

*Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen.*Von dem w. M. Prof. em. Dr. **F. Unger.**

(Mit 1 Tafel und 2 Holzschnitten.)

**XV. Weitere Untersuchungen über die Bewegung des Pflanzensaftes.**

Leider haben sich die Physiologen über einen der wichtigsten Vorgänge im Pflanzenleben — die Bewegung des Pflanzensaftes — namentlich des Nährsaftes noch bis jetzt nicht übereinstimmend ausgesprochen. Weder die Organe, in welchen dieselbe stattfindet, noch die Kräfte, die dabei wirksam sind, sind ohne Widerspruch und ohne nähere Bezeichnung sicher gestellt, und daher noch ein weites Feld für den Forscher offen gelassen. Da ich dieses Feld schon mehrmals betreten und einiges zur Aufklärung jenes verwickelten Processes hinzugefügt habe, so sei es mir erlaubt, den Faden dort wieder aufzunehmen, wo ich ihn abgebrochen oder vielmehr verloren habe, und denselben so weiter fortzuspinnen, um zu einer vollständigen Theorie der Saftbewegung in den Pflanzen zu gelangen.

Es sind aber auch jetzt nur kleine Beiträge für diese Aufgabe, die jedoch um so beachtungswerther sein durften, als sie einige der wichtigsten Fragepunkte in's Reine bringen sollen.

Der Bau des Pflanzenleibes, die Beschaffenheit und Anordnung seiner Elementartheile ist in den verschiedenen Pflanzen so mannigfaltig, daß es allerdings schwer hielt, ein durchgreifendes System der Saftleitung für die gesammte Pflanzenwelt nachzuweisen. Zwar gibt es Organe, die vermöge ihrer Form und Verbreitung ganz geeignet wären, Pflanzensäften als Gefäße zu dienen und durch sie ihre weitere Verbreitung zu bewerkstelligen, wie wir eine solche Einrichtung vorzüglich im thierischen Organismus wahrnehmen; doch sind gerade dieselben eher zur Führung von Luftarten als zur Führung von Säften bestimmt. Ich spreche hier darum von den

Spiralgefäßen, die ich hier gemeint habe, zuerst, weil man dieselben wohl vor allen andern als Organe der Saftleitung und zwar derjenigen Säfte in Anspruch nahm und zum Theile noch nimmt <sup>1)</sup>, welche die Elemente der Ernährung in einem noch unverwendbaren Zustande als rohen Nahrungssaft enthalten. Aber die Spiroiden in der allgemeinsten Bedeutung können schon darum zu diesem Geschäfte nicht dienen, da man sie in der Regel luftgefüllt und nur ausnahmsweise Saft enthaltend gefunden hat, abgesehen davon, daß sie zugleich einer großen Menge von Pflanzen fehlen, die doch gleichfalls Nahrungssäfte und Leiter derselben bedürfen. Dieser letztere Zustand ist jedoch keineswegs mit dem Zustande des größten Verbrauches von Säften im Leben der Pflanzen verbunden, sondern vielmehr mit einem Zustande von Stagnation der Säfte, wobei es wohl geschehen kann, daß Organe, welche eine ganz andere Bestimmung haben, vorübergehend zur Aufnahme von Säften genöthiget werden.

Dieser Fall tritt bei vielen Pflanzen zur Zeit des ersten Antriebes nach vorher bestandener Pause ein, wo eine erhöhte Aufnahme von Saft bei temporärer Unmöglichkeit des Verbrauches stattfindet. Unter diesen Umständen, wie sie in unserem Klima zur Frühlingszeit erscheint, findet sich eine Fülle noch unverwendbaren Saftes in den Pflanzen, und es ist diese Zeit, wo die sonst luftführenden Spiroiden theilweise mit rohem Nahrungssaft erfüllet werden.

Treten jedoch die Organe der Assimilation in Wirksamkeit, so entleeren sich die vorher strotzenden Gefäße rasch und es tritt im weiteren Verlaufe der Entwicklung kein Zeitpunkt mehr ein, in welchem dieselben von der ursprünglichen Function der Luftführung abweichen.

Beobachtungen und Experimente haben das längst, wie ich meine, mit Sicherheit festgestellt.

Die verschiedenen Wege, welche man bisher eingeschlagen hat, um den Strom der Nahrungssäfte zu verfolgen, haben zur Evidenz gebracht, daß derselbe keineswegs die Spiroiden ausersieht, um darin sein Ziel, nämlich die Assimilationsorgane zu erreichen; denn daß seine Assimilation allmählig im Fortschreiten vor sich gehe, hat sich mehr oder weniger als unwahrscheinlich ergeben. Es hat

1) On Circulation and the Formation of Wood in Plants. By Herbert Spencer Esq. Transact. of the Linnean Society. Vol. XXV.

sich gezeigt, daß dieser Strom zwar an die Gefäße gewissermaßen gebunden ist, daß er aber vielmehr in den sie begleitenden Organen, den gestreckten Zellen u. s. w. vor sich gehe.

Mit der Entdeckung der Endosmose und ihrer Wichtigkeit für den Haushalt der Pflanzen ergab sich von selbst, daß man die fortschreitende Bewegung des Nahrungssaftes, da sich die Spiralgefäße dabei nicht betheiligen, in den Zellen suchte und durch Diffusion ihres wässerigen Inhaltes zu Stande kommen ließ.

Die Voraussetzung dabei, daß der nach aufwärts gehende Strom in den nach oben folgenden Zellen einen stets an Dichte zunehmenden flüssigen Inhalt finde, war um so eher zulässig, ja sogar geboten, als man eine nach oben zunehmende Assimilation aller Säfte für unzweifelhaft ansah. Ein einfacher Versuch indeß lehrt schon, daß sich diese Voraussetzung nicht bewährt.

Entfernt man von einer in Vegetation befindlichen Pflanze den oberen Theil des Stammes und ersetzt denselben durch eine an die Schnittfläche angepaßte Glasröhre, in die man eine concentrirte Lösung von Gummi, Zucker u. s. w. bringt, so erfolgt keineswegs, wie man nach den Gesetzen der Endosmose erwarten sollte, ein Steigen des Inhaltes, sondern im Gegentheile eine Verminderung desselben (durch Inbibition).

Auch ist die Voraussetzung, daß die Nahrungssäfte nach oben an Consistenz zunehmen, nicht richtig, da die in verschiedenen Höhen bei Holzpflanzen abgezapften Frühlingssäfte gerade das Gegentheil lehren, abgesehen davon, daß es kaum zulässig sein dürfte, dieselben für reine, unvermischte Nahrungssäfte zu halten.

Aber noch eine Reihe anderer Untersuchungen lehrt, daß die Endosmose sich bei der Safftleitung sicher nicht in dem Maaße betheiligt, als man bisher annahm, ja daß es überhaupt nicht die Zellen oder vielmehr ihr Inhalt ist, wodurch diese Function bewerkstelliget wird.

Schon längst hat man auf Mittel gedacht, den aufsteigenden Saftstrom dem Auge sichtbar zu machen, und dieses mit mehr oder weniger Glück auf doppelte Weise auszuführen gesucht, und zwar dadurch, daß man den Pflanzen gefärbte Flüssigkeiten zur Aufsaugung darbot, die sich nach erfolgter Aufnahme und Fortleitung durch den Pflanzenleib mittelst anatomischer Untersuchung auf dem eingeschlagenen Wege leicht sichtbar machen ließen. Die zweite Methode be-

stand darin, der Pflanze indifferente Lösungen solcher Salze zur Aufnahme zu bieten, die sich nach Anwendung von Reagentien in gefärbten Niederschlägen zu erkennen gaben.

Die Elementarorgane, welche solche Lösungen aufgenommen haben, zeigen auf Anwendung solcher Reagentien die geforderten Niederschläge.

So wichtig beide dieser Methoden im Allgemeinen auch sind, so haben dieselben doch keineswegs den fraglichen Punkt in einer Weise aufgeklärt, daß keine Zweifel in den daraus gezogenen Schlüssen übrig bleiben, wenn sie gleich allerdings dazu gedient haben, den Forscher bei dieser schwierigen Untersuchung zu orientiren.

Das Haupthinderniß bei Anwendung dieser Methoden bestand darin, daß sowohl die eine als die andere Art von Flüssigkeiten von der unverletzten Pflanze schwer oder gar nicht aufgenommen wird, und im ersteren Falle dadurch nicht selten in kurzer Zeit der Tod derselben eintritt. Man war daher genöthiget, mit abgeschnittenen Stücken von Pflanzen zu experimentiren, konnte sich aber dabei nicht verhehlen, daß unter diesen Umständen noch andere unbequeme Nebeneinflüsse stattfinden, welche den Erfolg zweifelhaft machten.

Aber auch bei abgeschnittenen Pflanzentheilen tritt der mißliebige Umstand ein, daß sie, indem man ihrer Schnittfläche eine der Nahrungsflüssigkeit ziemlich entsprechende Flüssigkeit (im gewöhnlichen Brunnen- oder Quellwasser) darbietet, früher oder später ein Verwelken erfolgt. Die Ursache davon liegt jedoch nicht darin, daß die supplirende Nahrungsflüssigkeit nicht die rechten Wege, die zur Ernährung nothwendig eingehalten werden müssen, einschlägt, sondern daß zwischen Abgabe von Flüssigkeit durch Transpiration und der Aufnahme durch die Schnittfläche ein Mißverhältniß eintritt, wodurch Mangel an Nahrungsflüssigkeit entsteht.

Ist man im Stande dieses Mißverhältniß auf eine oder die andere Art zu heben, dadurch, daß man die Verdunstung verlangsamt oder die Aufnahme durch Beschleunigung derselben vermehrt, so bemerkt man nichts weniger als ein gedeihliches Fortwachsen und Weiterentwickeln der abgeschnittenen Pflanzentheile (Stammtheile, Zweige u. s. w.), und man gewinnt dadurch die Ueberzeugung, daß die durch die Schnittfläche aufgenommene Flüssigkeit keine zum Verderben der Pflanze führenden Irrwege eingeschlagen hat.

Diese Beschleunigung der Aufnahme läßt sich aber durch Anwendung von Druck auf die leichteste Art bewerkstelligen, und es hängt von der Größe der Zweige, von dem Umfange der Beblätterung und von der Beschaffenheit der Blattsubstanz unter übrigens gleichen Umständen ab, ob der Druck ein stärkerer oder ein schwächerer zu sein braucht. Ich habe beblätterte Pflanzenstengel durch Druck von  $\frac{1}{3}$  Atmosphäre, womit Wasser in denselben hineingepreßt wurde, zur Entfaltung der Blüten und Entwicklung der Früchte gebracht.

Wenn man nun statt des Wassers gefärbte Flüssigkeiten oder eine schwache Lösung von Blutlaugensalz durch Druck in die Pflanze bringt, so hat man dadurch ohne Zweifel das sicherste Mittel, die Wege kennen zu lernen, die auch der Nahrungssaft im natürlichen Zustande der Pflanze auf seinen Wegen zu den Assimilationsorganen einschlägt.

Ich habe nun eine Reihe von Versuchen zu diesem Zwecke eingeleitet und will dieselben im folgenden näher beschreiben, so wie die Resultate angeben, zu denen sie geführt haben.

---

Schon N. W. P. Rauwenhof <sup>1)</sup> experimentirte in ähnlicher Weise zu dem Zwecke, um bei verschiedenen Pflanzen die größere oder geringere Leitungsfähigkeit der Pflanzenstengel kennen zu lernen. In ungefähr ähnlicher Art richtete auch ich meine Versuche ein, indem ich einerseits die Durchgangsfähigkeiten eines und desselben Pflanzentheiles, andererseits die Wege zu erforschen suchte, welche die durchgedrungene Flüssigkeit in der Regel einschlägt. Zu dem Ende bediente ich mich in allen Versuchen gleich langer und ungefähr gleich dicker, mit Blättern versehener Zweige von krautartigen sowohl als von Holzpflanzen und wendete der leichteren Vergleichung wegen auch überall den gleichen Druck in ähnlich zusammengesetzten Apparaten an.

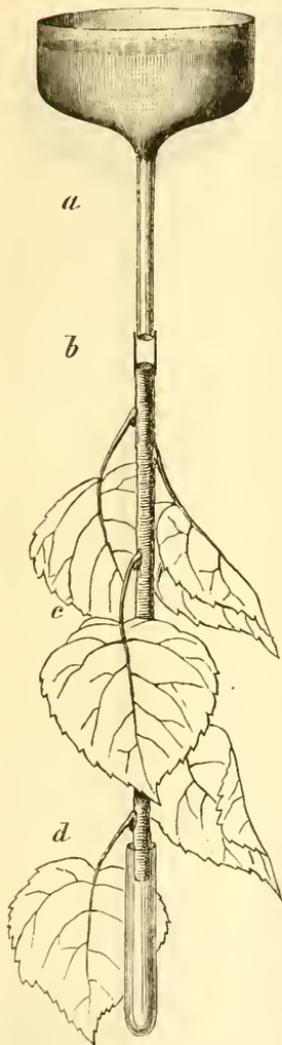
Die ganze Vorrichtung war sehr einfach und bestand aus einer oben erweiterten Glasröhre Fig. 1 *a* von 26 Cm. Länge und 6 Mm. Weite, an dessen unterem Ende der zu untersuchende Zweig *c* in einer Länge von 35 Cm. und im Querdurchmesser von 8—12 Mm. mittelst eines enganschließenden Kautschuckrohres *b* luftdicht ange-

---

<sup>1)</sup> Phyto-physiologische Bijdragen. Verlagen en Mededeelingen der k. Akademie van Wetenschappen. Naturkunde 2. Reeks Deel III, 1868.

fügt wurde. An der untern Schnittfläche war eine cubicirte Eprouvette *d* frei angehängt.

Fig. 1.



Die in die Röhre gebrachte Flüssigkeit übte während der kurzen Versuchszeit fortwährend nahezu den gleichen Druck auf die an sie stossende Schnittfläche des Zweiges aus, dessen Erfolg eine Filtration der Flüssigkeit durch das Gewebe des angewendeten Zweiges war. Die durchgegangene Flüssigkeit wurde von Zeit zu Zeit der Quantität nach bestimmt und zugleich, wo es nöthig war, auf ihre Beschaffenheit geprüft. Um die Durchgangsfähigkeit nach den verschiedenen Richtungen zu untersuchen, wurde in einem zweiten ganz gleichen Apparate gleichzeitig ein gleichgroßer Zweig derselben Pflanze in umgekehrter Richtung in die Glasröhre eingefügt. Dagegen war zur Prüfung der Durchgangsfähigkeit quer durch den Stamm eine andere Vorrichtung nothwendig.

Hier genügte ein kleines Cylinderstück von 15—20 Mm. Länge; dabei war jedoch zur Verstärkung des Druckes eine Verlängerung des Glasrohres auf 12 Fuß nothwendig. Fig. 2 *a*. Zu diesem Zwecke wurde das zu prüfende Stück Holz *e* in ein erweitertes Glasrohr *d* luftdicht eingekittet, was mit Guttapercha und Siegellack am besten geschah, obgleich auch unter dieser Vorrichtung zuweilen ein Sprengen des Glases erfolgte und den Versuch wider Willen beendete. Die in *d* erweiterte Glasröhre *c* war zur Bequemlichkeit der Untersuchung knieförmig gebogen und mittelst des Kautschuckrohres *b* an die Röhre *a* luftdicht angeschlossen.

Hier war es nun nicht mehr nöthig, die durchgedrungene Flüssigkeit zu sammeln, indem dieselbe immerhin nur einer unmerklich geringen Durchschwitzung gleich kam.

Ich lasse hier die Resultate einiger Versuche folgen und gebe denselben die Aufschriften der untersuchten Pflanzen.

### *Tilia europaea.*

Es wurden zwei beblätterte Zweige dieses Baumes oben und unten auf die Länge von 35 Cm. zugeschnitten; ihre Schnittflächen betragen im Durchmesser 11 Mm. und 8 Mm. Dieselben wurden am 7. September l. J. 1868 in den Apparat Fig. 1. gebracht, und zwar der eine Zweig *A* umgekehrt, d. i. mit dem dickeren Ende nach aufwärts gekehrt, *B* in die aufrechte Lage, d. i. mit dem schmälern Ende nach aufwärts gekehrt, so daß eine Wassersäule, deren Druckhöhe 26 Cm. betrug, auf ersterem *A* in der Richtung seines natürlichen Saftstromes, auf letzterem *B* in umgekehrter Richtung wirkte.

Nach Verlauf von drei Stunden sind durchgegangen

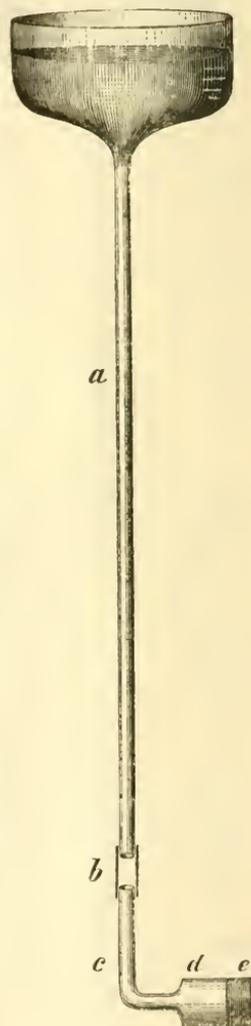
in *A*. 19·4 Cm. Cub. Wasser

„ *B*. 22·8 „ „ „

Nachdem beide Zweige die Nacht hindurch trocken geblieben waren, wobei die Blätter von *A* ganz welk wurden, ja sogar zu trocknen anfangen, die von *B* hingegen von ihrer ursprünglichen Frische wenig verloren hatten, wurden beide um 6 Uhr Morgens des folgenden Tages unter den Druck derselben Wassersäule gesetzt; aber selbst nach Verlauf von fünf Stunden blieb die untere Schnittfläche bei beiden trocken.

Man ersieht aus diesem Versuche, daß die Durchgangsfähigkeit im Holze dieser Pflanzen von oben nach unten so wie umgekehrt

Fig. 2.



von unten nach oben beinahe gleich groß ist, daß dieselbe jedoch sehr abnimmt, sobald die Elementarorgane ihrer natürlichen Säfte mehr oder weniger beraubt sind.

Um zu erfahren, in welchem Verhältnisse die Durchgangsfähigkeit für Wasser bei derselben Pflanze quer durch den Stamm oder vielmehr durch das Holz erfolgt, wurde ein Stück Holz an demselben Tage frisch aus einem vegetirenden Stamme herausgeschnitten und rasch zu einem 20 Mm. langen und 20 Mm. im Durchmesser betragenden cylindrischen Pfropf zugeformt und in eine eben so weite Röhre Fig. 2 *d* luftdicht eingekittet. Der Druck einer 7 Fuß hohen Wassersäule hatte keinen Erfolg; erst als der Druck auf 12 Fuß erhöht wurde, schwitzte an der äußeren Schnittfläche so viel Wasser durch, daß sie davon naß wurde, ohne jedoch Tropfen zu bilden. Nach Verminderung des Druckes im Verlaufe von 14 Stunden auf 4 Fuß Höhe, ließ die Durchschwitzung sehr nach.

Nun wurde der Versuch abgebrochen und der Holzpfropf aus dem Apparat genommen. Derselbe sank augenblicklich im Wasser unter; jedoch zeigte die mikroskopische Untersuchung, daß die Durchtränkung desselben keineswegs allenthalben in gleichem Maaße stattfand, namentlich viel weniger an der Aussenseite als an der Innenseite. Während die Gefäße fast durchgehends mit Wasser erfüllt waren, fand sich in den Holzzellen und in den Zellen der Markstrahlen noch mehr oder weniger Luft.

Man sieht hieraus deutlich, daß die vollständige Durchdringung des Holzes durch Wasser von der Verdrängung der Luft seiner Elementartheile abhängig ist, und daß dieß selbstverständlich leichter nach der Längsrichtung derselben als nach der Quere erfolgen muß.

### **Corylus Avellana.**

Es wurde zur selben Zeit von diesem Strauche ein kräftiger Trieb in zwei gleich lange (35 CM.) und fast gleich dicke Stücke geschnitten, von denen jeder fünf Blätter hatte. Das Stück *A* mit der Schnittfläche von 10 und 11 Mm. im Durchmesser wurde wie im vorhergehenden Falle in umgekehrter, das Stück *B* mit Schnittflächen von 7 und 9 Mm. im Durchmesser in aufrecht stehender Richtung in den Apparat Fig. 1 gebracht.

Während sich bei *A* an der entgegengesetzten kleineren Schnittfläche in kurzer Zeit ein Tropfen Flüssigkeit zeigte, kam bei *B* an

der entsprechenden Schnittfläche erst nach einer Viertelstunde der erste Tropfen zum Vorschein, dagegen *A* um diese Zeit schon 2 Cm. Cub. Wasser durchgelassen hatte. Beide Stücke verhielten sich folgendermassen; es liefen durch bei

	<i>A.</i>	<i>B.</i>
Nach wenigen Minuten	1 Tropfen	0
„ ¼ Stunde . . .	2 Cm. Cub.	1 Tropfen
„ 1 „ . . .	11 „ „	2 Cm. Cub.
„ 3 „ . . .	27·6 „ „	6·7 „ „

Nach dieser Zeit auf 10 Stunden trocken gelegt, wobei die Blätter bald vertrockneten, wurde der Versuch wieder erneuert. Nach Verlauf von drei Stunden gingen durch: bei *A.* 6 Cm. Cub. — bei *B.* 0.

Es hat sich demnach bei *Corylus* gerade das Entgegengesetzte gezeigt als bei *Tilia*.

Auch von diesem Strauche wurde ein Tangentialschnitt in der Form und Größe wie bei *Tilia* in dem Apparate Fig. 2 zuerst einem Drucke von 4, später von 12 Fuß Wassersäule unterworfen, ohne selbst nach einer Stunde Spuren einer Durchschwitzung von Feuchtigkeit zu zeigen. Erst nach Verlauf von acht Stunden gaben sich stellenweise Spuren von Durchdringung, die jedoch später nicht zunahmen, zu erkennen. Nach zwei Tagen wurde der Versuch beendet. Der aus der Röhre herausgenommene Pfropfen ging im Wasser nicht unter, zeigte sich aber an der inneren Hälfte viel schwerer als an der äußeren. Durch das Mikroskop gewahrte man sowohl Zellen als Gefäße theilweise mit Luft erfüllt, wie im gewöhnlichen Zustande.

Es hatte also bei demselben Drucke und unter gleichen Verhältnissen der übrigen Umstände im Holze des *Corylus* viel langsamer ein Durchdringen des Wassers stattgefunden.

#### *Vitis vinifera.*

Am 11. September wurden aus einem kräftigen Rebenschößlinge zwei 35 Cm. lange und 12—14 Mm. dicke Stücke herausgeschnitten, von denen jedwedes mit drei Blättern und Ranken versehen war. Das Stück *A* wurde in umgekehrter, *B* in aufrechter Stellung in den mehr erwähnten Apparat gebracht, jenes mit einer schwachen Lösung

von Blutlaugensalz (1:80), *B* mit Wasser infundirt. Der Erfolg der Filtration war folgender bei

In 2 Minuten Nach $\frac{1}{2}$ Stunde	A.		B.	
	Tropfen		Tropfen	
	0·8	Cm. Cub. <sup>1)</sup>	2·0	Cm. Cub.
.. $1\frac{1}{2}$ ..	1·8	.. ..	3·5	.. ..
.. 3 ..	5·6	.. ..	6·7	.. ..
.. 4 ..	8·5	.. ..	13·8	.. ..
.. 6 ..	11·6	.. ..	21·6	.. ..
.. 9 ..	17·6	.. ..	32·6	.. ..
.. 17 ..	28·0	.. ..	43·0	.. ..
.. 19 ..	31·6	.. ..	44·7	.. ..
.. 22 ..	35·5	.. ..	45·8	.. ..

Wenn auch unmittelbar vor der 17. Stunde der Druck auf das Minimum reducirt war, indem während der Nachtzeit kein Nachfüllen der Aufgußflüssigkeit stattfand, so waren doch an beiden Stücken die Blätter keineswegs schlaff geworden. Indeß ergab sich bei *B* doch eine allmähliche Verminderung der Durchgangsfähigkeit, und ungeachtet des fortbestehenden Druckes einer Wassersäule von 26 Cm. ließ zuletzt die untere Schnittfläche nicht einen Tropfen Wasser mehr durch, und doch waren während fünf Stunden von der oberen Schnittfläche 13·4 Cm. Cub. Wasser absorbirt worden, die natürlich nur zur Unterhaltung der Transpiration verwendet werden konnten.

Bei einem dritten Versuche mit einem ähnlichen Rebenschößling, den ich in den etwas modificirten Apparat so einstellte, daß die untere Schnittfläche nach oben gekehrt war, ließ sich die Flüssigkeit bei dem Durchdringen mittelst der Lupe genau verfolgen. Es zeigte sich, daß die zuerst hervorquellende Flüssigkeit aus den weitesten Spiroiden kommt, die nothwendig die Luft aus denselben vorher herausgetrieben haben muß. Hat sich die Schnittfläche bereits mit einem Tropfen Flüssigkeit bedeckt, so bemerkt man aus den engeren Spiroiden noch durch längere Zeit hindurch fortwährend kleine Luftbläschen hervorkommen. Das rasche Durchdringen der filtrirenden Flüssigkeit durch den Rebenzweig, sei es von unten nach oben oder

<sup>1)</sup> Die durchgegangene Flüssigkeit hatte mit Eisenchlorid einen intensiv blauen Niederschlag hervorgebracht.

umgekehrt, ist sicher eine Folge seiner weiten, durch keine Zwischenwände getheilten röhrenförmigen Spiroiden, daher auch bei *A* der schon nach den ersten Tropfen erfolgte Durchgang des Blutlaugensalzes erklärlich.

Was die näheren Wege betrifft, welche die Flüssigkeit in dieser Pflanze genommen hat, so gibt eben die verwendete Lösung des Blutlaugensalzes hinlängliche Aufklärung.

Nach Schluß des Versuches wurde aus der Mitte des betreffenden Zweiges ein kleines Stück genommen, und auf den Inhalt jenes Salzes geprüft. Es zeigte das Eisenchlorid auf den ersten Blick, daß jenes Salz alle Theile des Stengels mehr oder weniger imprägnirt hatte, ohne daß selbst das Parenchym der Rinde und des Markes davon ausgenommen waren. Allein es ließ sich dasselbe nicht bloß durch den ganzen Stamm, sondern auch in den Ranken, in dem Blattstiele, bis in den feinsten Verzweigungen der Blattnerven, ja sogar auf die bestimmteste Weise innerhalb des Netzes der feinsten Nerven im Parenchym nachweisen. Auffallend war es, daß der nach Anwendung von Eisenchlorid gebildete blaue Niederschlag nirgends im Innern der Zellen vorhanden war, wohl aber in den Gefäßen, die damit vollständig erfüllt waren und sich durch ihren dunkelblauen Inhalt leicht vor den übrigen Elementartheilen abhoben. Am deutlichsten konnte man in den Blattstielen die Stellen verfolgen, wo der meiste Farbestoff angehäuft war. Es waren dies die Gefäßbündel und jenes Rindenstratum, welches aus dickwandigen Zellen bestand. Taf. I. Fig. 3. *A*. Hier sowie in den dickwandigen Zellen des Bastes *B. b* und des Holzes *e* war die Färbung der Zellhaut am deutlichsten, obgleich auch die dünnwandigen Zellen einen Stich ins Blaue verriethen. Aber auch die Haut der Cambiumzellen *d* so wie die der Gitterzellen und Leitzellen *c* waren vom Farbestoff durchdrungen; auch fand man den Inhalt der letzteren in der Regel als blaue oder violette Massen vorhanden *f*.

Nicht bloß die einfachen Spiroiden, sondern auch die treppenartig getüpfelten Gefäße waren voll von schön blauem Farbestoff, und waren daher von dem angrenzenden lichterem Prosenchym wohl zu unterscheiden. Indeß muß bemerkt werden, daß viele derselben noch Luft enthielten, so wie diese auch aus den Intercellulargängen des Parenchyms keineswegs ganz verschwunden war.

***Solanum lycopersicum* und *S. tuberosum*.**

Auch aus den krautartigen Stengeln dieser beiden *Solanum*-arten wurden gleichzeitig Filtrationsversuche mittelst der oberwähnten Lösung des Blutlaugensalzes gemacht. Beide mit zahlreichen Blättern versehene 35 Cm. lange Zweige wurden umgekehrt in den Apparat gebracht und es erfolgte das Eindringen der Flüssigkeit nach der natürlichen Richtung des Verdunstungsstromes. Während bei *Solanum tuberosum* die Flüssigkeit nicht an der unteren Schnittfläche hervordrang, fand bei *Solanum lycopersicum* der Durchlaß nach folgenden Verhältnissen statt.

Nach Verlauf	$\frac{1}{2}$ Stunde	l	Tropfen <sup>1)</sup>
„	1 $\frac{1}{2}$	„	1·3 Cm. Cub.
„	6 $\frac{1}{2}$	„	3·8 „
„	14	„	6·5 „
„	16	„	7·7 „
„	19	„	8·8 „
„	22	„	9·4 „
„	25	„	10·0 „

Defußgeachtet waren beide Zweige durch und durch bis an die äußersten Spitzen der Blätter in allen Theilen vom Blutlaugensalz durchdrungen, das sich auch hier insbesondere in der ganzen Ausdehnung der Gefäßbündel zu erkennen gab.

Bei *Solanum tuberosum* war das Colenchym der Rinde, die Gefäßbündel mit ihren dünn- und dickwandigen Holzzellen, sowie das Cambium am meisten imprägnirt, auch waren die Spiroiden davon erfüllt.

Am wenigsten drang das Salz in die dickwandigen cylindrischen Zellen des Holzringes, obgleich auch dieselben nicht vollkommen frei blieben. Am vollständigsten unter allen waren die dickwandigen Zellen des Bastes von der Salzlösung erfüllt; dieseibe fand sich nicht blos in der Membran, sondern auch im Inhalte der Zellen. In einigen Gefäßen zeigte das Reagens auch die Tyllen von der Lösung durchdrungen.

Daß, wie in anderen Fällen so auch hier, zuerst die Spiroiden durch das Blutlaugensalz erfüllt wurden, geht daraus hervor, daß sie

<sup>1)</sup> Derselbe gab auf das Reagens einen dunkelblauen Niederschlag.

schon dann durch das Reagens blau wurden, wenn dasselbe rund herum noch keine Einwirkung auf die Elementarorgane bewirkte.

Dadurch, daß die dickwandigen cylindrischen Zellen des Holzringes, das Cambium und Leitzellen vom Salze durchdrungen wurden, geht hervor, daß auch sie der Infiltration kein Hinderniß in den Weg legen. (Fig. 4, 5). Außerdem fand ich bei beiden *Solanum*-Arten auch die Siebröhren vom Farbestoff durchdrungen, selten aber zugleich ihren Inhalt (Fig 3, 4 *e e*).

Eines Umstandes muß ich Erwähnung thun, nämlich des Umstandes, daß auch bei diesen Pflanzen noch häufig Luft in den Zellen, Gefäßen und Intercellulargängen vorhanden war. Daß dieselbe wohl leicht aus den Gefäßen durch die offene Schnittfläche verdrängt werden kann, habe ich bereits erwähnt, daß sie aber auch von der eindringenden Flüssigkeit resorbirt wird, zeigt der Inhalt vollkommen verschlossener, früher von Luft erfüllter Zellen. In den Intercellulargängen scheint dasselbe gleichfalls vor sich zu gehen unter Umständen, wo die Verdrängung der Luft nicht möglich ist. Hier sieht man durch das Reagens den flüssigen Inhalt derselben auf langen Strecken blau gefärbt, und man unterscheidet genau die an den Vertiefungen der Zellwände ange drückten noch rückständigen kleinen Luftbläschen, anderseits Stellen, die noch ganz mit Luft erfüllt sind. Eine getreue Zeichnung Fig. 6 versinnlicht diese Verhältnisse.

### **Asparagus officinalis.**

Es war mir nun darum zu thun, auch die Ergebnisse der Druckfiltration bei Anwendung gefärbter Flüssigkeiten kennen zu lernen. Ich bereitete mir dießfalls durch Zerquetschen von Heidelbeeren (*Vaccinium Myrtillus*) und Auspressen des Saftes, der filtrirt eine dunkelrothe Flüssigkeit gab, ein Mittel, das ich auf dieselbe Weise in Anwendung brachte wie die Lösung des Blutlaugensalzes.

Ich wählte für den ersten Versuch Stengel von *Asparagus officinalis*.

Zwei Stengel von gleicher Länge (35 Cm.) und gleicher Dicke, wurden auf dieselbe Weise wie in den vorher beschriebenen Fällen in den Apparat Fig. 1 gebracht, *A* in umgekehrter, *B* in aufrechter Stellung. Auf beide wirkte der Druck einer gleich hohen

Wassersäule. Es ergab sich hieraus in Bezug auf Zeit und Menge der durchgedrungenen Flüssigkeit folgendes:

	<i>A</i>	<i>B</i>
Weuige Minuten nach Beginn des Versuches	Untere Schnitt- fläche naß	Untere Schnitt- fläche trocken
$\frac{1}{4}$ Stunde später	mehrere Tropfen	naß
1 Stunde	4 CM. C.	1 CM. C.
3 „	16·2 „	5 „
5 „	29·0 „	9·2 „

Gleichzeitig wurde an einem dritten Stengel derselben Pflanze in der Stellung wie *A* statt Wasser die rothe Farbeflüssigkeit der Heidelbeere angewendet. Nach einer Stunde zeigte sich eine an der unteren Schnittfläche durchgegangene blaßrothe Flüssigkeit von 5·3 Cm. Cub.; nach  $3\frac{1}{2}$  Stunden betrug dieselbe 10·8 Cm. und die in dieser Zeit durchgegangene Flüssigkeit war nun dunkel-weinroth und unterschied sich nicht mehr von der aufgegonnenen Flüssigkeit. Nach  $4\frac{1}{2}$  Stunden vermehrte sich die gesammte durchgedrungene Flüssigkeit auf 13·3 Cm. Cub.; nach weiteren  $6\frac{1}{2}$  Stunden erreichte sie die Menge von 17·7 Cm. Cub.

Nach kurzer Trockenlegung der oberen Schnittfläche von fünf Stunden, also nach  $11\frac{1}{2}$  Stunden waren im Ganzen abgelaufen 24 Cm. Cub.

nach $17\frac{1}{3}$ Stunden	32·7 Cm. Cub.
„ $20\frac{1}{2}$ „	36·4 „ „

Die anatomische Untersuchung lehrte, daß, wie in allen Fällen, wo Farbestoffe mit pflanzlichen Elementarorganen zusammenkommen, nicht bloß eine Färbung der Membran, sondern auch eine Färbung des Inhaltes, besonders der Proteinstoffe erfolgt. Auch in diesem Falle waren wieder die Gefäßbündel die vorzüglichsten Leiter der Farbfüssigkeit. Die Gefäße zeigten sich theils mit Farbeflüssigkeit erfüllt oder leer. Fig. 7, *a*, *b*. Auch die Siebröhren (*c*) enthielten keinen Farbestoff, nur die Leitzellen (*d*) waren auch im Innern reichlich damit erfüllt, der hier von den Eiweißstoffen aufgenommen wurde. Wir haben hier ungefähr dasselbe wie bei der Filtration des Blutlaugensalzes vor uns; auch dringt die Farbeflüssigkeit fast eben so schnell wie das Wasser durch das Gewebe der Pflanze.

So wenig die vorstehenden Versuche auch geeignet sind, auf directe Art die Wege zu bezeichnen, die der rohe Nahrungssaft in den vegetirenden Pflanzen nimmt, so geben sie doch sehr brauchbare Anhaltspunkte, auf indirecte Weise dieselben auszukunden.

Faßt man sämmtliche Erscheinungen, die sich bei Anwendung des Wassers, des Blutlaugensalzes und der Farbeflüssigkeit ergeben haben, ins Auge, so erscheint es als unzweifelhaft, daß sich bei der Druckfiltration vorzugsweise die Gefäßbündel und nur ganz untergeordnet das übrige Parenchym der Pflanzen betheiligen. Während die ersteren sowohl durch die Farbeflüssigkeit als durch die Lösung des Blutlaugensalzes nach Anwendung des Reagens intensiv gefärbt erscheinen, blieb das Parenchym mehr oder weniger ungefärbt, obgleich es denselben Einflüssen ausgesetzt war, und es ergibt sich hieraus wohl, daß in beiden Fällen der durch geringen Druck bewerkstelligte Strom der Flüssigkeit mehr durch jene als durch diese Theile ging.

Halten wir dies mit vielen anderen Thatsachen zusammen, welche uns bisher eine Audentung über den Lauf des Nahrungssaftes in den Pflanzen gaben, so findet sich kein Widerspruch, vielmehr eine auffallende Übereinstimmung, die uns sogar den Schluß erlaubt, daß die durch Druck auf verletzte Pflanzen eingeleiteten Strömungen fremder Flüssigkeiten dieselben Wege zu verfolgen scheinen, die der Nahrungssaft bei seiner Wanderung durch den Pflanzenkörper einschlägt.

Gehen wir näher in die Ermittlung dieser Strombette ein, welche nach obigen Versuchen in den elementären Theilen der Pflanzen eingeschlagen wurden, so haben wir hierbei zuerst zweierlei zu unterscheiden.

Der Hauptmasse nach waren alle Pflanzentheile, mit denen man experimentirte, aus geschlossenen Elementartheilen zusammengesetzt; nur ein Theil bestand aus Röhren, die der Längenausdehnung des Stengels parallel verlaufend an den beiden Schnittflächen offen lagen, und dieß waren die Spiralgefäße.

Es mußte daher durch den Druck die filtrirende Flüssigkeit zuerst durch diese Röhren ihren Weg nehmen, und da diese Röhren wie bekannt die hauptsächlichsten Theile des Gefäßbündels ausmachen, so war es natürlich, daß unter diesen Umständen sich diese bei dem Flüssigkeitsdurchgange vorzugsweise betheiligten. In der

lebenden unverletzten Pflanze ist es jedoch nicht so. Wenn die Gefäße auch continuirliche Röhren darstellen, so sind sie doch unter allen Umständen an ihren Enden geschlossen, sind also langgestreckte Schläuche, nicht offene Röhren.

Würde man im Stande sein an durchgeschnittenen Stämmen die Öffnungen der Spiralgefäße zu verkleben, ohne zugleich die übrigen Elementarorgane in gleicher Weise unwegsam zu machen, so müßte das Resultat obiger Versuche jedenfalls ein anderes und die Spiralgefäße nicht die ersten und wichtigsten Aufnahmsorgane der filtrirenden Flüssigkeiten sein.

Das, was ich anfänglich kaum für ausführbar erachtete, habe ich später mit gutem Glück bewerkstelliget. Ich verstopfte die Gefäße dadurch, daß ich die Schnittfläche, auf welche der Druck ausgeübt wurde, in eine Mischung von Wachs und Terpentin brachte. Durch Haarröhren-Wirkung drang die erwärmte Mischung bis auf einige Linien Höhe in alle Gefäße und erstarrte da. Um die übrigen Elementartheile von der auch sie überdeckenden Kruste zu befreien, trug ich ein Scheibchen von etwa  $\frac{1}{10}$  Mm. ab, wodurch dieselben frei wurden, dagegen die Gefäße verstopft blieben. Daß sie es wirklich waren, wurde durch Einpressen von Luft in das andere Schnittende, wobei das verkittete Ende unter Wasser gesetzt wurde, erprobt. Nur solche Stücke, welche sich unter dieser Procedur als völlig unwegsam zeigten, wurden zu weiteren Versuchen verwendet.

Ich ließ nun auf das verkittete Ende eine Wassersäule von 1 bis 2 Fuß Höhe wirken, und um das andere Ende besser beobachten zu können, wurde mit der Röhre *a* Fig. 1 eine hufeisenförmig gebogene gleich weite Röhre verbunden und erst auf diese der zu untersuchende Zweig luftdicht angesetzt. Das Resultat entsprach vollkommen der Erwartung. Es drang aus der freien Schnittfläche durch einige Zeit keine Flüssigkeit hervor; endlich erschien die Grenze des Mark- und Holzkörpers feucht. Es trat immer mehr und mehr Flüssigkeit aus diesen Theilen hervor, bis endlich auch der Holzkörper Spuren von Feuchtigkeit sehen ließ. Da diese Versuche namentlich an Rebzweigen gemacht wurden, war es leicht die Lumina der Gefäße mit der Lupe zu unterscheiden, und mittelst Anwendung feinen Löschpapiers genau und wiederholt zu sehen, daß die Flüssigkeit nicht aus den Gefäßen, sondern aus den Holzzellen hervorquoll. Daß dabei zuweilen auch Luftbläschen aus den Gefäßen hervortraten, kam von

der durch Inbibition hervorgebrachten Erweiterung der an sie anstossenden Zellen, die dadurch einen nicht unbedeutenden Druck auf die mit Luft erfüllten Gefäße ausüben mußten.

Noch deutlicher war das Hervorquellen von Saft aus dem Baste, und um mich zu überzeugen, daß es wirklich die dickwandigen Bastzellen, nicht etwa die an dieselben grenzenden Elementartheile waren, die einen so kräftigen Saftdurchlaß zuließen, nahm ich einige Linien unter dem Ende durch einen Zirkelschnitt die Rinde des Versuchszweiges bis auf das Cambium in einer Höhe von  $\frac{1}{2}$  Zoll ab. Es zeigte sich nun auf dem neuen Querschnitt des Rindenkörpers ein ebenso reichliches Austreten des Saftes. Der Versuch gelingt auch, wenn an dem entgegengesetzten Ende über der verklebten Schnittfläche ein  $\frac{1}{2}$  Zoll breiter Rindenstreifen weggenommen wird. Es tritt dann an dem andern Ende, d. i. an der freien Schnittfläche weder im Holz- noch im Markkörper, wohl aber aus dem Rindenkörper Saft hervor.

Kehren wir nach dieser kurzen Abschweifung wieder zu unsern früheren Versuchen zurück. Wie aus mehreren derselben hervorgeht, wurde stets mit Beginn der Druckwirkung zuerst Luft aus den Spiroiden durch die eindringende Flüssigkeit herausgepreßt. Es weist dieß darauf hin, daß dieselben auch im Naturzustande nicht zur Führung von Säften bestimmt sind, und daß, wo dieß der Fall ist, die Säfte wie in unseren Experimenten von außen in dieselben hineingepreßt werden.

Außer den Spiralgefäßen hat sich jedoch die ins Innere der übrigen Elementarorgane eingedrungene Flüssigkeit nur in geringer Menge nachweisen lassen, in den Parenchymzellen gar nicht, in den Holz- und Bastzellen nur dort, wo die Flüssigkeit durch verstärkten Druck einwirken konnte, was häufig nur stellenweise der Fall war.

Dagegen war es sehr auffallend, in welch' hervorragender Weise die Durchdringung sämtlicher Membranen stattfand; namentlich war dieß in allen verdickten Häuten in die Augen springend. Die Färbung, welche bei diesen Versuchen die Pflanzenmembran durch Aufnahme des Farbestoffes oder bei früherer Durchtränkung von Blutlaugensalz durch Einwirkung von Eisenoxyd zeigte, war fast ebenso auffallend als die Erfüllung der Spiralgefäße im letzteren Falle, und diese Erscheinung trat dort am augenfälligsten hervor, wo die Membranen gegen das Lumen der Elementartheile an Ausdehnung den Vorrang hatten. Fragt man nach der Ursache dieses merkwür-

digen Phänomens, so kann man den Grund davon weniger als eine Folge der Diffusion als für eine Inhibition ansehen, beruhend auf einer Anziehung des Membranstoffes zu den mit ihm in Berührung tretenden Flüssigkeiten und Aufnahme derselben in seine Molecular-Interstitien, wobei die Qualität der Flüssigkeit immerhin eine untergeordnete Rolle spielt.

Wir sehen also in diesen Versuchen die Bewegung der Flüssigkeiten weder durch die Spiralgefäße (wenn diese geschlossene Canäle sind), noch durch die Zellen von was immer für einer Form und Beschaffenheit erfolgen, sondern dieselbe ausschließlich in den Membranen der Elementarorgane vor sich gehen, eine Thatsache, die auch für die Erklärung des Saftlaufes in der lebenden unverletzten Pflanze sicherlich von Einfluß ist, vorausgesetzt, daß der Druck der Flüssigkeitssäule dort in anderer Weise bewerkstelliget wird.

Geht in den angeführten Versuchen die Flüssigkeit mit Ausschluß der Spiralgefäße wirklich vorzugsweise, ja vielleicht ausschließlich durch die Haut der Elementartheile vor sich, so muß es ganz gleichgiltig sein, ob der Druck parallel der Längsaxe oder auf diese senkrecht erfolgt. Die oben angeführten Beispiele haben in der That gezeigt, daß der Erfolg, die Flüssigkeit mag von unten nach oben oder umgekehrt auf den Zweig wirken, beinahe derselbe ist. Ganz anders verhält es sich, wenn der Druck in einem rechten Winkel auf die Längsaxe der Elementartheile erfolgt. Wir sehen, daß die Länge eines Pfropfes von 15 Mm. selbst bei einem um das Zwölffache und noch mehr vergrößerten Druck beinahe undurchdringlich ist. Dieß spricht offenbar gegen obige Folgerung, nach welcher es ganz gleichgiltig sein sollte, ob die Membran der Elementartheile der Länge oder der Quere nach getroffen wird, und man sollte bei der geringen Länge des Pfropfes, der kaum den 30. Theil der Länge des gleichnamigen Zweiges hatte, eher erwarten, daß die Durchdringung in eben dem Verhältnisse rascher vor sich ginge.

Die Ursache dieses entgegengesetzten Erfolges ist sicher weniger in den Membranen, den Leitern des Saftstromes als vielmehr in dem Umstande zu suchen, daß der Luftgehalt der Gewebe nach der Querlage derselben keinen Austritt der eingeschlossenen Luft möglich macht, was in anderen Fällen nach der Längsrichtung mit größerer Leichtigkeit erfolgt, Luft aber in

capillären Röhren und Schläuchen mit Flüssigkeit vermengt, ein bedeutendes Hinderniß für den Durchgang der Säfte bildet.

Die Luft kann hier nur durch Resorption entfernt werden, und dieser Vorgang geht bekanntlich sehr langsam vor sich. Indeß mag auch die Membran der Elementartheile, ihre Dichtigkeit, ihre Zusammensetzung und Construction beitragen, um das Durchgehen der Flüssigkeit in der Quere nicht so leicht als in der Längenrichtung zu ermöglichen. Beispiele großer Verschiedenheiten geben die Membranen der Hohlzellen von *Tilia*, *Corylus*, *Juniperus* u. s. w.

Ein anderer gegen obige Annahme sprechender Umstand ist der, daß die Durchlässigkeit nur im frischen safterfüllten Zustande der Stämme und Zweige rasch erfolgt, viel langsamer und nur bei erhöhtem Drucke in den der natürlichen Feuchtigkeit beraubten oder ganz ausgetrockneten Pflanzentheilen. Man sollte meinen, daß es für die Saftleitung durch die Membranen ganz gleich sei, ob dieselbe mit Flüssigkeit mehr oder weniger getränkt oder ob sie trocken sind. Wir kennen viele Stoffe, die bloß durch das Austrocknen gewisse physikalisch-chemische Eigenschaften verlieren. Es kann daher nicht zweifelhaft sein, daß die Membran der Elementartheile durch Verlust des inbibirten Wassers sich anders gegen Flüssigkeiten verhält als im durchtränkten Zustande und eine solche moleculare Anordnung eintritt, die der Inbibition und der Saftführung weniger günstig ist.

Endlich liegt noch eine Einwendung gegen die mögliche Saftleitung der Membranen in dem Umstande, daß die Flüssigkeit sich nicht bloß auf die Membran beschränkt, sondern sich auch in das Innere der geschlossenen Elementartheile (Zellen) ergießt. Auf solche Weise würden die gedachten Filtrationen eher durch Diffusion als durch Inbibition zu erklären sein.

Es würde wirklich sonderbar sein, wenn Flüssigkeiten, die ihre Wege durch die Membranen nehmen, nicht auch in Wechselwirkung mit dem flüssigen und festen (inbibitionsfähigen) Zellinhalt treten sollten. Ich glaube, daß dieß unvermeidlich ist, obgleich der rohe Pflanzensaft in den Pflanzen zunächst eine andere Bestimmung hat, nämlich in den appendiculären Theilen der Pflanze assimilirt zu werden. Sind die Verhältnisse für eine endosmosische Wirkung in irgend einem Pflanzentheile vorhanden, so wäre nicht abzusehen daß dieß nicht wirklich stattfände. Auf diese Weise erklärt es sich

wie das Blutlaugensalz in das Innere der Holz- und Bastzellen gelangt, wie es sich in dem Saft neben Chlorophyll einfindet und endlich auch in jungen Geweben die Zellkerne durchdringt.

Aus der Neigung der Proteinsubstanzen mit Farbstoffen Verbindungen einzugehen, ist es auch erklärlich, wie z. B. bei *Asparagus* sich in den Leitzellen Farbstoffe ansammeln konnten.

Es kann somit keinem Zweifel mehr unterliegen, daß in allen Fällen, wo der Druck von Flüssigkeiten auf Schnittflächen von Pflanzentheilen wirkt, ein Eintritt derselben durch die Membranen der Elementartheile erfolgt, daß dieselben nach der Richtung ihrer Längenerstreckung rasch weiter geleitet und am entgegengesetzten Ende, falls dieses ebenso durch einen Schnitt bloß gelegt ist, wieder zum Vorschein kommen. Die Druckfiltration liefert somit den klarsten Beweis, daß Flüssigkeiten was immer für einer Beschaffenheit außer den Wegen des leichtesten Durchganges auch jenen der Membran verfolgen, und daß sobald alle anderen Wege verschlossen sind, sie den letzteren allein verfolgen.

---

Modificiren wir nun den Versuch und lassen wir die Flüssigkeit mittelst desselben Druckes auf die Schnittfläche eines beblätterten Stengels einwirken, der außer derselben keine weitere Verletzung hat, so finden wir das gleiche und insbesondere keinen Unterschied in den Organen der Saftleitung. Auch in diesem Falle füllen sich nebst den Membranen die geöffneten röhrenförmigen Gefäße mit der eingedrungenen Flüssigkeit, ungeachtet dieselben mit Luft erfüllt und am äußersten Ende geschlossen sind; ja werden die Öffnungen oder Gefäße nach der oben beschriebenen Art künstlich geschlossen, ohne daß zugleich die Membranen derselben und der übrigen Elementarorgane unwegsam gemacht werden, so findet die Saftleitung stets nur durch letztere statt. Ist der Druck der Flüssigkeit hinlänglich stark und die injicirte Flüssigkeit in chemischer Beziehung nicht zu unverträglich mit der Aufrechthaltung des nöthigen Stoffwechsels, so kann in solchen Zweigen und Stammspitzen noch durch längere Zeit das Leben erhalten bleiben. Statt vieler Beispiele führe ich nur einige wenige an. Vor allem diene mir dazu ein Zweig von *Solanum lycopersicum*. Derselbe hatte einen Seitensproß und im Ganzen

13 größere und kleinere Blätter; er war 1 Fuß lang und die mit der injicirten Flüssigkeit in Berührung gebrachte Schnittfläche hatte 9 Mm. im Durchmesser. In den Apparat Fig 1 mit hufeisenförmiger gebogener Endröhre gebracht und darauf ein Druck von  $2\frac{1}{2}$  Fuß der Lösung von Blutlaugensalz wirkend behielt der Zweig bei einer Lufttemperatur von 18—20° R. im Schatten fort und fort in allen seinen Theilen den ihm zukommenden Turgor, ja derselbe schien in den folgenden Stunden sogar zuzunehmen, wobei innerhalb zwei Stunden ungefähr 6 Cm. C. Flüssigkeit aufgenommen wurden, welche Menge sich jedoch später etwas verminderte. Die Injectionsflüssigkeit drang bei diesem Vorgange bis in die äußersten Theile der Pflanze vor, was sich durch Anwendung des Eisenchlorids leicht ermitteln ließ.

Auf dieselbe Weise wurden auch ungefähr gleich große Zweige von *Pinus silvestris* und *Pinus abies* behandelt. Bei dem ersteren drangen in den ersten 12 Stunden 10 Cm. C., in den folgenden 12 Stunden bei gleichem Drucke 12 Cm. C., in den weiteren 12 Stunden 5 und 3 Cm. C. Flüssigkeit ein. Beiläufig in gleichem Verhältnisse nur in geringerem Maabe erfolgte auch bei *Pinus abies* die Aufnahme der Lösung von Blutlaugensalz.

Bei beiden drang die Flüssigkeit den Gefäßbündeln entlang bis in die äußersten Spitzen der nadelförmigen Blätter. Nicht nur die Zellwände des Bastes der jungen Holz- und Cambiumzellen, sowie der Markstrahlen verriethen durch das Reagens ihr Durchdrungensein mit der Lösung, sondern dieselbe war sehr häufig auch ins Innere der Elementarorgane gedrungen; insbesondere zeichneten sich die älteren Holzzellen dadurch aus, daß die Lösung mehr das Innere derselben erfüllte, als die Zellwände durchtränkte, und man konnte aus dem vorhandenen Farbestoff sehr entschieden entnehmen, daß die Flüssigkeit ihren Weg vorzüglich, und zwar sehr rasch durch die Tüpfeln der Tracheen nahm, die sich dadurch zweifellos als offene Communicationswege zu erkennen gaben (Fig. 9—13).

Wir sehen also, daß der Unterschied von Druckfiltration und Injection keine wesentlichen Verschiedenheiten in den Organen der Saftführung bedingt.

Gehen wir noch einen Schritt weiter — zur Absorption. Lassen wir in einem abgeschnittenen sonst unverletzten Zweig die Versuchsflüssigkeit nicht durch Druck eintreten, sondern bringen wir die Schnittfläche nur mit dieser in Berührung, so haben wir auch

unter diesen Verhältnissen das gleiche Resultat. Die möglichst indifferente Flüssigkeit folgt den Gefäßbündeln wie in allen früheren Fällen, und werden auch hier die Öffnungen der Gefäße verstopft, so erfolgt die Saftleitung nichts desto weniger durch die Membran der Elementarorgane bis in die letzten Spitzen der assimilirenden Theile.

Es würde zu weit führen, auch hier in ein näheres Detail einzugehen, doch behalte ich mir vor, dasselbe bei anderer Gelegenheit ausführlich darzulegen.

Wir können somit ohne Gefahr des Widerspruches den Satz aufstellen, daß Flüssigkeiten mit hlosgelegten Pflanzentheilen in Berührung gebracht von den Membranen der Elementartheile aufgenommen und mit Leichtigkeit nach der Richtung ihrer Längenerstreckung fortgeführt werden.

Es ist nunmehr nur ein einziger Schritt weiter zu machen, um die Führung der Säfte in dem ganz und gar unverletzten Pflanzenkörper zu verfolgen.

Hierin geben leider die angeführten farbigen oder mit Reagentien Farben erzeugenden Flüssigkeiten keine sicheren Anhaltspunkte, da sie sammt und sonders von den Aufnahmsorganen der Pflanzen nicht absorbirt werden, oder wenn sie ja aufgenommen werden, alsobald den Tod derselben herbeiführen, daher nicht in ihrem ganzen Verlaufe durch die Pflanze verfolgt werden können. Eine Ausnahme davon macht nach bisheriger Erfahrung die Hyacinthe, die sich mit dem rothen geklärten Saft der Frucht von *Phytolacca decandra* ohne Gefährdung ihres Lebens färben läßt. Die dießbezüglichen Untersuchungen habe ich im ersten Bande der Denkschriften der kais. Akademie der Wissenschaften mitgetheilt <sup>1)</sup>, aber dabei unterlassen, mein Augenmerk zugleich auf den Punkt zu richten, ob mit der Aufnahme des Farbestoffes ins Innere der Zellen auch zugleich eine Färbung der Zellhaut stattfindet, was mir um so eher aus den Augen fallen konnte, als die Membranen der betreffenden Zellen sehr zart und dünn sind. Dennoch konnte man mit aller Sicherheit aus dem

---

<sup>1)</sup> Über Aufnahme von Farbestoffen bei Pflanzen, I. c. p. 73, und Nachträgliches zu den Versuchen über Aufsaugung von Farbestoffen durch lebende Pflanzen Sitzb. d. k. A. d. W., Bd. X. p. 117.

Versuche erschen, daß die Spiralgefäße bei der Saftleitung theilnahmslos und der rothe Saft der Kermesbeere nur den Leit- und Holzzellen der Gefäßbündel folgte. Wenn aber die Säfte von Zelle zu Zelle fortgeführt werden und das Innere derselben erfüllen, so kann dies wohl nicht ohne Betheiligung ihrer Membranen stattfinden, und es ist daher sehr wahrscheinlich, daß wie in allen ähnlichen Fällen der Farbstoff der durchtränkten Membranen in die Zellen trat, um sich dort mit dem Inhalte derselben zu verbinden. Daß hierbei eigene chemische und organische Verhältnisse vorkommen mögen, geht daraus hervor, weil kein anderer ähnlicher indifferenten Farbstoff dieselbe Wirkung auf die Zellen der Hyacinthen, sowie auch der Farbstoff der *Phytolacca* auf keine andere Pflanze die gleiche Erscheinung hervorruft.

Berücksichtigt man sämtliche bisher vorgebrachte Umstände und namentlich den Umstand, daß die Versuchspflanzen wenig oder gar nicht aus ihren normalen Verhältnissen gebracht, dieselben sich auch ungeachtet der ihnen fremden Säfte ziemlich wohl befanden und keine Zeichen des Verwelkens zu erkennen gaben, so kann man wohl mit Grund annehmen, daß die Saftführung in der unverletzten Pflanze in denselben Organen vor sich geht, wie sie bei allen Versuchspflanzen übereinstimmend stattfand.

Diese Annahme wird umsoweniger zweifelhaft, wenn man erwägt, daß es vorzugsweise mechanische Verhältnisse sind, weshalb die Aufnahme farbiger und anderer indifferenten Flüssigkeiten durch die Zellen der Wurzel nicht stattfinden kann, und daß bei der Möglichkeit, dieselbe zu heben, die Leitung der Säfte sicherlich auf keine andere Weise erfolgen würde, als in welcher dieselbe in den Versuchspflanzen ohne Intervention der Wurzel vor sich ging.

Wir können daher mit gutem Fug die Behauptung wagen, daß die Leitung des rohen Pflanzensaftes auch in der lebenden unverletzten Pflanze nicht von Zelle zu Zelle, d. i. von dem Innern einer Zelle in das Innere einer nächstfolgenden Zelle nach aufwärts stattfindet, sondern, daß das eigentliche Strombett desselben die Continuität der Zellmembranen sei.

Das lange vergebens gesuchte Organ der Saftleitung wäre somit gefunden; es ist ein allgemein vorhandenes, ein unter allen Umständen zugängliches, ein fortwährend thätiges Organ, so lange der Nahrungssaft nicht fehlt, es ist höchst einfach und kann weder

der unvollkommensten, noch der im Baue vollendetsten Pflanze fehlen. Mit der Existenz der einfachen Zelle ist auch das Organ ihrer Saftleitung gegeben und ändert sich nicht mehr, mögen sich auch aus dem einzelnen Elemente Myriaden von Zellen entwickeln und zusammen ein Ganzes bilden.

Es ist von selbst verständlich, daß je nach dem verschiedenen Baue und Zusammensetzung der Pflanzen Modificationen dieses saftleitenden Organes eintreten müssen, und daß endlich in den Gefäßpflanzen es die Gefäßbündel sind, deren Elementartheile sich vorzugsweise dabei betheiligen; auch finden sich in den vorher mitgetheilten Beobachtungen genug Andeutungen, daß der Bast und der Holzkörper mit Ausschluß der Spiroiden und Siebröhren, die Fortleitung des Nährsaftes bewerkstelligen.

Eingehendere vergleichende Untersuchungen können hier nicht angeführt werden und müssen für spätere Mittheilungen vorbehalten bleiben, als es mir hier vornehmlich nur darum zu thun war, die Membranen der Elementarorgane in ihrer wesentlichen Function als Saftleiter nachzuweisen.

---

Mit der Ermittlung des Organes der Saftleitung in den Gewächsen ist aber zugleich die Frage nach der Kraft, wodurch dieselbe bewerkstelligt wird, schon im voraus als gelöst zu betrachten.

Da es sich nummehr nicht um Säfte handelt, welche wie im thierischen Organismus in Kanälen fließen, oder in besonderen Conceptakein, die durch permeable Häute untereinander in Verbindung stehen, bewahrt sind, so kann die bewegende Kraft weder in den Gefäßwänden noch in der Differenz der Flüssigkeiten der genannten Zellen liegen. Auch ist bei der Einrichtung des verschwindend engen Strombettes weder ein Luftdruck von Außen noch eine *vis a tergo* in den Wurzeln nöthig, um den Saft in alle, selbst in die höchsten Theile der Pflanze zu bringen.

Am einflußreichsten hat sich allerdings bisher die oberflächliche Verdunstung des Wassers auf die Zuleitung des Nahrungssaftes erwiesen, doch zeigen sich beide Vorgänge bei genauer Untersuchung dennoch unabhängig von einander. Mit der Aufnahme der rohen Nahrungssäfte von außen kommt der Pflanze eine so große Menge Wassers zu, welches sie nicht zu verwerthen im Stande ist und

daher wieder theils im flüssigen, theils im dunstförmigen Zustande durch ihre Oberfläche nach außen abgibt.

Allerdings herrscht im normalen Zustande zwischen beiden ein gewisses Verhältniß der Art, daß die Aufnahme des Wassers die Abgabe an die Luft nur um ein sehr geringes übertrifft; wir sehen aber nichts desto weniger die Verdunstung die Aufnahme überwiegen, und umgekehrt die Aufnahme die Verdunstung überschreiten. Im ersteren Falle tritt verminderter Turgor, der sich bis zum Verwelken steigert, ein, im anderen Falle entsteht eine Überfüllung der Pflanze mit rohem Nahrungssaft, die so weit geht, daß auch jene Organe, die im normalen Zustande Luft zuführen, die Bestimmung haben, sich mit Säften füllen und dadurch zugleich eine Spannung in allen betreffenden Theilen erzeugen, die bis zu einem bedeutenden Druck auf die eingeschlossene Flüssigkeit steigen kann. Wir können daher weder die Aufnahme noch die Fortleitung des Nährsaftes der Pflanzen für eine Function der Transpiration erklären — etwa durch den Druck der Luft auf die entleerten oberflächlichen Zellen hervor gebracht.

Die einzige hier mögliche wirksame Kraft, die sowohl die Aufnahme, als die Fortführung des Nährsaftes bewirkt, kann nur die Kraft der Inbibition sein, eine in den molecularen Theilen der Zellhäute wirksame Haarröhrenwirksamkeit, welche alle jene Erscheinungen hervorzubringen im Stande ist, die zur Erhaltung des Lebens nothwendig sind.

Sie ist es, welche der Zellmembran ihre Geschmeidigkeit, ihre Elasticität ertheilt, die ihr die gehörige Resistenz gegen fremde Einwirkung sichert und sie zugleich geschieht macht, den etwaigen Mangel an Flüssigkeit, ohne den sie für das Leben nicht wirksam sein könnte, sogleich zu ersetzen und diesen Zustand mit zwingender Gewalt allenthalben zu erhalten.

Die Inbibition der Membran ist also jene Kraft, welche den rohen vornehmlich aus Wasser bestehenden Nahrungssaft von Zelle zu Zelle in alle Theile der Pflanze bis in die höchsten Wipfel der Bäume ohne alle Anstrengung treibt und so als der wahre Motor des Nahrungssaftes erscheint.

## Erklärung der Abbildungen.

Sämmtliche Abbildungen sind mit Ausnahme von Fig. 7 aus Pflanzentheilen, welche zuerst eine schwache Lösung von Blutlaugensalz aufgenommen haben und dann mit Eisenchlorid behandelt wurden. Die Vergrößerung ist überall eine 240malige.

Fig. 3. Querschnitte eines Stückes des Blattstieles von *Vitis vinifera*.

A Äußerer Rindentheil,

B Innerer Rindentheil,

a Epidermis mit dem nach innen stoßenden Celenchym,

b dickwändige Bastzellen,

c Weichbast mit den vom gefärbten Inhalt erfüllten Siebröhren,

d Cambium,

e Holzzellen.

Alle vom Niederschlag des aufgenommenen Blutlaugensalzes blau gefärbt.

Fig. 4. Querschnitt eines kleinen Stengeltheiles von *Solanum lycopersicum*.

a Zwei Bastzellen,

b Siebröhren und Leitzellen,

c Cambium,

d Holz.

ee Zwei Siebröhren, deren Inhalt durch das Reagens eine violette Färbung erhielt.

Fig. 5. Radicaler Längenschnitt durch den Bast vom Stengel des *Solanum lycopersicum*.

a Bastzelle mit gefärbtem Inhalt als einzelne Klümpchen.

b Siebröhren, deren Wände gefärbt, deren Inhalt aber von der Filtrationsflüssigkeit unberührt blieb.

Fig. 6. Intercellulargänge des Parenchyms von *Solanum lycopersicum*, theilweise mit Luft, theilweise mit der eingedrungenen Salzlösung <sup>2</sup> erfüllt.

Fig. 7. Querschnitt eines Theiles des Gefäßbündels aus dem Stengel von *Asparagus officinalis* durch den aufgenommenen Farbestoff der Heidelbeere roth gefärbt.

a Weite Spiroiden,

b engere Spiroiden,

c Siebröhren,

d Leitzellen, deren Inhalt theilweise durch den Farbestoff tingirt ist.

Fig. 8. Querschnitt durch eine kleine Partie des Holzringes vom Stengel des *Solanum tuberosum*.

aa Zwei Spiralgefäße, wovon das eine leer, das andere zum Theile mit dem blauen Niederschlage erfüllt und dessen Wand gleichfalls von demselben Niederschlage durchdrungen ist.

bb Die anstoßenden Holzzellen, deren Wände wenig gefärbt, deren Inhalt jedoch nicht geringe Spuren von Farbstoff enthalten.

Fig. 9. Querschnitt aus dem alten Holze eines Zweiges von *Pinus silvestris*.

Einzelne Tracheen bb und fast sämtliche Markstrahlencellen c sind mit dem blauen Niederschlage des Blutlaugensalzes erfüllt, während andere Tracheen a Luft enthalten.

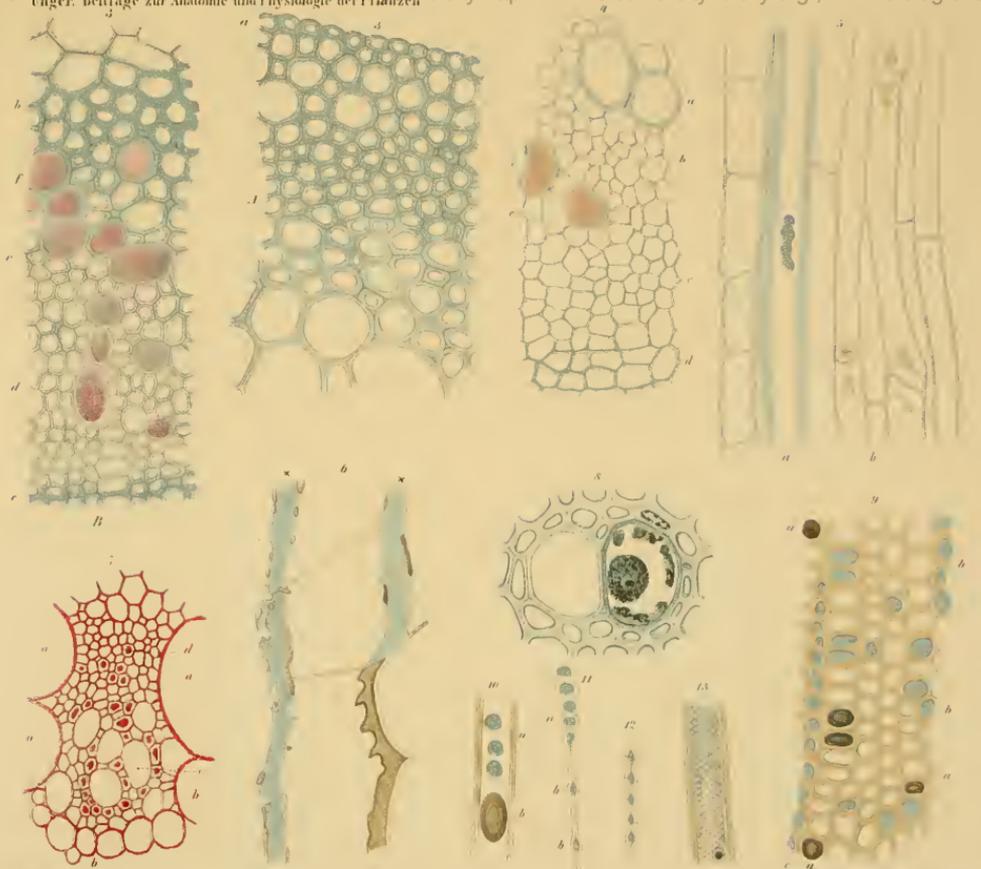
Fig. 10. Eine Trachee mit dem dunklen Inhalt der Tüpfelräume a, eine Luftblase b.

Fig. 11. Tangentialer Längenschnitt, welcher die Markstrahlencellen a und zwei Tüpfelräume bb, in der Mitte traf, beide von Farbstoff erfüllt.

Fig. 12. Eine andere Partie zweier aneinander stoßenden Wände der Tracheen mit den durchgeschnittenen Tüpfelräumen.

Fig. 13. Holzzellen von *Pinus abies* mit dem blauen Niederschlage theilweise erfüllt.

Tafel. Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften  
mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1868

Band/Volume: [58](#)

Autor(en)/Author(s): Unger Franz Joseph Andreas Nicolaus

Artikel/Article: [Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Pflanzen.  
392-418](#)