

notwendigerweise aus den Chromatophoren, sondern aus anderen Teilen der Zelle herrühren könnten. Denn tatsächlich tritt die Schwärzung nicht bloß in den Chromatophoren ein, sondern es kann sich später die Silberabscheidung auch im Zellinhalt einstellen.

23 A. Ursprung und G. Blum: Zur Kenntnis der Saugkraft V.

Eine Methode zur Bestimmung des Widerstandes, den der Boden der Wasserabsorption durch die Wurzel entgegengesetzt.

(Eingegangen am 30. Januar 1921. Vorgetragen in der Februarsitzung.)

Wie SACHS¹⁾ vor nunmehr über 60 Jahren schrieb, wäre es wertvoll, die Kraft zu kennen, womit die Wurzeloberflächen das hygroskopische Bodenwasser an sich ziehen. „Es ist überraschend zu sehen, daß eine Pflanze in wenig Stunden 30—40 g Wasser aus einem halben Kilogramm Erde zieht, welche sich in einem Zustande so großer Trockenheit befindet, daß man sie zu Staub zerreiben kann.“¹⁾ Vor allem sind es extreme Verhältnisse (z. B. Wüsten, Verhalten derselben Art in sehr feuchtem bzw. sehr trockenem Boden, Vorkommen von Arten mit stark abweichendem Wasserbedürfnis auf demselben Standort), die zur Untersuchung reizen. Nicht minder wichtig für die Pflanzengeographie, die Land- und Forstwirtschaft sind aber auch kleinere Unterschiede in der Absorptionsschwierigkeit, die sich äußerlich (durch Differenzen in der Turgeszenz) nicht erkennen lassen und die trotzdem für den Kampf ums Dasein in Betracht fallen und den Ertrag beeinflussen können. Für die Pflanzenkultur kommen ja überhaupt nur die Verhältnisse innerhalb der Grenzen normaler Entwicklungsmöglichkeit in Frage.

I. Der Widerstand, den ein Wurzelhaar (darunter verstehen wir allgemein eine absorbierende Wurzelepidermiszelle) überwinden muß, um dem Boden Wasser zu entreißen, ist in einen statischen

1) SACHS, Ges. Abhandl. I. p. 441.

und einen dynamischen zu trennen, je nachdem das Wurzelhaar nur eben Wasser aufnehmen oder pro Zeiteinheit eine bestimmte Wassermenge absorbieren soll. Unter den vielen Werten für diesen dynamischen Widerstand gibt es einen, der für die Pflanzenphysiologie und ebenso für die Pflanzengeographie, die Land- und Forstwirtschaft von besonderem Interesse ist, und von dem im folgenden allein die Rede sein soll; es ist das der Widerstand, den das Wurzelhaar überwinden muß, um aus dem Boden pro Zeiteinheit jene Wassermenge aufzunehmen, die zu einem normalen Gedeihen der Pflanze erforderlich ist.

II. Dieser Widerstand hängt, wie leicht ersichtlich, ab a) vom Wassergehalt und der Natur des Bodens, b) von der pro Zeiteinheit zu absorbierenden Wassermenge.

a) Die vielfach bestimmte Wasserkapazität ist für den uns interessierenden Widerstand weniger wichtig, als der tatsächliche Wassergehalt des Bodens, der kleiner und größer sein kann als die Wasserkapazität. Aber auch der Wassergehalt gibt keine richtige Vorstellung, da bei demselben Wassergehalt dieselbe Pflanze auf Sandboden turgeszent, auf Humus welk sein kann. Wenn ein wasserhaltiger, also physikalisch feuchter Boden physiologisch trocken ist, d. h. der Pflanze nicht genügend Wasser abgibt, so sind verschiedene Ursachen möglich; z. B. die Adhäsion des Wassers an den Bodenteilchen, die Reibung beim Zuströmen aus entfernteren Bodenpartien gegen das Wurzelhaar, die osmotische Saugung der Bodenflüssigkeit. Zu solchen physikalisch leicht verständlichen Faktoren gesellen sich kompliziertere Einflüsse, die bald durch das Fehlen eines Stoffes (z. B. O), bald durch das Vorhandensein gewisser Substanzen (z. B. Gifte) die Wasserabsorption hemmen.

b) Bei demselben Boden wird der Widerstand wachsen mit der Wassermenge, die das Wurzelhaar pro Zeiteinheit zu absorbieren hat. Diese Wassermenge hängt ab von der Größe der absorbierenden Wurzeloberfläche und von der Stärke des Wasserverbrauches (bes. Transpiration und Wachstum). Je größer die absorbierende Oberfläche, je größer die Zahl der (gleichgedachten) absorbierenden Zellen, um so weniger Wasser muß ein Wurzelhaar (d. h. absorbierende Zelle) ceteris paribus aufnehmen („Anspruchslosigkeit“ gewisser Pflanzen). Je größer der Wasserverbrauch, je größer also hauptsächlich die Transpiration, um so mehr Wasser muß ein Haar ceteris paribus absorbieren. Es muß also der vom Wurzelhaar zu überwindende Widerstand auch abhängen von der

Oberfläche und dem Bau der transpirierenden Teile, sowie von den Außenfaktoren, welche die Transpiration beeinflussen (Welken infolge starker Transpirationssteigerung bei einem Wassergehalt des Bodens, der die Pflanze sonst turgeszent zu halten vermag). Selbstverständlich kann die Zwischenschaltung von Wasserreservoirien hier mannigfach regulierend eingreifen.

Die unter a und b genannten Faktoren, von denen der gesuchte Widerstand abhängt, sind auch für ein bestimmtes Pflanzenindividuum keine konstanten Größen. So variiert der Wassergehalt des Bodens im Laufe des Jahres, die absorbierende und transpirierende Oberfläche ändert sich im Laufe der Entwicklung, dazu gesellt sich die Unbeständigkeit der klimatischen Faktoren. Zu beachten ist ferner, daß die Bedeutung eines Faktors nur im Zusammenhang mit den übrigen Faktoren richtig gewürdigt werden kann. So hat eine bestimmte Vergrößerung der Absorptionsfläche *ceteris paribus* einen ganz verschiedenen Einfluß, je nachdem die Transpirationsfläche gleich stark, stärker oder weniger stark zunimmt. Das Verhältnis der absorbierenden zur transpirierenden Fläche wird nicht nur bei verschiedenen Spezies, sondern auch bei derselben Spezies je nach dem Standort (z. B. Alpen, Ebene), ja bei demselben Individuum je nach dem Entwicklungszustand verschieden sein können. Ebenso muß eine Temperaturerhöhung *ceteris paribus* verschieden wirken, je nachdem sie nur den Boden und die absorbierenden Organe oder nur die transpirierenden Organe oder beide zugleich trifft.

III. Wie läßt sich nun der Widerstand messen, den das Wurzelhaar überwinden muß, um aus dem Boden pro Zeiteinheit jene Wassermenge aufzunehmen, die zu einem normalen Gedeihen der Pflanze erforderlich ist?

BRIGGS u. MC CALLS¹⁾ „artificial root“ (poröses Porzellanfilter in Verbindung mit luftleerer Kammer) sucht nur den Reibungswiderstand der Bodenlösung zu messen. Das Osmometer von J. KÖNIG²⁾ berücksichtigt nur die osmotische Wirkung der Bodenlösung (aber nicht in natürlicher Konzentration). SHULL³⁾ legt *Xanthium*samen in den Boden und ermittelt die Quellung, LIVING-

1) 1904, vgl. JUSTS Jahresber., 32, II, p. 604.

2) KÖNIG u. HASENBÄUMER, Über die Bestimmung des osmotischen Druckes Z. f. angew. Chemie, 22, 1909, I, p. 1009.

3) CH. A. SHULL, Measurement of the surface forces in soils. Bot. Gaz. 1916, 62, p. 1.

STON¹⁾ bringt ein semipermeables, mit Rohrzuckerlösung gefülltes Osmometer in den Boden und bestimmt die Wasseraufnahme. In beiden Fällen sind nicht nur osmotische Widerstände zu überwinden; trotzdem geben auch diese Versuche kein Maß für den gesuchten Widerstand. LIVINGSTONs Osmometer hat mehr physikalisches als physiologisches Interesse, denn manche Punkte von fundamentaler Wichtigkeit, wie der Kontakt mit dem Boden, die Größe der absorbierenden Fläche, die Saugkraft, sind anders als bei der Wurzel. Ferner kann ein physikalischer Apparat und auch der *Xanthiums*ame nicht entscheiden, ob die betr. Saugkraft genügt, um den Verbrauch einer transpirierenden Pflanze zu decken. LIVINGSTON kommt daher auch nur zum Resultat, daß die Osmometersaugung, die nötig ist, um dem Boden Wasser zu entziehen, viel höher ist als der „osmotische Druck“ der meisten Pflanzenzellen, und daß daher entweder der Kontakt des Osmometers mit den Bodenpartikelchen schlechter ist als der der Wurzelhaare, oder daß die osmotische Saugung bei der Wasserabsorption keine so wichtige Rolle spielt als man bisher glaubte.

Die erwähnten Methoden reichen also nicht aus; dagegen läßt sich der gesuchte Widerstand offenbar messen durch die Kraft, die zu seiner Überwindung erforderlich ist. Nehmen wir nach der geläufigen Vorstellung an, diese Kraft sei eine osmotische²⁾, so sollte die Saugkraft der Wurzelhaare einer normal gedeihenden Pflanze ein Maß geben für die gesuchte Größe. Denn wäre die Saugkraft des Wurzelhaares größer als nötig, so müßte es mehr Wasser aufnehmen als weitergeben, seine Saugkraft müßte also abnehmen, bis sie sich automatisch auf den verlangten Wert eingestellt hätte; ebenso müßte — solange die Pflanze turgeszent bleibt — eine zu niedrige Saugkraft automatisch steigen, bis das Wurzelhaar ebensoviel Wasser aufnimmt als es weitergibt.

IV. Um diese Annahme experimentell auf ihre Richtigkeit zu prüfen, benutzen wir vornehmlich Substrate von bekannter Saugkraft, z. B. Zuckerlösungen von bestimmter Konzentration. Ist W = Gesamtmenge des von der Wurzel pro Zeiteinheit absorbierten Wassers, $w_1, w_2 \dots w_n$ = die von jedem der n Wurzelhaare pro Zeiteinheit absorbierte Wassermenge, somit

$$W = w_1 + w_2 + \dots + w_n.$$

1) B. E. LIVINGSTON, Relation of desert plants to soil moisture and to evaporation. Washington 1906.

2) JOST, Pflanzenphysiologie, 3. Aufl., p. 43, zweifelt „keinen Augenblick“, daß „die Kraft, durch welche das Wurzelhaar die Adhäsion des Wassers an die Bodenpartikelchen zu überwinden vermag“, „eine osmotische ist“.

Ist $r_1, r_2 \dots r_n$ = Saugkraft der Zuckerlösung in der Umgebung der Wurzelhaare; $s_1, s_2 \dots s_n$ = Saugkraft der Wurzelhaare, so wird w_1 proportional $(s_1 - r_1)$ und wie leicht ersichtlich o, wenn $s_1 = r_1$; somit $w_1 = c_1 (s_1 - r_1)$, $w_2 = c_2 (s_2 - r_2) \dots w_n = c_n (s_n - r_n)$.

Ist die Konzentration der Zuckerlösung überall dieselbe und sind alle absorbierenden Zellen gleich, so wird $r_1 = r_2 = \dots r_n = r$; $s_1 = s_2 = \dots s_n = s$; $c_1 = c_2 = \dots c_n = c$; $w_1 = w_2 = \dots w_n = w$; folgl. $W = nw$; $w = c (s - r)$; $s = \frac{W}{c} + r$ oder

$$s = \frac{1}{c} \cdot \frac{W}{n} + r \quad (1)$$

Unter den verschiedenen Faktoren, von denen s abhängt, spielt r insofern die Hauptrolle, als es die untere Grenze angibt, bis zu welcher s sinken kann.

Ist $\frac{W}{n}$ sehr klein, so sollte nach (1) annähernd $s = r$ werden. Dies soll zuerst untersucht werden.

Es bedeutet s = Saugkraft der Epidermiszellen aus nächster Nähe der jüngsten Wurzelhaare von Seitenwurzeln 1. Ordnung. s differiert in benachbarten Zellen nicht selten um bis ca. 0,3 Atm.; die angeführten Werte sind daher stets Mittel aus 4–8 Messungen. Die Kulturflüssigkeiten wurden alle 2 Tage erneuert.

a) Übertragen aus Sägespänen in H_2O . *Vicia Faba* 1: Sproß 5 cm lg., blattlos. In Sägespänen $s = 1,1$ Atm.; nun in H_2O übertragen, nach 5 Stdn. $s = 0,8$; nach 8 Stdn. $s = 0,3$; nach 23 Stdn. $s = 0,0$. *Vicia Faba* 2: Sproß 5 cm lg., blattlos. In Sägespänen $s = 1,6$ Atm.; nun in H_2O übertragen, nach 6 Stdn. $s = 1,3$; nach 22 Stdn. $s = 0,8$; nach 50 Stdn., wahrsch. aber schon viel früher $s = 0,0$ Atm. *Vicia Faba* 3, 4, 5, 6: alle vom gleichen Entwicklungszustand wie *Vicia* 1 hatten s nach 23 Stdn. auf 0,0 reduziert. *Vicia Faba* 7: Sproß 20 cm lg., 3 Laubb. In Sägespänen $s = 2,1$ Atm.; nun in H_2O , nach 40 Stdn. $s = 0,0$ Atm. — Bei 2 Exemplaren von *Phaseolus vulgaris* 1, 2: Sproß 14 cm lg., 2 Primärb., ist s 23 Stdn. nach dem Übertragen aus Sägespänen in H_2O von 1,6 Atm. auf 0,0 Atm. gesunken. Die Wurzelepidermis der Versuchspflanzen hat also in der Regel nach 1, spätestens nach 2 Tagen (langsamer, wenn das anfängliche s höher war) die Saugkraft des H_2O angenommen. — Die auf 0 reduzierte Saugkraft bleibt ceteris paribus auf 0, wie die folgende Kontrolle zeigt. *Vicia Faba* 8: Sproß 11 cm lg., blattlos.

In Sägespänen $s = 1,4 \text{ Atm.}$; $O_g^1) = 0,33 \text{ Mol. Rohr.}$

In H_2O , nach $\frac{3}{4}$ Tagen . $s = 0,3 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,32 - 0,33 \text{ Mol. Rohr.}$

In H_2O , nach weiteren 3 Tg. $s = 0,0 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,28 \text{ Mol. Rohr.}$

In H_2O , nach weiteren 9 Tg. $s = 0,0 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,26 \text{ Mol. Rohr.}$

s ist also 0 geblieben, obschon der Sproß um 7 cm, die Hauptwurzel um 11 cm sich verlängerte und 2 Blätter sich entwickelten.

b) Übertragen aus Sägespänen in Lösung von 0,02 Mol. Rohr., deren Saugkraft $= 0,5 \text{ Atm.}$ ist. *Vicia Faba 9*: Sproß 5 cm lg., blattlos. In Sägespänen $s = 1,1 \text{ Atm.}$; nun in 0,02 Mol. Rohr. übertragen. Nach 1 Tag $s = 0,5 \text{ Atm.}$, nach weiteren 2 Tagen $s = 0,5 \text{ Atm.}$, nach weiteren 3 Tagen $s = 0,5 \text{ Atm.}$, nach weiteren 9 Tagen $s = 0,5 \text{ Atm.}$. Der neue Wert wird also während der ganzen 14tägigen Beobachtungsdauer beibehalten, wobei der Sproß um 17 cm sich verlängerte und 3 Blätter sich entfalteten.

c) Übertragen aus Sägespänen in Lösung von 0,04 Mol. Rohr., deren Saugkraft $= 1,1 \text{ Atm.}$ ist. *Vicia Faba 10*: Sproß 8 cm lg., blattlos. In Sägespänen $s = 1,1 \text{ Atm.}$; nun in 0,04 Mol. Rohr. Nach 1 Tag $s = 1,1 \text{ Atm.}$, nach weiteren 6 Tagen $s = 1,1 \text{ Atm.}$, nach weiteren 8 Tagen $s = 1,1 \text{ Atm.}$. Der neue Wert wird also während der ganzen 14tägigen Beobachtungsdauer beibehalten, wobei der Sproß um 16 cm sich verlängerte und 3 Blätter sich entfalteten.

d) Übertragen aus Sägespänen in Lösung von 0,20 Mol. Rohr., deren Saugkraft $= 5,3 \text{ Atm.}$ ist. Bei *Vicia Faba 12* u. *13* (siehe e u. f) hatten die Epidermiszellen 5 bzw. 7 Tage (da die Prüfung erst nach dieser Zeit erfolgte, kann die Anpassung auch schon früher vollendet gewesen sein) nach dem Übertragen in Rohrzuckerlösung deren Saugkraft angenommen. Langsamer erfolgte die Anpassung bei *Vicia Faba 11*: Sproß 9 cm lg., blattlos. In Sägespänen $s = 1,4 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,33 \text{ Mol. Rohr.}$
 In 0,20 Mol. Rohr., nach 5 Tagen $s = 5,7 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,47 \text{ Mol. Rohr.}$
 In 0,20 Mol. Rohr., n. weit. 6 Tg. $s = 5,3 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,48 \text{ Mol. Rohr.}$
 In 0,20 Mol. Rohr., n. weit. 14 Tg. $s = 5,3 \text{ Atm.}$; $O_g = 0,47 \text{ Mol. Rohr.}$
 Nach 1tägigem Verweilen in 0,20 Mol. Rohr. sind alle Epidermiszellen der Untersuchungszone tot; ihr Plasma ist geschrumpft. Trotzdem wachsen die Seitenwurzeln weiter, und nach 5 Tagen erweisen sich die Epidermiszellen der jetzigen Absorptionszone als lebend. In der Rohrzuckerlösung verlängerte sich der Sproß um 13 cm und es entfalteten sich 3 Blätter. Daß die Saugkraft

1) O_g = osmotischer Wert bei Grenzplasmolyse.

der Wurzelhaare zuerst höher ist als die der Kulturflüssigkeit, dürfte auf der anfänglich starken Reduktion der Absorptionszone beruhen, die das Absterben der Zellen mit sich brachte.

e) Reduktion der absorbierenden Oberfläche. *Vicia Faba* 12: Sproß 16 cm lg., 2 junge Blätter, Hauptwurzel mit 52 Seitenwurzeln 1. Ordg. Pflanze seit 5 Tagen in 0,20 Mol. Rohrz., $s = 5,3$ Atm. Nun wird die Hauptwurzel abgeschnitten, so daß nur deren Basis (Schnittfläche mit Lanolin verklebt bleibt außerhalb der Lösung) mit 10 Seitenwurzeln übrig bleibt. Mit 52 Seitenwurzeln $s = 5,3$ Atm.; $Og = 0,47$ Mol. Rohrz. Mit 10 Seitenwurz., nach 2 Tagen $s = 6,3$ Atm.; $Og = 0,52$ Mol. Rohrz. Mit 6 Seitenwurz., nach 1 weit. Tg. $s = 5,8$ Atm.; $Og = 0,52$ Mol. Rohrz. Mit 5 Seitenw., nach 3 weiter. Tgn. $s = 6,0$ Atm.; $Og = 0,54$ Mol. Rohrz. Mit 4 Seitenw., nach 4 weiter. Tgn. $s = 5,9$ Atm.; $Og = 0,58$ Mol. Rohrz. Mit 3 Seitenw., nach 10 weit. Tgn. $s = 5,9$ Atm.; $Og = 0,56$ Mol. Rohrz. Die Reduktion der absorbierenden Oberfläche hat also ein deutliches Ansteigen der Saugkraft zur Folge, die nun bedeutend höher bleibt als die Saugkraft der Kulturflüssigkeit. Nach der Reduktion verlängerte sich der Sproß um 6 cm und es entfaltete sich 1 weiteres Blatt. Die Sproßspitze war bis zur letzten Messung turgeszent, obschon die Wurzeln schon von $s = 6,0$ Atm. an auffallend große Unregelmäßigkeiten in Saugkraft und osmotischem Wert zeigten, was nach anderweitigen Erfahrungen gewöhnlich auf baldiges Absterben hinweist. Die 2 älteren Blätter waren zuletzt welk.

f) Seitenwurzeln in verschiedenen konzentrierten Lösungen. *Vicia Faba* 13: Sproß 20 cm lg., mit 2 Blättern. Pflanze seit 7 Tagen in 0,20 Mol. Rohrz., $s = 5,3$ Atm. Hauptwurzel wie in e entfernt, so daß nur 9 Seitenwurzeln übrigbleiben, deren oberste nicht in Flüssigkeit befindliche Partien sorgfältig vor Vertrocknen geschützt sind. Von diesen 9 Seitenwurzeln läßt man 4 in H_2O , 5 in 0,20 Mol. Rohrz. tauchen. Nach 4 Tg } In 0,20 Mol. Rohrz. $s = 4,8$ Atm. (statt 5,3); $Og = 0,50$ Mol. Rohrz.
 } In H_2O $s = 0,3$ Atm. (statt 0,0); $Og = 0,34$ Mol. Rohrz. (Bei der nächsten Prüfung nach weiteren 7 Tagen waren die Zellen im Absterben begriffen.) Infolge der starken Reduktion der Wurzeln ist s in $H_2O > 0$ zu erwarten (vgl. e); dies um so mehr, als die in Zucker tauchenden Wurzeln den anderen Wasser entziehen und ihre Saugkraft erniedrigen, so daß sie nun sogar Wasser an das Substrat abgeben. Es sind also Fälle möglich, in denen das Wurzelsystem Wasser aus einer feuchten in eine trockene Bodenpartie leitet.

g) Kulturen in erst feuchten, dann austrocknenden Sägespänen. *Vicia Faba* 14: Sproß 6 cm lg., blattlos. s steigt an während 13 Tagen ohne Welken von 1,1 Atm. auf 2,1 Atm. Nun beginnt Welken des Sprosses. In vereinzelt noch lebenden Wurzelhaaren schwankt s zwischen 2,6 und 3,2 Atm. *Vicia Faba* 15: Sproß 40 cm lg., 6 Blätter. Bei beginnendem Welken ist $s = 3,2$ Atm. *Phaseolus vulgaris* 3: Sproß 7 cm lg. s steigt an während 12 Tagen ohne Welken von 0,8 auf 1,9 Atm.; nun beginnt Welken des Sprosses und weiteres Ansteigen von s bis 2,9 Atm., verbunden mit Absterben absorbierender Wurzelzellen. — Nun folgen 2 Versuche mit Erdkulturen. *Vicia Faba* 16: Sproß 5 cm lg., blattlos. Topfpflanze in erst feuchter, dann austrocknender Gartenerde. s steigt an während 10 Tagen ohne Welken von 1,1 auf 2,1 Atm. Nun beginnt Welken des Sprosses und Absterben der Wurzel. Es wurden hier keine lebenden Wurzelhaare mit $s > 2,1$ Atm. gefunden. *Phaseolus vulgaris* 4: Kultur in stets mäßig feucht gehaltener Erde, in Holzkasten von 70 cm Höhe, 25 cm Breite, 50 cm Tiefe. Sproß 1,5 m hoch, mit 30 Blättern. Trotz voller Turgeszenz des Sprosses und regelmäßigen Gießens wurden 15 cm unter der Bodenoberfläche nur folgende s gefunden: 2,4; 2,4; 2,4; 2,6; 2,6; 2,6; 2,9; 2,9; 2,9; 3,2; 3,4 Atm. — Da nach d die Saugkraft der Wurzelhaare über 5 Atm. erreichen kann und die Pflanzen dabei frisch bleiben und weiterwachsen, so fällt auf, daß in austrocknenden Sägespänen die Sprosse bei $s > 2$ Atm. welken und die Wurzelhaare schon bei s weit < 5 Atm. absterben. Das Verhalten in Sägespänen scheint darauf zu beruhen, daß das Austrocknen zuletzt zu rasch erfolgt und die Wurzeln absterben müssen, bevor sie sich an die veränderten Verhältnisse anzupassen vermögen. — Daß in der turgeszenten Erdkultur von *Phaseolus* 4 s bedeutend höher ist als in den turgeszenten Sägespänkulturen, dürfte auf den geringeren Wassergehalt der Erde und die stärkere Transpiration (vgl. unter h) zurückzuführen sein.

Bemerkenswert ist ferner die Verschiedenheit von s in verschiedenen Teilen desselben Wurzelsystems. So schwankt s bei *Phaseolus* 4 in ziemlich benachbarten Bodenschichten gleichzeitig zwischen 2,4 und 3,4 Atm.; bei einer Sägespänkultur von *Vicia Faba* 17 zwischen 1,1 und 1,9 Atm. Es kann das nach f auf Verschiedenheiten des Substrates beruhen, und tatsächlich liegt auch bei *Vicia* 17 die höhere Saugkraft in den oberen, trockeneren Teilen des Topfes.

h) Steigerung der Transpiration. Das Verbringen eines

Topfexemplares von *Cyclamen persicum* mit 40 Blättern und 120 Wurzeln aus dem feuchten Raum in Zimmerluft vor den Ventilator bewirkte, bei steter Wassersättigung der Erde, nach einigen Stunden ein Ansteigen von s von 1,3 auf 1,6 Atm., und nach Entfernen von $\frac{5}{6}$ der Wurzeln ein weiteres Ansteigen auf 2,1 Atm. unter gleichzeitigem Welken.

i) Temperaturerniedrigung. *Vicia Faba* 18: Sproß 18 cm lg., 1 junges Blatt; Sägespänkultur. Bei gleichbleibendem Wassergehalt wird das Substrat im Verlaufe von 30 Stunden allmählich von 18° C. auf 2° abgekühlt:

Temp. der Sägespäne 18°: $s = 0,7$ Atm.; $Og = 0,36$ Mol. Rohrz.

Temp. der Sägespäne 2°: $s = 1,9$ Atm.; $Og = 0,44$ Mol. Rohrz.

Temp. der Sägespäne während 2 weiterer Tage auf 2° gehalten:
 $s = 1,9$ Atm.; $Og = 0,42$ Mol. Rohrz.

Der Sproß war während der Abkühlung turgeszent geblieben und um 2 cm gewachsen.

k) Sauerstoffarmut des Substrates. *Vicia Faba* 19: Sproß 18 cm lg., 2 Blätter. Pflanze erst in Sägespänen, dann übertragen in ausgekochtes H_2O mit 3 mm dicker Paraffinöldecke. In Sägespänen $s = 1,1$ Atm.; $Og = 0,37$ Mol. Rohrz. In H_2O mit Öldecke nach 2 Tagen $s = 0,9$ Atm.; $Og = 0,39$ Mol. Rohrz. In H_2O m. Öld. n. 1 weiteren Tage $s = 1,1$ Atm.; $Og = 0,40$ Mol. Rohrz. In H_2O m. Öld. n. 3 weiteren Tgn. $s = 1,0$ Atm.; $Og = 0,35$ Mol. Rohrz. 6 Tage nach dem Übertragen in das sauerstoffarme Wasser sind die Wurzeln deutlich erschlafft, während der Sproß noch kein Welken erkennen läßt. 4 Tage später ist die Epidermis der Absorptionszone im Absterben begriffen, die Blätter sind stark deformiert und welken bald darauf. Der pathologische Zustand ist aus den Messungen deutlich erkennbar an dem Nichtzurückgehen der Saugkraft (vgl. a); es scheint, daß die Wurzel bestrebt ist, s zu heben durch Erhöhung von Og , um die Schwierigkeiten der Wasserabsorption zu überwinden. — Formel (1) setzt ein normales Plasma voraus; der Einfluß des Mangels an O oder der Anwesenheit von Giften ist daher aus ihr nicht ersichtlich.

Nach unseren Versuchen (a—d) ist also, entsprechend Formel

(1) für junge Pflanzen (wo $\frac{W}{n}$ sehr klein), die Saugkraft des Substrates = der Saugkraft der Wurzelhaare. Nimmt in Formel (1) n ab, infolge starker Reduktion der absorbierenden Oberfläche, so wächst der erste Term und es wird $s > r$, was die Versuche (e, f und z. T. auch d) bestätigen. Ebenso wird $s > r$, wenn W infolge gesteigerter Transpiration zunimmt (Versuch h). Er-

niedrigung der Temperatur des Substrates (Sägespäne) in Versuch i erhöht die innere Reibung des Wassers und die Adsorption, also den Bodenwiderstand, was das Ansteigen von s verständlich macht.

Frage III: „Wie läßt sich der Widerstand messen, den das Wurzelhaar überwinden muß, um aus dem Boden pro Zeiteinheit jene Wassermenge aufzunehmen, die zu einem normalen Gedeihen der Pflanze erforderlich ist?“ glauben wir daher dahin beantworten zu dürfen, daß sich der gesuchte Widerstand zurzeit am genauesten durch die Saugkraft der Wurzelhaare messen läßt. Denn in allen Versuchen, wo der zu überwindende Widerstand genau bekannt war, war er numerisch gleich der Saugkraft der Wurzelhaare. Wo der zu überwindende Widerstand nicht genau bekannt, eine quantitative Kontrolle also unmöglich war, ließ sich immerhin zeigen, daß Saugkraft und Widerstand in gleichem Sinne sich ändern.

V. Zur Analyse der Saugkraftänderung. Die Saugkraftänderung der Zelle kann auf verschiedenen Ursachen beruhen. Wir nennen 1. die Volumänderung der Zelle infolge von Aufnahme oder Abgabe von Wasser. 2. die Änderung des osmotischen Wertes bei Grenzplasmolyse (Og) infolge von Exo- bzw. Endosmose osmotisch wirksamer Substanz oder infolge chemischer Umsetzungen. 3. die Änderung des Elastizitätsmoduls der Wand. Über Punkt 3 liegen uns keine Erfahrungen vor, wohl aber über Punkt 1 und 2. So zeigen alle hierauf geprüften Versuche (a, d, e, i), daß die Änderung der Saugkraft in der Regel von einer gleichsinnigen Änderung des osmotischen Wertes bei Grenzplasmolyse begleitet ist. Die genauere Analyse, wie sie allerdings erst für *Vicia* 8, und auch hier nur unvollständig vorliegt, läßt erkennen, daß anfänglich s sich ändert ohne Variation von Og, also wohl infolge der Volumänderung der Zelle. Erst später greift dann Og ein und variiert sogar noch weiter, wenn s schon konstant geworden ist (*Vicia* 8 und 12). Daß den Zellen in Zuckerlösung die Erhöhung der Saugkraft nicht schwer fallen dürfte, zeigt die Jodprobe. Kulturen aus Sägespänen und H_2O gaben in der Absorptionszone der Wurzel keine Stärkereaktion. In 0,02 Mol. Rohrz. vereinzelt Stärke in den 3 äußeren Rindenschichten. In 0,04 Mol. Rohrz. mehr Stärke in allen Rindenschichten. In 0,20 Mol. Rohrz. noch mehr Stärke in allen Rindenschichten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Ursprung Alfred, Blum Gebhard

Artikel/Article: [Zur Kenntnis der Saugkraft 139-148](#)