Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Wasserbewegung.

Von **O. Renner.**

(Mit 2 Abbildungen im Text.)

Inhaltsübersicht.

Seite

Material und Methoden 173

Erster Abschnitt: Zur Regulation der Wasseraufnahme und der Wasserbewegung 176

I. Regulation der Wasseraufnahme bei plötzlich unterdrückter Transpiration 177

a) Bewurzelte Pflanzen 177

b) Abgeschnittene Pflanzenteile 180

1. Verhalten nach dem Abschneiden 180

2. Abgeschnittene, frische Objekte in Wasser versenkt 182

3. Frische Zweige ganz entblättert 183

4. Frische Zweige teilweise entblättert 184

5. Frische, gestielte Blätter der Spreite beraubt 184

6. Die Saugung welker Objekte bei der Darbietung von Wasser . 186

7. Die Saugung welker Objekte bei Unterdrückung der Transpiration 188

II. Regulation der Wasseraufnahme bei plötzlich einsetzender Transpiration 189

1. Die Saugung an der Schnittfläche 190

2. Fortpflanzung einer Saugwelle vom Ort der Wasserentnahme zur Schnittfläche 192

III. Regulation der Wasserbewegung in toten Objekten 194

Schlußbemerkungen zum ersten Abschnitt 196

Zweiter Abschnitt: Zur Kenntnis der Saugkraft transpirierender Blätter 197

I. Über die Veränderlichkeit der Saugkraft 197

a) Die Saugung bei Erniedrigung des Außendruckes 198

b) Die Bedeutung der Zweiglänge für die Saugung 201

1. Die Wirkung der Zweiglänge bei Pumpensaugung 202

2. Die Wirkung der Zweiglänge bei Blättersaugung 204

c) Die Bedeutung der Lage des Objektes für die Saugung 207

d) Steigerung des Widerstandes durch Klemmen 208

Lebende Objekte 209

Tote Objekte 210

e) Steigerung des Widerstandes durch Einkerbung 210

Lebende Zweige 211

Tote Zweige mit lebenden Blättern 212

Tote Blätter 212

f) Steigerung des Widerstandes durch Verstopfung der Schnittfläche . 214

Lebende Zweige 214

Tote Zweige mit lebenden Blättern 215

Seite
II. Über die absolute Größe der Saugkraft 215
1. Vergleichung der Saugkraft der Luftpumpe mit der Saugkraft der Blattflächen 218
2. Die Saugkraft geklemmter Objekte 219
Lebende Objekte 219
Tote Blätter 221
3. Die Saugkraft von Zweigen, deren Schnittfläche mit Paraffin verschlossen ist 221
Lebende Objekte 221
Tote Zweige mit lebenden Blättern 223
4. Die Saugkraft von Pflanzenteilen, deren Schnittfläche durch Schleim verstopft ist 223
5. Die Saugkraft von Zweigen, die das Wasser durch lebende Blätter aufnehmen 224
6. Die Saugkraft von doppelt eingekerbten Zweigen 225
Lebende Zweige 225
Tote Zweige mit lebenden Blättern 226
Zweige mit toten Blättern 226
Diskussion der Ergebnisse von II 226
III. Negative Spannungen in der Achse nach der Entfernung der Blätter . 232
1. Entblätterung von eingekerbten Zweigen 233
2. Entblätterung von Zweigen, deren Schnittfläche verstopft ist . . 233
Lebende Zweige und Stengel 233
Tote Zweige mit lebenden Blättern 234
3. Entblätterung von Zweigen, die durch die Blätter saugen . . . 235
Diskussion der Ergebnisse von III 235
IV. Die Saugkraft von Pflanzen, die in Wasser wurzeln 237
V. Saugkraft und osmotischer Druck 239
VI. Die Wassersättigung saugender Organe 240
Schluß 242
Zusammenfassung der Ergebnisse 243
Zitierte Literatur 246

Die Untersuchungen, die im folgenden mitgeteilt werden, hatten das Ziel für oder gegen die Hypothese, die den lebenden Zellen im Holz eine aktive Mitwirkung an der Wasserhebung zuschreibt, so weit wie möglich Evidenz zu bringen. Es war zu erwarten, daß über das Vorhandensein oder die Abwesenheit einer solchen Pumptätigkeit in den Leitbahnen durch Beobachtung der Regulationsvorgänge ein Urteil zu gewinnen sein würde. Das Ergebnis der Studien über diese Vorgänge fiel zu Ungunsten der vitalen Theorien aus; die meisten Erscheinungen sprachen viel eher für eine ausschließliche Saugwirkung der Blätter. Deshalb wurde nun versucht, die von den Blättern entwickelten und in den Leitbahnen fortgepflanzten Saugkräfte zu messen,

d. h. negative Spannungen nachzuweisen, wie die Kohäsionstheorie des Saftsteigens sie verlangt.

Die ersten Versuche über die Regulationserscheinungen in abgeschnittenen Pflanzenteilen wurden im Sommersemester 1907 im Botanischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt. Für die dauernde Förderung meiner Arbeit während dieser Zeit möchte ich Herrn Geheimrat Pfeffer meinen wärmsten Dank aussprechen. In den folgenden Jahren wurden die Untersuchungen mit vielfachen Unterbrechungen im Pflanzenphysiologischen Institut zu München fortgesetzt.

Material und Methoden.

Die weitaus überwiegende Zahl der Versuche wurde mit abgeschnittenen Pflanzenteilen ausgeführt, mit beblätterten Stengeln oder Zweigen oder mit großen Einzelblättern. Die Objekte wurden meistens in einen Teller mit Wasser niedergebogen und unter Wasser abgeschnitten. Ließ sich das nicht gut machen, so wurde die in Luft abgeschnittene Sproßachse rasch unter Wasser um einige Zentimeter gekürzt. Auch bei allen weiteren Manipulationen blieb die Schnittfläche dauernd mit Wasser in Berührung.

Zur Messung der Wasseraufnahme (sie ist im folgenden gewöhnlich als Saugung bezeichnet) wurde meistens ein nach allen Richtungen bequem zu handhabendes Potometer gebraucht, wie es Figur 1 darstellt. Das Gefäß, aus dem die luftdicht eingesetzte Pflanze Wasser entnimmt, ist ein ziemlich enges T-Stück, bei dessen geringem Volumen Temperaturschwankungen sich wenig fühlbar machen. An den horizontalen Arm des T-Stücks ist eine gegen 1 m lange Kapillare mit angeklebter Millimeterskala angesetzt. Der Querschnitt des Lumens beträgt ungefähr 1 qmm; unter einer Anzahl von Kapillarröhren ist immer die eine oder andere zu finden, deren Lumen auf lange Strecken ganz konstant ist, so daß lästige Korrekturen vermieden werden. Am abgekehrten Ende trägt die Kapillare einen Gummischlauch, der in ein kleines Gefäß mit Wasser (das Sauggefäß) taucht, und eine Klemme. Unten ist in das T-Stück ein Dreiwegehahn eingesetzt, der durch einen längeren Gummischlauch mit einem über dem T-Stück angebrachten, mit Wasser gefüllten Trichter in Verbindung steht. Um die Verbindung zwischen T-Stück und Trichter zu regeln, würde ein einfacher Hahn genügen, aber durch die dritte Öffnung, die den Hahn seitlich durchbohrt und im allgemeinen durch einen abgeklemmten Schlauch geschlossen ist, kann Luft ausgetrieben werden, wenn solche vom Trichter her in den Schlauch eingetreten ist.

Die Füllung des Potometers — es wurde immer destilliertes Wasser verwendet — und die Einführung der als Index dienenden Luftblase geschieht in folgender Weise: durch Saugen am T-Stück wird die Kapillare vom Sauggefäß her mit Wasser gefüllt, dann wird soviel Wasser abgelassen, bis vom T-Stück her in der Kapillare eine Luftsäule erscheint, und durch Abklemmen des Schlauches eine weitere Entleerung verhindert. Wird nun vom wassergefüllten Trichter her durch den Hahn das T-Stück bis zum Rand gefüllt, so ist die Luftblase zwischen Wasser eingeschlossen und kann als Index dienen. Nach dem Aufsetzen der Pflanze wird der Schlauch zwischen Kapillare und Sauggefäß geöffnet und durch Einschaltung des Trichters die Luftblase so weit als gewünscht zurückgeschoben, und ebenso jedesmal, wenn sie infolge der Saugung aus der Kapillare ins T-Stück treten will. Werden bei kräftiger Saugung längere Zeit keine Ab-

lesungen gemacht, so wird der Schlauch der Kapillare abgeklemmt und der Trichter geöffnet und damit der Index gestellt. Stößt die Pflanze Wasser aus, bewegt sich also der Index vom T-Stück weg, so läßt er sich durch Senken des geöffneten Trichters unter das Niveau des Sauggefäßes oder durch Saugen an dem sonst abgeklemmten Arm des Dreiwegehahns wieder zum T-Stück herholen.

Wenn zwischen die Kapillare und ihren Saugschlauch noch ein Dreiwegehahn eingefügt wird, wie die Figur 1 es zeigt, so ist es möglich, in die Saugbahn plötzlich einen Widerstand einzuschalten. An den abwärts gerichteten Arm des Hahnstückes kann z. B. eine weite mit Quecksilber gefüllte Röhre oder ein blattloses, in Wasser tauchendes Zweigstück angesetzt werden. Bei entsprechender Hahnstellung schöpft

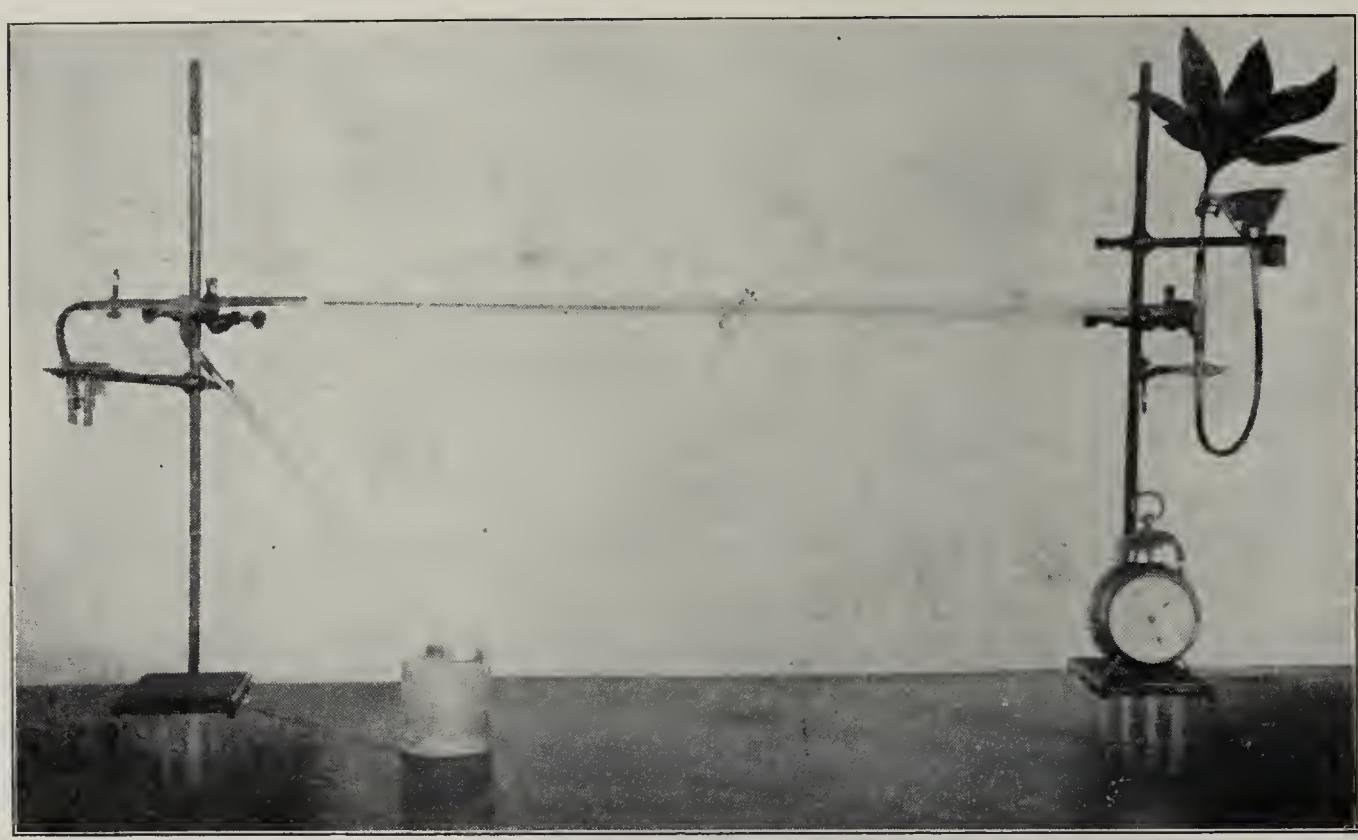

Fig. 1.

dann die Pflanze nicht mehr aus dem in bequemer Höhe liegenden Sauggefäß, sondern aus der unter Quecksilberzug stehenden Röhre oder durch den Zweig hindurch aus einem tiefer liegenden Sauggefäß.

Wenn die Klemme des Stativs den horizontalen Arm des -TStücks faßt, läßt sich dieses mitsamt der Pflanze neigen oder auch in inverse Lage bringen.

Die Eindichtung der Pflanzen ins T-Stück geschah mit Hilfe von Gummistrümpfen, kurzen Schlauchstücken, die auf die Stengel oder Blattstiele geschoben und dann mit der Pflanze unter Druckanwendung in das bis zum Rand gefüllte T-Stück eingeführt wurden. Auch die übrigen Verbindungen am Potometer führt man am besten in der Weise aus, daß man die enge Röhre in die weitere eindichtet. Soll die Pflanze gegen hohe äußere Widerstände saugen, z. B. Quecksilber heben, so ist es oft nötig, die Gummistrümpfe durch Bestreichen mit Pumpenfett besonders dicht zu machen. Bei der immer wechselnden Dicke der Objekte muß eine größere Zahl von verschieden weiten Strümpfen bereit sein. Durch Ineinanderschieben zweier Schlauchstücke lassen sich aus wenigen Schlauchsorten allerhand Kombinationen herstellen. Die Objekte können auch ihrerseits durch Abnehmen der Rinde an einen gegebenen Strumpf angepaßt werden. Das

Anprobieren der Gummistrümpfe geschah unter Wasser. Nach dem Ansetzen des Strumpfes wurde die Schnittfläche unter Wasser erneuert.

Zur gleichzeitigen Messung von Wasseraufnahme und Dampfabgabe wurde ein wägbares, aus T-Stück und langer Kapillare bestehendes Potometer ohne Sauggefäß verwendet. Die Regulation des Index wurde durch einen Glasstab besorgt, der in den unteren Arm des T-Stücks verschiebbar eingesetzt war. Die Weite des Lumens der Kapillare muß hierbei natürlich genau bekannt sein. Die Bestimmung geschah durch Wägung einer Quecksilbermenge, deren Länge in der Kapillare vorher gemessen worden war.

Als besonders günstiges Objekt hat sich der Flieder (Syringa vulgaris) erwiesen. Die Zweige bleiben lange frisch, weil aus der Schnittfläche keine verstopfenden schleimigen Stoffe austreten.

Im bewurzelten Zustand wurden nur Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus verwendet, die außer den beiden Primärblättern noch einige Folgeblätter entwickelt hatten. Die Pflanzen wurden in Knop'scher Nährlösung in großen Gefäßen angezogen, aber jedes einzelne Wurzelsystem entwickelte sich in einer 2 cm weiten, 15—30 cm langen, zylindrischen, in dem gemeinsamen Gefäß durch einen durchbohrten Pappedeckel festgehaltenen Röhre, die dann in folgender Weise als Potometergefäß benützt wurde: die Pflanze wurde — meist ohne Kotyledonen, deren Narben mit geschmolzenem Paraffin verschlossen — am Epikotyl in einen einfach durchbohrten, einseitig aufgeschnittenen Gummistopfen gefaßt und dieser gewaltsam in die Röhre eingepreßt; nur ausnahmsweise war es nötig, die Durchbohrung des Stopfens mit Plastolin auszukleiden, um dichten Verschluß zu erzielen. Die Röhre wurde nun umgekehrt, mit Wasser bzw. Nährlösung gefüllt und darauf ein zweiter Gummistopfen mit rechtwinkelig gebogener Kapillare und Skala aufgesetzt; das überschüssige Wasser wird durch die Kapillare nach außen gedrückt und füllt diese. Das fertige Potometer zeigt Figur 2. Durch weiteres Einschieben der Kapillare läßt sich später die infolge der Saugung vorrückende, als Index dienende Luftsäule zurückschieben. Von einer Messung der Wassertemperatur wurde abgesehen; das verwendete Wasser hatte Zimmertemperatur, und während der kurz dauernden Versuche änderte die Außentemperatur sich nicht.

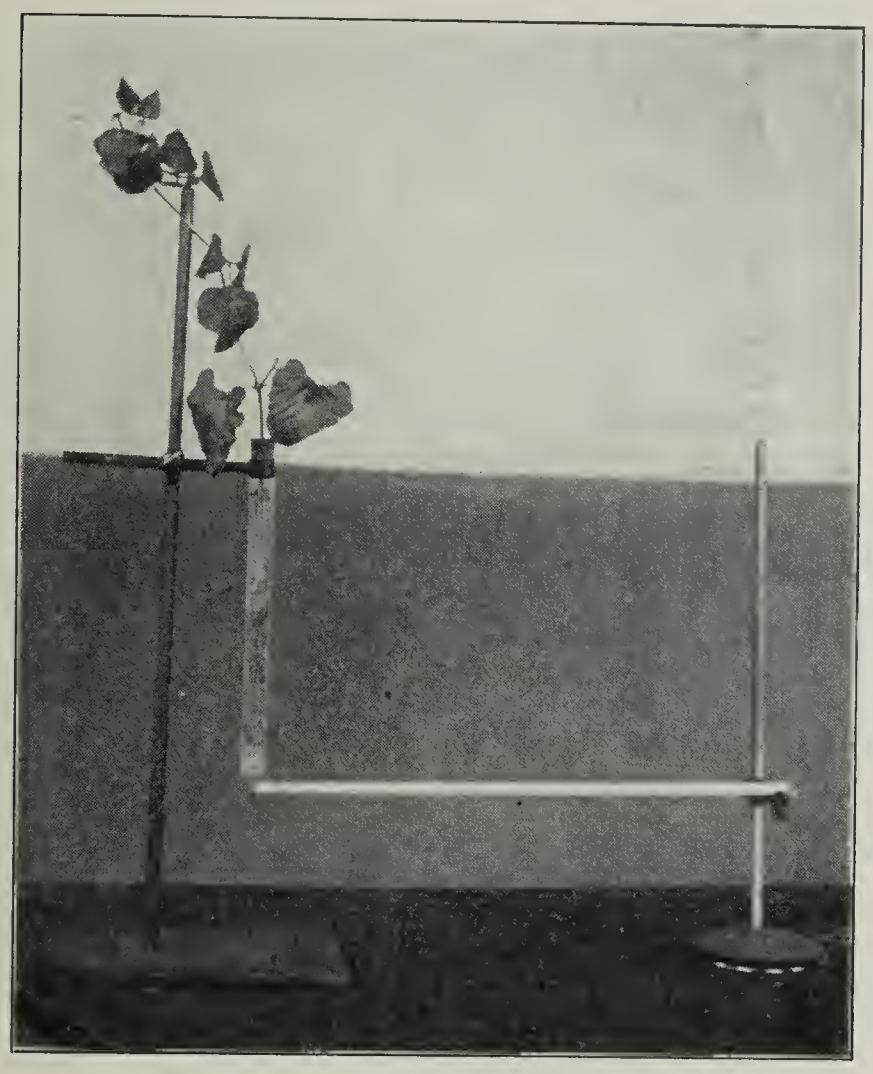

Fig. 2.

Erster Abschnitt.

Zur Regulation der Wasseraufnahme und der Wasserbewegung.

Wenn auch im großen und ganzen die Wasseraufnahme, genügende Wasserzufuhr vorausgesetzt, nach Maßgabe der Transpiration reguliert wird, so weisen doch die Erscheinungen des Wiederstraffwerdens nach dem Welken, des Blutens und des Guttierens darauf hin, daß die Wasseraufnahme von der Transpiration in weiten Grenzen unabhängig sein kann. Nicht so ohne weiteres läßt sich die Frage beantworten, wie bei einer normal turgeszenten und auch nicht zum Bluten oder zum Guttieren neigenden Pflanze die Wasseraufnahme beeinflußt wird, wenn die Transpirationsgröße sich verändert, d. h. wenn kräftige Transpiration plötzlich vermindert, oder wenn schwache Transpiration plötzlich gesteigert wird. Die Geschwindigkeit, mit der die Wasseraufnahme bis zum Gleichgewicht mit der Wasserabgabe reguliert wird, soll also im folgenden untersucht werden.

Ein bequemes Mittel, das kräftige Transpiration rasch auf ein gewisses konstant bleibendes Maß zu erniedrigen erlaubt, ist nicht ganz leicht zu finden. Dagegen macht es keine Schwierigkeit, die Transpiration ganz zu unterdrücken; es genügt, die Pflanze in Wasser zu tauchen oder ihr die transpirierenden Organe, vornehmlich die Blätter, zu nehmen. Die Einführung in einen dampfgesättigten Raum führt nicht mit Sicherheit zu dem gewünschten Erfolg, weil die Pflanze hier dauernd, allerdings schwach, zu transpirieren vermag, wenn sie ihre Temperatur etwas über der der Umgebung hält. Das geschieht im Licht durch Absorption der Strahlung, und im Dunkeln in sehr bescheidenem Maß immerhin noch durch Atmung. Wichtig ist dagegen die Methode der Überführung in den Dampfraum deshalb, weil an dem gedämpften, nur noch schwach transpirierenden und saugenden Objekt das Verhalten der Saugung bei plötzlich wieder einsetzender Transpiration studiert werden kann.

Die Versenkung der auf dem Potometer stehenden Pflanze in Wasser geschah immer in der Weise, daß das Objekt in inverser Lage, am umgedrehten Potometer, in ein untergestelltes, mit Wasser gefülltes Gefäß getaucht wurde. Als Dampfraum wurde oft in derselben Weise ein unter dem Potometer stehender mit nassem Fließpapier ausgeschlagener und mit Glas bedeckter Zylinder benützt; oder es wurde das aufrechte Potometer oder auch nur der Gipfel der Pflanze durch die Durchbohrung einer Glasplatte geführt, auf die eine mit nassem Papier ausgekleidete Glasglocke aufgesetzt wurde.

Bei der Mitteilung der Versuchsergebnisse bedeuten die Zahlen immer Millimeter der Skala, die in einer Minute gesaugt werden; das Minuszeichen vor einer Zahl bedeutet

Rückstoß des Index anstelle des gewöhnlichen Vorrückens. Sind die Zahlen der Millimeter durch kein Zeichen getrennt, so handelt es sich um die Saugung in aufeinander folgenden Minuten; Unterbrechungen in der Wiedergabe der Minutensaugung werden durch einen Strichpunkt (;) angezeigt; hinter der Millimeterzahl steht dann eine Zahl mit dem Minutenzeichen, die angibt, wieviel Minuten seit dem Beginn des Versuchs bzw. seit dem Eingriff, dessen Wirkung beobachtet wird, verstrichen sind. Auch bei fortlaufender Angabe der Minutensaugungen werden zur Erhöhung der Übersichtlichkeit in gewissen Intervallen die Minutenzahlen beigeschrieben.

Zur dauernden Orientierung des Verfassers selbst werden den Versuchen die Nummern beigegeben, die sie in den Protokollheften tragen.

I. Regulation der Wasseraufnahme bei plötzlich unterdrückter Transpiration.

a) Bewurzelte Pflanzen.

Keimpflanzen von Phaseolus in Nährlösung, im ganzen 50—80 cm lang, mit den beiden Primärblättern und einigen noch kleinen Folgeblättern. Zuerst wird die Saugung der in der Luft transpirierenden Pflanze am innersten Polometer eine Zeitlang beobachtet, dann wird der Sproß plötzlich in Wasser von Zimmertemperatur versenkt.

180. 1. Juni. In Luft: 3 3,5 3,3 3,3.
In Wasser: 3 3,2 2,7 2 3,5 3 2,3 2,7 2,2 2,3 (10′) 2,5 2,2 2 2 2,3 1,7 1,8 2,2 (18′); 10′ lang je 1,6; dann 1,5 bis 30′.

200. 17. Juni. In Luft: 8 8 7,5 8,5.
In Wasser: 7 7 7 6,5 6,5 6 5,5 5 5; 4 (20′); 2,3 (30′); 1 (1^h 30′) 0,9 (2^h 30′); 0,8 (3^h 30′).

201. 18. Juni. In Luft: 4,5 5 4,5.
In Wasser: 4,3 4,2 4 4 3,5 3,5 3 3,5 3 3 (10′) 3 2,8 2,7 2,8 2,7 2,5 2,5; 2 (20′); 2 (30′); 1,7 (40′); 1,4 (60′); 1,2 (1^h 15′).

Ergebnis: Die Saugung vermindert sich bei plötzlicher Unterdrückung der Transpiration sehr langsam, die Regulation der Wasseraufnahme beansprucht viel Zeit, trotzdem die Wasserversorgung so günstig wir nur möglich ist.

Ob an dem Nachsaugen unter Wasser vorzugsweise der Sproß oder die Wurzel beteiligt ist, läßt sich entscheiden durch Abschneiden des Sprosses. Der Wasserverlust durch Transpiration ist damit ebenso gründlich beseitigt wie beim Untertauchen.

Phaseolus-Pflanzen werden aufrecht auf dem Potometer in Luft beobachtet, dann der Sproß unter den Primärblättern abgeschnitten.

176. 30. Mai. Ganze Pflanze: 3,3 3,3 3,4 3,3 3,3 3,3 3,4.
Geköpft: — 2,5 — 0,3 + 0,1 0,4 0,6 0,7 0,7 0,7 0,8 0,7 0,8 0,7 0,6 0,7.

177. 31. Mai. Ganze Pflanze: 10 9,2 9 9,3 8,5 9 8,5.
Geköpft: — 1,9 — 0,1 — 0,2 + 0,4 0,2 0,8 0,9 0,8 1 1 (10′); 0,7 (30′); 0,6 (45′).

273. 29. Dez. Ganze Pflanze: 3 2,8 3 3 2,7 3 2,7 3 2,7 2,8 2,6 2,5.
Geköpft: 0,2 0,8 1 1,3 1,1.

319. 23. Nov. Ganze Pflanze: 2 2 2,5 2 2,5 2,2 2.
Geköpft: 0 — 0,1 — 0,1; 1 (35′) 1,5 1,5 1 1 0,5 0,5 1.

321. 24. Nov. Ganze Pflanze: 4,6 4,4 4,5 4,5 4,8 4,5.
Geköpft: — 0,2 ? 1 1,8 1,7 3 3 3 3 3.

322. 25. Nov. Ganze Pflanze: 3,4 3,3 3,3 3,3 3.
Geköpft: — 0,5 + 1 1,3; 1,5 (10′).

323. 6. Dez. Ganze Pflanze: 3 3 2,5 2,5.
Geköpft: — 0,7; + 0,7 (5′); 1,2 (10′); 1,2 (25′).

324. 7. Dez. Ganze Pflanze: 5,6 5,5 5,7.
Geköpft: in $^1/_4$′ — 1,5 mm; in $^1/_4$′ — 0,5; in $^1/_2$′ 0; in 1′ + 1,2; in 1′ + 1,6; in 5′ 9,4, Durchschnitt pro Minute 1,9; in 1′ 1,8; in 3′ 6, Durchschnitt pro Minute 2.
Oder: Geköpft um 4^h 36′; 4^h 36′ 36$^1/_4$′ 36$^1/_2$′ 37′ 38′ 39′; 44′ 45′
—1,5 — 0,5 0 + 1,2 1,6 1,8.

353. 23. Mai. Ganze Pflanze: 6 6,6 6,5 6,7.
Geköpft: — 0,8 ($^1/_4$′) 0 ($^1/_2$′) + 0,3 (1′) 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3. Blutet stark.

355. 24. Mai. Ganze Pflanze: 1,8 1,7 1,7.
Geköpft: — 1,3 + 0,3 0,4 0,3 0,3 0,3 0,6 0,7 0,7 0,7 0,7 0,7.

366. 28. Mai. Ganze Pflanze: in der hellen Sonne, Potometer mit Stanniol bedeckt: 11 10,5 11 11.
Geköpft: 1 1 1,5 3,4 3,6; 4. Blutet.

Ergebnis: Beim Köpfen verhält sich die Saugung ganz anders als beim Versenken in Wasser. In den ersten Minuten zeigt der Index fast immer einen Rückstoß an, zum mindesten ist die Saugung fast sistiert, und allmählich wird die Wasseraufnahme wieder größer, ohne jedoch jemals die Höhe wieder zu erreichen, die sie vor dem Köpfen besaß. Wenn wir von dem Rückstoß absehen, der uns später beschäftigen wird, hat das Köpfen ein augenblickliches tiefes Fallen der Saugung zur Folge, nicht ein langsames Abnehmen. Das lange Nachsaugen der unverletzten Pflanze unter Wasser dürfte also zur Hauptsache auf Rechnung des Sprosses zu setzen sein, weniger von der Tätigkeit des Wurzelsystems herrühren.

Bei den im Winter angestellten Versuchen war kein Bluten zu beobachten; kräftig bluteten im Mai die Pflanzen von 353 und 366. Wenn Blutungsdruck vorhanden ist, wird er natürlich das seinige dazu beitragen, die Regulation der Wasseraufnahme zu verlangsamen. Übrigens gestattet die Erscheinung des Rückstoßes beim Köpfen zunächst kein sicheres Urteil darüber, ob wirklich von Anfang an Blutungsdruck vorhanden ist oder ob dieser erst infolge des Köpfens geschaffen wird. Daß das während des Blutens aufgenommene Wasser der Menge

nach hinter dem von der unverletzten transpirierenden Pflanze aufgesaugten zurückbleibt, steht im Einklang mit den alten Beobachtungen über das Verhältnis zwischen Transpirationsverlust und Menge des Blutungssaftes.

Ob die Verwundung als solche imstande ist, die Wasseraufnahme zu vermindern, läßt sich durch schrittweise Entblätterung prüfen.

187. 10. Juni. Die unverletzte Pflanze saugt mit einem Primär- und vier Folgeblättern: 7,5 7,5 7,2 7 6,8 6,5 6 6,2 5,8 6 5,5.

a) Der 28 cm lange Gipfel mit einem kleinen Blatt wird abgeschnitten: 5 4,7 4,8 4,5.

b) Die beiden Primärblätter werden samt ihren Stielen abgeschnitten: 3,5 3,7 3,3 3,2 3,3.

c) Die drei letzten Blätter samt ihren Stielen abgeschnitten, nackter Sproßrest 40 cm lang: 0,5 1 1,5 1 1 0,9 0,8.

Ergebnis: Bei der Operation a findet trotz der Durchschneidung des Stengels eine geringfügige Verminderung der Saugung statt, entsprechend der Beseitigung eines kleinen Teils der transpirierenden Fläche; in der ersten Minute ist die Saugung noch etwas stärker als in den folgenden. Bei der Operation b ähnlich. Nach der Operation c ist in der ersten Minute die Saugung am geringsten, sie steigt dann wieder etwas an, ähnlich wie bei der einmaligen Köpfung. Die bedeutende Abnahme der Saugung rührt also wirklich von der Entfernung der transpirierenden Flächen, nicht von der Verwundung her.

Die Verminderung der Saugung bei teilweiser Entlaubung entspricht, wie schon Kohl (1886, pag. 47) beobachtet hat, nicht genau der Verminderung der transpirierenden Flächen. Wenn Kohl daraus schließt, daß die übrigbleibenden Blätter verhältnismäßig mehr transpirieren als vorher, so übersieht er dabei das Problem der Regulation. Wie überhaupt die ganze umfangreiche Kohl'sche Arbeit, in der die Transpiration durch Messung des aufgesogenen Wassers bestimmt wird, von der nicht nur unbewiesenen, sondern wirklich irrigen Voraussetzung ausgeht, daß die Wasseraufnahme sich immer augenblicklich mit der Wasserabgabe ins Gleichgewicht setzt. Die Unzulässigkeit der auch von anderen Autoren zur Messung der Transpiration verwendeten Methode hat auch Burgerstein (pag. 15, 20) nachdrücklich betont.

Der Erfolg der Operation c weist darauf hin, daß an der Verzögerung der Regulation, an dem Nachsaugen bei gehinderter Transpiration, die Sproßachse weniger beteiligt ist als die Blätter. Doch läßt sich das besser an wurzellosen Pflanzen studieren, wo die komplizierende Mitwirkung des wenigstens mitunter pumpenden Wurzelsystems wegfällt.

b) Abgeschnittene Pflanzenteile.

1. Verhalten nach dem Abschneiden.

Zunächst ist es nötig zu wissen, wie Wasseraufnahme und Transpiration an frisch abgeschnittenen Objekten, die für die Versuche bestimmt sind, sich verhalten. Die negativen Spannungen in den Gefäßen kräftig transpirierender Pflanzen bringen es mit sich, daß beim Abschneiden unter Wasser dieses mit zunächst großer, dann immer weiter verminderter Geschwindigkeit in die Gefäße hineinstürzt. Das erste Ansaugen muß natürlich die Transpiration weit übertreffen und ist nicht studiert worden. Aber noch lange Zeit nach dem Abschneiden nimmt die Saugung auf dem Potometer schrittweise ab, ohne daß die Objekte dabei Welkungserscheinungen zeigen müssen.

Beispiele. Zwischen dem Abschneiden unter Wasser und der ersten Ablesung am Potometer liegen wenige Minuten.

20. 18. Mai. Zweig von Syringa. Wetter regnerisch. 19 17 17 15 15 15 15; 11 (20′); 10 (30′); 10 (50′).

278. 11. Okt. Zweig von Syringa. 37 33 33 31 30 29 28 28 27 26 (10′); 22 (20′) 21 21 21,5 21.

282. 13. Okt. Zweig von Lycium barbarum. 70 68 67 64 63; 50 (10′) 50 50 50 50 50.

118. 23. Juli. Blatt von Paeonia officinalis. 50 47 43 43 40 39 39 39 38 36 38.

142. 5. August. Blatt von Catalpa bignonioides im Freien. 32 31 31 30 28 29 27 28 28 25.

138. 1. August. Blatt von Catalpa. 17,5 16,5 14,5 14 13 13 12 12,5 12,5 12 (10′) 12 11 12 11 11 11,5 11 11,5 11 11 (20′) 10 10 10 10 10,5 10,5 10 10 10 10 (30′).

356. 25. Mai. Zweig von Syringa. 67 63 56 56 52 50 49 48 45 42 (10′) 40 38 36 35 34 34 34 32 31.

Die Zahlen zeigen, daß gewöhnlich nach etwa 20′ die Saugung nicht mehr bedeutend abnimmt. Und dementsprechend wurden die Objekte im allgemeinen zu Versuchen erst verwendet, nachdem sie 20 bis 30′ oder auch länger, mitunter mehrere Stunden, in Wasser gestanden hatten. Das Konstantwerden der Saugung beweist freilich noch nicht mit Sicherheit, daß die Saugung der Transpiration genau entspricht. Andererseits muß fortschreitende Verminderung der Saugung nicht notwendig auf einem Überschuß der Wasseraufnahme gegenüber der Abgabe beruhen. Die Saugung nimmt natürlich auch ab, wenn infolge des Eindringens fester Partikelchen oder infolge des Austretens von Schleim usw. oder durch Bakterienentwicklung die Schnittfläche an Leistungsfähigkeit verliert. Ohne unmittelbare gleichzeitige Messung

des Gewichtsverlustes und der Wasseraufnahme läßt sich also der Zeitpunkt, in dem Saugung und Transpiration sich eben die Wage halten, nicht bestimmen. Im allgemeinen wird dieser Zustand auch nur den Durchgang zum Welken bedeuten. Eine allgemeine Regel für die Behandlung der abgeschnittenen Objekte kann es also nicht geben, besonders weil die Schnittflächen wohl bei derselben Pflanze verschieden ausfallen. Für die Versuche, wie sie unten mitgeteilt werden, genügte es zu wissen, daß die Saugung mehrere Minuten lang konstant blieb; bei den groben Änderungen, denen die Transpiration unterworfen wurde, war eine genaue Übereinstimmung zwischen Saugung und Transpiration nicht nötig.

Daß es selbst bei kräftiger Transpiration mitunter mehrere Stunden bedarf, bis die Wassersaugung einer abgeschnittenen Pflanze sich auf das Maß der Transpiration erniedrigt, hat z. B. Lloyd (1908, pag. 21) des öfteren beobachtet. Zur eigenen Orientierung wurden einige Versuche mit Zweigen und Einzelblättern gemacht, in denen entweder nur die Gewichtsveränderung der frisch abgeschnittenen, in Wasser stehenden Objekte durch geeignete Methoden der Wägung bestimmt oder am wägbaren Potometer Transpiration und Saugung zu gleicher Zeit gemessen wurde. Die Resultate sind natürlich sehr verschieden. In den ersten Minuten wird fast immer mehr gesaugt als transpiriert, aber das Gleichgewicht wird von Blättern mit saftigem Stiel viel rascher erreicht und auch überschritten als von holzigen Zweigen. Außerdem ist die Gewichtszunahme, wie verständlich, im allgemeinen bedeutender, wenn die Objekte bei warmem sonnigem, als wenn sie bei kühlem feuchtem Wetter abgeschnitten werden.

Am längsten dauerte der Ausgleich bei einem Syringa-Zweig, der bei kühlem Wetter nach ausgiebigem Regen geholt wurde. Versuch 209, 10. Juli. In der ersten Kolumne stehen die Zeiten der Ablesungen, in der zweiten, mit T bezeichnet, die in Milligramm ausgedrückten Transpirationsverluste in den betreffenden Intervallen, in der dritten, mit S bezeichnet, die gesaugten, in Milligramm umgerechneten Wassermengen.

	8h 53′	9.1	9.8	9.20	9.33	9,46	10.39	10.48	10.57.
T.		30	40	50	50	50	250	50	50
S.		146	119	119	142	113	383	68	68

	10.57	11.16	11.50	12.02	12.12	12.23
T.		100	150	50	50	50
S.		126	209	65	59	61

	12.44	2.47	2.57	4.21	4.32	4.46	5.49	6.16	6.29	6.44	6.57
T.		650	50	370	50	50	250	100	50	50	50
S.		650	54	400	50	63	265	113	51	56	51

Nächsten Morgen, helle Sonne auf den Vorhängen:

	8.18	8.21	8.24	8.29	8.34	8.38	8.43	8.46	8.54
T.	50	50	100	100	100	100	100	200	
S.	50	43	92	97	92	85	99	184	

Von 9 h a. m. bis nach 6 h p. m. ist also die Saugung stärker als die Transpiration, erst nach 9 Stunden stellt sich Gleichgewicht ein. Am nächsten Morgen, als die Transpiration viel kräftiger von statten geht als tags zuvor, ist die Abgabe etwas beträchtlicher als die Aufnahme; mit der Zeit muß das zum Welken führen.

2. Abgeschnittene frische Objekte in Wasser versenkt.

Wenn die Saugung ungefähr konstant war, wurde das Potometer umgedreht und die Pflanze eine Zeitlang in inverser Lage beobachtet. Eine Beeinflussung der Saugung durch die Lage ließ sich nie erkennen. Dann wurde die Pflanze rasch in Wasser untergetaucht. Das Lagenverhältnis zwischen dem Niveau des Wassers im Tauchgefäß und dem des Wassers im Sauggefäß übte keinen wahrnehmbaren Einfluß auf die Größe der Saugung aus. Auch wenn die Saugung unter Wasser schon sehr gering geworden war, änderte sie sich nicht, wenn das Sauggefäß mehrere Dezimeter über oder unter der Kapillare aufgestellt wurde. Im allgemeinen war das Niveau in den beiden Gefäßen ungefähr gleich hoch, doch wurde nicht besonders auf Abgleichung geachtet.

22. 21. Mai. Kleiner Zweig von Rhamnus imeretana. Kühl.
In Luft: 6,5 7 7.
In Wasser: 7 4 3 2,5 2,5 2 1,5 2; 1 (13′) 1 1 1 1.

23. 21. Mai. Zweig von Syringa. Kühl.
In Luft: 15 15 15.
In Wasser: 12 11 11 7 7 4,5 5 4,5 4; 3 (17′) 2,5 2,5 2 2 2 2 2.

8. 13. Mai. Syringa. Sonnig.
In Luft: 8 8 8 8,5 8,5.
In Paraffinöl: ? 5 4,5 4 3 3,5 3 2,5 1,2 2 (10′) 2,3 2 1,7 1,8 1,8 1,7 1,7 1,7 1,5 1,3 (20′) 1,2 1 1.

9. Wie vorher. In Luft: 19 19 19 18 18 16 17.
In wassergesättigtem Paraffinöl: 12 8 7 4,5 5 5 4 4 4 3 (10′) 3 2,5 3 2,5 3 2 2 2 2; 1 (30′).

112. 18. Juli. Zweig von Syringa, 35 cm lang. Trüb.
In Luft: 14 14 13,5 13,5 13,5.
In Wasser: 7 5 4,5 3,5 2,7; 2 (10′); 1 (15′).

147. 6. August. Zweig von Syringa, 30 cm lang. War im feuchten Raum gehalten, blieb nicht lange in trockener Luft.
In Luft: 24 26 25 25,5 26,5.
In Wasser: 20 14,5 9,5 7 5,5 4,5 3,5 3,3 2,7 2,5 (10′) 2 1,8 1,6 1,6 1,5 1,3 1,1 1,1 1 1 (20′) 1 1 1.

59. 12. Juni. Blatt von Rudbeckia laciniata. Stengel tags zuvor geholt. Sieht frisch aus.
In Luft: 11 10 9 9 8.

In Wasser: 6 5,5 5,5 4,3 3,7 3,3 3,2 2,5 2 2 (10′) 1,7 1,6 1 0,9 0,8 0,6.

68. 18. Juni. Blatt von Rudbeckia, stand über Nacht im feuchten Raum. Dann kurze Zeit in trockener Luft.
In Luft: 18 22 19 19 17.
In Wasser: 10 7 5,5 4 2,8 2,2 2 1,2 1 0,8 (10′) 0,7 0,7 0,6 0,5 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,3 (20′) 0,3 0,3 0,3 0,25 0,25 (25′).

144. 6. August. Großes Blatt von Catalpa bignonioides. Im warmen sonnigen Garten geholt, rasch aufs Potometer, bald in Wasser.
In Luft: 45 40.
In Wasser: 20 12 7 5 5 4 3,5 3 3 2,5 (10′) 2 2,5 1,5 1 1 1,5 1.

Ergebnis: Abgeschnittene Zweige und Blätter saugen in inverser Lage nicht mehr als in aufrechter. Sie saugen bei Versenkung in Wasser oder in Paraffinöl, also bei völliger Unterdrückung der Transpiration, noch beträchtliche Mengen Wasser auf, ähnlich wie bewurzelte Pflanzen. Diese langsame Verminderung der Saugung tritt unter allen Umständen ein, bei jedem Wetter und bei jedem Zustand der Pflanze.

Ob hierbei den Sproßachsen oder den Blättern die Hauptrolle zukommt, ist durch Abschneiden der Blätter zu entscheiden. Dieselbe Unterscheidung ist bei Blättern zwischen Stiel und Spreite zu treffen.

3. Frische Zweige ganz entblättert.

10. 12. Mai. Zweig von Syringa, 1 m lang, tags zuvor geholt, mit erneuerter Schnittfläche.
In Luft: 21 20 19 19 19 19 17 17.

Nun der 30 cm lange beblätterte Gipfel abgeschnitten, die Wunde rasch mit geschmolzener Kakaobutter verschlossen.

Geköpft: 3 3 4 3,5 3,5 3,5 3 3 2,5 2 (10′); 1,3 (20′) 1,4 1,3 1,7 1,3 1,3 1,2 1 1 1 1 1; 1 (40′); 1 (2^h).

15. 15. Mai. Syringa, 20 cm lang: 20 20 20 20. Blätter rasch einzeln abgeschnitten, die Wunden mit Kakaobutter verschlossen: 1 1 0,5 0,7; weiter in je 5′; 4 3,2 3 2,7 3 3.

16. 15. Mai. Syringa, 20 cm lang. Ganz, invers: 20 20 20 20.
Blätter einzeln abgeschnitten, der Zweig in Paraffinöl getaucht: 1 0,5 0,5; nach 10′ in je 5′ 0,5 mm, also fast völliger Stillstand.

18. 18. Mai. Zweig von Syringa, 65 cm lang, mit fünf beblätterten Zweiglein, bei Regen geholt. Abgetrocknet: 19 18 18 18 17 18 16 17 17 16 16.
Die beblätterten Zweiglein abgeschnitten: 2 1,5 1,5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1.

29. 26. Mai. Syringa, 53 cm lang, Sonnig, aber kühl und windig.
Ganz: 35 34 35 33.
Der beblätterte Gipfel, 30 cm lang, abgeschnitten: 2 1,3.

282. 13. Okt. Lycium barbarum, 3 m langer Zweig, in der oberen Hälfte reich belaubt. Die Blätter waren Morgens betaut, die Saugung nimmt von 9^h bis 12^h Mittags zu, von 50 mm auf 75 mm.
Ganzer Zweig: 75 73 74 75 75 76.
Der beblätterte Gipfel abgeschnitten, der Rest 135 cm lang: 7 6.

86. 2. Juli. Sproß von Rudbeckia laciniata, 145 cm lang, mehrere Tage vorher im Garten unterwärts entblättert, dann ein Tag im Zimmer. Am 2. Juli eine Zeitlang unter der feuchten Glocke gehalten, dann 1^h lang in trockener Luft.
Ganzer Sproß: 26,5 26 25,5.
Gipfel abgeschnitten Rest 97 cm lang: 2,5 2,5 3 3 2,8 2,7.

4. Frische Zweige teilweise entblättert.

4. 10. Mai. Zweig von Syringa mit zwei ziemlich gleich großen beblätterten Seitenzweigen.
Ganzer Zweig: 10 10 10 10.
Das größere Zweiglein abgeschnitten, Wunde mit Kakaobutter verschlossen: 4 4 3,5 3 3,5 4 3 3 3,5 4 (10′) 4 3,5; 3,5 (20′); 4,5 (30′); 5 (1^h).
Das zweite Zweiglein auch entfernt: in je 5′: 1 0,5 0,5.

5. 10. Mai. Wie vorher.
Ganzer Zweig: 8 8 8 8.
Das kleine Zweiglein abgeschnitten, Wunde verschlossen: 5 4,5 4,5 5 4,5 4,5 4 5 5 4,5 (10′) 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5; 4,5 (35′).
Das zweite Zweiglein auch entfernt: 0,5 0,5 0,5 0,5.

283. 13. Okt. Lycium, 3 m langer Zweig, auf 2 m blattlos, mit zwei beblätterten, 1 m bzw. 80 cm langen Zweigen. Der ganze Zweig saugt 45′ nach dem Abschneiden: 33 32.
Der kleinere Zweig abgeschnitten: 23 23 22.
Der zweite Zweig abgeschnitten: 3 3.

5. Frische, gestielte Blätter der Spreite beraubt.

114. 19. Juli. Großes Blatt von Paeonia, mit sehr kurzem Stielrest. Das ganze Blatt, von 517 qcm Spreitenfläche, saugt: 38 35 33 **34** 33 34 34.
Ein Seitenteil, 157 qcm groß, abgeschnitten: 27 24 25 26 27 24 24 24 **25** 26 24.
Der zweite Seitenteil, 135 qcm groß, abgeschnitten: 17 16 16 **15** 15,5 14,5 14.
Der Endteil, 225 qcm groß, abgeschnitten, es bleibt nur die Rhachis: 2,5 0,5 1 1 1 1 1.

Durch die erste Operation wird die Fläche vermindert auf 70%, die Saugung auf 74%; durch die zweite die Fläche auf 44%, die Saugung auf 44%.

216. 27. Juli. Großes Blatt von Aesculus mit 7 Strahlen, steht vor dem Aufsetzen zwei Stunden in Wasser.
Ganzes Blatt: 10 10 10 10 10.
Vier Blättchen abgeschnitten: 4,5 4,5 3,5, dann 10′ lang je etwa 3,3.
Noch zwei Blättchen ab, das kleinste bleibt: 1 0,8.

217. 28. Juli. Blatt von Aesculus mit 7 Strahlen, frisch geholt: 15,5 14 13.
Vier Blättchen ab: 6,5 6 5 4,8 4,5 4,5.

Ergebnis: Wenn turgeszente Zweige oder Blätter der transpirierenden Flächen plötzlich ganz beraubt werden, fällt die Saugung augenblicklich auf ein sehr geringes Maß, um dann langsam noch weiter abzunehmen[1]). Wird die transpirierende Fäche verkleinert, so ist die Verminderung der Saugung der Verkleinerung der Fläche ungefähr proportional. Im Groben erfolgt also bei Beseitigung der transpirierenden Flächen die Regulation der Wasseraufnahme momentan. Und das lange Nachsaugen von Blättern und beblätterten Zweigen unter Wasser muß zum überwiegenden Teil Wirkung der Blattflächen, nicht der Sproßachsen und der Blattstiele sein.

Das Abschneiden weicht in dem wichtigen Punkt von dem Versenken in Wasser ab, daß durch die geschaffene Schnittfläche Luft in die Gefäße bis zu einer gewissen Tiefe eindringen kann. Dieser Faktor, der die Saugung vielleicht stört, macht sich um so weniger fühlbar, je länger der Zweig ist. Daß er aber keinen wesentlichen Fehler in den Versuch bringt, beweisen die unten mitzuteilenden Beobachtungen an welken Zweigen (vgl. pag. 189).

Wenn nach dem Abschneiden der Blätter die Saugung auch sehr weit vermindert ist, so steht sie doch keineswegs still. Auf Rechnung der noch möglichen Transpiration ist dieses Nachsaugen sicher nicht zu setzen; die Saugung müßte dann konstant bleiben, während sie regelmäßig noch weiter abnimmt. Zudem ist durch Wägung leicht nachzuweisen, daß von dem gesaugten Wasser der größte Teil in dem entblätterten Zweig verbleibt.

31. 27. Mai. Von einem Syringa-Zweig wurden in einem Garten die Laubzweige abgeschnitten, dann der Zweig selbst abgenommen, und die beiden Schnittflächen mit weichem Wachs verklebt. Darauf der 50 cm lange Zweig mit Vaseline eingerieben, gewogen und aufs Potometer gesetzt. Er saugt jetzt: 3 3,5 3 2,5 2,5 2,5; 2 (10′); 1 (30′); 0,5 (60′).

In 48^h zusammen 342 mm = 0,39 g. Das Gewicht ist nach 48^h um 0,29 g größer als zuvor, also sind durch Transpiration von dem gesaugten Wasser 0,10 g verloren gegangen.

35. 29. Mai. Ein anderer 52 cm langer Zweig ähnlich behandelt, nicht mit Vaseline bestrichen. Sein Gewicht ist:

3^h 30′	5.10	6.28,	nächsten Morgen 8.15
11,79 g	11,93 g	11,95 g	12,00 g.

39. Ein Zweig von Syringa entblättert für 2^h in Wasser gestellt, dann mit geschmolzener Kakaobutter bestrichen und aufs Potometer gesetzt. Er saugt, trotz-

---

1) Ein plötzliches Aufhören der Wasserbewegung bei Entblätterung hat auch Vesque (1883, pag. 7) gefunden, der dem Saugwasser feinen Niederschlag von Kalkoxalat beimischte und die Bewegung der suspendierten Teilchen mit dem Mikroskop beobachtete.

dem die Transpiration fast vollkommen verhindert ist, in 2 Tagen 350 mm oder ungefähr ebensoviele Milligramm.

Es unterliegt also keinem Zweifel, daß auch in blattlosen Sproßachsen die Wasseraufnahme nicht augenblicklich genau nach der Wasserabgabe reguliert wird. Eine grobe Einstellung dagegen erfolgt, wie oben dargelegt, außerordentlich rasch. Das gilt für Objekte, die gut mit Wasser versorgt und turgeszent sind. Wie welke Pflanzenteile sich erhalten, ist aus dem folgenden zu ersehen.

6. Die Saugung welker Objekte bei der Darbietung von Wasser.

Fürs erste ist wieder nötig zu wissen, wie Pflanzenteile, die durch Abschneiden der Wasserzufuhr welk geworden sind, bei wieder gegebener Möglichkeit der Wasseraufnahme sich verhalten.

282. 13. Okt. Von einem Zweig von Lycium wurde im Zimmer der 150 cm lange Gipfel abgeschnitten und nach kurzem Aufenthalt in der Luft in Wasser gestellt. Nach etwa 20 Minuten wurde er aufs Potometer gesetzt, und während der ganze Zweig vorher 75 mm gesaugt hatte, saugte der Gipfel jetzt: 50 44 41. Nun wurde ein kurzes Stück unter Wasser abgenommen: 69 61 55 52 49 46.
Nach zwei Stunden: 20 20 20.
Nun 15 cm unten abgenommen und rasch der Zweig wieder aufgesetzt: 164 133.

12. 14. Mai. Zweig von Syringa, 65 cm lang, mit unverschlossener Schnittfläche ohne Wasser ausgelegt, bis die Blätter deutlich welk sind. Nun ohne Erneuerung der Schnittfläche aufs Potometer: 17 15 13.

136. Zweig von Syringa, 60 cm lang, bei Regen geholt, im Zimmer im Laufe einer Stunde abgetrocknet. Saugt frisch: 21 21 21 19. Nun abgenommen und zum Welken ausgelegt, nachdem die Schnittfläche mit geschmolzener Kakaobutter verschlossen. Nach 30′ unter Wasser 5 cm abgeschnitten, der Zweig wieder aufs Potometer gebracht. Er saugt jetzt in je $^1/_2$′: 71 53 48 43 39 36 34 29 27 26 (5′) 23 21 21 19 18 17 18 15 16 14 14.
Dann in je 1′: 28 26 24 23 22 22 21 20 20 20 18,5 18,5 18 18 17,5 18 18 17,5.
Nach 3^h in je 1′: 21 20 20 20.

Nun wieder abgenommen, mit Kakaobutter zum Welken ausgelegt, nach 30′ unter Wasser um 2$^1/_2$ cm gekürzt, wieder aufgesetzt; saugt in der ersten Viertelsminute, die beobachtet werden kann, 62 mm, in den beiden nächsten halben Minuten je 67 mm.

133. 29. Juli. Ein Blatt von Catalpa saugt frisch: 14,5 14,5 14,5 14,5 14,5. Jetzt der Stiel mit Kakaobutter verschlossen. Nach 18' ein mehrere Zentimeter langes Stück des Stiels unter Wasser abgeschnitten, das Blatt wieder aufgesetzt: ? 49 41 36 36 34 30 25 25 27 (10′) 18 13 10 9,5 8,5 8 8 7,5 7,5 8 (20') 8,5 8,3 8,2 8,5; 9 (40′) 10 9,5 9,5 10 9,5; 11,5 (1^h 35′).

135. 30. Juli. Ein Blatt von Catalpa, seit mehreren Stunden im Zimmer, saugt frisch: 14,5 14,5 14,5 14 14,5.

Nun mit Kakaobutter verschlossen zum Welken ausgelegt. Nach 20′ vom Stiel 7 cm unter Wasser abgeschnitten, das Blatt wieder aufgesetzt. Es saugt nun in je ½′: 34 30 24 20 20 16 14 12,5 11,5 10 9 8,5 8 7,5; dann in je 1′: 12,5 12 11 10,5 10,5 10 9 10 10 9,5 9,5 10; nach 1h 45′ in je 1′: 15,5 15,5.

110. 16. Juli. Blatt von Paeonia, saugt frisch: 29 29 29 28 26 27. Nun mit Kakaobutter verschlossen zum Welken ausgelegt. Nach 22′ der Stiel unter Wasser gekürzt, das Blatt wieder aufgesetzt: in je ½′ 29 23 20, dann in je 1′ 35 32 29 26 24 22 21 19,5 18 17,5 16,5 16,5 16 15,5 15 14,5 14 13,5 13,5 13 12,5 13 12,5 12,5 12 11,5 11,5 12 11 11 11 10,5 10 (40′) 9,5 10 9,5 9 9,5 9,5 9 9 9 9; 7 (1h 50′) 6,5 7.

Das Blatt wurde dann in einen feuchten Raum gebracht und saugte, als es am dritten Tage mit erneuerter Schnittfläche wieder aufgesetzt wurde, 26 28 28 27 28 28; 24 (20′).

108. 13. Juli. Stengel von Rudbeckia, seit einem Tag im Zimmer, saugt frisch: 10 10,5 10,5 10 10.

Nun ohne Verschluß der Schnittfläche zum Welken ausgelegt, nach 1h nach Erneuerung der Schnittfläche wieder aufgesetzt: 17,5 18 19,5 19 20 20 19,5 19,5 19 19 18 17,5 17,5 17,5 16,5 16 15,5 14,5 14 13,5 12,5 12,5 12,5 11,5 11,5 11 11 10 10 9; 8 (40′); 7 (50′).

Ergebnis: Welk gewordene Stengel und Blätter saugen, wenn die Schnittfläche während des Welkens vor dem Eindringen von Luft geschützt war und nach dem Welken unter Wasser erneuert wird, mächtig an, zunächst viel stärker als sie im frischen Zustand saugten. Die Saugung vermindert sich rasch und fällt unter das Maß, das sie am frischen Objekt hatte. Mit der Zeit kann die Saugung wieder steigen, entsprechend dem Wiederstraffwerden der Blätter, die wohl die vorher geschlossenen Spaltöffnungen öffnen; durch längeren Aufenthalt im feuchten Raum kann ein angewelktes Objekt, das nach dem starken Ansaugen nur noch schwach saugte, sogar wieder zu kräftigem Saugen gebracht werden (vgl. Versuch 110). Auch wenn während des Welkens die Schnittfläche unverschlossen bleibt, kann bei Erneuerung der Schnittfläche ein kräftiges Ansaugen stattfinden; die negativen Spannungen im Gefäßinhalt, auf denen das Ansaugen wohl beruht, stellen sich also auch bei offener Schnittfläche ein und vermögen sich nicht durch Einsaugen von Luft, sondern nur durch Einsaugen von Wasser ganz auszugleichen.

Das letzte ist schon seit den grundlegenden Untersuchungen v. Höhnels bekannt; daß die in die Schnittfläche eindringenden Mengen von Luft trotzdem beträchtlich sein können, hat Strasburger durch Messung der Luftsaugung festgestellt (1891, pag. 688).

7. Die Saugung welker Objekte bei Unterdrückung der Transpiration.

12. 13. Mai. Zweig von Syringa, 65 cm lang, mit unverschlossener Schnittfläche zum Welken ausgelegt. Saugt nach dem Aufsetzen: 17 15 13. Nun der Gipfel abgeschnitten, der blattlose Rest ist 52 cm lang: 7 8 8 7 7 6,5 5,5 6 5,5 5 (10′); 4 (20′); 3,5 (30′); 2,5 (40′) 2 (45′). Der Zweig blutet oben von der 8. Minute an.

17. 15. Mai. Zweig von Syringa wie vorher, 73 cm lang. Saugt welk: 19 15. Geköpft, Rest 45 cm lang: 13 13 12 11 9,5 8,5 8 7 7 6 (10′) 6 5 5; dann 10′ lang je etwa 3,5; dann 15′ lang je etwa 2.

136. Zweig von Syringa, mit verschlossener Schnittfläche welk geworden, saugt nach Erneuerung der Schnittfläche in der ersten Viertelsminute 62, dann in je ½′: 67 67. Geköpft, Rest 36 cm lang: 9 7 6 5,5 4,5 4 4 3,5 3 3 (10′) 3 2,5 2,5 2,5 2,5 2 2 2 2 2 (20′) 2 1,5.

54. 11. Juni. Stengel von Polygonum sachalinense, 56 cm lang, mit fünf Blättern, von denen die drei unteren sehr groß. Welk aufgesetzt: 16 16,5 17 15 13 12. Das unterste Blatt abgeschnitten: 10 9. Das zweite Blatt abgeschnitten: 9 8 8 7,5 8 7,5 8 7,5 7 7,5 7.
Das dritte Blatt abgeschnitten: 6,5 6,5 6 6. Der Gipfel mit den zwei letzten Blättern entfernt: 5,5 5,5 5,5 4,5 5 4,5 4 4 3,5 4 (10′); 3 (15′); 3 (20′); 3 (40′).

64. 17. Juni. Welkender Stengel von Rudbeckia, 90 cm lang, mit drei großen und drei kleinen Blättern.
Ganzer Sproß: 37 37 38 37 37 36 36. Nun ein 14 cm langes Stück unten in heißem Wasser getötet: 32 33 32 32 29 30 28 27 28 26. Die drei großen Blätter abgeschnitten: 23 21 20. Der Gipfel mit den drei kleinen Blättern abgeschnitten: 18,5 17,5; in den folgenden 10′ durchschnittlich 15; dann 9,5 8,5 8 (15′); 4,5 (50′).

110. 16. Juli. Großes Blatt von Paeonia, das frisch über 30 mm saugte, war mit verschlossener Schnittfläche zum Welken ausgelegt, dann mit erneuerter Schnittfläche aufgesetzt. Die Saugung fiel in 2^h von 52 mm auf 6,5 mm. Nun invers in Wasser: 7 6,2 6,3 6,5 6,5 6 6 6 5,5 5,5 (10′) 6 5,5 5,5 5 5 5 4,7 5 5 4 (20′) 4 4 4 4 3,3 3,2 3 3 2,7 2,7 (30′) 2,7 2,2 2,2 2,2 1,6; 1,6 (40′) 1,6 1,6 1,3 1,3 1,2 1,2 1 1 1 1 (50′).

66. 17. Juni. Ein Blatt von Rudbeckia mehrere Stunden lang im feuchten Raum gehalten, dann wenige Minuten auf dem Potometer in trockener Luft: 18 20 23 22,5.
Nun in Wasser versenkt: 5,5 ? 3 1,7 1,5 1 1 1,3 0,8 0,9 (10′) 0,9 0,6; 0,5 (15′) 0,2 0,2.
Ein anderes Blatt von Rudbeckia stand in Wasser, während der Stiel durch eine Klemmschraube zusammengepreßt war. Dann der Stiel über der geklemmten Stelle unter Wasser abgeschnitten und das Blatt aufgesetzt: 10 9 9 8 8 8.
In Wasser: ? 8 4 4 3 3 2,5 2 1,5 1,7 (10′) 1,6 1,2 1,5 1 1 1 0,8 0,7 0,6 0,6 (20′) 0,6 0,6.

134. 30. Juli. Blatt von Catalpa bei Regen geholt, naß aufgesetzt und rasch in Wasser versenkt: in den ersten 3′ zusammen 6,5; dann 1 1 1 1 1 0,5 0,5 (10′) 0,5 0,5.

Aus dem Wasser genommen und abgetrocknet: 15 15 15 14 15. Für 15′ mit verschlossener Schnittfläche zum Welken ausgelegt. Dann 2 cm vom Stiel unter Wasser abgeschnitten, das Blatt aufgesetzt, rasch in Wasser versenkt: ? ? 37 28 19 15 10,5 9 5,5 5,5 (10′) 4 4 3,5 3,2 2,5 2,5 2,3 2,2 2 2 (20′) 1,5.

Ergebnis: Bei welken Objekten erfolgt die Regulation der Wasseraufnahme viel langsamer als bei turgeszenten. Bei Versenkung welker Blätter unter Wasser vollzieht sich der Abfall der Saugung sehr allmählich. Und auch welke Sprosse saugen nach dem Köpfen lange Zeit energisch fort; diese Tatsache beweist, daß durch das Anbringen einer Schnittfläche, wenigstens bei beträchtlicher Länge des bleibenden Stückes, die Saugung am unteren Ende nicht wesentlich beeinträchtigt wird (vgl. pag. 185) und steht außerdem im Einklang damit, daß mit offener Schnittfläche welk gewordene Objekte noch ganz wohl zu saugen vermögen. Die Luft dringt beim Köpfen in den geöffneten Gefäßen etwa höchstens bis zur nächsten Querwand vor, wenn kapillare Kräfte das Zurückweichen des Wassermeniskus nicht schon vorher verhindern. Und deswegen können negative Spannungen in einiger Entfernung von der Schnittfläche nicht durch Einsaugen von Luft, sondern nur durch Einsaugen von Wasser sich ausgleichen.

Wenn vollturgeszente, aus dem Regen geholte Objekte unter Wasser fast gar nicht, angewelkte sehr stark saugen, so läßt sich die Geschwindigkeit der Regulation bei unterdrückter Transpiration geradezu als Kriterium für den Turgeszenzzustand verwenden. Normal turgeszente, längere Zeit in Wasser stehende Zweige und Blätter saugen nun unter Wasser immer beträchtlich nach, sie müssen also vom Zustand der höchsten Wassersättigung immer mehr oder weniger weit entfernt sein. Das ist nur möglich, wenn beim Übergang aus Bedingungen, die der Wasserabgabe nicht günstig sind und zu voller Sättigung führen, in solche, die eine ausgiebige Transpiration erlauben, ein Defizit zwischen Aufnahme und Abgabe von Wasser sich einstellt. Nach diesem Defizit wird in den folgenden Experimenten gesucht.

II. Regulation der Wasseraufnahme bei plötzlich einsetzender Transpiration.

Um die Transpiration weit herabzusetzen und sie doch wieder augenblicklich in Gang setzen zu können, wurden die Objekte nicht in Wasser versenkt, sondern in einen dampfgesättigten Raum gebracht. Bei der Überführung in den Dampfraum nimmt die Saugung meistens in ähnlichem Tempo, vielleicht etwas langsamer, ab als bei der Versenkung in Wasser.

Wenn die Blätter nicht von kondensiertem Wasser bedeckt sind, wird die Transpiration beim Übergang des Objekts aus feuchter in trockene Luft wohl vom ersten Augenblick an in voller Stärke einsetzen. Mit Hilfe der Wage kann der Gewichtsverlust leider nicht für so kleine Zeiträume bestimmt werden, wie die Saugung mit dem Potometer. Doch war es immerhin möglich, den Gewichtsverlust etwa von der 3. Minute an in Intervallen von 2 Minuten zu messen. Dabei ergab sich wirklich Konstantbleiben des Verlustes, oder sogar Abnahme, nämlich wenn wegen schlechter Beschaffenheit der Schnittfläche Welken eintrat. Es darf also angenommen werden, daß die Transpiration schon in der 1. Minute die maximale Höhe erreicht.

1. Die Saugung an der Schnittfläche.

Die auf dem Potometer stehenden Objekte wurden, wie auf pag. 176 angegeben, aufrecht oder invers in einen dampfgesättigten Raum gebracht. Wenn die Saugung sehr weit vermindert war, wurden sie aus dem feuchten Gefäß befreit und durch kurzes Fächeln die feuchte Luft in der Nähe der Blätter entfernt.

7. 12. Mai. Syringa, 30 cm lang, aufrecht. Die Saugung ist im verdunkelten Dampfraum von 15 auf 1,5 zurückgegangen. Geöffnet im Licht: 2,7 3,8 5 6,5 9 9 12 12 12 17 (10′) 16 16 17 17 18 (15′).

20. 18. Mai . Syringa, 30 cm lang. Saugt offen im Licht: 10 9 9. Im Dampfraum, verdunkelt: 6 5 4 4,5 4 3,5 4 3 3; 1,5 (15'). Geöffnet im Licht: 4 5,5 5,5 6 6,5 7,5 7 8 8 7,5.

86. 2. Juli. Stengel von Rudbeckia, 145 cm lang. Die Saugung ist im dunkeln Dampfraum von 27 auf 3,5 gefallen. Offen im Licht: 7,3 8,2 10,5 12,7 14,8 15 17 17,5 18,5 20 (10′) 20 20 21 21 ? 23,5 23,5 23,5 24 24 (20′) 24 24 25,5 24,5 25,5 24,5 25 26 25 25 (30′) 25 26 25,5 25,5 26 25 26,5.

Der verkleinerte Gipfel desselben Sprosses, 40 cm lang, saugt offen im Licht: 17,5 16,5 17,5 16,5 16,5. Im Dampfraum fällt die Saugung auf 1,3. Nun offen im Licht: 3 5,5 8,5 8 11 11,5 12 12,5 12,5 13,5 (10′) 13,8 13,8 14 15 15 15 15 15,5 14 15,5 (20') 15,5 15,5 15,5 15,5 15 15,5.

169. 19. Mai. Syringa, 40 cm lang, aufrecht. Saugt im Dampfraum: 2,5.

Offen, aufrecht: 4,3 8 11,7 15,5 17 19 20 22 23 24,5 (10′) 24,5 25,5 26 26,5 27 27 27 27 28 27,5 (20′).

Offen, invers: 27. Im Dampfraum, invers, nach 30′: 2,3 2,2. Offen, invers: 4 11 12 15,5 16,5 18 18,5 19 19,5 21 (10′) 21 21 21 22 23 23 23 24 23 23,5 23,5 22,5.

Am nächsten Tag im Dampfraum, ohne Erneuerung der Schnittfläche: 1.

Offen, invers: 1 1,6 2,5 3 4,5 4,5 5,5 6 7 7,5 (20′); 8 9 9 9,5 10 10,5 10,5 11 11,5 11,5 (20′); 12 12,5 12,5 13 13,5 13,5 13,5 13,5 14 14,5 (30′); 14,5 14,5 15 14,5 15 15 15,5 15 15,5 15,5 (40′).

75. 22. Juni. Blatt von Catalpa, tags zuvor geholt, aus dem Dampfraum genommen und aufgesetzt: 8 11 13 18 20 24 26 27 30 28 (10′) 29 30 31

30 29 29 29 29 28 29 (20′); 27 29 30 30 29 28 28 26 27 27 (30′); 27 27 27 28 28 27.

145. 6. August. Blatt von Catalpa. Saugt im Dampfraum: 0,6. Offen, invers: 1,5 1,5 4,5 9 10 9,5 9,5 10 11 10,5 (10′) 10,5 9,5.

146. 6. August. Blatt von Catalpa. Wagrecht im Dampfraum. Die Saugung ist von 16 auf 2,5 zurückgegangen. Offen, wagrecht: 5,5 6 8 10 10 11,5 11,5 13 12 14 (10′) 13 12,5.

146 b. 6. August. Dasselbe Blatt. Im Dampfraum ist die Saugung wieder auf 0,5 zurückgegangen.

Offen, wagrecht: 2,5 4 5 5,5 8 9 10 10 11 10,5 11 11 11.

Jetzt invers in Wasser: 6 5 5 2,5 4 2,5 2 1,8 1,8 1,2 1 1.

Beim Öffnen wird bis zur Erreichung des dann konstant bleibenden Wertes 11 in 9′ gesaugt 66 mm anstatt 9 · 11 = 99 mm; Defizit 33 mm. Unter Wasser werden in 11′ 32 mm nachgesaugt, wobei die Saugung pro 1′ auf 1 mm fällt.

147. 6. August. Syringa, 30 cm langer Zweig. War über Nacht im feuchten Raum, saugt Morgens 2,8 2,2 2,6. Offen, invers: 3,5 8 12,5 15 18 19 21,5 23,5 22 24 26 25 25,5 26,5.

In Wasser versenkt: 20 14,5 9,5 7 5,5 4,5 3,5 3,3 2,7 2,5 2 1,8 1,6 1,6 1,5 1,3 1,1 1,1 1 1 1 1 1.

Beim Ansaugen eine konstante Transpiration von 25 mm angenommen, ist das Defizit 82 mm. Saugung unter Wasser in den ersten 16 Minuten: 70 mm. Saugung bis zur Erreichung von 2,5 mm pro Minute: 50 mm.

Ergebnis: Wenn beblätterte Zweige oder Einzelblätter aus einem dampfgesättigten Raum plötzlich in trockene Luft kommen, ist allerdings schon in der 1. Minute die Wasseraufnahme größer als sie vorher im Dampfraum war. Aber das Maß der Saugung, das dann konstant bleibt, wird erst im Laufe einiger Minuten erreicht; bei Einzelblättern rascher als bei beblätterten Zweigen, und bei Objekten mit guter Schnittfläche rascher als bei solchen mit mangelhafter (Versuch 169, pag. 190). Ein beträchtliches Ansteigen über das dann konstant bleibende, wohl der Transpiration entsprechende Maß findet nicht statt. Es muß sich also immer ein Defizit zwischen Transpiration und Saugung einstellen, das der Pflanze erlaubt, bei Verhinderung der Wasserabgabe kräftig nachzusaugen, auch wenn sie nur wenige Minuten lang in trockener Luft transpiriert hat.

Es fragt sich nun, wie und wo dieses Defizit zustande kommt. Die nächste Vermutung ist die, daß die transpirierenden Blattzellen aus den Leitbahnen erst dann Wasser entnehmen können, wenn ihre Wassersättigung etwas unter ihre maximale Höhe gesunken ist. Aber mindestens neben diesem Vorgang, der das Ansaugen in trockener Luft zu verzögern imstande wäre, könnte ein anderer Faktor eingreifen. Wir wissen noch nicht, wie rasch eine Saugwelle in den Leitbahnen sich fortpflanzt, und bei dem Luftgehalt der Gefäße und dem beträcht-

lichen Reibungswiderstand, den das Wasser bei seiner Bewegung zu überwinden hat, ist es wohl denkbar, daß in den obersten Teilen der Leitbahnen, die an die Wasser verbrauchenden Zellen angrenzen, schon kräftige Wasserströmung herrscht, während der Inhalt der weiter abliegenden Gefäße nur langsam in diese Bewegung hineingezogen wird.

2. Die Fortpflanzung einer Saugwelle vom Ort der Wasserentnahme zur Schnittfläche.

Die beim Köpfen von turgeszenten Objekten gemachten Erfahrungen sprechen schon dagegen, daß die Saugwelle sich so langsam von oben nach unten fortpflanzt. Wenn das der Fall wäre, müßte sich in der Sproßachse ein Defizit ergeben zwischen Wasserabgabe am oberen und Aufnahme am unteren Ende. Und dieses Defizit würde sich in einem deutlichen Nachsaugen nach der Entblätterung zu erkennen geben. Ein solches Nachsaugen findet aber in nennenswertem Maße nicht statt, wenn der Sproß turgeszent ist. Und das höchste Maß der Turgeszenz gewinnen die Objekte natürlich im feuchten Raum. Daß das Nachsaugen auch dann fehlt, wenn ein Sproß während des Ansaugens in trockener Luft geköpft wird, zeigt der nächste Versuch.

186. 5. Juni. Zweig von Syringa, 90 cm lang, saugte im dampfgesättigten Raum nur noch: 3 3 2,5. Offen: 7,5 9,5 15 17,5 21. Geköpft, Rest 54 cm lang: 2,5 2,5.

Die Geschwindigkeit, mit der im turgeszenten Zweig eine Saugwelle sich fortpflanzt, muß aber auch unmittelbar demonstriert werden können. Es genügt, auf das obere Ende eines Zweiges eine konstante Saugung von bekannter Größe auszuüben und zu verfolgen, wie rasch von der unteren Schnittfläche des Zweiges Wasser aufgesogen wird. Zu dem Zweck wurden frische Zweige in den beblätterten Gipfel und den blattlosen Teil zerlegt und in einer Weise wieder aneinandergekoppelt, daß die Saugung des beblätterten „Saugzweiges“ auf den blattlosen „Schaltzweig“ übertragen werden konnte.

Zur Registrierung dienten zwei Potometer, das obere von der Art, wie Figur 1 es darstellt, das untere ohne den Dreiwegehahn zwischen Kapillare und Sauggefäß. Auf dem unteren Potometer steht der blattlose Schaltzweig, der mit seinem oberen Ende in das Hahnstück des oberen Potometers eingesetzt wird, wie in der Figur 1 die zur Aufnahme von Quecksilber bestimmte Röhre. Auf dem oberen Potometer steht der beblätterte Saugzweig, der zuerst aus seinem zugehörigen Sauggefäß Wasser schöpft, aber nach entsprechender Drehung des Hahnes durch den Saugzweig hindurch saugen muß. Um Platz zu sparen, wird das Sauggefäß des unteren Potometers unter dem T-Stück des oberen Potometers angebracht. Jede Kapillare hat ihren Luftindex, der im einen Potometer von links nach rechts, im anderen in umgekehrter Richtung läuft. An jedem Potometer wird in Zwischenräumen von 1′ abgelesen; die Ablesungen von den beiden Potometern liegen um $^1/_2$′ auseinander.

In einer längeren Reihe von Versuchen wurde zunächst das Ergebnis gewonnen, daß die vom Saugzweig ausgeübte Saugung sich durch den Schaltzweig auffallend lang-

sam fortpflanzte, und daß, wenn die Verbindung zwischen Saug- und Schaltzweig wieder aufgehoben wurde, dieser beträchtlich nachsaugte. Die Erscheinung beruhte aber auf einem Fehler des Apparates. Die Verbindung zwischen Hahnstück und Schaltzweig war nämlich durch ein kurzes Stück Gummischlauch hergestellt. Wenn nun der Schaltzweig eingeschaltet wurde, zog sich zunächst der Schlauch etwas zusammen, bevor das Wasser mit voller Geschwindigkeit durch den Schaltzweig befördert wurde, und es trat deshalb unten weniger Wasser in den Schaltzweig ein, als oben durch den Saugzweig aus dem Schlauch entnommen wurde. Und beim Ausschalten dehnte sich der Schlauch wieder aus, wobei er Wasser durch den Schaltzweig saugte.

Der Fehler wurde dadurch beseitigt, daß der Schlauch durch eine kurze Glasröhre ersetzt wurde, in die sowohl der Schaltzweig wie das Hahnstück mit Hilfe von Gummistrümpfen eingesetzt wurden.

237. 10. August. Zweig von Syringa, 85 cm lang, stand 5^h lang in Wasser. Dann der 50 cm lange Gipfel unter Wasser abgeschnitten, als Saugzweig verwendet, das 35 cm lange blattlose Stück als Schaltzweig verwendet. — Die Kapillare des unteren Potometers ist etwas enger als die des oberen.

Saugzweig allein:	13,5	13,5	13	13	12,5.				
Eingeschaltet:									
Saugzweig:	10,5	11	10,5	11	11	11,5	11,5	11	11,5.
Schaltzweig:	3	9	9	11	11,5	11,5	12	12	12.
Ausgeschaltet:									
Saugzweig:	14,3	13,5	13	12,5	12,5	13	12,5.		
Schaltzweig:	6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4.			
Eingeschaltet:									
Saugzweig:	9,5	10	10,5	11	11	11	11,5	11,5	11,5.
Schaltzweig:	5,5	9	10,5	11	11,5	12	12	12	12,5.
Ausgeschaltet:									
Saugzweig:	14	14	13	13	13	12,5	12,5	12,5.	
Schaltzweig:	5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4.			

Ergebnis: Wenn die Saugung des Saugzweiges auf den selber nicht saugenden Schaltzweig übertragen wird, so saugt dieser schon in der 3. oder 4. Minute ebensoviel wie der Saugzweig. Nach dem Ausschalten saugt der Schaltzweig nur ganz kurz und schwach nach. Die Verzögerung, die beim Einschalten immerhin vorhanden ist, beruht zu einem Teil darauf, daß die als Index dienende Luftblase des oberen Potometers sich eine Zeitlang ausdehnt, bis ihr Volumen dem verminderten Druck entspricht[1]). Ein Nachsaugen kann die Kontraktion der Luftblase nicht zur Folge haben, weil durch das Ausschalten die Verbindung zwischen Luftblase und Schaltzweig aufgehoben wird. Auch ist es nicht ganz ausgeschlossen, daß am Apparat mit seinen Gummi-

1) Durch Verwendung einer kurzen Quecksilbersäule an Stelle einer Luftblase ließe dieser Übelstand sich beseitigen.

verbindungen sich doch kleine Verschiebungen ergeben, wenn der Druck im Verbindungsstück sich erniedrigt.

Solche Fehler werden vermieden, wenn anstatt eines Saugzweiges die Saugung einer Pumpe verwendet wird. Die Saugung einer Wasserstrahlluftpumpe wurde durch einen Hahn plötzlich auf die obere Schnittfläche eines blattlosen Zweiges übertragen, der, ohne selbst beträchtlich zu saugen, auf dem Potometer stand, und dabei war die Saugung des Zweiges mitunter schon in der 1. Viertelsminute so stark wie nachher (vgl. unten Versuch 225). Die Saugwelle pflanzt sich also mit großer Geschwindigkeit fort. Dem entspricht, daß beim Aufhören der Pumpwirkung auch die Saugung des Zweiges sehr bald still steht, wenn durch Abnehmen des Schlauches zwischen Pumpe und Zweig dafür gesorgt wird, daß nicht über dem Zweig ein Vakuum erhalten bleibt. Auffallend ist immerhin, daß der Stillstand lange nicht so plötzlich erfolgt wie das Ansaugen.

225. 30. Jui. Blattloser Zweig von Syringa, 60 cm lang.
Pumpe eingeschaltet: 27 30 30 29 29 28;
eingeschaltet: in je $^1/_2{}'$ 13,5 13,5, dann in je 1′ 28 27 27 26,5 26,5.
eingeschaltet: in je $^1/_4{}'$ 7 7 8 7, dann in je $^1/_2{}'$ 15,5 13,5 15 13 14 13,5.

394. 21. Juni. Syringa, 65 cm lang.
Pumpe eingeschaltet: 28,5 28,5 29 28.
ausgeschaltet: in je $^1/_2{}'$ 2,2, dann in je 1′ 1,6 1,7;
eingeschaltet: 26,5 27,5 28;
ausgeschaltet: 4,2 2,6.
Nun der Zweig auf 38 cm gekürzt.
Pumpe eingeschaltet: 55 55 54;
ausgeschaltet: in je $^1/_2{}'$ 5,5 2,5 2 1,8 1,2.

Nach diesen Erfahrungen darf als sicher angenommen werden, daß das langsame Ansteigen der Saugung beim plötzlichen Übergang von schwacher zu starker Transpiration nicht auf der langsamen Fortpflanzung der Saugwelle beruht, sondern tatsächlich der Ausdruck dafür ist, daß die Blattzellen erst wenig und dann immer mehr Wasser aus den Leitungsbahnen entnehmen. Weil sie aber gleich von Anfang an mit voller Stärke transpirieren, vermindert sich ihr Wassergehalt.

III. Die Regulation der Wasserbewegung in toten Objekten.

Es wird von Interesse sein zu erfahren, wie die Verhältnisse der Regulation sich in toten Objekten stellen, im Vergleich mit den bisher behandelten lebenden. Zwingende positive Schlüsse über die Art der Wasserbewegung in der lebenden Pflanze werden sich aus solchen Ver-

suchen freilich nicht ziehen lassen, weil die Veränderungen unbekannt sind, die im leitenden Körper bei der Abtötung eintreten. Und wenn nun dieselbe Erscheinung im toten wie im lebenden Objekt sich zeigt, so können trotzdem die Ursachen für das gleiche Verhalten in den beiden Fällen verschieden sein.

Stengel- und Zweigstücke wurden meist durch Kochen in Wasser oder durch Behandlung mit heißem Dampf getötet. Das Kochen erfolgte in einer unten verschlossenen, senkrecht an einem Stativ befestigten Röhre. Wenn nur ein Stück des Zweiges ohne den untersten Teil getötet werden sollte, so wurde der Zweig mit Gummi in einer doppelt U-förmigen wassergefüllten Röhre befestigt, auf einen Blechkessel gelegt, in dem Wasser kochend erhalten wurde, und mit dem Deckel bedeckt; die Blätter wurden durch Umhüllung mit einem Tuch vor Dampf und heißer Luft geschützt. Nach dem Versuch wurde immer geprüft, ob die mit Hitze behandelten Teile wirklich bis zur Markkrone verfärbt, also tot waren. Blätter, die durch heißen Dampf getötet werden, fallen meistens ab. Besser ist der Aufenthalt in einem mit Chloroformdampf gesättigten Raum; als Anzeichen des Todes galt die vollständige Braunfärbung der Blätter.

71. 20. Juni. Zweig von Syringa mit acht Blättern zuerst in Chloroformdampf gehalten, dann in Phenollösung gestellt, um auch die Sproßachse abzutöten. Aufrecht in Luft: 6 6 5,5 5,5 5,5 5,5.
Unter der feuchten Glocke: 5 5 4,5 4,5 4,5 4 3,8 4 3,7 3,5 (10′) 3,5 3,3 3,4 3,2 3 3 3 2,7 2,7 2,7 (20′); 2 (40′); 1 (1^h 20′).
Jetzt wieder offen: 1,3 1,4 1,8 1,6 1,7; 7′ lang je 2; 2,5; nächsten Morgen 4 4 4 4. Jetzt invers, in Luft: 4,5 4,5 4,5 4,5. Jetzt in Wasser versenkt: 4 4 4 4 3,3 3,7 3,3 3,2 3 3,2 (10′) 2,8 3; 2,5 (18′); 1,5 (50′); 1 (1^h 20′).

79. 26. Juni. Blatt von Catalpa, tot. Aufrecht in Luft: 4,5 4 3,5 3,5 3,5. Invers n Wasser: 4,5 4,5 4 4 3,5 3,5 3 3 3 3 (10′); 2 (20′); 1,6 (30′); 1 (40′); 0,6 (60′); 0,4 (2^h); 0,16 (3^h); 0,1 (4^h).

153. 10. Sept. Totes Blatt von Cedrela. Aufrecht in Luft: 5,5 4,8 5. Invers: 8 8 8 8 8 8. Aufrecht: 5 5 5 5. Invers: 9 8,5 8,5 8,5. Invers im feuchten Raum: 6,5 6,5 6,5 5,5 6 5,5; 1,5 (45′). Wieder offen: 2,5 3 3,5 3,5 3,5 4,5 4 4,5 4,5 4,5 (10′) 4,5 5 5. In Wasser versenkt: 3,3 3 2,5 1,5 1,5 0,8 0,7 0,5 0,4.

154. 11. Sept. Totes Blatt von Cedrela. Aufrecht in Luft: 2 2,3 2,4. Invers in Luft: 4,5 4,5 4,5 4,5. In Wasser versenkt: 5 3 3,5; 1 (18′).

161. 7. Okt. Zweig von Ulmus campestris, 60 cm lang, das 35 cm lange blattlose Stück tot, der 25 cm lange beblätterte Gipfel lebend. Die Rinde des toten Stücks von außen befeuchtet, um Transpiration zu verhindern. Saugt mit den Blättern: 5 4,8 4,5 4,2 4,3. Der Gipfe abgeschnitten, der 30 cm lange Rest tot: 2,2; dann 7′ lang je etwa 1,6; dann 40′ lang je 1.

162. 8. Okt. Stengel von Aster Novi Belgii, 70 cm lang, die oberen 20 cm beblättert, im blattlosen Teil abgetötet. Rinde befeuchtet. Mit den Blättern: 6 5,5 4,5 5. Gipfel ab, Rest 35 cm lang, tot: 2 1,7 1,5 1 1 1 1,2 1,2 1,2 1,2.

230. 4. August. Zweig von Syringa, 50 cm lang, die Blätter durch Chloroform getötet, die Achse lebend. Kommt aus dem feuchten Raum: 3,3; 4 (10′); 5 (16′); 6 (22′); 9 (45′); 10 (55′); 12 (1^h 15′); 13 (1^h 30′).

Ergebnis: Tote Blätter saugen viel schwächer als lebende und auch lebende Blätter an einem durch Hitze getöteten Zweig saugen auffallend wenig; das dürfte wohl mit auf dichtem Spaltenschluß beruhen. In inverser Lage saugen tote Blätter immer deutlich mehr als in aufrechter, die Lage wirkt also ganz anders als bei lebenden Objekten (vgl. oben pag. 183). Die Regulationsvorgänge verlaufen bei toten Pflanzenteilen in derselben Weise wie bei lebenden: wird die Transpiration der toten Blätter durch Überführung in dampfgesättigte Luft oder in Wasser unterdrückt, so nimmt die Saugung nur langsam ab. Bei Entblätterung fällt die Saugung der toten Sproßachse augenblicklich auf ein geringes Maß und nimmt dann langsam weiter ab. Wenn tote Blätter, die im Dampfraum sehr schwach saugen, plötzlich in trockene Luft zurückversetzt werden, so nimmt die Saugung langsam zu.

Für die Auffassung der Regulationsvorgänge an lebenden Objekten läßt sich daraus der Schluß ziehen: das Nachsaugen bei Unterdrückung der Transpiration durch Entblätterung muß nicht auf der Pumptätigkeit lebender Zellen in den Leitbahnen beruhen, sondern kann ganz durch Vorhandensein negativer Gasspannungen, die sich langsam ausgleichen, hervorgerufen werden. Eine sichere Entscheidung gegen die Beteiligung lebender Zellen läßt sich aber aus dem Ergebnis der Versuche nicht entnehmen.

Der negative Druck, der das Nachsaugen hervorruft, braucht dabei keineswegs in allen Leitbahnen vorhanden zu sein. v. Höhnel (pag. 109) und Strasburger (1891, pag. 712; 1893, pag. 55) haben zur Genüge betont, daß der negative Druck auf einzelne Gefäße beschränkt sein kann. Auch am Potometer läßt sich das leicht demonstrieren. Wenn auf die obere Schnittfläche eines Zweiges, dem vor kurzem die Blätter genommen worden sind, ein Wassertropfen aufgesetzt wird, zeigt das Zurückweichen des Index bald an, daß das Wasser durch den Zweig filtriert; das entspricht dem alten „Tropfversuch“. Sobald aber der Tropfen durchgesickert ist, beginnt der Zweig wieder zu saugen.

Es sind also nebeneinander vollkommen gesättigte und ungesättigte Leitbahnen da. Ähnlich erklärt es sich wohl auch, warum Ewart und Rees in entblätterten, mit Hilfe einer Druckpumpe wassergesättigten Baumstämmen sogar im Dampfraum Eosin aufsteigen sahen; in allen Teilen gesättigt ist ein Stamm eben nicht leicht. Das Abnehmen der Geschwindigkeit, mit der das Eosion stieg, deutet entschieden darauf hin, daß noch ungesättigte Bezirke vorhanden waren, die sich langsam sättigten.

Außerdem ist die Möglichkeit nicht zu leugnen, daß durch das Abschneiden der transpirierenden Flächen ganz plötzlich im Zustand und in der Tätigkeit der lebenden Elemente in den Leitbahnen Veränderungen herbeigeführt werden, daß Pumpkräfte, die zur Zeit ausgiebiger Transpiration an der Wasserhebung beteiligt sind, beim Aufhören der Transpirationssaugung lahm gelegt werden. Endlich müssen die Verhältnisse in einem kurzen abgeschnittenen Zweig, durch dessen offene Schnittfläche der Atmosphärendruck das Wasser mit Leichtigkeit zu den Blättern hebt, nicht dieselben sein wie bei der bewurzelten, vielleicht hochwüchsigen Pflanze.

In ganz seltenen Fällen wurde an Wunden von abgeschnittenen, auf dem Potometer stehenden Zweigen Bluten, also Saftausscheidung durch lebende Zellen beobachtet. Es waren Zweige von Syringa. Der erste (Versuch 12, 13. Mai 1907, vgl. pag. 24) war zum Welken gebracht und blutete nach dem Abschneiden des Gipfels aus der oberen Schnittfläche. Der andere (3. Juni 1911) blutete nach doppeltem Einkerben aus dem unteren Rande der unteren, nur 3 cm über der Schnittfläche liegenden Kerbe. Das sind unter etwa 300 beobachteten Zweigen sehr spärliche Anzeichen einer Pumptätigkeit.

Alles in allem genommen kann man sagen, daß sich sichere Beweise gegen die Beteiligung lebender Zellen an den Regulationsvorgängen nicht haben finden lassen, daß aber auch jede Evidenz für eine solche Beteiligung fehlt.

Über das Verhalten von Objekten, die mehrere Tage lang am Transpirieren gehindert sind, soll an anderer Stelle berichtet werden, weil die hier zu beobachtenden Erscheinungen nicht unmittelbar zum Problem der Regulation gehören.

Zweiter Abschnitt.

Zur Kenntnis der Saugkraft transpirierender Blätter.

I. Über die Veränderlichkeit der Saugkraft.

Unter Saugkraft eines Pflanzenteils soll im folgenden die Differenz zwischen dem Atmosphärendruck, der gewöhnlich auch an der Schnittfläche herrscht, und dem Druck in den Leitbahnen der Blattflächen verstanden sein. Falls es sich bei der Bewegung des Wassers in einem Blattstiel oder Zweig um einfache Druckfiltration handelt, ist ja der Differenz zwischen Außen- und Innendruck die Geschwindigkeit pro-

portional, mit der das Wasser von der Schnittfläche bis in die Blattfläche getrieben wird. Und solange sich an der Schnittfläche nichts ändert, kann die Saugung als Maß der Saugkraft gelten. Dann ist aber aus den verschiedensten Beobachtungen, von denen oben die Rede war, zu entnehmen, daß die Saugkraft eines abgeschnittenen Pflanzenteils keine konstante Größe ist. Frisch abgeschnittene Zweige und Blätter z. B. saugen zunächst sehr kräftig und dann immer schwächer. Eine wesentliche Vermehrung der Widerstände ist an dem Abfall der Saugung nicht beteiligt, wenn reines Wasser verwendet wird und aus der Schnittfläche keine verstopfenden Substanzen austreten. Ebensowenig ändert sich der Druck an der Schnittfläche, der dem Barometerdruck, vielleicht vermindert um den Druck einer zu hebenden niedrigen Wassersäule, entspricht. Die Abnahme der Saugung rührt also von einer Verminderung der Saugkraft, genauer von einer Vergrößerung des Innendrucks, her. Umgekehrt läßt sich die Saugkraft eines turgeszenten Objektes dadurch mächtig steigern, daß es mit verstopfter Schnittfläche zum Welken ausgelegt und dann unter Wasser mit einer neuen Schnittfläche versehen wird. Infolge des Wasserverlustes, der nicht durch Wassernachschub gedeckt wird, vermindert sich der Druck im Innern der Leitbahnen, wenn also dem unter Atmosphärendruck stehenden Wasser der Zugang zu den Gefäßen eröffnet wird, ist die Druckdifferenz groß und die Filtrationsgeschwindigkeit bedeutend.

Besonders schwach wird die Saugkraft, wenn die schon turgeszente, doch in trockener Luft transpirierende Pflanze in einen dampfgesättigten Raum gebracht wird; die langsame Abnahme der Saugung ist offenbar der Ausdruck des Abnehmens der Saugkraft; die Saugkraft wird Null, wenn im Innern der Pflanze Atmosphärendruck herrscht. Wenn umgekehrt bei plötzlich wieder ermöglichter Transpiration die Saugung langsam ansteigt, so dürfen wir darin ein Anzeichen für langsame Vergrößerung der Saugkraft der Blattflächen erblicken; es ist ja oben wahrscheinlich gemacht worden, daß am unteren Ende der Sproßachsen und Blattstiele, wenn sie wassergesättigt sind, sehr rasch so viel Wasser sich in Bewegung setzt, als die Blattflächen ihnen oben entnehmen.

a) Die Saugung bei Erniedrigung des Außendruckes.

Nun fragt es sich, wie die Saugkraft einer auf dem Potometer stehenden Pflanze über das Maß hinaus gesteigert werden kann, das sie bei Transpiration in trockener Luft hat. Selbstverständlich durch alle Änderungen in den Außenfaktoren, die die Transpiration begünstigen: Verringerung der Luftfeuchtigkeit, Erhöhung der Temperatur, Steigerung

der Bestrahlung, Luftbewegung. Aber interessanter erscheint es, die Saugkraft bei gleichbleibender Größe der Transpiration zu beeinflussen durch Verminderung des Druckes, unter dem das Wasser an der Schnittfläche der Pflanze dargeboten wird. Wenn der Druck hier unter den Atmosphärendruck erniedrigt wird, so muß auch der Innendruck der Blattflächen um denselben Betrag sich erniedrigen, falls die Filtrationsgeschwindigkeit dieselbe bleiben soll wie vorher. Die Differenz zwischen Atmosphärendruck und Innendruck, als die wir die Saugkraft definiert haben, muß also größer werden.

Der Druck an der Schnittfläche kann allmählich vermindert werden dadurch, daß man die Pflanze Quecksilber heben läßt. Eine plötzliche Erniedrigung des Druckes auf ein konstant bleibendes Maß läßt sich mit dem in Fig. 1 dargestellten Apparat erreichen, wenn die an die Kapillare nach unten angesetzte Röhre mit Quecksilber gefüllt und plötzlich durch den Dreiwegehahn anstelle des Sauggefäßes in die Saugbahn eingeschaltet wird; ist die Röhre genügend weit, so bleibt das Niveau des Quecksilbers praktisch konstant. Endlich kann am Doppelpotometer anstelle der Quecksilbersäule ein blattloser Zweig eingeschaltet werden. Der Schaltzweig wird nur dann von Wasser durchströmt, wenn der Druck an seinem oberen Ende niedriger ist als am unteren; die Druckdifferenz leistet Arbeit viel weniger bei der Hebung des leichten Wassers als bei der Überwindung der Reibungswiderstände im Holz. Unter dem verminderten Druck, der am oberen Ende des Schaltzweiges herrscht, nimmt dann der Saugzweig sein Wasser auf.

372. 30. Mai. Ein 50 cm langer Zweig von Syringa, an der Schnittfläche entrindet, aufs Potometer gesetzt, dann das T-Stück mit dem Zweig horizontal gelegt, die Kapillare vertikal abwärts gerichtet. Zuerst taucht die Kapillare in Wasser, eine Luftblase dient als Index. Dann wird die wieder ganz gefüllte Kapillare in ein Gefäß mit Quecksilber eingestellt, und nun dient die Grenze zwischen dem Wasser und dem aufsteigenden Quecksilber als Index. Die ganze, ursprünglich nur aus Wasser bestehende Säule bis zum horizontalen Arm des T-Stücks hat eine Länge von 105 cm. Solange die Kapillare nur Wasser enthält, entspricht das einer Quecksilbersäule von 8 cm Länge. Mit der Zeit wird die Quecksilbersäule immer höher und die Wassersäule kürzer. Der Druck der ganzen Säule ist im folgenden immer auf Zentimeter Hg berechnet. — S ist die Saugung pro Minute in Millimeter, Hg ist der in der Mitte der betreffenden Minute vorhandene Quecksilberdruck in Zentimeter. — Der Barometerstand ist 72 cm Hg.

S	43	30	25	20	13	10	5,5	1	0.
Hg	8	15	18	22	35	38	45	52	56.

Es dringt unaufhörlich Luft aus dem Holz des Zweiges — die Rinde fehlt ja — sobald das Quecksilber steigt.

255. 29. Sept. Ein 80 cm langer, in der oberen Hälfte belaubter Stengel von Aster Novi Belgii. Saugt aus dem Sauggefäß; die Indexblase ist 35 mm lang: 33 34 34 34 34. Nun die schief geneigte Röhre mit Quecksilber anstelle des Sauggefäßes eingeschaltet, vertikale Höhe des Hg ist 27 cm. Die Indexblase dehnt sich auf 54 mm: 22 27 28 30 29 30 30.
Die Röhre mit Hg steiler geneigt, vertikale Höhe 33 cm. Indexblase 63 mm lang: 24 27 28 28 28 29.
Es dringt viel Luft aus den Gefäßen des Stengels.

373. 31. Mai. 50 cm langer Zweig von Syringa. Ohne Hg: 6,5 6 7 6,8 6,7. Eine 15 cm hohe Hg-Säule eingeschaltet: 5 5,5 5,5 5,4 5,6 5,5 5,5. Hg-Säule 24 cm hoch: 4 4 4 4 4 4 4 (aus dem Holz des Zweiges kommt Luft). Hg-Säule 33 cm hoch: 0 0,5 0,5 0,9 0,9 1,4; 1,5 (15′) 1,8 (der Zweig verliert noch immer Luft). Hg ausgeschaltet: 7,3 6,5 6 5,7 5,8.

374. 1. Juni. 50 cm langer Zweig von Syringa. Ohne Hg: 18,5 18,5 18 17 17 17 17. 27 cm Hg eingeschaltet: aus dem Holz kommt viel Luft, der Index weicht zunächst zurück; dann 2,7 4,3 5 5 5,5 5,5 6 6. Hg ausgeschaltet: 29 22 19 17 16 15,5 14,5 14,5.
Zweig neu aufgesetzt: 13,5 13,5. 27 cm Hg eingeschaltet; aus dem Holz kommt viel Luft, der Index weicht zurück, dann 0,7 1 2 2,7 3,5 3,5 3,5 4 4 4,5 4,5 4,5 4,5; 4,5 (40′). Hg ausgeschaltet: 32 20 17 15 14 13 12 12,5.

192. 12. Juni. Syringa am Doppelpotometer, Saugzweig 35 cm, Schaltzweig 35 cm lang. Saugzweig allein: 20 19. Schaltzweig eingeschaltet: 15 16 17 17 17 17 (aus dem Saugzweig, der nicht weit von der Schnittfläche eine frische Wunde hat, kommt Luft) 12 13 12. Ausgeschaltet: 22 20 20 20 19 19 20.
Dieselben Zweige. Saugzweig allein, ohne das verwundete Stück: 21 20 20. Schaltzweig eingeschaltet: 18,5 19 18,5 19 19 20 20 20,5; 21 (10′); 22 (20′); 22,5 23. Der Schaltzweig saugt wegen des pag. 193 erwähnten Fehlers im Apparat langsam an, saugt aber von der 10. Minute an genau soviel wie der Saugzweig. Ausgeschaltet: 26 27.
Dieselben Zweige. Saugzweig allein: 25,5 25,5 26,5 27 27,5. Schaltzweig eingeschaltet: 25 25 25 25 25 26 26 26,5 26,5 27 27 27 27,5 27,5 27,5 27,5. Ausgeschaltet: die ersten 5′ fehlen; dann 30 31.

195. 16. Juni. Syringa am Doppelpotometer, dieselben Zweige wie vorher, doch der Schaltzweig durch heißes Wasser tags zuvor getötet. Der Saugzweig vermag durch diesen toten Schaltzweig nicht durchzusaugen. Saugzweig allein: 33 32 32; Schaltzweig eingeschaltet: 30 27 26 26 23 22; 12,5 (12′). Der Saugzweig verliert viel Luft aus dem Holz. Ausgeschaltet: 51 44 37 34 32 29 29 28 27.

Ergebnis: Wenn der Druck, unter dem das Wasser an der Schnittfläche steht, durch Heben von Quecksilber allmählich erniedrigt wird, so nimmt die Saugung allmählich ab, unter fortwährendem Luftaustritt aus den Gefäßen. Bei einer gewissen Höhe der gehobenen Quecksilbersäule scheint die Saugung ganz stillzustehen. Der Luftaustritt aus dem saugenden Zweig weist aber daraufhin, daß das nicht der Fall ist, sondern daß dem Volumen nach ebensoviel verdünnte

Luft aus dem Zweig austritt als Wasser in ihn eintritt. Und diese Menge ist mit dem Potometer nicht zu messen, weil der Ersatz von Wasser durch Luft im T-stück neben dem Fuß des Zweiges sich vollzieht. Bei plötzlicher beträchtlicher Verminderung des Druckes an der Schnittfläche fällt die Saugung plötzlich, mitunter infolge starken Luftaustrittes so weit, daß der Index zurückweicht; mit der Zeit kann die Saugung dann wieder zunehmen, doch bleibt sie, wenn die Druckerniedrigung bedeutend ist, immer unter dem Wert, den sie bei normalem Druck hatte. Auf die verhältnismäßige Größe der Saugkraft läßt sich aus all dem kein Schluß ziehen, weil die am Potometer beobachtete Saugung immer nur die Resultante aus wirklicher Wasseraufnahme und Luftverlust darstellt, und weil nicht bekannt ist, ob der aktive Querschnitt der Schnittfläche nach der Druckverminderung derselbe ist wie vorher.

Bei plötzlicher Wiedererhöhung des Druckes an der Schnittfläche ist die Saugung immer für einige Minuten über das Maß hinaus gesteigert, das sie vorher bei normalem Druck zeigte. Das deutet auf eine Erniedrigung des Innendruckes, auf eine Steigerung der Saugkraft hin. Wenn, wie es in den Versuchen immer geschah, durch Abschälen der Rinde an dem ins Potometer tauchenden Achsenstück das Interzellularensystem des Sprosses zur Hauptsache ausgeschaltet wird, dann stammt die austretende Luft aus den Gefäßen und demonstriert durch ihre Ausdehnung ohne weiteres die Erniedrigung des Innendrucks in der Pflanze, also die Erhöhung der Saugkraft.

Im übrigen ist die Methode der Verminderung des Außendruckes augenscheinlich nicht geeignet, die Vergrößerung der Saugkraft am Potometer quantitativ vor Augen zu führen, und zudem ließe sich unter den günstigsten Verhältnissen die Saugkraft um keinen größeren Betrag als um den des Barometerdruckes vermehren. Dieser Fall wäre verwirklicht, wenn sich zeigen ließe, daß ein Zweig nach Hebung einer Quecksilbersäule bis zum Barometerstand noch ebensoviel Wasser saugte, wie unter normalem Druck. Tatsächlich verdeckt aber die Luftausscheidung aus dem Holz die Wassersaugung schon bei beträchtlichen positiven Außendrucken.

b) Die Bedeutung der Zweiglänge für die Saugung.

Nach Einschaltung eines Schaltzweiges am Doppelpotometer ist immer zu beobachten, daß die Saugung des Saugzweiges sich vermindert, aber in dieser Stärke sich bis zum Grund des Schaltzweiges fortpflanzt. Daraus könnte man den Schluß ziehen, daß der Saug-

zweig nicht imstande ist, nach der Vermehrung der Widerstände seine Saugkraft genügend weit zu steigern, um einen Transpirationsstrom von der ursprünglichen Geschwindigkeit zu unterhalten. Und dann fragt es sich, ob auch ein blattloses Zweigstück, das mit dem transpirierenden Gipfel noch in organischem Zusammenhang steht, ebenso durch Vermehrung des Widerstandes die Saugung herunterdrückt, wie ein mit Glas und Gummi angekoppeltes Stück, mit anderen Worten, ob ein beblätterter Gipfel durch ein langes blattloses Zweigstück weniger saugt als durch ein kurzes. Leider läßt sich nur die Verkürzung des Zweiges studieren, nicht die Verlängerung. Es scheint ja theoretisch möglich einem langen, oben beblätterten Zweig durch zwei seitliche, in verschiedener Höhe abgehende, genau gleichstarke und genau übereinander stehende Zweigstümpfe anstatt durch die untere Schnittfläche das Wasser zuzuführen und zu beobachten, ob die Saugung des oberen Seitenzweiges stärker ausfällt als die des unteren. Aber es ist mir nicht gelungen, brauchbare Objekte für diesen Versuch zu finden.

1. Die Wirkung der Zweiglänge bei Pumpensauguug.

Zunächst ist es wichtig zu wissen, ob bei künstlicher, durch eine Pumpe hervorgerufener Saugung die Widerstände der einzelnen Teile eines lebenden Zweiges sich in derselben Weise addieren wie in einer toten Röhre. Um das zu erfahren, müssen die Filtrationsgeschwindigkeiten verglichen werden, die eine Pumpe bei konstanter Saugkraft in langen und kurzen Zweigen hervorbringt.

In den Verbindungsschlauch zwischen der Wasserstrahlluftpumpe und dem oberen Ende des auf dem Potometer stehenden Zweigstückes war ein Manometer in Form einer U-förmig gebogenen, teilweise mit Quecksilber gefüllten Röhre eingeschaltet. Die Differenz zwischen den Hg-Säulen in den beiden Schenkeln der Röhre ist in den Protokollen als Manometerstand angegeben.

234. 6. August. Ein einjähriger, 72 cm langer Schößling von Syringa erst entlaubt, dann abgeschnitten. Mit dem dünneren Ende, also in inverser Lage, aufs Potometer gesetzt. Manometerstand durchweg 65 cm Hg. Ganzer Zweig, 72 cm lang: 68 71 70 70 70. Der Zweig wird halbiert, die dünnere Hälfte bleibt auf dem Potometer: 103 104 103 103 104. Die dickere Hälfte aufgesetzt: 190 190 189 ? 168.

235. 7. August. Wie vorher, 80 cm lang. Manometer 65 cm. Ganzer Zweig: 29 27 26 26 26. Der Zweig wird halbiert, die Teilstücke werden mit Hilfe eines doppelt U-förmig gebogenen, wassergefüllten Glasrohres, in das sie mit Gummistrümpfen eingesetzt sind, aneinandergekoppelt. Auf diese Weise wird verhindert, daß die aus dem unteren Stück austretende Luft sich an der Schnittfläche des oberen ansammelt. Die Pumpe saugt durch die verbundenen Stücke: 27 26 25 25 24 24. Das dickere Stück wird allein aufgesetzt: 80 76 74. Die dünnere

Hälfte allein: 62 59 54 52. Die dünnere Hälfte, 40 cm lang, wird nochmals halbiert. Davon das dickere Stück, 20 cm lang, aufgesetzt: 245 225 210. Das dünnere Stück: 87 78 75 70.

239. 11. August. Wie vorher, 62 cm lang. Manometer 65 cm. Der ganze Zweig: 164 163. Der Zweig zerlegt in zwei ungleiche Stücke, diese wie vorher wieder miteinander verbunden. Aus dem unteren Stück tritt keine Luft aus: 170 160 160 153. Der dickere Teil allein, 40 cm lang: 283 277 280. Der dünnere Teil allein, 22 cm lang: 425 405 370.

Ergebnis: Wenn ein Zweig, an dem die Pumpe saugte, verkürzt wird, so saugt die Pumpe durch das Teilstück immer bedeutend mehr als durch den ganzen Zweig. Die Widerstände der einzelnen Zweigteile addieren sich demnach augenscheinlich.

Genauer betrachtet, müssen die reziproken Werte der Saugungsgrößen sich verhalten wie die Widerstände. Die Widerstände der beiden Teilstücke geben zusammen den Widerstand des ganzen, unzerlegten Zweiges, falls durch das Anbringen der Schnittflächen keine neuen Widerstände eingeführt werden. Wenn also die reziproken Werte der Saugungen, die bei den Teilstücken gemessen sind, addiert werden, so muß die Summe gleich dem reziproken Wert der Saugung des ganzen Zweiges sein. Das stimmt tatsächlich in manchen Versuchen ziemlich genau.

Z. B. in **239**:

$$\frac{1}{164} = 0{,}0061, \quad \frac{1}{280} + \frac{1}{400} = 0{,}0036 + 0{,}0025 = 0{,}0061.$$

235. $\frac{1}{62} = 0{,}016.$

$$\frac{1}{245} + \frac{1}{87} = 0{,}0041 + 0{,}0115 = 0{,}0156.$$

234. $\frac{1}{70} = 0{,}0143$

$$\frac{1}{103} + \frac{1}{190} = 0{,}0097 + 0{,}0053 = 0{,}0150.$$

In anderen Versuchen, z. B. in der ersten Hälfte von 235, stimmen die reziproken Werte aber gar nicht. Ebenso steht es mit der Saugung von aneinander gekoppelten Stücken; in den mitgeteilten Versuchen 235 und 239 saugt der Zweig nach der Halbierung so viel wie vorher, in zahlreichen anderen Versuchen dagegen war die Saugung nach der Zerlegung viel geringer. Es kommt also vor, daß durch die Anbringung neuer Schnittflächen in den Widerständen sich nichts wesentliches ändert, aber in anderen Fällen treten solche Änderungen ein.

Bei der doch ziemlich geringen Zahl von Versuchen und bei der Art des Gegenstandes darf wohl den Fällen, die mit der Berechnung übereinstimmen, das meiste Gewicht beigemessen werden; sie sind wohl die am günstigsten ausgefallenen, die nicht durch Fehler der Operation verdorbenen. Und deshalb kann man sagen, daß die Filtrationswiderstände sich im lebenden Holz genau so verhalten, wie in toten Röhren, daß sich die Widerstände der einzelnen Zweigteile glatt addieren.

Die Methode der Summation der Widerstände durch Berechnung der reziproken Werte ist einer allgemeineren Anwendung fähig als die sonst angewandte, wobei das Verhältnis der Widerstände aus dem Verhältnis der Zweiglängen berechnet wird. Denn bei der ersten spielen Unterschiede in der Leitfähigkeit der Teile keine Rolle, während bei der zweiten die Annahme gemacht werden muß, daß die verglichenen Zweigstücke in der Leitfähigkeit — d. h. in der Größe des aktiven Querschnittes, im Luftgehalt der Gefäße usw. — einander gleich sind. Tatsächlich hat Ewart (1905, pag. 84; 1907, pag. 342) bei homogenen Zweigen gefunden, daß die Widerstände der Länge der Zweige genau proportional sind, daß sich also die Teilwiderstände genau addieren.

2. Die Wirkung der Zweiglänge bei Blättersaugung.

283. 13. Okt. Zweig von Lycium, 3 m lang, mit 2 m langem blattlosem Stück: 23 23 22. Der Gipfel, 110 cm lang, abgeschnitten. Das 190 cm lange blattlose Stück saugt für sich: 3 3. Nun die Wasserstrahlluftpumpe an das obere Ende angesetzt, das Quecksilber steigt im Manometer auf 65 cm: 35 36 36 36. Der Zweig von 190 auf 50 cm verkürzt, mit der Luftpumpe verbunden. Manometerstand 65 cm: 140 135 137 136. Der beblätterte, 110 cm lange Gipfel, der in Luft abgeschnitten worden war, war unter Wasser etwas gekürzt worden und stand seitdem (seit 40′) in Wasser. Jetzt wieder aufgesetzt: 21 22 22.

Der beblätterte Gipfel saugt also, wenigstens wenn Saugung und Transpiration im Gleichgewicht sind, durch ein langes blattloses Stück hindurch ebensoviel wie durch ein kurzes, während die Luftpumpe, wie immer, durch ein langes Stück viel weniger saugt als durch ein kurzes. Der Gipfel überwindet augenscheinlich den Widerstand des langen Zweiges ebenso leicht wie den des kurzen. Ob das ohne Veränderung der Saugkraft abgeht, muß in der Weise untersucht werden, daß die Saugung der verkürzten Zweige so bald wie möglich nach der Kürzung gemessen wird.

241. 18. Sept. Zweig von Lycium, 250 cm lang, der reich beblätterte Gipfel 1 m lang: 93 93 94 91 92 93 92. Der 1 m lange Gipfel abgeschnitten, für sich aufgesetzt. 5′ nach dem Abschneiden: 95 95 94 90 90 87 84 84 82 87 87 84. Der blattlose Zweig saugt noch jetzt, 20′ nach dem Abschneiden des

Gipfels: 6. Der ganze Zweig saugte dann ohne den blattlosen Teil: 92 — 6 = 86. Dem gegenüber saugt der Zweig nach der Verkürzung erst 95, später nnr noch 87.

125. 26. Juli. Zweig von Cornus alba, 66 cm lang, seit $^1/_2{}^h$ im Zimmer: 17,5 17 18 17,5 17,5. Der 26 cm lange beblätterte Gipfel unter Wasser abgeschnitten, rasch aufs Potometer aufgesetzt: 17,5 17,5 16,5 16.

126. 26. Juli. Zweig von Syringa, 67 cm lang, mit vier Blättern: 7,2 6,8 8 7 6,8. Der 20 cm lange Gipfel unter Wasser abgeschnitten, rasch aufgesettz: 6 6,7 6,8 6,5 7,5 7 7 7,5 7.

191. 12. Juni. Zweig von Syringa, 85 cm lang, frisch geholt: 65 54 47 44 40 38. Der 35 cm lange Gipfel allein: 39 35 33.

236. 8. August. a) Zweig von Syringa, 78 cm lang, seit 2^h im Zimmer: 15 16,5 15,5 16 15,5. Schnittfläche unter Wasser erneuert, wieder aufgesetzt: 21,5 20 19 18. Der 35 cm lange Gipfel unter Wasser abgeschnitten, aufgesetzt: 24 22 20 20; 18 (18') 18 18.

b) Zweig von Syringa, 115 cm lang, seit $2^1/_2{}^h$ im Zimmer: 23,5 22,5 22 21. Schnittfläche unter Wasser erneuert, wieder aufgesetzt: 23,5 21,5 20. Der 40 cm lange Gipfel unter Wasser abgeschnitten, aufgesetzt: 23 22 21 20 20 20 19 19 19 19 19 18 18 18.

Ergebnis: Schon die Erneuerung der Schnittfläche kann die Saugung für kurze Zeit in die Höhe treiben, wahrscheinlich durch Öffnung von Gefäßelementen, die verdünnte Luft enthalten. Wenn also nach dem Abschneiden eines ziemlich langen blattlosen Zweigstückes der beblätterte Gipfel zunächst etwas stärker saugt als vorher, solange er durch den blattlosen Teil durchsaugen mußte, so kann das schon auf der Anbringung einer neuen Schnittfläche beruhen. Im allgemeinen ist die Steigerung der Saugung nach der Verkürzung des Zweiges so gering und von so kurzer Dauer, daß sie wohl zu einem guten Teil auf die Erneuerung der Schnittfläche zurückgeführt werden darf. Eine dauernd stärkere Saugung, entsprechend dem Verhalten des Saugzweiges am Doppelpotometer nach der Ausschaltung des Spaltzweiges, ist nach der Verkürzung jedenfalls nicht vorhanden.

Nun ist die Möglichkeit denkbar, daß das angekoppelte Stück sich so abweichend verhält infolge der Unterbrechung des lebendigen Zusammenhanges mit dem Saugzweig. Das läßt sich prüfen durch Abtöten eines kleinen Teiles des blattlosen Stückes eines unzerlegten Zweiges.

246. 21. Sept. Stengel von Aster Novi Belgii, 170 cm lang, mit 1 m langem beblättertem Gipfel, seit 3^h im Zimmer. Aufrecht: 114 113 113; 108 (10'); 108 (15'). Wagrecht, der Gipfel kann wohl schlechter transpirieren: 91 92 92 92 92.

Unter den blattlosen Teil, 70 cm von der Schnittfläche entfernt, wird ein Becherglas mit Wasser, 5 cm im Durchmesser, geschoben, und das Wasser wird durch eine Bunsenflamme zum Kochen erhitzt, so daß der Zweig im Laufe von 12 Minuten verbrüht wird; nach dem Versuch erweist sich die gebrühte Zone ganz tot.

Saugt während des Brühens: 99 99 ? 97 91 ? ? (der Zweig wird gedreht) 86 89 92 91 91. Die Dampfentwicklung hört auf, der Zweig bleibt noch wagrecht: ? 86 80 77 73. Der Stengel wird aufgerichtet: 73 76 76 76 79 78 77 79 79 79.

Das obere, beblätterte Stück ohne die gebrühte Zone, 90 cm lang, abgeschnitten, mit Glas und Gummi auf das untere, blattlose, 80 cm lange Stück aufgesetzt: 53 61 64 67 69 70 71. Es tritt viel Luft aus den Gefäßen des Schaltstückes, deshalb wird das Saugstück tiefer in das wassergefüllte verbindende Glasrohr eingeschoben: 60 60 60 60 60 60 60 62 59 58 58 58 58.

Von dem Schaltstück wird der untere, 55 cm lange Teil abgeschnitten, der obere, 25 cm lange, der die getötete Zone enthält, bleibt mit dem Saugzweig in Verbindung und wird aufs Potometer gesetzt: 76 73 71 69 68 70 68 68.

250. 23. Sept. Stengel von Aster, 175 cm lang. Wagrecht über ein Becherglas mit Wasser gelegt: 66 63 62 60 60 60 60 59 60 58. Die Bunsenflamme unter dem Becherglas für 20' angezündet; die gebrühte Zone, 95 cm vom Grunde entfernt, ist nach dem Versuch ganz tot. Während des Brühens: 58 60 65 68 70 72 67 69 69 70 70 70 83 78 90 88 81. Die Steigerung der Saugung rührt jedenfalls von der durch die hohe Temperatur verursachten Transpirationsmehrung her. Jetzt die Flamme ausgelöscht: 88 94 68 59 57 55 55 55 54 55 55.

Eine so deutliche, bleibende Verminderung der Saugung, wie sie am Doppelpotometer beim Einschalten des Schaltzweiges eintritt, wird durch die Abtötung eines unter dem beblätterten Gipfel liegenden Achsenstückes nicht hervorgerufen. Wenn sich also der Widerstand eines angekoppelten Achsenstückes in anderer Weise fühlbar macht als der eines Stückes, das mit dem saugenden Gipfel in ungestörtem Zusammenhang steht, so kommt es hierbei auf die anatomische, nicht auf die physiologische, durch lebende Zellen vermittelte Kontinuität an.

Die Ankoppelung eines Zweigstückes an einen saugenden Pflanzenteil hat eben, wie schon hervorgehoben (vgl. pag. 199), die Wirkung, daß unter der Schnittfläche des oberen, beblätterten Stückes der Druck erniedrigt wird. Damit wird der Luft in den Interzellularen und in den Gefäßen der Zutritt zur Schnittfläche eröffnet. Und der Luftaustritt aus der Schnittfläche hat zur Folge, daß eine kräftige Wassersaugung weder an der Schnittfläche deutlich gemacht noch durch einen angekoppelten Zweig hindurch fortgepflanzt werden kann.

Wenn ein beblätterter Gipfel durch ein kurzes blattloses Achsenstück nicht mehr saugt als durch ein langes, sich also ganz anders verhält als eine Pumpe, so zwingt das keineswegs zu dem Schluß, daß der Widerstand des langen Achsenstückes durch Kräfte überwunden wird, die außerhalb des beblätterten Gipfels, in dem blattlosen Achsenstück selber liegen. Bis nämlich der unter Wasser abgeschnittene Gipfel

wieder auf dem Potometer sitzt und seine Saugung abgelesen werden kann, vergehen immerhin 2—3 Minuten. In der Zeit kann ganz wohl die Saugkraft sich soweit vermindern, daß durch das kurze Achsenstück nur noch soviel gesaugt wird wie vorher durch das lange. Das erste kräftige Saugen, das der unverminderten Saugkraft bei verkleinertem Widerstand entspricht, kommt eben bei der Versuchsanstellung gewöhnlich nicht zur Beobachtung; im Versuch 241, wo der Ausgleich wegen der Länge der beblätterten Zone mehr Zeit in Anspruch nimmt, kommt die Verminderung der Saugkraft vielleicht zum Ausdruck. Eine dauernd kräftigere Saugung nach der Kürzung kann aus dem Grund nicht zustande kommen, weil der Gipfel nicht lange mehr saugt als er transpiriert und seinen Transpirationsverlust auch vor der Kürzung des blattlosen Stückes decken konnte. Die Versuche zeigen also nur, wie leicht saugende Blätter über die Widerstände im Holz Herr werden und wie rasch die Saugkraft der Blätter sich geringen Änderungen der Widerstände anpaßt.

c) Die Bedeutung der Lage des Objektes für die Saugung.

Es ist oben darauf hingewiesen worden, daß lebende Objekte in jeder Lage gleich viel saugen, bei inverser Stellung nicht mehr als bei aufrechter (pag. 183) und daß bei toten Blättern sich eine Wirkung der Lage sehr wohl bemerkbar macht (pag. 196). Es handelt sich nun noch darum, das Verhalten der Pumpensaugung kennen zu lernen.

221. 29. Juli. Blattloser Zweig von Syringa, 59 cm lang, mit der Pumpe verbunden. Zweig aufrecht: 18 17,5 17 16. Zweig horizontal: 19,5 19 18,5 18. Aufrecht: 15.
Ein 36 cm langes Stück des vorigen Zweiges. Aufrecht: 43 45 44. Wagrecht: 50 49; 47 46 45 45. Aufrecht: 42 43 41 41 41 42 41. Aufrecht: 44 43 44 43.

Ergebnis: Bei gleichem Manometerstand saugt die Pumpe durch den aufrechten Zweig deutlich weniger als durch den wagrecht liegenden.

Das spricht entschieden gegen die Annahme, auf der Leclerc du Sablon seine Theorie des Saftsteigens aufbaut. Er setzt im Holz einen Gleichgewichtszustand von der Art voraus, daß die Wasserhebung im aufrecht stehenden Baum nicht mehr Kraft erfordert als die Wasserverschiebung im horizontal liegenden Stamm.

Wenn am lebenden beblätterten Zweig die Größe der Saugung durch die Lage nicht beeinflußt wird, ist das in derselben Weise zu deuten wie es oben für den Einfluß der Zweiglänge geschah: Die Saugkraft der Blätter paßt sich der Veränderung der Widerstände mit

großer Geschwindigkeit an. Bei toten Blättern ist die Saugkraft gering und nicht rasch veränderlich, bei der Pumpe ist sie vollends ganz konstant; und deswegen kommt hier jede kleine Veränderung der Widerstände in der Größe der Saugung zum Ausdruck.

Wenn eine beträchtliche Steigerung der Saugkraft herbeigeführt und zugleich am Potometer demonstriert werden soll, darf nicht der Außendruck erniedrigt werden, sondern es müssen in dem saugenden Pflanzenteil die Widerstände, die der Wasserbewegung sich entgegenstellen, vermehrt werden, entweder gleich an der Schnittfläche oder weiter im Inneren. Die Aufnahme des Wassers wird erschwert, wenn die offene Schnittfläche durch ein Stück nackten, aber nicht verwundeten Holzkörpers ersetzt und die geöffneten Leitbahnen dicht verschlossen werden. Ins Innere eines Zweiges oder Blattstieles kann ein Widerstand hineinverlegt werden durch Klemmen, besonders wenn isolierte, in Parenchym eingebettete Bündel vorhanden sind, und durch tiefes Einkerben, wenn es sich um einen geschlossenen Holzkörper handelt.

d) Steigerung des Widerstandes durch Klemmen.

Am wenigsten gewaltsam und auch leicht rückgängig zu machen ist der Eingriff bei der Methode des Klemmens, die von Vesque (1884, pag. 194), Kohl (1885, Sp. 522, abgedruckt 1886, pag. 118), Fr. Darwin und Philipps (1886, pag. 365), Strasburger (1891, pag. 604) angewendet worden ist. Die Autoren berichten übereinstimmend, daß ein vollständiger Stillstand der Wasserbewegung auch durch sehr starkes Quetschen kaum herbeigeführt werden kann (so besonders Strasburger, der nicht die Menge des aufgenommenen Wassers bestimmte, sondern nur abwartete, ob Welken eintrat), daß aber doch leicht eine bedeutende Verminderung der Saugung zu erreichen ist und daß nach Aufheben der Klemmung, also nach Beseitigung des lokalen Widerstandes, der Transpirationsstrom wieder rascher fließt. Der Erfolg dieser Klemmungsversuche hat also in eindeutiger Weise gegen die Imbibitionstheorie von Sachs entschieden.

Eigene Versuche. Zum Klemmen krautiger Stengel und Blattstiele wurden metallene Klemmschrauben (Quetschhähne) verwendet, deren Schraube mit der Zange meist soweit angezogen wurde, daß die Balken der Klemme sich verbogen; vorher ließ sich eine beträchtliche Verminderung der Saugung nicht erreichen. Zwischen die beiden drückenden Balken und die Pflanze wurden meist sehr dünne Korkplättchen eingelegt und so die Gewebe vor dem Zerschnittenwerden durch die scharfen Balkenränder geschützt; waren die Korklamellen mehr als 1 mm dick, so war es nicht möglich, die Klemme genügend fest anzuziehen. Die geklemmten Stellen wurden unter Saftaustritt zu einem

dünnen Band zerquetscht. — Alle Objekte waren im Garten unter Wasser abgeschnitten.

Wenn eine Steigerung der Saugkraft durch irgend ein Mittel herbeigeführt und dargetan werden soll, ist natürlich darauf zu achten, daß nicht außerdem die Transpiration wesentlich befördert wird. Die Temperatur war nun sehr konstant, die Lichtstärke nahm in dem nach Osten gelegenen Arbeitszimmer im Laufe des Tages, und vollends gegen Abend, eher ab als zu. Zudem besteht bei Pflanzen, denen die Wasserzufuhr erschwert wird, die Tendenz durch Spaltenschluß die Transpiration zu vermindern. Auf genaue Bestimmung des Verhältnisses zwischen Saugung und Transpiration kam es nicht an, es wurden deshalb weder die Außenbedingungen registriert noch die Transpiration direkt gemessen.

Lebende Objekte.

363. 27. Mai. Blatt von Helleborus niger. Stiel 15 cm lang. 12 12 11 12. Stiel geklemmt, 6 cm über dem Grund: 0,8 2 2,2 3; 5,7 (11') 5,8; 6,8 (16') 6,7; 7,5 (23') 8; 8,5 (31'); 9 (46') 9,3 9,3 9,3 9,3.

364. 28. Mai. Blatt von Helleborus, Stiel 18 cm lang: 19,5 18 16,5. Geklemmt, 8 cm über dem Grund: 1,8; 3,8 (3'); 5,3 (13'); 6,8 (30'); 7 (54'); 7,3 (1^h 20'); 7,3 (1^h 40').

378. 2. Juni. Blatt von Helleborus, Stiel 12 cm lang: 13 12. Geklemmt, $2^1/_2$ cm über dem Grund: 4,8. Schärfer geklemmt: 3,2 4,5; 8,3 (15'); 9 (25'); 8,5 (35'). Noch schärfer geklemmt: 3,5 3 3,8 3,7; 4 (10'); 4,5 (25'); 3,8 (3^h); 3,8 (3^h 40').

379. 2. Juni. Blatt von Helleborus, Stiel 15 cm lang: 22 20. Geklemmt, $2^1/_2$ cm über dem Grund: 7,8. Schärfer geklemmt: 7 8,3 10 10 10,5 11 11,5 13,5 (15'); 14 (24') 14,5 14,5; 14,5 (45').

380. 2. Juni. Blatt von Helleborus: 16 16. Geklemmt: 10,5 12 12. Schärfer geklemmt: 12 12 12,5; 13,5 (10'); 14 (37').

390. 19. Juni. Blatt von Helleborus. Saugt frisch: 18. Mit geklemmtem Stiel: nach anfänglicher starker Verminderung 5,8, 5^h später nur noch 3,5. Jetzt die Klemme geöffnet. Zuerst in je $^1/_4$': 22 20 19 17, also in der ersten Minute zusammen 78. Dann weiter in je 1': 70 64 56 53 49 44 40 39 36 (10') 32 31 28 ? 23 24 21 22 21 20 (20') 18 18 17; 15 (30'); 13 (35'); 11 (50'); 10 (1^h).

367. 19. Mai. Blatt von Aesculus, Stiel 20 cm lang: 26 25. Geklemmt, 12 cm über dem Grund: 1 1,8 2,2 3 4; 6,5 (30'); 6,5 (1^h 10'). Das Blatt welkt.

368. 29. Mai. Blatt von Aesculus: 18,5 17 16 16,5. Geklemmt: 2; 6 (40'); 5,3 (1^h) 5 5.

370. 29. Mai. Stengel von Lythrum salicaria, 44 cm lang, mit 7 entwickelten Blattpaaren: 16 15,5 15 15,5 15,5. Geklemmt, 4 cm über dem Grund: 3 4; 5,3 (6'); 9 (30'); 9,5 (50'); 9,5 (1^h 30'). Ist noch frisch.

131. 26. Juli. Stengel von Epilobium parviflorum, 38 cm lang, mit 10 Blattpaaren: 10,5 10,5 10 10. Geklemmt, Schraube mit der Hand zugedreht: 9,5 9,5 9,5 10 10 10. Bleibt über Nacht geklemmt, saugt am nächsten Morgen: 6,5 6,5 6,5 6,5 6,5. Klemme geöffnet: 16 14 13 12 11,5 11,5; 10 (10'); 9,5 (15'); 8,5 (1^h); 8 (2^h); 7,5 (4^h).

403. 30. Juni. Stengel von Aster, 1 m lang: 51 49. Zwei Klemmen angelegt, 2 cm übereinander, senkrecht zu einander orientiert: 5 9 11 13,5 14 18 19

19,5 20,5 21 (10') 21,5 21,5 23,5 23 23,5 25 25 26 26 26,5 (20'); 30 (30'); 34 (45'); 42 (1h 40').

400. 29. Juni. Wie vorher. Frisch: 100. Doppelt geklemmt: 18,5 21,5 23,5 24 24 25,5; 28 (19'); 31 (32'). Klemmen enger geschraubt: 20 21 21; 26 (45'); 37 (2h 30').

Tote Objekte.

384. 17. Juni. Blatt von Helleborus, Lamina mit Chloroform getötet, Stiel lebend: 9 9. Stiel geklemmt: 1,7 2,3 2,8 2,4 2,8 3 3; 4 (30'); 4,2 (1h 30'); 5,5 (3h).

385. Wie vorher: 7 6,6 6,7. Stiel geklemmt: 2; 5 (8') 5 5. Schärfer geklemmt: 3,2 3,3 3,5; 4 (15'); 4,5 (30'); 5,2 (2h).

Ergebnis: Durch scharfes Anziehen der Klemmschraube wird die Saugung zunächst sehr weit heruntergedrückt, sie steigt aber gleich wieder langsam an, auch bei toten Objekten, um nach etwa 1h oder später ein Maximum zu erreichen, das der Saugungsgröße vor dem Klemmen nicht gleich kommt[1]). Durch schärferes Klemmen während des Ansteigens der Saugung läßt sich die Saugung wieder zurückwerfen, um von neuem sich zu vergrößern. Wird die Klemme geöffnet, so ist zunächst die Saugung bedeutend vermehrt, nimmt aber mit der Zeit langsam ab.

Die Deutung kann wohl nur die sein: wenn durch das Klemmen ein bedeutender Widerstand eingeführt wird, vermag die zunächst noch geringe Saugkraft nur wenig Wasser durch die blockierte Stelle zu befördern. Durch das Mißverhältnis zwischen Transpiration und Wasseraufnahme wird die Saugkraft allmählich erhöht, und so wird die Filtrationsgeschwindigkeit bei gleichbleibendem Widerstand immer größer. Wenn die Transpiration sich mit der zuletzt erreichten maximalen Saugung ins Gleichgewicht zu setzen vermag, bleiben die Blätter frisch. Ist der Widerstand so groß, daß die maximale Saugung sehr gering ist, so tritt Welken ein. Die Wasserentnahme aus den Gefäßen wird gleich nach dem Klemmen bedeutend größer sein als die Saugung an der Schnittfläche; erst wenn die Gefäße weit entleert sind, wird eine kräftige Saugung sich über die Klemme weg fortpflanzen.

e) Steigerung des Widerstandes durch Einkerbung.

Die Wirkung einfacher und doppelter Einkerbung ist am genauesten von Fr. Darwin und Philipps studiert worden. Sie fanden, daß bei Anbringung einer bis über die Mitte des Holzkörpers gehenden Kerbe

1) Kohl und ebenso Darwin und Philipps haben das Ansteigen der Saugung nicht beobachtet, weil ihre Versuche zu kurze Zeit dauerten.

die Saugung kaum vermindert wurde, daß sie aber durch eine zweite, von der entgegengesetzten Seite ebenfalls über die Mitte eindringenden Kerbe weit heruntergedrückt wurde, um sich dann langsam wieder zu vergrößern. In der Längsrichtung zusammenhängende Leitbahnen sind nach doppelter tiefer Einkerbung nicht mehr vorhanden, das Wasser muß also zwischen den Kerben quer durchs Holz wandern. Wie es sich aus diesem Grunde erklärt, daß in Hölzern, die nur Gefäße, keine Tracheiden führen, durch die doppelte Einkerbung die Leitfähigkeit viel mehr leidet als z. B. bei Koniferen (Darwin und Philipps, pag. 345), hat besonders Strasburger (1891, pag. 597) dargelegt.

Eigene Versuche. Während die Zweige auf dem Potometer standen, wurden mit dem Messer je zwei in entgegengesetzter Richtung bis über die Mitte reichende Kerben angebracht und meistens mit Plastolin, in den Versuchen 388 und 389 mit geschmolzenem Paraffin verschlossen. Um eine Knickung der Zweige in den Kerben zu vermeiden, wurden die Zweige in einiger Höhe mit Hilfe einer am Potometerstativ befestigten Klemme gefaßt.

Lebende Zweige.

227. 1. August. Zweig von Syringa, 80 cm lang, seit $1^1/_2{}^h$ im Zimmer: 27 26,5 26,5 26. Ein Einschnitt gemacht, 25 cm über dem Grund: 10,5 17 19 20 21 21,5 22 22,5 23 23 23,5 24 24 24 24 24 24 24 24,5 24,5 25,5 25,5 25,5 25,5. Ein zweiter Einschnitt gemacht, 7 cm unter dem ersten, entgegengesetzt: 3,5 4,5 6 6,5 7 7 8 8 8,5 9 9,5 9,5 10 10 10 11 11 11 11 11,5 11,5 11,5 12,5 12,5 12,5 13 13 13,5 14; 16 (50') 16,5 16,5; 12 (4^h).

276. 10. Okt. Zweig von Syringa, 80 cm lang: 28 27. Eine Kerbe, 11 cm über dem Grund: 19 24 27 26 26 26. Eine zweite Kerbe, 16 cm über der ersten: 13; 24 (10'); 25 (20'). Eine dritte Kerbe, 7 cm über der zweiten: 13 20 22 23 23 23,5 23,5 23. Die oberste Kerbe vertieft: 21 23. Die untere Kerbe vertieft: 16 19 19,5 20. Die mittlere Kerbe vertieft, bis über die Mitte: 6 10 11 12 13 13 12 14,5 14,5 14,5 15 15 15,5 16 16 16 17 17 17 17 18 18,5 18,5 19 19 19 19 19 20 19,5 19,5 19,5 19,5 20 20,5 (35'); 22 (45'); 23,5 (1^h 20').

278. 11. Okt. Zweig von Syringa, 80 cm lang: 20 20 20. Zwei Kerben gemacht, die erste 27 cm über dem Grund, die zweite 6 cm über der ersten: 7 9 12. Die erste Kerbe vertieft: 12 14 13 14; 16,5 (15'). Beide Kerben noch etwas vertieft: 6 6; 8 (10'); 11 (25'); 12,5 (40'); 17 (3^h).

279. 12. Okt. Zweig von Syringa, 70 cm lang: 21 21 22; 22 (40'). Zwei Kerben gemacht: 4; 10 (20'); 13 (37'); 19 (1^h 5') 20 19.

356. 25. Mai. Zweig von Syringa, 45 cm lang: 34 32 31. Zwei Kerben gemacht: a) 10 cm über dem Grund, b) 5 cm über a): 3,3 5 (12'); 6 (22'); 6,5 (30'); 7 (40'); 7,2 (1^h 10'). Ist sehr welk geworden.

388. 18. Juni. Zweig von Lycium, 1m lang: 43 41 41. Zwei Kerben gemacht, 4,5 und 9 cm über dem Grund, mit geschmolzenem Paraffin verschlossen: 10 10; 8 (3^h).

389. 19. Juni. Wie vorher: 50; 47; 43. Zwei Kerben, mit Paraffin verschlossen: 12; 11 (10'); 9,5 (17').

Tote Zweige mit lebenden Blättern.

287. 15. Okt. Zweig von Forsythia suspensa, 95 cm lang, mit 40 cm langem beblättertem Gipfel, von unten her bis auf 50 cm durch Kochen getötet: 7 7 7 7. Zwei Kerben gemacht, 4,5 cm entfernt: 4; 5 (7'); 5,5 (20'); 5,5 (35').

288. 15. Okt. Zweig von Lycium, 135 cm lang, bis auf 70 cm getötet: 5 5 5. Zwei Kerben gemacht, 5 cm entfernt: 1,5 2 2; 3 (2^h 40') 3 2,5 2,5.

290. 18. Okt. Zweig von Lycium, 210 cm lang, lebend: 43; 41 (10'). Nun die unteren 70 cm gekocht; nach dem Erkalten mit erneuerter Schnittfläche aufgesetzt: 19 18 18 18. Zwei Kerben gemacht, a) 7 cm von unten, b) 4,5 cm über a): 3 3 3; 3 (10'); 6 (3^h 30'); am nächsten Morgen, nach weiteren 10^h: 6 6 6,5 6,5 6,5. Viele Blätter sind welk.

357. 25. Mai. Zweig von Syringa, 60 cm lang, im blattlosen Teil auf 25 cm durch Dampf getötet, unterster Teil lebt: 11,5 11,5 11,5. Zwei Kerben im Toten gemacht, a) 18 cm über dem Grund, b) 6 cm über a): 2; 4 (17'); 6,4 (40'); 7 (1^h 10'); 7,5 (3^h 40').

359. 25. Mai. Zweig von Syringa, 70 cm lang, auf 25 cm gebrüht, unterster Teil lebend: 16,5 16,5 16,5 16,5. Zwei Kerben im Toten gemacht, a) 20 cm über dem Grund, b) 6 cm über a): 2,5 2 2; 3 (15'); 9,5 (2^h); 10 (2^h 10').

369. 29. Mai. Zweig von Syringa, 75 cm lang, im blattlosen Teil auf 20 cm gebrüht, der unterste Teil lebt: 38 36 35 34 33. Zwei Kerben im Toten gemacht, 6 cm entfernt: 8; 10,5 (6') 10,5 10,5. Obere Kerbe vertieft: 3,8 3,7 3,7 3,8 4; 5 (20'); 6 (40'); 7,5 (1^h); 8 (1^h 20'); 10 (2^h 30'); 10,5 (3^h); 10,5 (3^h 40').

Tote Blätter.

230. 4. Aug. Zweig von Syringa, 50 cm lang, in Chloroformdampf gehalten. Der untere Teil der Achse lebt sicher noch: 13 13 13. Eine Kerbe gemacht, 19 cm über dem Grund: 5,8 7 7,5 8 8; 8,5 (10'); 10 (25'). Eine zweite Kerbe gemacht, 6 cm unter der ersten: 2; 3 (40'); 3 (1^h).

296. 25. Okt. Zweig von Cornus alba, 55 cm lang, in Chloroformdampf gehalten; der untere Teil der Achse lebt: 5 5 5. Zwei Kerben gemacht: 1,2; 1,5 (1^h); am nächsten Morgen, nach weiteren 14^h: 2,5.

291. 20. Okt. Zweig von Forsythia, 90 cm lang, stand $6^1/_2{}^h$ lang in Formalinwasser, ist bis zur Spitze braun: 10 9 8,5. Zwei Kerben gemacht, 10 und 14,5 cm vom Grund: 2,7; 3 (1^h); 3 (2^h).

294. 25. Okt. Wie vorher, 80 cm lang: 4 4 4. Zwei Kerben gemacht, 5 cm entfernt: 3; 3 (12'); 3 (1^h); 3 (2^h).

Ergebnis: Jede Einkerbung des Holzkörpers vermindert zunächst die Saugung, worauf rascheres oder langsameres Steigen der Saugung eintritt. Dieses Steigen unterbleibt, wenn die Kerben mit geschmolzenem Paraffin verschlossen werden. Durch Vertiefung einer Kerbe wird die Saugung zurückgeworfen, um dann von neuem anzusteigen. Zweige

mit totem, blattlosem Stück und solche mit toten Blättern verhalten sich nicht anders als ganz lebende.

Darwin und Philipps führen die Verstärkung der Saugung nach dem anfänglichen Fallen auf eine Steigerung der Saugkraft zurück, ähnlich wie wir es oben für die gleiche Erscheinung beim Klemmen getan haben. Als Stütze für diese Annahme gilt ihnen das Verhalten blattloser Zweige, an denen eine Luftpumpe oder ein schwächerer Aspirator saugt: hier fällt beim Einkerben die Saugung, ohne sich wieder zu größerer Höhe zu erheben. Ein paar eigene Versuche haben das bestätigt.

An das obere Ende blattloser Zweigstücke, die auf dem Potometer standen, wurde die Wasserstrahlluftpumpe angeschlossen. Ein Quecksilbermonometer zeigte die Konstanz der Pumpwirkung an; die Saugung am oberen Ende betrug 65 cm Hg.

221. 29. Juli. Zweig von Syringa, 59 cm lang: 15 15 15. Eine Kerbe bis zur Mitte gemacht: 12 13,5 12 12,5 12,5 12,5. Eine zweite Kerbe gemacht, 5,5 cm über der ersten: 3,7 3,5 3,8 3,8 3.5 3,5 3,5 3,5 3,5; 3,5 (20').

228. 1. Aug. Syringa, 56 cm lang: 41 42 41 40. Eine Kerbe gemacht: 21 21,5 21 20 20,5 20 20 20. Eine zweite Kerbe, 6 cm über der ersten: 6,4 6,3 6 6 6; 5,7 (18'); 5,5 (1^h).

280. 12. Okt. Syringa, 60 cm lang: 95 92. Zwei Kerben gemacht: 3 3; 2 (40').

Außer der Vergrößerung des Widerstandes durch das Einkerben wirkt wohl noch ein anderer Faktor bei der anfänglichen, bedeutenden Verminderung der Saugung beblätterter Zweige mit. Aus den angeschnittenen Gefäßen können die Blätter das Wasser leicht soweit herausziehen, als Luft nachdringen kann; der Plastolinverschluß wird hier nicht viel ändern, weil er eine Injektion der Gefäße mit dehnbarer Luft nicht rückgängig macht. Und bis diese Teile ausgesogen sind, wird durch die schlecht leitende Zone zwischen den Kerben, oder wenn nur eine Kerbe vorhanden ist, an dieser vorbei, verhältnismäßig wenig Wasser befördert werden.

Auch in der Brücke zwischen den übereinander greifenden Kerben werden gewisse Gefäße und Tracheiden von den Schnittflächen her durch Luft unwegsam gemacht werden. Die Zahl solcher Elemente muß verhältnismäßig um so größer sein, je kürzer die Zone zwischen den Kerben ist. Und tatsächlich wird die Saugung bei gleicher Tiefe der Kerben um so weniger herabgedrückt, je weiter die Kerben auseinander liegen (vgl. Strasburger, 1891, pag. 596, Zitat aus Vesque und pag. 598, Zitat aus Böhm). Die Zahl der Wände, die vom Wasserstrom in der Querrichtung durchwandert werden müssen, wird natürlich von der Länge des zwischen den Kerben liegenden Stückes nicht beeinflußt,

sie hängt nur von der horizontalen Entfernung der übereinander greifenden inneren Kerbenränder ab.

f) Steigerung des Widerstandes durch Verstopfung der Schnittfläche.

Strasburger hat zum Abschluß der Schnittfläche Gummischläuche verwendet, die er unter der Schnittfläche abklemmte (1891, pag. 786). Der Raum zwischen Schnittfläche und Gummi ist dabei wohl zunächst mit Wasser gefüllt, aber bald muß dieses Wasser durch Luft ersetzt werden, die aus dem Holz austritt, von den Gefäßen aufgesogen wird und diese bis weiter nach oben verstopfen kann. Es wurde deshalb die Schnittfläche durch Eintauchen in eine geschmolzene Mischung von etwa gleichen Teilen Paraffin und Kakaobutter verschlossen. Der Gummistrumpf wurde so weit auf den Zweig geschoben, daß ein mehrere Zentimeter langes Zweigstück aus dem Strumpf herausragte. Anfangs wurde von diesem Stück unterhalb des Strumpfes die Rinde bis zur Schnittfläche hinunter abgenommen und der unterste Teil mit Paraffin überzogen. Später wurden die Zweige etwa 1 cm über der Schnittfläche auf 10—15 mm von der Rinde befreit und leicht abgeschabt; an dem nicht entrindeten Fuß des Zweiges haftete der Paraffinüberzug sicherer als an dem nackten glatten Holzkörper, und zudem konnte die von der Rinde entblößte Zone, durch die der Zweig sich weiterhin mit Wasser versorgen mußte, auch während der Anbringung des Paraffinverschlusses feucht gehalten werden. Die mit Paraffin zu überziehende Zone mußte natürlich sorgfältig abgetrocknet werden. Das Abtrocknen, Verschließen und Aufsetzen aufs Potometer nahm höchstens 2 Minuten in Anspruch.

Lebende Zweige.

302. 28. Okt. Stengel von Aster Novi Belgii, 85 cm lang, Schnittfläche offen: 40; 39 (25'); 37 (50') 36 36. Schnittfläche verschlossen: 13 14 13,5; 13.5: 13 (15'); 10 (50').

309. 4. Nov. Aster, 68 cm lang. Verschlossen: 9 9,5 9,5 8 8 8; 6 (30'); 5,5 (1^h 30'); 4,5 (3^h).

332. 11. Mai. Syringa, 85 cm lang. Verschlossen: 12 12 12 12 12 12,5 12 12,5 12 12; 12,5 (1^h).

345. 17. Mai. Syringa, 55 cm lang. Offen: 13 13. Verschlossen: 3,8 3,8 3,8: 1,4 (20').

346. 18. Mai. Syringa, 50 cm lang. Frisch geholt. Offen: 29 27 25 23. Verschlossen: 4,4 4,1 3,8 3,7.

347. 18. Mai. Syringa, 60 cm lang. Seit 1^h im Zimmer. Offen: 11,5 10,5 10,3. Verschlossen: 7,8 7,2 7 7 6,5 6,5.

350. 19. Mai. Syringa, 90 cm lang, reich belaubt. War beim Aufsetzen noch betaut. Offen: 72 70 66 69. Verschlossen: 18,5 17,5 17 16 15,5 15 14,5 15 14,5 14,5 14,5 14,5.

301. 27. Okt. Philadelphus coronarius, 95 cm lang. Seit 1^h im Zimmer. Offen: 25 24 26 26 26 26 26. Verschlossen: 14,5 15 16 16 16 17 17,5 18; 17 (18'); 13,5 (35').

310. 5. Nov. Aster, 105 cm lang. Tags zuvor geholt. Verschlossen: 15 15,5 15,5 15,5 16,5 16 16,5 16,5 16 16,5; 14 (20') 14,5 14.

314. 8. Nov. Forsythia, 90 cm lang. Offen: 14 13 13,5 13. Verschlossen: 6 7 6,8; 8 (15'); 9 (28'); 9,5 (30'); 10 (50'); 10,5 (1^h).

315. 9. Nov. Forsythia, 85 cm lang. Seit $2^1/_2{}^h$ im Zimmer. Offen: 10,5 10 10. Verschlossen: 3,5 4,5 5; 5,5 (20'); 6 (40'); 6 (1^h 35').

325. 6. Mai. Syringa, 50 cm lang. Frisch geholt. Offen: 35 33 31 30 28 28 24. Verschlossen: 9,5 9,5 10 10 10 10 10,5; 11 (25'); 12 (40'); 12,5 12,5 (1^h); 12,5 (1^h 30').

344. 17. Mai. Syringa, 45 cm lang. Abends zuvor geholt. Offen: 28 27 25 24. Verschlossen: 5,5 5,7 5,8 6 6 6; 6,5 (25'); 6,5 (50'); welkt; 6 (1^h).

352. 23. Mai. Syringa, 1 m lang. Abends zuvor geholt. Offen: 16 15,5 15,5 15,5 15 15. Verschlossen: 4,3 4,2 4,3; 5 (8'); 6 (44'); 6,5 (1^h); 6,8 (1^h 25'); 6,8 (2^h 30'); 5,5 (4^h), ist etwas welk.

Tote Zweige mit lebenden Blättern.

306. 2. Nov. Stengel von Aster Novi Belgii, 130 cm lang, auf 65 cm von unten her durch Kochen getötet. Nach 3^h die Schnittfläche erneuert und mit Paraffin verschlossen: 3 3 3; 5,5 (50'); 8 (1^h 30'); 10 (1^h 50'); 11 (2^h); welkt; 11,5 (2^h 20'); 12 (3^h).

307. 3. Nov. Aster, 120 cm lang, auf 65 cm von unten her getötet. Nach 4^h Schnittfläche erneuert und verschlossen. Verschlossen: 2,3 2,2 2,5 2,2 2,2; 7,5 (2^h 20'); 10 (3^h 20').

333. 11. Mai. Syringa, 100 cm lang, auf 50 cm von unten her getötet. Am nächsten Morgen aufgesetzt. Offen: 9,5 9,5. Verschlossen: 1,5 1,7 2 2,1 2,3; 3 (10'); 3,3 (20).

Ergebnis: Nach Verstopfung der Schnittfläche saugen die Zweige durch den entblößten Holzkörper natürlich immer beträchtlich weniger als vorher durch die offene Schnittfläche. Eine nachträgliche Steigerung der Saugung, wie sie nach den Erfahrungen beim Klemmen und beim Einkerben als das regelmäßige Verhalten zu erwarten wäre, findet wohl nicht selten statt, auch bei getöteten Zweigen, aber doch keineswegs immer. Häufiger ist eine kontinuierliche Verminderung der Wasseraufnahme; vgl. auch oben Versuch 388 und 389, wo die Kerben mit Paraffin verschlossen wurden. Eine Erklärung, die über bloße Vermutung hinausginge, konnte bis jetzt nicht gefunden werden. Es sind natürlich verschiedene Möglichkeiten denkbar, wie eine Vermehrung der Widerstände eintreten und das Anwachsen der Saugkraft verdecken könnte.

II. Über die absolute Größe der Saugkraft.

Wenn durch Klemmen, durch doppeltes Einkerben oder durch Verstopfung der Schnittfläche die Widerstände in den Leitbahnen bedeutend vermehrt sind, zeigt oft das Welken und Vertrocknen der Blätter an, daß diese am Ende ihrer Saugkräfte angekommen sind, bevor sie einen Filtrationsstrom erzwingen können, der ihnen den Turgor zu erhalten erlaubt. An solchen Objekten, die starke Widerstände zu überwinden haben, läßt sich also am besten ermitteln, bis

zu welcher Höhe die veränderliche Saugkraft getrieben werden kann. Alles Wasser, das durch den entblößten Holzkörper eintritt, muß zunächst hier die imbibierten Wände passieren und weiterhin noch alle Widerstände der Leitbahnen bis zu den Blättern überwinden. Ebenso wird alles Wasser, das in die Schnittfläche eines geklemmten oder doppelt eingekerbten Zweiges eintritt, über die blockierte Stelle weggeschafft. So viel Wasser aus dem Potometer verschwindet, so viel wird durch alle Widerstände hindurch bis zu den transpirierenden Flächen fortgeführt. Die Menge des aufgenommenen Wassers ist also, soweit es sich um Vergleich handelt, ein genaues Maß für die Filtrationsgeschwindigkeit und damit für die Saugkraft.

Ein Mittel, diese Saugkraft unmittelbar, wie durch Heben von Quecksilber, zu messen, kennen wir nicht. Aber durch die Vergleichung ihrer Wirkung mit der Wirkung einer bekannten Saugkraft läßt sie sich bestimmen. Wenn wir nämlich die transpirierenden Flächen durch Abschneiden entfernen und die Saugung der Blätter durch die Saugung einer Pumpe ersetzen, so lernen wir die Filtrationsgeschwindigkeit kennen, die eine Saugkraft von bekannter Größe bei den gegebenen Widerständen herbeizuführen vermag. Und aus einer einfachen Proportion läßt sich dann die Kraft berechnen, die der saugenden Pflanze zur Verfügung stand.

Zunächst ein Versuch zur Orientierung darüber, ob die Filtrationsgeschwindigkeit wirklich der Saugkraft, d. h. der Druckdifferenz proportional ist. Wenn die Luftpumpe an einem Zweig saugt, liegt auf der unteren Schnittfläche der Barometerdruck, auf der oberen die Differenz zwischen dem Barometerdruck und dem Manometerstand Die Druckdifferenz zwischen der oberen und der unteren Schnittfläche ist also

Barometer — (Barometer — Manometer) = Manometer,

d. h. die Druckdifferenz, die uns interessiert, wird unmittelbar am Manometer abgelesen.

349. Zweig von Syringa, ohne Blätter, 50 cm lang, zum größten Teil tot, mit der Luftpumpe verbunden.

a)	Manometer	59 cm.	Saugung:	14	15.		
b)	„	39 „	„	11	10,5	10,5.	
c)	„	19 „	„	6	5,5	6	5,5.
d)	„	40 „	„	9,5	10	10.	
e)	„	59 „	„	14	14	14.	

a : b) $59 \cdot 10{,}5 = 619.$ $39 \cdot 15 = 585.$
c : d) $40 \cdot 5 = 200.$ $19 \cdot 10 = 190.$
d : e) $40 \cdot 14 = 560.$ $59 \cdot 10 = 590.$

Es besteht also ziemlich genaue Proportionalität zwischen der Saugung des Zweiges und dem Manometerstand.

Das Manometer war 170 cm von der oberen Schnittfläche der Zweige entfernt. Es herrschte aber doch an der Schnittfläche der Druck, den das Manometer angab. Wenn nämlich an Stelle des Zweiges eine vertikale, in Quecksilber tauchende Röhre an den Pumpenschlauch angesetzt wurde, so stieg das Quecksilber hier augenblicklich so weit wie im Manometer. Daß der kurze Gummischlauch, der an dem Zweig oder an der Röhre mit Draht befestigt wurde, durch den Atmosphärendruck gequetscht wurde, verhinderte nicht die Ausdehnung des Vakuums bis ans Ende dieses Schlauches.

Außer den drei oben angegebenen Methoden wurde zur Erhöhung des Widerstandes noch eine vierte verwendet. Es ist bekannt, daß in Luft transpirierende Blätter mitunter frisch bleiben, wenn andere Blätter desselben Zweiges in Wasser tauchen (vgl. z. B. Pfeffer, 1897, pag. 142). Dieser Ersatz der offenen Schnittfläche durch das lebende Parenchym der Blätter muß die Widerstände sicher bedeutend steigern.

Um die Saugung, die durch untergetauchte Blätter hindurch stattfand, zu messen, wurden die als Wasser absorbierendes Organ dienenden Teile luftdicht in ein zylindrisches Gefäß mit Wasser eingeführt. Eine Kapillare, die durch eine zweite Durchbohrung des Korkstopfens in das sorgfältig gefüllte Gefäß eingesetzt wurde, gestattete die Saugung abzulesen. Die Schnittfläche des verwendeten Zweiges war immer mit Paraffin verschlossen. Wenn der eine Ast eines gegabelten Zweiges in dem Potometergefäß eingeschlossen war, befand sich die Schnittfläche mit dem anderen beblätterten Ast in der Luft, und die transpirierenden Blätter mußten das Wasser durch das Knie an der Zweiggabelung saugen. In anderen Fällen befand sich ein unterer Seitenzweig mit der verschlossenen Schnittfläche im Potometergefäß, der Gipfel des Zweiges ragte heraus.

Wenn die Saugung der Blattflächen durch die Pumpensaugung ersetzt werden sollte, geschah das Abschneiden der beblätterten Gipfel oder der Blattspreiten meistens ohne weitere Vorsichtsmaßregel in der Luft. Dabei dringt natürlich in die Gefäße von der Schnittfläche her Luft ein. Das hat aber nicht viel zu bedeuten, weil die Pumpe diese Luft ebensogut auszusaugen vermag wie Wasser. In wenigen Fällen wurde das Abschneiden unter Wasser vorgenommen; der Vergleich mit der Pumpe ergab dabei kein anderes Resultat als beim Abschneiden in Luft.

Daß durch das Abschneiden und durch das Ansetzen der Pumpe kein bedeutender Widerstand eingeführt wird, der in der unverletzten Pflanze fehlte, ist in vielen Fällen noch besonders geprüft worden Es braucht nur der absichtlich geschaffene Widerstand beseitigt zu werden (die Klemme wird geöffnet; oder das verstopfte Stück oder der als absorbierendes Organ dienende beblätterte Zweig wird unter Wasser

abgeschnitten), dann zeigt die Saugung der Pumpe an, ob die obere Schnittfläche der Filtration hohen Widerstand entgegensetzt oder nicht.

Bei krautigen Organen ist sorgfältig darauf zu achten, daß beim luftdichten Ansetzen des Pumpenschlauches keine Klemmung eintritt. Am sichersten läßt sich das vermeiden, wenn an der Stelle, wo der Draht um den Schlauch gezogen werden soll, der Stengel oder Blattstiel mit einem Plastolinring umgeben wird. Plastolin gibt auch bei lose angelegter Drahtschleife ausgezeichnet dichte Verschlüsse. Um ein unnötig enges Zusammenziehen der Drahtschlinge zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Pumpe in Gang zu setzen, während der Verbindungsschlauch in einiger Entfernung von seinem Ende mit einer Klemme verschlossen gehalten wird. Ist der Schlauch einmal an der Pflanze befestigt, so zeigt beim Öffnen der Klemme das Verhalten des Manometers an, ob der Verschluß schon dicht ist oder nicht.

1. Vergleichung der Saugkraft der Pumpe mit der Saugkraft der Blattflächen.

Fürs erste fragt es sich, wie hoch die Saugkraft ist, die Blätter entwickeln, wenn sie durch eine frische Schnittfläche so viel Wasser saugen, als sie durch Transpiration verlieren. Die Versuche ergeben hier mit großer Regelmäßigkeit (es soll nur auf den Versuch 283, pag. 204 verwiesen werden, wo der beblätterte Gipfel 22 mm saugt, die Pumpe durch ein 50 cm langes Zweigstück 140 mm), daß die Pumpe durch den geköpften Zweig mehr saugt als die Blätter. Die Saugkraft der Blätter beträgt also, falls in den Versuchen die Pumpe denselben aktiven Querschnitt zur Verfügung hatte wie die Blätter, nur Bruchteile einer Atmosphäre.

Wenn an Objekten, die gegen starke Widerstände saugen, die Blattflächen in Luft abgeschnitten werden, so steht die Saugung noch nach langer Zeit nicht still, ähnlich wie wir es bei welken Objekten kennen gelernt haben. Wird dann die Pumpe an einen solchen Stumpf angeschlossen, so kann nur die Steigerung, die die Saugung des Stumpfes durch die Tätigkeit der Pumpe erleidet, als die Saugung der Pumpe angesprochen werden. Ob auch die Saugung des unverletzten Objektes um die Saugung des Stumpfes vermindert werden muß, wenn wir die Saugung der Blätter kennen lernen wollen, das ist sehr zweifelhaft. Der Stumpf verdankt ja den Zustand, der ihm nach Beseitigung der Blätter fortzusaugen erlaubt, eben der Tätigkeit der Blattflächen. Um aber die Saugkraft der Blätter eher zu niedrig als zu hoch einzuschätzen, wurde als Saugung der Blätter betrachtet die Differenz zwischen der Saugung des ganzen Objektes und der des Stumpfes; die letztere wird dabei zu einer Zeit gemessen, wo sie sich nicht mehr rasch vermindert wie gleich nach dem Abschneiden, sondern annähernd

konstant bleibt. Mit dieser Differenz wird im folgenden verglichen die Differenz zwischen der bei Tätigkeit der Pumpe beobachteten Saugung und der Saugung des Stumpfes. Wenn nun die Saugung der Pumpe sich auf 1 mm in der Minute berechnet, die der Blätter auf 5 mm, und wenn der Manometerstand 60 cm beträgt, so entsprach im unverletzten Objekt die Differenz zwischen dem Barometerdruck und dem Innendruck, also die Saugkraft (vgl. die Definition pag. 197), dem Druck von 300 cm Quecksilber.

2. Die Saugkraft geklemmter Objekte.

Die Methode der Klemmung hat den großen Vorteil, daß der Widerstand durch Aufschrauben der Klemme wieder beseitigt oder zum mindesten weit vermindert werden kann; eine Beeinträchtigung der Leitfähigkeit bleibt ja vielleicht an der zerquetschen Stelle dauernd erhalten.

Lebende Objekte.

363. 27. Mai. Blatt von Helleborus niger. Saugt frei: 12. Geklemmt: erst 0,8, dann 9,3. Stiel allein: 1. Mit Pumpe, Manometer 60 cm: 1,2 1,5 1,6 1,7 1,6 1,6. Klemme geöffnet, während die Pumpe saugt: 20 22 22. Die Saugung der Lamina verhält sich zur Saugung der Pumpe wie 8,3 : 0,6 = 14 : 1. Die Saugkraft ist also 14 · 60 cm Hg oder 840 cm Hg.

364. 28. Mai. Wie vorher. Frei: 19,5 18 16,5. Geklemmt: erst 1,8, dann 7,3. Stiel allein, 18 cm lang: 2,6 2,4; 1,8 1,5. Mit Pumpe: 0,7 0,8. Stiel allein: 1. Mit Pumpe: 0,8 0,6. Klemme geöffnet: 14 12 13. Angenommen, die Pumpe sauge 0,5, die Lamina 7, dann ist die Saugkraft 14 · 60 = 840 cm Hg.

365. 28. Mai. Wie vorher. Frei: 14 14,5 14. Geklemmt: 13 13 14 14 14 14 13,5 13. Stiel allein, 16 cm lang: 0,7 0,7 0,6 0,5 · 0,5. Mit Pumpe: 23 22. Klemme geöffnet: 34 32. Das Klemmen war augenscheinlich zu schwach. Blatt: Pumpe = 13 : 23 = 0,56 : 1. Saugkraft 0,56 · 60 = 34 cm Hg.

367. 29. Mai. Blatt von Aesculus. Saugt frei: 26 25. Geklemmt: 1, dann 6,5. Das Blatt welkt. Stiel allein, 20 cm lang: 3,5, dann 2,2. Mit Pumpe: 1,7 1,5 1,8 1,7. Klemme geöffnet: 42 41. Die Saugung nimmt nach dem Anschalten der Pumpe noch weiter ab, die Pumpe vermag also nicht durch den geklemmten Stiel zu saugen.

368. 29. Mai. Blatt von Aesculus. Frei: 16 16,5. Geklemmt: 2, dann 5. Stiel allein: 2 1,8. Mit Pumpe: 1,3 1,3 1,3. Klemme geöffnet: 12,5. Die Pumpe saugt nicht durch den geklemmten Stiel.

370. 29. Mai. Stengel von Lythrum salicaria, 44 cm lang, mit sieben Blattpaaren. Frei: 15,5 15 15,5. Geklemmt: 3, dann 9,5. Stengelstumpf allein, 8,5 cm lang: 0,3 0,3. Mit Pumpe: 3,8 4 3,9 3,7 3,8. Klemme geöffnet: 141 165. Stengel: Pumpe = 9,5 : 3,8 = 2,5 : 1. Saugkraft des Stengels 2,5 · 60 = 150 cm Hg.

376. 2. Juni. Blatt von Helleborus. Frei: 13 13 13. Geklemmt: 6,5, dann 10,5. Stiel allein, 8,5 cm lang: 0,3 0,3 0,3. Mit Pumpe: 1,6 1,6 1,6. Klemme

geöffnet: 16,5 13,5 12. Blatt: Pumpe = 10,5 : 1,6 = 6,6 : 1. Saugkraft: 6,6 · 60 = 396 cm Hg.

377. 2. Juni. Blatt von Helleborus. Frei: 8 8 8. Geklemmt: 0,3, dann 9. Stiel allein: 6 cm lang: 0,2 0,2 0,2. Mit Pumpe: 1,3 1,3 1,3. Klemme geöffnet: 20. Blatt: Pumpe = 9 : 1,3 = 7 : 1. Saugkraft 7 · 60 = 420 cm Hg.

378. 2. Juni. Blatt von Helleborus. Frei: 13 12. Geklemmt: 3,5, dann 4,5, dann 3,8. Stiel allein, 6 cm lang: 0,16. Mit Pumpe: 0,3 0,3. Klemme geöffnet: 13. Blatt: Pumpe = 3,7 : 0,3 = 12 : 1. Saugkraft 12 · 60 = 720 cm Hg.

379. 2. Juni. Blatt von Helleborus. Frei: 22 20. Geklemmt: 7, dann 14,5. Stiel allein, 5 cm lang: 0,3 0,2. Mit Pumpe: 1,6. Klemme geöffnet: 32 30 25. Blatt: Pumpe = 14,5 : 1,6 = 9 : 1. Saugkraft 9 · 60 = 540 cm Hg.

380. 2. Juni. Blatt von Helleborus. Frei: 16 16. Geklemmt: 12, dann 14. Stiel allein, 6 cm lang: 0,3 0,3. Mit Pumpe: 5 5. Blatt: Pumpe = 13,7 : 4,7 = 3 : 1. Saugkraft: 3 · 60 = 180 cm Hg.

386. 18. Juni. Heuriger Zweig von Lycium barbarum, 110 cm lang, die unteren 40 cm blattlos, unter Wasser abgeschnitten. Saugt: 67 64. Geklemmt: 35 36. In der hellen Sonne: 45 50 51 52 53 52 **53** 54 52 52. Gipfel unter Wasser abgeschnitten, Rest 39 cm lang, über der Klemme 30 cm: 1,3. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 3,5. Nach Öffnung der Klemme: 18. Blattsaugung: Pumpensaugung = 51,7 : 2,2 = 23,5 : 1. Saugkraft der Blätter 1410 cm Hg = 19 Atmosphären.

398. 28. Juni. Heuriger Zweig von Lycium, 120 cm lang, die unteren 24 cm blattlos. Frisch aufgesetzt: 140 131 131 130. Sehr scharf geklemmt: 52, nach 30′ 61, am nächsten Morgen 45; die Blätter, ausgenommen die obersten, sind welk. Gipfel abgeschnitten, Rest 16 cm, über der Klemme 6 cm lang: 1,8. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 3,5. Zu vergleichen sind 43,2 und 1,7. Saugkraft 25 · 60 = 1500 cm Hg = 20 Atmosphären.

400. 29. Juni. Heuriger Zweig von Syringa, 70 cm lang: 27 27. Scharf geklemmt: 18; die Blätter sind noch immer frisch. Gipfel ab, Rest 17 cm, über der Klemme 6 cm lang: 1. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 4,7. Zu vergleichen: 17 und 3,7. Saugkraft 4,6 · 60 = 276 cm Hg.

399. 29. Juni. Stengel von Aster Novi Belgii, 1 m lang: 77 71. Geklemmt: 19,5, dann 35; ist nach 5^h noch nicht welk. Gipfel abgeschnitten, Rest 30 cm, über der Klemme 15 cm lang: 2,3. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 7,5. Nach Öffnung der Klemme: 78. Zu vergleichen: 32,7 und 5,2. Saugkraft 6,2 · 60 = 372 cm Hg.

401. 29. Juni. Stengel von Aster, 1 m lang: 100. Zwei Klemmen 2 cm übereinander angelegt, senkrecht zu einander orientiert: 39. Schärfer geklemmt: 18,5, nach 30′ 31. Beide Klemmen noch schärfer angezogen: 20; nach 3^h 36; die unteren Blätter sind jetzt welk [1]). Gipfel abgeschnitten, Rest 24 cm, über der oberen Klemme 10 cm lang: 2,3. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 4,8. Ohne Pumpe: 2,3. Zu vergleichen 33,7 und 2,5. Saugkraft 13,5 · 60 = 810 cm Hg.

402. 29. Juni. Stengel von Aster, 1 m lang: 34 32. Wie vorher doppelt geklemmt: 13, nach 1^h 24. Die Klemme schärfer angezogen; nach 4^h : 12; die Blätter sind

---

[1]) Die Beobachtung ist immer wieder zu machen, daß das Welken bei den untersten ältesten Blättern beginnt. Vergleiche dazu Pringsheim.

welk. Gipfel abgeschnitten, Rest 18 cm, über den Klemmen 7 cm lang: 1,5. Mit Pumpe: 2. Zu vergleichen 10,5 und 0,5. Saugkraft 1200 cm Hg.

403. 30. Juni. Stengel von Aster, 1 m lang: 51 49. Wie vorher doppelt geklemmt: 5, dann 42. Beide Klemmen noch enger: 23,5, nach 1^h 28, nach 8^h 19,5; alle Blätter bis zum Gipfel sind sehr welk. Gipfel abgeschnitten, Rest 17 cm, über den Klemmen 7 cm lang: 3,5. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 4,2. Zu vergleichen 16 und 0,7. Saugkraft $23 \cdot 60 = 1380$ cm Hg.

Tote Blätter.

384. 17. Juni. Blatt von Helleborus, Lamina durch Chloroformdampf getötet, Stiel lebend. Saugt: 9 9. Stiel geklemmt: erst 1,7, nach 3^h 5,5. Der 12 cm lange Stiel allein ohne Lamina: 0,5 0,5. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 5,3 5,3 5,5 4,5 6 5,5. Die Saugkraft des toten Blattes ist etwa 60 cm Hg.

385. Wie vorher. Saugt: 7 6,6 6,7. Stiel geklemmt: erst 3,2, nach 2^h 5,2. Der 12 cm lange Stiel ohne Lamina 0,4 0,2. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 17,5 16,5. Die Saugkraft ist kaum 20 cm Hg.

3. Die Saugkraft von Zweigen, deren Schnittfläche mit Paraffin verschlossen ist.

Der hohe Widerstand an der Schnittfläche wird dadurch beseitigt, daß unter Wasser einige Zentimeter abgeschnitten werden. Saugt jetzt die Pumpe viel mehr als vorher, so war der Widerstand zum größten Teil an der Schnittfläche lokalisiert.

Lebende Objekte.

300. 27. Okt. Stengel von Aster Novi Belgii, 95 cm lang. Ganzer Stengel: 35 35 35. Ohne Gipfel, noch 60 cm lang: 8 7 6,5. Mit Pumpe: 15 15 15. Wieder ohne Pumpe: 6 6. Stengel: Pumpe = 29 : 9 = 3,2 : 1. Saugkraft $3{,}2 \cdot 65 = 208$ cm Hg.

301. 27. Okt. Zweig von Philadelphus coronarius, 95 cm lang. Ganzer Zweig: 13,5 13,5. Ohne Gipfel, noch 42 cm lang: 3 3 3. Mit Pumpe: 3 3 3. Wieder ohne Pumpe: 2 1,7. Oben vom Zweig 4 cm abgeschnitten, der Rest ist noch 38 cm lang. Mit Pumpe: 3,5 3,3 3,2. Vom Zweig noch 23 cm abgeschnitten, Rest noch 15 cm lang. Mit Pumpe: 3,7 3,8 3,8. Vom Zweig unten 4 cm abgeschnitten, also der verstopfte Teil durch eine frische Schnittfläche ersetzt. Mit Pumpe: 180 145 125. Zweig: Pumpe = 11,8 : 1,3 = 9 : 1. Saugkraft $9 \cdot 65 = 585$ cm Hg.

302. 28. Okt. Stengel von Aster, 85 cm lang. Ganzer Stengel: 10 10 10. Ohne Gipfel, Rest 40 cm lang: 4 4 4. Mit Pumpe: 4,5 4,5 4,5. Von dem Zweig die untersten 2,5 cm abgeschnitten, saugt für sich: 6 6 6. Mit Pumpe: 99 99. Stengel: Pumpe = 6 : 0,5 = 12 : 1. Saugkraft $12 \cdot 65 = 780$ cm Hg.

303. 28. Okt. Stengel von Aster, 90 cm lang. Ganzer Stengel: 24 23 23 23,5. Ohne Gipfel, Rest 40 cm lang: 3,6. Mit Pumpe: 6 6 6. Wieder ohne Pumpe: 3,5 3,7 3,8. Das verstopfte Stück des Zweiges abgeschnitten, mit Pumpe: 120 120. Stengel: Pumpe = 19,4 : 2,4 = 8 : 1. Saugkraft $8 \cdot 65 = 520$ cm Hg.

304. 31. Okt. Stengel von Aster, 90 cm lang: 21 21 20. Ohne Gipfel, Rest 54 cm lang: 5,5. Mit Pumpe: 5,5. Wieder ohne Pumpe: 5,5. Die Pumpe saugt nicht durch. Das verstopfte Stück abgeschnitten, mit Pumpe: 8 7.

310. 5. Nov. Stengel von Aster, 105 cm lang: 14 14,5 14. Ohne Gipfel, Rest 13 cm lang: 1,2 1 0,7. Mit Pumpe: 2 2 2. Das verschlossene Stück abgeschnitten. Mit Pumpe: 200 185. Stengel: Pumpe = 13,3 : 1,3 = 10 : 1. Saugkraft 10 · 65 = 650 cm Hg.

312. 7. Nov. Stengel von Aster, 95 cm lang: 13 12 13 12. Ohne Gipfel, Rest 15 cm lang: 0,8 0,8 0,8. Mit Pumpe: 3 3 3. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 530. Stengel: Pumpe = 11,2 : 2,2 = 5 : 1. Saugkraft 5 · 65 = 325 cm Hg.

313. 8. Nov. Zweig von Lycium, 90 cm: 14,5 14,5. Abgenommen, Gipfel unter Wasser abgeschnitten, Stumpf wieder aufgesetzt, 20 cm lang: 0,8 0,8 0,8. Mit Pumpe: 6 6 6. Stengel: Pumpe = 13,7 : 5,2 = 2,6 : 1. Saugkraft 2,6 · 65 = 169 cm Hg.

Der abgeschnittene Gipfel, 70 cm lang, mit verschlossener Schnittfläche: 14 16 14,5. Abgenommen, Gipfel unter Wasser abgeschnitten, Stumpf wieder aufgesetzt, 15 cm lang: 0. Mit Pumpe: 7 7 6,8. Saugkraft 2 · 65 = 130 cm Hg.

314. 8. Nov. Zweig von Forsythia suspensa, 90 cm lang: 7 7 7. Ohne Gipfel, Rest 24 cm: 3,5 3,4. Mit Pumpe: 2,5. Wieder ohne Pumpe: 2,2. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 110. Zweig: Pumpe = 4,8 : 0,3 = 16 : 1. Saugkraft 16 · 65 = 1040 cm Hg.

315. 9. Nov. Zweig von Forsythia, 85 cm lang: 6 6 6. Ohne Gipfel, Rest 18 cm lang: 1 1. Mit Pumpe: 2 2. Saugkraft 5 · 65 = 325 cm Hg.

Versuche mit Syringazweigen, im Mai.

325. 55 cm lang: 12,5 12,5. Ohne Gipfel, Rest 21 cm: 1,5. Mit Pumpe: 7. Saugkraft 2 · 60 = 120 cm Hg.

331. 65 cm lang: 8,5. Ohne Gipfel, 30 cm: 2,8 2,5. Mit Pumpe: 2,5. Ohne Pumpe: 1,7. Mit Pumpe: 1,5. Ohne Pumpe: 1,2. Mit Pumpe: 1,3. Saugkraft 12 · 60 cm = 720 cm Hg.

332. 85 cm lang: 12,5. Ohne Gipfel, 64 cm lang: 2. Mit Pumpe: 1,6. Ohne Pumpe: 1,3. Die Pumpe saugt durch den Widerstand nicht merklich. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 4,5.

338. 40 cm lang, war in der Luft abgeschnitten worden: 2,6. Ohne Gipfel, 5,5 cm lang: 0,4. Mit Pumpe: 7,5 8. Die Pumpe saugt bei 60 cm Manometerstand viel mehr als die Blätter.

340. 45 cm lang: 8. Ohne Gipfel, 18 cm lang: 0,4. Mit Pumpe: 1,9. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 23 26. Saugkraft 5 · 60 = 300 cm Hg.

341. 70 cm lang: 16,5. Ohne Gipfel, 34 cm lang: 1. Mit Pumpe: 5. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 15. Saugkraft: 4 · 60 = 240 cm Hg.

342. 90 cm lang: 6. Ohne Gipfel, 46 cm lang: 1. Mit Pumpe: 1,5. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 7,5. Saugkraft: 10 · 60 = 600 cm Hg.

344. 45 cm lang: 6,5. Ohne Gipfel, 13 cm lang: 0,4. Mit Pumpe: 3. Saugkraft: 2,4 · 60 = 144 cm Hg.

346. 50 cm lang: 3,7. Ohne Gipfel, 17 cm lang: 0,2. Mit Pumpe: 2,7. Saugkraft: 1,4 · 60 = 84 cm Hg.

347. 60 cm lang: 6,5. Ohne Gipfel, 42 cm lang: 0,7. Mit Pumpe: 5,8. Saugkraft: 1,14 · 60 = 68 cm Hg.

350. Auf 58 cm dreijährig, dann gegabelt, die beiden zweijährigen Zweige 35 und 25 cm lang, jeder an der Spitze noch mit zwei heurigen, 25—30 cm langen Zweigen. Frisch aufgesetzt: 72 70. Schnittfläche verstopft: 18,5, dann 14,5. Die beblätterten Gipfel der beiden zweijährigen Zweige abgeschnitten: 5, dann 3. Mit Hilfe eines T-Stückes an beide Zweige zugleich die Pumpe angeschlossen: 3. Die Pumpe saugt nicht durch.

351. Auf 90 cm dreijährig, dann gegabelt, die beiden zweijährigen mit beblätterten Zweigen besetzten Äste 60 cm lang: 22. Die Gipfel der beiden Äste abgenommen: 3 Nun mit Hilfe eines T-Stückes an beide Äste zugleich die Pumpe angeschlossen: 4. Pumpe wieder ab: 2,5. Das verstopfte Stück abgeschnitten, die Pumpe wieder an beide Äste angeschlossen: 11. Saugkraft: 13 · 60 = 780 cm Hg.

354. Auf 82 cm dreijährig, dann drei zweijährige Äste mit mehreren beblätterten Zweiglein: 4,2. Wird welk. Gipfel ab, Rest 82 cm lang: 3,3. Mit Pumpe: 4,2 4,5 4,3 4,5 4,4. Die Pumpe saugt so viel wie die Blätter, trotzdem diese welken.

Tote Zweige mit lebenden Blättern.

306. 2. Nov. Stengel von Aster, 130 cm lang, die unteren 65 cm durch Kochen getötet: 12. Die Blätter sind welk. Gipfel ab, Rest 65 cm lang, tot: 7,5. Mit Pumpe: 7,5. Ohne das verstopfte Stück, ohne Pumpe: 31 27. Die Pumpe saugt durch die verstopfte Schnittfläche nicht merklich.

307. 3. Nov. Stengel von Aster, 120 cm lang, die unteren 65 cm getötet: 10. Ohne Gipfel, Rest 67 cm lang: 4,5. Mit Pumpe: 5. Saugkraft 11 · 65 = 715 cm Hg. Der Stumpf auf 11 cm verkürzt, ohne Pumpe: 0,6. Mit Pumpe: 1 1 1,3 1,5. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 240.

Versuche mit Syringa, im Mai.

333. 100 cm lang, die unteren 50 cm tot: 3,2. Ohne Gipfel, Rest 46 cm lang: 1,2 1 1,4 1,2. Mit Pumpe: 1,5 1,5 1,5. Saugkraft: 6,6 · 60 = 396 cm Hg.

337. 80 cm lang, auf 60 cm tot: 5. Ohne Gipfel, Rest 60 cm: 2. Mit Pumpe: 4 4,4 4,6 4,8. Ohne Pumpe: 3 2,3 2,3 2.
Die Pumpe saugt kaum weniger als die Blätter.

338. 65 cm lang, auf 24 cm tot: 6,5. Ohne Gipfel, 23 cm lang: 0,8. Mit Pumpe: 3. Saugkraft 2,4 · 60 = 144 cm Hg.

339. 65 cm lang, auf 25 cm tot: 2,8. Ohne Gipfel, Rest 25 cm lang: 0,5. Mit Pumpe: 1. Saugkraft 4,6 · 60 = 276 cm Hg.

343. 115 cm lang, ein 50 cm langes Stück durch Dampf getötet (nach dem Versuch bis zur Markkrone verfärbt), die untersten 10 cm lebend: 3,5, in 5' 17,5 mm. Ohne Gipfel, Rest 78 cm lang: in 5' 5 mm. Mit Pumpe: in 5' 5,7 mm. Saugkraft: 13 · 60 = 780 cm Hg.

349. 80 cm lang, ein 40 cm langes Stück getötet, sonst wie vorher: 2,5. Ohne Gipfel, Rest 50 cm lang: 0,5. Mit Pumpe: 1. Saugkraft 4 · 60 = 240 cm Hg. Ohne das verstopfte Stück, mit Pumpe: 14.

4. Die Saugkraft von Pflanzenteilen, deren Schnittfläche von Schleim verstopft ist.

Pflanzen, die aus der Schnittfläche abgeschnittener Teile Schleim austreten lassen, welken immer in kürzester Zeit. Es ist zu unter-

suchen, ob durch die Schleimbedeckung der Schnittfläche hohe Widerstände verursacht werden. Desgleichen, ob in Zweigen, die infolge von Bakterienentwicklung an der Schnittfläche in einigen Tagen welken, die Widerstände hoch sind.

316. 10. Nov. Zweig von Sparmannia africana, 30 cm lang, mit sieben Blättern: 8,5 6,5 6 5 4. Ohne Gipfel, Rest 13 cm lang: 0,8. Mit Pumpe: 2,2 1,8 1,5. Manometer 65 cm. Die Abnahme der Saugung des beblätterten Zweiges deutet auf die zunehmende Schleimbedeckung. Bei der Kürze des Zweigstumpfes ist die Saugung der Pumpe sehr gering.

318. 10. Nov. Wie vorher, 21 cm lang: 23 25 26 25 24 19 15 8. Ohne Gipfel, Rest 11 cm lang: 1,4. Mit Pumpe, Manometer 65 cm: 3 1,7.

317. 10. Nov. Großes Blatt von Boehmeria platyphylla, Spreite 30 cm lang, Stiel 13 cm lang: 2,7 2 1,2. Ohne Spreite, Stielrest 11 cm lang: 0,3. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 1 1.

Eine genaue Vergleichung von Blatt- und Pumpensaugung ist aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Aber die bei der Kürze der Objekte sehr geringe Saugung der Pumpe zeigt an, daß die Widerstände bedeutend sind.

404. 2. Juli. Stengel von Aster, 95 cm lang, stand seit $2^1/_2$ Tagen, mit Gummistrumpf bekleidet, in Wasser und war dabei welk geworden. Er wurde nun ohne Erneuerung der von Bakterienschleim bedeckten Schnittfläche aufs Potometer gesetzt, nachdem die unteren sehr welken Blätter bis auf 60 cm hinauf entfernt waren. Der beblätterte Zweig saugt: 17,5. Der 60 cm lange blattlose Rest nach Entfernung des Gipfels: 6. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 6. Die Pumpe saugt also nicht merklich.

5. Die Saugkraft von Zweigen, die das Wasser durch lebende Blätter aufnehmen.

Versuche mit Syringa.

293. 24. Okt. Ein kleiner Gabelzweig, dessen Äste je 4 Blätter tragen. Schnittfläche mit Paraffin verschlossen. Erst unter den Rezipienten der Luftpumpe gebracht, wobei ein Ast in Wasser taucht, der andere sich außerhalb des Wassers befindet. Der teilweise injizierte Ast in das Zylinderpotometer eingedichtet, der andere samt der verstopften Schnittfläche in der Luft: 6 6 6. Ohne den beblätterten, in der Luft befindlichen Gipfel: 1. Mit Pumpe 1,75. Ohne Pumpe: 1. Saugkraft $6{,}6 \cdot 65 = 429$ cm Hg.

297. 26. Okt. Wie vorher, die beiden Zweige 20 cm lang, der ins Wasser tauchende Zweig nicht mit Wasser injiziert. Der Stummel, der die beiden Zweige verbindet und dessen Schnittfläche verschlossen ist, ist 3 cm lang. Der Luftzweig mit vier Blättern saugt 2,5 2,5. Der Gipfel dieses Zweiges ab, der Rest bis zum Knie 12 cm lang: 1,3 1,3. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 1. Noch ein 3 cm langes Stück ab, Pumpe an: 0,9. Ohne Pumpe: 0,7. Die Pumpe saugt nicht durch das Knie. Der Zweig aus dem Zylinderpotometer genommen, der beblätterte Saugzweig unter Wasser abgeschnitten, Rest bis zum Knie 6,5 cm lang. Mit dieser

neuen Schnittfläche wird der Zweig auf ein gewöhnliches Potometer mit gleicher Kapillarenweite gebracht, an das andere Ende wird wie vorher die Pumpe angeschlossen: 8 7 7,5. Nachdem die Blätter durch eine frische Schnittfläche ersetzt sind, saugt die Pumpe also durch das Knie kräftig durch.

299. 27. Okt. Wie vorher. Die beiden Zweige 20 cm lang; der Wasserast mit zwei Blättern, die unter dem Rezipienten der Luftpumpe schwach injiziert worden sind, der Luftast mit vier Blättern. Der Luftast saugt: 3,5. Der Gipfel dieses Astes ab: 1,25. Mit Pumpe: 1,65. Ohne Pumpe: 1,2. Saugkraft 6 · 65 = 390 cm Hg.

326. 9. Mai. Ganzer Zweig 50 cm lang, die verstopfte Schnittfläche mit dem untersten beblätterten Zweig im Potometer, vier kleine Zweige außerhalb. Die Luftzweige saugen 2,5. Ohne Gipfel, Rest 25 cm lang: 1,7. Mit Pumpe: 1,7. Ohne Pumpe: 1,5. Saugkraft: Etwa 10 · 60 = 600 cm Hg.

327. 9. Mai. Zweijähriges Stück des Zweiges 35 cm lang, daran drei einjährige, 20 cm lange Zweige mit je sechs Blattpaaren. Der unterste Zweig wie vorher im Potometer. Die Luftzweige saugen: 5. Blätter welk. Ohne Gipfel, Rest 10 cm lang: 0,1. Mit Pumpe; Rinde ringsherum eingeschnitten, um Luftsaugung auszuschließen: 0,2. Die Pumpe saugt kaum merklich.

6. Die Saugkraft von doppelt eingekerbten Zweigen.

Lebende Zweige.

286. 14. Okt. Zweig von Lycium, 120 cm lang. Saugt frisch über 100, gekerbt 9, dann 17. Welkt. Ohne Gipfel, 25 cm lang, über der zweiten Kerbe nur 5 cm: 1,5. Mit Pumpe: 2,5. Ohne Pumpe: 1,5. Blatt: Pumpe = 15,5 : 1. Saugkraft 15,5 · 65 = 1007 cm Hg.

389. 19. Juni. Zweig von Lycium, 110 cm lang: 50 47; 43 (7'). Zwei Kerben gemacht, mit geschmolzenem Paraffin verschlossen: 12; 9,5 (17'). Gipfel unter Wasser abgeschnitten, Rest 35 cm lang: 1,7. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 1,7. Ohne Pumpe: 1,7. Die Pumpe saugt nicht durch.

Versuche mit Syringa.

277. 11. Okt. 75 cm lang. Saugt frisch 30, gekerbt 3, dann 4,5. Ohne Gipfel, Rest 25 cm lang: 2. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 2. Ohne Pumpe: 2. Die Pumpe saugt nicht merklich.

278. 11. Okt. 80 cm lang. Saugt frisch 20, gekerbt 6, dann 17. Ohne Gipfel, Rest 40 cm lang: 2. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 2. Die Pumpe saugt nicht merklich. Zwischen den beiden Kerben abgeschnitten, an das untere, 30 cm lange Stück die Pumpe angeschlossen: 25.

279. 12. Okt. 70 cm lang. Saugt frisch 22, gekerbt 4, dann 19. Ohne Gipfel, mit Pumpe: 2.

281. 12. Okt. 80 cm lang. Saugt frisch 22, mit zwei nicht tiefen Kerben 22, ohne Gipfel 0,5, mit Pumpe (Manometer 60 cm): 17. Saugkraft 1,3 · 60 = 80 cm Hg. Der durch die beiden seichten Kerben eingeführte Widerstand war also nicht bedeutend.

360. 25. Mai. 40 cm lang. Saugt frisch 42, gekerbt 3,5, dann 7,8. Ohne Gipfel, 10 cm lang, 0,4. Mit Pumpe 0,9. Ohne Pumpe 0,4. Saugkraft 14 · 60 = 840 cm Hg.

381. 2. Juni. 60 cm lang. Saugt frisch 56, gekerbt 2, dann 6,2. Ohne Gipfel, 14 cm lang, 0,7. Mit Pumpe 1,1. Ohne Pumpe 0,7. Saugkraft 13,8 · 60 = 828 cm Hg.

Tote Zweige mit lebenden Blättern.

288. 15. Okt. Zweig von Lycium, 135 cm lang, auf 65 cm von unten durch Kochen getötet. Saugt nach dem Erkalten 5, gekerbt 1,5, dann 2,5. Ohne Gipfel, 40 cm lang, 1,5. Mit Pumpe 1,5. Manometer 65 cm.

290. 18. Okt. Lycium, 210 cm lang, auf 65 cm durch Kochen getötet. Saugt 18, gekerbt 3, dann 6,5. Ohne Gipfel, 110 cm lang, 2. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 2,5. Saugkraft $9 \cdot 65 = 585$ cm Hg.

357. 25. Mai. Syringa, 60 cm lang. Auf 25 cm durch Dampf getötet, an der Schnittfläche lebend: 11,5. Im toten Teil gekerbt 2,5, dann 7,2. Ohne Gipfel, 36 cm lang, 2,8. Mit Pumpe 2,6. Ohne Pumpe 2,4. Die Pumpe saugt nicht durch.

358. 25. Mai. Syringa, 60 cm lang. Auf 25 cm durch Dampf getötet: 14. Im Toten gekerbt: 2. Ohne Gipfel, Rest 42 cm lang, 1,2. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 1,4. Ohne Pumpe 1,4. Die Pumpe saugt nicht durch.

359. 25. Mai. Syringa, 70 cm lang. Wie vorher: 16,5. Im Toten gekerbt: 2,5, dann 10,7. Ohne Gipfel, Rest 38 cm lang, 2,5. Mit Pumpe: 2,2. Ohne Pumpe: 2. Das Stück mit den Kerben abgeschnitten, an den unteren, 20 cm langen Stumpf die Pumpe an: 80.

361. 26. Mai. Syringa, 60 cm lang. Wie vorher behandelt: 20. Im Toten gekerbt: 2,4, dann 8,2. Ohne Gipfel, Rest 29 cm lang, 2,5. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 2,2. Ohne Pumpe: 2.1, Zwischen den beiden Kerben abgeschnitten, an das untere Stück die Pumpe an (Manometer 60 cm): 21,5. Das obere Stück aufgesetzt, mit Pumpe: 12.

362. 27. Mai. Syringa, 60 cm lang. Wie vorher behandelt: 6,5. Im Toten gekerbt: 2,6, dann 3,5. Ohne Gipfel, Rest 35 cm lang: 1,3. Mit Pumpe (Manometer 60 cm): 1,3.

369. 29. Mai. Syringa, 120 cm lang. Wie vorher behandelt: 33. Im Toten gekerbt: 3,8, dann 10,5, dann 5,5. Ist welk. Ohne Gipfel, Rest 28 cm lang: 2,6. Mit Pumpe (Manometer: 60 cm) 2,3.

Zweige mit toten Blättern.

291. 20. Okt. Forsythia, 90 cm lang. Mit Formalin getötet: 9. Gekerbt: 3, dann 1,4. Gipfel ab, Rest 30 cm lang, mit Pumpe (Manometer 65 cm): 4.

294. 25. Okt. Forsythia, 80 cm lang, mit Formalin getötet: 4. Gekerbt: 3. Ohne Gipfel, Rest 20 cm lang: 1,5. Mit Pumpe (Manometer 65 cm): 5,5.

296. 25. Okt. Cornus alba, 55 cm lang, durch Chloroformdampf getötet: 5. Gekerbt: 1,5, dann 2,3. Ohne Gipfel ,Rest 20 cm lang: 1. Mit Pumpe (Manometer 65 cm) 2,5. Die Pumpe saugt in allen drei Versuchen mehr als die toten Blätter.

Ergebnis: Nach der angewendeten Berechnungsweise ergibt sich für die Saugkraft lebender, welkender Blätter in den äußersten Fällen der Wert von 800—1500 cm Quecksilber oder 10—20 Atmosphären. Mitunter ist eine Saugwirkung der Pumpe nicht mehr mit Sicherheit zu finden, während die Blätter kräftig saugten; bei sehr schwacher Saugung sind die verwendeten Potometer eben nicht mehr ganz zuverlässig. Ein zahlenmäßiger Vergleich ist dann nicht mehr möglich, doch liegt in solchen Fällen die Saugkraft der Blätter sicher sehr hoch. Tote Blätter entwickeln eine Saugkraft, die noch nicht einmal eine

Atmosphäre erreicht. Damit stimmt die früher gemachte Beobachtung überein, daß Objekte mit toten Blattflächen in aufrechter Lage immer mehr saugen als in inverser, und die bekannte Erfahrung, daß tote Blätter immer rasch welken und vertrocknen. Ob die Achse, an der lebende Blätter inseriert sind, selber lebt oder tot ist, hat keine Bedeutung für die Äußerung der Saugkraft. — Wenn abgeschnittene Pflanzenteile, deren Schnittfläche immer mit Wasser in Berührung bleibt und nicht mit Luft injiziert ist, welk werden, so sind immer (durch Schleimausscheidung aus den Geweben selbst oder durch andersartige Verstopfung) Widerstände vorhanden, die durch eine Kraft von mehreren Atmosphären nicht überwunden werden.

Zweige, die in Luft abgeschnitten waren und trotz Wasserdarbietung rasch welk geworden sind, können bekanntlich durch Einpressen von Wasser unter dem Druck einer mäßig hohen Quecksilbersäule wieder straff gemacht werden (vgl. z. B. Pfeffer, 1897, pag. 214). Daraus den Schluß zu ziehen, daß der Druck dieser Hg-Säule neben den Saugkräften der Pflanze wesentlich ins Gewicht falle, wäre verfehlt. Das Einpressen von Wasser bringt vielmehr wassergefüllte, also saugfähige Gefäßelemente, die vorher an lufterfüllte Gefäße anstießen, mit Wasser in Berührung, mindestens solange der Quecksilberdruck wirkt. Unter dem vermehrten Druck kann aber auch Luft in Lösung gehen und dann bleibt auch nach dem Aufhören des künstlichen Druckes die Steigerung der Saugfähigkeit erhalten. Wenn Vesque (1876, pag. 362) schreibt: „Certains rameaux coupés sous l'eau[1]) se fanent irrévocablement si l'on ne remplace pas la poussée des racines par une poussée artificielle", so ist das in der gegebenen Fassung kaum richtig. Unter Wasser abgeschnittene Objekte welken infolge von Verstopfung der Schnittfläche, nicht wegen Mangel des Wurzeldruckes, und ob unter solchen Verhältnissen die Einpressung von Wasser das Welken verzögert, müßte erst geprüft werden.

Nun ist noch die wichtige Frage zu erörtern, wie weit es erlaubt ist, die Saugung der Pumpe mit der der Blätter zu vergleichen. Daß die Pumpe bei Klemmung, bei Verstopfung der Schnittfläche und bei Saugung durch untergetauchte Blätter nicht unter wesentlich schwierigeren Bedingungen arbeitet als die Blätter, ist wohl erwiesen durch die oft gemachte Probe, wobei nach Beseitigung des lokalen Widerstandes die Pumpe eine bedeutende Filtrationsgeschwindigkeit erzielt. Bei Blattstielen z. B. ist die Saugung der Pumpe nach der Aufhebung der

1) Vom Verfasser gesperrt.

Klemmung mitunter bedeutender als vorher die Saugung des Blattes durch den ungeklemmten Stiel war.

Bei doppelter Einkerbung könnte dagegen das Verhältnis ein anderes sein. Wenn das Zweigstück über den Kerben kurz ist und die Kerben offen sind, kann die Pumpe von den Kerben her durch beiderseits offene Gefäße Luft saugen, und dann ist vielleicht der Druck dicht über der Schnittfläche höher als das Manometer in einiger Entfernung angibt. Diese Luftsaugung läßt sich nun durch dichten Verschluß der Kerben mitPlastolin verhindern. Aber dabei kann sich ein anderer Fehler einschleichen, der das Resultat zugunsten der Pumpe verschiebt: wenn ein luftdicht abgeschlossener, von Luft erfüllter Raum im inneren Winkel der Kerbe übrig bleibt, kann die Saugung der Pumpe sich auf die Zweigteile unter den Kerben fortpflanzen, weil die Pumpe, anders als die Blätter, auch Luft zu saugen vermag. Tatsächlich fällt die Saugung der Pumpe bei kurzen gekerbten Zweigen mitunter sehr verschieden aus, je nachdem die Kerben offen oder sorgfältig mit Plastolin verschlossen sind. Die Methode der Einkerbung darf also wohl nur bei solchen Zweigen verwendet werden, bei denen das Stück über den Kerben länger ist als die längsten Gefäße. Werden die Kerben mit geschmolzenem Paraffin verstopft, so unterbleibt das Ansteigen der Saugung nach der Einkerbung; es liegen also ähnliche Bedingungen vor wie wenn die untere Schnittfläche mit Paraffin verschlossen wird.

Im allgemeinen dürfte die Pumpe den Blättern gegenüber in verschiedenen Stücken im Vorteil sein. Einmal wurde die Achse, an der die Blätter vor der Anschaltung der Pumpe saugen, häufig stark gekürzt, um das störende Nachsaugen der Achse auszuschließen. Es fallen also für die Pumpe die Widerstände eines langen Achsenstückes weg, die bei der Wasserarmut der welkenden Zweige beträchtlich sein können. Zweitens steht der Pumpe, aber nicht notwendig den Blättern, immer der ganze Querschnitt der Leitungsbahnen zur Verfügung; daß Objekte mit weiten Interzellularräumen nicht verwendet werden dürfen, versteht sich von selber. Das macht sich besonders bemerkbar bei kurzen Zweigen, die zur Zeit, als die Blätter schon welkten, in der Luft abgeschnitten wurden. Hier injizieren sich viele Gefäße mit Luft, werden also für die saugenden Blätter aus der Wasserbeförderung ausgeschlossen. Wird ein solcher Zweig nun kurz abgeschnitten, so können beiderseits offene, luftführende Gefäße da sein, in denen unter der Wirkung der Pumpe die Luft durch Wasser ersetzt wird (vgl. z. B. Versuch 338, pag. 222). Bei mehrjährigen Zweigen kann es vielleicht geschehen, daß nicht die Blätter, wohl aber die Pumpe die inneren Jahresringe auszunützen vermag (vgl. Versuch 354, pag. 223 mit einem 3jährigen Zweig).

Auch in anderem Sinne beherrscht die Pumpe, wenigstens in kurzen Zweigen, vielleicht einen größeren Querschnitt als es die Blätter tun. Man weiß, wie gut die Leitbahnen im Holz seitlich isoliert sind (z. B. Strasburger, 1893, p. 35). Auf kurze Strecken hin sind die von

den einzelnen Seitenzweigen oder Blättern beherrschten Areale des Querschnitts jedenfalls getrennt, während sie in größerer Entfernung vom Gipfel einander vielleicht seitlich berühren oder gar übereinander greifen. Die Pumpe dagegen hat unter allen Umständen den ganzen Querschnitt zur Verfügung, wenn sie an der Schnittfläche des Hauptzweiges saugt.

Der Frage nach der Isolierung der Leitbahnen auf längere und kürzere Strecken suchte ich auf folgendem Wege näher zu treten. Ein Zweig, der sich oben gabelte, kam mit der unteren Schnittfläche aufs Potometer, die beiden Seitenzweige wurden mit Hilfe eines **T**-Stückes mit der Luftpumpe verbunden. Die Luftverdünnung an den Schnittflächen ist offenbar die gleiche, ob die Pumpe an beiden Zweigen saugt, oder nur an einem. Durch Abklemmen der Gummischläuche, die die Zweige mit dem **T**-Stück verbinden, lassen die Zweige sich nach Belieben der Wirkung der Pumpe entziehen.

Einfaches Abklemmen ist nicht gut, weil über der Schnittfläche ein kleines Vakuum erhalten bleibt, das noch eine Zeitlang kräftig nachsaugt. Es wurde also zwischen die Arme des T-Stücks und die beiden Zweige noch je ein Glasrohr eingefügt, von dem der Schlauch, der die Verbindung mit dem Zweig herstellte, mit einem Griff abzunehmen war. Das geschah nach dem Abklemmen, das nötig ist, um im T-Stück das Vakuum zu erhalten; gleich darauf kann der Schlauch wieder angesetzt werden.

350. 19. Mai. Zweig von Syringa, auf 58 cm dreijährig, dann gegabelt, mit zwei 24 cm langen zweijährigen Zweigen. Manometer immer 60 cm. Der Zweig saugt ohne Pumpe: 2,2. Seitenzweig b gegen die Pumpe geöffnet: 13. a auch geöffnet, also a + b: 14. a allein: 6,5.

Schnittfläche von a erneuert. a: 9. a + b: 13. b: 9,5. a: + b: 11,5. a: 7.

Jetzt wird der Hauptzweig unter der Gabelung auf 14 cm verkürzt. Ohne Pumpe: 1,5. Mit Pumpe, Zweig a allein: 19. a + b: 39. b: 23. a + b: 39. a: 19. a + b: 38. b: 23. Ohne Pumpe: 2.

Nächsten Morgen werden die oberen Schnittflächen erneuert. Zweig a: 28. b: 19. a + b: 39. a: 23. Ohne Pumpe: 4, 2,5. Mit Pumpe: b: 13. a + b: 33. a; 22. Ohne Pumpe: 2.

Man sieht, daß jedenfalls bei kurzem Hauptzweig die Saugungen der beiden Seitenzweige sich ziemlich glatt addieren, daß also jeder Seitenzweig seinen besonderen Teil des Querschnittes beherrscht. Wenn der Hauptzweig lang ist, saugen die beiden Seitenzweige miteinander nicht viel mehr als einer für sich; hier scheint die seitliche Isolierung der Bahnen also schon mangelhaft.

Falls in der oben gegebenen Diskussion die wichtigsten Faktoren berücksichtigt sind, dürfen wir annehmen, daß die Saugkraft der Blätter, vor allem an kurzen Zweigen, beim Vergleich mit der Wirkung der

Pumpe eher zu niedrig geschätzt wird als zu hoch. Und es wird verständlich, warum in kurzen Zweigen die Blätter der Pumpe oft verhältnismäßig wenig überlegen scheinen. Auf die absoluten Zahlen, die oben errechnet sind, soll aber wegen der verschiedenen Unklarheiten der Grundlagen gar kein Gewicht gelegt werden.

Die Experimente besagen dann, daß in den Leitbahnen der verwendeten Pflanzenteile zwischen der unteren Schnittfläche und der Stelle, wo der Gipfel abgetrennt wird, Widerstände liegen, die der Transpirationsstrom mit einer Schnelligkeit überwindet, wie wenn zwischen der Schnittfläche und dem Gipfel ein Druckunterschied von 10 oder mehr Atmosphären bestünde. Gewöhnlich läßt sich aber noch viel genauer angeben, wo die Widerstände hauptsächlich lokalisiert sind. Bei der Klemmung z. B. reicht der Atmosphärendruck von der Schnittfläche bis unter die geklemmte Stelle, über der Klemme sind gut wegsame Leitbahnen, die den Widerstand wohl nicht sehr wesentlich vergrößern, der Widerstand sitzt also zum allergrößten Teil an der geklemmten Stelle. Wenn die Widerstände sich auf lange Strecken verteilen, wie in einem hohen Baum, dann ist es denkbar, daß auch die Überwindung dieser Widerstände auf die ganze Strecke verteilt wird; daß die Widerstände stückweise, in Differentialen, von verschiedenen Ruhepunkten aus überwunden werden, wobei nirgends eine hohe Potentialdifferenz auftreten müßte; es genügt an das öfter gebrauchte Bild der Hebung von Wasser über verschiedene horizontale Staffeln zu erinnern. Bei dem geklemmten Blattstiel oder Stengel liegen die Verhältnisse ganz anders. Das Integral des Widerstandes ist an einer wenige Millimeter langen Strecke lokalisiert und kann nur durch eine mächtige Potentialdifferenz, durch ein steiles Druckgefälle überwunden werden. Das Wasser muß ja mit beträchtlicher Geschwindigkeit durch kurze, aber sehr enge Röhren, vielleicht auf ganze Strecken durch imbibierte Zellhäute hindurchgepreßt werden, und zur Überwindung dieser Reibungswiderstände bedarf es einer Druckdifferenz von mehreren Atmosphären. Ist eine Differenz von 10 Atmosphären nötig, so muß an der oberen Grenze der geklemmten Partie eine negative Spannung von neun Atmosphären herrschen. Daß über der geklemmten Stelle eine Pumpe angebracht ist, die nach unten diese Saugung ausübt und nach oben bald wieder einen höheren Druck herstellt, ist so gut wie undenkbar; wir werden zudem noch direkte Beweise dafür erbringen, daß noch weit über der blockierten Zone hohe negative Drucke existieren. Die negativen Spannungen müssen also von den Blättern her, wo der Druck am allerniedrigsten ist, bis zur

Klemme reichen. Bedeutend wird der Druckabfall zwischen den Blattflächen und der Klemme nur dann sein, wenn infolge der Wasserentleerung die Widerstände in den über der Klemme liegenden Leitbahnen steigen.

Bei der doppelten Einkerbung ist die Zone des hohen Widerstandes etwas ausgedehnter als bei der Klemmung, aber auch nur wenige Zentimeter lang. Bei der Verstopfung der Schnittfläche sind es gar nur die Wände der bloßgelegten Holzelemente, deren Filtrationswiderstand am meisten ins Gewicht fällt, bei der Saugung durch lebende Blätter sind es die parenchymatischen Blattgewebe. Die Druckverteilung ist also ganz ähnlich wie in geklemmten Objekten.

Lebende Zellen in den Leitbahnen können also bei den Bedingungen der Experimente die Druckverteilung kaum beeinflussen. Zum Überfluß ist noch die Wirkung des Abtötens der Zweige studiert worden, trotzdem die Frage einer empirischen Prüfung von dieser Seite nicht bedarf. Eine Zerstörung der Leitfähigkeit durch das Abtöten würde keineswegs in dem Sinne zu deuten sein, daß am Wassertransport die vitalen Kräfte des Holzparenchyms beteiligt seien. Tatsächlich wird die durch lebende Blätter ausgeübte Saugung auch durch tote Stengelstücke fortgepflanzt. Das sagt nur soviel, daß durch das Abtöten in den physikalischen Zuständen der Leitbahnen zunächst keine schweren Störungen herbeigeführt werden. Es ist ja trotzdem sehr wohl möglich, daß die Leitfähigkeit nur dann dauernd erhalten bleibt, wenn lebende Zellen vorhanden sind.

Notwendige Bedingung für die Entwicklung starker Saugkräfte ist das Vorhandensein lebender Blätter. Tote Blätter leisten bei weitem nicht so viel wie lebende. Die Imbibitionskräfte der transpirierenden Membranen bedürfen also der vermittelnden Mitwirkung der osmotischen Kräfte im Zellinhalt, um ihre Saugung auf die Gefäße zu übertragen.

Daß lebende Zellen mit dehnbaren Wänden mächtige Saugwirkungen entfalten können, entsprechend dem osmotischen Druck ihres Zellsaftes, hat noch niemand bezweifelt. Aber es hat bisher an der Evidenz gefehlt, daß diese Saugwirkungen auf größere Entfernung von den transpirierenden Blattzellen hin in den Leitbahnen fortgepflanzt werden. Die Aufzeigung solcher Saugkräfte in weitem Abstand von den Blättern scheint nun in den oben beschriebenen Versuchen gelungen. Nach dem, was über die Mechanik des Wassers bekannt ist, können hohe negative Spannungen im Wasser recht wohl entstehen, wenn die Verhältnisse so liegen, daß das Wasser auf seine Kohäsionskräfte in Anspruch genommen werden kann. Und die Demonstration

negativer Spannungen ist das einzige, was der von Dixon, Joly und Askenasy begründeten, von Dixon zu einer bewundernswerten Theorie ausgearbeiteten Kohäsionshypothese des Saftsteigens noch gefehlt hat. Man hat vielfach bestritten, daß bei dem Luftgehalt des Holzes die Kohäsionskräfte des Wassers in Tätigkeit treten könnten. In welcher Weise aber die Kammerung der leitenden Bahnen durch Querwände die in einzelnen Kammern auftretenden Gasblasen unschädlich machen kann, hat Dixon (1909, pag. 43) dargelegt. Wie in den oben beschriebenen Versuchen die Kontinuität der Wassersäulen erhalten wird und welchen Weg das Wasser im einzelnen nimmt, das werden spätere Untersuchungen aufzuklären haben. Vorläufig genügt es, nachgewiesen zu haben, daß die Kontinuität vorhanden ist.

III. Negative Spannungen in der Achse nach der Entfernung der Blätter.

Wenn die oben entwickelten Vorstellungen das Richtige treffen, wird der Zweig oder der Blattstiel durch die Tätigkeit der Blattflächen in einen Spannungszustand versetzt, der von dem der Blätter selbst nicht weit abweicht. Werden also die Blätter beseitigt, ohne daß die negative Spannung im Zweig sich von oben her völlig ausgleichen kann — das geschieht bei genügender Länge des Zweiges beim Abschneiden in der Luft — so muß die Achse nach der Entblätterung noch kräftig Wasser durch die blockierte Partie durchsaugen, kräftiger als die Pumpe es nach dem Ausgleich der negativen Spannung vermag. Auch Verminderung der Blattzahl kann unter gewissen Bedingungen zunächst keine wesentliche Verminderung der Saugung zur Folge haben. Das sind Erscheinungen, die uns bei nicht wassergesättigten Objekten schon oben (pag. 188) begegnet sind; nur daß es sich dort um ein Saugen bei offener unterer Schnittfläche handelte und eine Messung der negativen Spannungen nicht möglich war. Der Spannungszustand des Wassers muß sich ja allseitig fortpflanzen, wie hydrostatischer Druck. Bei der Gesamtsaugung eines beblätterten Zweiges summieren sich also nicht die Saugwirkungen der einzelnen Blätter, sobald der ganze Querschnitt der leitenden Bahnen in Anspruch genommen wird. Und wenn die Leitbahnen seitlich gar nicht isoliert wären, wenn ein einziges Blatt den ganzen Querschnitt beherrschen könnte, dann könnte unter gewissen Umständen ein kleiner Teil der Beblätterung dauernd so viel saugen, wie vorher das ganze ursprüngliche Laub. Wenn Vines (pag. 440) keine klare Beziehung fand zwischen der Blattzahl und der von einem Zweig entwickelten Saug-

kraft, so wäre das auch für den Fall nicht verwunderlich, daß er die Saugkraft nicht an der Schnittfläche gemessen hätte.

1. Entblätterung von eingekerbten Zweigen.

Die partielle Entblätterung wurde in der Weise vorgenommen, daß die entfernten Blätter (das Objekt war hier immer Syringa, und es wurde von jedem Blattpaar eine Blattspreite ohne den Stiel abgenommen) auf einer Spirale lagen. Die übrig bleibenden Blätter beherrschen so noch einen beträchtlichen Teil des Querschnitts.

Lebende Zweige.

277. Syringa, 75 cm lang: 4,5. Vier Blätter von zehn abgeschnitten, ohne die Stiele: 4,5; 4,5 (6'). Sämtliche Blätter abgeschnitten: 4,5 4,5 4,5. Der Gipfel 4 cm über der oberen Kerbe abgeschnitten: 2,5 2 1,5. Mit Pumpe: 2.

278. Syringa, 80 cm lang: 17. Vier Blätter von neun abgeschnitten: 17 17 16 16. Alle Blätter ab: 16 12 12 11 12. Gipfel über den Kerben abgeschnitten: 2. Mit Pumpe: 2 1,5 2.

279. Syringa, 70 cm lang: 19. Fünf Blätter von zehn abgeschnitten: 19 17 16 16 16 15. Alle Blätter ab: 9,5; 7 (9'); 5 (15'). Gipfel über den Kerben ab, mit Pumpe: 2.

281. 80 cm lang: 22. Die beblätterten Seitenzweiglein abgeschnitten: 3 3. Über den Kerben abgeschnitten: 0,5. Mit Pumpe: 17. Trotz der doppelten Einkerbung fällt die Saugung nach der Entblätterung plötzlich sehr tief. Aber die Pumpe zeigt dann auch, daß der Widerstand sehr gering war.

286. Lycium, 120 cm lang: 17. 12 cm über der zweiten Kerbe abgeschnitten: 5 5 5. Noch 5 cm abgeschnitten: 1,7 1,5. Mit Pumpe: 2,5.

Toter Zweig.

290. Lycium, 210 cm lang: 6,5. Gipfel ab, Rest 110 cm lang, bis auf 65 cm tot: 5 5 5; 4 (9'); 3 (50'); 2 (2^h 40'). Mit Pumpe: 2,3.

2. Entblätterung von Zweigen, deren Schnittfläche verstopft ist.

Lebende Stengel und Zweige.

302. Aster, 85 cm lang: 10. Gipfel ab, Rest 40 cm lang: In der ersten halben Minute: 0,5; dann in je 1': 2; 4,3 (25'); 4 (43'). Mit Pumpe: 4,5.

304. Aster, 90 cm lang: 20. Gipfel ab, Rest 54 cm lang: in $^1/_2$': 0,3 1,5; dann in je 1': 8,2 8,3 8,2 8 8 7; 6,2 (20'); 5,5 (1^h 30'). Mit Pumpe: 5,5.

310. Aster, 105 cm lang: 14. Gipfel ab, Rest 65 cm: 8,7 10,5 11,3 10,5; 9 (18') 8,5 (40'); 6,5 (3^h).
Der Stumpf auf 13 cm verkürzt: 1,2 1 0,7. Mit Pumpe: 2.

404. Aster, 95 cm lang, stand seit $2^1/_2$ Tagen in Wasser und war dabei welk geworden. Ohne Erneuerung der Schnittfläche aufgesetzt, von unten her bis auf 60 cm entblättert. Saugt 19,5 19 18 18 17,5 17,5. Gipfel ab, Rest 60 cm lang:

der Index bleibt für einige Sekunden stehen, dann in je $^1/_2$': 4 6,5 7 6,5; dann in je 1': 12,8 12,7; 10 (16'); 8 (30'); 7 (50'); 6 (1^h 20').

314. Forsythia, 90 cm lang: 7. Ohne Gipfel, Rest 24 cm lang: in je $^1/_2$': 0 0,5; in je 1': 1,3 3,5 3,5 3,4. Mit Pumpe: 2,5.

326. Syringa, 50 cm lang: 2,5. Ohne Gipfel, Rest 25 cm lang: — 0,2 0 + 1,5 1,5 1,8 1,9 1,7. Mit Pumpe 1,7.

331. Syringa, 65 cm lang: 8,5. Gipfel ab, Rest 30 cm lang: in je $^1/_2$': 0,4 0,8; dann in je 1': 5 5,8 4,2 4 3,5; 2,5 (15'). Mit Pumpe: 2,5. Ohne Pumpe: 2.

332. Syringa, 85 cm lang: 12,5. Vier Blätter von 24 abgeschnitten: 11,5 12. Noch fünf Blätter ab: 11 11,5. Alle Blätter ab: 8,5 7,5 6,5 6; 5,5 (7'). Blattloser Gipfel ab, Rest 64 cm lang: 1 1,5 2,5 3 3 2,5 3 2,7 2,5; 2 (18'). Mit Pumpe: 1,7.

350. Syringa, auf 58 cm blattlos, dann gegabelt, mit zwei zweijährigen Zweigen, 36 und 25 cm lang, davon jeder noch mit zwei 25 cm langen beblätterten Zweigen: 14,5. Von einem zweijährigen Zweig der Gipfel abgeschnitten: der Index bleibt etwa $^1/_4$' stehen, dann 11,5 11 11 10,5. Vom zweiten Zweig der Gipfel ab: in je $^1/_2$': 1,2 1,6 2,4 3; dann in je 1': 5,5 5 5,3 5 4,8; 3,5 (20'); 2,8 (35'). Mit Pumpe: 2,8.

352. Syringa, 100 cm lang: 5,3. Gipfel ab, Rest 70 cm: 1 4,5 4,2 4,3 4,3- 3,5 (15'). Mit Pumpe: 3,5.

354. Syringa, 110 cm lang: 4,2. Gipfel ab, Rest 82 cm lang: in je $^1/_4$': — 0,4 + 0,6; in $^1/_2$': 1,6; in je 1': 3 3,2 3,2 3,4.

346. Syringa, 50 cm lang: 3.7. 11 Blätter von 24 abgeschnitten: 3 3,5 3 3,2 3,3 3,2. Nochmals sieben Blätter ab: 2,7 2,8 3 3 2,8 3. Der Gipfel mit den sechs letzten Blättern ab, Rest 17 cm lang: 0,1 0,2 0,3.

391. 20. Juni. Zweig von Lycium, 1 m lang. Schnittfläche mit Paraffin verschlossen, 12 mm von der Rinde befreit, 3 cm ragen ins Potometer. 17; 12 (10'); 10,5 (20'). Unter Wasser der Gipfel abgeschnitten: in je $^1/_2$': — 5 0; dann in 1' + 0,2.

392. 20. Juni. Zweig von Syringa, 60 cm lang, mit Paraffin. Das ins Potometer ragende Stück 4,3 cm lang, 3 cm entrindet: 13 12 12; nach 3 : 8,5. Jetzt unter Wasser geköpft: — 2,5 0.

393. 21. Juni. Heuriger Zweig von Syringa, 80 cm lang, mit verschlossener Schnittfläche, ohne Ringelung; 6 cm tauchen in das Potometer: 5,5. Der Gipfel in Luft abgeschnitten, der Rest ist 22 cm lang; in je $^1/_4$': — 2 — 1 + 0,3 + 0,5; in 1': 1,8 (10').

395. 21. Juni. 40 cm lang, sonst wie vorher. 3 3; nach 8^h sehr welk: 1. Nun der Gipfel in Luft abgeschnitten, der Rest ist 8 cm lang. In je $^1/_2$': — 2,8 — 2,7 — 1,8 —1,5 — 1; auf die obere Schnittfläche ein Tropfen aufgesetzt; in je $^1/_2$': — 1 — 1 — 0,6 — 1 — 1; der Tropfen wieder abgenommen; in je 1': — 1,5 — 0,7 — 0,2 — 0,1 0 0 + 0,2 0,3 0,2 0,2.

Tote Zweige mit lebenden Blättern.

306. Aster, 130 cm lang, auf 65 cm tot: 12. Ohne Gipfel, Rest 65 cm lang: 5,7 7 8 8; 7,5 (20'). Mit Pumpe: 7,5.

343. Syringa, 115 cm lang, ein 50 cm langes Stück getötet, das unterste Stück lebend: 3,5. Ohne Gipfel, Rest 78 cm lang: — 1,2 — 0,3 0 + 1 1 1. Mit Pumpe: 1,14.

3. Entblätterung von Zweigen, die durch die Blätter saugen.

293. Syringa. Vier Blätter im Wasser, vier außerhalb: 6. Zwei Luftblätter abgeschnitten: 3,5 4,5 4. Der Luftgipfel mit den zwei anderen Blättern abgeschnitten: Rückstoß, dann + 1.

326. Syringa. Ein Zweig im Wasser, vier Zweige außerhalb: 2,5. Der Luftgipfel abgeschnitten: — 0,2 0 + 1,5 1,5 1,8 1,9 1,7. Mit Pumpe: 1,7. Pumpe ab: 1,5.

327. Syringa. Ein Zweig im Wasser, zwei außerhalb: 5. Luftgipfel abgeschnitten: in je $^1/_4$': — 3 — 0,4 — 0,1 0; in je 1': + 0,2 0,2 0,1 0,1. Mit Pumpe: 0,2.

328. Syringa. Ein sehr kleiner Zweig im Wasser, zwei außerhalb. Sehr welk: 1,8. Luftgipfel ab: in je $^1/_2$': — 1,6; + 0,2; in je 1': 0,2 0,1 0,2.

396. 23. Juni. Zweig von Vitis, 70 cm lang, Schnittfläche mit Paraffin verschlossen. Der 25 cm lange oberste Zeil mit drei Blättern taucht ins Potometer, sechs Blätter sind außerhalb. 3,5; 4 (1 h 20'). Der Gipfel abgeschnitten, der Rest über dem Potometer ist 3 cm lang; in je $^1/_4$': — 5 — 0,3 + 0,5 + 0,5 2 2 2 1,5.

Ergebnis: Die vom Standpunkt der Kohäsionstheorie aus gestellten Forderungen sind in den Experimenten erfüllt. Wenn Zweige gegen hohe Widerstände saugen, hat partielle Entblätterung sehr geringen Einfluß auf die Saugung, und bei völliger Entlaubung dauert die Saugung noch lange Zeit in ausgiebigem Maße fort, falls das Abschneiden des Gipfels in der Luft erfolgt. Beim Abschneiden unter Wasser wird natürlich das Wasser durch die obere frische und nicht durch die untere blockierte Schnittfläche eingesogen. Bei gekerbten Zweigen (und ebenso bei geklemmten Blattstielen) fällt die Saugung nach der Entblätterung kontinuierlich. Ist dagegen die Schnittfläche verstopft, oder wird das Wasser von lebenden Blättern aufgenommen, so ist die Saugung zunächst sehr vermindert, um dann rasch anzusteigen und endlich langsam wieder abzunehmen. In der oder den ersten Minuten kann sogar ein Rückstoß auftreten, der in den ersten Sekunden am kräftigsten ist und besonders stürmisch ausfällt, wenn das Abschneiden des Gipfels unter Wasser vorgenommen wird (Versuche 391, 392). Auch nach partieller Entlaubung (bei verstopfter Schnittfläche, Versuche 346 und besonders 350; bei Saugung durch die Blätter, Versuch 293) kann in der allerersten Zeit die Saugung deprimiert sein.

Das Nachsaugen nach der Entblätterung muß nicht ausschließlich auf der Saugung der Gefäße mit ihrem negativ gespannten Inhalt und ihren wasserarm gewordenen Membranen beruhen. Es können sich vielmehr auch die lebenden Parenchymzellen des Holzes daran beteiligen, falls solche vorhanden sind; daß diese jedenfalls nicht allein für das Nachsaugen verantwortlich zu machen sind, zeigen die Versuche

mit toten Zweigen (z. B. 290, pag. 233). Wie es Leclerc du Sablon ausgesprochen hat, ist es ja kaum anders möglich, als daß der Turgor der Holzparenchymzellen sich ins Gleichgewicht setzt mit dem Druck in den anstoßenden Gefäßen. Das Parenchym im Holz müßte also ebensogut welk werden können wie das der Blätter. Dazu stimmt gut, daß Wiesner junge Blätter (z. B. von Vitis) sogar unter Wasser welken sah, wenn andere Blätter in Luft transpirierten.

Auch die Rinde kann zu dem Nachsaugen ihr Teil beitragen. Kraus hat nachgewiesen (1882), daß die Rinde eines Baumstammes ebensogut wie der Holzkörper (vgl. unten pag. 237) ihre tägliche Schwellungsperiode hat, vom Morgen bis Mittag an Volumen verliert, um dann wieder anzuschwellen, und daß diese Volumänderung auf Veränderung des Turgors beruht. Auch in einem Zweig, der wegen zu hohen Widerstandes im Experiment welkt, wird die Rinde ihren Turgor verlieren und gegebenenfalls wieder herzustellen streben.

Daß der Vorgang, der sich am Potometer in der extremsten Form als Rückstoß äußert, in der Ausstoßung von Wasser aus der saugenden Pflanze besteht, ist wenig wahrscheinlich. Dagegen ist denkbar, daß die unter einem äußeren Überdruck von mehreren Atmosphären stehenden Gewebe sich ausdehnen, wenn dieser Überdruck plötzlich vermindert wird. Beim Abschneiden unter Wasser ist ein Ausgleich der negativen Spannungen im Inneren leicht möglich, aber auch die Luft muß in die Schnittflächen stürzen und das Wasser bis zu einer gewissen Tiefe zurückschieben, so daß in einzelnen Leitbahnen ein gewisser Ausgleich der negativen Spannung zustande kommt. Bei lebenden Wurzeln war dieselbe Erscheinung zu beobachten (vgl. pag. 178); wir kommen darauf bald zurück. Daß der Rückstoß bei geklemmten und bei gekerbten Objekten fehlt, ist nach der versuchten Deutung notwendig. Die Leitbahnen der ins Potometer tauchenden Teile stehen ja hier gar nicht unter negativem Druck.

Desgleichen ist das Phänomen nie angedeutet bei Pflanzenteilen, die sich leicht mit Wasser zu versorgen vermögen (vgl. pag. 185).

Etwas Ähnliches hat Dixon (1896) beobachtet. Er hält Zweige in einem Gefäß, dessen Luftinhalt (zur Bestimmung des osmotischen Druckes, vgl. unten pag. 240) unter starken Druck gesetzt werden kann. Die Schnittfläche ragt unten aus dem Gefäß heraus und taucht in ein Gläschen mit Wasser. Wird nun der Zweig eine Zeitlang unter hohem Druck gehalten und darauf plötzlich der Druck erniedrigt, so saugt der Zweig aus dem Gläschen mehrere Minuten lang kräftig Wasser auf. Dieses Saugen ist viel ausgiebiger bei beblätterten als bei blatt-

losen Zweigen. Dixon denkt an elastische Ausdehnung der vorher durch den starken Außendruck komprimierten Leitbahnen, vorzugsweise in den Blättern. Es ist aber wohl anzunehmen, daß auch das Parenchym, dessen Turgor vermindert war, sich weiter mit Wasser sättigt. Ganz ähnlich wie in Dixon's Versuch verhält sich wahrscheinlich ein in Wasser tauchender Zweig, der für einen in Luft transpirierenden Zweig das Wasser aufnimmt. Sobald der Zug der transpirierenden Blätter aufhört, steigt der Innendruck, die Differenz zwischen Innen- und Außendruck nimmt also ab, wie es bei Dixon infolge der Verminderung des Außendruckes geschieht. Das Resultat ist in beiden Fällen eine Ausdehnung der Gewebe, die ermöglicht wird durch Wassersaugung von der Schnittfläche her.

Als vielleicht analoge Erscheinung mag auch das periodische An- und Abschwellen der Bäume angezogen werden, das Kraus (1887, pag. 255) ermittelt hat. Er fand, daß u. a. der Holzkörper vom Morgen bis zum Mittag an Umfang abnimmt, von da bis zur Morgendämmerung zunimmt, und führt die Volumveränderung auf Änderungen im Quellungszustand der Holzmembranen zurück. Tatsächlich dürfte der Holzkörper eines bewurzelten Baumes bei starker Transpiration in einen ähnlichen Zustand geraten wie unsere Zweige mit verstopfter Schnittfläche. Die Abgabe von Imbibitionswasser aus den Gefäßwänden, die Kraus als einzigen wirksamen Faktor annimmt, kann die weitere Folge haben, daß die Gefäßlumina infolge tangentialer Zusammenziehung der Wände sich verengern. So könnte eine beträchtlichere Verminderung des Holzvolumens und des Wassergehaltes zustande kommen, als wenn nur einige Gefäße durch den starken Überdruck von außen her platt gedrückt werden.

In Wurzeln, die bei erschwerter Wasseraufnahme im Inneren hohen negativen Druck aufweisen, also unter starkem Überdruck von außen stehen, können kräftige Endodermen einen guten Schutz für das Siebröhrengewebe abgeben. Dem würde entsprechen, daß die Endodermis im allgemeinen bei Bewohnern trockener Standorte mächtiger entwickelt ist als bei Hygrophyten (vgl. Schwendener; ausführlich zitiert bei Haberlandt, pag. 329). Schwendener faßt die Erscheinung als Anpassung an die Rindenspannungen auf, die ja sicher eine Rolle spielen.

IV. Die Saugkraft von Pflanzen, die in Wasser wurzeln.

Es schien von Interesse auch die Kraft zu messen, die bewurzelte, in Wasserkultur erzogene Pflanzen nötig haben, um durch das un-

verletzte Wurzelsystem sich mit dem nötigen Transpirationswasser zu versorgen. Nachdem die Saugung von Phaseoluspflanzen auf dem früher beschriebenen Potometer, mitunter in der hellen Sonne, eine Zeitlang beobachtet worden war, wurde der Gipfel abgenommen und an den Stumpf die Pumpe angesetzt. Das Maß der von der Pumpe ausgeübten Saugung war sehr abhängig von der Art, wie der Pumpenschlauch an dem saftigen Stengel befestigt wurde; es ist nötig, durch einen Plastolinring zwischen Stengel und Schlauch die Klemmung sorgfältig zu verhindern.

Die Pumpe saugte bei 60—65 cm Manometerstand im allgemeinen etwas mehr als der beblätterte Gipfel. Damit steht im Einklang die Beobachtung von Vesque (1884, pag. 159), daß die Wasseraufnahme bei Wasserkulturpflanzen von der Größe des auf der Wurzel lastenden Druckes deutlich abhängig ist. Vesque operierte in der Weise, daß er ein mit dem Saugwasser in Verbindung stehendes Gefäß mit Quecksilber abwechselnd hob und senkte; so konnte er bald Druck, bald Zug auf die Wurzeln wirken lassen. Die Experimente von Vesque erstrecken sich über wenige Minuten. Die Ergebnisse hängen also, wie der Autor selbst meint, wohl nur mit der plötzlichen Veränderung des Volumens der Gefäßluft zusammen. Sie sagen nichts darüber aus, wie bei längerer Dauer des Über- oder Unterdruckes die Saugung und die Saugkraft sich verhalten.

Daß die Pumpe auch durch die Interzellulargänge des Phaseolusstengels Wasser saugt, ist nach der Beobachtung kleiner Luftblasen, die gelegentlich an dem im Potometer steckenden Epikotyl oder Hypokotyl hafteten, nicht wahrscheinlich. Auch Verwundungen durch Abbrechen von Wurzeln wurden sorgfältig vermieden. Wenn wirklich nirgends ein Fehler steckt, vermag also die Pumpe in dem intakten Wurzelsystem eine Druckverminderung herbeizuführen, die bedeutender ist als sie bei normaler Transpiration der Blätter ausfällt. Nun ist der Rückstoß beim Köpfen bewurzelter Pflanzen immer sehr auffallend. Und wenn dieser Rückstoß auf der Ausdehnung vorher komprimierter Gewebe beruht, ist er infolge des großen Volumens des Wurzelsystems schon bei einer geringen Druckdifferenz kräftig und muß sich auch äußern, wenn die Schnittfläche des Stengelstumpfes, an dem die Pumpe eine Zeitlang saugte, plötzlich dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt wird. Das ist tatsächlich beobachtet worden:

355. 24. Mai. Phaseolus, Wurzel 20 cm lang, Stengelstumpf 11 cm lang. Manometer 50—60 cm Hg. Mit Pumpe: 5,5. Ohne Pumpe, in je $^1/_2$': — 0,7 — 0,2 + 0,2. Mit Pumpe: 10. Ohne Pumpe: in je $^1/_4$': — 0,2 — 0,1; in $^1/_2$':0; in je 1': + 0,7 0,8. Mit Pumpe: 5,5. Ohne Pumpe: in je $^1/_4$': — 0,2— 0,3; in $^1/_2$': + 0,3; in 1': 0,7.

V. Saugkraft und osmotischer Druck.

Die Größe der mit dem Turgor veränderlichen Saugkraft findet augenscheinlich zunächst ihre Grenze bei der osmotischen Kraft der transpirierenden Zellen. Bei völliger Aufhebung des Turgors wird der ganze osmotische Druck des Zellsaftes für Saugung verfügbar. Die maximale, beim Welken auftretende, durch Vergleich mit der Wirkung der Pumpe ermittelte Saugkraft sollte also gleich dem osmotischen Druck sein. Eine ungefähre Übereinstimmung zwischen den beiden Größen ist für die verwendeten Pflanzen tatsächlich zu konstatieren. Die Plasmolyse tritt im Mesophyll der Blätter bei ungefähr 20—30 % Rohrzucker ein, in der Epidermis bei niedrigerer Konzentration[1]). Das entspricht osmotischen Drucken von rund 10—20 Atmosphären. Und das sind dieselben Zahlen, die oben für die höchsten Saugkräfte berechnet worden sind. Bei der extensiven, biologischen Ausarbeitung des Problems der Saugkraft wird es zunächst nötig sein, Objekte mit recht verschiedenen osmotischen Drucken kennen zu lernen. Höchst wichtig ist hier die Entdecknng von Fitting (1910, z. B. pag. 270), daß manche Wüstenpflanzen außerordentlich hohe osmotische Drucke, bis zu 100 Atmosphären, aufweisen. Dabei wird sich dann zeigen, wie weit die verwendete Methode für die Berechnung der Saugkraft nach der quantitativen Seite brauchbar ist oder brauchbar gemacht werden kann. Vorläufig können die gegebenen Berechnungen nur als grobe Schätzungen gelten.

Maßgebend ist für die maximale Saugkraft natürlich nur der osmotische Druck des Zellsaftes in der vollkommen turgorlosen Zelle. Auf die Verkleinerung des Zellvolumens in der plasmolysierenden Lösung braucht deshalb keine Rücksicht genommen zu werden. Und vielleicht ist auch damit die größtmögliche Höhe des osmotischen Druckes in der noch saugfähigen Zelle noch gar nicht erreicht. Bei sehr weitgehendem Welken kann ja der Zellsaft sich stark konzentrieren. Auf der Zellwand lastet hier der Luftdruck, anstatt daß sie, wie im Präparat, von wässeriger Lösung umspült ist. Und wenn die Membran, wie es bei Wassergeweben oft vorkommt, durch blasebalgartige Einfältelung der Verkleinerung der Zellvakuole zu folgen vermag, so kann der osmotische Druck und damit die Saugkraft noch weit in die Höhe getrieben werden.

---

1) Dieselbe Beobachtung teilt Fitting mit (pag. 222, Anm. 2). Ob das wirklich auf einer Verschiedenheit des osmotischen Druckes oder aber auf verschiedener Dehnbarkeit der Membranen beruht, müßte noch geprüft werden.

Die Methode, die Dixon zur Bestimmung des osmotischen Druckes in Blättern verwendet (1896; er setzt die in Glasgefäßen befindlichen Blätter hohem Druck aus und beobachtet, wann sie sichtbar kollabieren), ist deshalb für die Zwecke, die hier verfolgt werden, vielleicht brauchbarer als die sonst übliche Verwendung plasmolysierender Lösungen. Der Kollaps zeigt den Punkt an, bei dem die Zellen durch den äußeren Überdruck nicht bloß so weit entspannt werden, wie es in der plasmolysierenden Lösung geschieht, sondern sich ganz zerquetschen lassen. Den Einwand, den Dixon (1909, pag. 62) gegen die plasmolytische Methode macht (er meint, an kleinen Schnitten könnten die osmotischen Eigenschaften infolge des Wundreizes usw. tiefgreifende Änderungen erfahren), wird er nach den Untersuchungen von Tröndle wohl selber fallen lassen. Tröndle hat mit dieser Methode Gesetzmäßigkeiten entdeckt, die kaum aufzufinden wären, wenn in den Schnitten pathologische und deshalb wohl nicht immer ganz gleichförmige Veränderungen vor sich gingen. Freilich wird die Dixon'sche Methode noch einer sehr sorgfältigen Kritik bedürfen.

VI. Die Wassersättigung saugender Organe.

Wie Pfeffer auseinandersetzt (1892, pag. 258), können die Imbibitions- und die osmotischen Kräfte der transpirierenden Blattzellen nur dann für die Wasserhebung verfügbar werden, wenn der Zustand der Zellen sich von der maximalen Sättigung, d. h. von der vollen Imbibition der Wände und dem höchstmöglichen Turgor, mehr oder weniger weit entfernt. Erst bei völliger Entspannung der Membranen können die Zellen mit dem vollen Maß ihrer osmotischen Kräfte als Saugpumpen arbeiten. Dieser Forderung entspricht die Beobachtung, daß die höchsten Saugungen in den oben mitgeteilten Experimenten von deutlich welken Objekten erzielt wurden. Von großer Wichtigkeit ist hier ferner die Angabe Fitting's (pag. 258) über die Turgeszenz gewisser Wüstenpflanzen; sie sollen immer etwas welk sein und beim Einstellen in Wasser „blechartig und glasartig spröde" werden. Auch bei uns sind Kräuter und Bäume bei anhaltender Dürre, wenn die Wasseraufnahme sehr erschwert ist, tagsüber welk. Daß sie zunächst nicht vertrocknen, ist ein Beweis dafür, daß sie im welken Zustand lange Zeit hindurch sich so viel Wasser zu verschaffen vermögen als sie durch Transpiration verlieren. Aber nicht nur in den extremen Fällen, in denen offensichtliches Welken eintritt, ist die Wassersättigung unter das Maximum erniedrigt. Kraus (1882, pag. 235) hat in um-

fangreichen Versuchsreihen ermittelt, daß das Volumen saftiger Früchte und Blätter und ebenso der Rinde von Baumstämmen regelmäßigen Schwankungen unterworfen ist; daß vom Morgen bis zum Mittag, entsprechend dem Gang der von Temperatur und Beleuchtung abhängigen Transpiration, der Durchmesser der genannten Pflanzenteile abnimmt, nach Mittag bis zum frühen Morgen wieder zunimmt, und daß durch reiche Wasserzufuhr und durch Hemmung der Transpiration Schwellung hervorgerufen wird. Kraus kommt zu dem unabweisbaren Schluß, daß die Schwellungsperiode bei parenchymatischen Organen eine Turgeszenzperiode ist. Und damit sind die Forderungen der Kohäsionshypothese in glänzender Weise erfüllt: je stärker bei gleichbleibendem Wassergehalt des Bodens die Transpiration wird, desto weiter vermindert sich der Turgor.

In einem früheren Teil der vorliegenden Untersuchungen ist außerdem nachgewiesen, daß jedes Blatt, wenn es zu transpirieren anfängt, von der vollen Wassersättigung etwas einbüßt (pag. 191). Noch viel weiter sind Blätter, die frisch von der bewurzelten Pflanze kommen, von der Sättigung entfernt (pag. 180). Daß es sich hier überall um ein Sättigungsdefizit in den parenchymatischen Geweben der transpirierenden Flächen, nicht nur in den teilweise verdünnte Gase führenden Leitbahnen handelt, ist freilich noch unmittelbar darzutun. Aber es ist doch schon jetzt recht wahrscheinlich, daß für ein gegebenes, an einem bestimmten Punkt der Pflanze sitzendes Blatt für jedes Verhältnis zwischen Wasserversorgung der Wurzeln und Transpiration ein bestimmtes Maß der Turgeszenz gehört. Die Turgorverminderung, die sich von einer gewissen Grenze an als Welken kund gibt, ist dann nicht nur die notwendige Folge einer augenblicklich ungünstigen Relation zwischen Wasserzufuhr und Wasserverlust, sondern zugleich das automatisch wirkende Regulativ der Wasserbilanz.

Zur Illustration der Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des Ansaugens beim Übergang von feuchter in trockene Luft, also dem Sättigungsdefizit, einerseits und dem Widerstand in den Leitbahnen andererseits sei noch auf den Versuch 169 (pag. 190) hingewiesen und der folgende Versuch angeführt.

390. 19. Juni. Blatt von Helleborus. Saugt eine Stunde nach dem Abschneiden unter Wasser, invers: 18 18 18 18. Im feuchten Raum: ? ? 4,5; 2,3 (7'); 1,2 (16').

Nun wieder in trockener Luft: 2 7,3 11,5 13,5 14,5 15 15,5 16 17 16,5 (10') 16,5. Wieder im feuchten Raum: 9; 1 (20'). Nun an den Stiel eine Klemme angesetzt, das Blatt bleibt im feuchten Raum: 1 1.

Jetzt mit geklemmtem Stiel in trockene Luft gebracht: 2 5,3 8 9,5 10 11 12 11,5 13,5 14 (10') 14 14,5 15 14,5 14,5 14,5. Wieder im feuchten Raum: 11 9; 2,3 (9'); 0,5 (50'). Der Stiel wird noch schärfer geklemmt: die Saugung bleibt für 2' ganz stehen.

Jetzt mit scharf geklemmtem Stiel in trockene Luft gebracht: 0,4 1,2 1,6 2,1 2,5 3 3,2 3,8 3,5 4 (10') 4,3 4,4 4,6; 5 (17'); 5,3 (20'); 5,8 (25').

Es ist deutlich zu sehen, wie das Defizit beim Ansaugen bis zur Erreichung des konstanten Wertes größer ausfällt, wenn größere Widerstände zu überwinden sind; im letzten Teil des Versuchs 390 wird jedenfalls die Transpiration durch die Saugung überhaupt nicht mehr erreicht.

Eine große Blattzahl muß, um sich leidlich frisch zu erhalten, höhere Saugkräfte im einzelnen Blatt entfalten, also weiter sich von der Sättigung entfernen, als eine kleinere Zahl, vorausgesetzt immer, daß die größere Zahl nicht einen größeren Querschnitt beherrscht als die kleinere. Als Beleg für diese Folgerung kann eine Beobachtung von Dixon und Joly gelten. Sie fanden (1895, pag. 412), daß an Zweigen, deren Schnittfläche verstopft ist, so daß das Wasser von den Gefäßmembranen aufgenommen werden muß, wohl eine kleine Zahl von Blättern, nicht aber die ganze Belaubung sich frisch halten kann. Einem gewissen Turgeszenzzustand entspricht eben eine bestimmte Geschwindigkeit des Filtrationsstromes, und die dabei beförderte Wassermenge reicht aus, den betreffenden Turgeszenzzustand in einigen Blättern dauernd zu erhalten, nicht aber in vielen.

Mit der Erhebung über den Erdboden muß an einem hohen Baum die Saugkraft der Blätter wohl zunehmen, entsprechend den vergrößerten Widerständen. Eine Steigerung des osmotischen Druckes mit zunehmender Höhe, wie Ewart sie gesucht (1905, pag. 77), aber bei genauer Prüfung nicht gefunden hat (1907), könnte das leisten. Wenn sie aber nicht vorhanden ist, genügt schon ein Unterschied in der Wassersättigung; die Blätter am Gipfel müßten bei gleichem osmotischen Druck und gleicher Transpiration weniger weit gesättigt sein als die unteren Blätter.

Das sind lauter Detailfragen, die noch experimentell geprüft werden müssen.

Schluß.

Die Evidenz für die Richtigkeit der genialen Kohäsionshypothese, die Dixon trotz der mangelnden Beweise mit solcher Beharrlichkeit seit vielen Jahren vertritt, ist durch die mitgeteilten Erfahrungen wohl etwas weiter gebracht als es bisher der Fall war.

Zu einer Auseinandersetzung mit den Gegnern der Kohäsionstheorie ist keine Veranlassung gegeben. Dixon hat das in den Progressus selbst getan und braucht keinen Anwalt. Die Abtötungsversuche, die von Ursprung und seiner Schule in großem Maßstab ausgeführt worden sind, hat kürzlich Overton (1910; pag. 118 ist die einschlägige Literatur zusammengestellt) mit vieler Umsicht wiederholt; er gibt der Kritik, die seinerzeit Jost und andere Autoren an Ursprung's Arbeiten geübt haben, vollkommen Recht.

Nur der Wert der Manometermessungen soll mit einigen Worten berührt werden. Strasburger hat schon auf den springenden Punkt aufmerksam gemacht (1893, pag. 56). Das Bohrloch, das der Aufnahme des Manometers dient, schneidet nicht nur die Leitbahnen, sondern auch die Interzellularen an. Es ist also nichts anderes als eine gewöhnliche Schnittfläche, und aus Gründen, die oben erörtert sind, kann an einer offenen Schnittfläche eine hohe Saugkraft sich nicht bemerkbar machen, auch wenn sie vorhanden ist. Die Manometermessungen sagen demnach über den Druck im unverletzten Holzkörper gar nichts aus.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Die Regulation der Wasserbewegung, d. h. das Einsetzen des Filtrationsstromes bei beginnender Wasserentnahme, das Stehenbleiben der Strömung beim Aufhören der Entnahme, vollzieht sich in wassergesättigten Achsenorganen sehr rasch, in nicht gesättigten viel langsamer.

Schwaches Nachsaugen nach dem Aufhören der Wasserentnahme zeigen tote Zweige im Zustande ziemlicher Sättigung ebenso wie lebende.

In transpirierenden, doch anscheinend voll turgeszenten Blättern erfolgt die Regulation der Wasserbewegung immer ziemlich langsam. Sie saugen nach Unterdrückung der Transpiration noch längere Zeit fort, und wenn im feuchten Raum die Saugung sich sehr weit verringert hat, steigt sie bei plötzlich einsetzender voller Transpiration nur langsam an.

In transpirierenden Blättern besteht also immer ein Sättigungsdefizit.

Weit von der Sättigung entfernt sind Zweige und Blätter, die frisch von der bewurzelten Pflanze abgetrennt sind.

Bewurzelte, in Nährlösung erzogene Pflanzen verhalten sich ganz ähnlich wie abgeschnittene Zweige. Wenn die Entnahme von Wasser aus den Leitbahnen der Achse plötzlich aufhört, wie es bei Entfernung

der Blätter geschieht, ist auch die Wasseraufnahme durch die Wurzeln augenblicklich weit vermindert. Das gilt auch für die Fälle, in denen der Stengelstumpf blutet.

Die Saugkraft lebender Blätter — definiert als Differenz zwischen dem Atmosphärendruck und dem Druck in den Leitbahnen der Blattflächen — läßt sich kaum in sichtbarer Weise steigern durch Erniedrigung des Druckes, der auf der Schnittfläche lastet. Sehr wohl dagegen durch Vermehrung der Widerstände, die der Aufnahme des Wassers in die Leitbahnen oder seiner Fortbewegung in den Leitbahnen sich entgegenstellen.

Nach kräftigem Klemmen krautiger Stengel und Blattstiele, nach doppeltem Einkerben holziger Achsen, nach Verstopfung der Schnittfläche bei entrindetem Holzkörper, ist die Saugung zunächst weit verringert, entsprechend dem Verhältnis zwischen der alten Saugkraft und dem neuen Widerstand. Mit der Zeit steigert sich dann gewöhnlich die Saugung bedeutend, was auf ein Wachsen der Saugkraft, d. h. auf eine Erniedrigung des Innendruckes, hinweist.

Diese Steigerung der Saugkraft tritt auch ein, wenn die Achse, an der lebende Blätter sitzen, tot ist, und in gewissem Maße sogar, wenn die transpirierenden Blätter tot sind.

Werden an Objekten, die gegen starke Widerstände saugen, die transpirierenden Blätter durch Abschneiden entfernt, so fällt die Saugung plötzlich auf ein geringes Maß, falls die Schnittfläche nicht weit über der blockierten Stelle (Klemme, Kerben, verstopfte Schnittfläche) angebracht wird. Die Saugung nimmt sehr langsam ab, wenn das Achsenstück über der blockierten Stelle lang ist.

Beim Köpfen von bewurzelten Pflanzen, von Zweigen mit verstopfter Schnittfläche, und von Zweigen, die das Wasser durch untergetauchte lebende Blätter aufnehmen, ist die Saugung zunächst viel weiter deprimiert als später, oder es tritt sogar für kurze Zeit ein Rückstoß ein, auf den erst wieder positive Saugung folgt. Die Erscheinung wird auf die Ausdehnung von Geweben, die unter Druck standen, zurückgeführt.

Wird an den entblätterten Zweig oder an den der Lamina beraubten Blattstiel zu einer Zeit, wenn die Eigensaugung dieser Stümpfe schon sehr gering geworden ist, die Wasserstrahlluftpumpe angeschlossen, so saugt die Pumpe bei 60—65 cm Manometerstand meistens viel weniger als vorher die transpirierenden Blattflächen saugten, oft sogar weniger als der Zweigstumpf in der ersten Zeit nach der Entblätterung saugte.

Nach der Beseitigung der künstlich eingeführten lokalen Widerstände, d. h. nach dem Öffnen der Klemme, nach dem Abschneiden des verstopften Zweigstückes oder nach dem Abschneiden des beblätterten Zweiggipfels, der als Wasser aufnehmendes Organ diente, pflegt die Pumpe bedeutende Mengen Wasser durch den Stumpf zu saugen. Damit ist erwiesen, daß durch das Abschneiden des Zweiggipfels oder der Blattspreite in Luft keine wesentlichen Widerstände eingeführt werden, die für die Pumpe die Saugung schwieriger gestalten als sie für die transpirierenden Blattflächen war.

Viel eher arbeitet die Pumpe in vielen Fällen unter günstigeren Bedingungen als die Blätter, weil der Pumpe, anders als den Blättern, immer der ganze Querschnitt der Leitbahnen des abgeschnittenen Organes für den Wassertransport zur Verfügung steht.

Es ist also erlaubt die Saugung der Blätter mit der Saugung der Pumpe zu vergleichen und aus dem Verhältnis der Saugungsgrößen auf das Verhältnis der Saugkräfte zu schließen.

Die Saugkraft der Blätter ist nach diesen Bestimmungen besonders hoch bei welkenden Objekten und beläuft sich mitunter auf 10—20 Atmosphären. D. h. die Differenz zwischen dem auf der Schnittfläche liegenden Atmosphärendruck nnd dem Druck im Innern der Leitbahnen in der Nähe der Blätter beträgt 10 oder mehr Atmosphären.

In Wasser kultivierte bewurzelte Pflanzen verschaffen sich das zu normaler Transpiration nötige Wasser durch Saugkräfte, die noch nicht einmal eine Atmosphäre betragen. Trotzdem dehnt das Wurzelsystem sich beim Köpfen des Stengels beträchtlich aus.

In Objekten, die in Wasser stehend infolge von Schleimausscheidung oder von Bakterienentwicklung welken, sind die Widerstände immer so hoch, daß die maximale Saugkraft der Blätter keinen Filtrationsstrom hervorbringt, der die Blätter vor dem Welken schützt.

Die Betrachtung der Widerstandsverhältnisse führt zu dem Schluß, daß der mehrere Atmosphären betragende Druckabfall sich auf einer ganz kurzen Strecke der Leitbahnen vollzieht, daß also lebende Zellen innerhalb der Leitbahnen an der Überwindung der Widerstände nicht aktiv beteiligt sein können.

Hohe negative Drucke in den Leitbahnen werden nur durch lebende, nicht durch tote Blätter erzeugt; über abgetötete Zweigteile werden negative Spannungen ebenso fortgepflanzt wie über lebende.

Negative Spannungen, die mehrere Atmosphären betragen, bleiben unter Umständen nach dem Abschneiden der Blätter in den Leitbahnen der Zweige noch ziemlich lange Zeit erhalten; das äußert sich in dem

Maße der Saugung, die mehrmals größer sein kann als die von der Pumpe hervorgerufene Saugung. Hohe negative Spannungen können sich also nicht durch Einsaugen von Luft, sondern nur durch Einsaugen von Wasser ausgleichen.

Die berechneten maximalen Saugkräfte entsprechen ungefähr dem osmotischen Druck in den Blattzellen der betreffenden Pflanzen. Diese größte Höhe der Saugkraft wird erreicht, wenn die Blätter welken, so daß der ganze osmotische Druck der erschlafften Zellen für Saugung verfügbar wird.

Jede Zelle, die überhaupt transpiriert und saugt, vermag nur infolge eines Sättigungsdefizits zu saugen. Auch in den Blättern normal transpirierender, gut mit Wasser versorgter Pflanzen bleibt die Sättigung immer unter dem Maximum. Je größer die zur Herbeischaffung des Transpirationswassers nötige Saugkraft ist, nach Maßgabe der Widerstände und des Wasserverbrauchs, desto weiter entfernt sich die Zelle vom Zustand der vollen Sättigung.

Alle beobachteten Erscheinungen sind vom Standpunkt der Kohäsionstheorie aus wohl verständlich.

Zitierte Literatur.

Burgerstein, Die Transpiration der Pflanzen. Eine physiologische Monographie. Jena 1904.

Darwin, Fr. and Philipps, On the transpiration stream in cut branches. Proceed. Cambridge Philos. Society 1886, Vol. V, P. V, pag. 330.

Dixon and Joly, The path of the transpiration-current. Ann. of bot. 1895, Vol. IX, pag. 403.

Dies., Note on the rôle of osmosis in transpiration. Proceed. Royal Irish Academy 1896, 3. Ser., Vol. III, pag. 767.

Dixon, On the osmotic pressure in the cells of leaves. Proceed. Royal Irish Academy 1896, 3. Ser., Vol. IV, pag. 61.

Ders., Transpiration and the ascent of sap. Progressus Rei Botanicae 1909, Vol. III, pag. 1.

Ewart, The ascent of water in trees. Philos. Transact. Royal Soc. London 1905, Ser. B., Vol. CXCVIII, pag. 41.

Ders., The ascent of water in trees. Second paper. Ebenda 1907, Vol. CXCIX, pag. 341.

Ewart and Rees, Transpiration and ascent of water under Australian conditions. Ann. of Bot. 1910, Vol. XXIV, pag. 85.

Fitting, Über die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. f. Bot. 1911, Bd. III, pag. 209.

Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Aufl., 1904.

v. Höhnel, Beiträge zur Kenntnis der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze. Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. 1879—1881, Bd. XII, pag. 47.

Kohl, Die Transpiration der Pflanzen und ihre Einwirkung auf die Ausbildung pflanzlicher Gewebe. Braunschweig 1886.

Ders., Zur Wasserleitungsfrage. Bot. Ztg. 1885.

Kraus, G., Über die Wasserverteilung in der Pflanze. III. Die tägliche Schwellungsperiode der Pflanzen. Abhandl. d. naturforsch. Gesellsch. Halle, 1881, Bd. XV.

Leclerc du Sablon, Sur le mécanisme de la circulation de l'eau dans les plantes. Revue gén. de bot. 1910, Tome XXII, pag. 125.

Lloyd, The physiology of stomata. Carnegie Inst. of Washington, Publ. n. 82, 1908.

Overton, Studies on the relation of the living cells to transpiration and sap-flow in Cyperus. Bot. Gazette 1911, Vol. LI, pag. 28 u. 102.

Pfeffer, Studien zur Energetik der Pflanze. Abhandl. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1892, Bd. XVIII.

Ders., Handbuch der Pflanzenphysiologie. 1897, Bd. I.

Pringsheim, E., Wasserbewegung und Turgorregulation in welkenden Pflanzen. Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. 1906, Bd. XLIII, pag. 89.

Schwendener, Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen. Abh. d. Akad. d. Wissensch., Berlin 1882.

Strasburger, Über den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen. Jena 1891.

Ders., Über das Saftsteigen. Histologische Beiträge, Heft 5. Jena 1893.

Ursprung, Abtötungs- und Ringelversuche an einigen Holzpflanzen. Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. 1907, Bd. XLIV, pag. 287.

Vesque, Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure du bois. Ann. sc. nat. 1876, 6. sér., Tome III, pag. 358.

Ders., Observation directe du mouvement de l'eau dans les vaisseaux. Ebenda 1883, Tome XV, pag. 5.

Ders., Recherches sur le mouvement de la sève ascendante. Ebenda, 1884, Tome XIX, pag. 159.

Vines, The suction-force of transpiring branches. Ann. of Bot. 1896, Tome X, pag. 429.

Ders., in Report of a discussion on the ascent of water in trees. Ebenda, pag. 644.