und dadurch gleichzeitig am Sproß befestigt waren. Durch Wägung wurde der Gewichts- d. h. Transpirationsverlust innerhalb von etwa drei Stunden bestimmt und pro Minute umgerechnet. Benutzt wurden je ein *Thuja*- und *Chamaecyparis*- und drei *Syringa*zweige, welch letztere übrigens in ihrem Verhalten gut übereinstimmen, da ihre Transpirationswerte noch nicht um 6 % voneinander abwichen[2]). Auf der anderen Seite war für die Hauptversuche durch Berechnung aus dem jeweiligen Stande der Quecksilbersäule im Kapillarrohr nach vorheriger genauer Ausmessung des Rohres mittelst der bekannten Quecksilberwägemethode die Wasseraufnahme in der gleichen Zeiteinheit festgestellt worden. Das Resultat war, daß selbst im Moment des schnellsten von mir überhaupt beobachteten Steigens der Quecksilbersäule in Versuch 5 die Wasseraufnahme nur die Hälfte des nach den Kontrollzweigen zu erwartenden Transpirationsverbrauchs ausmachte. Noch ungünstiger war das Verhältnis in allen anderen Fällen, sei es im Augenblick maximaler Steiggeschwindigkeit, sei es gegen Schluß der Versuche, wo die Kraftleistung am größten war. Das Verhältnis von Wasseraufnahme zur Wasserabgabe betrug bei *Thuja gigantea* ca. $^1/_3$ bei *Chamaecyparis pisifera* (Versuch 6 und Versuch 5 zum Schluß) $^1/_6$—$^1/_8$, bei *Syringa* $^1/_7$. Nun braucht allerdings nicht erst hervorgehoben zu werden, daß die Zahl und die Art der Versuche für genaue Berechnungen kaum ausreicht. Mit Rücksicht auf die sehr große Anpassungsfähigkeit und Abhängigkeit der Pflanze in Bezug auf äußere Faktoren ist diese Frage überhaupt gar nicht so leicht und schnell zu beantworten. Vielleicht ist auch in den Kontrollversuchen entsprechend der immerhin erleichterten Wasseraufnahme die Wasserabgabe eine etwas größere gewesen als unter gleichen Umständen im Freien[3]). Schließlich dürfte der Filtrationswiderstand des Tones und evtl. des Tonstöpsels (das Holz-

1) Wie früher fanden die Versuche im Laboratorium statt.

2) Die Abschätzung der Größenverhältnisse war demnach ziemlich gut getroffen.

3) Zum Ausgleich war übrigens den Versuchszweigen etwas weniger Wasser geboten worden, als sie wirklich hätten aufnehmen können, so daß die Röhrchen bereits vor Beendigung des Versuches geleert waren.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

stück kann natürlich ganz vernachlässigt werden) die Wasseraufnahme etwas erschwert haben; erheblich ist jedoch der Einfluß speziell des ersteren sicher nicht. Aber selbst unter allen diesen Einschränkungen dürfte aus den Versuchen ein augenscheinliches Mißverhältnis zwischen Leistung und Bedürfnis der Wasserversorgung hervorgehen, das für die Kohäsionstheorie nicht ganz ohne Bedenken ist[1]). In meinen Hauptversuchen brauchte dieses Mißverhältnis allerdings nicht ohne weiteres sichtbar zu werden: Den Coniferenzweigen war, wie zu erwarten, nichts anzusehen, der *Syringa*zweig zeigte nur Anzeichen eines schwachen Welkens, was bei der außergewöhnlich kurzen Versuchsdauer von nur einer Stunde übrigens verständlich, aber immerhin als solches bemerkenswert ist. Eine gewisse Unterstreichung erfährt aber das oben Gesagte noch dadurch, daß bei den wesentlich höheren Saugleistungen meiner später zu beschreibenden Versuche[2]) die verwandten Laubzweige sogar recht deutlich welkten, und ferner auch RENNERS (I, S. 215) Versuche, sofern wirklich höhere Leistungen vorlagen, im allgemeinen eine ungenügende Wasserversorgung mit sich brachten.

Für die im Vergleich zur Kontrolle zu geringe Leistungsfähigkeit der Wasserförderung in meinen Hauptversuchen eine Erklärung zu finden, würde allerdings ohne weiteres Tatsachenmaterial kaum möglich sein. Nicht denkbar erscheint es, daß die in diesen Versuchen zwar theoretisch aus der Zunahme der Zugspannung zu fordernde Verminderung der Steiggeschwindigkeit solche Grade annehmen kann, da wir es ja theoretisch mit außerordentlich leistungsfähigen Kraftquellen in der lebenden Pflanze zu tun haben[3]). Ebensowenig ließe sich die Annahme einer so auf-

---

1) Daß bei längerer Dauer meiner Hauptversuche die Wasseraufnahme eine weitere, erhebliche Steigerung erfahren hätte, wie man vielleicht nach Versuchen JOSTs (II, S. 37) annehmen könnte, scheint mir nach dem Verlauf der Steiggeschwindigkeit ausgeschlossen. Ein jenen Versuchen entsprechender Ausgleich war ja bei mir stets im Anfang zu beobachten, wenn durch Einschalten der Pumpe die Wasseraufnahme vorübergehend sistiert oder verzögert worden war, alsdann aber relativ schnell anstieg. (Vgl. Anm 2 auf S. 637.)

2) Bei dieser Gelegenheit werde ich die ganze Frage genauer beantworten,

3) Vergleiche zwischen den einzelnen Phasen meiner Versuche geben leider hierüber keinen Aufschluß. Von vornherein liegen ja hier die Verhältnisse viel komplizierter als in ähnlichen physikalischen Apparaten (vergl. z. B. URSPRUNG IV S. 258). Die Steigerung der Zugspannung dehnte sich auf längere Zeiträume aus, denen natürlich Veränderungen im Innern der Pflanze parallel gingen. Von diesem Gesichtspunkt aus schien es mir von Interesse, eine Gelegenheit, die das Verhalten der Pflanze bei schnellerer Ver-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

fällig stark herabgesetzten Transpiration rechtfertigen[1]). Dagegen wäre doch wohl erneut zu erwägen, inwieweit die Leitfähigkeit des Holzes durch stärkere Erhöhung der Zugspannung ungünstig beeinflußt wird. Diese recht alte Streitfrage hat zwar durch den Nachweis der Kohäsionswirkung zweifellos an ihrer ehemaligen Bedeutung verloren, bleibt aber trotzdem als wichtiges Problem bestehen. Wenn entsprechend der Zunahme der negativen Spannung die in den Holzelementen vorkommenden Gasblasen sich vergrößern — und hieran ist doch nicht zu zweifeln — so muß auf jeden Fall eine Verkleinerung des wirksamen Querschnitts der für die Wasserleitung in Betracht kommenden Flüssigkeitsfäden d. h. also eine Erhöhung des Filtrationswiderstandes eintreten, auch wenn es zu einer vollen Unterbrechung, wie die bestehen bleibende Kohäsionswirkung beweist, nicht kommt[2]). Zwecklos wäre es nun

---

änderung und zwar unter Verminderung der Spannung zu beobachten gestattete, auszunutzen. Diese bot sich durch Erweiterung des *Syringa*versuches (7). Nach Abschluß des Hauptversuches wurde bei unveränderter Anordnung, jedoch reduziertem Quecksilberstande, unter Ausschaltung der Saugpumpe sofort weiter beobachtet. Dies war möglich, weil der Riß innerhalb des Quecksilbers eingetreten war und das dabei entstandene Luftbläschen sich an der Grenze zwischen Quecksilber und Wasserfaden festgesetzt hatte, ohne die Kontinuität des letzteren im geringsten zu stören. Ohne auf eine nähere Beschreibung einzugehen, sei nur festgestellt, daß innerhalb der ersten 5 Minuten der berechnete Wert der negativen Spannung anfänglich auf ca. 90 cm und dann auf ca. 72 cm Hg sank und in der weiteren Beobachtungszeit von 20 Minuten sich zwischen 72 und 76 cm Hg bewegte. Die Saugleistung bzw. Steiggeschwindigkeit betrug in den ersten 5 Minuten 1,7 cm, in den weiteren 20 Minuten durchschnittlich 1,57, am Schluß 1,55 cm pro Minute.

Gegenüber dem entsprechenden Wert von 1,5 cm Steiggeschwindigkeit am Schluße des Hauptversuches sehen wir hier in den ersten 5 Minuten infolge des plötzlichen Freiwerdens von Kräften die Menge des aufgenommenen Wassers emporschnellen und dann relativ schnell bis fast wieder auf ihren Ausgangspunkt zurücksinken. In Anbetracht der ziemlich erheblichen Verminderung der Zugspannung gegenüber dem früheren Werte von 140,2 cm Hg erscheint aber die entsprechende Änderung der Steiggeschwindigkeit, wie zu erwarten war, recht unbedeutend.

1) Theoretisches über beide Fragen bei RENNER (IV S. 622 u. 634) und URSPRUNG (IV).

2) JOST (II S 37) hat kürzlich festgestellt, daß Coniferenzweige entgegen der Saugwirkung einer Luftpumpe nach vorübergehender Verminderung annähernd die gleiche Wassermenge wie ohne Pumpensaugung aufnehmen. Dies Resultat braucht keineswegs mit dem vorher Besprochenen in Widerspruch zu stehen. Infolge von Verdunkelung war die Transpiration in den JOST'schen Versuchen relativ schwach. Eine Erhöhung des Filtrationswiderstandes kam daher bei der langsamen Wasserbewegung wenig zur Geltung und konnte leicht durch vermehrte Saugung, wie dies auch JOST annimmt, ausgeglichen werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

allerdings, auf diese nach ihrer theoretischen Seite mehr als genug erörterten Frage einzugehen, solange nicht weitere praktische Erfahrungen vor allem über die genaueren Vorgänge im Innern des Holzes, ganz besonders aber in den Gefäßen während der Wasserleitung vorliegen.

HOLLE (S. 120) hat in seiner wertvollen Arbeit, in der er die Abhängigkeit höherer Kohäsionsspannungen von der Zellwandbeschaffenheit nachwies, die Gefäße als Wasserspeicher, die Tracheiden als alleinige Leiter zu deuten versucht. Zweifellos ergeben sich hieraus eine ganze Reihe neuer Schwierigkeiten. JOST (II. S. 52) hat bereits auf solche hingewiesen und auch HOLLE ist sich ihrer wohl bewußt. Nicht uninteressant ist aber, wenn zu deren Behebung gerade HOLLE die Möglichkeit einer Mitwirkung lebender Stammzellen wenigstens nicht ganz von der Hand weist. Übrigens könnte seiner in diesem Zusammenhange aufgeworfenen Frage, wie überhaupt die mit wassergefüllten unter Kohäsionsspannung stehenden toten Holzelemente ihr Wasser hergeben z. B. eine andere Frage gegenübergestellt werden, nämlich wie die als Speicher dienenden und gleichzeitig Luft enthaltenen Gefäße nach ihrer teilweisen oder vollständigen Entleerung sich wieder auffüllen können, wenn die Umgebung unter hoher negativer Spannung steht. Auch hier läge dann eigentlich die Mitwirkung lebender Zellen recht nahe. Natürlich handelt es sich bei Allem um vollkommen unbewiesene Vermutungen. Bis jetzt steht auch für mich fest, daß die Mitwirkung lebender Zellen im Stamm noch nicht nachgewiesen ist. Ebensowenig kann aber auch zugegeben werden, daß ihre Entbehrlichkeit über jedem Zweifel steht.

Literaturverzeichnis

J. BOEHM. Kapillarität und Saftsteigen. Diese Ber. 9, S. 203, 1893

H. H. DIXON. Transpiration and ascent of sap. Progressus rei bot. III. 1910.

H. HOLLE. Untersuchungen über Welken, Vertrocknen und Wiederstraffwerden. Flora N. F. 8, S. 73, 1915.

L. JOST I. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie 3. Aufl. Jena 1913.

— — II. Versuche über die Wasserleitung in der Pflanze. Zeitschrift für Botanik 8, S. 1, 1916

Im übrigen würde wohl eine Steigerung des Filtrationswiderstandes nicht direkt proportional der negativen Spannung verlaufen, sondern vor allem in der Nähe des Barometerstandes ein gewisses Maximum erreichen. JOST's Pumpe entwickelte eine Leistung von 68—71 cm Hg. doch scheint das Gegengewicht der Wassersäulen hierin nicht verrechnet zu sein.

Daß übrigens die Erfahrungen RENNER's (I S. 201) und anderer Autoren sich nicht mit den Beobachtungen JOST's decken, sei noch erwähnt. JOST führt dies auf das von jenen benutzte Laubholzmaterial zurück.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

E. A. MITSCHERLICH, Bodenkunde Berlin 1905.
O. RENNER I. Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Wasserbewegung. Flora 103, S. 171, 1911.
— — II. Versuche zur Mechanik der Wasserversorgung. Diese Ber. 30, S. 576, 1912.
— — III. Erwiderung auf den Aufsatz von A. URSPRUNG: Filtration und Hebungskraft. Diese Ber. 33, S. 280, 1915.
— — IV. Theoretisches und Experimentelles zur Kohäsionstheorie der Wasserbewegung. Jahrb. f. wiss. Bot. 56, S. 617, 1915.
A. URSPRUNG I. Zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Ber. 31, S. 388, 1913.
— — II. Über die Bedeutung der Kohäsion für das Saftsteigen. Diese Ber. 31, S. 401, 1913.
— — III. Filtration und Hebungskraft. Diese Ber. 33, S. 112, 1915.
— — IV. Zweiter Beitrag zur Demonstration der Flüssigkeitskohäsion. Diese Ber 33, S. 253, 1915.

---

59. Georg Lakon: Über die jährliche Periodizität panachierter Holzgewächse.

(Mit 3 Abbildungen im Text.)

(Eingegangen am 20. Oktober 1916.)

In früheren Arbeiten habe ich wiederholt Gelegenheit gehabt, auf das Problem der jährlichen Periodizität der Pflanzen näher einzugehen[1]) Hierbei bin ich zu dem Resultat gekommen, daß die Periodizität keine unter allen Umständen von der spezifischen Struktur vorgeschriebene, sondern eine von der letzteren lediglich zulässige, von den äußeren Bedingungen abhängige Erscheinung ist. In Übereinstimmung mit KLEBS sehe ich die Abhängigkeit der Periodizität von der Außenwelt zunächst in einer Beeinflussung der inneren Bedingungen, welche ihrerseits auf die spezifische Struktur einwirken. Die wichtigste Aufgabe in der Erforschung der Periodizität besteht somit in der Aufklärung dieser inneren

1) Vergl. hierzu meine zusammenfassende Darstellung im Biologischen Centralblatt, Bd. 35, 1915, S. 401—471, woselbst ich die einschlägige Literatur näher berücksichtigt habe und insbesondere auf die grundlegenden Hypothesen von KLEBS ausführlich eingegangen bin. Unter Hinweis auf jene Arbeit kann ich mich hier kurz fassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: 34

Autor(en)/Author(s): Nordhausen M.

Artikel/Article: Über die Saugkraft transpirierender Sprosse. 619-639