

Mittheilungen.

I. Th. Bokorny: Ueber den Nachweis des Transpirationsstromes in den Pflanzen.

Eingegangen am 7. Januar 1891.

Den Weg des Transpirationsstromes in den Pflanzen dadurch nachzuweisen, dass man dem aufzusaugenden Wasser einen leicht nachweisbaren Stoff beimischt, liegt nahe und ist deswegen öfters versucht worden. Die Hauptschwierigkeit, auf welche man hierbei stösst, liegt in der richtigen Auswahl jenes Stoffes.

Es giebt zwar viele makrochemisch gut nachweisbare Substanzen, aber verhältnissmässig wenige, welche einen scharfen mikrochemischen Nachweis gestatten. Weiterhin stellt sich das Nichteindringen der Stoffe in die Pflanze, ferner die Absorption oft hindernd in den Weg, und endlich schädigen manche Substanzen, welche sonst brauchbar wären, die Pflanzen derart, dass das Experiment nicht als an der lebenden Pflanze angestellt gelten kann.

Meine zahlreichen Versuche hierüber haben bis jetzt als den einzigen allen Anforderungen entsprechenden Stoff den Eisenvitriol ergeben; er ist in geringen Mengen nicht schädlich, dringt leicht in bewurzelte Pflanzen ein, steigt mit dem Transpirationsstrom rasch empor und kann scharf in loco nachgewiesen werden. Andere Substanzen von solcher Beschaffenheit sind bis jetzt von anderen nicht bekannt und von mir nicht gefunden worden.

Organische Farbstoffe dringen nur schwer in die Wurzeln ein, werden von Pflanzengewebe häufig sehr energisch absorbiert und sind oft giftig.

Lithiumsalze, welche bekanntlich VON SACHS zum Nachweis der Geschwindigkeit des Transpirationsstromes mit Erfolg benutzte, sind nicht mikrochemisch auffindbar.

Ferrocyankalium, das 1850 von H. HOFFMANN und später von UNGER in gleichem Sinne wie von mir der Eisenvitriol versucht wurde, dringt sehr schwer ein. So konnte ich bei einem Versuch mit einer ausgehobenen und von Erde annähernd befreiten Topfpflanze von *Phaseolus multiflorus* das (in der Verdünnung 2 p. M. angewandte)

Salz nach 24 Stunden weder in der Wurzel noch im Stengel nachweisen. Auch ist zu berücksichtigen, dass es von den Eiweisstoffen der Pflanze festgehalten wird.

Eisenvitriol hingegen tritt schon nach einer Versuchsdauer von wenigen Minuten in der (bewurzelten oder abgeschnittenen) Versuchspflanze auf.¹⁾

Man hat gesagt, die Eisenvitriolmethode sei eine Umkehrung der von HOFFMANN und UNGER angewandten Methode. Nun drehen wir den Versuch wirklich um, und sehen wir zu, ob dabei meine Methode zum Vorschein kommt. Genannte Forscher haben Ferrocyankaliumlösungen aufsaugen lassen und dann mit Eisenoxydsalzlösungen²⁾ darauf reagirt. Die Umkehrung ist: Eisenoxydsalzlösungen aufsaugen zu lassen und mit Ferrocyankalium zu reagieren. Ich habe aber eine Eisenoxydulsalzlösung (Eisenvitriol) von der Pflanze aufnehmen lassen und die Gewebe nach einiger Zeit mit (salzsäurehaltigem) Ferricyankalium geprüft. Eisenoxydsalze zu verwenden habe ich mich wohl gehütet, weil dieselben von den Gerbstoffen der Pflanze absorbirt d. i. chemisch gebunden und von der Pflanzenfaser gespeichert werden; sie würden nicht gleichen Schrittes mit dem Transpirationsstrom in der Pflanze vordringen. Aber auch wenn dieser wesentliche Unterschied zwischen Eisenoxyd- und Oxydulsalzen nicht bestünde, wäre meine Methode nicht eine einfache Umkehrung jener früheren; denn die starke Verdünnung meiner Eisenvitriollösung ist auch von Belang, da concentrirte Eisenlösungen (schon 1—2procentige) die Pflanze bald schädigen; ich legte deswegen immer besonderes Gewicht darauf, dass die Lösungen möglichst verdünnt (1:500 bis 1:1000) zur Anwendung kommen. Endlich darf hier auch noch auf die vielfach ausschlaggebende Bedeutung des Salzsäurezusatzes zu den Geweben, in denen Eisen enthalten ist, hingewiesen werden. Die Blaufärbung tritt häufig in den Gefäßmembranen nicht ein, wenn jener Zusatz unterlassen wird; somit wird ohne diesen Zusatz der Eisengehalt eines wichtigen Gewebes einfach übersehen.

Selbst wenn meine Methode nur eine Umkehrung der Ferrocyankaliummethode wäre, müsste man sich doch fragen, ob diese Umkehrung nicht wesentliche Vortheile habe; und das muss bejaht werden. Man stelle doch einmal folgende Parallelversuche an; eine Topf- oder Freilandpflanze von *Phaseolus multiflorus* werde nach dem Abwaschen der Erde in Eisenvitriollösung von 1:1000, eine andere in 1 p. M. Ferrocyankaliumlösung (mit den Wurzeln) gesetzt. Die erste Pflanze wird bei günstigen Transpirationsbedingungen nach einer halben Stunde Eisen in fast allen Theilen erkennen lassen, die letztere keine

1) Eine Verbindung von Eisenvitriol mit Eiweis ist bis jetzt nicht bekannt.

2) UNGER reagirte mit Eisenchlorid, HOFFMANN zwar mit Eisenvitriol, der aber nur dann bläugend wirkt, wenn er in Eisenoxydsalz übergegangen ist.

Spur von Ferrocyankalium — selbst nach 2stündigem Aufenthalt in der Lösung. Zwei Versuche mit abgeschnittenen beblätterten Stengeln werden dasselbe Resultat ergeben. Man vergleiche ferner auch einmal die Reaction, welche ein Stengelquerschnitt nach dem Einlegen in 1 p. M. Ferrocyankaliumlösung bei Zusatz von Eisenchlorid (nach dem Absaugen der anhängenden Lösung) giebt, mit jener, welche ein in 1 p. M. Eisenvitriol gelegener Schnitt mit salzsäurehaltigem Ferricyankalium erkennen lässt. Welch grosser Unterschied zeigt sich da! Der letztere wird intensiv blau in allen Theilen, ersterer nur schwach hellblau in einzelnen Geweben — ein Zeichen, dass die Schärfe des mikrochemischen Nachweises in beiden Fällen sehr verschieden ist und dass Ferrocyankalium in gewisse Gewebe überhaupt nicht eindringt.

Wenn mir KOHL¹⁾ entgegenhält: „Nicht der Weg wird ermittelt (durch meine Methode, B.), den das Transpirationswasser in der Pflanze wirklich einschlägt, sondern es werden nur die Gewebe ausfindig gemacht, in welche Eisenvitriollösung von der Wurzel her oder durch Schnittwunden eintreten kann“, so ignorirt derselbe hiermit mehrere das Gegentheil beweisende Versuchsergebnisse. Ich habe öfters hervorgehoben — und kann, wenn es gewünscht wird, dasselbe noch mit beliebig vielen Einzelversuchen beweisen —, dass der Eisenvitriol bei meinen Versuchen nur an jener Seite des Stengels auftritt, an welcher transpirirende Organe sitzen; schneidet man die Blätter der einen Seite weg, oder nimmt man eine Pflanze, die überhaupt nur ein entwickeltes Blatt besitzt, so tritt das Eisen eben nur an jener Seite des Stengels auf, an welcher das Blatt sitzt. Bei Wegnahme sämtlicher Blätter und Ausschluss der Transpiration der Stammoberfläche zeigt sich das Eisen überhaupt nicht — wenigstens nicht nach ein- oder wenigstündiger Versuchsdauer. Also ein Zusammenhang zwischen der Eisenvertheilung und dem Wege des Transpirationsstromes besteht sicher; wo der Transpirationsstrom nicht hingelangt, kommt auch das Eisen nicht hin. Ob das Eisen auch überall da auftritt, wo jener Wasserstrom sich bewegt, ist eine weitere Frage, die in Anbetracht des schon berührten Verhaltens des Eisenvitriols gegen Pflanzenmembranen, welche Wasser passirt, mit Leichtigkeit ein. Bringt man einen dicken (vielleicht $\frac{1}{2}$ mm hohen) Querschnitt des Stengels von *Phaseolus multiflorus* in 4procentige Eisenvitriollösung, so tritt fast augenblicklich Plasmolyse in allen lebenden Zellen des Stengels ein; die Zellen des Markes, die bei Versuchen über Transpiration von Eisen frei bleiben, erfahren sämtlich Plasmolyse, desgleichen die der Rinde, was doch nur dann möglich ist, wenn der Eisenvitriol die Zellmembran passirt. Lässt man selbst sehr verdünnte Eisenvitriollösung (1 p. M.) auf diese Zellen

1) Botan. Centralbl. 1890. Nr. 32/33.

einwirken, so zeigt die unmittelbar hernach vorgenommene Reaction mit Ferricyankalium deutlich, dass sämtliche Membranen des Markes und der Rinde von dem Eisensalze durchtränkt sind. Für flüssiges Wasser durchlässige Zellmembranen, welche Eisenvitriol nicht passiren lassen, sind mir bis jetzt nicht bekannt geworden, trotz vielfacher Versuche mit diesem Salze. Verlängerte ich die Versuchsdauer bei früheren Transpirationsversuchen hinreichend, so konnte ich immer in sämtlichen Zellen der Pflanze das Eisen nachweisen; in solchen Fällen gelangte es von den wasserleitenden (zuerst allein eisenhaltigen) Geweben durch Diffusion nach den übrigen hin.

Schon die Thatsache allein, dass bei meinen Versuchen mit ganzen (bewurzelten) Pflanzen das Eisen nach einer halben Stunde oft 20 bis 50 *cm* über der Eintrittsstelle in den Geweben enthalten ist¹⁾, muss jeden Zweifel über die Ursache der Anwesenheit des Eisens beseitigen. Wie soll dasselbe anders als durch den Transpirationsstrom, der ja nach VON SACHS so grosse Wege zurücklegt, in die Pflanze mit solcher Geschwindigkeit eingeführt werden?

Wir dürfen wohl ruhig annehmen, dass diejenigen Stellen einer Pflanze, welche nach sehr kurzer Versuchsdauer ($\frac{1}{2}$ —1 Stunde) eisenhaltig gefunden werden, vom Transpirationsstrome passirt wurden, die eisenfreien nicht. Freilich, wenn wir den Versuch Tage lang hinziehen — wie das früher wohl üblich war, als man keine rasch in bewurzelte Pflanzen eindringende Stoffe kannte — dann kann der Eisenvitriol auch in Geweben auftreten, welche ausserhalb der Bahnen des Transpirationsstromes liegen.

Das ist gerade einer der Hauptvorzüge des Eisenvitriols, dass er fast augenblicklich in die Wurzel eintritt und von da in den übrigen Pflanzenkörper übergeht. Bei einem Versuch mit einer ausgehobenen Topfpflanze von *Vicia Faba* fand ich z. B., dass das Eisen, welches durch die Wurzeln eintreten musste, schon nach 12 Minuten in der ganzen 36 *cm* hohen Pflanze vorhanden war; der eintauchende Wurzeltheil hatte eine Länge von 8 *cm* (an den längsten Wurzeln), so dass sich aus jenem Resultat eine Geschwindigkeit des Eisenvitriols von mindestens $\frac{28 \cdot 60}{12} \text{ cm} = 140 \text{ cm}$ pro Stunde ergibt.

An ausgehobenen, von löse anhängender Erde durch Wasser befreiten Freilandpflanzen von *Euphorbia platyphylla* ergab sich eine Geschwindigkeit des Eisenvitriols von 47 bzw.²⁾ 64 *cm* pro Stunde,

1) Es ist nöthig, hierzu ausgehobene Topf- oder Freilandpflanzen zu nehmen, da bei Wasserculturen der Eintritt des Fe SO_4 sich aus einem bis jetzt unbekanntem Grunde verzögert. Bei einer Wassercultur von *Vicia Faba* konnte ich das Eisen erst 4 Stunden nach Beginn des Versuches in der ganzen Pflanze nachweisen.

2) Die zweite Zahl bedeutet jene Geschwindigkeit, welche sich ergibt, wenn man den eintauchenden Wurzeltheil mitrechnet, die erste jene, welche sich bei Abzug dieses herausrechnet. Da die Wurzeln immer verschieden lang sind und so die

bei *Solanum flavum* Ait. 62,8 bezw. 118,6 cm, bei *Petunia parviflora* Juss. 76,8 bezw. 124,8 cm, *Adonis aestivalis* L. 25 bezw. 36 cm (wahrscheinlich mehr); *Brassica* 77 bezw. 116 cm, *Reseda luteola* L. 18,9 bezw. 42,6 cm.

Untersucht man die Pflanzen nach etwa $\frac{1}{2}$ —1-stündiger Versuchsdauer, so wird man aus der Vertheilung des Eisens Schlüsse auf den Weg des Transpirationsstromes ziehen können; denn nur durch diesen kann das Eisen in die Gewebe binnen so kurzer Zeit gelangt sein. Die Untersuchung nach 12—24-stündiger Versuchsdauer wird schon weniger gute Resultate liefern, aber immerhin in vielen Fällen noch werthvolle Aufschlüsse geben; denn der Uebergang des Eisens durch Diffusion von den wasserleitenden Geweben zu den anderen — quer durch die Pflanze — erfolgt, wie ich mich überzeugte, gewöhnlich sehr langsam; man findet da häufig ein Ausstrahlen der mit Ferricyankalium an Querschnitten erzeugten Blaufärbung von den Gefässbündeln nach dem Mark und der Rinde vor, eine Färbung, welche vielleicht nur eine oder zwei angrenzende Zellschichten betrifft und allmählich in's völlig Farblose verläuft. Erst nach mehreren Tagen trifft man das Eisen in sämtlichen Geweben an. Die Verbreitung des Eisensalzes durch Diffusion findet eben sehr langsam statt, wie man leicht einsieht, wenn man eine 10—15procentige (!) Eisenvitriollösung im Reagenrohr vorsichtig (durch äusserst langsames Auslaufenlassen aus einer guten Burette) mit Wasser überschichtet, etwa eine 2 cm hohe Schicht Eisenvitriollösung mit einer 8 cm hohen Wasserschicht; es wird mehrere Tage dauern, bis das Eisensalz oben angelangt ist, trotz gänzlich ungehinderter Diffusion¹⁾.

Aus diesem und anderen Gründen ist auch die Annahme von KIENITZ-GERLOFF²⁾ falsch, wonach der Eisengehalt der Gewebe mit Ausnahme der Gefässe von einem Uebergang des Eisens quer durch den Stengel etc. herrühren soll. Dieser findet nur langsam statt und muss überdies mit Ferricyankalium nachweisbar sein; wie oft erwähnt, fehlt aber das Eisen anfangs im vermeintlichen Uebergangsgewebe und tritt erst nach längerer Zeit in diesem auf, wobei man häufig ein Vordringen des Eisens von beiden durch nicht leitendes Gewebe getrennten Stellen her in dieses constatiren kann.

Der von mir im Biol. Centralbl. 1890, 15. Juli beschriebene Versuch mit *Rumex longifolius* lehrt ferner, dass die KIENITZ-GERLOFF'sche

eine nur mit der Spitze eintaucht, die andere mit fast der ganzen Länge, ist die Entfernung der Eintrittsstelle des Eisens von der oberen Verbreitungsgrenze desselben unsicher innerhalb der genannten Grenzwerte.

1) Setzt man dem Wasser einen Stoff zu, welcher Eisenvitriol bindet, so nimmt der Vorgang noch längere Zeit in Anspruch.

2) Bot. Ztg. 1890.

Annahme für das Collenchymgewebe überflüssig ist. Denn derselbe zeigt, dass dieses Gewebe auch dann Eisensalz aufnimmt und fortleitet, wenn alle übrigen Gewebe von diesem Vorgange ausgeschlossen sind. Bei Blättern von *Rumex longifolius*, welche sehr mächtig, oft 1 m lang sind und einen sehr langen Stiel besitzen, lässt sich das hier langfaserig ausgebildete Collenchym in Streifen von beliebiger Länge abziehen. Zieht man dieselben an einem abgeschnittenen Blatte etwa 10 cm weit von unten her ab und taucht die herabhängenden Collenchymstreifen nach dem Herausschneiden des übrigen Gewebes 1—2 cm tief in eisenvitriolhaltiges Wasser, so lässt sich schon nach einer halben Stunde das Wasser bis zu 50 cm Höhe in dem Collenchymgewebe des Blattes nachweisen — und zwar ausschliesslich in den Membranen des Collenchymgewebes, ein Zeichen, dass der umgekehrte Uebergang, vom Collenchymgewebe zu den Gefässbündeln, innerhalb der gegebenen Zeit nicht stattfindet, trotzdem die äussersten Gefässbündel nur durch einige Grundgewebesichten von dem Collenchymgewebe getrennt sind. Von Interesse ist auch, dass die freigelegten Collenchymstreifen, trotzdem sie nur 2 cm tief eintauchen und mit den übrigen 8 cm an Luft grenzen, nicht vertrocknen, selbst nicht bei viel längerer Versuchsdauer; Gewebestreifen, welche den Eisenvitriol nicht fortleiten, vertrocknen bei gleicher Versuchsanstellung immer binnen kurzer Zeit¹⁾.

Das Collenchymgewebe besitzt in dem angegebenen und anderen Fällen Wasserleitungsvermögen; inwiefern dieses für die Pflanze unter natürlichen Lebensbedingungen von Bedeutung sei, ist eine Frage für sich, die getrennt von der ersten behandelt werden kann. Es sei hier nur angedeutet, dass möglicherweise in solchen Fällen, wo die Wasserversorgung der Blätter durch das Gefässbündelsystem von der Wurzel her vorübergehend ausbleibt, das Collenchymgewebe eine wenn auch geringe Menge Wasser aus dem angrenzenden wasserreichen Grundgewebe zuführt. Auf diese Weise kann in Zeiten der Noth das im äusseren Grundgewebe des Stengels und der Blattstiele aufgespeicherte Wasser zur Verhütung des Austrocknens der Blattlamina nutzbar gemacht werden, wie das an die Gefässbündel grenzende Grundgewebe sein Wasser an diese abgeben kann.

Dem Collenchymgewebe kann also neben der von SCHWENDENER festgestellten mechanischen Function noch eine solche der Wasserleitung zukommen.

1) Ich konnte das deutlich wahrnehmen, als ich alte, schon verfärbte *Rumex*-Blätter zum beschriebenen Versuche anwandte; die Collenchymstreifen leiteten hier das Eisensalz nicht fort und demgemäss auch nicht das Wasser, was ein rasches Vertrocknen zur Folge hatte. Die Collenchymmembranen scheinen sich beim Altern der Blätter physikalisch zu verändern.

Dass die Sclerenchymstränge der Pflanzen in vielen Fällen Wasserleitungsvermögen besitzen, habe ich aus der Eisenvertheilung bei meinen Versuchen ebenfalls geschlossen; dieselben sind oft durch völlig eisenfreies Gewebe von den Gefässen getrennt und können das Eisensalz also nicht von diesen bezogen haben.

Hinsichtlich des Wasserleitungsvermögens gefässfreier Gewebestränge dürfte noch ein mit *Nicotiana Tabacum* L. erhaltenes Resultat von Interesse sein. Eine Freilandpflanze wurde vorsichtig aus der Erde genommen, die anhängende Erde behutsam abgewaschen. Nach einstündigem Aufenthalt der bewurzelten Pflanze in eisenvitriolhaltigem Wasser wurde ein Blatt abgeschnitten und der Blattstiel mikrochemisch untersucht; es zeigte sich, dass nur die markständigen Bündelchen Eisen enthielten; sie besitzen keine Gefässe, woraus sich ergibt, dass das Eisensalz in diesem Falle nicht von den Gefässen aus zugeleitet worden sein kann. In der Wurzel freilich und im unteren Stengeltheil waren die Gefässbündel eisenhaltig; von da scheint das eisenhaltige Wasser¹⁾ zunächst in den markständigen gefässlosen Bündelchen aufgestiegen zu sein.

Es ist überhaupt unrichtig, dass die Vertheilung der von der Pflanze mit dem Transpirationsstrom aufgenommenen Stoffe keinen Schluss auf den Weg desselben zulasse. Man muss nur solche Umstände ausschliessen, welche zu falschen Schlüssen Anlass geben. Wenn VON SACHS hervorhebt, dass bei *Anona ovata* nach mehrtägiger Versuchsdauer das Anilinsalz in Zellen vorhanden sei, welche gewiss nicht vom Transpirationsstrom berührt werden, so ist das methodisch von grossem Interesse; allein daraus folgt nicht, dass unter keinen Umständen aus der Vertheilung dem Transpirationswasser beigegebener Stoffe etwas zu folgern sei. Man wähle einen Stoff, der leicht aufgenommen und nicht absorbiert wird, stelle die Versuchspflanzen nur kurze Zeit auf und folgere aus den so gewonnenen Resultaten! Ein Eisenvitriolversuch, der schon nach einer halben Stunde beendet ist, wird gewiss brauchbare Ergebnisse liefern.

Die Ansicht, dass das Wasser in den Membranen wandert, dürfte durch den beschriebenen Versuch mit *Rumex longifolius* eine weitere Stütze erhalten haben. Hinsichtlich der Gefässe spricht ebenfalls der mikrochemische Befund bei meinen Eisenvitriolversuchen für die Membran als Wasserbahn und möchte auch noch folgender Versuch von Interesse sein. Man tauche einen abgeschnittenen beblätterten Stengel von *Phaseolus multiflorus* mit der Schnittfläche in Ferrocyankalium-

1) Um oxydfreie Eisenvitriollösung zu erhalten, ist es gut, Blumendraht oder Klavierraht in verdünnter Schwefelsäure zu lösen und die Lösung mit ausgekochtem Wasser zu verdünnen.

lösung von 2:1000. Nach ein- bis mehrstündiger starker Transpiration ist das Ferrocyankalium nicht in den Gefäßen nachzuweisen; und doch hat während dieser Zeit sicher ein ausgiebiger Wassertransport in den Gefäßen stattgefunden. Wenn nun der Wasserstrom im Gefäßlumen aufsteigen würde, müsste das Ferrocyankalium in den Gefäßen an Längs- und Querschnitten aufzufinden sein. Das Gegentheil weist auf die Gefäßwand als Wasserbahn hin. Das Ferrocyankalium wird eben nicht oder nur sehr langsam von der Gefäßwand aufgenommen, und somit wandert das Wasser ohne Ferrocyankalium in die Gefäßwand ein. Die Versuchspflanze bleibt trotz ausgiebiger Transpiration während der ganzen Zeit vollständig frisch.

2. F. G. Kohl: Protoplasmaverbindungen bei Algen.

Mit Tafel I.

Eingegangen am 8. Januar 1891.

Ueberzeugt von der Richtigkeit der Annahme einer Continuität des Zellplasmas in der Pflanze, habe ich in letzter Zeit bei verschiedenen anatomisch-physiologischen Untersuchungen mein Augenmerk besonders auf die Plasmaverbindungen gerichtet und eine Reihe interessanter Beobachtungen in dieser Richtung machen können. Die Litteratur über den bezeichneten Gegenstand wächst zwar von Tag zu Tag, und doch sind merkwürdiger Weise die nächstliegenden Pflanzen in derselben bezüglich der Plasmaverbindungen noch nicht oder nur wenig vertreten. Es liegt mir fern, hier am Eingang meiner Mittheilung eine vollständige Aufzählung der bisher mit Sicherheit nachgewiesenen Fälle von Communication benachbarter Protoplaste durch Plasmafäden zu geben, es genügt anzuführen, dass bei den Cormophyten der Nachweis erbracht ist für die Farne und zahlreiche Phanerogamen und zwar für folgende Zell- resp. Gewebeformen: Parenchym (Collenchym, Hypoderm, Endosperm, Cambium, Meristem der Vegetationspunkte, Epidermis mit ihren Anhangsgebilden, Weichbast), Gefäße und Secretzellen. Durch die Untersuchungen von BORNET, SCHMITZ, HICK und Anderen sind Verbindungsfäden auch bei den

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1891

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Bokorny Thomas

Artikel/Article: [Mittheilungen. Ueber den Nachweis des Transpirationsstromes in den Pflanzen 2-9](#)