

- Fig. 10. Samen mit vortretendem Endospermhügel. a mit, b ohne die äussere Schale, e im Längsschnitt.
- „ 11. Samen mit vortretendem Würzelchen und Hypocotyl. a mit, b ohne die äussere Schale, c der herausgeschälte Keimling.
- „ 12. Ein weiter entwickelter Keimling. a dessen Spitze nach Entfernung der Keimblätter.
- „ 13. Hervorheben des Hypocotyls über die Erde.
- „ 14. Querschnitte einer Bicuiba mit 2 cm langem Hypocotyl und 3 cm langer Wurzel. a 3, b 8, c 13 mm unter dem oberen Ende.
- „ 15. Querschnitte einer Bicuiba mit 3 cm langem Hypocotyl und 4 cm langer Wurzel. a 4, b 6, c 10 mm unter dem oberen Ende.
- In allen diesen Querschnitten ist die Raphe nach unten gewendet.
- „ 16. Bicuiba-Sämling, der seine ersten Blätter entfaltet.
- „ 17. Spitze desselben mit aus dem Samen herausgeschälten Keimblättern.
- „ 18. Abgefallener Samen eines älteren Sämlings.
- Die wagerechte Linie in Fig. 12, 13 und 16 bezeichnet die Oberfläche des Bodens.

Blumenau, Santa Catharina, Brazil.

55. B. Frank: Ueber Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze.

Eingegangen am 29. Dezember 1887.

Nach der gewöhnlichen in der Pflanzenphysiologie herrschenden Vorstellung werden die von den Wurzeln aus dem Erdboden aufgenommenen Nitrate in der Pflanze aufwärts nach den Blättern geleitet und dort zu organischen Stickstoffverbindungen verarbeitet, die dann ihrerseits erst wieder von dort aus nach den Verbrauchsorten zurückwandern. Zu dieser Annahme glaubte man berechtigt zu sein wegen der leichten Diosmirbarkeit der Nitrate und weil das wirkliche Vorkommen von Salpeter in Pflanzen vielfach festgestellt worden ist. Das letztere ist theils makrochemisch geschehen,¹⁾ wobei gewisse Pflanzen,

1) Hosäus (Jahresber. d. Agrikulturchemie, 1865, pag. 87. SUTTER u. ALWENS (Oekonom. Fortschr., 1. Jahrg. 1867, pag. 97). FRÜHLING u. GROUVEN (Landw. Versuchsstat., 8. Bd. pag. 471 u. 9. Bd. pag. 9 u. 150). H. SCHULTZE u. E. SCHULZE

wie Sonnenblumen, Tabak-, *Urtica*-, *Mercurialis*-, die *Amaranthus*- und *Chenopodium*-Arten etc., als ungewöhnlich salpeterreich sich erwiesen haben, theils mikrochemisch von BORODIN¹⁾ und MONTEVERDE²⁾, welche die Bildung von Salpeterkrystallen in den Zellen bei Behandlung mit Alkohol, und von MOLISCH³⁾, welcher die Blaufärbung durch Diphenylamin, eine bei Analyse der Brunnenwässer angewandte Reaction hierbei benutzte. Auch was hinsichtlich der Vertheilung der Salpetersäure in der Pflanze hierbei ermittelt wurde, stand ziemlich gut mit jener Auffassung im Einklange. Denn meistens wurde die Salpetersäure in Stengeln und Wurzeln in grösster Menge, nach oben abnehmend, in den Blättern gar nicht oder in sehr geringen Mengen, desgleichen auch in Blüten, Früchten und Samen nicht gefunden. Auch zeigte sich, dass die Gesammtmenge der Salpetersäure in der Pflanze bis zur Zeit der Fruchtbildung sich vergrössert und darnach sich sehr bedeutend vermindert. Selbst die sehr ungleichmässigen Resultate, welche MONTEVERDE erhielt, kamen doch darin überein, dass im Blattparenchym nie Salpeter gefunden wird, was auch er damit erklärt, dass die Salpetersäure dort assimiliert werde. Befangen in diesen Vorstellungen ist man nun auch so weit gegangen, anzunehmen, dass bei Pflanzen, in denen Salpetersäure nicht nachzuweisen ist, solche überhaupt auch nicht als Nahrung aufgenommen werde, wie wir es bei MOLISCH finden, welcher die Beobachtung, dass in den Zweigen der Bäume und Sträucher keine Salpetersäure vorkommt, dadurch erklärt, dass die Bäume mit ihren tiefgehenden Wurzeln zumeist nur Ammoniakverbindungen, aber keine Nitrate vorfinden, weil die letzteren in den tieferen Bodenschichten zu Ammoniak reducirt werden. Doch sind bei diesem Erklärungsversuche die Voraussetzungen thatsächlich unrichtig und die Schlussfolgerung offenbar nicht stichhaltig.

Aber es giebt noch eine zweite ganz andere Auffassung hinsichtlich der Salpetersäure in der Pflanze. LIEBIG⁴⁾ sprach sich darüber folgendermassen aus: „In keiner andern Form als in der Form von Ammoniak bietet sich der wildwachsenden Pflanze assimilirbarer Stickstoff dar; es ist das Ammoniak, was sich im Tabak, der Sonnenblume, dem *Chenopodium*, der *Borago officinalis* in Salpetersäure verwandelt, wenn sie

(Landw. Versuchsstat., 9. Bd. pag. 444). WULFERT (Landw. Versuchsstat., Bd. 12 pag. 164). EMMERLING (Landw. Versuchsstat., Bd. 24 pag. 136). SOROKIN (Botanischer Jahresber., 1875, pag. 871). BERTHELOT u. ANDRÉ (Compt. rend: T. XCVIII No. 25 u. T. XCIX No. 8—17).

1) Sitzungsberichte der bot. Sektion der St. Petersburger Naturforscher-Gesellschaft, 1881.

2) Arbeiten der St. Petersburger Naturforscher-Gesellschaft VII, Theil II, 1882.

3) Berichte der deutsch. botan. Gesellsch., 1883, pag. 150 u. Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wissensch., Wien, 5. Mai 1887.

4) Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie, 1842, pag. 75—76.

auf völlig salpeterlosem Boden wachsen; salpetersaure Salze sind in ihnen Bedingungen ihrer Existenz, sie entwickeln nur dann die üppigste Vegetation, wenn ihnen Sonnenlicht und Ammoniak im Ueberfluss dargeboten wird, Sonnenlicht, was in ihren Blättern und Stengeln die Ausscheidung von freiem Sauerstoff bewirkt, Ammoniak, durch dessen Verbindung mit dem Sauerstoff unter allen Umständen Salpetersäure gebildet wird.“ In der neuesten Zeit ist eine ganz ähnliche Auffassung von BERTHELOT und ANDRÉ l. c. vertreten worden. Nach einer Berechnung der in den Pflanzen gefundenen Salpetermengen ergab sich pro Hectar in *Borago officinalis* 120, in *Amaranthus caudatus* 140, in *Amaranthus giganteus* 320 kg Salpeter. Da in dem betreffenden Boden aber nur 54 kg Salpeter pro Hectar sich hatte nachweisen lassen, und die mit den Niederschlägen aus der Luft zugeführten Salpetersäuremengen viel zu gering sind um die Differenz zu erklären, so schliessen die genannten Forscher daraus, dass die weitaus grösste Menge des in den Pflanzen enthaltenen Salpeters im Pflanzenkörper selbst erst gebildet werden müsse. Bei dieser Berechnung des Salpetergehaltes des Bodens ist aber der letztere wegen steinigem Untergrundes nur bis 0,325 m Tiefe angenommen worden; es ist also übersehen worden, dass die Pflanzenwurzeln offenbar noch in grössere Tiefe gelangen können und dort salpeterhaltige Feuchtigkeit antreffen müssen. Ausserdem ist ganz unberücksichtigt geblieben, dass im Boden ja eine stetige Neubildung von Salpetersäure stattfindet. Da BERTHELOT und ANDRÉ nun den Stengel der Pflanzen immer als das salpeterreichste Organ gefunden haben, so nehmen sie an, dass dieses der Ort der Salpetersäurebildung in der Pflanze sei, wo aus Ammoniak oder vielleicht auch aus freiem Stickstoff durch Oxydation jene Säure gebildet werde, im Gegensatz zum Blatte, wo die reducirenden Wirkungen des Chlorophyllgewebes auch die Zersetzung des Salpeters veranlassen. Die beiden genannten Forscher haben diese Auffassung unter dem Einflusse der zuerst von SCHLÖSING und MÜNZ ausgesprochenen Meinung, nach welcher die Nitrification des Ammoniaks im Erdboden eine Fermentwirkung von Mikroorganismen sein soll und welche in der neueren Zeit schon mehrere Forscher getäuscht hat, gewonnen und sie glauben hier einem Naturgesetz eine allgemeinere Gültigkeit verschafft zu haben, indem sie das Vermögen der Nitrification auch der höheren Pflanze zuschreiben, als etwas, was nicht blos den niederen Pilzen, sondern dem pflanzlichen Organismus überhaupt zukomme.

Beide Ansichten über die Salpetersäure in der Pflanze sind unrichtig. Ich werde hier in Kürze die Resultate meiner diesbezüglichen Untersuchungen mittheilen. Zum Nachweis der Salpetersäure in den Geweben bediente ich mich der Diphenylamin-Schwefelsäure, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass die Blaufärbung, welche Nitrate oder Nitrite mit diesem Reagens geben, von keinem anderen der gewöhn-

lichen Pflanzenstoffe hervorgebracht, von keinem aber auch verhindert wird.

Um über das erste Auftreten der Salpetersäure in der Pflanze und die Bedingungen desselben klar zu werden, muss man von der Keimung ausgehen. Die reifen und ungekeimten Samen aller von mir untersuchten Pflanzen aus den verschiedensten Familien, auch die der exquisitesten Salpeterpflanzen, sind ausnahmslos absolut frei von Nitrat. Lässt man die Samen über destillirtem Wasser oder geringen Mengen Leitungswasser (die kein nachweisbares Quantum Nitrat enthalten) keimen, so zeigen auch die Keimpflanzen in keinem ihrer Theile Salpeterreaction.

Phaseolus multiflorus und *vulgaris* gelangen wegen ihres reichen Vorrathes an Reservestoffen im Samen in stickstofffreien Nährlösungen bisweilen zu weitgehender Entwicklung. Im Erdboden erwachsen zeigen die Pflanzen von den Wurzeln an durch den Stengel bis in die stärkeren Blattrippen eine sehr ausgeprägte Nitratreaction. Bohnenpflanzen, die ich in absolut stickstofffreien Nährlösungen wachsen liess ergaben dagegen in den Wurzeln, Stengeln und Blattstielen, obgleich dieselben am Leben und so normal wie sonst beschaffen waren, zu keiner Zeit Nitrat. Dagegen zeigten die in einer sonst ebenso zusammengesetzten aber nitrathaltigen Nährlösung erwachsenen Bohnen ebenso starke Salpeterreaction in Wurzeln, Stengeln und Blattstielen wie in gewöhnlichem Boden entwickelte Pflanzen.

Bohnenpflanzen des vorigen Versuches, welche ausser dem anfangs verabreichten Nitrat später keins weiter erhielten, zeigten als sie nach längerer Zeit ca. 45 cm hoch geworden und ungefähr je 7 vollkommene Blätter entwickelt hatten, in keinem ihrer Organe mehr irgend eine Spur von Reaction mit Diphenylamin; aber auch die Nährlösung, in welcher sie standen, war absolut frei von Nitrat geworden. Die Pflanzen hatten also das dargebotene salpetersaure Salz nicht nur bis auf die letzte Spur aufgenommen, sondern auch verarbeitet.

Auch die echten Salpeterpflanzen verhalten sich nicht anders. Die Sonnenblume in Gartenboden gekeimt, zeigt schon in dem nur ca. 4 cm hohen Keimpflänzchen, welches nur erst die Cotyledonen entfaltet hat, in allen Wurzeln und im hypokotylen Glied bis zur Insertion der Cotyledonen fast schwarzblaue Färbung mit Diphenylamin. Sonnenblumen-Keimpflänzchen, die in destillirtem Wasser oder in kleinen Mengen Wasserleitungswasser sich entwickeln, erweisen sich in der gleichen Periode und auch beim weiteren Wachsthum nitratfrei. Aber schon wenn ihnen ein grösseres Volumen Leitungswasser geboten ist, zeigen sie bald nach der Keimung in der Hauptwurzel und im hypokotylen Stengelgliede eine deutliche, allerdings nur mässig starke Blaufärbung mit Diphenylamin, die jedoch bei weiterer Entwicklung der Pflänzchen wieder allmählich verschwindet, wenn keine Erneuerung des Wassers

erfolgt. Es zeigt sich hierin das ausserordentliche Vermögen der Pflanze, auch die kleinsten Mengen von Salpetersäure in der Umgebung aufzusuchen und in ihrem Körper anzusammeln. Bei der Sonnenblume habe ich dieses Vermögen auch noch durch andere Versuche constatirt, auf die ich hier nicht eingehen will.

Nachdem so festgestellt worden war, dass die Pflanze bei Ausschluss aller stickstoffhaltigen Nahrung keine Salpetersäure in ihren Geweben bildet, habe ich mit den nämlichen Pflanzenspecies ebensolche Wasserculturversuche angestellt, wobei aber unter Ausschluss von Salpetersäure ein Ammoniaksalz verwendet wurde. Um die etwaige Nitrification des letzteren in der Lösung im Laufe der Zeit zu vermeiden, wurde statt des sonst vortheilhaften Calciumcarbonats Chlorcalcium benutzt, weil ich mich überzeugt hatte, dass jenes, wenn es längere Zeit mit Ammoniaksalz in Berührung ist, dasselbe nitrificirt. Diese Pflanzenculturen wurden nun theils im Lichte, theils in constanter Dunkelheit angestellt. Hierbei ernähren sich im Lichte namentlich die Bohnenpflanzen leidlich günstig, wenn auch bekanntlich nicht so kräftig, wie mit Nitrat. Bei den Bohnenpflanzen war destillirtes Wasser zu den Nährlösungen verwendet worden. Sie zeigten bis zu weit fortgeschrittener Entwicklung niemals weder in Wurzeln noch Stengeln, Blattstielen und Blattflächen irgend eine Spur von Salpetersäure und auch in der Nährlösung wurde das völlige Fehlen von Nitrat constatirt. Die Dunkelpflanzen, die unter den gewöhnlichen Erscheinungen des Etiolements sich entwickelt hatten, ergaben genau dasselbe Resultat. Für die Sonnenblumen wurde, da sie in destillirtem Wasser schlecht wachsen, zur Herstellung ammoniakhaltiger Nährlösung Leitungs- oder Regenwasser verwendet. Sie entwickeln sich aber überhaupt in Wasserculturen nicht so günstig, wie die Bohnen; die beste Pflanze hatte nach 5 Wochen sechs leidlich grosse Blätter bekommen. Im Anfange der Entwicklung zeigten die Pflanzen wieder in Wurzeln und Stengeln eine geringe Menge Nitrat, welches also aus dem Leitungs- beziehendlich Regenwasser (dessen Nitratgehalt zu 1 auf 1 200 000 Wasser bestimmt wurde) aufgesammelt worden war. In späterer Periode verschwand dasselbe jedoch mit zunehmender Entwicklung der Pflanzen aus den Wurzeln gänzlich bis auf geringe Spuren, die im Stengel zurückblieben. Das letztere hängt mit der unten zu besprechenden Eigenthümlichkeit der Sonnenblume, Nitrate als Reservestoffe im Stengel aufzuspeichern, zusammen, und war hier offenbar möglich, weil durch das dargebotene Ammoniaksalz der Stickstoffbedarf der Pflanze zunächst noch anderweitig gedeckt werden konnte. Denn die in ganz stickstofffreier Nährlösung gezogenen Sonnenblumen-Pflanzen zeigten in der gleichen Entwicklungsperiode in sämtlichen Organen absolut keine Nitratreaction. Die gleichalterigen Pflanzen aus einer nitrathaltigen Nährstofflösung ergaben dagegen im gesammten

also an ihrer Spitze der Aufnahme von Nitraten unfähig, was mit der gewöhnlichen Ansicht im Einklange steht, wonach der Wurzelspitze nur die Aufgabe der Wachstumsthätigkeit aber nicht die der Nährstoffaufnahme zufällt. Bei der ersten Einwirkung unseres Reagens sieht man deutlich, dass die in der Schwefelsäure aufquellenden Epidermiszellen der Wurzel zuerst die Reaction hervortreten lassen. Bei weiterem Verweilen in der Flüssigkeit folgen auch die tieferen Zellen in der Blaufärbung nach. Wegen des heftigen Eingriffes der Schwefelsäure ist eine scharfe Unterscheidung der Wurzel-Gewebe bei dieser Reaction nicht möglich. Doch ist soviel sicher zu erkennen, dass auch die Zellen der Wurzelrinde sich sehr intensiv blau färben. Die von der Wurzel aufgenommenen Nitrate müssen sich also gelöst im Saft der Epidermis- und Rindezellen der Wurzel befinden.

Auch in den stärkeren Wurzeln, ferner in der ganzen Pfahlwurzel, wo eine solche vorhanden, bis in die Stengelbasis, von hier aus durch die ganze Länge des Stengels und seiner Zweige, bis in jedes Blatt und hier jedenfalls durch die ganze Ausdehnung des Blattstieles zeigen die genannten Pflanzen auf Längsdurchschnitten durch die betreffenden Theile dieselbe starke Reaction, und zwar deutlich in den saftführenden parenchymatischen Geweben der Rinde und des Markes. Die Nitrate müssen also durch Diosmose von Zelle zu Zelle nach den oberirdischen Theilen geleitet werden. Nur sind wiederum die jungen wachsenden Stengelspitzen sammt ihren unerwachsenen Blättern frei von Nitrat. Dann ist aber auch, wie schon frühere Beobachter bemerkt haben, im grünen Blatte eine Einschränkung zu finden. Bei einfachen Blättern, wie bei der Sonnenblume, setzt sich die Nitratreaction auch in die starken Rippen durch den ganzen Blattkörper fort, selbst in den von diesen ausgehenden nächstschwächeren Rippen lässt sich wohl noch ein gewisser Nitratgehalt nachweisen; aber das eigentliche grüne Mesophyll zeigt davon keine Spur. Dementsprechend finden wir auch bei den zusammengesetzten Blättern den Hauptblattstiel in seiner ganzen Länge reich an Nitrat; auch in den Stielchen und Gelenken der Foliola ist es nachweisbar, aber nicht in den Theilblättchen selbst, wenn diese klein sind, während die grossen Foliola der Bohne auch noch in den stärkeren Rippen die Reaction eintreten lassen.

Beim Uebergange nach den Früchten hört ebenfalls die Salpetersäure auf. Bei der Sonnenblume geschieht das schon an der Grenze zwischen Stengelspitze und Blütenkopf, beim Mais an der Uebergangsstelle der Kolbenspindel in deren kurzen Stiel, beim Weizen schon im obersten die Aehre tragenden Halmgliede. Dagegen können wir bei der Bohne das Nitrat bis in die grüne Fruchtschale verfolgen und erst im Funiculus und in den jungen Samen fehlt es.

Bezüglich der zeitlichen Dauer der Salpetersäure in der Pflanze zeigen die in Rede stehenden salpeterreichen Arten gewisse Ab-

stufungen. Obenan steht die Bohne, wo der Stengel noch zur vollen Fruchtreife, wenn die Blätter bereits abgefallen sind, stark auf Salpeter reagirt, nicht selten sogar noch als trockenes Stroh ziemlich viel Nitrat nachweisen lässt, was vielleicht mit der etwas frühzeitigen Aберntung der Früchte zusammenhängen mag. Die Sonnenblume verbraucht ihre grossen im Stengel aufgehäuften Quantitäten Salpetersäure rechtzeitig; wir sehen die letztere zuerst aus der Stengelrinde und, während die Reifung der Früchte ihrem Ende entgegengeht, auch aus dem Marke verschwinden. Bei der Erbse ist nicht bloss schon in den jungen Fruchthülsen, sondern auch im ganzen Stengel, welcher Anfangs sehr reich an Salpetersäure ist, zur Zeit, wo die ersten Früchte sich anzusetzen beginnen, kein Nitrat mehr zu finden.

Das hier beschriebene Verhalten der Salpetersäure kann nur so gedeutet werden, dass bei den in Rede stehenden Pflanzen während der Vegetationszeit weit mehr Salpetersäure aufgenommen wird als gleichzeitig zum Aufbau neuer Organe gebraucht wird und dass der Ueberschuss in Form unveränderten Nitrates aufgesammelt und aufgespeichert wird in allen Organen, welche der Pflanzenkörper während dieser Zeit als hierzu geeignet zur Verfügung hat; und da hierzu Zellen mit grossem Saft Raum sich eignen, in deren Saft Nitate sich lösen können, so sind die Parenchymzellen der Wurzeln, das Rinde- und Markparenchym der Stengel, Blattstiele und Blattrippen die Organe der vorübergehenden Speicherung der Nitate bis zur Zeit der Fruchtreifung, wo der behufs Ausbildung der Früchte mit einem Male eintretende hohe Bedarf an stickstoffhaltigem Material durch diesen gesammten Vorrath salpetersaurer Salze mit gedeckt wird.

Einen anderen Typus des Salpetersäurehaushaltes können wir als den der salpetersäurearmen Pflanzen bezeichnen. Wir haben Eigangs gesehen, dass von den bisherigen Autoren schon Pflanzen genannt werden, in denen man keine Salpetersäure gefunden hat, wozu besonders die Holzgewächse gehören, und dass MOLISCH für diese Pflanzen eine Ernährung aus Ammoniak statt aus Salpetersäure annimmt.

Eine genauere Untersuchung findet zunächst, dass ein principieller Unterschied zwischen Holz- und Krautpflanzen in dieser Beziehung nicht besteht. Die Mehrzahl der Bäume enthält allerdings zu keiner Zeit Nitate in den oberirdischen Theilen. Aber schon den früheren Beobachtern war *Sambucus nigra* als Ausnahme bekannt, wo die Rinde der Zweige, jedoch nicht das Holz und das Mark, ferner das Parenchym des Hauptblattstieles sowie die Blattrippen der einzelnen Blättchen, aber nicht das Mesophyll, starke Nitratreaction geben. Ich nenne als

weiteres Beispiel den Weinstock, welcher wenigstens im Spätsommer zwar nicht in den Zweigen, aber im Blattstiel Salpetersäure aufweist, und wo die Reaction im Blattpolster scharf abgesetzt beginnt und durch die ganze Länge des Stieles und in die Hauptrippen sich fortsetzt. *Robinia Pseudacacia* zeigt im Spätsommer in den oberirdischen Theilen einzig und allein in den Gelenken der Hauptblattstiele sowie aller einzelnen Blättchen eine starke Nitratreaction, während alle übrigen Organe absolut frei von Salpetersäure sind.

Das Zurücktreten oder Fehlen der Salpetersäure in den oberirdischen Theilen ist auch nicht auf die Holzpflanzen beschränkt. Zwar hat HOSÄUS¹⁾ behauptet, *Iris germanica*, *Allium porrum*, *sativum* und *Cepa* enthalten in Zwiebeln und Blättern keine Salpetersäure; er verbesserte sich jedoch später,²⁾ indem er angab, dass er im Sommer doch in dieser Pflanze jene Säure gefunden habe, während seine ersten Bestimmungen im Herbst gemacht worden seien. MOLISCH (l. c.) macht die kurze Bemerkung, er habe in *Rochea falcata*, in der Zwiebel *Allium Cepa* und in vielen Kartoffelknollen keine Reaction erhalten. Selbstverständlich sind solche einmalige, zur beliebigen Zeit an beliebigen Theilen einer Pflanze gemachte Versuche für unsere Frage nicht brauchbar. Als eine typisch salpeterfreie Pflanze habe ich die gelbe Lupine erkannt und ihr Verhalten in dieser Beziehung genau festgestellt. Prüft man eine erwachsene Lupinenpflanze mit Diphenylamin, so findet man von der Pfahlwurzel beginnend, im ganzen Stengel, in den Blattstielen, in den Gelenken der Blättchen, in den Blättchen selbst, ferner im Blütenstand, in den reifenden Hülsen, in den jungen Samen auch nicht eine Spur von Nitrat. Es handelt sich dabei nicht etwa um ein zeitiges Wiederverschwinden eines früher vorhandenen Nitratgehaltes. Dies ergibt sich, wenn man die Lupine während ihrer Entwicklung im freien Lande verfolgt. Der ungekeimte Samen ist bereits völlig nitratfrei. Die junge Keimpflanze, bei welcher eben die ersten Blätter über den grünen Cotyledonen sich erheben, zeigt im Stengel, in den Blattstielen und Blättchen, sowie in den Cotyledonen keine Salpetersäure an. Auch in allen folgenden Entwicklungsstadien bleibt das Resultat negativ bis die Pflanze mit der Samenreife abstirbt.

Aber die Deutung, dass in solchen Fällen anstatt Salpetersäure Ammoniak als Nahrung aufgenommen werde, ist schon deshalb unberechtigt, weil eine Ernährung mit Salpetersäure sehr wohl denkbar ist, ohne dass sich diese Verbindung im Pflanzenkörper nachweisen lässt, einfach deshalb weil sie nach der Aufnahme sehr rasch in andere Verbindungen umgesetzt wird. Auf diese Frage giebt uns aber auch die Pflanze eine sehr deutliche Antwort. Wir können nämlich in den

1) Zeitschrift für deutsche Landwirth, 1864, pag. 337.

2) l. c., 1865, pag. 107.

Wurzeln dieser in allen übrigen Theilen von Salpetersäure freien Pflanzen diese Säure nachweisen. So geben z. B. die feinen Saugwurzeln der Esche, von allen anhängenden Erdtheilen befreit, eine wenn auch schwache aber deutliche Blaufärbung mit Diphenylamin, die sich auch noch in die etwas dickeren Wurzeln verfolgen lässt, aber schon in über 3 mm starken nicht mehr auftritt. Die Wurzeln von *Robinia pseudacacia* zeigen noch viel stärkere Blaufärbung und selbst noch in ziemlich dicken Wurzeln. Noch viel intensivere Reaction geben die Weinrebenwurzeln. Im Herbst, wo *Allium Cepa* weder im grünen Schaft noch in der Zwiebel Nitrat aufweisen lässt, finde ich in den lebenden Wurzeln dieser Pflanze überaus starke Nitratreaction. Auch bei der Lupine kann man in der Wurzel Nitrat nachweisen. Bei jungen Keimpflanzen, die nur erst einige Blätter bekommen haben, lässt sich oft in der Pfahlwurzel eine ziemlich erhebliche Reaction constatiren, die bisweilen spurenhafte noch bis ins hypokotyle Glied geht. Wählt man etwas ältere Lupinen, so muss man in die tieferen Theile der Pfahlwurzel und in die dünneren Wurzelzweige gehen, um noch eine schwache Blaufärbung zu bekommen: und dieses Verhältniss bleibt dann bis in die Blüh- und Fruchtperiode.

Auch bei diesen Pflanzen wird also Nitrat aus dem Erdboden von den Wurzeln aufgenommen; dasselbe verschwindet von dort aus weiterhin in der Pflanze mehr oder weniger bald, offenbar indem es in andere Verbindungen umgesetzt, wahrscheinlich zu organischen Stickstoffverbindungen assimiliert wird. Es lässt sich nun sogar künstlich diese Umsetzung bis zu einem gewissen Grade verhindern und eine Ansammlung von Nitrat auch in diesen Pflanzen herbeiführen. Im Topf mit Erde gewachsene junge Lupinenkeimpflanzen deren oberirdische Organe nichts von Salpetersäure enthielten, wurden mehrere Tage lang ununterbrochen ins Dunkle gestellt; darnach zeigte sich im hypokotylen Glied und besonders in den etiolirten stark gestreckten Blattstielen eine dunkelblaue Färbung mit Diphenylamin. Am Lichte in Wasserkulturen mit gewöhnlicher nitrathaltiger Nährstofflösung wie immer unter diesen Umständen schwächlich gewachsene Lupinen hatten nach einiger Zeit das ganze in der Lösung gegebene Nitrat aufgezehrt und enthielten auch in keinem ihrer Organe noch etwas davon. Jetzt wurde der Lösung etwas neues Nitrat zugesetzt; 24 Stunden darnach ergab sich in den Wurzeln, einschliesslich der Pfahlwurzel, starke Blaufärbung mit Diphenylamin, die jedoch jetzt noch nicht bis ins hypokotyle Glied sich erstreckte; nach weiteren 48 Stunden trat aber auch in diesem sowie in dem ganzen darauf folgenden bereits entwickelten Stengelstück die Reaction ziemlich stark auf. Die letztere ging dabei ziemlich deutlich von der Epidermis, nicht eigentlich von dem inneren Parenchym des Stengels aus, so dass das Nitrat hier vorwiegend in den Epidermiszellen diosmotisch geleitet worden zu sein scheint. Diese von dem

gewöhnlichen Verhalten der Lupine abweichende Nichtverarbeitung der Salpetersäure erklärt sich wohl aus einer Störung in der normalen Stoffbildung der Pflanze, welche ihre Ursache hatte bei dem ersten Versuche in der Dunkelheit, bei dem zweiten in dem Aufenthalte in der Wasserkultur, welcher gerade für die Lupine immer eine sehr schwächliche und langsame Entwicklung bedingt.

Diese Beobachtungen lehren uns, dass es auch Pflanzen giebt, welche im normalen Zustande die salpetersauren Salze gar nicht in sich aufspeichern, sondern bald nach ihrer Aufnahme assimiliren, dass aber auch diese für salpeterfrei gehaltenen Pflanzen in ihren Wurzeln diesen Stoff enthalten und dass mithin unter allen in gewöhnlicher Weise im Erdboden wurzelnden Pflanzen bisher keine gefunden ist, welche nicht Nitrate mit ihren Wurzeln aufnehmen. Davon machen nur diejenigen Bäume, welche Mykorrhizen besitzen, eine Ausnahme, indem ich in den letzteren keine Nitratreaction finden konnte, was wohl darauf hindeutet, dass diese Bäume durch ihre Wurzelpilze mit schon assimilirten stickstoffhaltigen Nährstoffen versorgt werden, worauf hier nicht weiter einzugehen ist. Dass zwischen den salpeterreichen und den salpeterarmen Pflanzen allmähliche Uebergänge bestehen, wurde schon oben erkannt. Dieselben zeigen sich erstens in zeitlicher Beziehung wie bei der Erbse, die ihren Salpeter vorrath schon lange vor Abschluss des Lebens erschöpft, während andere, wie *Phaseolus*, bis zum letzten Stadium der Fruchtreife damit sparen. Zweitens aber auch in localer Beziehung, wie z. B. beim Weinstock der nur in Blattstielen und Blatttrippen Nitrat aufspeichert. Die Beschränkung des Nitrates auf die Blattgelenke bei *Robinia* hat vielleicht weniger die Bedeutung einer Aufspeicherung, sondern dürfte mit der Turgorkraft dieser Bewegungsorgane in Beziehung stehen.

Was nun endlich die Assimilation der Salpetersäure zu organischen Stickstoffverbindungen in der Pflanze betrifft, so hat man sie, wie gesagt, in die grünen Blätter verlegt, indem man sich vorstellte, dass dort, wo der Kohlenstoff die Form organischen Materiales annimmt, dies auch mit dem Stickstoff geschehe, und zwar durch einen an die Kohlenstoffassimilation sich anschliessenden Process, weil die Salpetersäure nicht zu einer organischen Stickstoffverbindung werden kann, wenn sie nicht eine organische Kohlenstoffverbindung vorfindet. Unter den verschiedenen Gründen, auf welche man diese Ansicht baute, war der anscheinend beweisendste jedenfalls die Thatsache, dass bei vielen Pflanzen die Salpetersäure unverändert in den Geweben verfolgt werden kann bis in die Rippen des Blattes, und erst im grünen Blattgewebe nicht mehr zu entdecken ist. Und doch beweist das Unterbleiben der Nitratreaction im Mesophyll noch nicht, dass das Nitrat dorthin wandert und in diesen Zellen schnell umgesetzt wird; man würde dasselbe be-

obachten, wenn das Nitrat gar nicht in das grüne Blattgewebe einträte. Es ist auch keine Thatsache bekannt, welche forderte, dass die chlorophyllhaltige Mesophyllzelle ausser der Assimilation der Kohlensäure noch eine andere Ernährungsfuction hätte. Es wäre sogar denkbar, dass in Folge gewisser diasmotischer Eigenschaften der lebenden Mesophyllzellen den Nitratlösungen der Eintritt in dieselben verwehrt ist, ebenso wie wir die Meristemzellen der jungen Stengel- und Wurzelspitzen davon freibleiben sehen. Und diese endosmotische Eigenschaft jener Zellen könnte im Zusammenhange damit stehen, dass Anwesenheit von Nitrat für ihre wahre Function überflüssig, störend oder hinderlich wäre. Was nun weiter die Annahme anlangt, dass die Salpetersäure in denjenigen Geweben, die wir damit erfüllt sehen, in Wanderung begriffen ist, so halte ich sie für völlig unbewiesen. Ueberhaupt hat die Schlussfolgerung, dass, wenn zusammenhängende Zellenzüge von einem gewissen Stoffe erfüllt gefunden werden, der letztere in dieser Richtung in Wanderung begriffen ist, auch schon zu anderen Irrthümern geführt, wie bei der sogenannten Stärkescheide, von der kürzlich einer meiner Schüler, H. HEINE¹⁾ nachgewiesen hat, dass sie nicht der Leitung der Kohlenhydrate, sondern der Aufspeicherung der Reservestärke für die Ausbildung der Membranen der angrenzenden dickwandigen Bastzellen dient. Die Salpetersäure könnte ja ebenso gut dort unbeweglich aufgespeichert sein.

Mit Gewissheit geht aber aus den obigen Mittheilungen hervor, dass bei den salpeterarmen Pflanzen, also bei der Lupine und bei den meisten Holzpflanzen, die Salpetersäure überhaupt nie in das Blatt gelangt, also in anderen Zellen assimilirt werden muss, und zwar bereits in der Wurzel, denn wir sehen sie dort schon verschwinden.

Bezüglich der Salpeterpflanzen sind wir schon oben zu der Vorstellung gekommen, dass die Erfüllung ihrer parenchymatosen Gewebe mit Salpetersäure eine Aufspeicherung der letzteren bedeutet. Ich werde nun durch die folgenden Versuche zeigen, dass dies in der That zutreffend ist, und dass auch hier keine Wanderung nach dem Blatte stattfindet und die Salpetersäure nicht im Mesophyll assimilirt wird. Wenn bei den Salpeterpflanzen das Nitrat in den Geweben, worin es sich nachweisen lässt, wirklich in einer Bewegung wäre, deren Ziel das Mesophyll des Blattes ist, so müsste sich dies kundgeben, wenn man den Strom an seinem hinteren Ende unterbricht. Ich habe im Gartenboden gewachsene Sonnenblumenpflanzen, die ca. 30 cm hoch waren, drei gut entwickelte Blattpaare gebildet hatten und von den feinen Saugwurzeln an bis in die Blattrippen mit Salpeter sich erfüllt zeigten, aus dem Boden unter möglichster Schonung der Wurzeln ausgehoben und nach sorgfältiger Reinigung der letzteren in Wasser-

1) Berichte der deutsch. bot. Ges. 19. Juni 1885.

kulturen gesetzt, wobei theils blosses Leitungswasser, theils stickstofffreie Normalnährlösung angewendet wurde, also Flüssigkeiten, welche der Pflanze keine weiteren Salpetermengen mehr lieferten. Die Pflanzen wuchsen noch einige Wochen, wenn auch langsamer als die Freilandpflanzen weiter. Nach der ersten Woche hatten sie eine Menge neuer Wurzeln gebildet, die aber alle nitratfrei waren, während in den noch aus dem Boden herrührenden Wurzelpartien sowie im ganzen Stengel der ursprüngliche Nitratgehalt unverändert war. Am Ende der zweiten Woche war das Wurzelsystem noch bedeutend mehr erstarkt; nicht bloss in den neugebildeten Wurzeln fehlte das Nitrat, sondern es war jetzt auch aus den älteren Wurzelpartien so gut wie verschwunden. Aber der Stengel zeigte noch von seiner Basis an unverändert die frühere Stärke der Nitratreaction, und dieselbe setzte sich auch in die während der Kultur getriebenen Internodien fort. Die Pflanzen blieben bis zum Ende der vierten Woche am Leben; auch jetzt zeigte sich das ganze Wurzelsystem nitratfrei, der Stengel aber von unten an gänzlich noch ebenso stark mit Nitrat erfüllt wie Anfangs, obgleich die Pflanze ihre alten Blätter noch besass und mehrere neue dazu gebildet hatte. Wenn das Nitrat im Parenchym des Stengels auf Wanderung nach den Blättern begriffen wäre, so hätte man erwarten müssen, dass innerhalb der vier Wochen dieser Strom sich in die Blätter ergossen haben und versiegt sein müsse, da er ja von den Wurzeln aus nicht erneuert werden konnte. Vielmehr spricht dieses Verhalten deutlich für eine Aufspeicherung des Nitrates im Parenchym des Stengels. Lehrreich war in dieser Beziehung auch das Verhalten des Salpeters in den Wurzeln. Das endliche Verschwinden desselben aus den älteren Wurzeltheilen ist wohl nur so zu erklären, dass dadurch der zur Ausbildung der vielen neuen Wurzeln nöthige Bedarf an stickstoffhaltigem Material, der ja aus der Nährlösung nicht genommen werden konnte, geliefert wurde. Dieses Material trat aber schon nicht mehr als Nitrat in die wachsenden Wurzeln ein, sondern in anderer, assimilirter Form, die es schon bei der Auswanderung aus den älteren Wurzeltheilen angenommen hatte, um von dort vielleicht durch Vermittelung des Basttheiles des Gefässbündels den wachsenden Wurzelpartien zugeführt zu werden.

Bei einem zweiten Experimente versuchte ich, ob man eine Ansammlung des Nitrates im grünen Blattgewebe der Salpeterpflanzen erzielen kann, was ja, wenn die Annahme richtig wäre, dass es dorthin wandert und dort assimilirt wird, eintreten müsste, sobald man die Bedingungen dieser Assimilation aufhebt. Nach der bisherigen Ansicht werden die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen in der Pflanze erzeugt einerseits aus einer organischen Kohlenstoffverbindung, welche im Chlorophyllgewebe durch Assimilation der Kohlensäure im Lichte entsteht, und andererseits aus der Salpetersäure, die den Blättern durch

die Rippen zugeführt wird. Wenn man nun durch Verdunkelung der Pflanze die eine Componente, die Bildung der organischen Kohlenstoffverbindung unterdrückt, so muss auch die Assimilation der Salpetersäure vereitelt werden, und die letztere müsste bei ihrer Einwanderung ins Blatt unzersetzt bleiben und also nachweisbar werden. Nachdem ich mich überzeugt hatte, dass in nitratfreien Nährstofflösungen die Pflanzen weder im Lichte noch im Dunkeln Nitratreaction annehmen und also nicht selbst Salpetersäure erzeugen können, stellte ich mit *Phaseolus nanus* in nitrathaltigen Nährstofflösungen Parallelversuche im Lichte und in constanter Dunkelheit an. Nach vollständiger Entwicklung der beiden ersten Laubblätter zeigten die Lichtpflanzen in allen Wurzeln, im hypocotylen wie epicotylen Stengelgliede, in den Blattstielen, in den starken Blattrippen und selbst bis in die dünneren Nerven eine tief schwarzblaue Reaction mit Diphenylamin. Die Dunkelpflanzen ergaben um die gleiche Zeit in den Wurzeln und im Stengel eine ebenso starke Reaction wie die Lichtpflanzen; auch die Blattstiele färbten sich deutlich blau, wiewohl schwächer, und die Blattflächen, welche in Folge des Etiolements mehrmals kleiner als die der Lichtpflanzen geblieben und unvollständig entfaltet waren, zeigten nur eine von den durchschnittenen stärkeren Rippen ausgehende schwache Bläuung. Diese Pflanzen liessen sich noch weitere acht Tage in constanter Dunkelheit am Leben und in weiterem Wachsthum erhalten; sie zeigten nach dieser Zeit in den Wurzeln, Stengeln und Blattstielen noch immer den früheren Grad der Nitratreaction; in den Blattrippen trat jetzt sogar nur noch eine Spur von Bläuung auf. Als ich nun aber jetzt die Pflanzen ans Licht setzte, fingen nach 4 Tagen die Blätter an langsam zu ergrünen und ihre Blattflächen durch Wachsthum zu vergrössern; nun zeigten aber auch alle ergrünenden Partien in ihren Rippen eine fast schwarzblaue Färbung mit Diphenylamin, sowie im Blatte der Lichtpflanzen. Das fast vollständige Fehlen des Nitrates in der Blattfläche im Dunkeln kann überhaupt nur zwei Gründe haben: entweder dass im Dunkeln so gut wie kein Nitrat in die Blattfläche aufgenommen wird, oder im Gegentheil, dass es nach Eintritt in dieselbe so rasch verarbeitet wird, dass sich niemals eine bemerkenswerthe Menge davon erhalten kann. Das letztere ist ja unter diesen Umständen schon theoretisch widersinnig; der folgende Versuch beweist aber seine Unrichtigkeit. In constanter Dunkelheit in nitrathaltiger Nährstofflösung gezogene Pflanzen von *Phaseolus vulgaris* wurden, als sie eine gewisse Entwicklung erreicht und in gewöhnlicher Weise sich mit Nitrat erfüllt hatten, in stickstofffreie Nährlösung umgesetzt und nun noch weitere 4 Wochen in constanter Dunkelheit erhalten. Sie entwickelten sich dabei, natürlich unter stärksten Symptomen des Etiolements, weiter. Ich fand darnach wie auch sonst nach Umsetzung in nitratfreie Lösung in den dünneren vorwiegend während dieser Zeit gebildeten Wurzeln keine oder nur

schwache Nitratreaction; dagegen war während dieser langen Zeit das in den stärkeren Wurzeln, im Stengel und in den Blattstielen befindliche Nitrat nicht in die Blätter übergetreten, sondern noch mit ebenso starker Reaction wie vorher in jenen Theilen nachzuweisen; es hatte vielmehr statt in die Blätter zu gehen sich auch auf das nächstfolgende inzwischen ins Treiben gekommene Internodium erstreckt, welches nun ebenfalls tief blaue Reaction zeigte. Es kann also von einer Einwanderung und steten Umwandlung des Nitrates im Blatte in der Dunkelheit keine Rede sein; die Salpetersäure erwies sich auch bei diesem Experimente als ein in den vegetativen Theilen aufgespeicherter Reservestoff. Dies ist also gerade der entgegengesetzte Erfolg von dem, der zu erwarten gewesen wäre unter der Annahme, dass die Salpetersäure behufs ihrer Assimilation in das Blattgewebe geleitet werde. Die bei dem vorerwähnten Versuche beobachtete Erscheinung, dass die Blattrippen vielmehr erst dann sich mit Nitrat erfüllen, sobald die durch die Beleuchtung bedingten Gewebeeränderungen eintreten, ist wohl nur so zu erklären, dass die Parenchymzellen der Blattrippen erst im Lichte ihren normalen Ausbildungszustand, in welchem sie zur Aufspeicherung von Lösungen befähigt sind, erreichen. Denn bekanntlich bleibt das Blatt beim Etioliren im Dunkeln gewissermassen in der Knospennatur, also im Meristemzustande stehen. Wir haben es aber als eine allgemeine Erscheinung kennen gelernt, dass alle jugendlichen Pflanzentheile, deren Gewebe eben im Meristemzustande sich befinden, wie die Wurzel- und Stengelpitzen sammt deren jungen Blattanlagen frei von Nitrat bleiben.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass die von der Pflanzenwurzel als stickstoffhaltiges Nährmittel aufgenommene Salpetersäure nicht im grünen Blattgewebe assimiliert wird, sondern dass in sämtlichen Organen der Pflanze, welche von Gefässbündeln durchzogen sind, als Wurzeln, Stengeln, Blattstielen, Blattrippen, diese Assimilation mit dem in den Parenchymzellen dieser Theile vorhandenen Nitrate erfolgen kann, dass dieselbe daher bei denjenigen Pflanzen, welche die Salpetersäure nicht auf längere Zeit in ihrem Körper aufspeichern, wie bei der Lupine und den meisten Holzpflanzen, schon in der Wurzel, bei denjenigen aber, welche diese Säure in Wurzeln, Stengeln, Blattstielen und Blattrippen für spätere Bedürfnisse als Reservestoff deponiren, in allen genannten Organen vor sich geht.

Ueber das Nähere dieses Assimilationsprocesses, insbesondere ob derselbe stattfindet in der nitrathaltigen Parenchymzelle selbst oder in den anstossenden Elementen des Basttheiles der Gefässbündel, in denen ja jedenfalls ein grosser Theil des stickstoffhaltigen Materiales nach ge-

schehener Assimilation transportirt wird, ferner ob es sich dabei um einen directen Umsatz in Eiweisstoffe handelt, oder ob Amide dabei eine Rolle spielen, über alles das müssen erst weitere Untersuchungen Licht verbreiten.

Pflanzenphysiologisches Institut der Königl. Landwirthschaftlichen
Hochschule in Berlin.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1887

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Frank B.

Artikel/Article: [Ueber Ursprung und Schicksal der Salpetersäure in der Pflanze 472-487](#)