

58. M. Nordhausen: Die Saugkraftleistungen abgeschnittener, transpirierender Sprosse.

(Eine Entgegnung.)

(Eingegangen am 22. November 1919.)

Äußere Umstände hatten mich bisher daran gehindert, zu der im vorigen Sommer von RENNER¹⁾ an meinem Messungsverfahren²⁾ geübten Kritik Stellung zu nehmen. Ich möchte dies jetzt nachholen unter Beifügung einiger Ergänzungen, die etwa noch bestehende Mißverständnisse und Unklarheiten beseitigen sollen.

Die auf demselben Gebiet von RENNER ausgeführten Messungen mit ihren höchst unsicher und übertrieben erscheinenden Resultaten hatten mich seiner Zeit zur Ausarbeitung eines neuen Verfahrens veranlaßt, das tatsächlich erheblich niedrigere Saugwerte zutage förderte. RENNER beanstandet jetzt seinerseits meine Methode und billigt ihr höchstens zu, daß sie „auf eine kaum genauere Weise“ als die seine arbeite. Sehe ich davon ab, daß nach meinen neusten Versuchen, über die ich demnächst in anderem Zusammenhange zu berichten gedenke, der RENNERSchen Methode überhaupt jeder praktische Wert eines Messungs- oder Schätzungsverfahrens abzusprechen ist, so kann ich den Einwänden RENNERS gegen mein Verfahren in keinem Falle eine irgendwie erhebliche Bedeutung beimessen.

In meinen Versuchen deckten die abgeschnittenen Zweige ihren Wasserbedarf durch einen zylindrisch gestalteten, porösen Tonwiderstand hindurch, auf dem sie mit plastischem Ton gekittet waren. Der Wasserverbrauch, der in dem sich anschließenden Potetometer gemessen wurde, bildete im Verhältnis zu der entsprechenden Wirkung einer Wasserstrahlpumpe das Maß der Saugkraft. RENNER beanstandet nun zunächst, daß die Zweige gegenüber der Luftpumpe dadurch erheblich benachteiligt gewesen wären, daß letztere zwar den ganzen Widerstandsquerschnitt, erstere aber durch ungenaues Aufeinanderpassen des Holzteiles und durch

1) O. RENNER, Versuche zur Mechanik der Wasserversorgung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 36, 1918 p. 172.

2) M. NORDHAUSEN, Zur Kenntnis der Saugkraft und der Wasserversorgung transpirierender Sprosse. Jahrb. f. wiss. Bot. 58, 1917 p. 295. — Hier findet sich auch die wichtigere Literatur zusammengestellt.

Ausfall des ja nicht leitenden Markes nur einen Bruchteil desselben zur Verfügung gehabt hätten. Wohl hatte ich im wesentlichen diesen Gesichtspunkten durch die Versuchsanstellung und Wahl der Objekte stillschweigend Rechnung getragen, nur glaubte ich die Folgen vernachlässigen zu können. Daß ich tatsächlich hierbei im Recht war, werde ich sofort durch Zahlenangaben beweisen¹⁾.

Die Versuchszweige waren stets, wie ich besonders betonen möchte, an ihrem unteren Ende geringelt. Wenn ich den Durchmesser ihres Holzzylinders als nur „gut“ übereinstimmend mit dem der Widerstände bezeichnete (N. p. 300) — soweit kleinere Unterschiede vorkamen, waren die Holzzylinder allerdings eher eine Spur kleiner als größer, um die äußeren Jahresringe voll ausnutzen zu können — so sollte damit nur zum Ausdruck kommen, daß eine absolute Deckung beider, wie sie in der beigegebenen Figur 1 auch dargestellt wird, sich praktisch ohne störende Eingriffe nie ganz verwirklichen läßt. Tatsächlich betrug die Differenz, wie ich auch an inzwischen erneut ausgeführten Versuchen bestätigt fand, bei einem Gesamtdurchmesser von 6 mm nicht mehr als etwa 1 bis 2 fünfteil Millimeter. Was das Mark anbelangt, so wurden Zweige mit grösserem Markdurchmesser wie die von *Sambucus*, *Fracinus* u. a. stets absichtlich gemieden. Im übrigen ergaben nachträgliche Messungen an gleichartigen Zweigen der von mir seinerzeit benutzten Pflanzen folgende Durchschnittswerte für den Markdurchmesser: *Chamaecyparis pisifera*: 0,2 mm; *Ligustrum Stantonii*: 0,3 mm; *Fagus sylvatica*: bei etwas von der Kreisform abweichendem Querschnitt im Mittel 0,9—1,0 mm; *Parrotia persica*: 1,25 mm; *Syringa vulgaris*: 1,5—1,7 mm. Wie letztgenannte Pflanze verhält sich auch

1) Ganz ungerechtfertigt ist es, wenn RENNER aus meinen Versuchen mit *Anthriscus*-Blättern, denen er eine von mir gar nicht beabsichtigte Bedeutung beilegt (vergl. den Titel meiner Arbeit), den Vorwurf ableitet, ich hätte allgemein die Querschnittsverschiedenheit der für die Wasserleitung in Frage kommenden Teile der Pflanze gegenüber der der Widerstände ungenügend berücksichtigt. Jene *Anthriscus*-Versuche waren Vorversuche, die ich ausschließlich im zeitigen Frühling als ersten Anfang meiner Arbeit und später nicht wieder ausgeführt habe, aber trotz ihrer von mir selbst erwähnten Mängel anhangsweise mitteilte, weil sie in Bezug auf die untere Grenze der Saugkraft ganz beachtenswerte Resultate aufwiesen. RENNERS Kritik wiederholt dabei nur in schärferer Form meine eigene, wobei von der falschen Voraussetzung ausgegangen wird, daß für den Blattstiel allein die Gefäßbündelquerschnitte in Frage gekommen wären, während tatsächlich die vorher isolierten Bündelenden, wie ich hier ergänzend hervorheben möchte, meist mehr oder minder flach der Stirnfläche des Widerstandes angepreßt waren und einen erheblichen Teil derselben gleichförmig bedeckten; was natürlich einen wesentlichen Unterschied bedeutet.

Chrysanthemum indicum, soweit mastig gezogene Individuen vermieden werden, wie ich dies bei den wenigen von mir mit dieser Pflanze durchgeführten Versuchen stets getan habe.

Welche praktische Bedeutung allen diesen Abweichungen zukommt, können wir leicht an einem Zahlenbeispiel verfolgen, das mit einem Durchmesserunterschied von $\frac{2}{5}$ mm und einem Markzylinder von 2 mm, selbst die ungünstigste Kombination der oben aufgezählten Abweichungen noch übertrifft. Wie leicht zu berechnen ist, bleibt alsdann die Querschnittsfläche des saugenden Holzteiles mit genau 24 % hinter der des vollen Widerstandes, die der Luftpumpe zur Verfügung steht, zurück. Um den gleichen Prozentsatz würde die Blattsaugung gegenüber der Pumpensaugung benachteiligt sein und in der Berechnung der Saugkraft zu klein ausfallen, wenn beim Transpirationsversuch der Widerstand nur mit jenem vermindertem Querschnitt in seiner vollen Länge hätte ausgenutzt werden können. Das ist aber natürlich nicht der Fall. Da der filtrierende Wasserstrom sich gleichmäßig im Widerstand auszubreiten bestrebt war, so wurde jener größtenteils in seinem vollen Querschnitt durchflossen und nur an seinem oberen, der Pflanze benachbarten Ende fielen einige Teile aus, etwa als ob er dort „kegelförmig“ verjüngt gewesen wäre. Nehmen wir an, daß die Ausbreitung des Wasserstromes bzw. die „Verjüngung“ des Widerstandes sich nur sehr allmählich vollziehen kann, so belehrt uns die Skizze eines Längsschnittes, daß diese Bedingung schon erfüllt ist, wenn die Höhe des „abgestumpften Kegels“ mit etwa 1 cm in Ansatz gebracht wird. In diesem oberen, 1 cm langen Endstück konzentriert sich somit gewissermaßen der ganze Unterschied. Käme dieses Endstück allein zur Verwendung, d. h. wäre der Tonwiderstand nur 1 cm lang, dann würde der Filtrationswiderstand des „Kegels“ (Zweigsaugung) um $\frac{24}{2} = 12\%$ größer sein als der der vollen Zylinderform (Luftpumpe). — Wir denken uns den abgestumpften Kegel ersetzt durch einen gleich hohen Zylinder mit einem Querschnitt, der dem arithmetischen Mittel aus den beiden Grundflächen des Kegels entspricht — Nun hatten aber die von mir benutzten Tonwiderstände meist eine Länge von 3 und 6 cm, somit verringert sich die angegebene Differenz weiterhin auf $\frac{1}{3}$ bzw. $\frac{1}{6}$ von 12 %, d. h. selbst unter ganz ungünstigen Verhältnissen bedingen die von RENNER gerügten Querschnittsverhältnisse nur eine Verkleinerung des Saugwertes um höchstens 4 bzw. 2 %, sind also mit vollem Recht zu vernachlässigen, in der Mehrzahl der praktisch in Frage kommenden Fälle sogar zahlenmäßig überhaupt nicht zu erfassen.

Ein weiterer Einwand RENNERS richtet sich gegen die Verwendung des plastischen Tones, der Sproß und Widerstand in äußerst dünner Schicht verkittete und direkt oder indirekt durch Verstopfung der wasserleitenden Holzelemente den Widerstand zu ungunsten der Zweigsaugung ungebührlich vergrößert haben soll. Prinzipielle Bedeutung hat dieser Einwand von vornherein nicht, denn wie auch RENNER in allerdings unklarer, ja direkt mißverständlicher Weise erwähnt, habe ich in dieser Richtung mit *Chamaecyparis* mit Hilfe der Luftpumpe direkte Vergleichsmessungen vorgenommen und kritisch besprochen; sie ergaben ganz geringfügige Differenzen, die meist hätten vernachlässigt werden können, vielfach aber doch in Rechnung gestellt wurden (N. p. 305). Weshalb diese Versuche zum mindesten für *Chamaecyparis* nicht beweisend sein sollen, wird gar nicht zu begründen versucht. Tatsächlich scheint es RENNER vor allem auf den Hinweis anzukommen, daß meine übrigen Objekte als Dikotylen mit ihrem anders gebauten Holzkörper nicht mit einer Conifere verglichen werden können. Ich will die theoretische Berechtigung dieses Einwurfs nicht ganz bestreiten, obwohl ich seinerzeit ein anderes Verhalten nicht glaubte voraussetzen zu brauchen, da erfahrungsgemäß die Gefäße der jüngeren Zweige, auf die es hier allein ankommt, nur ein kleines Lumen besitzen. Die Richtigkeit meiner Annahme will ich aber jetzt nachträglich beweisen.

Genau wie mit *Chamaecyparis* habe ich neuerdings Vergleichsversuche mit *Fagus sylvatica* angestellt, d. h. ich habe die Pumpe einmal direkt am Widerstande, das andere Mal unter Zwischenschaltung eines entlüfteten¹⁾ Buchenholzzyllinders, der hier wie dort aus einem der üblichen, sonst verwerteten Zweige durch Ent-rindung gewonnen und mit Ton auf den Widerstand in der gewohnten Weise gekittet war, saugen lassen. Diese Versuche, die gleichzeitig neben dem Widerstand der Tonschicht und etwaiger Verstopfungen der Leitelemente auch die üblichen Abweichungen der Querschnitte und im wesentlichen auch den Markzylinder mit berücksichtigen — für die Saugwirkung der Luftpumpe ist das Markgewebe mit seinen kleinen Interzellularen und deren physikalischen Eigenschaften wohl so gut wie undurchlässig — ergaben mit einem Tonwiderstand von 5 cm Länge eine Differenz, die im

1) Wie eine solche Entlüftung durchzuführen ist, habe ich in der ersten meiner beiden Arbeiten (p 625), auf die verschiedentlich mit Nachdruck in der zweiten verwiesen wurde, gezeigt. Eine abgekürzte Ausdrucksweise, wie ich sie gelegentlich anwandte, hätte meines Erachtens eigentlich kaum mißverstanden werden können (vergl. R. p. 174).

ungünstigsten Falle ca. 10% erreichte, im wesentlichen aber nur 4% betrug, also ziemlich ähnlich wie früher, bezogen auf die gleiche Länge des Widerstandes eine Kleinigkeit größer, ausfiel als dort und dementsprechend behandelt werden konnte¹). Es besteht kein Zweifel, daß die anderen Versuchsobjekte sich bei entsprechender Prüfung ähnlich verhalten hätten. Eine vergleichende Messung des mittleren Durchmessers ihrer im Frühjahrsholz vorkommenden, also größeren Gefäße, ergab bei allen von mir seinerzeit benutzten, obengenannten Pflanzen, abgesehen von *Syringa*, stets durchschnittlich kleinere Werte als bei *Fagus*. Nur bei *Syringa* waren die ausgesucht größten Gefäße um wenige Prozente größer als die ihnen entsprechenden der Buche. Bemerkenswert ist, daß bei *Parottia* die Querschnittsfläche der Gefäßlumina sogar hinter der der Frühjahrstracheiden von *Chamaecyparis* zurückbleiben (diese Vergleichsform wurde gewählt mit Rücksicht darauf, daß die Tracheiden rechteckige, die Gefäße runde bis ovale Querschnitte aufwiesen²).

Auch aus theoretischen Erwägungen erweist sich die von RENNER befürchtete Verstopfungsgefahr als gar nicht groß. Daß bei meiner Versuchsanstellung die Tonteilchen als solche in nennenswerter Menge in die Gefäße eindringen und dort Verstopfungen hervorrufen, ist höchst unwahrscheinlich. Gerade infolge der weichen Konsistenz der Tonmasse einer- und der Wasserfüllung der Gefäße andererseits konnte sich bei dem kurzen Augenblick des Zusammendrückens von Sproßachse und Widerstand der Kitt höchstens vielleicht ein wenig in die äußersten Mündungen der Gefäße hineinwölben. Im übrigen ist die Fähigkeit des Zusammenhaftens der einzelnen Tonpartikelchen eine überraschend große. Überschichtet man in einem Glasgefäß Ton der beschriebenen Art mit Wasser, so bleibt dieses selbst bei stärkerer Bewegung immer noch klar; es bedarf schon eines energischeren Durcharbeitens, um eine Trübung d. h. ein Ablösen der Tonteilchen

1) Vermutlich wäre wohl der Unterschied auch noch geringer ausgefallen, wenn ich nicht die Entlüftung des Holzzylinders durch Abkürzung des Verfahrens, etwas weniger gründlich ausgeführt hätte.

2) Im Durchschnitt aus zahlreichen Messungen ergaben sich für den mittleren Durchmesser der Frühjahrsgefäße (arithmetisches Mittel aus dem größten und den kleinsten Durchmesser eines Gefäßes) folgende Zahlenwerte, wobei bei auffälligeren Größenunterschieden die ausgesucht größten Gefäße noch gesondert für sich berücksichtigt wurden: (1 r = knapp 4 μ) *Fagus*: 8,1 r (größte Gefäße: 9,1 r); *Syringa*: 7,9 r (größte Gefäße 10,7 r); *Ligustrum*: 7,6 r; *Chrysanthemum*: 7,9 r; *Parottia*: 5,8 r. Die Querschnittsflächen der Gefäßlumina von *Parottia*: 25 \square r, die der Tracheiden von *Chamaecyparis*: 27 \square r.

hervorzurufen. Letztere bilden aber auch aus gleichem Grunde viel zu sperrige Flöckchen, als daß sie in den wasserleitenden Zellen der beschriebenen Größe fortbewegt werden könnten.

Daß ferner Luftblasen während der Zusammenstellung der Versuche von der Schnittfläche aus in die Gefäße gelangt sein könnten, ist ausgeschlossen. Die Schnittflächen waren stets mit Wasser benetzt und aufs peinlichste war darauf geachtet worden, daß im Moment des Eindringens in den plastischen Ton immer ein größerer Wassertropfen daran hing. Auch der Einwurf, daß vielleicht zufällig von vornherein Luftblasen gerade in der Nähe der Schnittfläche sich in den Gefäßen befunden und diese somit verstopft hätten, ist vollständig hinfällig. Das Abschneiden der Versuchsweige vom Baum geschah bei den Laubhölzern stets unter Wasser; etwa dort befindliche Luftblasen hätten daher im Gegenteil durch das jetzt heftig hineinstürzende Wasser fortgeführt werden müssen. Dort war also das Gefäßlumen wohl sicher luftfrei. Ebenso willkürlich ist die Annahme des Eindringens von Gas „keimen“ in die Gefäße zusammen mit den Tonteilchen, was ich für letztere ja schon bestritten hatte. Wären solche überhaupt in der Kittmasse in störender Weise vorhanden gewesen, so hätten doch gerade in ihr zu allererst Unterbrechungen der Wassersäulchen entstehen müssen. Der ganze Versuch wäre fast von Anfang an unmöglich gewesen. Aber selbst nur Störungen waren trotz ihrer charakteristischen Begleiterscheinung (N. p. 317) nicht zu bemerken. Übrigens hätten sich solche auch bei den vorhin erwähnten Vergleichsversuchen an *Chamaecyparis*- und *Fagus*-Holzstücken mit einer sehr gut wirkenden Wasserstrahlpumpe in den gefundenen Zahlen schon deutlich widerspiegeln müssen¹⁾.

Zusammenfassend glaube ich mit vollem Recht nach wie vor eine wesentlich andere Meinung über die Genauigkeit meiner Versuche als RENNER vertreten zu können und ihnen den Wert von brauchbaren, wenn auch vielleicht nicht allzu genauen Messungen beilegen zu dürfen. Selbstverständlich bin ich mir wohl bewußt, daß die Genauigkeit der Saugmessungen nur eine relative sein kann und, da gewisse unsichere Momente dauernd mit hineinspielen, bis zu einem gewissen Grade den Charakter von Schätzungen behalten. Hierzu rechnet z. B. der Umstand, daß die Größe der von mir zwar im allgemeinen Durchschnitt berücksichtigten Fehler

1) Die Pumpenleistung betrug 72 cm Hg (*Chamaecyparis*) bzw. 68 cm Hg (*Fagus*), wobei z. B. im ersten Falle ein Vakuum von nur 15 mm Hg festgestellt wurde.

im speziellen Versuch nicht genau feststeht, vor allem aber auch und hierin scheint RENNER mit mir übereinzustimmen, daß bei unseren beiden Methoden die Berechnung mittelst Extrapolation erfolgt und damit eine strenge Proportionalität zwischen Filtrationsgeschwindigkeit und Saugkraft auch da voraussetzt, wo sie der Kontrolle entzogen ist. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß in diesem Punkt für meine Versuche die Verhältnisse in Anbetracht der viel besser geklärten Eigenschaften der Tonwiderstände und der relativ geringen Größe der von mir gefundenen Saugwerte ungleich günstiger liegen als für die RENNERS.

Einschränkungen solcher Art konnten und durften mich aber schon allein mit Hinsicht auf eine leichtere Nachkontrolle nicht davon abhalten, mindestens für den Anfang alle irgendwie erheblichen und zahlenmäßig zu erfassenden Faktoren mit zu berücksichtigen, auch wenn sie sich für die Zukunft praktisch als nicht so wesentlich herausstellen sollten. Unverständlich ist es mir daher, wenn RENNER hieran Anstoß nimmt und mir, was von einem Physiologen eigentlich am letzten erwartet werden sollte, die Messung und Verwertung der Temperatur, zum besonderen Vorwurf macht, während er selbst in seiner Hauptarbeit vielfach die „grogen Schätzungen“ der Saugwerte von mehreren Atmosphären bis auf den Zentimeter Quecksilber genau ausrechnet!

Über die Verwendbarkeit meiner Methode zu Messungen der Saugleistung transpirierender Freilandhölzer werde ich demnächst berichten, wo auch noch auf die Wasserversorgungsfrage zurückzukommen sein wird. Hier kam unter anderem auch ein Verfahren zur Anwendung, in dem eine direkte Verletzung der Wasserleitbahnen vermieden wurde. Gefunden wurden an ähnlichen Objekten wie früher unter z. T. sehr günstigen Transpirationsbedingungen Saugwerte bis zu ungefähr 4 Atmosphären.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1919

Band/Volume: [37](#)

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

Artikel/Article: [Die Saugkraftleistung abgeschnittener, transpirierender Sprosse. 443-449](#)