

VII.

Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstroms in transpirirenden Pflanzen.

Von

Julius Sachs.

Durch die hier folgenden Mittheilungen beabsichtige ich einen Beitrag zur Beantwortung der Frage zu liefern, in welchen Gewebeformen der sogenannte aufsteigende Saftstrom (Wasserstrom) transpirirender Pflanzen sich bewegt und mit welcher Geschwindigkeit er unter sehr günstigen Transpirationsbedingungen von den Wurzeln zu den Blättern emporsteigt. Auf die Mechanik dieser Bewegungen werde ich hier jedoch nicht eingehen, da ich diese in einer ausführlichen Bearbeitung der »Porosität des Holzes«¹⁾ später zu behandeln gedenke. Speciell kommt es mir hier darauf an, zu beweisen, dass die Lösung des salpetersauren Lithiums ein sehr brauchbares Mittel zur Beantwortung obiger Fragen darbietet, vorausgesetzt, dass zunächst gewisse Vorfragen erledigt sind.

Bekanntlich wurden Lithiumsalze zuerst seit 1871 von Mc NAB im fraglichen Sinne angewendet und später von PFITZER verwerthet; Mc NAB's Angaben erfuhren jedoch Einwürfe von Seiten WIESNER's und die Versuche PFITZER's so wie die Mc NAB's gaben mir in meiner soeben citirten Abhandlung zu Bedenken betreffs ihrer Methode Anlass. So, wie die Sache jetzt liegt, dürfen wir in dem Lithium zwar ein sehr beachtenswerthes Mittel weiterer Forschung erblicken; die bis jetzt damit erzielten Resultate jedoch dürften vor einer eingehenden Kritik sich als unhaltbar erweisen.

Um nun einerseits den Standpunkt für diese Kritik zu gewinnen und andererseits die Vorzüge des Lithiums vor anderen bisher angewandten Mitteln in's Licht zu stellen, wird es nöthig sein, etwas weiter auszuholen.

§ 1. Kritik der bisherigen Methoden.

a. Betreffs des Weges, den der aufsteigende Wasserstrom verfolgt, gibt das alte, so oft wiederholte Verfahren, durch Wegnahme eines Rindenringes die Continuität aller das Holz umgebenden Gewebeschichten zu

¹⁾ Vergl. meine vorläufige Mittheilung über »Porosität des Holzes«. Würzburg 1877.

unterbrechen, insofern genügende Auskunft, als (da das fehlende oder vertrocknete Mark nicht in Betracht kommt) der Erfolg zeigt, dass durch die Operation die Wasserzufuhr zu den stark transpirirenden Blättern nicht wesentlich beeinträchtigt wird; denn wäre dies der Fall, so müssten die Blätter in kurzer Zeit welken, ja verdorren, was bekanntlich nicht geschieht, wenn der ringförmig entblösste Holzkörper durch eine Ligatur vor dem Austrocknen geschützt wird.

Nun leidet aber dieser ebenso einfache als schöne Versuch an dem Uebelstand, dass er bei Stämmen mit zerstreuten Holzbündeln, wie denen der Farne und Monocotylen, nicht durchführbar ist. Zwar liegt der Analogieschluss, dass die Holzfasern überall dieselbe Bedeutung als Wasser leitende Elemente haben, wie bei den Coniferen und Dicotylen, sehr nahe und er wird durch die Wahrnehmung unterstützt, dass Holz im physiologischen Sinne überhaupt nur in solchen Pflanzen anzutreffen ist, bei denen durch Transpiration in der Luft eine rasche Wasserzufuhr nöthig wird und dass die Holzmasse im Allgemeinen mit der Transpirationsfläche zunimmt¹⁾; und wenn derartige Erwägungen auch keinen Zweifel lassen, dass die zerstreuten Holzbündel ebenso wie der compacte Holzkörper den aufsteigenden Wasserstrom leiten, so ist es doch ein gerechtfertigter Wunsch, durch Versuche dies anschaulich zu beweisen. Man hat bis auf die neueste Zeit geglaubt, diesen Beweis dadurch erbringen zu können, dass man färbende Lösungen von abgeschnittenen Zweigen aufsaugen liess; indem sich hierbei nur oder vorwiegend die zerstreuten Holzbündel färbten, schloss man, dass diese allein die farbige Flüssigkeit fortleiten und dass sie unter normalen Verhältnissen auch den aufsteigenden Wasserstrom führen. Der so geführte Beweis für diesen aus anderen Gründen richtigen Schluss ist jedoch durchaus zu verwerfen. Die Färbung der Holzbündel beweist eben nur, dass sie sich färben, d. h. den ihnen dargebotenen Farbstoff festhalten, aufspeichern; die Nichtfärbung der übrigen Gewebeschichten beweist ebenso nur, dass sie den Farbstoff nicht festhalten, nicht färbungsfähig sind; ob die färbende Flüssigkeit oder nur das Lösungswasser in alle Gewebeschichten eindringt, wird durch das genannte Versuchsergebniss nicht bewiesen, wie schon die tägliche Erfahrung bei mikrochemischen Reactionen hinlänglich zeigt. Jeder Mikroskopiker weiss, dass ein Quer- oder Längsschnitt durch die verschiedenen Gewebeformen eines Stengels u. s. w., mit färbenden Lösungen behandelt, sich keineswegs in seiner ganzen Ausdehnung gleichförmig färbt; dass vielmehr nur gewisse Gewebeformen (besonders das Holz) die Färbung annehmen, während die anderen farblos bleiben, obgleich in diesem Falle ja sämtliche Zellen des mikroskopischen Schnittes mit der färbenden Lösung in innigste Berührung kommen. Um nur ein Beispiel zu

1) Vergl. Sachs Lehrbuch IV. Aufl. p. 647–648.

nennen, färbt das schwefelsaure Anilin¹⁾ auf einem mikroskopischen Schnitt nur die verholzten Zellen gelb, gleichgiltig ob sie dem Holz oder einem anderen Gewebe angehören; alle nicht verholzten Zellen bleiben ungefärbt und ähnlich verhalten sich viele Farbstofflösungen. — Lässt man nun derartige Lösungen durch den Querschnitt eines transpirirenden Zweiges aufsaugen, so werden eben auch in diesem nur die färbungsfähigen Zellen sich färben, die nicht färbungsfähigen farblos bleiben, und es wird durchaus ungewiss bleiben, ob sich die Flüssigkeit nicht auch in diesen bewegt habe. Dass dies aber wirklich der Fall sein kann, habe ich bereits in meiner Mittheilung über die Porosität des Holzes gerade für das schwefelsaure Anilin bewiesen. Stellt man einen Zweig von *Annona ovata* in eine Lösung dieses Salzes, so findet man nach einigen Tagen das Holz bis zur beträchtlichen Höhe hinauf intensiv gelb, das parenchymatische Gewebe der Rinde und des Markes farblos. Mitten in dem farblosen Mark jedoch liegen vereinzelte Steinzellen, welche ebenfalls intensiv gelb gefärbt sind. Da diese das färbende Salz nur durch Vermittelung der umliegenden farblosen Markzellen erhalten können, so folgt, dass auch in diesen letzteren sich das schwefelsaure Anilin bewegt hat. In diesem Falle ist es zudem ungewiss, ob das Salz von unten her im Mark aufgestiegen ist, oder ob es im Holz aufsteigend von diesem aus quer in das Mark eindringt. Dass die im Holz aufsteigende Salzlösung quer hinüber in die Rinde geleitet wird, nicht in dieser aufzusteigen braucht, zeigt aber folgender Versuch. Von einer lebenden Tanne (*Abies peccinata*) wurde der Stammgipfel abgeschnitten. Einige Centimeter oberhalb des Schnittes wurde ein ungefähr 4 cm breiter Rindenring weggenommen und das entblösste Holz mit Stanniol dicht umwickelt. Der untere Schnitt blieb (im Winter) einige Tage in einer Lösung von schwefelsaurem Anilin, während die zahlreichen Blätter transpirirten. Als darauf der Stamm gespalten wurde, war das Holz bis zu 30 cm Höhe über der Ringwunde gelb gefärbt. Die in der Rinde der Tanne bekanntlich liegenden, dickwandigen, verzweigten Spicularzellen waren aber ebenfalls intensiv gelb geworden, obgleich sie durch mehrere Schichten farblosen Gewebes von dem Holz getrennt waren. Diese farblosen Zellen hatten also, ohne sich zu färben, das Salz aus dem Holz quer durch den Bast zu den Spicularzellen hinüber geleitet. Genau dasselbe Resultat erhält man bei Aesten von *Populus dilatata*, wo in der äusseren Rinde eine Schicht sogenannter Steinzellen liegt, welche sich durch das im Holz aufsteigende Anilinsalz gelb färben.

Demnach kann aus der Färbung auf den von der Flüssigkeit ver-

¹⁾ Die Gelbfärbung verholzter Zellen durch schwefelsaures Anilin wurde von RUGE entdeckt (Pogg. Ann. 1834. Bd. 31. p. 65). Vergl. ferner SCHAPRINGER in Dingler's polyt. Journ. 1865. Bd. 176. p. 166.

folgten Weg nicht ohne Weiteres geschlossen werden; hätte die *Annona* im Mark, die Tanne und Pappel in der Rinde nicht Zellen, welche sich ähnlich wie das Holz färben, so hätte man glauben können, das schwefelsaure Anilin habe sich ausschliesslich im Holz und gar nicht im Parenchym bewegt.

Durch diese Angaben soll nun keineswegs etwa behauptet werden, dass die Rinde und das Mark betreffs der Wasserleitung in transpirirenden Pflanzen dieselbe Rolle spielen wie das Holz; das wäre durchaus irrig; aber sie beweisen, dass es ganz unzulässig ist, aus der Färbung gewisser Gewebeschichten zu folgern, dass nur diese allein bei der Fortleitung der färbenden Lösung theilhaftig sind. Wenn es also darauf ankommt, zu beweisen, dass die zerstreuten Holzbündel der Farne und Monocotylen den aufsteigenden Wasserstrom ebenso wie das compacte Holz der Dicotylen und Coniferen leiten, so wird man sich nach anderen Beweismitteln umsehen müssen; färbende Flüssigkeiten sind dazu unbrauchbar.

So verhält es sich, wenn abgeschnittene Zweige die färbenden Lösungen mit dem Querschnitt aufnehmen. Noch viel weniger lehren die gelösten Farbstoffe, wenn sie den unverletzten Wurzeln dargeboten werden. Als BAILLON¹⁾ weissblühende *Ilyacinten* sich so entwickeln liess, dass ihre Wurzeln in eine Auflösung der rothen *Phytolacca*-Farbstoffe tauchten, nahmen sie aus dieser zwar das zum Wachsthum und zur Transpiration nöthige Wasser auf, liessen aber den Farbstoff selbst zurück, so dass die an Volumen abnehmende Lösung immer dunkler wurde, während an den weissen Blüthen keine Färbung zu merken war, die sich dagegen nach kurzer Zeit einstellt, wenn abgeschnittene *Ilyacintenschäfte* oder die mit Wundflächen versehene Zwiebelbasis selbst in die Farblösung tauchen. Die Wurzelrinde färbt sich nicht nur nicht, sondern sie hindert den Farbstoff, an die färbungsfähigen Theile zu kommen, eine Thatsache, von der ich mich vor Jahren bezüglich verschiedener anderer Farbstoffe überzeugte, die erst dann Färbung der Gefässbündel in Wurzel und Stämm lebender Pflanzen erzeugten, wenn durch ihren schädlichen Einfluss die Wurzeln abgestorben waren, und die todten Zellen dem Eindringen des Farbstoffs bis zu den Holzbündeln kein Hinderniss mehr entgegensetzten. — Um also die Frage nach dem Wege, den der aufsteigende Saftstrom verfolgt, an gesunden lebenden Pflanzen mit Wurzeln zu beantworten, wird man ebenfalls auf die Hilfe der Farbstofflösungen verzichten müssen.

Das schwefelsaure Anilin dringt durch Wurzeln zwar sofort ein, tödtet diese aber ebenso wie andere von ihm durchdrungene Gewebe,

1) BAILLON in *Comptes rendus* 1875. T. 80. p. 428.

und kann schon desshalb nicht benutzt werden, die Vorgänge in der lebenden Pflanze zu verfolgen¹⁾.

Dass nun das Holz, nämlich das echte verholzte Holz, der Weg für den aufsteigenden, durch Verdunstung der Blätter bedingten Wasserstrom ist, wird hinlänglich durch die Erfolge der Ringelung und die oben angedeuteten Erwägungen über die stattfindende Relation zwischen Transpiration und Holzbildung bewiesen. Ob nebenbei die den Holzfasern so ähnlichen, zuweilen auch verholzten Bastfasern, selcrenehymatische Schichten in Mark und Rinde u. dergl. ebenfalls dem aufsteigenden Saftstrom dienen, ist jedenfalls weiterer Untersuchung vorbehalten, da das wenige darüber etwa Bekannte an den oben gerügten methodischen Fehlern leidet.

b) Die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms im Holz hat man nach sehr verschiedenen Methoden zu bestimmen gesucht, die sich aber bisher sämmtlich als unbefriedigend erwiesen haben.

1) Druck²⁾. Schon HALES, CAMUS, DU HAMEL, später BOUCHERIE, THEODOR HARTIG und RAUWENHOFF u. A. haben die Filtration von Wasser und wässerigen Lösungen durch frisches Holz unter sehr verschiedenem Druck beobachtet. Die Beobachter verfolgten dabei Fragen anderer Art, nicht eigentlich die, die Geschwindigkeit der Wasserbewegung im lebenden Holz zu bestimmen.

Da ich in meiner späteren Abhandlung über die Porosität des Holzes³⁾ auf die Filtrationsfähigkeit desselben näher einzugehen gedenke, so will ich hier nur darauf hinweisen, dass aus der Geschwindigkeit der Filtration durch frisches Holz auf die Geschwindigkeit des emporsteigenden Saftstroms in transpirirenden Pflanzen überhaupt kein Schluss gezogen werden kann, weil dieser Vorgang gar nicht auf Filtration unter Druck beruht, sondern durch ganz andre Ursachen hervorgerufen wird. Höchstens könnten derartige Versuche einige Auskunft darüber geben, wie das Wasser in blutenden Weinstöcken u. dergl. von der Wurzel aus hinaufgepresst wird. Bei stark transpirirenden Pflanzen aber besteht, wie

1) Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass die von den älteren Botanikern, besonders P. DE CANDOLLE betonte Thatsache, dass sich die Wurzelspitzen zuerst und am intensivsten färben, wenn die Wurzeln in Farbstofflösungen tauchen, einfach darauf beruht, dass dieselben, indem sie absterben, sich bei ihrem grossen Protoplasma-gehalt stärker färben, als die übrigen Theile; die frühere daraus gezogene Folgerung, die Wurzelspitzen seien die Organe der Nahrungsaufnahme, ist ein Irrthum, der heute keiner Erwähnung mehr werth sein sollte.

2) RAUWENHOFF: Phyto-physiolog. Bijdragen II, Amsterdam 1868, woselbst die Literatur zusammengestellt ist.

3) Vergl. einstweilen die vorläufige Mittheilung unter diesem Titel (Würzburg 1877).

ich gezeigt habe¹⁾, ein derartiger Druck von unten her nicht; unsere gegenwärtige Betrachtung aber betrifft ausschliesslich den durch die Transpiration in Bewegung gesetzten aufsteigenden Strom, der mit dem Wurzeldruck schon desshalb nichts zu thun hat, weil er auch an abgeschnittenen Aesten, wenigstens Anfangs, in beinahe normaler Form fort dauert, wenn ihr Querschnitt in Wasser taucht. Wird ein solcher, wie ich ebenfalls früher gezeigt habe²⁾, auf den einen mit Wasser gefüllten Schenkel eines U-förmigen Rohrs gesetzt, dessen anderer Schenkel Quecksilber enthält, so bewirkt die durch Transpiration vermittelte Saugung, dass das Quecksilber in dem Wasserschenkel viele Centimeter hoch über das Quecksilberniveau des anderen Schenkels steigt; d. h. das im Holz aufsteigende Wasser überwindet einen beträchtlichen negativen Druck, wie auch die Vergleichung der Ausflussmenge eines Wurzelstumpfes mit dem weit grösseren Volumen des gleichzeitig durch den davon abgetrennten Gipfel aufgesogenen Wassers ergibt. Es wäre daher eine Vermengung ganz heterogener Erscheinungen, wenn man aus der Filtration des Wassers durch Holz unter irgend einem Druck, die Natur und Geschwindigkeit des aufsteigenden Transpirations-Stroms beurtheilen wollte³⁾.

2) Eine auf ganz andere Voraussetzungen gegründete Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms im Holz hat neuerlich PRITZER angewendet; sie besteht in der Beobachtung der Zeit, welche zwischen dem Begiessen der trockenen Erde und der Wiederaufrichtung welker, gesenkter Blätter der in jener eingewurzelten Pflanze vergeht⁴⁾. PRITZER sagt jedoch selbst, es sei bei diesem Verfahren ein misslicher Umstand, dass kein Beweis dafür gegeben sei, dass diejenigen Wassermoleküle, welche im Blattstiel die Hebung (durch Turgescenz) verursachen, identisch seien mit denen, die beim Begiessen der Wurzel zugeführt wurden. Ich möchte hinzusetzen, dass die PRITZER'sche Methode erst dann verständliche Resultate liefern könnte, wenn uns die inneren Veränderungen besser bekannt wären, welche das Welken hervorrufen; bis dahin wird man aus dieser Methode keinen gültigen Schluss auf die Geschwindigkeit der Wasserbewegung im Holz ziehen können, um so weniger, als bei PRITZER's Verfahren ein Theil des fraglichen Wassers zur Verdunstung in den Blättern, ein anderer Theil zur Wiederherstellung der Turgescenz benutzt wird.

3) Die nächstliegende und beste Methode wäre die bereits von HALES an seiner berühmten Sonnenrose angewendete, wonach das leicht zu be-

1) Arbeiten des bot. Instituts Bd. I. p. 288 ff., und mein Lehrbuch IV. Aufl. p. 661.

2) Lehrbuch IV. Aufl. p. 654.

3) Dass der aufsteigende Wasserstrom im Holz auch nicht durch Capillarität in Bewegung gesetzt wird, erachte ich durch meine cit. Mittheilung »über die Porosität des Holzes« für hinreichend bewiesen.

4) PRITZER in Jahrb. f. wiss. Botanik Bd. XI. p. 483.

stimmende Wasserquantum, welches von einer transpirirenden Pflanze durch ihren Stamm emporgeleitet wird, nur durch den Querschnitt des leitenden Gewebes dividirt zu werden braucht, um die Länge (Höhe) der in gegebener Zeit emporgestiegenen Wassersäule zu finden. Wenn nur eben dieser Querschnitt bekannt wäre! leider ist dies bis jetzt nicht der Fall. Dass HALES seiner Berechnung einen viel zu grossen Querschnitt zu Grunde legte und desshalb eine viel zu kleine Steighöhe in der Zeiteinheit erhielt, habe ich bereits in meinem Handbuch der Experimentalphysiologie (1865 p. 234) nachgewiesen, wo ich auch die Methode andeutete, nach welcher der wahre leitende Querschnitt zu finden ist. Vielleicht klarer, als ich es dort gethan habe, möchte ich die hier zu lösende Aufgabe folgendermassen bezeichnen. Es wird vorausgesetzt, dass das aufsteigende Wasser sich nur im Holzkörper bewegt, eine Bedingung, welche durch Wegnahme eines Rindenrings an der fraglichen Stelle des Beobachtungsobjects erfüllt werden kann. Da unter normalen Verhältnissen die Lumina der Holzzellen transpirirender Pflanzen mit (verdünnter) Luft erfüllt sind, so kann das aufsteigende Wasser nur in den Wänden sich bewegen; es ist also das Gesamtquerschnittsareal dieser Wände zu bestimmen; aber auch dieses ist noch nicht die gesuchte Grösse; denn die Wände bestehen aus Wandsubstanz und Wasser; nur die vom imbibirten Wasser eingenommene Querschnittsfläche kann als der Querschnitt der aufsteigenden Wassersäule gelten. Ein Weg, diese Grösse zu finden, wäre der: zuerst das Querschnittsareal der feuchten, dann das der völlig trockenen Holzwände zu messen und die Differenz als den vom bewegten Wasser eingenommenen Theil des Holzes zu betrachten. Mit der so gewonnenen Zahl (Fläche) wäre das in der Zeiteinheit durch den Holzkörper aufgestiegene Wasservolumen zu dividiren, um die Geschwindigkeit zu finden. Ob sich die verlangte Zahl mit hinreichender Genauigkeit finden lässt, steht freilich noch dahin. Zudem beruht das Verfahren auf der Voraussetzung, dass das ganze in den Molecularporen der Wände enthaltene Wasser in gleicher Bewegung begriffen sei und dass die verschiedenen Holzwände sich wieder gleichartig verhalten, was kaum anzunehmen ist,¹⁾ auch wenn man das Kernholz und gewisse, vielleicht nicht der Leitung dienende Elemente des Splintes ausschliesst. — Es ist also, wie man sieht, sehr schwierig, auch nur annäherungsweise den Querschnitt des aufsteigenden Wasserstroms zu finden.

4) Bei den bisher dargelegten Schwierigkeiten liegt es nun nahe, von der Aufsaugung gelöster Stoffe durch transpirirende Pflanzen die Lösung des Problems zu erhoffen. Da das von den Pflanzen aufgenommene Wasser ohnehin nicht reines Wasser ist, sondern die Nährstoffe des Bo-

¹⁾ Vergl. WIESNER: Ueber die Bewegung des Imbibitions-Wassers im Holz (1875) u. s. w. Sep.-Abdruck p. 34.

dens (wenn auch in sehr verdünntem Lösungsgemenge) mitnimmt, um sie den Assimilationsorganen, welche zugleich die Transpirationsorgane sind, zuzuführen und dieselben dort anzuhäufen, so darf man im Voraus als wahrscheinlich annehmen, dass es gelingen könne, durch gewisse Stoffe, welche man dem in die Pflanze eintretenden und in ihr aufsteigenden Wasserstrom beimengt, die Geschwindigkeit des Letzteren selbst zu bestimmen. Aber auch hier treffen wir auf Schwierigkeiten, welche die Geduld und den Scharfsinn des Beobachters oft auf eine harte Probe stellen. Da die folgenden Paragraphen einer eingehenden Prüfung dieser Schwierigkeiten gewidmet sind, so will ich dieselben hier vorläufig nur kurz andeuten.

Nehmen wir zunächst an, man habe es mit unverletzten Pflanzen zu thun, welche die dargebotene Lösung mit gesunden Wurzeln aufsaugen.

Ist nun die den Wurzeln dargebotene Flüssigkeit eine Farbstofflösung, so ist nach dem oben unter a) Gesagten fraglich, ob der Farbstoff von den Wurzeln überhaupt aufgenommen wird; und es scheint, dass diess im Allgemeinen, so lange die Wurzeln gesund sind, nicht geschieht; die Farbstoffe sind für diesen Fall also ausgeschlossen. Ebenso das schwefelsaure Anilin, da es die Wurzeln sogleich tödtet; überhaupt wird jeder Stoff auszuschliessen sein, welcher wesentlich verändernd auf die Gewebe einwirkt, da durch eben diese Veränderung die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stroms verändert werden kann. Kommt es nun also darauf an, nicht färbende und unschädliche Stoffe zu benutzen, so wären die Nahrungsstoffe der Pflanzen gewiss die geeignetsten: Kali- und Kalksalze würden unter diesen noch dazu den Vortheil bieten, spectroscopisch leicht nachweisbar zu sein; ihre Anwendung verbietet sich aber von selbst, weil sie in allen Theilen jeder Pflanze, wenn auch in kleinen Mengen, ohnehin vorhanden sind und natürlich nicht zu erkennen ist, ob das in der Pflanze nachzuweisende Salz aus der dargebotenen Lösung stammt oder an dem untersuchten Orte schon vorhanden war.

Somit bleiben als anzuwendende Stoffe nur solche übrig, die nicht in der Pflanze als gewöhnliche Nahrungsstoffe überall verbreitet und dabei doch unschädlich und leicht nachweisbar sind und von den lebenden Wurzeln leicht aufgenommen werden. Es ist nun die schätzbare Eigenschaft des Lithiums, Salze zu bilden, welche diese für uns werthvollen Eigenschaften besitzen, z. B. das salpetersaure Lithium, von dem ich unten zeigen werde, dass es den Pflanzen, in selbst beträchtlicher Menge aufgenommen, nicht schadet. Die leichte und sichere Nachweisung des Lithiums durch das Spectroskop aber war es, welche Mc NAB 1874 dazu veranlasste, ein Lithiumsalz (citronensaures) zur Bestimmung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms zu benutzen. Diese Eigenschaften würden aber zu dem eben genannten Zweck noch nicht hinreichen, wenn

nicht festgestellt ist, dass sich das Lithium in der Pflanze mit derselben Geschwindigkeit bewegt, wie das Wasser, in welchem es gelöst ist, oder mit anderen Worten, das Lithium darf, wenn es brauchbar sein soll, von den Zellwänden und Inhalten nicht stärker angezogen werden, als das Wasser; es muss ebenso beweglich sein wie dieses; und ich werde im Folgenden Thatfachen beibringen, welche dies zu einem hohen Grade von Gewissheit erheben.

Die grosse Mehrzahl der einschlägigen Versuche ist nun aber bisher nicht an Pflanzen mit gesunden Wurzeln, sondern an abgeschnittenen Sprossen, deren Querschnitt in die fragliche Lösung tauchte, gemacht worden. In diesem Falle kommen die färbungsfähigen Gewebeschichten, zumal das Holz, mit dem gelösten Farbstoff unmittelbar in Contact und die Färbung steigt mehr und mehr in dem Holz hinauf, wie schon unter a) angegeben wurde. Es ist aber durchaus ungerechtfertigt, zu glauben, dass die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms beurtheilt werden könne aus der Länge der gefärbten Holzstrecke in dem transpirirenden Zweige. Die Färbung besteht ja eben darin, dass die Holzwände den Farbstoff aus der aufsteigenden Lösung an sich reissen, ihn festhalten und aufspeichern; dadurch wird das Lösungswasser frei und kann sich im Holz oder in anderen Geweben fortbewegen, ohne dass man es wahrnimmt. Dass dies wirklich so ist, soll im folgenden Paragraphen ausführlich gezeigt werden. Ebenso, wie zur Bestimmung der Gewebeformen, welche den aufsteigenden Strom leiten, sind daher auch die Farbstoffe zur Bestimmung seiner Geschwindigkeit untauglich. Die Frage ist nun, ob sich auch die nichtfärbenden Salze in der Pflanze ebenso verhalten. Ich werde unten zeigen, dass es von diesen zwei Gruppen giebt; nämlich solche, welche sich wie Farbstoffe verhalten, von den Holzzellen festgehalten werden, indem das Lösungswasser vorausseilt (schwefelsaures Anilin, salpetersaures Silber), und ferner solche, die von den Zellwänden nicht festgehalten werden und daher mit dem Lösungswasser emporsteigen (schwefelsaures Kupfer, Kalisalpeter, Ferrocyankalium u. a.). Es leuchtet ein, dass die Stoffe der ersten Gruppe ebensowenig wie die echten Farbstoffe dazu benutzt werden können, die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes zu beobachten; aber auch von den Salzen der zweiten Gruppe müssen diejenigen ausgeschlossen werden, welche dem Pflanzenleben unmittelbar schaden (wie das schwefelsaure Kupfer) und ebenso diejenigen, welche in der Pflanze ohnehin verbreitet sind, wie die Kaliumsalze. Die Beobachtung ergibt nun, dass auch in dieser Beziehung der Lithiumsalpeter die erwünschte Eigenschaft besitzt, von den Zellen nicht festgehalten zu werden, das Wasser auf seinem Wege mit gleicher Geschwindigkeit zu begleiten, und dem Pflanzenleben nicht unmittelbar schädlich zu sein.

Damit ist nun aber nicht gesagt, dass es genüge, abgeschnittene

Zweige oder Blätter einfach in eine Lösung von Lithiumsalpeter zu stellen, um dann aus der Verbreitung desselben die Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstroms während der Transpiration zu erkennen. Ganz eigenartige, erst in neuester Zeit bekannt gewordene Einrichtungen im Holzkörper können hier schwere Täuschungen veranlassen; die durch die Transpiration bewirkte Verdünnung der Luft in den Gefässen und Holzfasern bewirkt an abgeschnittenen Zweigen Erscheinungen, welche im normalen Leben der bewurzelten Pflanze gar nicht vorkommen können und mit dem in den Zellwänden des Holzes aufsteigenden Strome überhaupt nichts zu thun haben, dabei aber den Beobachter irre leiten und die Erkennung des wahren Sachverhalts oft durchaus unmöglich machen. Damit nicht genug, findet anderseits eine Verlangsamung des aufsteigenden Stromes an abgeschnittenen Zweigen statt, weil die Querschnittsfläche sich materiell verändert.

Daraus folgt nun, dass man den Lithiumsalpeter von Pflanzen mit gesunden Wurzeln aufnehmen lassen muss, um den oft genannten Zweck zu erreichen. Der Schwerpunkt der gegenwärtigen Mittheilung liegt daher in einer Reihe derartiger Versuche, welche ich im Frühjahr und Sommer 1877 mit eingewurzelten Pflanzen angestellt habe.

Vor der Mittheilung derselben mögen aber eine Reihe anderer Erfahrungen und Erwägungen hier Raum finden, durch welche die voranstehenden kritischen Bemerkungen eine festere Stütze finden.

§ 2. Verhalten färbender und nichtfärbender Lösungen in Fliesspapier.

Da nach den vorausgeschickten kritischen Bemerkungen färbende Lösungen sowohl zur Nachweisung der leitenden Gewebeformen, wie zu der der Geschwindigkeit des aufsteigenden Saftstromes unbrauchbar sind, so kommt es darauf an, sich zu vergewissern, ob eine Lösung, mit welcher man experimentiren will, die Pflanzenzellhäute färbt oder nicht. Die Färbung durch Farbstoffe beruht offenbar darauf, dass der Farbstoff von den Zellhäuten stärker angezogen wird, als von seinem Lösungswasser, dass er in Folge dessen sich in der Zellhaut relativ stärker anhäuft, als dem Quantum des mit eingedrungenen Lösungswassers entspricht. Dies kann soweit gehen, dass bei geeigneten Quantitätsverhältnissen von Farbstoff, Wasser und Zellhäuten diese letzteren den gesammten Farbstoff in sich aufnehmen und die umgebende Flüssigkeit farblos zurücklassen. Offenbar können wir uns ein derartiges Verhalten auch bei solchen Stoffen denken, welche an sich farblos sind, aber auf gewisse Zellhäute chemisch verändernd so einwirken, dass dabei eine Färbung resultirt, wofür das schwefelsaure Anilin in Berührung mit verholzten Zellhäuten ein Beispiel liefert. Aber auch diese Farbenreaction braucht nicht einzutreten und der gelöste, farblose Stoff kann doch von den Zellhäuten festgehalten wer-

den und dafür sein Lösungswasser freigeben. Da das Verhalten derartiger Stoffe dem der eigentlichen Farbstoffe durchaus entspricht, so dürfte es erlaubt sein, den Ausdruck Färbung auch auf diese Fälle auszudehnen, und jeden Stoff, der von der Zellhaut dem Wasser entzogen wird, als einen färbenden zu bezeichnen; jedenfalls gewinnt man so eine kürzere und den Hauptpunkt allein treffende Ausdrucksweise. Dem entsprechend werden gelöste Salze, welche von der Zellhaut nicht aufgesammelt, dem Lösungswasser nicht entrissen werden, als nicht färbende zu bezeichnen sein: und da nach § 4 nur solche Stoffe für die Ermittlung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Transpirationsstromes brauchbar sind, wird man experimentell festzustellen haben, ob einer gegebenen Lösung, z. B. der des Lithiumsalpeters, diese Eigenschaft der Nichtfärbung zukommt.

Der Weg, den ich zu diesem Zweck eingeschlagen habe, ist nicht neu, aber bisher nicht consequent verfolgt und die betreffenden That-sachen nicht richtig gedeutet. Im Jahrgang 1861 (Bd. 144 p. 275) von POGGENDORFF's Annalen theilte SCHÖNBEIN eine Reihe von Beobachtungen mit, welche er mit senkrecht aufgehängten Streifen ungeleimten Papiers in der Art gemacht hatte, dass dieselben unten eine Linie tief in eine Lösung so lange eintauchten, bis diese durch die Capillarität des Papiers einen Zoll hoch emporgestiegen war; als Versuchsflüssigkeiten dienten verdünnte Lösungen von Alkalien, Säuren, Salzen und Farbstoffen. Durch geeignete Reagentien wurde sodann erkannt, ob der gelöste Stoff mit dem Lösungswasser bis an dessen obere Grenze im Papier hinaufgestiegen sei, oder ob sich oberhalb desselben eine reine Wasserschicht gebildet habe. Unter den von ihm geprüften Stoffen zeigte nun die Mehrzahl (Kali, Natron, Baryt, Kalk, Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Oxalsäure, Gallussäure u. a., Eisenoxydsalze, Bleinitrat, Silbernitrat, Kupfervitriol u. a., Indigo, Hämatoxylin, Pernambukabsud) das letztere Verhalten oder, wie ich nach Obigem sagen könnte, sie erwiesen sich als »färbende« Stoffe für die Zellhäute des Papiers, das Lösungswasser wurde von ihnen befreit und eilte ihnen in den Capillaren des Papiers voraus. Ein anderes Verhalten finde ich bei SCHÖNBEIN nur für die Phosphorsäure und theilweise für das Lakmus angegeben. Seine Resultate sind jedoch z. Th. ungenau und offenbar machte sich SCHÖNBEIN eine unrichtige Vorstellung von dem von ihm beobachteten Vorgange, wie schon die Ueberschrift seines Aufsatzes zeigt, welche lautet: »Ueber einige durch die Haarröhrchenanziehung des Papiers hervorgebrachte Trennungswirkungen.«

Offenbar wird die Trennung des gelösten (färbenden) Stoffes von seinem Lösungswasser nicht durch Capillarität, sondern durch die Anziehung der imbibitionsfähigen Papierfasern bewirkt. Die Capillarität der Hohlräume des Papiers zwischen den Fasern bewirkt das Emporsteigen der Flüssigkeit; da aber die Wände der capillaren Hohlräume von imbibitionsfähigen Fasern gebildet sind, so durchtränken sich diese mit der

Flüssigkeit, ein Vorgang, der durchaus nicht als ein capillarer zu deuten ist¹⁾; diesen zwei verschiedenen Vorgängen folgt nun als dritter die Aufspeicherung des gelösten Stoffes in den imbibirten Fasern, die auch auf einer chemischen Action beruhen kann, wie bei dem schwefelsauren Anilin. Indem nun dem Lösungswasser ein Theil seiner gelösten Substanz oder die ganze Masse derselben in dieser Art durch die Papierfasern entzogen wird, wird die Lösung entweder verdünnt oder es bleibt in den Capillaren reines Wasser übrig, welches nun durch die Capillarität weiter hinaufgeführt wird. — Es ist also nicht die Capillarität, sondern die specifische Adhäsion oder chemische Anziehung des gelösten Stoffes zur Papierfaser (Zellwand), wodurch die Trennung herbeigeführt wird²⁾; die Capillarität aber sorgt dafür, dass zwischen den bereits mit dem Stoff gesättigten Fasern immer wieder neue Lösung emporsteigt, die, sobald sie höher oben mit noch »ungefärbten« Fasern zusammentrifft, diese färbt und ihr Wasser in den Capillaren allein weiter steigen lässt. Es leuchtet ein, dass auf diese Weise die »gefärbte« Partie des durchtränkten Papiers sich mit zunehmender Dauer mehr und mehr erhebt, dass aber das befreite reine Wasser sich rascher in den Capillaren erhebt und dass somit die obere Grenze des farblosen feuchten Theils immer höher und höher über die obere Grenze des gefärbten emporsteigt. Je länger der Versuch dauert, desto grösser wird also der von reinem Wasser durchtränkte obere Theil des durchfeuchteten Papiers werden, wie meine Versuche zeigen. — Findet dagegen eine specifische Anziehung (Adhäsion, Färbung, chemische Verbindung) des gelösten Stoffes zur Papierfaser nicht statt, so ist gar kein Grund vorhanden, warum eine Trennung wie vorhin eintreten sollte, und die Lösung muss unverändert in den Capillaren des Papiers aufsteigen; doch scheinen auch Fälle vorzukommen, dass das Lösungswasser von dem gelösten Stoff sich nicht ganz trennt, sondern dass dieser nur zum Theil von den Fasern festgehalten wird und dass demnach die Concentration von unten nach oben im Papier stetig abnimmt.

Ich habe den SCHÖNBEIN'schen Versuch in etwas abgeänderter Form vielfach angewendet, besonders um zu erfahren, ob sich das salpetersaure Lithium etwa von seinem Lösungswasser trennt, wenn es mit den Zellhäuten des Papiers in Berührung kommt, des Vergleichs wegen aber auch andere Salze und Farbstoffe herbeigezogen.

1) Vergl. über den Unterschied von Capillarität und Imbibition meine vorläufige Mitth. über Porosität des Holzes p. 46 ff.

2) Wenn man Streifen holzhaltigen Filtrirpapiers mit Gyps umgiesst, etwa so, dass sie aus diesem hervorragen, und dann die Gypsstücke, nachdem sie trocken geworden, in schwefelsaures Anilin stellt, so durchtränken sie sich damit, ohne dass der Gyps sich färbt, die Papierstreifen aber entziehen dem Gyps das Salz und färben sich damit gelb.

Ich verwende 3—4 cm breite, 25—30 cm lange Streifen eines ordinären Filtrirpapiers, welches sich unter dem Mikroskop als stark mit Holz- und Gefäßtheilen gemischt erweist, daher auch mit schwefelsaurem Anilin gelb wird. Diese Papierstreifen werden zunächst mittels eines weichen Bleistifts mit einer Centimetertheilung versehen, sodann zwischen zwei etwas breitere Glasstreifen gelegt, diese mit Zwicken zusammengehalten und dann senkrecht an einem Halter befestigt, so dass der unten aus den Glasscheiben 1—2 cm weit hervorragende Papierstreif in die fragliche Lösung eintaucht, doch so, dass zwischen Lösung und Glasplatten ein Zwischenraum von 3—4 mm übrig bleibt. Man kann statt der Glasplatten auch einen engen, hohen Glascylinder verwenden, in welchen man 2—3 cm hoch Lösung giesst; der Papierstreif wird unten beschwert und oben am eingeschliffenen Stopfen des Cylinders befestigt. Beide Vorrichtungen haben nur den Zweck, die Verdunstung der im Papier capillar emporsteigenden Flüssigkeit zu verhindern oder zu mässigen. Anfangs steigt diese sehr rasch, die Geschwindigkeit nimmt aber stetig ab und wird, wenn eine Höhe von 15—20 cm erreicht ist, sehr langsam. Es ist gut, den Versuch zu unterbrechen, so lange die Bewegung noch eine ziemlich rasche ist, weil später neben der sehr langsam gewordenen capillaren Bewegung die Diffusion des gelösten Stoffes das Resultat beeinflussen könnte. Es braucht hier nur nebenbei bemerkt zu werden, dass die Geschwindigkeit des Steigens *ceteris paribus* von der Natur des gelösten Stoffes und der Concentration sehr merklich abhängt, was übrigens bei der hier behandelten Frage nicht weiter in Betracht kommt. Die bei meinen Versuchen angewendete Concentration betrug, wenn es sich um Farbstoffe handelte, nur ein oder einige Zehntel eines Procents, bei Salzen 1—3 Procent.

Von den sehr zahlreich angestellten Versuchen sollen hier nur einige als illustrirende Beispiele angeführt werden.

1) Färbende Stoffe, d. h. solche, welche von den Papierfasern festgehalten und dem Lösungswasser ganz oder theilweise entzogen werden; dieses steigt daher als reines Wasser (oder verdünntere Lösung) in den Capillaren des Papiers rascher empor, als die Grenze des gefärbten Theils; der farblose, durchtränkte Theil, anfangs ein schmaler Raum, wird daher immer höher, so lange die Bewegung überhaupt eine gewisse Geschwindigkeit behält.

Schwefelsaures Anilin färbt das holzhaltige Papier gelb:

		Steighöhe	
		der Färbung	des Wassers
in	1 Stund.	12,8 cm	15 cm
-	2 -	15,5 -	20,3 -
-	7 -	29,5 -	35,0 -
-	24 -	44 -	55 -

Anilinblau in Wasser gelöst.

Dunkle Lösung nach $8\frac{1}{2}$ Stunden:

Steighöhe der Farbe = 12,0 cm

- des Wassers = 29,3 -

Helle Lösung nach $8\frac{1}{2}$ Stunden:

Steighöhe der Farbe = 2,7 cm

- des Wassers = 28,3 -

Indigolösung (der käufliche Teig mit Wasser verdünnt).

Dunkle Lösung nach $8\frac{1}{2}$ Stunden:

Steighöhe der Farbe = 6 cm

- des Wassers = 29 -

Helle Lösung (Conc. = $\frac{1}{6}$ der vorigen):

Steighöhe der Farbe = 8,8 cm

- des Wassers = 29,2 -

Reines indigoschwefelsaures Kalium nach 2 Stunden:

Steighöhe der Farbe = 20 cm

- des Wassers = 24 -

Salpetersaures Silber; die Steighöhe des Salzes wurde durch Aufgiessen von Kochsalzlösung auf die feuchte Partie des Papiers und den dadurch bewirkten Niederschlag von Chlorsilber bestimmt.

Nach 1 Stunde: Steighöhe des Salzes = 8,7 cm

- des Wassers = 41,0 -

Bei den bisher genannten Lösungen war die »gefärbte« Partie oben scharf abgegrenzt gegen das reine Wasser im Papier.

Bei den folgenden war dagegen die Färbung unten sehr intensiv und nahm aufwärts ab, so dass die Grenze des gefärbten und ungefärbten Theiles nur undeutlich zu erkennen war:

Essigsaures Cochenille-Extract in 22 Stunden:

Steighöhe der Färbung = 18 cm

- des Wassers = 39 -

Wässeriges Rhabarbara-Extract in 18 Stunden:

Steighöhe der Färbung = 40 cm

- des Wassers = 26 -

Wässeriges Safran-Extract in $4\frac{1}{2}$ Stunden:

Steighöhe der Färbung = 4 cm

- des Wassers = 18 -

Wässeriges Rothholz-Extract in $4\frac{1}{2}$ Stunden:

Steighöhe der Färbung = 4 cm

- des Wassers = 22 -

2) Nicht färbende Lösungen; sie steigen unzersetzt in den Capillaren des Papiers hinauf; man findet daher mit Hilfe geeigneter Reagentien den gelösten Stoff bis an die Grenze der Feuchtigkeit im

Papier. Es ist jedoch zuweilen zu bemerken, dass die Reaction in den tieferen Theilen einen grösseren Salzgehalt ergibt, was genauer zu untersuchen bleibt. Das Reagenz wurde mit einem Pinsel aufgetragen, den man zuerst auf den nicht durchfeuchteten Theil des Papiers aufsetzte und dann in den feuchten hinabführte.

In dieser Art wurde die Nichtfärbung erkannt bei Chlornatrium mittels salpetersaurem Silber; bei Ferrocyankalium mittels Kupfervitriol; bei Kupfervitriol¹⁾ mittels Ferrocyankalium, nachdem die capillare Steigung im Papier 10—20 cm Höhe erreicht hatte.

Kalisalpeter wurde dadurch nachgewiesen, dass ein 2 mm breiter Querstreifen des Papiers, der die Feuchtigkeitsgrenze enthielt, verbrannt wurde; das Knistern zeigte deutlich, dass das Salz bis zur Grenze der Durchfeuchtung reichte.

Lithiumsalpeter in Lösungen von 4—10 Procent; der oberste noch durchfeuchtete Querstreifen des Papiers mit Scheere abgeschnitten (etwa 2 mm breit), wurde in die Bunsenflamme gehalten und diese mit dem Spektroskop beobachtet. Das Lithium ist jedesmal bis zur äussersten Grenze der Durchfeuchtung deutlich erkennbar; es wird also von den Papierfasern (theils verholzten, theils nicht verholzten) nicht festgehalten.

Man könnte nun gegen die Anwendbarkeit dieser Thatsachen auf die Vorgänge in der lebenden, transpirirenden Pflanze einwenden, dass in dieser die Lösungen nicht durch Capillarität emporsteigen, wie ich in meiner Mittheilung über die Porosität des Holzes gezeigt habe. Dieser Einwand wäre zutreffend, wenn es sich um die Mechanik und Geschwindigkeit des Saftsteigens handelte; damit aber haben die vorstehenden Beobachtungen nichts zu thun; sie sollen, wie erwähnt, nur darüber Auskunft geben, ob ein gelöster Stoff, speciell der Lithiumsalpeter, von den Zellwänden festgehalten wird oder nicht. Wenn nun auch die Bewegung des aufsteigenden Wasserstromes in den Holzwänden durch ganz andere mechanische Ursachen bewirkt wird, als das capillare Aufsteigen einer Lösung im Filtrirpapier, so kann doch soviel als gewiss gelten, dass ein Stoff, der von den Papierfasern der capillar emporsteigenden Lösung entzogen oder nicht entzogen wird, sich ebenso verhalten muss, wenn er im Innern der Zellwände einer transpirirenden Pflanze sich fortbewegt; während die Lösung zwischen den Zellhautmolekülen emporsteigt, kann der gelöste Stoff mit diesen sich verbinden und das frei gewordene Wasser weiter steigen; oder die Trennung findet nicht statt und die Lösung bewegt sich in toto zwischen den Molekülen weiter. Eine, wenn auch nur indirecte Bestätigung findet diese naheliegende Folgerung im folgenden Paragraphen.

¹⁾ SCHÖNBEIN'S Angabe betreffs des Kupfervitriols ist unrichtig.

§ 3. Beweglichkeit und Unschädlichkeit des Lithiumsalpeters in der lebenden Pflanze.

Wenn das salpetersaure Lithium von den Zellwänden, in denen es emporsteigt, nicht festgehalten wird, so muss es unter sonst gleichen Umständen in gegebener Zeit bis zu einer grösseren Höhe in der transpirirenden Pflanze gelangen, als ein Stoff, welcher die Zellwände färbt, d. h. von diesen stärker als vom Wasser angezogen wird. Dass dies wirklich der Fall ist, zeigt schon die Erfahrung, dass mit färbenden Lösungen bisher überhaupt niemals so grosse Werthe für die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes gewonnen worden sind, wie diejenigen, welche ich an eingewurzelten Pflanzen mit Lithiumsalpeter erhalten habe. Ein speciell zu diesem Zweck angestellter Versuch beweist dies ebenfalls. Zwei vorjährige Zweige von *Salix fragilis* waren im April in eine wässrige Nährstofflösung gestellt worden, wo sie ein mächtiges, aus mehreren Hundert Wurzeln bestehendes Wurzelsystem entwickelten, während aus den Knospen bis zum 23. Juni jeder Zweig ungefähr 200 Blätter entfaltete. Die beiden Zweige waren einander in jeder Beziehung so gleich als möglich. Am genannten Tage wurden sie aus der Nährstofflösung genommen und der eine in 1 procentige Lösung von Lithiumsalpeter, der andere in eine solche von schwefelsaurem Anilin gesetzt, wo sie vor einem Südfenster (bei 23° C., wenig Sonne und Wind) der Transpiration unterworfen waren und die dargebotene Flüssigkeit aufsogen. Nach genau zwei Stunden wurden sie herausgenommen und die Zweige ein Stück oberhalb der Wurzelsätze abgeschnitten, der Lithiumspross in kleine Stücke zerlegt, um spektroskopisch untersucht zu werden; der Anilinspross der Länge nach zerspalten.

Das Resultat war nun, dass die durch das schwefelsaure Anilin bewirkte Gelbfärbung des Holzes nur bis 70 cm hoch hinaufreichte, während im anderen Zweig das Lithiumsalpeter bis an die Enden aller Seitenzweige und zum Gipfel des Hauptsprosses, d. h. im Maximum bis 170 cm hoch gestiegen war. Das mit schwefelsaurem Anilin durchtränkte Wurzelsystem erwies sich, obgleich es nach dem Versuch abgewaschen worden war, am nächsten Tage als völlig abgestorben. — Das mit Lithium durchtränkte Basalstück des anderen Sprosses war nach dem Versuch ebenfalls in Brunnenwasser gestellt worden. Die Wurzeln blieben hier ganz gesund und aus dem Aststutzen desselben entwickelten sich nunmehr neue Seitenzweige mit gesunden Blättern. Nach 16 Tagen wurden nun alle Theile spektroskopisch untersucht, wobei sich zeigte, dass die Wurzeln gar kein Lithium mehr enthielten; im Holz der Aststutzen waren nur noch Spuren davon; dagegen fand es sich in beträchtlicher Menge in den neuen Blättern und Zweigaxen.

Offenbar war das früher aufgenommene Lithium mit dem aufsteigen-

den Wasserstrom aus den Wurzeln und den unteren Holztheilen zu den transpirirenden neuen Blättern hinaufgewandert, gewissermassen fortgewaschen worden. Der Lithiumsalpeter verhält sich in dieser Beziehung ganz so, wie die mineralischen Nährstoffe der Pflanze, die ja unter denselben Umständen, wie sie der Versuch darbot, ebenfalls aus den älteren Theilen in die neu sich entfaltenden übergehen.

Die noch weiter aus dem Versuch hervorgehende Erfahrung, dass das salpetersaure Lithium keinerlei schädliche Einwirkung auf Leben und Wachsthum ausübte, findet ihre Bestätigung in zahlreichen anderen Versuchen, welche weiter unten beschrieben werden sollen. In Töpfen cultivirte Pflanzen der verschiedensten Art, deren Erde mit einer Lösung von Lithiumsalpeter begossen wird, nehmen ihn binnen wenigen Stunden in alle ihre Theile auf und leben dann entweder ganz ungestört fort (*Podocarpus macrophylla*, Tabak u. s. w.), oder die Laubblätter werden nach einiger Zeit braunfleckig oder sterben ganz ab (*Musa sapientum*), offenbar jedoch nur in Folge der übermässigen Anhäufung des Lithiums in ihnen, welche eben dadurch bewirkt wird, dass der aufsteigende Strom nach den Transpirationsflächen hingeht, dort verdunstet und das Lithium zurücklässt, welches sich hier mehr und mehr anhäuft, wie es ja auch die mineralischen Nährstoffe thun. Dass diese Erklärung die richtige ist, folgt daraus, weil die später aus den Knospen derartiger Pflanzen sich entfaltenden Zweige sich ganz gesund zeigen, obgleich sie in allen Theilen deutlichste Lithiumreaction zeigen. Ein besonders lehrreiches Beispiel lieferte eine Tabakspflanze (*Nicotiana Tabacum*), welche vor der Entfaltung des Blütenstandes am 30. Juni (im Garten stehend, aber im Topf cultivirt) mit 4,5 Liter einer 3procentigen Lösung von Lithiumsalpeter begossen wurde. Am 8. Juli waren alle Theile der Pflanze so stark mit Lithium beladen, dass sie, in die Bunsenflamme gehalten, diese sofort tief roth färbten; auch die Kelche und Corollen der unterdessen entfalteten Blüten enthielten Lithium. Die Pflanze lebt noch jetzt (am 20. November); ihre alten Blätter sind zwar braunfleckig, z. Th. verdorben; aber neue Sprosse haben sich unterhalb des reifen Fruchtstandes entwickelt, deren Blätter und Axentheile viel Lithium enthalten, ohne irgend eine Spur von Krankheit zu zeigen. Die Fruchtkapseln enthalten Lithium, die Samen, wie es scheint, nicht.

Das Lithium schadet also nur dann, wenn es sich in allzugrosser Quantität in einzelnen Theilen, zumal den Blättern, anhäuft, was ja auch von den Nährstoffen der Pflanzen gilt.

Die leichte Beweglichkeit des Lithiumsalpeters in sämtlichen Geweben der lebenden Pflanzen, nicht blos im Holz, wird ferner dadurch bewiesen, dass dieses Salz aus dem Holz in Rinde und Epidermis hinübergeht, dass es sich aus unverletzten Blättern leicht auswaschen lässt und dass es ebenso von unverletzten Blättern leicht aufgesogen wird.

Dass die im Holz aufsteigenden Lösungen quer einwärts ins Mark und auswärts in die Rinde übertreten können, wurde schon oben bezüglich des schwefelsauren Anilins bewiesen; in diesem Fall war der Beweis jedoch nur dann möglich, wenn in Mark oder Rinde zufällig verholzte, färbungsfähige Zellen liegen; diese Beschränkung fällt bei dem Lithiumsalpeter weg, bei welchem man dafür wieder die Schärfe der mikroskopischen Nachweisung¹⁾ entbehrt. — Eine in sehr grossen Topf und im Freien erwachsene Pflanze von *Helianthus annuus* wurde am 5. August um 11 Uhr Vormittag dem Versuch unterworfen, indem circa 1 Lit. einer 2procentigen Lithiumsalpeterlösung auf die Erde des Topfes gegossen wurde. Nach 3 Stunden waren alle Theile des Stammes und der Blätter lithiumhaltig. Die Pflanze wurde nun zerlegt und constatirt, dass sich das Lithium mit grösster Deutlichkeit in abgezogenen Epidermistreifen des Stammes und der Blattstiele befindet, denen noch eine dünne Lage des Collenchyms anhängt. Parenchymstreifen, mitten aus dem Mark herausgeschnitten, enthielten noch nichts; offenbar, weil das Lithium in das Mark nur durch langsame Diffusion eindringen kann, wogegen seine Bewegung nach der Epidermis hin durch die Verdunstung an der Oberfläche unterstützt wird. Es konnte übrigens auch vermuthet werden, dass das Lithium in den Bast- und Collenchymschichten selbst direct von unten her aufgestiegen sei. Dass jedoch die Querleitung der im Holz aufgestiegenen Lösung zur Erklärung genügt, zeigen andere Versuche, wo 40—50 cm hoch über der Basis des Stammes ein Rindenring weggenommen wurde; das an dieser Stelle völlig entblösste Holz wurde sogleich mit Stanniol sorgfältig umwickelt. Findet sich nun Lithium oberhalb der Ringwunde in Rinde und Epidermis, so kann es nur durch Querleitung vom Holz aus dahin gekommen sein. Solche Versuche wurden mit mächtigen, circa 2 m hohen Stämmen von *Cannabis sativa* und *Nicotiana Tabacum* angestellt, die, im Garten erwachsen, über der Erde abgeschnitten und einige Centimeter tief in eine 3procentige Lithiumlösung gestellt wurden. Nach einigen Stunden war Lithium in Bast und Epidermis über der Ringelung leicht nachzuweisen¹⁾.

Dass das Lithiumsalz bis in die Epidermis, und zwar bis in die äusseren Wände derselben und sogar bis in die Cuticula eindringt, kann man durch Auswaschung des Salzes constatiren. Hat man von bewurzelten oder abgeschnittenen Pflanzen Lithiumsalpeter so lange aufnehmen lassen, bis die Blätter starke Flammenreaction zeigen, schneidet man dann

1) Mc NAB (in Transact. of the royal Irish Acad. 1873. XVIII. p. 370, konnte in der Rinde eines ähnlich behandelten, aber nicht geringelten Astes von *Prunus lauro-cerasus* kein Lithium finden. Vielleicht ist das von ihm angewandte citronensaure Lithium weniger beweglich, oder die Verdunstung an der Oberfläche des dreijährigen Astes war zu gering, um in der kurzen Versuchszeit die Lithiumlösung vom Holz aus quer in die Rinde zu ziehen.

10—15 Blätter mit den Stielen ab und steckt sie umgekehrt, so dass die Stiele herausragen, in Wasser, dessen Volumen etwa das 20—30fache der Blätter beträgt, so findet man nach 1—3 Stunden das Lithium im Wasser, zuweilen soviel, dass es in dem grossen Wasserquantum unmittelbar nachweisbar ist oder doch so, dass dies nach dem Eindampfen gelingt. Diese Versuche wurden mit Blättern von *Nicotiana Tabacum*, *Helianthus annuus*, *Ricinus*, *Cannabis*, *Dietamnus* und anderen Arten gemacht. Zur Nachweisung des Lithiums im Wasser genügt es, einen lithiumfreien Streifen Filtrirpapiers damit zu befeuchten und diesen vor dem Spektroskop in der Bunsenflamme zu verbrennen. Umgekehrt ist die unverletzte Epidermis der Blätter auch im Stande, Lithiumsalpeter aufzusaugen, von wo aus er sich sodann in der Pflanze weiter verbreitet. Belaubte, ganz frische Zweige von *Vitis vinifera*, *Spiraea sorbifolia* u. a. wurden mit ihrem mittleren Theile in ein mit 2procentiger Lithiumlösung gefülltes Gefäss so hinabgebogen, dass drei bis vier der mittleren Blätter in die Lösung tauchten, während die älteren und jüngeren Blätter (mit dem Gipfel) frei in die Luft ragten und transpirirten. Das Lithium fand sich nach einigen oder mehreren Stunden sowohl in den älteren als jüngeren Theileu, d. h. es war von den aufsaugenden Blättern sowohl basalwärts wie gipfelwärts im Stamm vorgedrungen und von da in die transpirirenden Blätter gelangt. Uebrigens ist es nicht die ganze Blattoberfläche, durch welche das Lithiumsalz eindringt, sondern nur die Oberflächen der Nerven, wie daraus hervorgeht, dass nur diese von der Flüssigkeit benetzt werden, wogegen die übrigen Oberflächenräume unter dem Wasser mit einer Luftschicht bedeckt bleiben, und bei dem Herausheben aus der Flüssigkeit trocken sind¹⁾. Das Lithium fand sich bei *Vitis* nach 15 Stunden in Theilen des Sprosses, welche 40 cm weit vom Niveau der Lösung entfernt waren; bei *Spiraea* nach 1 Stunde in Theilen, welche 13 cm vom Niveau abstanden, nach 5 Stunden bereits in 56 cm Entfernung.

§ 4. Untauglichkeit abgeschnittener Sprosse zur Bestimmung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes.

Die grosse Mehrzahl der seit HALES zur Bestimmung der Geschwindigkeit des im Holz aufsteigenden Stromes transpirirender Pflanzen unternommenen Versuche, wurde mit abgeschnittenen Zweigen gemacht, in der stillschweigenden Voraussetzung, dass die in Wasser oder wässrige Lösungen eintauchende und aufsaugende Schnittfläche sich ebenso verhalte, wie die Oberfläche der Wurzel; denn nur unter dieser Voraussetzung

¹⁾ So verhalten sich Blätter von im Freien erwachsenen Pflanzen; haben die Pflanzen dagegen längere Zeit im Gewächshaus verweilt, so pflegen sich die eingetauchten Blätter, wenn sie nicht dicht behaart oder mit dicken Wachskrusten versehen sind, sofort vollständig zu befeuchten.

haben jene Versuche überhaupt einen vernünftigen Sinn. Diese Voraussetzung aber ist falsch; und zwar aus zwei Gründen:

- 1) weil die querdurchschnittenen, saugenden Holzzellwände sich rasch verändern und dann weniger Wasser leiten, als sie im unverletzten Zustande des Stammes thun würden, und
- 2) weil die verdünnte Luft in den Gefässen und Holzfasern abgeschnittener Sprosse Erscheinungen hervorruft, welche an der unverletzten Pflanze nicht eintreten können, so lange sie lebhaft transpirirt.

Die unter 1) genannte Thatsache würde, wenn sie allein vorhanden wäre, bewirken, dass die an abgeschnittenen Sprossen beobachteten Steighöhen zu klein gefunden werden; die unter 2) angeführte dagegen würde für sich allein im Allgemeinen eine viel zu grosse Steighöhe ergeben. Da nun, wenn man mit abgeschnittenen Sprossen experimentirt, gewöhnlich beide Fehlerquellen gleichzeitig wirksam sind, ohne dass sie sich quantitativ abschätzen lassen, so ist das erhaltene Resultat betreffs der normalen Steighöhe durchaus unklar. Es kann dabei geschehen, dass gelegentlich die beiden Fehlerquellen einander aufheben; das ist aber ein Zufall und man weiss nicht, ob er bei einem Experiment eingetreten ist oder nicht.

Speciell bei den von Mc NAB und PFITZER mit Lithiumsalzen gemachten Versuchen trifft das soeben Gesagte zu, weshalb ich es mit besonderer Rücksicht auf diese noch näher begründen will.

Die alltägliche Erfahrung lehrt, dass abgeschnittene, wenn auch mit kräftigem Holz versehene¹⁾ Sprosse, welche man in Wasser gestellt hat, nach einigen Stunden oder Tagen, je nach der Natur der Pflanze, ihre Blätter welken, schliesslich abfallen lassen, und selbst bei solchen Arten, wo dies erst nach vielen Tagen geschieht, kann man sich durch Notirung der täglich aufgesogenen und verdunsteten Wassermengen überzeugen, dass dieselben täglich kleiner werden, wie ich schon 1856 (Flora 1856 p. 613) mitgetheilt habe. Es ist nicht nöthig, hier auf die Ursache dieser Erscheinung einzugehen; für unseren Zweck genügt die Thatsache selbst; sie deutet darauf hin, dass die Saugung abgeschnittener Sprosse schon unmittelbar nach dem Abschneiden kleiner sein muss, als an der unverletzten Pflanze, oder mit anderen Worten, die Geschwindigkeit der durch Verdunstung hervorgerufenen Wasserströmung ist geringer in einem Querschnitt, der in Wasser taucht, als in demselben Querschnitt, der noch mit dem übrigen Holz der unverletzten Pflanze sich in continuo befindet.

Ueber die durch die Druckverminderung der in Gefässen und Holzzellen enthaltenen Luft hervorgerufenen Fehler habe ich mich in meiner

¹⁾ Es ist nicht nöthig, hier auf das rasche Welken noch unverholzter Sprosse zurückzukommen.

vorläufigen Mittheilung »über die Porosität des Holzes« (1877) bereits ausgesprochen; zur Vereinfachung der weiteren Darstellung erlaube ich mir, das dort Gesagte hier zu wiederholen.

»Dass die in den Holzzellen (und Gefässen) enthaltene Luft in Folge der Transpiration verdünnt sein muss, wurde von mir und Anderen schon früher hervorgehoben. Kürzlich hat nun v. HÖHNEL¹⁾ gezeigt, dass die Verdünnung in den Gefässröhren der Laubhölzer eine sehr beträchtliche sein könne. Er schnitt transpirirende Sprosse unter Quecksilber ab und fand, dass dieses sofort viele Centimeter weit in die Gefässe, sowohl aufwärts wie abwärts eindrang, so dass, wenn man den von ihm gemessenen Capillarwiderstand der Gefässöffnungen für Quecksilber in Rechnung bringt, die Spannung der Gefässluft bei

<i>Quercus pedunculata</i> . .	24,5	cm	Quecksilber
<i>Aesculus Hipocast.</i> . . .	37	-	-
<i>Syringa vulgaris</i>	24	-	-
<i>Ulmus campestris</i>	20	-	-
<i>Helianthus annuus</i>	46	-	-

betrug, statt 76 cm Quecksilberdruck. Wenn nun vermöge dieser starken Druckverminderung der Gefässluft das Quecksilber bis 20, selbst 38 cm tief in die Gefässe eindringt, so muss Wasser oder eine wässrige Lösung unter gleichen Umständen in sehr kurzer Zeit noch viel tiefer eindringen, wenn auch nicht gerade im Verhältniss der specif. Gewichte (1 : 13,6, da die Reibung an den Gefässwänden u. a. in Betracht kommt. Eine Reihe von Versuchen, welche ich unmittelbar nach Empfang der genannten Abhandlung v. HÖHNEL's mit einer Lösung salpetersauren Lithiums (1 %) unternahm, bestätigt diese Folgerung in ganz überraschender Weise; obgleich die verwendeten Pflanzen bei trübem Wetter nur im geheizten Laboratorium transpiriren konnten.

Ein sehr grosses Exemplar von *Montanoa heracleifolia* wurde aus dem Warmhaus in das Laboratorium gestellt und nach 6 Stunden bei 47—48° C. ein stark belaubter, etwa ein Meter langer Spross an seiner unteren Partie in eine Schüssel mit Lithiumlösung hinabgebogen und dort durchgeschnitten. Die Schnittwunde des distalen Endes blieb nicht ganz eine Minute in der Lösung, wurde dann sofort unter dem Wasserlauf abgespült und 50 cm oberhalb der Spross durchgeschnitten; dies Alles dauerte etwa 40 Sec. Die spektroskopische Prüfung ergab nun 50 cm über dem ersten Schnitt die deutlichste Lithiumreaction. Unmittelbar darauf

¹⁾ FRANZ v. HÖHNEL: Ueber den negativen Druck der Gefässluft; Dissertation, Wien 1876. — Meine in der »Experimentalphysiologie« (1865 p. 260, 261) gemachten Angaben über Luftverdünnung im Holz würden betreffs der Erklärungsargumente einiger Berichtigungen bedürfen, die hier jedoch entbehrlich sind. Ich verweise ferner auf meine »Geschichte der Botanik« p. 524.

wurde auch der Gipfel geprüft, in welchem sich das Lithium bis 80 cm über dem Schnitt, d. h. bis in die halbwüchsigen jungen Internodien unter der Knospe nachweisen liess.

Gleiche Versuche mit *Malva silvestris* (Stamm) und einem Blattstiel von *Livistona sinensis* ergaben, dass die Lithiumlösung in einer Minute bis 50 resp. 45 cm gestiegen war.

v. HÖNNEL hat (l. c.) ferner gefunden, dass auch bei solchen Sprossen, die man in Luft abgeschnitten und einige Zeit hat liegen lassen, das Quecksilber noch in die Gefässe eine kleinere Strecke weit emporsteigt, wenn man das untere Ende sodann unter Quecksilber abschneidet. Dem entspricht folgender von mir gemachter Versuch: ein etwa 1 Meter langer Spross von *Nerium Oleander* war in Luft abgeschnitten, dann seine Schnittstelle benetzt und mit einem engen Glasrohr verbunden und dieses in Wasser gestellt worden, um zu sehen, ob die Luft im Rohr sich verdünnen würde; dies geschah nicht. Nach 24 Stunden wurde von dem kaum gewelkten Spross das untere 7 cm lange Stück unter Lithiumlösung abgeschnitten; nach 1 Minute langer Saugung fand ich 30 cm über dem Schnitt deutliche Lithiumreaction. Ein anderer in Wasser gestandener Oleanderspross wurde einfach unten abgetrocknet und 1 Minute lang in Lithium gestellt; dieses liess sich dann nur bei etwa 5 mm über der Schnittfläche nachweisen.

Diesen Versuchen entsprechen die von Mc NAB und PRITZER angestellten. Mc NAB schnitt die Sprosse in Luft ab und stellte sie dann in Lithiumlösung; PRITZER schnitt sie in Luft oder unter Wasser ab und brachte sie dann in Lithiumlösung. Mc NAB¹ fand, dass das Lithium nach 20 Minuten bis 13,5 Zoll hoch gestiegen war, PRITZER berechnet aus seinen wenigen Minuten dauernden Versuchen, dass die Geschwindigkeit der Lithiumlösung pro Stunde bis über 22 Meter betrage.

Es ist jedoch ersichtlich, dass es sich bei diesen Versuchen nicht um die in den Zellwänden aufsteigende Wasserbewegung normal vegetirender Pflanzen handelt, sondern um ein plötzliches Hineinstürzen der Flüssigkeit in die luftverdünnten Räume der Gefässe, welches in kurzer Zeit vollendet ist und nicht in dieser Weise fort dauert, daher auch nicht pro Stunde berechnet werden darf. Durch derartige Versuche kann also die Geschwindigkeit des Wasserstromes in den Zellwänden einer transpirirenden Pflanze nicht gemessen werden.

Es leuchtet ein, dass die entsprechenden Versuche mit Coniferenzweigen geringere »Geschwindigkeiten« ergeben müssen. Sie enthalten nur in der Markkronen Gefässe und zwar sehr enge, deren grosser Reibungswiderstand der aufsteigenden Lithiumlösung ein beträchtliches Hinderniss entgegengesetzt. Was die Holzzellen des secundären Holzes be-

¹ Transact. of royal Irish Acad. Vol. XXV. 1874. p. 355.

trifft, so enthalten diese in der lebenden Pflanze Luftblasen, deren Druck geringer ist, als der der Atmosphäre. Da nun die Zellwände des Holzes, wie sich oben zeigte, auch bei sehr geringem Drucke noch Wasser schnell durchlassen, so wird, wenn man einen transpirirenden Coniferenzweig unter Lithiumlösung abschneidet, diese auch in das Holz bis zu gewisser Höhe eindringen. Ferner kommen hier die oben nachgewiesenen Luftwege an der Herbstholzgrenze der Jahrringe in Betracht. Diesen Erwägungen entsprechen die Resultate, die ich mit *Pinus Coulteri* (Hauptstamm), *Pinus Brutia* und *Cryptomeria japonica* (Aeste) erhielt. Die Bäume wurden aus dem Gewächshaus in das Laboratorium gestellt und denselben Bedingungen wie die früher genannten Pflanzen ausgesetzt. In 1 Minute nach Durchschneidung unter Lithiumlösung liess sich das Metall nachweisen:

bei *Pinus Brutia* im äusseren und mittelbaren Holz 9—10 cm hoch;
in der Markkrone 15 cm;

bei *Cryptomeria* im Holz 5—6 cm hoch, in der Markkrone 6—7 cm hoch.

Pinus Coulteri war nach der Durchschneidung 8 Minuten lang in Lithium geblieben, dieses fand sich dann 25 cm hoch über dem Schnitt im Holz.

Diese Bemerkungen, soweit sie PFITZER's Angaben betreffen, waren hervorgerufen durch eine vorläufige Mittheilung desselben vom Jahre 1875; PFITZER's ausführliche Publication »über die Geschwindigkeit der Wasserströmung in der Pflanze«, erschien zwar erst später (im Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XI 1877), als meine cit. Schrift, war aber schon vor deren Erscheinen geschrieben, so dass die von mir aufgedeckte Fehlerquelle in PFITZER's ausführlicher Arbeit keine Berücksichtigung mehr finden konnte. PFITZER sah sich daher veranlasst, in einer besonderen Schrift: »Bemerkungen über die Wasseraufnahme abgeschnittener Pflanzentheile« (Verh. des Heidelberger naturhistorischen medizinischen Vereins n. F. Bd. I) seine eigenen Versuche einer Kritik zu unterwerfen, durch welche er selbst eine Reihe derselben (die Versuche 10—15, 19—20 seiner Hauptarbeit) als solche anerkennt, die keine Auskunft über die normale Bewegung des aufsteigenden Stromes geben können; die Zweige waren in Luft abgeschnitten und nach kurzer Zeit in die Lithiumlösung gestellt worden, wo sie nur einige Minuten blieben. Es ist lehrreich zu beachten, dass diejenigen Versuche die grössten (berechneten) Steighöhen von 12,6—33 m pro Stunde ergeben, bei welchen (wie Nr. 19 und 20) die Schnittfläche nur 1—2 Minuten eintauchte, wogegen bei 10 Min. länger Saugung die Berechnung nur 2,7—6,4 m pro Stunde ergibt. Dieses Ergebniss erklärt sich wohl einfach daraus, dass die Gefässluft im Moment des Eintauchens noch Minderdruck hatte, dass somit die Lösung in die

Gefässe hineingepresst wurde; das dadurch hervorgerufene Aufsteigen des Wassers in den Gefässen musste jedoch von Minute zu Minute langsamer werden, also bei Berechnung auf die Stunde um so kleinere Werthe ergeben, je länger die Saugung gedauert hatte.

PFITZER glaubt, dass diejenigen seiner Versuche, wo die Sprosse unter Wasser abgeschnitten und dann in Lithiumlösung gestellt wurden, befriedigende Resultate ergeben haben müssen, weil der Minderdruck der Gefässluft in diesem Falle bereits ausgeglichen gewesen sei, bevor die Sprosse in Lithium gestellt wurden. Das Letztere ist jedoch nicht bewiesen, und wenn es auch so wäre, so ist doch zu beachten, dass die mit Wasser injicirten Gefässe bei der darauf folgenden Aufsaugung des Lithiums abnorme Erscheinungen hervorrufen mussten. Ich werde sogleich zeigen, wie ganz unerwartet diese Verhältnisse in abgeschnittenen Sprossen sich gestalten; ich stimme daher, obgleich mit einigen weiteren Punkten von PFITZER's Kritik nicht einverstanden, doch darin mit ihm ganz überein, wenn er am Schluss seiner Kritik es zugibt, dass die an abgeschnittenen Sprossen beobachteten Erscheinungen nicht ohne Weiteres zur Beurtheilung der Vorgänge in der unverletzten Pflanze benutzt werden können. In wie hohem Grade dies der Fall ist, werden folgende Beobachtungen zeigen.

Im Anschluss an die weiter oben angegebenen Versuche über das Eindringen von Lithiumlösung in die Gefässe transpirirender Sprosse, wenn diese in der Lösung untergetaucht durchschnitten werden, führe ich hier noch einige weitere Ergebnisse an, welche unter günstigeren Transpirationsbedingungen in freier Luft gewonnen wurden. Nach dem Durchschneiden des Stengels blieb der Querschnitt des Gipfelendes jedesmal genau 1 Minute in der 1procentigen Lösung, deren Steighöhe dann durch spektroskopische Beobachtung bestimmt wurde, nachdem der aus der Lösung herausgehobene Spross in kurze Stücke zerschnitten war.

An einem wenig warmen Augusttage (dem 29.) stieg die Lithiumlösung in eine 3 Meter lange Weinrebe in 1 Minute 93 cm hinauf.

In einen mächtigen Kürbisstamm von circa 4 m Länge stieg sie 264 cm in 1 Minute, d. h. bis in die Nähe der Gipfelknospe, wo die Gefässe wohl noch nicht fertig ausgebildet waren. — Bei einem andern Kürbisstamm stieg sie 245 cm; ein 150 cm langer Gipfeltheil blieb dabei noch frei von Lithium.

Am 16. April wurden ebenso von einigen Sträuchern Zweige unter Lithiumlösung abgeschnitten bei trockenem, windigem Wetter um 5 Uhr Abends: das Lithium stieg in 1 Minute bei *Philadelphus coronarius* bis 66 cm, bei *Ribes sanguineum* 67 cm, bei *Lonicera xylosteum* bis 80 cm.

Eine der merkwürdigsten an abgeschnittenen Aesten zu beobachtende Erscheinung ist die, dass in ihren Gefässen sich die gewöhnliche Luftverdünnung wiederherstellt, nachdem sie längere Zeit mit der At-

mosphäre in Berührung gewesen und dann längere Zeit in Wasser gestanden haben, wie folgende Erfahrungen beweisen. Am 15. September hatte ich im Garten 130—150 cm lange, belaubte Aeste abgeschnitten und die Schnittflächen circa 10 Minuten mit der Luft in Berührung gelassen; dann wurden sie in Wasser gestellt und 48 Stunden lang der Saugung und Transpiration überlassen. Nach dieser Zeit nahm ich je einen der Aeste aus dem Wasser, so dass die Schnittfläche nass blieb und beugte einen um 50—60 cm höher liegenden Theil in eine Schüssel mit Quecksilber, unter welchem der Ast nun durchschnitten wurde; die Schnittfläche des aufrecht gehaltenen Gipfeltheils blieb 1 Minute in Quecksilber, dann wurde der Ast gespalten und in verschiedenen Höhen Längs- und Querschnitte gemacht. Die Gefässe der 5—6 cm über der neuen Schnittfläche liegenden Partien waren sämmtlich voll Quecksilber; bei *Amorpha fruticosa* reichte es aber in vielen Gefässen bis 16 cm., bei *Spiraea sorbifolia* bis 9 cm hinauf, bei *Quercus robur* bis 10 cm. Selbst wenn die 10 Minuten lange Berührung der durchschnittenen Gefässe mit der Luft noch nicht hingereicht hätte, die Druckdifferenz auszugleichen, so hätte dies doch, wie man glauben durfte, durch die lange Zeit andauernde Möglichkeit der Wasseraufnahme geschehen müssen. Auch ist die Annahme kaum auszuschliessen, dass dies für einige Zeit wirklich stattgefunden hat, dass später aber oberhalb der in den Gefässen stehenden Wassersäule wieder Luftverdünnung eingetreten ist. Das Zustandekommen derselben wird vielleicht verständlich, wenn man annimmt, dass das in den Gefässen aufgestiegene Wasser von den umliegenden Holzzellen rasch aufgesogen wird und zu den Blättern emporsteigt, und dass auf diese Weise den Gefässen das Wasser rascher entzogen wird, als es in ihnen aufsteigen kann, was bei dem geringen Durchmesser der Gefässe sehr wohl denkbar ist, um so mehr, als diese durch das in ihnen aufsteigende Wasser auf eine noch unbekannte Art mehr oder weniger verstopft werden; wie aus der von RAUWENHOFF (Verslagen en Meded. den Koninkl. Akad. 2de Reek Deel II 1868) festgestellten Thatsache hervorgeht, dass die Filtration von Wasser durch gefässhaltiges Holz mit der Zeit immer langsamer wird.

Wie bei den eben genannten Versuchen die Luftverdünnung in den unten durch Wasser abgeschlossenen Gefässen durch Quecksilber nachgewiesen wurde, so lässt sie sich auch durch Lithiumlösung ersichtlich machen. Ein daumdicker Ast von *Aesculus Hippocastanum* war vor der Knospenentfaltung Ende März in Wasser gestellt worden, wo sich binnen 3 Wochen seine Blätter entfalteten. Der Ast wurde nun etwa 30 cm oberhalb des alten Querschnitts unter Lithiumlösung durchschnitten und nach 1 Min. dauernder Saugung konnte das Lithium 1 m hoch über der neuen Schnittfläche nachgewiesen werden. Ebenso wurde ein Ast von *Populus fastigiata*, der nur 24 Stunden nach dem Abschneiden in Luft in Wasser

gestanden hatte, behandelt und das Lithium fand sich nach 4 Min. Verweilens der Schnittfläche in der Lösung bis zu 80 cm hoch im Holz (24. Juni 22° C.). Aehnliche Resultate erhielt ich an anderen Aesten; in manchen Fällen aber ist die Steighöhe bei ganz gleicher Behandlung an denselben Pflanzen sehr gering, nur einige Centimeter.

Diese Versuche widersprechen nun der Annahme PFITZER's, dass bei unter Wasser abgetrennten, dann eine Stunde in Wasser belassenen Zweigen der Minderdruck der Gefässluft »längst ausgeglichen« sein müsse und der von ihm weiterhin gemachten Annahme, »dass die Erfüllung der Gefässe mit Wasser bei unter Wasser abgesechnittenen Pflanzentheilen sich erhält, so lange sie transpiriren«; die directe Beobachtung zeigt gerade das Gegentheil.

Dagegen kann man allerdings mit einem gewissen Grade von Wahrscheinlichkeit annehmen, dass an abgeschnittenen, längere Zeit in Wasser gestandenen Sprossen, deren Gefässe sich unten verstopft haben und oben wieder mit verdünnter Luft gefüllt sind, sich ein der unverletzten Pflanze ähnlicher Zustand hergestellt hat und dass ein solcher Spross, aus dem Wasser in Lithiumlösung gestellt, eine Steighöhe desselben ergeben kann, welche der eingewurzelten Pflanze mehr oder weniger ähnlich ist. Der Querschnitt mit seinen verstopften Gefässen entspräche dann gewissermassen der porenfreien Wurzeloberfläche. Dabei kommt nun aber die oben zuerst genannte Fehlerquelle in Betracht, dass nämlich das Leitungsvermögen des Querschnitts nach der Abtrennung von der Pflanze rasch abnimmt.

Unter diesem Gesichtspunkt mögen folgende Versuche von einigen Interesse sein, besonders wenn man sie mit den in § 5 beschriebenen vergleicht.

Am 21. Juni war ein fingerdicker, reichbelaubter Ast von *Juglans regia* in Luft abgeschnitten und dann in Wasser gestellt worden; nach 24 Stunden wurde er einfach aus dem Wasser gehoben und sogleich in Lithiumlösung gesetzt; nach 4 Stunde war bei sehr günstigen Transpirationsbedingungen das Lithium 102 cm hoch gestiegen.

Ein ebenso angestellter Versuch mit einem grossen reichbelaubten Aste von *Ailanthus glandulosa* ergab (ebenfalls am 22. Juni) nach einstündigem Verweilen in Lithiumlösung eine Steighöhe von 125 cm.

Am 12. August wurde derselbe Versuch mit einem daumendicken, 20 grosse Blätter tragenden Aste von *Juglans regia* wiederholt (Sonne und 22° C. bei offenem Fenster), nachdem er 16 Stunden in Wasser gestanden; das Lithium stieg hier in 1 Stunde nur 22 cm hoch.

Ein 2 m hoher, mit 4 grossen Blättern versehener Stamm von *Chaemodorea Karwinskiana* war in Luft abgeschnitten und dann 4 Stunde ohne Wasserzutritt liegen gelassen; darauf liess man ihn 6 Stunden lang

Wasser saugen; aus diesem sofort in Lithiumlösung gestellt (22—24° C.), stieg diese in 2 Stunden 87 cm (also pro Stunde 43,5 cm) hoch; in den Blättern fand ich kein Lithium.

Bei diesen Aesten hatte, wie gesagt, ein gewisser Gleichgewichtszustand Platz greifen können, bevor sie in die Lithiumlösung tauchten; die Steighöhen in je einer Stunde sind dementsprechend viel kleiner als selbst die kleinsten von PFITZER an Sprossen gefundenen, welche nur kurze Zeit vor dem Eintauchen in Lithium mit Luft am Querschnitt in Berührung geblieben, oder unter Wasser abgeschnitten und 1 Stunde in diesem belassen waren. Dagegen entsprechen die genannten Steighöhen ungefähr denen, welche ich an Pflanzen gefunden habe, welche die Lithiumlösung mit unverletzten Wurzeln aufnehmen. Es kann sich bei diesen Vergleichen allerdings nicht um einige Centimeter handeln, sondern nur darum, ob das Wasser im Holz in der Stunde mehrere Meter hoch steigt oder nicht.

§ 5. Das Aufsteigen der Lithiumsalpeterlösung in bewurzelten Pflanzen.

Nachdem nun festgestellt war, dass das salpetersaure Lithium unschädlich ist, von den gesunden Wurzeln aufgenommen wird, sich mit seinem Lösungswasser fortbewegt, — andererseits aber auch gezeigt wurde, dass diese günstigen Eigenschaften nicht vor schweren Irrthümern schützen, wenn man mit abgeschnittenen Sprossen experimentirt, so kam es darauf an, das genannte Salz von Pflanzen mit normalen, unverletzten Wurzeln aufnehmen zu lassen und zu sehen, wie hoch es in gegebener Zeit im Stamm hinaufsteigen würde.

Ich habe bei den von mir im Sommer 1877 gemachten Versuchen jedoch nur eine Frage ins Auge gefasst, nämlich die: wie gross die Steighöhe der Lithiumlösung in einer Stunde ist, wenn die Pflanze sich im Maximum der Thätigkeit befindet; dieses hängt aber davon ab, dass sie im Verhältniss zum Stammquerschnitt eine möglichst grosse Blattfläche besitzt und dass während der Beobachtungszeit sehr günstige Transpirationsbedingungen (hohe Temperatur, Trockenheit der Luft und Sonnenschein) herrschen. Die Steighöhe wird aber noch von dem der Beobachtungszeit vorausgehenden Zustand der Pflanze mit abhängen. War die Transpiration vorher schwach und die Wurzeln reichlich mit Wasser versehen, so konnte sich Wasser in den Hohlräumen der Gefässe und Holzfasern ansammeln, welches dann bei plötzlich gesteigerter Transpiration in den Holzzellwänden emporsteigt, um an den Blättern zu verdunsten. Es ist ersichtlich, dass in diesem Fall, wo die Pflanze aus einem inneren Vorrath schöpft, die an den Wurzeln statthabende Wasseraufnahme geringer sein könnte, als dem Transpirationsverlust entspricht, und ist dies der Fall, so wird auch die beobachtete Steighöhe der Lithiumlösung nicht

so gross sein, wie sie sein könnte¹⁾. Meine Pflanzen wurden daher schon vor Beginn des Versuchs möglichst günstigen Transpirationsbedingungen ausgesetzt.

Von Pflanzen mit in Nährstofflösung entwickeltem Wurzelsystem wurden nur drei dem Versuch unterworfen; die anderen viel zahlreicheren Versuchspflanzen standen in irdenen, meist sehr geräumigen Blumentöpfen mit Erde, in welcher sich die Wurzeln einige Monate oder Jahre vorher heimisch gemacht hatten. Frisch versetzte Pflanzen würden, da bei dem Versetzen immer zahlreiche Wunden an den Wurzeln entstehen, ähnlichen Einwürfen unterliegen, wie abgeschnittene Zweige.

Einige der Versuchspflanzen blieben während der Beobachtungszeit im Garten; die Mehrzahl wurde aus diesem vorher in das Laboratorium geschafft, und auf die vor den Südfenstern angebrachten Bretter gestellt, wo sie wenigstens einen Tag vor dem Anfang des Versuchs und dann auch während desselben stehen blieben. Die Erde in den Töpfen blieb gewöhnlich 1—2 Tage (je nach der Grösse der Töpfe) vor dem Versuch unbegossen; doch wurde darauf gesehen, dass die Pflanze nicht etwa welkte. Der Versuch begann damit, dass die ziemlich trockene Erde reichlich mit Lithiumsalpeter-Lösung begossen wurde und zwar so, dass jedesmal ein beträchtlicher Ueberschuss derselben aus dem Loch am Boden des Topfes abliess und in dem untergestellten Napf sich sammelte. Dies geschah, um sicher zu sein, dass sämtliche Wurzeln, besonders auch die am Boden des Topfes, mit der Lösung in Berührung kamen.

Die Concentration der aufgegossenen Lösung schwankte zwischen 1—3 Procent; sie wurde um so höher genommen, je feuchter die die Wurzeln enthaltende Erde war, da das in dieser befindliche Wasser die Lösung verdünnen musste. Trotzdem könnte die aufgesogene Lösung zu hoch concentrirt erscheinen. Dass ich mich zu hoher Concentration entschloss, geschah in Folge der Wahrnehmung, dass bei Concentrationen von circa 0,5 % die Nachweisung der oberen Verbreitungsgrenze des Lithiums in der Pflanze schwieriger schien, als wenn die Lösung concentrirter war. Jedenfalls blieben meine Pflanzen selbst nach so reichlicher Dosis des Lithiumsalzes gesund, wie oben gezeigt wurde. Indessen überlasse ich es späteren Beobachtungen, zu erforschen, ob durch die Concentration die Steighöhe wesentlich beeinflusst wird.

Gewöhnlich gestattete ich der Pflanze, eine Stunde lang die Lithiumlösung aufzusaugen, wenn nicht eine andere Einrichtung getroffen war

1) Umgekehrt kann eine Pflanze, wenn sie längere Zeit stark transpirirt hat und dann plötzlich in den Schatten kommt, fortfahren, sehr viel Wasser aufzusaugen, viel mehr als der gleichzeitigen Verdunstung entspricht. Hieraus erklärt sich, warum bei Mc NAB (l. c. 1874 p. 356) im Sonnenschein abgeschnittene Sprosse fast gleiche Steighöhe des Lithiums zeigten, obgleich der eine der Sonne ausgesetzt blieb, der andere aber in den Schatten kam.

(s. unten). Dann wurde der Stamm über der Erde abgeschnitten und sofort von oben herab in kleinere Stücke zerlegt, aus denen nun Theile abgeschnitten und der spektroskopischen Prüfung unterzogen wurden, die ebenfalls von oben gegen unten hin fortschritt. Für äusserste Reinlichkeit betreffs des an dem Messer, der Pincette u. s. w. etwa anhaftenden Lithiums wurde gesorgt. Die Verbrennung geschah so, dass dünne Späne des Holzes, oder Stücke der Blätter mit der Pincette in die Bunsenflamme vor dem Spektroskop gehalten wurden. Bei grossem Lithiumgehalt erscheint so die Lithiumlinie sofort; bei geringem Gehalt muss man warten, bis die Asche weissglüht. Das angewendete Spektroskop enthält nur ein Prisma; die Lithiumlinie wird auch bei äusserst geringen Spuren des Salzes noch deutlich gesehen.

Bei den hier folgenden Versuchsergebnissen ist die Steighöhe immer zunächst vom Wurzelhals an gerechnet. Es ist hierbei jedoch nicht zu vergessen, dass die dem Stamm nächsten, ältesten Wurzeltheile entweder gar nicht (wenn sie mit Periderm überzogen sind) oder nur langsam Wasser aufsaugen; viel energischer ist diese Thätigkeit an den jungen, meist weiter vom Stamm entfernten, noch mit Wurzelhaaren bekleideten Theilen, die bei den Topfpflanzen vorwiegend an der Innenseite des Topfes und an dessen Boden sich ausbreiten. — Durch diesen Sachverhalt wird nun leider das Urtheil über die von dem Lithium in der Pflanze zurückgelegte Strecke sehr erschwert und es wird noch weiterer Versuche zur Beseitigung des hier liegenden Fehlers bedürfen. Bei meinen Versuchen könnte der Fehler wohl zwischen 5 und 10 cm betragen und es leuchtet ein, dass er bei kurzer Beobachtungszeit und geringer Steighöhe im Stamm schwer ins Gewicht fallen würde. Da ich jedoch lange Beobachtungszeiten anwandte und die Steighöhen meist sehr beträchtlich waren, so wird der Fehler relativ kleiner; auch hat es für meinen hier verfolgten Zweck nicht viel zu sagen, ob die wahre Steighöhe in der Stunde 25 oder 30 cm, ob sie 100 oder 120 cm beträgt; die Frage war vielmehr zunächst die, ob Geschwindigkeiten des aufsteigenden Stromes von 3—4 und mehr Meter vorkommen oder die gewöhnlichen sind, wie aus PFITZER'S Versuchen geschlossen werden könnte. Ich glaube den genannten Fehler wesentlich zu verringern, wenn ich den beobachteten Steighöhen im Stamm in jedem Fall nach den wahrscheinlich obwaltenden Verhältnissen noch eine Correctur für die von dem Lithium durchlaufene Wurzellänge zurechne; so dass die wahre Steighöhe während der Beobachtungszeit gleich ist der Summe dieser Wurzellänge und der beobachteten Höhe im Stamm; welche Länge dann auf eine Stunde zu reduciren ist.

In Nährstofflösung cultivirte Pflanzen.

Hierher gehört zunächst der in § 3 beschriebene Versuch mit *Salix fragilis*, bei welchem das Lithium in 2 Stunden bis 170 cm hoch gestiegen

war, pro Stunde also 85 cm; wobei jedoch zu bemerken ist, dass das Lithium bis in die Endknospen der längsten Zweige eingedrungen war und vielleicht noch höher gestiegen wäre, wenn es dazu Gelegenheit gefunden hätte.

Zea Mais.

Zwei Maispflanzen waren im Garten ausgehoben, ihre Wurzeln zum Theil abgeschnitten und dann in Nährstofflösung gestellt worden; es hatte sich im Lauf von 2—3 Wochen an jeder ein mächtiges neues Wurzelsystem entwickelt, welches den Raum des Gefässes (eirea 4½ Liter) ausfüllte.

Am 24. Juli 1877 wurde die eine Pflanze mit den Wurzeln in eine 1procentige Lithiumsalpeterlösung gesetzt, so dass die Stammbasis 2—3 cm über dem Niveau blieb. Sie hatte 7 gesunde Blätter von 50—70 cm Länge und 7—10 cm Breite; die männliche Rispe fast entfaltet. — Nach 2 Stunden (bei 25—26° Lufttemperatur und Sonnenschein) fand sich das Lithium bis 50 cm über der Stammbasis; von den Blättern enthielt nur das 4. bis 35 cm hoch Lithium¹⁾. Am 4. August wurde die zweite Pflanze mit 7 Blättern von bis 75 cm Länge und bis 9,5 cm Breite ebenso in 2procentige Lösung gesetzt (bei 26° C.). Nach 4 Stunde fand sich in den Blättern keine Spur Lithium, im Stamm jedoch bis zu 32 cm.

Da sowohl bei *Salix* wie *Zea* junge Saugwurzeln in geringer Entfernung von der Stammbasis vorhanden waren, würde eine Correetur von 10 cm wohl genügen; demnach wäre die Steighöhe für die erste Maispflanze = 35, für die zweite = 42 cm.

In Erde (in Töpfen) eingewurzelte Pflanzen.

Nicotiana Tabacum.

30. Juni 1877; Temp. der Luft 26—30° C.; Sonne.

Zwei blühende Pflanzen, fast gleich stark, mit 7 grossen und 3 kleineren Blättern; mit dreiprocentiger Lösung begossen Nachmittag 3 Uhr. Die Pflanze I wurde nach ½ Stunde 5 cm über der Erde abgeschnitten; der ganze oberirdische Theil enthielt noch kein Lithium.

Die Pflanze II nach 4 Stunde abgeschnitten; der Stamm enthielt bis 39 cm über der Erde Lithium; in sämmtlichen Blättern auch Lithium; ein 54 cm hoch entspringendes Blatt von 5 cm Länge enthält Lithium. Obgleich also das Metall im Stamm nur 39 cm hoch nachweisbar, ist es doch in Blättern, welche höher entspringen, vorhanden, ein auch sonst beobachteter Fall, der aber dem bei den vorigen Maispflanzen genannten Verhalten entgegengesetzt ist.

1) Bei den Blättern bezeichnet hier und im Folgenden die Steighöhe des Lithiums die Summe des im Stamm und im Blatt selbst zurückgelegten Weges.

Arbeiten a. d. bot. Institut in Würzburg. Bd. II.

Nimmt man an, dass beide Pflanzen sich gleich verhielten, so war auch bei II nach der ersten Halbstunde noch kein Lithium 5 cm über der Erde, und die maximale Steighöhe von 59 cm wurde dann in der zweiten Halbstunde erreicht, was pro Stunde 118 cm ergeben würde, wobei noch ungewiss bleibt, ob am Ende der ersten Halbstunde das Lithium schon bis an den Wurzelhals vorgedrungen; war dies der Fall, so müsste, gleichförmige Bewegung vorausgesetzt, das Lithium in der ersten Halbstunde einen Weg von 59 cm in den unterirdischen Theilen zurückgelegt haben, was sehr unwahrscheinlich ist. Lässt man die Vergleichung mit I ausser Acht und nimmt mau eine Wurzellänge von 25 cm hinzu, so ergibt sich als Steighöhe pro Stunde 84 cm.

Albizzia lophantha.

Versuch am 4. Juli 1877; Lufttemp. 20—23° C.; Sonne.

Zwei ziemlich gleiche, vorjährige Pflanzen, A mit 44, B mit 43 grossen Blättern, wurden, vor dem Südfenster stehend, um 10^h 45^m mit 2procentiger Lösung begossen.

Nach 1/2 Stunde wurde aus A bei 5 cm über der Erde ein Spahn des Stammes ausgeschnitten; dieser zeigte schon Spuren von Lithium; diese waren noch deutlicher bei 40 cm Höhe nach 35 Minuten.

Bei B fand sich nach 3/4 Stunden Lithium 45 cm über der Erde.

Nach 50 Minuten hat bei A ein Blattstiel 25 cm über der Erde Lithium.

Nach 1 Stunde ist bei B Lithium in einem Blatt 80 cm von Erde entfernt.

Ebenso ist nach 1 Stunde und 5 Minuten bei A in einem Blatt 80 cm über der Erde Lithium.

B wurde nach 1 St. 10 Min. abgeschnitten und zerkleinert; Lithium im Stamm bis 108 cm, in Blättern bis 110 cm.

A hat nach 1 1/2 Stunden im Stamm Lithium bis 113 cm, in Blättern über 110 cm. Das Lithium war in den Blättern immer etwas deutlicher als in dem Stammtheil, aus dem sie entspringen.

Als Maximum der Steighöhe über der Erde kann also pro Stunde für B 94,2 cm angenommen werden; für die in kleinen Töpfen befindlichen Wurzeln dürfte eine Correctur von 40 cm genügen; somit rund 102,6 cm pro Stunde.

Versuch am 30. August; Lufttemp. 23° C.; Sonne.

Eine 150 cm hohe Pflanze mit 20 Blättern; Stamm unten 10—12 mm dick. Um 3^h 50^m mit 3procentiger Lösung begossen. Nach 3/4 Stunden 5 cm über Erde abgeschnitten und zerkleinert. Lithium fand sich überall, im Maximum bis 145 cm über Erde. Also pro Stunde 193 cm, wozu auf die Wurzel noch 10 cm gerechnet werden können, was 206 cm pro Stunde ergibt.

Musa sapientum.

Die zu den Versuchen benutzten Pflanzen waren vom vorigen Jahr, sehr kräftig, mit 2—3 Meter langen Blättern.

Versuch am 4. Juli; 20° C.; wenig Sonne.

Pflanze mit 7 grossen Blättern; Spitze des jüngsten 2,5 m hoch. Um 3^h 50^m mit 2procentiger Lösung begossen. Nach 1 Stunde enthält das älteste Blatt bei 100 cm über Erde kein Lithium. Nach 2 Stunden enthält das 2. Blatt bei 145 cm über Erde kein Lithium.

Nach 16 Stunden (über Nacht) findet sich Lithium im 3. Blatt bis 213 cm Höhe.

Es war nicht ersichtlich, warum in diesem Fall die Bewegung des Lithiums eine so langsame war; bei den zwei folgenden Pflanzen war dieselbe viel rascher.

Versuch am 5. Juli; 20° C.; Sonne.

Pflanze um 9^h 45^m mit 4procentiger Lösung begossen. Nach 1 Stunde bei 90 cm im ältesten Blattstiel kein Lithium. Nach 2 Stunden im 2. Blatt (Stiel und Mittelnerv) ist Lithium bis 185 cm hinauf zu finden; aber erst nach 5 Stunden fand sich Lithium auch im grünen Blattparenchym des 4. Blattes.

Mit Zurechnung von 20 cm Wurzellänge würde sich pro Stunde rund 102 cm Steighöhe ergeben.

Versuch am 12. September; Lufttemp. nur 18° C.; Sonne.

Eine Pflanze mit Blättern, deren jüngstes 180 cm hoch; Strunk 93 cm hoch. Um 10^h 30^m mit 3procentiger Lösung begossen. Nach 1 Stunde im 1. Blatt bei 95 cm kein Lithium. Nach 1½ Stunden im 2. Blatt bei 95 cm kein Lithium. Nach 2¼ Stunden im 3. Blatt bis 182 cm Höhe Lithium (in Lamina neben Mittelnerv nichts).

Mit Zurechnung von 20 cm Wurzellänge würde sich eine Steighöhe von rund 90 cm pro Stunde ergeben.

Versuch am 14. September; Lufttemp. 19—20° C.; intensiver Sonnenschein.

Eine mächtige Pflanze mit 6 Blättern; Höhe des Strunkes 120 cm.

Um 8^h 15^m mit 3procentiger Lithiumlösung begossen.

Nach 1½ Stunde im 2. Blattstiel bei 120 cm Höhe kein Lithium.

Nach 2¼ Stunde im 3. Blatt bei 120 cm kein Lithium. Nach 2¾ Stunden findet sich im 5. Blatt in Stiel und Mittelrippe Lithium bis zu 275 cm; auch in der dünnen Lamina bei 232 cm.

Mit Zurechnung von 20 cm Wurzellänge würde sich eine Steighöhe pro Stunde von 107 cm ergeben.

Vergleicht man bei den drei letzten Versuchen mit *Musa* die an den

jüngeren Blättern gefundene Steighöhe pro Stunde mit dem genannten Verhalten der älteren Blätter derselben Pflanze, so wird sehr wahrscheinlich, dass das Lithium in den Blättern um so langsamer emporgestiegen ist, je älter sie waren, was einer weiteren Untersuchung empfohlen sein mag.

Cucurbita Pepo.

Versuch am 29. August; 22,5° C.; trüb.

Um 10 Uhr eine 3procentige Lithiumlösung aufgegossen.

Nach 1 Stunde im Stamm bis 48 cm Entfernung von Erde Lithium (in einem Blatt bei 26 cm Entfernung noch spurweise). Mit Zurechnung von 15 cm Wurzellänge würde man eine Steighöhe von 63 cm pro Stunde erhalten.

Die Pflanze war klein und schwächlich, im Verhältniss zu den im Freien wachsenden ein Zwerg (vergl. unten den Versuch mit *Cucurbita* im freien Land).

Helianthus annuus.

Versuch am 6. August; 22° C. im Freien bei intensiverem Sonnenschein.

Pflanze 95 cm hoch; bei 63 cm das erste Blatt; hat 12 ausgewachsene und 3 junge Blätter.

Um 3^h 30^m wird 2procentige Lithiumlösung aufgegossen.

Nach 1 Stunde abgeschnitten und zerkleinert, enthält der Stamm bis 49 cm über der Erde Lithium, was mit 20 cm Wurzellänge rund 70 cm Steighöhe pro Stunde ergibt.

Versuch am 7. August, im Freien, Sonne.

Pflanze mit 12 Blättern, Stamm 95 cm hoch; bis zum untersten Blatt 60 cm.

Morgens um 8^h 34^m mit 2procentiger Lösung begossen. Nach 4¹/₂ Stunden findet sich Lithium bis 62 cm im Stammholz, bis 65 cm im zweiten Blattstiel.

Mit Zurechnung von 20 cm Wurzellänge Steighöhe pro Stunde 56 cm.

Jatropha janipha.

Am 21. Juli bei intensivem Sonnenschein.

Stamm 185 cm hoch, unten ca. 3 cm dick. Das älteste Blatt 158 cm über der Erde; Laubkrone besteht aus drei Aesten mit 36 Blättern.

Um 9 Uhr Morgens mit 2procentiger Lösung begossen.

Nach 2¹/₂ Stunden wurde ein bei 145 cm Höhe entspringender Zweig abgeschnitten; er enthielt kein Lithium; es zeigte sich, dass dieses erst bis 75 cm über der Erde im Stamm vorgedrungen war¹⁾.

1) Selbst nach 23 Stunden war in einem Blatt bei 165 cm Entfernung von der Erde kein Lithium; erst nach 48 Stunden war die ganze Pflanze davon durchdrungen.

Mit Zurechnung von 25 cm Wurzellänge wäre die Steighöhe pro Stunde 40 cm.

Podocarpus macrophylla.

Am 14. Juli; Lufttemp. 26° C.; Sonne.

Eine mindestens 10 Jahre alte Pflanze, mit ca. 4 m hohem Stamm, sehr reich verzweigt und dicht belaubt, in grossem Holzkübel im Garten stehend.

Um 8^h 30^m wurde eine 3½procentige Lösung aufgegossen; die Erde des Kübels war noch ziemlich feucht, die Lösung wurde aber binnen wenigen Minuten aufgesogen.

Da der Stamm der Pflanze nicht geopfert werden sollte, wurden zu verschiedenen Zeiten kleine Zweige, welche unmittelbar aus jenem entsprangen, abgeschnitten.

Erst nach 7 Stunden fand sich Lithium in einer Entfernung von 79 cm von der Erde vor.

Nach 8 Stunden fand sich Lithium in den Blättern eines Sprosses, bei 120 cm Entfernung; die Sprossaxe bei 100 cm gab keine Reaction.

Nach 9 Stunden fand es sich in Blättern eines Sprosses bei 165 cm Entfernung, die Sprossaxe reagirte nicht bei 445 cm.

Also auch hier zeigte sich wieder, dass das Lithium früher in den Blättern, als in den sie tragenden Aestheilen nachweisbar wird.

Für die Entfernung der aufsaugenden Wurzeln vom Wurzelhals darf hier wohl wenigstens 30 cm angenommen werden. Dies zu Grunde gelegt, ergibt die

Beobachtung nach 7 Stunden . . = 15,6 cm

- - 8 - . . = 18,7 -

- - 9 - . . = 21,7 -

Steighöhe pro Stunde im Mittel . . = 18,7 cm.

Vitis vinifera.

Am 1. September; Lufttemp. 20° C.; Sonne.

Ein seit 8 Jahren in einem sehr grossen irdenen Topf vegetirender Weinstock; Stamm unten 3 cm dick, bei 6 cm Höhe in zwei gleichstarke Aeste übergehend, beide reich belaubt und mit Trauben besetzt; Aeste ca. 80 cm lang.

Um 9^h 30^m mit 1½procentiger Lösung begossen.

Nach 30 Minuten fand sich Lithium 11 cm über der Erde in einem kleinen Seitenspross. Nach 1 Stunde bis 73 cm über der Erde in Holz und Blättern.

Nimmt man noch 25 cm nicht saugende Wurzellänge hinzu, so ergibt sich 98 cm Steighöhe pro Stunde.

Ich lasse nun zunächst eine Uebersicht der durch diese Versuche gewonnenen Ergebnisse folgen:

Pflanze mit Wasserwurzeln.	Steighöhe pro Stunde.	
<i>Salix fragilis</i>	85	cm (wahrscheinlich mehr)
<i>Zea Mais</i>	30	-
do.	42	- } Mittel 36 cm
Wurzeln in Erde.		
<i>Nicotiana Tabacum</i>	118	- (oder 81 cm)
<i>Albizzia lophantha</i>	102,6	-
do.	206	- } Mittel 154 cm
<i>Musa sapientum</i>	102	-
do.	90	-
do.	107	- } Mittel 99,7 cm
<i>Cucurbita Pepo</i>	63	-
<i>Helianthus annuus</i>	70	-
do.	56	- } Mittel 63 cm.
<i>Jatropha janipha</i>	40	-
<i>Podocarpus macrophylla</i>	18,7	-
<i>Vitis vinifera</i>	98	-

Die gefundenen Steighöhen sind, wie man sieht, sehr verschieden, sie schwanken zwischen 18,7 cm und 206 cm. Die beobachteten Exemplare befanden sich jedesmal in solchen Umständen, wo das Maximum der Transpiration, also auch der Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes für sie nahezu erreicht sein konnte.

Exemplare mit grösserer Blattfläche würden mehr transpirirt, dafür aber auch dickere Stämme oder überhaupt einen grösseren leitenden Querschnitt gehabt haben und es ist fraglich, ob wesentlich grössere Steighöhen dadurch erreicht worden wären. Immerhin wäre aber zu wünschen, dass später derartige Beobachtungen an zahlreichen Exemplaren einer Species in den verschiedensten Entwicklungszuständen und unter den verschiedensten äusseren Transpirationsbedingungen gemacht würden, um das mögliche Maximum der Geschwindigkeit des aufsteigenden Saftstromes sicher zu stellen.

Einstweilen zeigen aber meine Versuche an Pflanzen mit unversehrten Wurzeln, selbst wenn ich einen Beobachtungsfehler von 10 cm pro Stunde zugebe, Steighöhen, welche selbst im äussersten Fall (bei *Albizzia* mit 206 cm) noch beträchtlich hinter der geringsten Steighöhe ($2\frac{1}{2}$ —4 m) zurückbleiben, welche PRITZER¹⁾ an abgeschnittenen Zweigen mit Lithiumlösung beobachtet hat.

Die Frage, ob bei gleichen Transpirationsbedingungen und gleichem

1) Verh. des Heidelb. natur-med. Vereins. N. F. 1. Bd.

leitenden Querschnitt verschiedene Pflanzenarten eine verschiedene (ihnen specifisch eigenthümliche) Geschwindigkeit der Saftbewegung haben, lässt sich mit Sicherheit, da der leitende Querschnitt nicht bestimmt ermittelt werden kann (vergl. p. 154), jetzt nicht beantworten; ich habe aus diesem Grunde auch weder die Transpirationsgrössen, noch die Stammquerschnitte der von mir beobachteten Pflanzen genau bestimmt.

Die voranstehenden Zahlen haben daher nur den Werth rein empirischer Daten, durch welche nur das Eine festgestellt werden soll, dass Beobachtungen an Pflanzen mit unverletzten Wurzeln weit geringere Steighöhen ergeben, als PRITZER an abgeschnittenen Zweigen gefunden hat.

Da die im freien Land erwachsenen Pflanzen ein weit kräftigeres Wurzelsystem und viel grössere Blattflächen entwickeln, als die selbst in grossen Töpfen cultivirten Pflanzen, so hoffte ich grössere Steighöhen zu beobachten, wenn ich Freilandpflanzen an sehr warmen und sonnigen Tagen mit Lithiumlösung begösse. Die bis jetzt erzielten Resultate entsprechen dieser Erwartung jedoch noch nicht.

Am 1. Juli 1877 (Lufttemp. 25–28° C., starker Sonnenschein) wurde Morgens 10 Uhr eine Gruppe dicht beisammenstehender weiblicher Hanfpflanzen von 130–140 cm Höhe mit 1200 ccm einer 1procentigen Lösung begossen. Nach 2 Stunden war aber noch kein Lithium in den oberirdischen Theilen zu finden; und selbst nach 8 Stunden war es bei einer Pflanze nur 45 cm, bei einer anderen 92 cm hoch gestiegen.

Noch viel ungünstiger fiel ein Versuch mit *Cucurbita Pepo* aus. Die beiden Pflanzen waren auf einer freien sonnigen Fläche des Gartens erwachsen; ihre Wurzeln dicht nebeneinander; jede hatte am Hauptstamm 15 sehr grosse Blätter und mehrere reichbelaubte Seitensprosse. Am 12. Juli um 10^h 30^m wurden 3,2 Liter einer 2procentigen Lösung auf die Erde gegossen, sodass ein Kreis von ca. 50 cm Durchmesser stark befeuchtet wurde. Obgleich die Luft sehr warm war und starker Sonnenschein die Blätter traf, fand ich dennoch 13/4 Stunden später in der einen Pflanze bei 10 cm über dem Wurzelhals noch kein Lithium, auch in den entsprechenderen Theilen nichts. Bei der anderen Pflanze enthielt das älteste Blatt bei 40 cm Entfernung vom Wurzelhals auch nach 5 Stunden noch kein Lithium. Dies veranlasste mich, die Erde an den Wurzeln aufgraben zu lassen; sie war ganz nass bis zu 20 cm Tiefe und ein Theil davon, mit Wasser übergossen, gab an dieses viel Lithium ab. Es blieb daher räthselhaft, warum die Pflanze bei 40 cm Entfernung von der Erde nach 5 Stunden kein Lithium enthielt, da eine kleine Topfpflanze schon nach 1 Stunde eine Steighöhe von 63 cm zeigte. — Selbst nach 10 Stunden war in der fraglichen Pflanze bei 40 cm Entfernung vom Wurzelhals noch kein Lithium zu finden, und selbst am folgenden Tage (nach 23 Stunden) war es nur im nächstfolgenden Blatt (etwa 65 cm) entfernt, nicht aber weiterhin in der Pflanze zu finden. Erst 3 bis 4

Tage später war es in der ganzen Pflanze verbreitet, die übrigens rüstig fortwuchs.

Etwas günstiger war das Ergebniss bei einem colossalen Exemplar von *Helianthus annuus*, welches, im Freien erwachsen, einen Stamm von 230 cm Höhe und 33 mm Dicke, 28 grosse Blätter und 7 Blüthenköpfe besass (am 30. August). Die trockene Erde wurde in einem Umkreis von 50—60 cm Radius oberflächlich aufgehackt, dann mit 3 Liter einer 3procentigen Lösung begossen und dann noch etwa 40 Liter Wasser nachgegossen. Dies geschah um 9 Uhr, die Temperatur der Luft war 21—22° C., doch wenig Sonne. Nach 2 Stunden zeigte ein Stück Holz, aus dem Stamm bei 45 cm Höhe geschnitten, erst geringe Spuren von Lithium.

Nach 2½ Stunden wurde die Pflanze abgeschnitten, zerkleinert und untersucht; Lithium fand sich nur bis zu 55 cm im Stamm (spurweise).

Nimmt man an, die aufsaugenden Wurzeln seien sogar 50 cm vom Stamm entfernt gewesen, so erhält man doch nur 42 cm als den in einer Stunde vom Lithium zurückgelegten Weg, während die kleinen Topfpflanzen (s. oben) von *Helianthus annuus* 56 und 70 cm ergaben.

Ob das verspätete Erscheinen des Lithiums in den oberirdischen Theilen der Freilandpflanzen vielleicht darauf beruht, dass ihre Saugwurzeln weiter, als man gewöhnlich glaubt, vom Stamm entfernt sind, oder ob andere Ursachen es bedingen, mag weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Jedenfalls zeigen die hier mitgetheilten Erfahrungen, dass es keineswegs eine einfache und leichte Aufgabe ist, über die wahre Bewegung des aufsteigenden Saftes transpirirender Pflanzen ins Reine zu kommen.

Würzburg, 29. Nov. 1877.

g
r
n
e
is
er
er
or
z,
on
d
).
m
er
f-
n
-
or
-
ss
-
u

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: [Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstroms in transpirirenden Pflanzen 148-184](#)