Seite
452
489
495
500
521
529
537
627
648
665
670
689
719

I.

Ueber elektromotorische Wirkungen an unverletzten lebenden Pflanzentheilen.

Von

Dr. A. Kunkel,

Privatdocent der Physiologie.

Die Beobachter, die bis vor kurzer Zeit sich damit beschäftigten, elektromotorische Wirkungen an Pflanzentheilen als eine Lebenseigenschaft derselben zu constatiren, verfuhren dabei meist so, dass sie Verletzungen an der Pflanze anbrachten und an die verletzten Stellen die stromableitenden Vorrichtungen anlegten. Von verschiedenen Punkten der unverletzten Oberfläche waren bestimmte regelmässige Ströme nicht zu erhalten, weil die unverletzte Epidermis einen zu grossen Widerstand in den Stromkreis einführe.

Diesen Versuchen gegenüber war es vor Allem ein experimenteller Fortschritt, als Burdon Sanderson von verschiedenen Punkten der unverletzten Oberfläche beim Blatte von Dionaea muscipula bestimmte Ströme erhielt. B. Sanderson machte gleichzeitig die interessante Thatsache bekannt, dass dieser Strom des ruhenden Blattes eine Schwankung erleidet im Momente, wo das Blatt sich contrahirt, seine Hälften zusammenklappt. H. Munk hat darauf in einer ausführlichen Monographie[1]) diesen Eigenstrom der Dionaea und seine Veränderungen bei Reizung des Blattes genauer untersucht. B. Sanderson wandte das Thomson'sche Elektrometer bei seinen Versuchen an; H. Munk gebrauchte eine Wiedemann'sche Boussole.

Ich benutzte anfänglich zu meinen Versuchen ein Spiegel-Galvanometer nach Meissner-Meierstein, ging aber bald auf verschiedenseitige Empfehlung hin zum Capillar-Elektrometer von Lippmann über. Dasselbe leistete durchaus das, was ich von ihm verlangte[2]). Das Instrument ist wahrscheinlich

1) Archiv von du Bois und Reichert: 1876, Heft 1 und 2. Siehe dort auch die Citate von B. Sanderson's Veröffentlichungen.

2) Das Instrument besteht aus einer etwa 1 Meter hohen Glasröhre, die mit Quecksilber gefüllt und unten in eine sehr feine Capillare ausgezogen ist. Die capilläre Depression hält der darüber stehenden Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Die Capillare taucht in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glasgefäss, und letztere reicht bis an den Quecksilber-Meniscus in die Capillare hinein. Wird vermittels geeigneter Zuleitungs-Vorrichtungen durch die Capillare ein elektrischer Strom geschickt, so wird durch die Zersetzungs-Produkte, die sich an der Quecksilber-Kuppe anhäufen, die Capillar-

das beste von den jetzt gebräuchlichen Galvanometern. Speciell für unsere Zwecke ist es geeignet, weil man sehr grosse Widerstände, ohne der Empfindlichkeit Eintrag zu thun, in den Stromkreis aufnehmen darf. Die Reaktion geschieht sehr schnell: die Dämpfung ist vollkommen. Bezüglich der Beschreibung des Instrumentes selbst verweise ich auf die Originalabhandlung von Lippmann (Poggend. Ann. Bd. 149, p. 546.

§ I. Elektromotorische Wirkungen ruhender unverletzter Pflanzentheile.

Es sind hier nur die elektromotorischen Wirkungen, die man von bestimmten Oberflächenpunkten der Blätter der verschiedensten dicotylen Pflanzen erhalten kann, beschrieben. An anderen Pflanzentheilen habe ich gleiche regelmässige Wirkungen nicht beobachten können, auch nicht darnach gesucht, da weitere Beobachtungen diese Untersuchung von vornherein als nicht sehr werthvoll erscheinen liessen. Die Begründung hiefür später.

Die Untersuchung an Blättern geschah so, dass verschiedenen Punkten der Blattoberfläche direkt die unpolarisirbaren Thonstiefel-Elektroden angelegt wurden. Kurze Glasröhrchen trugen an ihrem unteren Ende, dicht schliessend angekittet, einen Thonschuh, der aus feinem porösen Thon (Zelle für galvanisches Element) geschnitzt war und an seinem vorderen freien Ende mit einer leicht nach unten gebogenen Spitze endigte. Die Glasröhrchen wurden beim Gebrauch mit Zinksulfatlösung gefüllt, in die ein verquickter Zinkdraht tauchte. Sie waren an durchbohrten Holzklötzchen befestigt und letztere selbst steckten am einen Ende von etwa fusslangen Bleiröhrenstücken, deren anderes Ende im feststehenden Fussgestell eines sogenannten Retortenhalters eingeschraubt war. Die Elektroden besassen so in ausgiebigster Weise freie Beweglichkeit und blieben in jeder gegebenen Stellung fest stehen. — Als Flüssigkeit, die die Thonstücke tränkte, wurde anfänglich halbprocentige Kalisalpeterlösung, die für Pflanzentheile durchaus unschädlich ist, gewählt; bald aber nahm ich gewöhnliches Brunnenwasser, da dies für die Pflanzen mindestens ebenso indifferent ist und die geringe Verschlechterung des Leitungsvermögens gegenüber den anderen Widerständen gar nicht in Betracht kommt.

Indem ich nun mit den Elektroden die Oberfläche eines Blattes (zuerst bei Castanea vesca) nach bestimmten Regeln abtastete und jedesmal am Instrument den eventuellen Spannungsunterschied der beiden berührten Punkte beobachtete, zeigte sich, dass unter sonst gleichen Bedingungen die

Constante geändert: das Quecksilber erleidet eine Verschiebung. Man beobachtet also als Wirkung eines das Instrument durchfliessenden Stromes die Verschiebung eines Quecksilber-Meniscus durch ein Mikroskop, in dessen Ocular ein Ocular-Mikrometer eingelegt ist. Ich benutzte als Objektiv ein System Hartnack 4 (eine schwache Vergrösserung für diesen Zweck), als Ocular Hartnack II. Ich konnte bei dieser Vergrösserung noch Zehntel-Theilstriche schätzen; ein ganzer Theilstrich war schon ein sehr deutlicher Ausschlag.

Blattnerven immer sich positiv gegen die grüne Blattfläche verhalten. Diese Angabe (wie alle weiteren ähnlichen) ist in der von du Bois-Reymond eingeführten Bedeutung zu verstehen, dass im ableitenden Bogen die positive Elektrizität von den Nerven gegen die grüne Blattfläche strömt.

Diese eben beschriebene elektromotorische Wirkung habe ich an allen Blättern dicotyler Pflanzen, die ich darauf untersuchte, wieder gefunden: so bei Aristolochia tomentosa, Dolichos capitata, Vitis vinifera und vulpina, Ampelopsis hed., Nicotiana tabac., Ricinus communis, Cucurbita pepo u. s. w. — Der starke Mittelnerv ist schwach positiv wirksam gegen die dünneren Seitennerven: an letzteren sind die Vereinigungspunkte zweier Nerven stark positiv wirksame Stellen. Es ist im Allgemeinen gleichgültig, ob die Blätter noch mit der Pflanze in unversehrtem Zusammenhang stehen, oder ob sie getrennt sind, und für den letzteren Fall, ob sie in der Luft oder unter Wasser abgeschnitten sind; so lange sie nur noch frisch und strotzend, also lebendig sind, zeigen sie das oben angegebene Verhalten. — Die Unterfläche der Blätter, die ich untersuchte (Castanea, Vitis), ist der dem Lichte zugekehrten Seite gleich wirksam.

Bei den Blättern von Monocotylen ist die Trennung zwischen Nerv und grüner Fläche nicht so entschieden ausgeprägt, dass man hier von beiden Theilen getrennt ableiten könnte. Ich habe darum solche Blätter nicht weiter auf gleiches Verhalten untersucht.

Diese als die normale geschilderte elektromotorische Wirksamkeit kann man jeden Augenblick umkehren, wenn man die Nerven-Elektrode erst anlegt, nachdem die Blattflächen-Elektrode schon längere Zeit ihr Oberflächen-Element feucht berührt hatte. Auch wenn man an eine bestimmte Stelle der grünen Blattfläche einen Tropfen Wasser setzt und nach einiger Zeit die eine Elektrode mit diesem Tropfen, die andere mit einer bisher unbenetzten Stelle eines Nerven in leitende Berührung bringt, ist erstere die positive. Dies heisst: die längere Zeit benetzt gewesene Stelle verhält sich (anfänglich) stets positiv gegen die nur kürzere Zeit benetzte. Dies gilt natürlich erst recht von zwei Blattflächen- oder zwei Nervenpunkten u. s. w. — Hat man so einen Blattflächenpunkt positiv gemacht gegen einen Nervenpunkt, durch verschiedenzeitiges Anlegen, und lässt man beide Elektroden längere Zeit durchaus unverrückt liegen, so bemerkt man, dass der bestimmt gerichtete Ausschlag des Elektrometers allmählig geringer, nach relativ kurzer Zeit Null wird und sich dann umkehrt, so dass also auch jetzt wieder der Nerv sich schliesslich positiv gegen die grüne Fläche verhält. Diese Angaben beziehen sich alle auf verhältnissmässig kurze Zeiten: es war z. B. die eine Stelle 1 Minute oder etwas länger benetzt gewesen, bis die andere Elektrode angelegt wurde. War so eine Stelle der grünen Blattfläche positiv gegen einen Nervenpunkt geworden, so war nach etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Minuten dauerndem Anliegen die Nervenelektrode jetzt wieder die positive geworden

Die Erklärung dieser Erscheinungen wurde anfänglich in chemischen Verschiedenheiten der beiden einen elektrischen Spannungsunterschied zeigenden Blattheile gesucht. Solche schon mit dem Reagenzpapier nachweisbare, scharf ausgeprägte chemische Differenzen an verschiedenen Punkten desselben Pflanzenorganes (saures Parenchym, alkalische Siebröhren) sind ja vorhanden und auch bekannt und studirt [1]). Die späterhin beschriebenen Versuche — auch diese schon — führen von selbst auf ein anderes, fruchtbareres Erklärungsprincip. Hier sei die ersterwähnte Hypothese nur angezogen, weil von ihr aus die folgenden Versuche unternommen wurden.

Die Lumina der Gefässe kräftig transspirirender Pflanzen sind mit verdünnter Luft gefüllt [2]). Schneidet man drum einen Stengel unter Wasser durch, so schiesst dasselbe in die Gefäss-Lumina, vom Luftdruck getrieben, hoch hinauf. Ich schnitt Blätter unter verdünnter Säure und unter verdünntem Kali ab, um diese Flüssigkeiten in die Gefässe zu bringen. Nach dem Abschneiden blieben die Wunden der Blattstiele in der Flüssigkeit eingetaucht stehen, die gewöhnliches Brunnenwasser, einmal spurweise mit Kalilauge, das anderemal mit Salpetersäure, nur bis zu eben entschiedener Reaktion versetzt, war.

Jedes von diesen Blättern verhielt sich bei wiederholten Versuchen unmittelbar nach dem Abschneiden stark normal wirksam, d. h. die Nerven waren positiv. Nun wurden sofort beide Blätter mit einander verglichen, indem die Gläser, worin sie standen, durch eine mit gewöhnlichem Wasser gefüllte bügelförmige Glasröhre mit einander verbunden wurden. Es waren jetzt beide Blätter zusammen wie Eines wirksam, d. h. die Nerven waren immer positiv gegen jeden Punkt der grünen Blattfläche. (Ganz ebenso ist dies, wenn man in gleicher Weise Säure- und Kaliblatt, jedes für sich mit einem unter gewöhnlichem neutralen Wasser abgeschnittenen vergleicht.)

Dies gilt jedoch nur für kurze Zeit, d. h. für 6 bis 8 Stunden nach dem Abschneiden. Wenn schon nach 12 Stunden beide Blätter wieder in gleicher Weise mit einander verglichen werden, zeigt sich das Säureblatt meistens gegen das Kaliblatt positiv wirksam und nach 2 und mehr Tagen tritt dies immer schärfer hervor, so dass jetzt jede Stelle des Säureblattes sich positiv verhält gegen jede Stelle des Kaliblattes. Dabei ist Kaliblatt allein und Säureblatt allein jedes für sich normal wirksam (Nerv positiv gegen Blattfläche). Solcher Blattpaare habe ich zerschnitten und auf ihre Reaktion geprüft. Von beiden (dem Kali- und dem Säureblatt) reagirten Nerven und Blattflächen-Parenchym deutlich sauer und zwar für einen unbefangenen Beobachter anscheinend gleich stark.

Von einer Erklärung der eben beschriebenen Erscheinungen aus chemi-

---

1) Vergl. J. Sachs: Botan. Zeitung 1862 p. 257 ff. und Experimentalphysiologie der Pflanzen pag. 83.

2) Cf. den Aufsatz von J. Sachs: Ueber Porosität des Holzes, 1877.

schen Differenzen kann darum keine Rede sein, schon desshalb nicht, weil die verdünnte Säure und die verdünnte Kalilösung, als direkt von ihnen der Säure-Alkalistrom abgeleitet wurde, eine minime, mit dem Elektrometer kaum mehr nachweisbare elektromotorische Wirksamkeit zeigten. Die Ausschläge der Combination: Säure-Kaliblatt waren dagegen sehr beträchtlich.

Kali- und Säureblätter zeigten dagegen darin einen Unterschied, dass letztere im Durchschnitte früher zu Grunde gingen. Dabei verkrümmten sich die Blattränder nach hinten, so dass die obere Fläche unregelmässig convex wurde. Die ersten Anfänge dieser Verkrümmungen waren oft schon nach 1 bis 2 Tagen zu constatiren. Die Blattfläche sah dabei, wenn diese Gestaltsänderungen schon weit vorgeschritten waren, noch immer grün und frisch aus.

Eine Erklärung der bisher beschriebenen Erscheinungen soll späterhin versucht werden.

Oefter, aber nicht bei jedem Blatt und nicht bei einer bestimmten Behandlungsweise durchgängig zeigte sich, dass abgeschnittene Blätter, nachdem sie einige Zeit, in Flüssigkeit eingetaucht, gestanden waren, umgekehrt, wie oben als Regel beschrieben ist, elektromotorisch wirksam waren: es waren die Nerven negativ gegen die grüne Fläche. Unmittelbar nach dem Abschneiden hatten solche Blätter normales Verhalten dargeboten; nach einigen Stunden ergab eine neue Prüfung die Umkehr und diese machte dann, wenn anders die Blätter nicht starben, nach weiteren 10 bis 12 Stunden wieder dem regelmässigen Verhalten Platz. Es sieht aus, als ob in solchen Blättern tiefe innere Störungen vorhanden waren, die entweder zum Tode führten, oder aber überwunden wurden.

§ II. Elektromotorische Wirkungen bei Verletzungen und passiven Krümmungen von Pflanzentheilen.

Die in diesem Abschnitte beschriebenen Versuche sind an Stengeln und zwar an grünen, jungen Schösslingen angestellt. Die Elektroden lagen auch hier immer der Epidermis an, niemals wurde von einer Wunde abgeleitet. Da auch hier sich zeigt, dass die länger anliegende Elektrode positiv gegen die kürzere Zeit angelegte sich verhält, so mussten vor Allem die Elektroden an ihren bezüglichen Berührungspunkten für die Dauer des Versuches absolut fixirt werden. Dazu machte ich Schlingen von gut ausgewaschenem Baumwollfaden (Strickbaumwolle), die ich mit ihrem einen Ende fest um die Stelle des Stengels, von der abgeleitet werden sollte, schlang, während das andere Ende um den Thonstiefel der Elektrode geschlungen war. Das kurze Mittelstück der Schlinge hing in losem Bogen frei durch die Luft, so dass leichte Bewegungen des Stengels, ohne dass an den Elektroden und den Berührungsstellen das Mindeste geändert wurde, ausgeführt werden konnten. Dies

zeigte sich auch am Elektrometer: dasselbe blieb während solcher leichter Bewegungen durchaus in Ruhe.

Eine bestimmte Spannungsdifferenz zwischen höher und tiefer gelegenen Punkten des Stengels habe ich nicht constatiren können. Es mag vielleicht eine solche vorhanden sein, jedenfalls ist sie, wie das Folgende lehren wird, schwierig nachzuweisen.

Wenn man nämlich zwei über einander liegende Stengelpunkte in oben beschriebener Weise mit dem Elektrometer verbindet, so erhält man fast immer einen mässigen Ausschlag, demzufolge (anscheinend regellos) bald der obere bald der untere Punkt als der positive erscheint. Wenn man jetzt ausserhalb der Elektroden, in bestimmter Entfernung von einer derselben, eine Verletzung am Stengel anbringt (schneidet oder quetscht[1]), so bewegt sich sofort das Quecksilber in der Capillare des Elektrometers und zwar in dem Sinne, dass die Elektrode, deren nächste Umgebung unverletzt geblieben ist, jetzt stärker positiv geworden sich zeigt. Seien die Elektroden *A* und *B* und werde oberhalb und in der Nähe von *A* eine Verletzung angebracht, so verhält sich jetzt die Stelle *B* positiver als vorher. War schon vorher *B* positiv gegen *A* gewesen, so vergrössert sich der Ausschlag, war *B* vorher negativ gegen *A*, so geht das Quecksilber gegen die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück und noch darüber hinaus u. s. w. Der allgemeine Verlauf der Erscheinung ist ausnahmslos wie hier beschrieben. Je näher im Allgemeinen an der Elektrode die Verletzung erfolgt, um so stärker ist der »negative Zuwachsstrom« und um so früher tritt er auf. Man kann unmittelbar beobachten, dass die besprochene Aenderung später erfolgt, wenn die verletzte Stelle weiter von der Elektrode entfernt ist, als wenn eine nähere Stelle misshandelt wird. Allerdings beträgt diese Zeit nach Schätzung nur Zehntheile einer Sekunde, vielleicht in maximo einmal einige Zehntel, aber doch drängt sich diese zeitliche Differenz des Eintretens der angegebenen Schwankung ganz unmittelbar der Beobachtung auf. Der absolute Umfang am Stengel, innerhalb dessen die Verletzung angebracht werden darf, um noch auf die nächst gelegene Elektrode zu wirken, ist relativ gering. Geht man 5 bis 6 Centimeter oder noch weiter von der Elektrode weg, so ist der erwartete Ausschlag entweder sehr klein oder bleibt ganz aus. Doch zeigen verschiedene Stengel beträchtliche quantitative Unterschiede in all' den bisher beschriebenen Erscheinungen, ich möchte sagen, sie sind verschieden reizbar. Sehr saftreiche frische Theile geben grössere absolute Ausschläge und grössere Empfindlichkeit, was den absoluten Umfang des die Erscheinung bedingenden Stengeltheils betrifft. — Der Verlauf des »negativen Stromzuwachses« ist folgender: Unmittelbar nach Applikation der Verletzung beginnt die Wanderung des Quecksilbers und hat, wenn mit Einem Schlage die Verletzung gesetzt ist, in ganz kurzer Zeit (höchstens bis zu 1 Sekunde)

[1] Ich habe dies mit der Scheere, Pincette und Zange gethan.

ihr Maximum erreicht; dann beginnt, nachdem vielleicht durch 1 bis 2 Sekunden der Ausschlag anscheinend ruhig stehen geblieben war, sofort die Rückwanderung des Quecksilbers gegen die ursprüngliche Gleichgewichtslage, erreicht aber dieselbe, wenn inzwischen Alles ruhig stehen geblieben war, für gewöhnlich nicht mehr ganz; es bleibt eine länger dauernde Spannungsdifferenz in dem Sinne bestehen, dass die Stelle, in deren Nähe die Verletzung gesetzt ist, negativer sich verhält als sie dies vorher war. Wenn man den Stengel langsam durch Schliessen einer Zange quetscht, so bemerkt man, dass der besprochene Ausschlag geringer ist (und auch scheinbar später eintritt) als bei Schliessen der Zange durch einen Ruck.

Man könnte auch bei diesen Versuchen vielleicht an chemische Wirkungen denken. Die meisten Pflanzenstengel besitzen eine nicht glatte Oberfläche, sondern zeigen regelmässige Kanten und zwischen diesen Furchen. In den capillären Räumen auf dem Grunde der letzteren laufen Flüssigkeiten, die den Stengel benetzen, als welche z. B. die beim Schneiden oder Quetschen austretenden sauren Zellsäfte sind, mit grosser Geschwindigkeit weiter, können also die Elektroden benetzen. Abgesehen davon, dass dies bei den vollständig glatten Stengeln, die ich anwandte (z. B. Polygonum fagopyrum), vollständig auszuschliessen ist, weist schon der zeitliche Verlauf der Schwankung diese Erklärung zurück, sowie die absolute Grösse des Ausschlags, die auf einen solchen Säure-Wasserstrom nicht bezogen werden kann. Am eclatantesten aber spricht dagegen, dass man beim Biegen des Stengels, wo von einer Continuitätstrennung nicht die Rede ist, ganz die gleichen Erscheinungen wie bei Verletzung und zwar stärker auftretend beobachten kann. Wenn man nämlich einen Stengel oberhalb der einen Elektrode abbiegt, so dass die Elektrode (das umgelegte Band) selbst dabei natürlich durchaus nicht irgendwie mechanisch insultirt wird, so zeigt sich sofort am Elektrometer ein Ausschlag, der um so stärker ist, je stärker die Biegung und je näher an der Elektrode sie gelegen ist und je rascher sie geschieht. Der Ausschlag geht wieder nach der Seite, dass er die Elektrode, in deren Nähe die Biegungsstelle liegt, als »negativer« gegen die andere geworden anzeigt.

Hier sei einstweilen, weil die gerade dargelegten Versuche am leichtesten, ich möchte sagen von selbst, dazu hinleiten, der Grundgedanke kurz angegeben, der als Versuch einer Erklärung für die bisher und noch weiterhin beschriebenen Erscheinungen benützt werden soll. Alle diese Erscheinungen hängen darnach mit der eigenthümlichen Struktur der sogen. organisirten Gebilde und zwar mit ihrer Imbibition zusammen. Das Wasser, das in einem solchen Theile enthalten ist, bildet für sich ein Continuum und ist dabei in besonderer Weise zwischen die eigentlichen organischen Moleküle zwischengelagert. So wie ich irgendwo diesen Vertheilungszustand störe, treten Wasserverschiebungen nach bestimmter Gesetzmässigkeit auf. Von diesen Wasserbewegungen allein leiten wir die beobachteten elektromoto-

rischen Wirkungen ab. — Die schärfere Formulirung unserer Meinung erfolgt später. —

Unsere Beweisführung geht desshalb vorderhand darauf hinaus, zu zeigen, dass jede Wasserbewegung in einer Pflanze mit bestimmten elektromotorischen Wirkungen verbunden sei.

Dass Schneiden und Quetschen eines strotzenden Pflanzenstengels eine Wasserbewegung unmittelbar zur Folge hat, die natürlich in den der Wunde nächstgelegenen Stellen augenblicklich am ausgiebigsten sein muss, zeigt theils die direkte Beobachtung, theils eine zwingende Ueberlegung. Starkes und rasches Abbiegen eines Pflanzenstengels aber wird die ausgiebigste Wasserverschiebung der Längsaxe des Stengels parallel zur Folge haben. Nach Aussen kann hier nichts treten. Von der concaven Seite der Biegungsstelle wird Wasser weggedrückt. Da aber die Wasserbewegung der Längsaxe des Stengels parallel viel leichter vor sich geht als quer durch den Stengel, so wird das von der concaven Seite Weggepresste nach Oben und nach Unten von der Biegungsstelle und nicht zunächst nach der Convexität geschoben werden, wo man sich wohl denken kann, dass Raum geschaffen sei. Dorthin können dann allerdings langsam durch Querleitung die anfänglich überfüllten oberen und unteren Stengeltheile sich entleeren [1]).

Am Elektrometer zeigt sich Folgendes: Biegt man den Stengel, dem die Elektroden in der angegebenen Weise angelegt sind, oberhalb der oberen Elektrode rasch ab, so tritt sofort ein starker Ausschlag ein. Hält man jetzt den Stengel in dieser Stellung fest, so geht langsam der Ausschlag zurück und das Quecksilber ist nach etwa 1 bis 2 Minuten entweder vollständig auf der ursprünglichen Ruhestellung angekommen (dies ist der seltenere Fall) oder es stellt sich auf einen neuen Ruhepunkt ein, der mehr oder weniger von der ursprünglichen Ruhestellung noch entfernt bleibt. Biegt man jetzt den Stengel rasch wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück, so erfolgt ein neuer Ausschlag im selben Sinne wie der vorhergehende, der dann in gleicher Weise wieder langsam zurückgeht. Dieser Versuch sagt, auf Grund unserer Hypothese discutirt, Folgendes. Der ersten Biegung entspricht eine Wasserverschiebung; während der Stengel gebogen bleibt, stellt sich der neuen Lage aller Theile entsprechend wieder ein Gleichgewichtszustand her, indem in die Convexität des Bogens die gegen früher jetzt praller gefüllten über und unter der Biegungsstelle gelegenen Stengeltheile sich entleeren. Es wird jetzt wieder ein Zustand geschaffen, der in Beziehung auf den Grad der Imbibition der Theile, woran die Elektroden liegen, dem ursprünglichen Gleichgewichtszustande nahe kommt. Jetzt schnelles Rückbiegen: dadurch wird wieder die bisher convexe Seite des Bogens comprimirt und eine Wasserverschiebung eingeleitet, die allererst ein plus nach

1) Dies ist natürlich nur der allgemeine, aber zutreffende Ausdruck sehr complicirter Vorgänge. Vergleiche darüber die Anmerkung auf Seite 9.

Oben und nach Unten schafft. Bleibt dann Alles ruhig, so strebt allmählich die Wasservertheilung wieder dem ursprünglichen Gleichgewichtszustande zu.

Eine wesentliche Stütze für diese Ansicht liefert das vorausbestimmte Resultat des folgenden Versuchs. Biegt man einen Stengel ganz allmählich, so hat das aus der concaven Seite verdrängte Wasser Zeit nach der convexen Seite hinüberzuwandern, wo ja Platz dafür vorhanden ist: in der Längsrichtung des Stengels findet keine Bewegung statt. Man beobachtet in der That, dass bei ganz langsamem Abbiegen des Stengels das Elektrometer so gut wie vollständig in Ruhe bleibt. (Ganz kleine Erzitterungen des Quecksilbers bleiben selbstverständlich nicht aus, weil man ja doch immer ruckweise biegt, zumal wenn man gleichzeitig beobachtet.) — Lässt man nach dem langsamen Biegen den Stengel plötzlich zurückschnellen, so erfolgt sofort der verlangte starke Ausschlag, der ausbleibt, wenn man ebenso bedächtig den gebogenen Stengel wieder in seine ursprüngliche Lage zurückführt [1].

Ich werde einige Versuche dieser Art in extenso beschreiben:

1. Versuchsbeispiel:

Ruhelage des Quecksilber-Meniscus bei Theilstrich (sc.) 21·5 (der Elektrometerkreis ist in sich geschlossen). Elektroden liegen an zwei etwa 9 bis 10 Centimeter von einander entfernten Stellen einer Weinrebe. Durch Oeffnen einer Nebenschliessung werden die Elektroden jetzt mit dem Elektrometer in leitende Verbindung gebracht: sofort Bewegung des Quecksilbers auf sc. 16·5, d. h. die obere Ableitungsstelle der Rebe verhält sich positiv gegen die untere. (Die Bedeutung der Richtung des Ausschlags ist ein für alle Mal am Elektrometer festgestellt.) Jetzt wird oberhalb der oberen Elektrode Stengel rasch abgebogen. Quecksilber wandert rasch und steht bald still bei sc. 26·0. Hier bleibt der Meniscus durch zwei bis drei Sekunden etwa stehen und beginnt dann (während der Stengel immer ruhig festgehalten wird) langsam zu sinken. Nach $^1/_2$ Minute steht Meniscus auf sc. 22·0. Sinken nur mehr sehr langsam. Jetzt Stengel zurückschnellen lassen: sofort Ausschlag auf sc. 25·5, der langsam zurückgeht, nach zwei

1) Alle diese Annahmen über die bestimmte Art der Wasserverschiebung beim Biegen sind nicht nur höchst wahrscheinlich, sondern entsprechen durchaus im Grossen und Ganzen dem thatsächlichen Verhalten. Zum Beweise dessen der folgende Versuch. Stücke Holz (Aeste von Pinus orient.) werden durch aktives Hineinpressen mit Wasser möglichst angefüllt. Der eine Querschnitt, der beobachtet werden soll, wird trocken gewischt, dass kein tropfbares Wasser mehr darauf steht. Jetzt biege ich rasch das Holz und halte es gebogen fest. Sofort tritt an der Querschnittshälfte, die der Concavität entspricht, ein Wassertropfen auf, der aber nach wenigen Sekunden wieder verschwunden ist. Nun biege ich rasch zurück. Jetzt tritt ein neuer Wassertropfen an der Querschnittshälfte, die bisher die convexe, auf. Auch dieser Tropfen ist nach wenigen Sekunden wieder im Holze versunken. — Biege ich darauf gleich stark, aber sehr langsam, so zeigt sich auf dem Querschnitte kein tropfbares Wasser. — Einer weiteren Erklärung wird es nicht bedürfen.

Minuten Stand bei sc. 21·0. Jetzt durch eingeschaltete Nebenschliessung wieder Elektrometerkreis in sich geschlossen: Quecksilber auf sc. 21·5, seine ursprüngliche Gleichgewichtslage. (Es ist jetzt die ursprüngliche Spannungsdifferenz zwischen den beiden abgeleiteten Stengelpunkten fast vollständig verschwunden.)

2. Versuchsbeispiel (Weinrebe).

Wieder zwei etwa 9 Centimeter entfernte Stellen abgeleitet. Ruhelage des Quecksilbers bei sc. 19·0. Jetzt Stengelstrom in Elektrometer geschickt: Quecksilber auf sc. 6·5. Dies bedeutet (Stromwender ist anders gelegt), dass die obere Elektrode negativ gegen die untere sich verhält. Stengel wird nun sehr langsam oben gebogen. Quecksilber bleibt ruhig: nur ganz zuletzt, wo beim Biegen einmal ein Ruck geschieht, auf Theilstrich 5·0, von wo zurück auf sc. 6·0. Jetzt Stengel schnellend zurückgebogen: Quecksilber aus der Theilung etwa auf sc. —1, von wo langsam zurück: nach 2 bis 3 Minuten auf sc. 12·0 ruhig geworden. (Hier war ursprünglich die oben abgeleitete Stelle negativ gegen die untere, wurde durch Biegen stärker negativ; am Ende des Versuchs aber war die Spannungsdifferenz geringer.)

Ganz in der gleichen Weise verläuft der Versuch, wenn man unterhalb der unteren Elektrode biegt; für die hier besprochene Erscheinung ist oben und unten am Stengel durchaus gleichgültig.

Aus zahlreichen Versuchen geht hervor, dass der durch die Biegung bedingte negative Ausschlag ceteris paribus grösser ist, wenn die durch die Biegung negativer werdende Elektrode vorher die positive war, als wenn sie schon die negative war. —

Auch wenn man zwischen den Elektroden schneidet oder quetscht, treten sofort im Elektrometer Aenderungen des vorherigen Ausschlags ein und zwar im Allgemeinen im gleichen Sinne, dass die Elektrode, in deren Nähe die Wunde liegt, jetzt negativer wird als sie vorher war. Doch liegt hier der Verlauf der Aenderungen nicht so einfach. Es kommen wiederholte, rasch sich folgende Schwankungen des Quecksilbers vor, deren Gleichgewichtspunkt sich gegen den Gleichgewichtspunkt des Elektrometers verschiebt. In dem kommt dann das Quecksilber bald zur Ruhe, die Anordnung ist jetzt stromlos. Von schlechter Dämpfung des Instrumentes rühren diese (wie auch gleich weiterhin beschriebenen) Schwankungen nicht her; denn diese zeigt sich bei viel schwierigeren Anforderungen vollkommen. Es entsprechen diesen Schwankungen parallel gehende Wasserverschiebungen im Stengel, wie eine kurze Ueberlegung der oben gegebenen Daten von selbst ergibt: doch will ich, da eigentlich jeder Fall eine gesonderte Analyse verlangt, darauf einstweilen nicht eingehen. Die Beobachtung ist hier nicht so einfach und durchsichtig und darum die Beweiskraft nicht so bindend wie bei den bisher beschriebenen Versuchen.

Auch bei unverletzten ruhenden Stengeln beobachtet man zuweilen

Schwankungen der Spannungsdifferenz zweier abgeleiteten Stellen, die in sehr langer Periode ablaufen. Doch habe ich darüber noch keine genaueren Beobachtungen angestellt.

§ III. Elektromotorische Wirkungen aktiv beweglicher Pflanzentheile.

Ich hatte vor, verschiedene aktiv sich bewegende Pflanzentheile auf ihre elektromotorische Wirksamkeit zu untersuchen, blieb aber aus äusseren Gründen bei der Untersuchung von Mimosa pudica stehen.

Eine genaue Prüfung auf Spannungsdifferenzen verschiedener Oberflächenpunkte habe ich nicht durchführen können, weil die Haare, mit denen der grösste Theil der Oberfläche dieser Pflanze besetzt ist, eine genaue Anlegung der Elektroden hindert und bei Forcirung dieses Versuches sofort aktive Bewegungen der Pflanzen eintreten. Da aber diese letzteren selbst wieder Aenderungen in den Spannungsdifferenzen bedingen, so ist damit eine Schwierigkeit gegeben, die ich bisher nicht überwunden habe. Ich habe mich darum darauf beschränkt, immer von denselben zwei Punkten, an welche die Elektroden sich leicht applicieren lassen, abzuleiten. Es genügte mir, zu constatiren, dass bei der Bewegung des Blattes Aenderungen der vorher beobachteten Spannungsdifferenz eintreten.

Auch hier natürlich hat die Verschiebung der Elektroden von den ursprünglich zur Anlegung ausgewählten Punkten eine sofortige Aenderung des Ausschlages in dem oben mehrfach erwähnten Sinne zur Folge. Es wurden darum wieder als Zwischenleitung zwischen Thonstiefel und Pflanze nasse Baumwollfäden verwendet, die mit ihren freien Enden an die bezüglichen Berührungspunkte der Mimose einfach angelegt wurden. Bei vorsichtiger Handhabung erwies sich diese Massregel durchaus zweckentsprechend. Die abgeleiteten Punkte waren einmal der obere Umfang des Wulstes, der die Insertionsstelle des Blattes an den Stengel bildet und dann einer der beiden relativ starken Stacheln, die unmittelbar neben der Insertionsstelle des Blattes paarig sich aus dem Stengel erheben.

Leitet man von diesen beiden Punkten eines Mimosenblattes ab, so erhält man einen bestimmt gerichteten, meist beträchtlichen Ausschlag. Im Momente nun, wo durch die stattgehabte Reizung[1]) die Bewegung des Blattes eintritt, zeigt sich eine Aenderung an dem bisher beobachteten Ausschlag des Elektrometers, eine Stromesschwankung tritt auf, die aus mehreren, immer alternirend gerichteten Oscillationen des Quecksilbers besteht. Zuerst kommt ein rasch verlaufender kleiner Vorschlag, dem unmittelbar ein meist viel bedeutenderer entgegengesetzt gerichteter Ausschlag folgt. Von der äussersten Grenze dieses Ausschlags geht nun langsam das Quecksilber wie-

1) Dieselbe wurde allermeist durch Berühren des reizbaren unteren Umfanges des Blattstielwulstes ausgeführt.

der zurück. Manchmal erreicht es jetzt schon seine Ruhestellung. In anderen Fällen beobachtet man aber noch weitere, allerdings nur geringe und in immer länger gezogener Periode verlaufende Ausschläge vor dem Einstellen in die neue Ruhelage.

Vor weiterer Detailbesprechung dieses Versuchsergebnisses sei unser bisher benütztes Erklärungsprincip kurz angezogen. Wir wissen durch die sorgfältige Analyse der Bewegungs-Erscheinungen der Mimosen [1]), dass dieselben mit Wasser-Bewegungen zusammenhängen, dass die Wasser-Bewegung die Ursache der mechanischen Bewegung ist. Es stimmt also mit unserer Forderung überein, dass wir bei der Bewegung des Mimosen-Blattes elektromotorische Wirkungen beobachten. Da Wasserbewegung und elektromotorische Wirkung durchaus parallel gehen müssen, so bedeutet dies für unseren Fall, dass die mit der Bewegung des Mimosen-Blattes verbundene Wasserströmung in wiederholten Stössen sich vollzieht, was ohnehin aus einer theoretischen Ueberlegung als wahrscheinlich hervorgeht. Es ist also die äusserlich erkennbare grobe Aenderung der Lage des Blattes den Wasserbewegungen nicht durchaus parallel.

Es seien zuvor zur Erläuterung des zeitlichen Verlaufes der skizzirten Stromesschwankungen einige Versuchsprotokolle mitgetheilt.

1. Versuchsprotokoll.

Gleichgewichtslage bei sc. 4·0; Elektroden liegen am oberen Umfang des Wulstes und einem Stachel an. Strom des ruhenden Blattes in Elektrometer, sofort sc. 15·0. Jetzt Reiz, sofort Ausschlag zurück auf 7·0: mit rascher Umkehr dann auf 20·0, dann langsam (innerhalb 1 bis 2 Minuten etwa) zurück auf 5·5: von hier sehr langsam auf 2·0. Beobachtung jetzt abgebrochen. — Diese Ausschläge bedeuten:

Ruhendes Blatt: Stachel + gegen Blattstiel;
bei Reiz auf 7·0: bezeichnet als negativer Vorschlag;
dann auf 20·0: positiver Ausschlag;
dann 5·5: langsamer negativer Rückschlag.

2. Versuchsprotokoll.

Gleiche Anlegstellen. Ruhelage des Quecksilbers bei 12·0. Strom der ruhenden Mimose sc. 15·0. Jetzt Reiz: schnell auf 10·0, dann rasch auf 40·0; von hier langsam zurück auf 20·0: hier Ruhestellung. Also wieder:

Stachel + gegen Blattstiel;
Vorschlag bei Reizung war negativ;
folgender Ausschlag - positiv;
langsamer Rückschlag - negativ.

3. Versuchsprotokoll.

Gleiche Stellen sind abgeleitet: Ruhelage bei sc. 99·0; Strom des ruhenden Mimosenblattes: Quecksilber nach den negativen Zahlen aus dem Ge-

1) Die Literatur bei J. Sachs: Lehrbuch d. Botanik, 4. Aufl. pag. 861.

sichtsfeld. Jetzt wird durch Zweig eines Grove'schen Elementes der Ausschlag der ruhenden Mimose compensirt (nach bekannter Methode von DU BOIS): Quecksilber wieder auf 99·0.

Jetzt Reizung: Vorschlag + 103·0 ist negativ,
Ausschlag + 89·0 ist positiv,
langsamer Rückschlag + 95 ist negativ.

Beobachtung jetzt abgebrochen.

Vor Allem geht aus dem letztbeschriebenen Versuch hervor, dass die auf die Reizung folgenden Ausschläge ganz in gleichem Sinne verlaufen, mag man den vom ruhenden Blatte abgeleiteten Strom vor der Reizung compensiren oder nicht. Es handelt sich also um wirkliche Aenderungen des Spannungsunterschiedes. — Führt man zur Vereinfachung für die verschiedenen auf den Reiz eintretenden Schwankungen die termini Vorschlag, Ausschlag und Rückschlag ein, so ist nach den eben gegebenen Beispielen der Vorschlag negativ, der Ausschlag positiv, der Rückschlag negativ: der Vorschlag verläuft sehr schnell, etwas langsamer schon, aber noch immer ziemlich rasch bewegt sich das Quecksilber während des Ausschlags, sehr langsam verläuft der Rückschlag. Folgen noch weitere Oscillationen, so verlaufen diese meist so langsam, dass sie direkt nur bei einiger Aufmerksamkeit mit dem Auge verfolgt werden können.

Durch den Rückschlag (oder durch die noch folgenden Oscillationen) nähert sich das Quecksilber allmählich (im günstigsten Falle in etwa 5 Minuten) der Lage, die es durch den ruhenden Mimosenstrom inne hatte. In dieser Zeit hat auch ungefähr das Mimosenblatt seine ursprüngliche Stellung nahezu wieder eingenommen.

Die bisherige Beschreibung schildert den gewöhnlichen Verlauf der Erscheinungen. Abweichungen hievon kommen vor. Der Vorschlag ist zuweilen verschwindend klein; ich habe ihn ganz fehlen sehen. Letzteres einmal fast durchgängig bei allen an einem Vormittag angestellten Versuchen: das Wetter war trüb und kalt, die Pflanzen selbst durch starke Anstösse kaum reizbar, alle Ausschläge waren gering. — Die obigen Versuche geben den Stachel am Mimosenstengel als positiv gegen den oberen Umfang des Wulstes am ruhenden Blatte an. Ich habe in vereinzelten Fällen zwischen diesen beiden Punkten auch die entgegengesetzte Spannungsdifferenz beobachtet. Ob ich hier von anderen Punkten ableitete als in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle und ob nahe nebenliegende Stellen der Mimose so rasche Sprünge der Spannungsunterschiede zeigen, oder ob es sich um wirkliche Umkehr handelte, kann ich einstweilen nicht angeben. Die Ableitung vom oberen Umfang des Blattstiels geschah allerdings nicht immer genau an derselben Stelle; da auch hier Härchen, wenn auch seltener als sonst, angebracht sind, so ist eine möglichst isolirt punktförmige Anlegung ebenso wie nur die genaue Bestimmung, welches eigentlich der abgeleitete Punkt sei, schwierig. Die Ausschläge, die bei Reizung in diesen Fällen eintreten, sind schwierig zu deuten.

Oefter ging der als Vorschlag bezeichneten Schwankung noch ein kleinerer Vorschlag (nach der Schnelligkeit des Verlaufes so bezeichnet) voraus. Ein aus den verschiedenen Oscillationen des Quecksilbers durch seinen Umfang hervorstechender Ausschlag zeigt an, dass der Stachel positiv gegen den Blattstielpunkt sich verhielt. — Eine Einzelbesprechung der Ausnahmsfälle hat einstweilen geringe Bedeutung.

Es genügt wohl der kurze Hinweis auf die Uebereinstimmung, welche zwischen den oben beschriebenen Erscheinungen und denen, die H. Munk bei Reizung des Blattes von Dionaea muscipula beobachtete, besteht.

§ IV. Allgemeine Betrachtungen.

Die gegen Ende des § II mitgetheilten Versuche haben gezeigt, dass ganz direkt mit Wasserbewegungen bestimmte elektromotorische Wirkungen zusammenhängen. Alle übrigen in § II und III beschriebenen Versuche sprechen auf das Entschiedenste für die gleiche Auffassung. Ich kehre darum den Satz um und sage: Wo ich an Pflanzentheilen elektromotorische Wirkungen beobachte, schliesse ich auf Wasserbewegung. Da es sich um dasselbe Objekt und um genau die gleichen Versuchsbedingungen handelt, halte ich diese Umkehr für erlaubt. Wenigstens führt sie ein fruchtbares und weiterhin discutirbares Erklärungsprincip ein.

Wir müssen zuerst eine allgemeine Eigenschaft aller organisirten Gebilde betrachten. Wir dürfen annehmen, dass die zwischen die eigentlichen organischen Molecüle zwischengelagerten Wassermolecüle in einem besonderen Zustande dort vorhanden seien. Es sprechen dafür eine Reihe analoger Erfahrungen.

Wilhelmi stellte fest, dass eine dünne, einer Glasplatte unmittelbar aufliegende Wasserschicht dichter sei als das übrige Wasser-Continuum. Eine ganze Reihe weiterer Beobachtungen spricht dafür, dass zwischen Flüssigkeiten und festen Körpern und zwischen Flüssigkeiten selbst unter bestimmten Umständen Anziehungskräfte auftreten, die zu einer Verdichtung führen. Es ist speciell beim Stärkemehl beobachtet, dass bei seiner Imbibition mit Wasser eine namhafte Wärmeentwickelung auftritt (Temperaturerhöhung um 2 bis 3 ° C.). Dass diese Anziehungskräfte so bedeutend sind, dass die Schwere ihnen gegenüber eigentlich gar nicht in Betracht kommt, sieht man daraus, dass zur Krone von 400 Fuss hohen Bäumen täglich Centner von Wasser gehoben werden. Sägt man einen solchen Baum in der Nähe des Bodens an, so fliesst von all dem Wasser, das in einem Continuum 400 Fuss hoch aufgeschichtet ist, kein Tropfen aus.

Daraus folgt: Wenn tropfbares Wasser in einen imbibitionsfähigen Theil irgendwo eindringt, so findet an der Stelle eine Energie-Aenderung statt (und vice versa).

Wenn wir drum bei einem Pflanzentheil an verschiedenen Stellen stoff-

liche und gestaltliche Unterschiede feststellen, so hat es sicher nichts Gezwungenes, dort auch im Allgemeinen verschiedene »Zustände der Imbibition« anzunehmen. Bringt man an zwei solcher Stellen Wassertropfen, so beginnen sofort Wasserströmungen. Dass diese letzteren sehr lebhaft sind (z. B. durch die unverletzte Cuticula von Blättern hindurch), lässt sich an einem ganz groben Erfolg unmittelbar nachweisen. Man lässt Pflanzen durch die Wurzeln Lithium-Salze aufnehmen: das Lithium ist nach kurzer Zeit schon in den Blättern nachweisbar. Wenn man solche frisch abgeschnittene Blätter (natürlich nur deren unverletzte Oberfläche) kurze Zeit in Wasser legt, so gehen relativ grosse Mengen von Lithium heraus, so dass man dasselbe unmittelbar (ohne zu concentriren) im Waschwasser spektroskopisch nachweisen kann [1]. — Diese oben statuirten Strömungsvorgänge werden verschieden sein an verschiedenwerthigen Theilen der Pflanzenoberfläche.

Diese Wasserströmungen führen unter bestimmten Umständen zum Auftreten elektrischer Strömungen. Das physikalische Analogon für die Erklärung dieser elektrischen Ströme geben die Quincke'schen Diaphragmenströme ab. Davon wird noch ausführlicher zu reden sein.

Ich erkläre drum vor Allem die elektrischen Ströme, die von verschiedenen Oberflächenpunkten eines ruhenden Blattes abgeleitet werden können (§ I), als durch Wasserströmung hervorgerufen. Immer ja, wenn wir den Strom des ruhenden Blattes ableiten wollen, bringen wir feuchte Elektroden an die abgeleiteten Stellen. Solche Stellen am Blatt, die einen »Spannungsunterschied« zeigen, sind Nerv und grüne Blattfläche. Diese Organtheile zeigen bei einem sehr einfachen Versuch ein durchaus verschiedenes Verhalten, das für unsere Ansicht spricht. Taucht man ein frisch abgeschnittenes Blatt unter Wasser, so ist sofort die ganze Nervatur benetzt; die grüne Blattfläche dagegen zeigt durch einen schönen Silberglanz an, wie fest auf ihr die Luft haftet: sie wird nur sehr schwer und langsam und unvollständig benetzt. Hebt man das Blatt heraus, so läuft an der grünen Fläche das Wasser fast vollständig ab, aber an der Nervatur bleibt es dauernd haften.

Wir sagen also: an den beiden mit feuchten Elektroden berührten Stellen werden sofort Wasserverschiebungen hervorgerufen; diese letzteren sind verschieden, da sie unter verschiedenen Bedingungen eingeleitet werden. Die beiden Stellen waren schon vorher (im sogen. Gleichgewichtszustand) verschieden: die Störungen, die ich durch Befeuchten setze, laufen darum auch verschieden ab (als verschieden rasches, gegen verschieden grosse Widerstände geschehendes, vielleicht auch ungleichsinnig gerichtetes Verschieben der eindringenden Wassertheilchen). Unsere Annahme ist, dass ein Theil der Energie-Aenderungen, die an beiden Stellen verschieden sein werden, bei Anlegung eines Leitungsbogens sich ausgleicht unter der Form eines elektrischen Stromes.

---

1) Cf. die Mittheilungen von J. Sachs hierüber in diesem Hefte.

Diese Auffassung ist von den bisherigen, welche die elektromotorischen Wirkungen lebender Pflanzentheile erklären, durchaus verschieden. Man sagte bisher: es sind von vorneherein elektrische Spannungsunterschiede vorhanden, man bekommt darum durch Anlegen feuchter Elektroden einen Strom im abgeleiteten Bogen. Die hier benützte Hypothese lautet dagegen: Es existiren keine Spannungsdifferenzen, aber es existiren Unterschiede in der Art und Anordnung der letzten Theilchen und diese bedingen, wenn ich feuchte Elektroden anlege, Unterschiede im Auftreten gewisser Bewegungsvorgänge, deren (theilweise) Ausgleichung in der Form elektrischer Ströme geschieht.

Es macht keine Schwierigkeit, das Auftreten elektrischer Ströme an Pflanzentheilen nach der dargelegten Hypothese auf das Schema der Quincke'schen Diaphragmenströme zurückzuführen. Man mag sich das Zustandekommen der letzteren so erklären: Wo das Wasser in das Diaphragma eindringt, findet (nothwendig nach unseren obigen Ueberlegungen) eine Energie-Aenderung statt; wo es austritt, die gleichgrosse entgegengesetzte. Die dadurch gesetzte Differenz wird (theilweise) ausgeglichen in der Form strömender Elektricität [1]. Oder man mag sagen: die Elektricitätserregung findet durch Reibung des Wassers innerhalb des Thones statt; oder man mag sonstwie den Versuch erklären: jede Erklärungsweise ist auf die obigen Versuchsbedingungen ohne Weiteres übertragbar.

Wie die Versuche des § 1, wo das sogen. Säure- und das Kaliblatt jedes für sich normal wirksam waren, während bei gleichzeitigem Ableiten das Säureblatt stets positiv gegen das Alkaliblatt war, nach der obigen Hypothese zu erklären seien, zeigt das Aussehen der Blätter selbst. Das Säureblatt, ohne eigentlich zu welken, bekam Krümmungen: die Blätter hatten (durch verschieden starke Verdunstung oder durch ungleiche Aufnahme?) verschiedenen Wassergehalt. Dabei konnte jedes Blatt für sich normal wirksam sein: bei der Verbindung musste immer das Säureblatt überwiegen. Ich sehe nicht, wie von irgend einem andern Princip aus das letzte Versuchsergebniss erklärt werden kann.

Nach der oben für Quincke's Diaphragmenströme festgehaltenen Erklärung wird eine Spannungsdifferenz zwischen zwei Punkten eines Pflanzentheils dann zu constatiren sein, wenn die an diesen Punkten durch Berühren mit feuchten Elektroden eingeleiteten Imbibitionsvorgänge mit verschiedenen Energie-Aenderungen verbunden sind; und zwar wird die Elektrode die positive sein, bei der das Eindringen von tropfbarem Wasser nach Innen überwiegt, und diejenige die negative, bei der die entgegengesetzte Richtung prävalirt.

Die Anwendung auf die Blattströme ergibt sich von selbst; ebenso warum die zuerst benetzte Stelle die positive ist. Bei den Stengeln ist der negative

1) Dies ist die von mir benützte Erklärungsweise.

Zuwachsstrom bedingt durch das »Negativerwerden« der einen Elektrode, weil ja immer beim Schneiden, Biegen und Quetschen zunächst ein Wegschieben des Wassers von der zuerst (vor der Continuitätstrennung) comprimirten Stelle statt hat. Es schwillt drum an der Elektrode der Stengel an: Richtung und Intensität des Imbibitionsstroms wird geändert. — Für die Mimosen kann ich eine solche Einzelformulirung noch nicht geben. —

Auch der zeitliche Verlauf der obigen Versuche spricht durchaus für die dargelegte Auffassung.

Ich habe bereits an schematischen Versuchsanordnungen die oben formulirte Hypothese weiter geprüft und durchaus bestätigt gefunden. Ich werde über diese Versuche an einem anderen Orte berichten.

Ein Punkt sei hier noch kurz berührt. Es ist jede aktive und passive Bewegung der einzelnen Theile einer Pflanze gegen einander von einer Wasserverschiebung begleitet: diese Wasserverschiebungen manifestiren sich als Aenderungen des elektromotorischen Verhaltens. Aber nicht jeder Wasserbewegung entspricht eine ihr genau parallel gehende äusserlich erkennbare mechanische Bewegung. Diese letztere ist nur eine ganz unvollkommene Wiedergabe der gröbsten Aenderungen, die in der Pflanze eintreten. Da ja beim Eintritt einer mechanischen Bewegung nicht alle Elementartheile des ganzen bewegten Organes mit Aenderung ihres Flüssigkeitsgehaltes sich betheiligen, so müssen an diesen übrigen passiv mitbewegten Theilen elastische Kräfte von uns durchaus unbekannter Grösse erst noch überwunden werden, ehe es zu einer äusserlich erkennbaren Gestaltsänderung kommt. Es wird desshalb durchaus nicht gezwungen erscheinen, auch dann noch auf Wasserbewegungen aus elektromotorischen Aenderungen zu schliessen, wenn keine äusserlich erkennbare Bewegung des ganzen Pflanzentheils eintritt. Ich habe an Mimosen zu Zeiten, wo sie schlecht reizbar waren, auf sehr schwache Reize hin deutliche elektrische Stromesschwankungen beobachtet, während entweder nur eine minime oder selbst gar keine äussere Bewegung eintrat.

Ich stelle also als Resultat dieser Untersuchung den folgenden Satz auf: Die an Pflanzen beobachteten elektromotorischen Wirkungen sind durch Wasserströmungen veranlasst, die ich entweder durch das Anlegen von Elektroden erst hervorrufe, oder die durch aktive und passive Bewegungen der Pflanzen bedingt sind.

Die Untersuchung ist im Laboratorium des Herrn Prof. Sachs ausgeführt. Ich fühle mich ihm für die Freigebigkeit, mit der er seinen Rath und sein Wissen, sowie die Hilfsmittel des Institutes mir zur Verfügung stellte, tief verpflichtet.

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 elektromotorische Wirkungen an unverletzten lebenden Pflanzentheilen 1-17