

dings wichtige Sache liegt in der Erstellung geschlechtsreifer Individuen, doch ist hier gerade durch KLEBS viel vorgearbeitet worden.

Noch seien einige empfehlenswerte Arten angegeben. Kleine dünnfädige Arten scheiden von vorneherein aus. Bemerkenswert wären: *Oedogonium cardiacum*, *capillare*, *rivulare*, *Boseii*, *Landsboroughi*, *crassum*, *grande*, *punctulato-striatum*, *Braunii*, *Cleveanum*, *Hystrix*, *Willeanum*, *concatenatum*, *maerandrum*, *longatum*, *aerosporum*, *cyathigerum*, *pluviale*.

Prag, Ende Februar 1918.

19. O. Renner: Versuche zur Mechanik der Wasserversorgung.¹⁾

(Eingegangen am 25. März 1918.)

3. Zur Methodik der Messung der Saugkraft.

Eben ist eine Arbeit von NORDHAUSEN¹⁾ erschienen, in der gegen das von mir²⁾ angewendete Verfahren der Saugkraftmessung Einspruch erhoben wird. NORDHAUSEN analysiert die Protokolle einiger besonders ungünstig und undurchsichtig ausgefallenen Versuche und glaubt auch die Schlüsse, die ich aus den klareren Experimenten gezogen habe, in Bausch und Bogen ablehnen zu dürfen.

Bei dem Versuch 364 (S. 219) ist ausdrücklich hervorgehoben, daß der Wert der reinen Pumpensaugung willkürlich zu hoch angesetzt ist; späterhin habe ich bei ähnlich verlaufenen Versuchen auf die Schätzung der Saugkraft ganz verzichtet. Die „negativen Vorzeichen“ der Pumpensaugung kommen selbstverständlich dadurch zustande, daß die Saugung des Stumpfes rasch abnimmt und die Saugwirkung der Pumpe sehr gering ist; gelegentlich werden auch Ablesefehler mit im Spiele sein, die um so mehr ins Gewicht fallen, je langsamer die Bewegung des Meniskus in der Kapillare ist. Der Versuch 331 (S. 222) hatte einen ganz anderen Verlauf, als NORDHAUSEN

1) NORDHAUSEN, Zur Kenntnis der Saugkraft und der Wasserversorgung transpirierender Sprosse. Jahrb. f. wiss. Bot. 1917, Bd. 58, S. 295. — Ueber gewisse Einzelheiten der Versuchsanstellung vgl. NORDHAUSEN, Ueber die Saugkraft transpirierender Sprosse. Diese Berichte, 1916, S. 619.

2) RENNER, Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Wasserbewegung. Flora 1911, Bd. 103, S. 171.

ihn nach dem nur auszugsweise mitgeteilten Protokoll sich vorstellt; der negative Wert der reinen Pumpensaugung, mit dem NORDHAUSEN sich so eingehend beschäftigt, war in Wirklichkeit gar nicht vorhanden, weil zwischen den zwei betreffenden Werten (ohne Pumpe 1,7 mm, mit Pumpe 1,5 mm) ein Zeitraum von 10' liegt. Das fragliche Stück des Protokolls heißt: ohne Pumpe (8^h 42'—8^h 45') 1,7, 1,8, 1,7 mm in je 1'; mit Pumpe (8^h 46'—8^h 56') 2, 1,8, 1,7, 1,5, 1,8, 1,8, 1,5, 1,5, 1,4, 1,4; ohne Pumpe (8^h 57'—9^h) 1,1, 1,2, 1,2. Im übrigen erscheint mir der Versuch aus verschiedenen Gründen noch heute so undurchsichtig, daß ich es für aussichtslos halte, ihn eingehend zu analysieren. — Wie ich den Wert des Zahlenmaterials nicht bloß eines einzelnen Experimentes, sondern der ganzen Versuchsreihe beurteilt habe, geht aus dem Satz (S. 230) hervor: „Auf die absoluten Zahlen soll . . . gar kein Gewicht gelegt werden“.

Befremdend ist das Erstaunen NORDHAUSEN's darüber, daß ich in den Zweigen bewurzelter, voll turgeszenter Pflanzen bei regnerischem Wetter niedrigere Zugspannungen gefunden habe¹⁾ als in Objekten, die auf dem Potetometer künstlich zum Welken gebracht waren. Vollends unverständlich ist mir der Einwand, den er (S. 296) gegen meine Gewohnheit erhebt, die auf dem Potetometer stehenden Zweige durch Abschneiden in der Luft zu entgipfeln. Die Luft, die von der oberen Schnittfläche her notwendig in die Gefäße eindringen muß, wird von der Pumpe doch ebenso leicht, ja noch leichter ausgesogen als Wasser. Wenn NORDHAUSEN die Störung, die die Wasseraufnahme in einen beblätterten Zweig durch das Abschneiden in Luft erleidet, zur Begründung seines Bedenkens heranzieht, so halte ich es für überflüssig, auf den fundamentalen Unterschied näher einzugehen, der zwischen der wasseraufnehmenden und der bei Pumpensaugung den Wasseraustritt vermittelnden Schnittfläche in bezug auf die durch Lufteintritt entstehenden Veränderungen der Leitfähigkeit besteht. Mißlich bleibt das Anbringen einer Schnittfläche, wo vorher organischer Zusammenhang war, natürlich immer. Doch habe ich mich oft durch Beobachtung der Pumpensaugung nach Beseitigung der Klemme davon überzeugt, daß der durch die Schnittfläche vielleicht eingeführte Widerstand gegenüber dem durch Klemmen herbeigeführten sicher sehr gering ist. ■

NORDHAUSEN glaubt meine Methode dadurch verbessern zu können, daß er einen Tonwiderstand von bekannten, konstanten Eigenschaften vor den saugenden Zweig schaltet, statt durch Klemmen usw. den Widerstand in das Objekt hinein zu verlegen; Vergleichsmaß ist wie bei mir die Saugwirkung einer Wasserluftpumpe. Dabei übersieht er aber völlig das Moment des wirksamen Querschnitts des Objekts. Es wird doch niemand glauben, wie NORDHAUSEN stillschweigend annimmt, daß ein Zweig, der ja Mark besitzt, den ganzen Querschnitt der Tonsäule, auf die er aufgekittet ist, gleichmäßig für die Wasserförderung ausnützt. Ja, NORDHAUSEN erwartet sogar von den isolierten Gefäßbündeln des Blattstiels von *Anthriscus silvester* (S. 321), daß sie die ganze Stirnfläche des Wider-

1) Diese Berichte, 1912, S. 580.

standes beanspruchen, wie es die Pumpe tut, wenn sie über dem Tonzylinder ein Vakuum herstellt.¹⁾ Auch ob der als Kitt dienende zunächst fast schlagrahmartig weiche (1916 S. 621) Ton zu Beginn der Zweigsaugung in die weiteren Gefäße hinaufgetrieben wird und den Filtrationswiderstand der Leitbahnen erhöht, etwa durch Einführung von Gas-„Keimen“ störend wirkt, wird nicht erörtert. Die Schnittflächen bleiben (nach brieflicher Mitteilung) während der Montierung der Objekte am Stativ bis zum Einsetzen in die Kittmasse benetzt; wenn wirklich in allen Versuchen eine Luftverstopfung von dieser Seite ausgeschlossen worden ist, so wissen wir doch nicht, ob nicht von vornherein eine größere oder geringere Zahl von Gefäßen in der Nähe der Schnittfläche Luftblasen führte und somit nicht imstande war, eine Zugspannung auf den Widerstand zu übertragen. Die Erfahrung, daß ein durch Kochen luftfreigemachtes (!) auf den Tonzylinder aufgekittetes Stück Koniferenholz vom selben Querschnitt, wie ihn die Tonsäule hat²⁾, die durch die Pumpe herbeigeführte Filtration nicht wesentlich verringert, läßt keinen Schluß auf die Verhältnisse zu, die in den Versuchen vor allem mit Dikotylenzweigen und vollends mit Blattstielen verwirklicht sind. Um sein Verfahren für angenähert quantitative Bestimmungen brauchbar zu machen, wird NORDHAUSEN also nach der Messung der Blattsaugung die Pumpe an dem entgipfelten Stumpf saugen lassen müssen, genau wie ich. Wenn NORDHAUSEN trotz den hervorgehobenen Fehlern Saugkräfte von 1,5—9 Atmosphären berechnet, so zeigt er nur, und zwar auf eine kaum genauere Weise, als ich es getan habe, daß beim Welken mächtige negative Drucke vorkommen; die wirklichen Werte dürften in manchen Versuchen ein Mehrfaches der von ihm berechneten sein. Dabei glaubt er aber exakte Messungen vorzunehmen, die z. B. die peinliche Berücksichti-

1) Herr Prof. NORDHAUSEN hatte die Freundlichkeit, mir auf briefliche Anfrage mitzuteilen: „Die verwendeten Zweige hatten keinen Markkörper von irgendwie erheblicher Ausdehnung. Bei allen Zweigen wurde die Rinde durch Ringelung an der Schnittfläche entfernt.“ Weiter hebt er für die *Anthriscus*-Blätter hervor, „daß die pinselförmig isolierten Leitbündel beim Einpressen in den Tonbrei sich umbogen und meist \pm flach der Stirnfläche des Widerstandes anlegten“. Aber auch so kommt ganz vorzugsweise der Querschnitt der Leitbündel in Betracht. Die Verwendung von Blättern macht es übrigens wahrscheinlich, daß auch bei der Auswahl der Zweige auf die genaue Übereinstimmung zwischen Zweig- und Tonsäulen-Querschnitt nicht sehr sorgfältig geachtet wurde.

2) S. 305. Die Holzstücke entstammten (nach brieflicher Mitteilung) dünnen, entrindeten Zweigen von *Chamaecyparis*, wie sie sonst zu den Versuchen benutzt wurden.

gung der Temperatur rechtfertigen, während er mir das Recht bestreitet, auch nur von groben Schätzungen (1912 S. 239) zu sprechen. Gerade die Behandlung der Zahlen wirft ein Licht darauf, wer sich der Unzulänglichkeit der eigenen Methode besser bewußt war, NORDHAUSEN oder ich.

Ein Zufall hat mir die Möglichkeit gegeben (Ende Januar 1918) einige neue Experimente zu machen. Wichtig ist vor allem, ob ein Zweig bei einem negativen Druck von wenigen Atmosphären schon nicht mehr so viel Wasser aufnehmen kann als er transpiriert, also sich nicht turgeszent zu erhalten vermag, wie NORDHAUSEN behauptet. Meine früher (diese Berichte 1912, S. 576) mitgeteilten und seitdem erweiterten Erfahrungen an bewurzelten Freilandpflanzen widersprechen dem entschieden. Von den Materialien, die NORDHAUSEN verwendet hat, stand mir nur *Chamaecyparis pisifera* zur Verfügung; die Zweige wurden bei frostfreiem, sonnigem Wetter im Garten in Luft abgeschnitten und rasch unter Wasser gekürzt. Die Mehrzahl der Versuche wurde mit Zweigen der Acanthacee *Cyrtanthera magnifica* angestellt, die im Palmenhaus des Nymphenburger Gartens in bestem Zustand vorhanden war; die Zweige wurden wie die von *Chamaecyparis* behandelt.

1. *Chamaecyparis*. Zwei Zweige, unten mit 4 mm dickem Holzkörper, vor dem Versuch fast einen Tag lang mit entrindetem Grund in Wasser stehend gehalten, wurden mit erneuerter Schnittfläche aufs Potetometer gesetzt. Der erste Zweig wurde zwischen dem Potetometer und einer ihn fest fassenden Stativklemme doppelt gekerbt, der Widerstand war aber so gering, daß die Luftpumpe (mit einer Saugkraft von etwa 0,9 Atm., wie auch weiterhin) durch den Stumpf mehr Wasser durchsog als die Blätter beansprucht hatten. Der zweite Zweig wurde auf dem Potetometer scharf geklemmt und unter und über der Klemme sehr tief gekerbt. Vor dem Klemmen und Kerben sog der Zweig 9 mm der Kapillare in 1', nach Einführung des Widerstandes 5 mm, nach 3^h 30' 11,5 mm. Jetzt (3^h 33' nachm.) wurde der verzweigte und beblätterte Teil abgeschnitten und an die obere Schnittfläche des 10 cm langen Stumpfes die Pumpe angesetzt. Saugung mit Pumpe in 10' (3^h 39'—49') 43,5 mm; ohne Pumpe in 10' (3^h 51'—4^h 1') 15,5 mm; mit Pumpe in 10' (4^h 2'—12') 43,4 mm; ohne Pumpe in 10' (4^h 13'—23') 16,3 mm; mit Pumpe in 10' (4^h 24'—34') 42,7 mm; ohne Pumpe in 10' (4^h 39'—49') 15,1 mm. (Nach Oeffnung der Klemme mit Pumpe in je 1', von 4^h 52' an, 10,8, 10,5, 10,7, 10,5 mm.) Saugung ohne Pumpe im Mittel 15,6 mm in 10', mit Pumpe 43,2 mm. Blattsaugung $11,5 - 1,6 = 9,9$ mm in 1'; reine Pumpensaugung $4,3 - 1,6 = 2,7$ mm in 1'; Verhältnis $9,9 : 2,7 = 3,67 : 1$. Saugkraft der Blätter $3,67 \cdot 0,9 = 3,3$ Atmosphären.¹⁾ — Der Gipfel wurde 10' nach dem Abschneiden

1) Aus dem Verhältnis der Pumpensaugungen durch den geklemmten und durch den ungeklemmten Stumpf auf die Größe des durch das Klemmen eingeführten Widerstandes zu schließen, ist hier wie in den anderen Versuchen aus verschiedenen Gründen nicht möglich.

ohne Darbietung von Wasser gewogen; er verlor 0,1 g in 15'. Die Wasseraufnahme in den Gipfel betrug in 15' mindestens 150 mm der Kapillare, oder, da $1 \text{ mm} = 0,00069 \text{ g}$ (durch Wägen von Quecksilber bestimmt), 0,1035 g. Der Zweig sog also trotz dem negativen Druck von etwa 2 Atmosphären so viel als er transpirierte.

2. *Cyrtanthera*. a) Blattloses, 33 cm langes Zweigstück ohne Gipfel. Saugt ohne Pumpe in 1' 0,5 mm. Mit Pumpe 40, 40, 40 mm in je 1' (um 5^h 20'). Nahe dem Grunde geklemmt, saugt mit Pumpe in 10' (5^h 30'—40') 29,7 mm. Oberstes Internodium, 10 cm lang, abgeschnitten; durch den 23 cm langen Rest saugt die Pumpe in 10' (5^h 45'—55') 28,6 mm. Neue Schnittfläche oben angebracht, nur wenige mm abgeschnitten; die Pumpe saugt in 10' (5^h 57' bis 6^h 7') 30,3 mm. Wieder ein Internodium, 7 cm lang, abgeschnitten, Rest 16 cm lang, Klemme 5 cm unter dem oberen Ende; die Pumpe saugt in 10' (6^h 9'—19') 31,5 mm. Die Länge des Zweigstücks hat also bei dem hohen Widerstand der Klemme, wie zu erwarten, kaum einen Einfluß auf die Filtrationsgeschwindigkeit.

b) Zweig mit beblättertem Gipfel saugt mit erneuerter Schnittfläche in 1' (zwischen 2^h 28' und 2^h 37') 30, dann 29, dann 28,5 mm; die Saugung hätte wohl noch weiter abgenommen. Einfach geklemmt; 2^h 41' : 20 mm; 2^h 51' : 22; 3^h 1' : 23,5; 3^h 11' : 23,5; 3^h 21' : 24; 3^h 31' : 24. Der turgeszente Gipfel abgeschnitten und in Wasser gestellt. Der Stumpf, 19,5 cm lang, in der Mitte geklemmt, saugt in 10' (3^h 34'—44') 30 mm; mit Pumpe in 10' (3^h 46'—56') 87,8 mm; ohne Pumpe in 10' (3^h 58'—4^h 8') 32,6 mm; mit Pumpe in 10' (4^h 10'—20') 88,8 mm. (Klemme abgenommen, die Pumpe saugt jetzt in je 1' 41, 43, 45, 46, 46, 46 mm.) Blattsaugung $24 - 3 = 21 \text{ mm}$ in 1'; reine Pumpensaugung $8,8 - 3 = 5,8 \text{ mm}$ in 1'. Saugkraft $3,6 \cdot 0,9 = 3,2 \text{ Atm.}$ — Der Gipfel verliert gleich nach dem Abschneiden 0,20 g in 15'. Saugung in 15' mindestens $15 \cdot 21 \text{ mm} = 315 \text{ mm} = 0,217 \text{ g}$. Der Zweig saugt also trotz dem negativen Druck von etwa 2 Atmosphären soviel als er transpiriert.

c) Zweig mit beblättertem Gipfel, saugt mit erneuerter Schnittfläche in 1' (von 2^h 55' an) 28,5, 27,5, 28 mm. Doppelt geklemmt, mit gekreuzten Klemmen: 14,5, 15, 16, 17, 17,5. Schärfer geklemmt; 3^h 6' : 13,5; 3^h 16' : 15; 3^h 36' : 16; 3^h 46' : 17; 3^h 56' : 16,5; 4^h 6' : 16,5. Gipfel abgeschnitten, zeigt noch kein Welken. Der Stumpf, 22,5 cm lang, saugt ohne Pumpe in 10' (4^h 10'—20') 36,3 mm; mit Pumpe (nur 63 cm Hg) in 10' (4^h 21'—31') 35,1 mm; ohne Pumpe in 8' (4^h 32'—40') 26,4 mm, auf 10' berechnet 33 mm. Das oberste Internodium, 3,5 cm lang, wird abgeschnitten; der gekürzte Stumpf saugt ohne Pumpe in 10' (4^h 41'—51') 26 mm; mit Pumpe (68 cm Hg) in 10' (4^h 52'—5^h 2') 36,4 mm; ohne Pumpe in 10' (5^h 3'—13') 27,9 mm; mit Pumpe in 10' (5^h 15'—25') 33,6 mm. (Klemmen abgenommen; jetzt saugt die Pumpe, von 5^h 26' an, in je 1' 34, 37, 41, 44, 46, 48, 48, 50, 52 mm.) Saugung nach dem Abschneiden des obersten Internodium im Mittel ohne Pumpe 2,7 mm in 1', mit Pumpe 3,5' mm. Blattsaugung $16,5 - 2,7 = 13,8 \text{ mm}$. Pumpensaugung $3,5 - 2,7 = 0,8 \text{ mm}$. Saugkraft $17 \cdot 0,9 = 15,3 \text{ Atmosphären}$.

d) Zweig mit Blättern saugt mit erneuerter Schnittfläche, von 3^h 32' an, 17, 16,5, 16,5 mm in 1'. 3^h 36' einfach geklemmt; nach mehrfachem Anziehen und Lockern der Klemme 3^h 48' : 6,5; 3^h 58' : 9,5; 4^h 18' : 11; 4^h 18' : 11,5; 4^h 28' : 11,5; 4^h 38' : 11,5; 4^h 45' : 11,5. Jetzt wird der Gipfel, der etwas welk scheint, abgeschnitten und ohne Darbietung von Wasser gewogen. Der Stumpf, 11,5 cm lang, saugt ohne Pumpe in 1' (zwischen 4^h 48' und 4^h 58') erst 2,8, dann 2,5 mm; mit Pumpe in 1' (zwischen 4^h 59'—5^h 9') erst 2,6,

dann 2,3 mm. Die obere Schnittfläche wird erneuert; Saugung ohne Pumpe in 10' (5^h 12'—22') 19,3 mm; mit Pumpe in 10' (5^h 23'—33') 21,6 mm; ohne Pumpe in 10' (5^h 35'—45') 19,7 mm; mit Pumpe in 10' (5^h 46'—56') 22,8 mm. (Klemme abgenommen; jetzt saugt die Pumpe in 1', von 5^h 57' an, 19, 23, 25, 25 mm.) Saugung nach Erneuerung der oberen Schnittfläche im Mittel ohne Pumpe 19,5, mit Pumpe 22,8 mm in 10': Blattsaugung $115 - 19,5 = 95,5$ mm in 10'. Pumpensaugung $22,8 - 19,5 = 3,3$ mm in 10'. Saugkraft $29 \cdot 0,9 = 26$ Atmosphären. — Der Gipfel verliert 0,1 g in 13'. Wasseraufnahme in 13' etwa $10 \cdot 13 = 130$ mm oder 0,09 g. Die Saugung ist also etwas geringer als die Transpiration, worauf ja schon aus dem Welken zu schließen war.

e) Zweig mit Blättern saugt bald nach dem Abschneiden, von 4^h 6' an, 35,5, 35,5, 35 mm in 1'; 4^h 16': 33 mm. Doppelt geklemmt, Klemmen mehrmals schärfer angezogen; 4^h 30': 17; 4^h 40': 17,5; 4^h 50': 18,5; 5^h : 19 (die jüngsten Blätter beginnen zu welken); 5^h 10': 19,5; 5^h 20': 19,5; 5^h 30': 19,5. Der Gipfel ist jetzt ziemlich welk, wird abgeschnitten. Der Stumpf, 21 cm lang, saugt mit Pumpe in 5' (5^h 36'—41') 20 mm; ohne Pumpe in 8' (5^h 42'—50') 28,1 mm; mit Pumpe in 10' (5^h 52'—6^h 2') 37,3 mm; ohne Pumpe in 10' (6^h 4'—14') 33,9 mm; mit Pumpe in 10' (6^h 15'—25') 36,2 mm; ohne Pumpe in 10' (6^h 26'—36') 33 mm; mit Pumpe in 10' (6^h 37'—47') 35,5 mm. (Klemmen abgenommen; die Pumpe saugt 24,5, 25,5, 25 mm in 1'.) Saugung in 10': mit Pumpe 40, 37,3, 36,2, 35,5, im Mittel 37 mm, ohne Pumpe 35,1, 33,9, 33, im Mittel 34 mm. Blattsaugung $18,5 - 3,4 = 15$ mm in 1'. Pumpensaugung $3,7 - 3,4 = 0,3$ mm in 1'. Saugkraft $50 \cdot 0,9 = 45$ Atmosphären.

E r g e b n i s. Bei einem negativen Druck von etwa 2 Atmosphären bleiben *Chamaecyparis* und *Cyrtanthera* turgeszent. Beim Welken scheint *Cyrtanthera* Saugkräfte bis über 40 Atmosphären zu entwickeln, vorausgesetzt, daß die Filtrationsgeschwindigkeit der Saugkraft immer proportional bleibt; daß die obere Schnittfläche der Pumpensaugung beträchtlichen Widerstand leistet, ist unwahrscheinlich, weil nach der Beseitigung der Klemmen die Pumpe aus dieser selben Schnittfläche ansehnliche Mengen Wasser auszusaugen vermag. Wenn die Imbibitionskräfte der Membranen weit über den osmotischen Druck des Zellsaftes hinaus mobil gemacht werden könnten, erschiene der angegebene Wert nicht unmöglich. Es ist aber aus verschiedenen Gründen denkbar, daß die Filtrationsgeschwindigkeit im Leitgewebe rascher zunimmt als die Druckdifferenz¹⁾, und deshalb ist es vielleicht nicht gestattet, von einer vorläufig unbekanntem Grenze an die Saugkraft der Blätter aus dem Verhältnis zwischen Blatt- und Pumpensaugung auch nur annähernd zu berechnen. Die Annahme, daß beim Welken Saugkräfte von 10 und noch mehr Atmosphären vorkommen, scheint mir aber noch immer nicht übertrieben.

Die Abhängigkeit, die im Leitgewebe unter den Versuchs-

1) JOST (Versuche über die Wasserleitung in der Pflanze, Zeitschr. f. Bot. 1916, Bd. 8, S. 25) hat bei Wurzeln beobachtet, daß „die Ausflußmenge bei starker Saugung relativ größer ist als bei schwacher.“ Meine eigenen Erfahrungen an Wurzeln stimmen damit überein.

bedingungen zwischen Druckdifferenz und Filtrationseffekt besteht, wird notwendig untersucht werden müssen. Aber für genauere Bestimmungen wird man am besten die Parenchymzellen in der Nähe der Leitbahnen als Manometer benützen, wofür URSPRUNG und BLUM kürzlich den Weg gewiesen haben¹⁾; bei sehr weit fortgeschrittenem Wasserverlust des Parenchyms wird freilich auch diese Methode versagen. Daß die Saugkraft einer Parenchymzelle alle Werte zwischen Null und der mit dem Welken zunehmenden Höhe des osmotischen Druckes des Zellsaftes annehmen kann, ist klar. Es kommt aber darauf an, ob die in nicht maximal turgeszten Parenchyman zweifellos vorhandenen Saugkräfte auf den Inhalt der Leitbahnen weithin fortgepflanzt werden oder nicht. Daß dies tatsächlich der Fall ist, habe ich schon früher nachgewiesen²⁾, und erst dieser Nachweis gestattet es auf Grund der von der Kohäsionstheorie erkannten Zusammenhänge die auf experimentellem Wege leicht faßbare Turgorsenkung als Indikator für den Druckzustand des Gefäßwassers auszuwerten.

4. Zur Energetik der Wasserversorgung.

An einer früher³⁾ versuchten Darstellung der energetischen Verhältnisse bei der Transpiration und Wasserbewegung ist eine Unklarheit zu beseitigen. Von der Verdampfungswärme des Wassers wird ein kleiner Teil, in der „äußeren Arbeit,“ dazu verwendet, den Dampf vom Sättigungsdruck bei der gegebenen Temperatur vollends auf die in der umgebenden Luft herrschende Dampfspannung auszu dehnen. Bei 20° ist der Druck des gesättigten Wasserdampfes über einer freien Wasserfläche 17,54 mm Hg, wenn das Wasser unter Atmosphärendruck steht; bei 80 % relativer Luftfeuchtigkeit und

1) Diese Berichte, 1916, Bd. 34, S. 525 u. S. 539.

2) Wenn URSPRUNG (1916, S. 528) schreibt: „RENNER's Bemühungen, die Saugkraft zu messen, ergaben tatsächlich nur Werte für den Filtrationswiderstand“, so übernimmt er damit die Pflicht, die Größe eines Filtrationswiderstands auf andrem Weg zu definieren als durch die Bestimmung der Kraft, die in dem gegebenen Objekt einen Filtrationsstrom von gegebener Geschwindigkeit erzeugt. — Im übrigen ist Herr URSPRUNG gegenüber der Kohäsionstheorie in seiner letzten Veröffentlichung mitten auf dem Weg nach Damaskus. Allerdings entsprechen seine Ergebnisse auch bis ins kleinste, bis zu dem Vorhandensein einer Turgorsenkung im Wurzelparenchym, den Forderungen der Kohäsionstheorie. Das muß wohl ausgesprochen werden, weil Herr URSPRUNG darüber schweigt, bedarf aber keiner weiteren Ausführung.

3) RENNER, Theoretisches und Experimentelles zur Kohäsionstheorie der Wasserbewegung. Jahrb. f. wiss. Bot. 1915, Bd. 56, S. 629 ff. — Für Kritik bin ich meinen früheren Institutsgenossen Herrn Dr. O. SCHÜEPP. und Herrn Dr. K. STERN zu Dank verpflichtet.

20° beträgt die Dampfspannung in der Luft 14,03 mm Hg. Bei der Ausdehnung von 1 Mol (18 g) Dampf von 17,54 auf 14,03 mm Hg

wird eine Wärmemenge von $1,985 T \cdot \ln \frac{17,54}{14,03}$ cal. verbraucht. Steht

nun das Wasser bei der Verdampfung unter einer Zugspannung von 100 Atmosphären, so ist sein Dampfdruck um 7 %, auf 16,28 mm Hg erniedrigt, der Dampf braucht also nur von 16,28 mm auf 14,03 mm Hg ausgedehnt zu werden. Es wird also gegenüber dem zuerst betrachteten Fall so viel Wärme erspart, als nötig wäre, um den Dampf von 17,54 auf 16,28 mm Hg auszudehnen. Diese

Ersparnis beträgt $1,985 T \cdot \ln \frac{17,54}{16,28}$ cal. für 1 Mol oder 2,42 cal.

für 1 g Wasser. Denselben Wert hat die Arbeit, die aufgewendet wird bei der Hebung von 1 g auf 1033 m Höhe oder bei der Bewegung von 1 g Wasser gegen einen Filtrationswiderstand von 100 Atmosphären. Wenn diese Ueberlegung das Richtige trifft, ist also die ersparte Ausdehnungsarbeit das Aequivalent für die Hebungsbarbeit, und bei der Verdampfung einer Gewichtseinheit Wasser wird gleich viel Wärme verbraucht, einerlei, ob das Wasser zugleich gehoben bzw. gegen Reibungswiderstände bewegt wird oder nicht.

Mit der Transpirationsleistung in der Zeiteinheit hat diese Beziehung zwischen Hebungs- und Ausdehnungsarbeit nichts zu tun. Die Verdunstungsgeschwindigkeit ist proportional der Differenz zwischen der Dampfspannung in der Pflanze und der in der Luft. Eine Zugspannung des Gefäßwassers von 100 Atmosphären bedeutet deshalb für die Transpirationsgröße etwas sehr Verschiedenes je nach der relativen Luftfeuchtigkeit. In einer Atmosphäre von 93 % Feuchtigkeit kann ein maximal turgeszentes Blatt auch im Dunkeln noch ausgiebig transpirieren; bei 20° beträgt die maßgebende Dampfdruckdifferenz ja $17,54 - 16,28 = 1,26$ mm Hg. Gerät aber das Gefäßwasser in Zugspannung von 100 Atmosphären, so sinkt der Dampfdruck in den Interzellularen auf 16,28 mm Hg, die Druckdifferenz zwischen Pflanze und Luft wird also aufgehoben, und die Transpiration steht still; an die Stelle des vorher betrachteten stationären Transpirationsvorganges ist ein (dynamisches) Gleichgewicht zwischen Pflanze und Luft getreten. Ein Energieumsatz findet jetzt überhaupt nicht mehr statt, weil die Potentialdifferenz zwischen Pflanze und Luft verschwunden ist. Je niedriger aber die Feuchtigkeit der umgebenden Luft ist, um so geringer ist die Herabsetzung der Transpirationsgröße durch eine gegebene Zugspannung des Gefäßwassers.

Ulm, im Februar 1918.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [36](#)

Autor(en)/Author(s): Renner Otto

Artikel/Article: [Versuche zur Mechanik der Wasserversorgung. 172-179](#)