

XIII.

Ueber einige Eigenthümlichkeiten des elektrischen Leitungsvermögens lebender Pflanzentheile.

Von

A. Kunkel.

Im Nachfolgenden sind Versuchsergebnisse beschrieben, die zur Beobachtung kommen, wenn man durch lebende, hauptsächlich in Einer Richtung ausgedehnte Pflanzentheile unter verschiedenen Bedingungen elektrische Ströme leitet. Es sind mühselige Versuche, zu deren Kenntnissnahme ich meine Leser einlade. Aber neben dem unmittelbaren Interesse, das die nachfolgend mitgetheilten Thatsachen schon an sich haben, sind dieselben zugleich die Voraussetzung für die richtige Beurtheilung erst später mitzutheilender Versuche über elektrische Reizung etc. von Pflanzen. Da ausserdem das Gebiet, das ich hier behandle, von Botanikern selbst wenig betreten wird, werde ich meinen eigenen Untersuchungen eine kurze Uebersicht über die allgemeinen Erscheinungen vorausschicken, die Pflanzentheile überhaupt bei elektrischer Durchströmung erkennen lassen.

Leitet man durch einen lebendigen, nicht verholzten, längsgestreckten Pflanzentheil einen elektrischen Strom, und schaltet man zugleich in den Stromkreis ein Galvanometer ein, das über die in jedem Augenblick vorhandene Stromstärke Aufschluss giebt, so beobachtet man sehr verschiedene und anfänglich schwer deutbare Erscheinungen, wenn man auch nur die einfachsten Versuchsbedingungen, wie Dauer und Richtung des Stromes, Art der Zuleitung u. dergl. variirt.

Die Versuchsanordnung hiebei ist nach Bedarf verschieden, in der einfachsten Form die folgende: Die galvanischen Elemente, die den Strom liefern, das durchströmte Pflanzenstück und das Galvanometer sind alle hintereinander zu einem einzigen Stromkreis verbunden. Ein Stromwender gestattet, die Richtung des Stromes im Pflanzentheil willkürlich zu wechseln. In Versuchen, wo die Stromintensität für das Galvanometer zu gross wird, ist in den Stromkreis ein Rheostat aufgenommen und von diesem aus nur ein Stromzweig durch das Galvanometer geleitet. Für specielle Zwecke wurden noch andere Versuchsanordnungen zusammen-

gestellt, die ich aber der Kürze zu liebe nicht beschreiben werde. — Als Elektromotor können natürlich nur constante Elemente verwendet werden: ich nahm DANIELL'sche. Die Zuleitung des elektrischen Stromes geschieht mit unpolarisirbaren Elektroden. Unmittelbar um den Pflanzentheil wurden entweder wohlbefeuchtete Baumwollsehnüre gelegt, oder die Enden des Stengels, der durchströmt werden sollte, direct in die indifferente Zuleitungsflüssigkeit eingetaucht. — Als Galvanometer benutzte ich meist eine MEIERSTEIN'sche, zuweilen eine WIEDEMANN'sche Boussole.

Beobachtet man das Galvanometer, wenn man durch längere Zeit den Strom derselben elektromotorischen Vorrichtung durch den Pflanzentheil dauernd leitet, so bemerkt man im Allgemeinen, dass der Ausschlag (also die Stromstärke) in der Regel anfänglich am grössten ist und langsam immer mehr abnimmt, ohne dass der Magnet überhaupt an einem Punkte sich ruhig einstellt.

Die Ursache für diese allmälige Abnahme des Stromes ist im Pflanzentheil selbst gelegen. Man kann sich hievon sofort dadurch überzeugen, dass man den Strom durch die Elektroden selbst schliesst (mit Ausschaltung des Pflanzenstückes). Man beobachtet in diesem letzteren Falle nicht einen constanten, sondern einen langsam zunehmenden Ausschlag des Galvanometers. Die Ursache für diese Zunahme der Stromstärke ist die Erwärmung der leitenden Flüssigkeiten durch den Strom, womit deren Leitungsvermögen zunimmt.

Die Verminderung der Stromstärke geschieht durch den Pflanzentheil selbst. Die strömende Elektrizität bewirkt in demselben solehe Veränderungen, welche die Stromabnahme mit sich bringen.

Man könnte von vornherein an zwei Möglichkeiten der Erklärung hiefür denken. Entweder ruft der Strom eine elektromotorische Gegenkraft (Polarisation) hervor, die dem ursprünglichen Strom entgegengesetzt gerichtet ist und ihn, continuirlich zunehmend, schwächt: — oder der Strom vermehrt durch bestimmte Veränderungen im inneren Gefüge des Pflanzentheils dessen Leitungswiderstand. Beides ist in unserem Falle vorhanden. Zunächst soll jetzt kurz referirt werden, was über diese durch den Strom hervorgerufenen Unregelmässigkeiten bekannt ist, und zuerst der neu entstehende Widerstand behandelt werden ¹⁾.

¹⁾ Die wichtigste hieher gehörige Literatur ist (in WIEDEMANN's Galvanismus ausführlich referirt):

E. DU BOIS-REYMOND: Ein durch den Strom in feuchten porösen Körpern erzeugtes Widerstandsphänomen: in Monatsberichte der Berliner Akademie 1860. p. 846 ff.

H. MUNK: Ueber die kataphorischen Veränderungen der feuchten porösen Körper in: Archiv von DU BOIS und REICHERT 1873. p. 241 ff.

Dasselbst ist auch die weitere Literatur über secundären Widerstand angegeben. Ueber innere Polarisation vergl.:

Diese letztere Erscheinung hat E. du Bois-REYMOND zuerst studirt und, soweit dies möglich ist, erklärt. Er nennt den durch das Durchleiten eines Stromes erst entstehenden Widerstand »secundären Widerstand« und unterscheidet äusseren secundären Widerstand, der nur an der Eintrittsstelle des Stroms in den feuchten Körper eintritt und inneren secundären Widerstand, der über die ganze durchströmte Strecke (gleichmässig) vertheilt ist. Dieses letzte Widerstandsphänomen hat du Bois-REYMOND nur an frischen lebenden Pflanzentheilen (Prismen, geschnitten aus Kartoffeln, Mohrrüben, Petersilienwurzeln, Aepfeln, Birnen, saftigen Stielen von Begonien) gefunden. Hält man die Theile 10 Minuten in siedendes Wasser, so haben sie die Fähigkeit, diesen inneren Widerstand anzunehmen, eingeblüht.

Des Genaueren wurde über diesen inneren Widerstand festgestellt, dass er in allen Querschnitten gleichmässig steigt und fällt, dass also keine Abstufung vom Eintritts- gegen das Austrittsende zu statt hat; ferner dass er im Allgemeinen mit der Stromstärke wächst und bei gleicher Stromintensität mit der Stromdichte zunimmt. Auch scheint derselbe unabhängig von der Richtung des Stromes, der ihn hervorruft.

Auch äusseren sekundären Widerstand nehmen frische lebende Pflanzenstücke an. Er hat nur an der Eintrittsstelle des Stroms seinen Sitz und verschwindet darum sofort, wenn man an einem anderen Oberflächenpunkte den Strom eintreten lässt oder vom Eintrittsende ein Stückchen abschneidet und an den neuen Querschnitt die stromzuleitende Vorrichtung bringt. Dieser Widerstand wird durch sogen. kataphorische Veränderungen des porösen Körpers erklärt und ist von verschiedenen Experimentatoren, neuerdings sehr eingehend von MUXK studirt worden. Sein Entstehen wird zurückgeführt auf folgende Thatsaehen: 1) Die in capillaren Räumen befindlichen Elektrolyte (Flüssigkeitstheilehen) werden durch den elektrischen Strom in der Richtung der positiven Elektrieität mit fortgeführt: die übergeführten Mengen sind der Stärke und der Dauer des Stromes direct proportional; 2) die verschiedenen Elektrolyte werden um so rascher fortgeführt, je schlechter ihr specifisches Leitungsvermögen (also z. B. destillirtes Wasser rascher als verdünnte Schwefelsäure); 3) gemischte Flüssigkeiten (Lösungen, verdünnte Säuren) werden nicht in ungeänderter Zusammensetzung fortgeführt: es wird im Allgemeinen an den festen Theilehen des porösen Körpers eine dichtere (besser leitende) Flüssigkeit abgeschieden und festgehalten, und eine dünnere (mehr Wasser als die ursprüngliche Lösung enthaltende) Flüssigkeit wird kataphorirt.

E. du Bois-REYMOND: Ueber Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte: in: Monatsberichte der Berliner Akad. 1856, p. 393 und

— über die innere Polarisation poröser, mit Elektrolyten getränkter Halbleiter: ebendasselbst p. 450.

Auch die andere, oben als mögliche Stromschwächende Ursache angegebene Erscheinung ist an lebenden, vom elektrischen Strom durchflossenen Pflanzentheilen zu constatiren, nämlich Polarisation. Der Sitz dieser durch den primären Strom hervorgerufenen elektrischen Gegenkräfte ist wieder nach der Analogie des sekundären Widerstandes verschieden: es wird unterschieden: äussere Polarisation, die an der Berührungsstelle verschiedener Elektrolyte ihren Sitz hat — und innere Polarisation, die in gewissen von ein und derselben Flüssigkeit durchtränkten porösen Körpern ihren Sitz hat. Diese letztere entsteht durch den ganzen durchströmten Körper hindurch, ist an jedem Querschnitte ceteris par. gleich gross und wächst mit der Dauer und Dichte des polarisirenden Stromes. Grüne Pflanzentheile nehmen dieselbe an. —

Von meinen eigenen Versuchsergebnissen will ich gleich hiezu bemerken, dass verholzte Pflanzentheile diese innere Polarisirbarkeit in höherem Grade aufweisen als junge saftige Schösslinge. Natürlich nimmt dieser Polarisationsstrom, wenn man die zeitlichen Aenderungen seines Intensitätsabfalls beobachtet, anfänglich rasch und allmählich immer langsamer bis zu Null ab. Diese Zeit habe ich bei ad hoc angestellten Versuchen, wo ein Zweig von einem starken Strom (bis zu 30 Zink-Kohlen-Elementen) durchflossen und darauf durch Umlegen eines Stromwenders rasch mit einem Galvanometer verbunden wurde, bis über 2 Minuten ausgedehnt gefunden. Die im ersten Augenblicke beobachtbare elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes war bei halbverholzten Stengeln (*Brassica*) nicht unbedeutend. — Weiter unten werden gewisse Versuchsbedingungen angegeben werden, die auch bei grünen Schösslingen die innere Polarisation sehr stark auftreten lassen. —

Nach Kenntnissnahme dieser Thatsachen will ich jetzt die Ergebnisse eigener Versuche, soweit sie auf Leitungsfähigkeit Bezug haben, mittheilen. Ich habe nur langgestreckte Theile, Pflanzenstengel, junge Schösslinge von *Vitis vinifera* und *vulpina*, *Ampelopsis heder.*, *Clematis* u. s. w. zuweilen auch ganze Pflanzen in Töpfen (*Ricinus*, *Balsamine* etc.) verwendet.

Bringt man die beiden freien Enden (Querschnitte) eines grünen Stengels in Zuleitungsgefässe, die mit Brunnenwasser¹⁾ gefüllt sind und mit den unpolarisirbaren Elektroden in leitender Verbindung stehen, so dass der Stengel die beiden Gefässe gleichsam als Brücke verbindet, so beobachtet man bei geringen Stromstärken (1 bis 2 DANIELL) die oben beschriebenen störenden Nebenerscheinungen (äusserer Widerstand, innerer Widerstand, innere Polarisation) nur in geringem Grade. Am auffälligsten ist noch der

1) Es ist natürlich zweckmässig, zur Zuleitung eine Flüssigkeit zu wählen, die mit dem Pflanzensaft chemisch (und physikalisch) möglichst übereinstimmt. Ich hatte dazu halbprocentige Kalisalpetrolösung verwendet, habe aber keinen Vortheil gegenüber dem Gebrauche gewöhnlichen hiesigen Wassers gesehen.

äussere Widerstand, der die Bedingung dafür ist, dass die Stromstärke sofort steigt, wenn man am Eintrittsende des Stromes, nachdem derselbe längere Zeit in einer Richtung geflossen, vom Stengel ein kleines Scheibchen abschneidet. Eine Erscheinung, die auf inneren sekundären Widerstand zurückzuführen ist, werden wir erst ganz zu Ende besprechen: die nachfolgend mitgetheilte Beobachtung wird dadurch nicht gestört. Innere Polarisation ist bei diesen Versuchen in deutlicher Ausbildung nicht zur Beobachtung gekommen.

Dagegen ergeben zahlreiche Versuche, dass die Stromintensität unter sonst gleichen Umständen beträchtlicher ist, wenn der positive Strom vom Wurzelende gegen die Spitze im Stengelstück fliesst, als in der entgegengesetzten Richtung. Nennt man diese Richtung nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche die aufsteigende, so heisst dies: der aufsteigende Strom ist stärker als der absteigende.

Diese Begünstigung der einen Stromrichtung äussert sich so: Ist die Stromintensität bei sehr langem Stengel oder durch einen sonstigen in den Stromkreis aufgenommenen Widerstand oder bei geringer elektromotorischer Kraft überhaupt nur klein, so ist auch der Unterschied im Ausschlage nach beiden Richtungen nur gering: je grösser im Allgemeinen die Stromintensität, um so grösser der obige Unterschied. — Dass gerade proportional mit der Stromstärke (oder Stromdichte) auch dieser Unterschied steige, lässt sich nicht nachweisen wegen verschiedener störender Nebeneinflüsse. Im Grossen und Ganzen scheint es aber so zu sein.

Es kann sich natürlich hierbei nur um ein Widerstandsphänomen handeln. Alle übrigen Bedingungen (die Richtung ausgenommen) bleiben ja im Versuche ungeändert. Es muss also der aufsteigende Strom einen geringeren Leitungswiderstand finden, als der absteigende. — Zunächst ist die zeitliche Entwicklung dieses Widerstandes von Interesse. Darüber spricht sich das directe Ergebniss der Versuche dahin aus, dass der Unterschied in der Leitungsfähigkeit von Anfang an vorhanden ist. Man beobachtet, wenn man den Strom zuerst in absteigender Richtung schliesst und möglichst rasch den Magnet zur Ruhe bringt, eine ganz bestimmte feste erste Einstellung, nicht etwa eine sofortige rasche Abnahme der Stromintensität. Sollte wirklich in den ersten Augenblicken der fliessende Strom so beträchtliche Veränderungen, wie die beobachteten Unterschiede sie voraussetzen, erfahren, so ist nach aller Analogie nicht einzusehen, warum diese Wirkung nicht mit langsamem Abklingen zur Beobachtung kommt. Wenn man unter Anwendung immer neuer Pflanzentheile den Versuch in der mannichfachsten Weise variirt, so sprechen alle Ergebnisse aufs deutlichste dafür, dass von vornherein ein verschiedenes Leitungsvermögen nach den beiden Richtungen vorhanden ist.

Dieser Unterschied ist durchaus constant: er ist aber bei verschiedenen hinter einander geprüften Pflanzentheilen von verschiedener rela-

tiver Grösse. Dies hängt von Umständen ab, die ich vollständig noch nicht eruiren konnte: vor Allem davon, ob die beiden Schnittflächen gleich frisch sind. Die frische Schnittfläche lässt, wie schon oben angegeben, den positiven Strom leichter eintreten. Dieser letztere Umstand kann sich mit dem Vermögen der verschieden guten Leitung nach den beiden Richtungen so combiniren, dass sogar vorübergehend der absteigende Strom stärker wird als der aufsteigende, wenn nur oben die Schnittfläche ganz neu ist, die untere dagegen schon lange besteht. Aber auch in diesem Falle überwiegt nach ganz kurzer Zeit, wenn die ganze Versuchsanordnung intakt zusammen bleibt, wieder der aufsteigende Strom.

Man könnte daran denken, die ganze Erscheinung wesentlich in die Endquerschnitte zu verlegen. Es ist darum nothwendig, wenn für die Continuität des Stengels ein specifischer Unterschied in den beiden Richtungen bewiesen werden soll, dem intakten Stengel selbst den Strom zuzuleiten. Auch hier wird sich in bestimmter Weise ein Unterschied erkennen lassen.

Der Strom wird bei dieser zweiten Art von Versuchen dem Stengel ab- und zugeführt durch mässig starke feuchte baumwollene Schnüre, die in verschiedener Weise angebracht wurden¹⁾.

Vor Allem ist hierbei zu bemerken, dass die Grösse der Berührungsfläche zwischen Elektrode und Pflanzenstück von wesentlichem Einfluss auf den Verlauf der Stromesschwankungen bei continuirlicher Durchleitung ist. Ich erwähne diesen Versuch, obwohl derselbe bekannt und die Erklärung dafür oben angegeben ist, weil er bei weiterer Verfolgung für unsere Betrachtungen Interesse gewinnt. Die Erscheinung ist die folgende: Leitet man einem kurzen Stück Pflanzenstengel den Strom so zu, dass man die Baumwollschnüre kurz neben den Schnittflächen auf der Epidermis anbringt und das eine Band die ganze Peripherie des Stengels umfasst, während das andere nur mit feiner Spitze an einer kleinen Stelle berührt, so wird die Ablenkung beim Eintritt des positiven Stromes an der schmalen Berührungsstelle sofort vom Augenblicke des Stromschlusses an immer geringer, beim Eintritt an der breiten Berührungsstelle dagegen wächst er langsam an. Das rasche Abfallen des Stromes wird durch einen äusseren Widerstand erklärt, der an der Eintrittsstelle seinen Sitz hat. Dieser Widerstand wächst mit der Stromdichte: diese letztere aber ist unter sonst gleichen Umständen dem durchströmten Querschnitt verkehrt proportional.

1) Ich habe solche Schnüre, obwohl E. DU BOIS-REYMOND an Baumwollendocht innere Polarisirbarkeit nachgewiesen hat, ohne Befürchtung gebrauchen dürfen, da ich an den beständig unter Wasser getauchten Fäden bei den geringen von mir verwendeten Stromstärken keine derartige Wirkung auf meine Galvanometer sah. Wäre eine solche Polarisirung doch aufgetreten, so war sie jedenfalls von verschwindender Bedeutung gegenüber den vom Pflanzenstück bedingten Veränderungen.

Der Widerstand entwickelt sich darum um so rascher, je kleiner die berührende Eintrittsstelle und je stärker der Strom ist.

Das Ansteigen des Stromes, wenn er an der breiten Berührungsstelle eintritt, wird durch die Erwärmung, die der Strom selbst verursacht, bedingt. Dieses Ansteigen dauert langsam durch 4 bis 5 Minuten fort, ohne in dieser Zeit in eine Abnahme sich umzukehren. Dies zeigt, dass secundärer Widerstand überhaupt bei dieser Versuchsanordnung nur von sehr geringer Stärke sich entwickelt. Er wird durch die geringe Verbesserung des Leitungsvermögens, welche letztere die Folge der schwachen Erwärmung ist, übercompensirt.

Die Thatsache, dass nur beim Eintritt des positiven Stromes an der schmalen Oberflächenstelle dieser Widerstand erscheint, führte zu der oben angegebenen Erklärung, dass es sich um kataphorische Wirkungen handle. Diese Erklärung, in dem allgemein eingeführten Sinne genommen, reicht für unsere Erscheinungen sicher nicht aus. Nach dieser Meinung ist das specifische Leitungsvermögen der an einander grenzenden Elektrolyte von wesentlichem Einfluss. Nun zeigt sich vor Allem, dass dieses Widerstandsphänomen bei Anwendung gewöhnlichen Wassers oder verdünnter Salzlösungen ganz gleichmässig auftritt; dann ist sicher der Unterschied zwischen dem Leitungsvermögen vom Pflanzensaft und gewöhnlichem Wasser nur ein sehr geringer: Besonders aber ist die folgende, schon bekannte ¹⁾ Thatsache von Wichtigkeit. Kocht man den Stengeltheil, der eben noch den eigenthümlichen Widerstand zeigte, etwa 10 Minuten lang, so tritt bei erneuter Durchleitung des Stromes nichts von dem vorher Gesehenen wieder auf. Die Grösse der Elektroden ist jetzt durchaus gleichgültig für den Verlauf der Intensitätsschwankungen: Ferner ist — und dies hat auf die erste mitgetheilte Versuchsreihe Bezug — jetzt auch die Richtung des Stromes, ob auf- oder absteigend, für die Stromintensität gleichgültig. Die groben, direct erkennbaren Aenderungen, die das Kochen am Stengeltheil hervorbringt, bestehen hauptsächlich in einer geringen Wasseraufnahme, womit das Leitungsvermögen etwas zunimmt. Die Epidermis hat ganz ihr früheres Aussehen bewahrt und die chemische Natur des Pflanzensaltes ist sicher gar nicht oder um ganz geringes verändert. Es muss also die Möglichkeit, diesen Widerstand zu entwickeln, auf gewissen Bedingungen beruhen, die nur in der lebenden Pflanze existiren und mit deren Tod aufhören.

Diesen Widerstand sieht man natürlich auftreten, sowohl bei absteigender als bei aufsteigender Richtung des Stromes; und er zeigt sich, wenn man verschiedenartige Theile der ganzen Pflanzenoberfläche (Stengel, Blattspitze etc.) als Anlagestellen benutzt. Wählt man nun Zuleitungspunkte und sonstige äussere Versuchsbedingungen möglichst gleichartig,

1) Vergl. die obige Literatur.

so zeigen auch diese Versuche, dass die eine Stromrichtung und zwar die aufsteigende gegenüber der absteigenden begünstigt ist.

Man könnte dies Resultat, wenn der Unterschied gering wäre, rein statistisch feststellen, indem man alle möglichen Versuchsvarianten anstellt. Es ist indess diese Differenz so auffallend, dass schon wenige Versuche sie deutlich hervortreten lassen. Ich will dies in der folgenden schematischen Form aussprechen, die der ungefähre Ausdruck der Erscheinungen ist, die man an einem cylindrischen Stengelstücke beobachten kann:

A. Schmale Eintrittsstelle oben (breite unten):

- a) absteigender Strom: nimmt rasch und stetig ab;
- b) aufsteigender Strom: nimmt langsam zu.

B. Schmale Eintrittsstelle unten (breite oben):

- a) absteigender Strom: nimmt sehr langsam zu (scheint constant);
- b) aufsteigender Strom: nimmt sehr langsam ab (scheint constant).

Versuchsbeispiele sind sehr schwer anzuführen: Das eben Angegebene ist der mittlere, aber sehr constante Ausdruck zahlreicher Versuche.

Es ist in dem obigen Schema eigentlich nur eine Verschiedenheit in dem zeitlichen Auftreten der stromabändernden Einwirkungen ausgesprochen, nicht eine Verschiedenheit in dem specifischen Leistungsvermögen nach den beiden Richtungen. Allerdings scheint mir auch die letztere durch die sie verhüllenden Nebenerscheinungen hindurch aus den Versuchen erkennbar zu sein. Aber das unmittelbar Auffallende dieser Versuche lässt sich kurz so definiren: Die Veränderungen, die der fließende elektrische Strom selbst erzeugt, werden in verschiedener Intensität und mit verschieden grosser Geschwindigkeit hervorgerufen, je nachdem die eine oder die andere Stromrichtung besteht. Die stromschwächenden Veränderungen treten bei unseren jetzigen Versuchsbedingungen rascher und stärker hervor, wenn der Strom von oben nach unten fließt: dieselben Veränderungen entstehen in geringerer Intensität und langsamer, wenn der Strom von unten nach oben fließt. Ich brauche wohl nicht auszuführen, dass die beobachtete Stromesänderung die Resultirende aus einer stromverstärkenden und mehreren stromvermindernden Nebenwirkungen ist. Eine genauere Analyse ist leicht anzustellen: sie lehrt nichts Weiteres. Natürlich ist die eine wie die andere Stelle am Stengel im Grossen und Ganzen gleich gut befähigt, die Eintrittsstelle abzugeben, die die ungünstigeren Stromintensitäten aufweist. Denn wenn man aus einem langen Stengel weiter nach oben oder nach unten ein kürzeres Stück zur Anstellung der Versuche sich herausseheidet, so ist im Allgemeinen der Verlauf dessen, was die beiden Stücke zeigen, derselbe. Es ist dann das Resultat dieser Versuche so zusammenzufassen: Im Inneren des Pflanzentheils müssen die Bedingungen dafür vorhanden sein, dass ein Widerstandsphänomen, dessen Auftreten mit der Grösse des stromaufnehmenden Oberflächentheils zusammenhängt, nach verschiedener Richtung in verschie-

dener Weise sich entwickelt. Es ist auch hier die aufsteigende Richtung gegenüber der absteigenden begünstigt.

Bei der nächsten Versuchsgruppe, die ich jetzt beschreiben werde, wird der Strom dem Pflanzenstengel oder der ganzen im Topfe stehenden Pflanze mit gleich grossen, ausgiebigen Berührungsoberflächen zugeleitet. Zumeist fallen zunächst auf eine Reihe von Erscheinungen, die so erklärt werden müssen, dass auf gewisse, die Stromintensität beeinflussende Veränderungen des intrapolaren Stengelstückes, die ausserhalb der Zuleitungsschnüre gelegenen, noch im normalen Zusammenhange stehenden Theile des Stengels eine Einwirkung haben. Man sollte ja a priori erwarten, dass nur die zwischen die Zuleitungsschnüre eingeschaltete Strecke für die elektrische Leitung in Betracht kommt. — Zugleich hiemit beobachtet man dann noch eine Reihe von Erscheinungen, die deutlich einen Unterschied zwischen oben und unten erkennen lassen. —

Man denke sich einen Schössling von 4 m Länge und auf demselben die den einzelnen Centimetern entsprechenden Zahlen von 1 bis 400 so aufgetragen, dass die Zahl 1 an die natürliche Spitze, die Zahl 400 an das der Wurzel nähere Ende zu stehen kommt. Nun lege man die Schnüre an die Stellen, die den Zahlen 97 und 89 etwa entsprechen, so dass ein 8 cm langes Stengelstück direct durchflossen wird: es werden dann eine Reihe von Erscheinungen anders sich zeigen, wenn das Stück von 1 bis 88 noch in natürlichem Zusammenhang mit dem unteren Ende sich befindet, wie wenn es weggeschnitten worden ist.

Man kann mit kurzen Worten diese Veränderungen so bezeichnen: Der Strom ist stärker in der Richtung, in welcher vor ihm das grössere, undurchflossene Stengelstück gelegen ist. Es ist also, wenn die beschriebene schematische Versuchsanordnung wieder benutzt wird, der Strom stärker, wenn er vom Punkte 97 zu 89 fliesst, als in der Richtung 89 gegen 97: — umgekehrt, fliesst der Strom vom Punkte 3 zum Punkte 41, so ist er stärker als in der Richtung 41 zu 3: weil in beiden Fällen jenseits des Austrittspunktes des Stromes (jenseits der Kathode) noch ein grösseres freies Stengelstück liegt. — In dem letzteren Falle, wo der eine Zuleitungspunkt die Spitze des Stengels, der Strom also absteigend gerichtet ist, überwiegt demnach der gerade jetzt behandelte stromverstärkende Umstand den früher erkannten gleichsinnig wirkenden (die aufsteigende Richtung) und zwar bei weitem: Der Strom ist in absteigender Richtung dadurch stärker als in aufsteigender.

Der eben in dieser Form ausgesprochene Satz von dem Einflusse des jenseits der Kathode gelegenen Stengelstückes ist natürlich wieder nur der allgemeine beiläufige Ausdruck dessen, was man wirklich beobachtet. Genauer muss dies so beschrieben werden. Es ist vor Allem schon der erste Ausschlag des Galvanometers bei der angegebenen Stromrichtung (meistens beträchtlich) stärker als bei der entgegengesetzten. Da ja durch

den Strom selbst Veränderungen, die die Intensität herunterdrücken, hervorgerufen werden, so ist es zweckmässig, möglichst rasch den Ausschlag am Galvanometer sich ausbilden zu lassen, was man durch kleine Veranstellungen leicht zu Stande bringt.

Lässt man den Strom einige Zeit in derselben Richtung geschlossen, so bemerkt man als Regel eine Abnahme desselben, die durch die verschiedenen oben bezeichneten stromschwächenden Einflüsse bedingt ist. In dem verschieden raschen und verschieden starken Auftreten dieser letzteren zeigen sich Unterschiede, die an dem numerirten Zweig besprochen werden sollen.

Die Elektroden liegen bei 97 und 89: der Strom fliesst aufsteigend. Das beobachtete langsame Abfallen ist hier nur zum Theil durch das Auftreten des schon beschriebenen Widerstandes bedingt. Es tritt jetzt noch, durch den Strom entwickelt, eine elektromotorische Gegenkraft (innere Polarisation) auf. Diese ist die Ursache, dass beim raschen Wechseln der Stromesrichtung (durch Umlegen einer Wippe) die unmittelbar nachher beobachtete Stromstärke sogar grösser als die vorher bestandene ist. Diese Intensität nimmt aber zuerst rapid schnell, späterhin langsam ab, um allmählich in einem ebenso langsamen weiteren Abfall, wie vor der Stromumkehr aufzugehen. Diese jetzt beobachtete Stromintensität liegt beträchtlich niedriger als die vor der Stromwendung in etwa gleichem Stadium vorhandene (also Stromstärke etwa 3 Minuten nach erstem Stromschluss beträchtlich stärker als Stromstärke 3 Minuten nach Umlegen der Wippe). Hätte die erste Schliessung des Stromes in absteigender Richtung (89 gegen 97) stattgefunden, so wäre die erste Ablenkung beträchtlich geringer gewesen als die des aufsteigenden Stromes.

Diese innere Polarisation, die hier zum erstenmale in unseren Versuchen so intensiv auftritt, dass es gelingt, sie direct in demselben Stromkreis zu erkennen, erscheint gerade unter diesen Versuchsbedingungen, wenn ausserhalb der Zuleitungsstellen noch freie, undurchströmte Stengelpartien gelegen sind, am intensivsten¹⁾. Sie ist ebenfalls (aber im Allgemeinen nicht so stark) zu beobachten, wenn man einem kurzen Stengelstück die Zuleitungssehnüre kurz neben den freien Querschnitten an die natürliche Oberfläche anlegt.

Diese innere Polarisation tritt auf, wenn der Strom nach den beiden Richtungen durch längere Zeit geschlossen war. Gewöhnlich aber ist sie stärker, wenn der Strom gegen das längere freie Stück floss, als in der entgegengesetzten Richtung (also stärker nach dem Strom 97 zu 89 als nach dem Strom 89 zu 97).

1) Es steht diese Erscheinung mit anderen gleichzeitig auftretenden elektrischen Phänomenen wahrscheinlich in einem gewissen inneren Zusammenhang. Doch will ich hierauf, da dies nicht im ganzen Plane liegt, einstweilen nicht eingehen.

Legt man die Elektroden an der Spitze des Stengels an (bei 3 und 11), so beobachtet man ebenfalls den oben angegebenen allgemeinen Unterschied, d. h. der Strom 3 zu 11 ist stärker als 11 zu 3: es ist aber dieser Unterschied in den allermeisten Fällen geringer, als wenn die Elektroden an der Basis des Stengels liegen. Man kann sagen: die bessere Leitungsfähigkeit des Stengels in aufsteigender Richtung gleicht das Ueberwiegen des Stromes in der Richtung, in der vor ihm noch eine undurchflossene Partie gelegen ist, theilweise aus.

Der wirkliche Abfall der Stromintensität bei dauerndem Schliessen geschieht demnach etwa so. Die Stromintensität bei der Richtung 3 zu 11 und 11 zu 3 nimmt ungefähr mit der gleichen Geschwindigkeit ab. Dagegen geschieht in der Richtung 89 zu 97 die Verminderung viel rascher als in der Richtung 97 zu 89. — Was die relative Betheiligung der beiden Componenten (Widerstand und Polarisation) an dem beobachteten Stromabfall betrifft, so scheint mir, soweit ich einstweilen aus Versuchen über diesen schwierigen Gegenstand etwas aussagen kann, eher der Widerstand nach beiden Richtungen verschieden; eine verschieden starke Polarisirbarkeit nach beiden Richtungen, glaube ich, ist nicht vorhanden.

Bemerken will ich hier noch, dass diese Polarisation bei relativ geringen Stromstärken schon recht beträchtlich ist und dass sie nur, wenn man der Oberfläche des Stengels (nicht dem Querschnitte) den Strom zuleitet, so stark auftritt. Die Epidermis des Stengels hat auf das Quale der Erscheinungen keinen Einfluss: schabt man die Oberhaut an zwei Stellen weg und legt die Zuleitungssehnüre an das verwundete Parenchym, so ist jetzt nur die Stromintensität beträchtlich grösser als vorher: in demselben Maasse aber haben auch die Geschwindigkeiten, womit die Intensitätsveränderungen geschehen, zugenommen. Ja die innere Polarisirbarkeit scheint relativ noch beträchtlicher geworden zu sein.

Natürlich kommen alle die Erscheinungen, die wir als die Resultate dieser dritten Gruppe von Versuchen beschrieben haben, zur Beobachtung, wenn man durch ganze in Töpfen stehende Pflanzen elektrische Ströme leitet. Ich mache hierauf zur Beurtheilung der dabei herrschenden Stromstärken besonders aufmerksam.

Schneidet man an den Zweigen während der Stromdauer die extrapolar gelegenen Stücke ab, so bemerkt man, dass dadurch momentan Aenderungen in den eben bestehenden Ausschlägen hervorgerufen werden. Diese Ausschläge sind Summationswirkungen und der eine Summand davon ist die elektromotorische Kraft, die der Akt des Schneidens und Quetschens selbst in den Stengeln erregt. Ich habe in dem II. Bande dieser »Arbeiten des botanischen Instituts zu Würzburg« auf Seite 1 bis 17 ausführliche Mittheilung hierüber gemacht. Darnach wird diejenige Elektrode, in deren Nähe der Schnitt geführt wird, stärker negativ gegen die andere, in deren Nähe die Stengel intakt geblieben, so dass also im letzteren selbst

ein elektrischer Strom von der Schnittflächenelektrode gegen die intakte Elektrode hin gerichtet auftritt. Dieser Strom addirt sich dem schon bestehenden hinzu. Es wird also unmittelbar die folgende Tabelle verständlich sein :

Unten abgeschnitten : aufsteigender Strom : nimmt zu.				
Oben	-	aufsteigender	-	nimmt ab.
Unten	-	absteigender	-	nimmt ab.
Oben	-	aufsteigender	-	nimmt zu.

Das Eintreten dieser Erscheinungen ist durchaus sicher. Der neu hinzutretende Ausschlag scheint im Allgemeinen um so grösser, je näher an der Elektrode man schneidet. Ob die Länge des weggeschnittenen Stückes einen Einfluss habe, darüber kann ich einstweilen bei dem Wechsel im jeweiligen Versuchsergebniss keine zusammenfassende Angabe machen.

Vor Allem aber erwartet man von dem Schneiden neben dieser elektromotorischen Wirkung einen Effekt auf die oben beschriebenen Differenzen in der Leitungsfähigkeit. Diese Unterschiede werden durch das Abschneiden des jenseits der Kathode liegenden freien Stengelstückes nicht sofort vollständig aufgehoben. Man beobachtet vielmehr unmittelbar nach dem Schneiden nur einen relativ kleinen Rückgang der zunächst beobachteten Verhältnisse und erst im Verlaufe von mehreren Minuten treten allmählich solche Aenderungen in der Leitungsfähigkeit ein, wie man sie von einem ursprünglich als kurzes Stück in die Leitung gebrachten Zweig erwarten kann. Wenn also beispielsweise bei der Stromrichtung 3 zu 11 bei 12 etwa abgeschnitten wird, so ist zunächst noch die Stromrichtung 3 zu 11 überwiegend über die Richtung 11 zu 3. Erst nach einiger Zeit kommt dann die bessere Leitungsfähigkeit in aufsteigender Richtung zur deutlichen Erscheinung.

Einige allgemeine Beobachtungen, die gleichmässig bei den verschiedenen Versuchsmanieren gemacht werden, müssen noch kurz berührt werden.

Lässt man irgend eine Versuchsanordnung durch längere Zeit in derselben Verbindung, so beobachtet man eine stetige Abnahme der Ausschläge und damit eine immer weiter fortschreitende Ausgleichung der anfänglich in verschiedener Weise sich ändernden Verschiedenheiten. Diese Abnahme ist vor Allem durch äusseren Widerstand bedingt: denn es hebt sich die Stromintensität durch Verschieben der Elektroden. Dieser äussere Widerstand erscheint aber auch dann, wenn gar kein Strom durch den Pflanzentheil hindurch geschickt wird, hervorgerufen durch das blosses Anliegen der feuchten Elektrode. Es scheint mir diese Erscheinung wichtig für die Erklärung des Auftretens dieses Widerstandes überhaupt. Diese Wirkung des äusseren Widerstandes ist in exquisiten Fällen so beträchtlich, dass bei geringer Verschiebung der einen Elektrode der durch das längere Stück eingeführte grössere Widerstand vollständig ausgeglichen wird durch die Widerstandsverminderung, welche die frische Zuleitungs-

stelle bedingt. Uebrigens ist dieses, wie alle anderen Stromschwächenden Momente, viel stärker, wenn man an der Oberfläche oder dem Längsschnitt des Stengels überhaupt, als wenn man am Querschnitt anlegt. — Daneben aber treten durch die längere Dauer des Stromes, gleichgültig, ob man die Richtung variirt oder nicht, im Inneren Veränderungen auf, welche die Leitungsfähigkeit immer mehr heruntersetzen. Dieses ist ein eigentlicher innerer Widerstand und in dem eben Gesagten liegt eine Bestätigung des oben angegebenen Satzes von E. DE BOIS-REYMOND, dass der innere Widerstand von der Richtung des primären Stromes unabhängig sei.

Weitere Einzelheiten der Versuche will ich einstweilen, da dieselben zu dem oben Gesagten, in gewissem Sinne Zusammengehörigen, vorderhand keine Beziehungen erkennen lassen, nicht mittheilen.

Eine Erklärung der beschriebenen Thatsachen auf Grund schon vorhandener allgemeiner Erkenntnisse lässt sich nicht geben, wenn auch manche interessante Beziehung zu Bekanntem jetzt schon sich hervorheben liesse. Eine Erklärung aber auf Grund neu aufgestellter Hypothesen will ich erst dann versuchen, wenn ich diese letzteren besser begründen kann, als dies jetzt noch der Fall ist.

Das eigentliche Resultat dieser Untersuchungen kann man dahin kurz zusammenfassen: Pflanzentheile, die hauptsächlich nach einer Richtung ausgedehnt sind, lassen bei der Prüfung auf das elektrische Leitungsvermögen Unterschiede zwischen oben und unten, resp. zwischen aufsteigender und absteigender Richtung erkennen.

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): Kunkel A.

Artikel/Article: [Ueber einige Eigenthümlichkeiten des elektrischen Leitungsvermögens lebender Pflanzentheile 333-345](#)