

DE VRIES, HUGO, Über die periodische Säurebildung der Fettpflanzen; Botan. Zeitung 1884, S. 337.

— Über die Periodizität im Säuregehalte der Fettpflanzen; Verslagen en Mededeelingen der Koninkl. Akad. von Wetenschappen, Afd. Naturk. 1885, S. 58.

WARBURG, Über die Bedeutung der organischen Säuren für den Lebensprozeß der Pflanzen, speziell der sogenannten Fettpflanzen; Unters. aus d. Bot. Inst. z. Tübingen, Bd. 2, Heft 1, 1886, S. 53.

62. A. Ursprung: Über den Einfluß der Erwärmung auf die Wasseraufnahme untergetauchter Sprosse.

(Eingegangen am 20. Oktober 1918.)

Die Wasseraufnahme einer bewurzelten, transpirierenden Pflanze oder eines abgeschnittenen, transpirierenden Sprosses wird bekanntlich gesteigert, wenn wir die Temperatur der Luft oder der Pflanze erhöhen. Die Ursache der verstärkten Absorption erblickt man gewöhnlich in einer entsprechenden Erhöhung der Transpiration. Diese Erklärung erscheint einleuchtend, da tatsächlich die Transpiration mit der Temperatur zunimmt. Man ist sich dabei wohl bewußt, daß Transpiration und Absorption verschiedene Prozesse sind, die nicht miteinander verwechselt werden dürfen. Unter gewöhnlichen Umständen pflegt man aber Änderungen in der Wasseraufnahme in der Regel einfach auf Transpirationsänderungen zurückzuführen.

Abweichend verhalten sich bekanntlich transpirierende Sprosse kurz nach dem Abschneiden, hier überwiegt die Absorption bedeutend. STRASBURGER ließ daher seine Versuchszweige 1 Stunde lang im Wasser stehen; „die durch negativen Druck innerhalb der Gefäße veranlaßte Saugung dürfte nach jener Zeit aufgehört haben“¹⁾. Spätere Autoren ließen ihre Sprosse bald länger, bald weniger lang in Wasser. Sind die Luftdruckdifferenzen ausgeglichen, so führt man eine weitere Absorption auf erneute Transpiration zurück; wird jetzt die Transpiration unterdrückt, so sollte daher auch die Absorption aufhören.

1) STRASBURGER, Leitungsbahnen, p. 552.

Die Wasseraufnahme bei fehlender Transpiration.

Belege für eine Wasseraufnahme bei fehlender Transpiration brachten in neuerer Zeit RENNER und JOST¹⁾. Aber bereits vor 25 Jahren hatten PAPPENHEIM²⁾ und BÖHM³⁾ die Tatsache festgestellt. Nach PAPPENHEIM ist die Absorption kleinerer Holzstücke und 3 cm dicker Holzscheiben frisch gefällter Tannen bei völligem Untertauchen unter Wasser nach mehreren Tagen zwar geringer geworden, doch ließ sich noch kein Schluß auf das Ende der Saugung ziehen.

Worauf ist nun diese Wasseraufnahme bei fehlender Transpiration zurückzuführen? Nach PAPPENHEIM ausschließlich auf Druckdifferenzen zwischen Außenluft und Binnenluft. Auch VESQUE⁴⁾ bezieht sich auf diesen Faktor. Ebenso führt STRASBURGER⁵⁾ die Wasseraufnahme entlaubter Zweige auf luftverdünnte Räume oder auf noch vorhandene Transpiration zurück.

1898 beobachtete DIXON⁶⁾ an abgeschnittenen Zweigen, die vorher zur Ausgleichung der Luftdruckdifferenzen über 1 Stunde mit der Schnittfläche in Wasser tauchten, einen Eosinaufstieg bei fehlender Transpiration. In beblätterten Zweigen, wo dieser Aufstieg besonders deutlich war, wurde er von DIXON der Pumpfähigkeit besonders der Blattzellen zugeschrieben, in entblätterten Zweigen der Pumpfähigkeit des Holzparenchyms und der Markstrahlen. In toten Zweigen (Chloroformdampf, heißes Wasser) fand DIXON *et. par.* keinen Eosinaufstieg; dagegen steigt nach EWART u. REES⁷⁾ Eosin auch in toten, entblätterten, mit Wasser gesättigten Zweigen bei fehlender Transpiration. Es fehlt jedoch der Nachweis, daß Abtötung und Wassersättigung vollständig waren, wie auch aus DIXONS Angaben das völlige Fehlen von Luftdruckdifferenzen nicht mit Sicherheit zu entnehmen ist.

1) JOST, Vers. üb. d. Wasserleitung i. d. Pfl. Zeitschr. f. Bot. 8, 1916, p. 34; hier auch RENNER zit.

2) PAPPENHEIM, Eine Methode z. Bestimmung d. Gasspannung. Diss. Berlin 1892, p. 21.

3) BÖHM, Capillarität und Saftsteigen. Diese Berichte 1893, p. 211.

4) VESQUE, De l'influence de la temp. du sol sur l'absorpt. de l'eau. Ann. sc. nat. 1878, p. 222.

5) STRASBURGER, l. c., p. 574.

6) DIXON, Transp. into a saturated atmosphere. Notes from the botanical school of Trinity College Dublin 1898, p. 108.

7) EWART and REES, Transp. and ascent of water in trees under Australian conditions. Ann. of Bot. 1910.

In neuerer Zeit sucht man meistens¹⁾ wieder ohne diese Pumptätigkeit auszukommen. So schreibt RENNER²⁾: „Das Nachsaugen bei Unterdrückung der Transpiration durch Entblättern muß nicht auf der Pumptätigkeit lebender Zellen in den Leitbahnen beruhen, sondern kann ganz durch Vorhandensein negativer Gasspannungen, die sich langsam ausgleichen, hervorgerufen werden.“ JOST³⁾ weist darauf hin, daß die Luft der Leitbahnen außer durch Transpiration auch durch Atmung (nach DEVAUX) verdünnt werden kann; von anderen Faktoren ist nicht die Rede. Ist nun tatsächlich bei fehlender Transpiration die Luftverdünnung die einzige Ursache der Wasseraufnahme, so muß diese aufhören, wenn entsprechende Luftdruckdifferenzen fehlen, oder wenn die Gasblasen in den Leitbahnen verschwunden sind.

Einfluß der Erwärmung.

An nicht untergetauchten Pflanzen beobachtete VESQUE⁴⁾ bei rascher Erwärmung des Bodens eine Verminderung der Absorption, die er durch Zunahme des Gasdruckes im Holz erklärte. Gewöhnlich steigt jedoch die Absorption bei Zunahme der Bodentemperatur. Darauf beruht auch das vielfach empfohlene Rezept, welke Blumen durch Einstellen in warmes Wasser wieder turgeszent zu machen. Ähnliche Erfahrungen wurden mehrfach von botanischer Seite publiziert⁵⁾ und besonders auf Verminderung des Filtrationswiderstandes zurückgeführt. Sonst wird allerdings, wenn immer angängig, gesteigerte Wasseraufnahme durch vermehrte Transpiration zu erklären gesucht; so auch bei RENNER⁶⁾ der für die stärkere Absorption eines Sprosses während des partiellen Abbrühens die durch hohe Temperatur verursachte Transpirationsvermehrung verantwortlich macht.

Für das Verhalten untergetauchter Sprosse kommt zunächst eine rein physikalische Erscheinung in Betracht: die Ausdehnung der Gefäßluft. Wie besonders SACHS⁷⁾ zeigte, lassen im

1) LINDNER (Beitr. z. Biol. d. Pfl., 13, 1916, p. 84) schreibt die Wasseraufnahme bei fehlender Transpiration vitalen Vorgängen, besonders der Kohlenhydratsynthese zu.

2) RENNER, Exper. Beitr. z. Kenntnis d. Wasserbewegg., Flora 1911, p. 196.

3) JOST, Vers. üb. Wasserleitung, Zeitschr. f. Bot. 8, 1916, p. 34.

4) VESQUE. l. c., p. 189.

5) Zuletzt bei HOLLE, Unters. über Welken etc., Flora 8, 1915.

6) RENNER, l. c., p. 206.

7) SACHS, Ges. Abh., I, p. 538.

Winter abgeschnittene Ast- und Stammstücke beim Eintauchen in warmes Wasser aus dem Querschnitt Wasser austreten. Aus demselben Grunde muß im Frühjahr bei Erwärmung der oberirdischen Teile Wasser in die noch kalte Wurzel gepreßt werden¹⁾. Hier-nach wäre also beim Erwärmen untergetauchter Sprosse eine Abgabe von Wasser oder doch mindestens eine Verlangsamung der Aufnahme zu erwarten. DIXON²⁾ beobachtete aber in der schon zitierten Arbeit gerade das Gegenteil; in einem unter Wasser getauchten, beblätterten Zweig stieg Eosin rascher auf, wenn das Wasser nicht kalt (12 °), sondern warm (25—30 °) und der Zweig belichtet war. Die Erklärung erblickt er in einer Steigerung vitaler Prozesse durch erhöhte Temperatur und in der vermehrten Sauerstoffzufuhr infolge der Assimilation. DIXONs Angaben haben wenig Beachtung gefunden und waren auch mir nicht gegenwärtig, als ich im Sommer 1914 die Versuche anstellte, die im Folgenden besprochen werden sollen.

Eigene Versuche.

Das Versuchsmaterial bildeten turgeszente, beblätterte Zweige von *Fagus* und *Thuja*. Der Zweig tauchte in horizontaler Lage in einer Blechwanne unter Flüssigkeit (meist Wasser, seltener Paraffinöl), mit Ausnahme der Schnittfläche und eines kurzen ent-rindeten Stückes, die in einem Potetometer mit horizontaler Kapillaren steckten. Die Wanne wurde durch untergestellte Brenner erwärmt und die Temperatur an einem Thermometer abgelesen, dessen Kugel sich etwa in der Mitte der Blattmasse befand. Das Potetometer war gegen Erwärmung ausreichend isoliert. Die Ablesungen von Potetometer und Thermometer erfolgten meistens von Minute zu Minute, sind aber im Folgenden nur in größeren Intervallen wiedergegeben, soweit die Absorptionskurve regelmäßigen Verlauf zeigte. „Temp.“ bedeutet die am Thermometer abgelesene Temperatur, „Absorpt.“ die Wasseraufnahme pro 30 Sek. in Millimetern der Potetometerkapillaren. Ein Minuszeichen zeigt Ausscheidung an. Die Zweige standen vor dem Versuch mehrere Stunden in Wasser; die Aufzeichnung und Erwärmung begann erst, nachdem die Wasseraufnahme einigermaßen konstant geworden war.

1) Vgl. SACHS, Ges. Abh., I, p. 463.

2) DIXON, l. c.

1. *Thuja*-zweig unter Paraffinöl. Juni 1914. Vor erster Ablesung 3 Stunden unter Öl. Die Erwärmung von 20° — 55° erfolgt in 40 Minuten.

Temp.	20,5°	21°	21,5°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°
Absorpt.	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5
Temp.	29°	31°	34°	35°	35,5°	36°	50°	55°		
Absorpt.	5,5	5	5,5	5	72	77	66	58		

2. *Thuja*-zweig unter Wasser. Erwärmung von 16° — 67° in $1\frac{1}{2}$ Stunden.

Temp.	16°	18°	20°	24°	26°	30°	35°	38°	43°	46°
Absorpt.	8	8,5	9	9,5	9	8,5	8	8	8,5	7,5
Temp.	52°	58°	58,5°	60°	60,5°	61°	62°	62,5°	67°	
Absorpt.	7	7	59	45	30	22	11	2,5	—2	

3. *Fagus*-zweig unter Wasser. 1,2 m lang mit 470 Blättern. 9. Juli. Erwärmung von 19° — 70° in $2\frac{1}{2}$ Stunden.

Temp.	19°	22°	25°	28°	30°	32°	35°	40°	52°	53°	54°	55°
Absorpt.	25	18	14	8	—1	0	0,5	5	7	13	23	35
Temp.	56°	56,5°	57,5°	58°	59°	60°	61°	62°	66°	70°		
Absorpt.	49	58	68	60	45	17	4	—4	—27	—38		

4. *Fagus*-zweig. Ähnlich dem vorigen. Vor dem Versuch 10 cm über der Schnittfläche auf 30 cm mit Wasserdampf abgetötet. Erwärmung von 16° — 61° in 45 Minuten.

Temp.	16°	17°	20°	25°	29°	36°	40°	48°	50°	50,5°
Absorpt.	24	18	8	2	—5	—18	—21	—3	5	16
Temp.	51°	51,5°	54°	57°	58°	61°				
Absorpt.	40	48	57	52	33	—5				

Ich beschränke mich auf die Wiedergabe dieser Beispiele, aus denen der charakteristische Verlauf der Versuche zu ersehen ist. Zuerst hat die Erwärmung nur geringen Einfluß auf die Absorption oder führt zu einer oft beträchtlichen Ausscheidung, dann aber folgt ein auffälliges, starkes Ansteigen der Wasseraufnahme, das jedoch bald wieder nachläßt und zuletzt in Ausscheidung übergeht.

Bei der Analyse dieser Erscheinung haben wir zu unterscheiden zwischen dem Einfluß der Temperatur auf die toten Elemente und die lebenden Zellen.

Tote Elemente. Die Gasblasen der Leitbahnen vergrößern beim Erwärmen ihr Volumen $v_t = v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$, oder ihren Druck $p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$, was die Wasseraufnahme verringern muß. Über die Auflösung des Gases im Gefäßwasser ist zu bemerken, daß das von einem Volumen Flüssigkeit absorbierte Gasgewicht mit steigendem Druck zu- und mit steigender Temperatur in der Regel abnimmt. Die von CLAUSSEN studierte Fähigkeit frischen Holzes Luft zu absorbieren kommt bei der kurzen Dauer unserer Versuche kaum in Betracht; zudem nimmt, soweit bekannt, die z. B. von Kohle adsorbierte Gasmenge mit der Temperatur ab.

Wie die Gasblasen, so dehnt sich auch die Flüssigkeit der Leitbahnen beim Erwärmen aus, allerdings in viel geringerem Maße (Wasser, Vol. bei $4^{\circ} = 1$, bei $100^{\circ} = 1,04$). Wichtiger ist der Einfluß der Temperatur auf die innere Reibung η , da sie nach der POISEÜILLESchen Formel $Q = \frac{\pi}{8 \eta} \cdot \frac{PR^4}{L} \cdot T$ die Ausflußmenge Q stark beeinflusst.

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
$\eta =$	0,018	0,013	0,010	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004

Durch alle diese Veränderungen ist der Verlauf unserer Absorptionskurve, wie leicht ersichtlich, nicht erklärbar. Die Wände könnten eine Rolle spielen durch Wasseraufnahme oder durch Änderung des Zellumens bei der Quellung. Gewöhnlich pflegt man zu sagen, daß die Quellung bei hoher Temperatur rascher erfolgt. In dieser Form ist der Satz jedoch ungenau, da er nach den vorliegenden Erfahrungen mit Erbsen¹⁾ nur für gleiche Quellungsphasen gilt. Infolgedessen haben wir in den letzten Phasen der Quellung auch bei höherer Temperatur eine kleinere Quellungs geschwindigkeit als in den Anfangsphasen bei niedriger Temperatur. Das Quellungsmaximum ist, soweit untersucht, bei verschiedenen Temperaturen dasselbe²⁾. In unseren Versuchen kann dieser Faktor

1) DIMITRIWICZ, bei REINKE in Hansteins botan. Abh 4, 1879, p. 82.

2) Mit Holz scheinen keine brauchbaren Versuche vorzuliegen; die Experimente von DETMER (Sammlg. physiol. Abh. von PREYER, 1. Reihe, Heft 8, 1877, p. 39) oder SACHS (Ges. Abh. I, p. 446) sind schon deshalb nicht verwertbar, weil nur die totale Wasseraufnahme (Wand und Lumen) bestimmt wurde.

somit nur eine untergeordnete Rolle spielen, da die Wände von Anfang an mit Wasser imbibiert waren. Ebenso wenig ist von Lumenveränderungen ein nennenswerter Einfluß zu erwarten, zeigt doch nach EWART¹⁾ die Ausflußmenge aus Zweigstücken dieselbe Temperaturabhängigkeit wie die Konstante der inneren Reibung.

Damit sind die in toten Elementen vor sich gehenden Veränderungen jedoch keineswegs erschöpft. Die Volumschwankungen der Blasen beeinflussen die leitende Querschnittsfläche, die Druckschwankungen die Stellung der Schließhäute etc. Es waren daher Versuche erwünscht, welche die aus all diesen Komponenten resultierende Gesamtänderung erkennen lassen. Zu diesem Zwecke wurden den früher benutzten möglichst ähnliche Zweige abgetötet und hierauf mit der Schnittfläche in Wasser längere Zeit der Transpiration überlassen; dann kamen sie, wie die lebenden, unter Flüssigkeit ans Potetometer.

1. *Thuja*-zweig, tot.

Temp.	16°	18°	20°	21°	24°	26°	32°	35°	38°	43°
Absorpt.	5	4,5	4	3,5	3	3	3	2	2	2
Temp.	46°	52°	58°	60°	67°					
Absorpt.	2	2	2	2	2					

2. *Fagus*-zweig, reich beblättert, tot.

Temp.	19°	21°	22°	27°	34°	43°	48°	53°	55°	57°
Absorpt.	3	1	0	-2	-4	-6	-10	-13	-16	-18
Temp.	60°	63°	65°	68°	—	82°				
Absorpt.	-20	-21	-18	-18		-12				

3. *Fagus*-zweig, reich beblättert, tot.

Temp.	17°	20°	27°	30°	36°	44°	52°	64°	68°	74°
Absorpt.	110	98	89	75	65	51	33	18	12	-2

In den toten Zweigen nahm die Absorption mit steigender Temperatur beständig ab; das auffällige, in lebenden Zweigen allgemein beobachtete, starke Ansteigen ist somit zweifellos auf die lebenden Zellen zurückzuführen.

Lebende Zellen. Die an die Leitbahnen grenzenden lebenden Zellen verdünnen durch ihre Atmungsfähigkeit, wie DEVAUX²⁾

1) EWART, On the ascent of water in trees. Phil. Trans. Roy. Soc. London. B. 198, 1905, p. 69.

2) DEVAUX, Sur une action permanente qui tend à provoquer une tension négative dans les vaisseaux du bois. Compt. rend. Paris. 1902.

zeigte, die Gefäßluft; sie entziehen ihr Sauerstoff ohne ihn durch CO_2 völlig zu ersetzen. Hiernach muß die Luftverdünnung mit steigender Atmung, also mit steigender Temperatur zunehmen und tatsächlich fand auch DEVAUX in Versuchen mit Rebzweigen folgende Drucke: bei 5° — 10° 0,95 Atm., bei 17° — 18° 0,92 Atm., bei 35° 0,89 Atm. Werte von dieser Größenordnung reichen aber nicht aus, um die beobachtete Absorptionszunahme zu erklären und zudem nimmt der Atmungsquotient Q_{10} mit steigender Temperatur noch bedeutend ab¹⁾. Ferner scheint die Absorptionssteigerung durchaus nicht an das Vorhandensein von Gefäßluft gebunden zu sein, denn gerade die relativ luftarmen Blätter bedingen ein besonders hohes Ansteigen der Wasseraufnahme.

Damit gelangen wir zur Saugkraft lebender Zellen, die für die Erklärung unserer Erscheinung von fundamentalster Bedeutung ist und vielfach, so auch von JOST²⁾ ganz übersehen wurde. Den lebenden Zellen turgeszenter Pflanzen kommt unter normalen Witterungsverhältnissen eben nicht nur ein hoher osmotischer Wert, sondern auch eine bedeutende Saugkraft zu. Eine Erweiterung der früheren Zahlenwerte über die Größe der Saugkraft³⁾ ist in Vorbereitung. Hier sei nur erwähnt, daß eine Palisade von *Fagus sylvatica* Ende Juni, 3 Tage nach Regen, nachm. 2 Uhr untersucht, ihr Volumen beim Einlegen in destilliertes Wasser um 90 % vergrößerte; eine chlorophyllreiche Zelle eines Schuppenblattes von *Thuja* bald nach Regen um 30 %. Es können somit auch in turgeszenten Pflanzen die lebenden Zellen noch beträchtliche Wassermengen aufnehmen.

Da Saugkraft der Zelle = Saugkraft des Inhaltes — Wanddruck, so haben wir die Abhängigkeit des Wanddruckes und des osmotischen Wertes von der Temperatur zu untersuchen.

Was den Wanddruck betrifft, so fehlen ausführliche Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Elastizitätsverhältnisse imbibierter Wände. Für Wände, wie sie in meinen Versuchssprossen in Betracht fallen, ist nach KOLKWITZ⁴⁾ bei der kurzen Einwirkung ein bedeutender Einfluß nicht zu erwarten.

1) Vgl. z. B. JOST, Über die Reaktionsgeschwindigkeit im Organismus. Biolog. Centralbl. 26, 1906, p. 225.

2) JOST, l. c., Zeitschr. f. Bot. 8, 1916, p. 34.

3) URSPRUNG u. BLUM, Zur Kenntnis der Saugkraft. Diese Berichte 1916, p. 539.

4) KOLKWITZ, Unters. über Plasmolyse, Elastizität, Dehnung etc. an lebendem Markgewebe. Beitr. z. wiss. Bot. 1, 1896, p. 239 u. 228.

Ein solcher war auch in einem Dehnungsversuch, bei dem ich die Temperatur bis 70° steigerte, nicht zu erkennen. — Der osmotische Wert zeigt eine doppelte Abhängigkeit von der Temperatur: wir wollen die eine als rein physikalische, die andere als physiologische¹⁾ bezeichnen. Die erstere ergibt sich nach VAN'T HOFF aus der Gleichung $p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$, d. h. bei einer Temperaturerhöhung um 10° würde der osmotische Wert steigen von 100 auf 103,67. Die physiologische Temperaturabhängigkeit kann viel größere Ausschläge ergeben. So maß COPELAND²⁾ an *Phaseolus*-wurzeln bei 27° einen osmotischen Wert von 1,5 % KNO_3 , bei 37° von 3 % KNO_3 , an *Faba*-wurzeln bei 34° von 1,5 %, bei 37° von 3 %. Kürzlich fand BÄCHER³⁾ in meinem Institut an den geflügelten Stengeln von *Cytisus sagittalis* als Mittelwert aller untersuchten Gewebe bei 20° 0,81, bei 37° 1,15 Mol Rohrzucker. Da jedoch die Erwärmung bei COPELAND mehrere Tage, bei BÄCHER sogar ein paar Wochen dauerte, sind diese Resultate auf unsere Versuche nicht anwendbar. Schon nach 4–5 Stunden fand PANTANELLI⁴⁾ bei *Aspergillus* eine bedeutende Steigerung des osmotischen Wertes, die aber natürlich nicht generalisiert werden darf. Es waren daher orientierende Versuche an meinem Untersuchungsmaterial notwendig. Zu dem Zwecke wurden *Thujazweige* wie bei den Potetometerversuchen unter Wasser während zirka 3 Stunden erwärmt und dann auf dem heizbaren Objektisch in Rohrzuckerlösungen von derselben Temperatur untersucht. Der osmotische Wert bei Grenzplasmolyse schwankte in den chlorophyllführenden Zellschichten der Schuppenblätter

bei 16° zw. 0,80—1,20 Mol. Rohrzh.

„ 30° „ 0,75—1,10 „ „

„ 45° „ 0,65—1,10 „ „

„ 50° „ 0,70—0,95 „ „

„ 52° „ 0,65—0,75 „ „

„ 53° „ 0,60—0,70 „ „

„ 55° bei 0,70 alles plasmolysiert; etwa die Hälfte der Zellen zeigt keine Deplasmolyse mehr.

1) Natürlich sind auch hier physik.-chem. Prozesse im Spiele.

2) COPELAND, Einfluß v. Licht u. Temp. auf den Turgor. Dissertation. Halle 1896.

3) Noch nicht veröffentlicht.

4) PANTANELLI, Zur Kenntnis d. Turgorregulation bei Schimmelpilzen. Jahrb. f. wiss. Bot. 40, 1904, p. 328.

Die vorliegenden Erfahrungen — die allerdings noch der Erweiterung und Ergänzung bedürfen¹⁾ — ergeben somit keine Anhaltspunkte, um unsere Absorptionskurve auf Änderungen des osmotischen Wertes zurückzuführen. Dieses Resultat kann nicht überraschen, wenn man bedenkt, daß nach RYSSELBERGHE²⁾ und neuerdings auch nach DELF³⁾ bei höherer Temperatur nicht nur die Wasseraufnahme rascher erfolgt, sondern auch die Wasserentziehung durch ein Plasmolytikum von bestimmter Konzentration⁴⁾.

Eine wichtige Rolle für die Wasseraufnahme lebender Zellen spielt neben der Saugkraft auch der Filtrationswiderstand. Wenn einer Zelle die Saugkraft fehlt, ist die Absorption natürlich Null; bei konstanter Saugkraft erfolgt die Wasseraufnahme um so rascher, je kleiner der Filtrationswiderstand ist. Der Filtrationswiderstand lebender Zellen setzt sich zusammen aus dem Filtrationswiderstand von Zellwand und Plasma. Durch die tote Wand scheint die Filtration, so weit bekannt, nach ähnlichen Gesetzen zu verlaufen, wie das Strömen durch Kapillaren⁵⁾. Da unsere Absorptionskurve aber ein anderes Verhalten zeigt, bleibt jetzt zur Erklärung, so weit ich sehe, nur noch die Permeabilität des Plasmas übrig. Im Jahre 1914 war ich diesbezüglich auf die Angaben VAN RYSSELBERGHES⁵⁾ angewiesen, nach welchen im allgemeinen die Permeabilität mit der Temperatur zwar steigt; da aber die maximale Erwärmung 30° betrug, und da von 20° aufwärts die Permeabilität nur noch wenig oder überhaupt nicht mehr zunahm, so boten sich auch hier keine Unterlagen zur Erklärung unserer Absorptionskurve. Ob eine Erklärung auf diesem Wege überhaupt unmöglich ist, ließ sich jedoch aus der Arbeit von VAN RYSSELBERGHE nicht entscheiden; es ergab sich vielmehr nur die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen. Infolge anderweitiger Inanspruchnahme konnte ich dieselben jedoch nicht ausführen und so

1) Auch beziehen sich die gemessenen osmot. Werte auf den Zustand der Grenzplasmolyse und nicht auf das natürliche Volumen.

2) VAN RYSSELBERGHE, Influence de la température sur la perméabilité. Rec. Inst. bot. Bruxelles, 5, 1902.

3) DELF, Studies of protoplasmie permeability. Ann. of Bot. 1916, p. 283.

4) Da mit der Temp. auch die Zusammensetzung und Spannung der Gefäßluft variieren kann, sei erwähnt, daß nach BUCHHEIM (Einfluß d. Außenmediums auf d. Turgordruck. Diss. Bern, 1915, p. 40) bei *Cylindrocystis* der osmot. Wert von 9,46 auf 8,74 sank, als aus dem Wasser das CO₂ entfernt wurde; ferner erfolgte durch Evakuieren auf 40 cm Hg ein Sinken von 10,27 auf 10,03 bzw. von 10,50 auf 10,12.

5) VAN RYSSELBERGHE, Influence de la temp. sur la perméabilité du protoplasma vivant etc. Rec. Inst. Bot. Bruxelles 5, 1902, p. 209.

wäre auch die vorliegende Mitteilung noch weiter hinausgeschoben worden, wenn nicht unterdessen durch DELF¹⁾ und besonders durch STILES und JORGENSEN²⁾ die Lücke teilweise ausgefüllt worden wäre. Die beiden letzten Autoren fanden an Kartoffelscheiben in dest. Wasser die folgenden Gewichtszunahmen:

10°		20°		30°		40°	
Zeit in Stunden	Gew.-Zunahme in %						
—	—	0,65	5,6	0,53	9,1	0,60	19,6
1,23	4,4	1,27	8,7	1,28	12,6	1,30	14,4
1,95	5,8	2,00	10,2	2,00	15,1	2,02	10,3
2,85	7,2	2,87	11,8	2,87	17,7	2,87	5,8
4,98	8,9	5,03	14,5	5,05	20,6	5,08	— 5,8
6,57	10,3	6,65	16,2	6,67	22,5	6,08	— 8,2
18,80	19,8	19,23	20,6	—	—	19,68	— 14,6

Wie diese Tabelle zeigt, weist die Wasseraufnahme lebenden Parenchyms in ähnlicher Weise eine starke prämortale Steigerung auf wie unsere Absorptionskurve. Es kann also nicht mehr zweifelhaft sein, daß der auffällige Verlauf unserer Kurve den lebenden Zellen zuzuschreiben ist.

Schwieriger hält es den zwingenden Beweis zu erbringen, daß die Permeabilitätsänderung die Ursache ist. Die Wasseraufnahme lebender Zellen hängt, wie wir oben sahen, von verschiedenen Faktoren ab (osmot. Wert, Elastizitätsverhältnisse und Permeabilität der Zellwand, Permeabilität des Plasmas) und weder VAN RYSSELBERGHE noch die späteren Autoren versuchten die Erscheinung genauer zu analysieren. VAN RYSSELBERGHE schrieb die Änderung der Wasseraufnahme einfach der Permeabilitätsänderung des Plasmas zu, während STILES und JORGENSEN bei der Kompliziertheit des Problems sich jeder weiteren Schlußfolgerung enthalten. Auch in unserem Falle läßt sich eine endgültige Entscheidung nicht fällen; immerhin folgt aus dem Vorhergehenden mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die Permeabilitätsänderung des Plasmas, wenn auch nicht die einzige, so doch jedenfalls die hauptsächlichste Ursache für das starke prämortale Ansteigen der Absorptionskurve ist. Das auf das prämortale Steigen folgende Sinken der Kurve

1) DELF, l. c.

2) STILES and JORGENSEN, Studies in permeability. Ann. of Bot. 1917, p. 415.

beruht auf der Abnahme der Semipermeabilität, die mit dem Tode völlig verloren geht; die sich kontrahierenden Zellen pressen dann so lange Zellsaft aus, bis die Wände entspannt sind.

Schluß.

Die Wasseraufnahme untergetauchter Zweige beim Erwärmen stellt, wie wir sahen, einen ziemlich verwickelten Vorgang dar. Neben den lebenden Zellen (besonders durch ihre Saugkraft und die Änderung der Permeabilität) spielen auch die toten Leitbahnen (besonders durch Ausdehnung der Luft, Fehlen oder Vorhandensein von Gefäßen und Änderung der Viskosität) eine wichtige Rolle. Der erste Teil der Absorptionskurve ist der Hauptsache nach durch die Ausdehnung der Luftblasen bedingt, hat also eine rein physikalische Ursache. Er begegnet uns daher auch bei toten Zweigen und fällt im gefäßreichen Buchenzweig besonders steil ab. Sobald die auf der Tätigkeit lebender Zellen beruhenden physiologischen Faktoren ins Übergewicht kommen, fängt das Steigen an, das vornehmlich im prämortalen Zustand stark ist und nach Eintritt des Todes in Wasserabgabe, also erneutes Fallen der Kurve übergeht. Damit ist der Verlauf der Absorptionskurve in den Hauptzügen erklärt.

Wie leicht ersichtlich, wird die Wasseraufnahme nicht nur bei verschiedenen Arten, sondern auch bei derselben Pflanze verschieden ausfallen, je nach den vorausgehenden Witterungsverhältnissen; sie wird außerdem von der Art der Erwärmung abhängig sein.

Zum Schluß soll noch auf einige Details eingegangen werden.

Bei Beginn der Erwärmung beobachtete ich mehrfach ein momentanes Steigen der Absorption, also ein lokales Nebenmaximum in dem absteigenden Kurvenast. Als Beleg führe ich ein paar Zahlen an aus dem absteigenden Kurvenast eines Buchenzweiges.

Zeit	9h46	9h52	9h54	9h59	10h07
Temperatur	17,5°	17,5°	22,5°	23°	26°
Absorption	11	11 ×	24	6	—3

Die Erwärmung begann bei ×. Die Erklärung besteht vermutlich darin, daß die Erwärmung anfänglich nur lebende Zellen, besonders in den Blättern betroffen hatte und noch nicht bis zur Gefäßluft vorgedrungen war.

Werden dagegen später, im Verlaufe langsamer Erwärmung, die Flammen plötzlich groß gedreht (bei ×), so geht die Wasser-

aufnahme zunächst stark zurück, offenbar infolge der Ausdehnung der Gefäßluft. Man vergleiche den folgenden Ausschnitt aus einem Versuch mit einem Buchenast.

Zeit	11 ^h 40	11 ^h 49	11 ^h 52	11 ^h 54	11 ^h 58	12 ^h 02	12 ^h 03	12 ^h 06
Temp.	48,5°	49°	51°	51,5°	54°	56°	57,5°	58,5°
Absorpt.	27	29 ×	18	4	0	+11	20	24

Die Absorption steigt von neuem an, wenn die physiologischen Faktoren wieder ins Übergewicht kommen. In einem andren Versuche überwog die Ausdehnung sogar bis kurz vor dem Absterben, vermutlich infolge des raschen Erwärmens und bedeutenden Luftgehaltes.

Zeit	9 ^h 55	10 ^h	10 ^h 05	10 ^h 06	10 ^h 10	10 ^h 15	10 ^h 24	10 ^h 25	10 ^h 26
Temp.	17°	28°	33°	35°	41°	50°	62°	64°	65°
Absorpt.	22	16	5	0	-32	-65	+3	+7	-12

Im Gegensatz zu diesem Beispiel erfolgte die Erwärmung im folgenden Versuch (Buchenast) sehr langsam. Wir sehen, daß auch langanhaltendes Erwärmen kein scharfes Ansteigen der Absorptionskurve bedingt, wenn die Temperatur nicht über eine bestimmte Grenze steigt. So war in diesem Falle bis zu 40° nichts zu er-

Zeit	2 ^h 40	3 ^h 07	3 ^h 15	3 ^h 18	3 ^h 38	4 ^h	4 ^h 24	5 ^h	5 ^h 20	5 ^h 45	6 ^h 20	6 ^h 26
Temp.	17,5°	21°	23°	24°	28,5°	31,5°	34°	37°	38,5°	40°	41°	43°
Absorpt.	29	4	0	-2	-4	-1	+1	+3	+6	+10	+11 [×]	-6
Zeit	6 ^h 36	6 ^h 39	6 ^h 42	6 ^h 43	6 ^h 45	6 ^h 48	6 ^h 51	6 ^h 54	6 ^h 55	6 ^h 56		
Temp.	49°	50°	53°	53°	55°	56°	57°	60°	61°	63°		
Absorpt.	-17	-19	0	+13	+29	+43	+36	+15	-2	-20		

reichen und das Maximum trat erst über 50° ein, nachdem vorher, infolge der nun rascheren Erwärmung (von × an), eine Zeitlang wieder Ausscheidung erfolgt war.

Zu den bisherigen Experimenten dienten stets reich beblätterte Äste. Der nächste Versuch zeigt, daß auch die lebenden Zellen der Achse allein im Prinzip dasselbe Verhalten aufweisen. Ein 1,2 m langer Buchenast wurde, nach Entfernung aller Blätter und Seitenzweige, völlig wasserdicht in einen eng anschließenden Gummischlauch gesteckt und wie früher im Wasserbad erwärmt.

Zeit	3h47	3h55	4h10	4h30	4h40	4h45	4h50	4h55	5h	5h05	5h15	5h20
Temp.	18°	22°	34°	47°	51°	53°	54°	55°	56°	57°	60	61°
Absorpt.	8	5	0	+1	5	11	17	22	27	29	30	27
Zeit	5h30	5h55	6h05	6h07	6h16	6h25	6h35	6h40				
Temp.	62°	66°	71°	73°	77°	81°	83°	84°				
Absorpt.	18	8	4	-1	0	+1	+9	+8				

Es fällt auf, daß diese Tabelle auch bei hoher Temperatur fast keine Ausscheidung aufweist. Tatsächlich war sie auch hier vorhanden, nur trat das Wasser nicht ins Potetometer, sondern aus den seitlichen Wunden in den Gummischlauch; die Ausscheidung geschah also auf dem kürzeren, weniger Widerstand bietenden Wege. Die Aufnahme über 80° ist zweifellos durch das ca. 20 cm lange basale unverletzte Zweigstück bedingt, das nicht mehr ins Wasserbad tauchte und daher bedeutend geringere Temperatur aufwies. Ferner ließ dieser Zweig ins Potetometer keine Luft austreten, während die beblätterten, besonders bei rascher Erwärmung, einen feinen Blasenstrom ins Potetometer entließen¹⁾; die Luft wurde eben, gleich dem Wasser, aus den seitlichen Wunden ausgeschieden.

In einigen Versuchen ließ sich auch sehr schön erkennen wie dieselbe Schnittfläche gleichzeitig aus mehreren Gefäßen Luft ausscheiden und trotzdem bedeutende Wassermengen aufnehmen kann²⁾. In der Regel werden die einen Gefäße absorbieren, während andere ausscheiden. Sollten aber auch alle Gefäße Blasen austreten lassen, so wäre immer noch durch Tracheiden und Parenchym eine Wasserzufuhr möglich; ob dieselbe jedoch ausreichen würde, um den Verbrauch zu decken, ist eine andere Frage. Es wird das ganz vom anatomischen Bau und vom Verbrauch abhängen und daher von Fall zu Fall verschieden sein können.

Nach den Angaben der Lehr- und Handbücher gehen die meisten Pflanzen bei Wärmegraden zu Grunde, die weit unter jenen Temperaturen liegen, bei denen wir noch Absorption konstatierten. Es hängt das damit zusammen, daß 1. nicht alle lebenden Zellen bereits die Temperatur unseres Thermometers besaßen und daß 2. die Wirkung nicht nur von der Höhe der Temperatur, sondern

1) Am Potetometer war eine Vorrichtung angebracht, um die austretenden Blasen rasch entfernen zu können.

2) Vgl. auch LINDNER, Beitr. z. Biol. d. Pfl. 13, 6, 1913.

auch von der Erhitzungsdauer abhängt. So wird nach LEPESCHKIN¹⁾ die Epidermis von *Tradescantia discolor* bei 52° nach 150 Min., bei 72° nach 4 Min. getötet.

Ich möchte diesen Aufsatz nicht schließen ohne darauf hinzuweisen, daß verschiedene merkwürdige Beobachtungen anderer Autoren in ihm ihre Erklärung finden. Da der Raum ein weiteres Eingehen verbietet, beschränke ich mich auf einen Versuch von SACHS²⁾, in welchem Pflanzen in feuchter Luft auf 45—50° erwärmt wurden. Es heißt dort: „Merkwürdig ist es, daß Pflanzen, welche später völlig zu Grunde gehen, während der Versuchsdauer und einige Stunden, selbst Tage lang nachher, ein auffallend gesundes Aussehen, den höchsten Turgor zeigen. Dann werden die Blätter welk und runzelig und vertrocknen in kurzer Zeit so, daß man sie zu Staub zerreiben kann.“ Die lebenden Zellen waren offenbar infolge der Erschwerung der Abgabe und Erleichterung der Aufnahme weitgehend mit Wasser gesättigt, gingen dann aber, wegen zu hoher Temperatur, zu Grunde.

63. E. Bachmann: Wie verhalten sich Holz- und Rindenflechten beim Übergang auf Kalk?

(Mit 12 Abbildungen im Texte.)

(Eingegangen am 22. Oktober 1918.)

Für Rindenflechten ist durch LINDAU (1895, S. 64) nachgewiesen worden, daß ihre Hyphen nicht fähig sind, Zellulose und verkorkte Zellwände aufzulösen, sie anders als durch mechanische Sprengung zu zerstören. Damit ist noch nichts über ihr Vermögen, kohlen-sauren Kalk aufzulösen, ausgesagt. Letztere chemische Betätigung ist ohne Zweifel viel leichter auszuüben als erstere; denn dazu bedarf es weiter nichts als einer reichlichen Ausscheidung von Kohlensäure, wie sie den Hyphen der sogenannten Kalkflechten (viele Verrucariaceen mit endolithischem Lager und viele Caloplacaceen mit epilithischem Thallus) eigen ist. Ob auch andere Flechten, die für gewöhnlich Holz oder Rinden als Unterlage

1) LEPESCHKIN, Zur Kenntnis der Einwirkung supramaximaler Temperaturen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1912, p. 708.

2) SACHS, Ges. Abh. I, p. 117.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [36](#)

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred

Artikel/Article: [Über den Einfluß der Erwärmung auf die Wasseraufnahme untergetauchter Sprosse. 514-528](#)