

Sitzungsberichte

der

mathematisch - physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

1872. Heft II.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1872.

In Commission bei G. Franz.

Sitzung vom 6. Juli 1872.

Mathematisch - physikalische Classe.

Herr v. Bischoff trägt vor:

„Untersuchungen über Pflanzenelectricität“
von Dr. med. Johannes Ranke ao. Professor. .

§. 1. Allgemeine Gesichtspunkte.

Nach einer alten oft und in mannigfacher Weise ausgesprochenen Hypothese sollte die geheimnissvolle Kraft der Organisation und des Lebens thierischer und pflanzlicher Wesen entweder selbst als Electricität in Erscheinung treten oder doch in ihren Wirkungen mit electricischen Vorgängen auf das Innigste verknüpft sein.

An Stelle eines mehr oder weniger phantastischen Spiels mit polaren Gegensätzen zur Erklärung unverstandener Lebenserscheinungen trat seit der Entdeckung der wahren thierischen Electricität durch E. du Bois-Reymond für die animalen Organismen ein streng formulirtes, alle bis damals und in der Folge bekannt gewordenen hierher gehörigen That- sachen zusammenfassendes und ordnendes Gesetz. Er bewies, dass solange und nur so lange als das Leben der Gewebe währt, in gesetzmässigem Verlaufe electricische Ströme in den thierischen Organen kreisen, dass sich die Veränderungen

der Lebenserscheinungen: Ruhe und Thätigkeit, erhöhte und verminderte Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit in analogen, mit jenen Hand in Hand gehenden Veränderungen der electromotorischen Wirksamkeit der betreffenden Organe wider spiegeln, dass sie mit solchen untrennbar ihrem innersten Wesen nach verknüpft sind.

Glauben wir an eine Einheit des Organisationsgesetzes für die Gesammtheit der Organismen, so erscheint es als ein Postulat der Wissenschaft, das Gesetz der thierischen Electricität durch die Auffindung einer analogen Pflanzenelectricität zu vervollkommen.

Gehört zu dem Leben des Protoplasma's die gesetzmässige electromotorische Wirkung, so muss sich eine solche so gut wie in dem animalen Reiche auch in dem Pflanzenreiche finden. Die Lebenserscheinungen sind in den beiden Hauptgruppen organischer Wesen qualitativ nicht verschieden. Die Stoffvorgänge zerfallen bei beiden in Assimilation d. h. Aneignung und synthetische Umbildung von Stoff zum Aufbau der Organe; und in Stoffwechsel d. h. Verbrauch, Zersetzung von Organstoffen zum Zwecke der Krafterzeugung des Organismus. Bei den Thieren tritt aber der Verbrauch von eigener Kraft und damit der Stoffwechsel in den Vordergrund, während die stille Thätigkeit des Aufbaus organischer Stoffe, die Assimilation bei den (chlorophyllhaltigen) Pflanzen vorwaltet, zu welchen ihnen die Kräfte von aussen, von der Sonne geliefert werden. Wir dürfen vielleicht soviel schon a priori erwarten, dass das Gesetz der gesuchten Pflanzenelectricität zwar im Allgemeinen dem Gesetze der thierischen Electricität entsprechen werde, dass sich aber der Gegensatz in den vorwaltenden Lebenserscheinungen — Stoffzersetzung bei den Thieren, Stoffaufbau bei den Pflanzen — auch in den Formeln der beiden Gesetze der electromotorischen Wirksamkeit der animalen und pflanzlichen Organismen werde geltend machen müssen.

§. 2. Zur Geschichte der Pflanzelectricität.

Versuche, eine wahre Pflanzelectricität, entweder freie electriche Spannung oder galvanische Ströme an Pflanzen nachzuweisen, wurden von einer Reihe französischer und englischer und auch deutscher Forscher, sowohl vor als nach der Entdeckung der wahren thierischen Electricität durch E. du Bois-Reymond, angestellt.

Prüfungen auf freie electriche Spannung fallen hier zunächst ausserhalb unseres Beobachtungskreises. Die Angaben von Alexander Donné und James Blake, welche sich vor den Untersuchungen E. du Bois-Reymond's mit dem Aufsuchen electriche Ströme an Pflanzen beschäftigten, erledigt der genannte Forscher damit ¹⁾, dass er die in ihren Versuchen nicht beseitigte Unsicherheit constatirt, ob die gesehenen Strömungserscheinungen auch unabhängig von den Vorrichtungen vorhanden seien, welche zu ihrer Wahrnehmung dienten.

Zwei deutsche Forscher: Buff und Heidenhain, der erstere in einer erschöpfenden sehr umfangreichen Experimentalreihe, der andere nur gelegentlich, wendeten nach der Entdeckung der thierischen Electricität mit vorwurfsfreien Methoden ihre Aufmerksamkeit den galvanischen Erscheinungen an Pflanzen zu. Sie mussten die von ihnen gesehenen electromotorischen Wirkungen der untersuchten Pflanzen und Pflanzentheile direct auf die durch die angewendeten Versuchsmethoden bedingten Ungleichartigkeiten zurückführen.

Es waren schon analoge electriche Erscheinungen aus dem animalen Reiche bekannt.

Niemand kommt es in den Sinn, den electriche Strom, welchen man nach der Beobachtung E. du Bois-Reymond's

1) E du Bois-Reymont. Untersuchungen über thierische Electricität, Bd. I. S. 9.

Hier findet sich die Angabe der einschlägigen älteren Literatur. Weitere Literaturangaben bei J. Sachs, Experimental-Physiologie der Pflanzen I. Aufl. S. 85.

mit empfindlichen stromprüfenden Instrumenten nachweisen kann ²⁾ zwischen einer Wunde und irgend einem Punkt an der Aussenfläche der unverletzten Oberhaut des Menschen für den Ausdruck einer wahren thierischen Electricität zu halten. Es ist klar und lässt sich leicht experimentell feststellen, dass es bei diesem Versuche die Wundungleichartigkeiten sind, welche den Strom erzeugen, dadurch, dass sie die an sie angelegte Electrode stärker electromotorisch verändern.

Ebensowenig konnte es die Meinung der beiden eben genannten deutschen Autoren werden, dass sie eine wahre Pflanzelectricität nachgewiesen hätten, als sie analoge Ströme wie die eben erwähnten auffanden zwischen einer Pflanzenwunde und der unverletzten, noch von Epidermis bedeckten, reinen Pflanzenoberfläche. Sie beziehen diese Ströme auch, mit Recht, auf die chemische und electromotorische Differenz zwischen dem an der Wunde ausfliessenden Zellsaft, welche die angelegte Electrode verunreinigt, und dem die Pflanzenoberfläche befeuchtenden Wasser. Sie beweisen diese Ursache experimentell.

„Durch die vorliegenden Thatsachen glaube ich“ — sagt Buff am Schlusse seiner Untersuchung ³⁾ — „bewiesen zu haben: — — dass die electromotorische Kraft, welche diese electriche Ausscheidung bedingt — —, mit dem Vegetationsprocess unmittelbar in keinem Zusammenhang steht und nur von dem Gegensatz des Wassers (mit dem Buff auch die Ströme ableitete) zu den Pflanzensäften abhängig ist.“ Zu demselben Schluss kommt, wie Jürgensen mittheilt ⁴⁾ Heidenhain.

2) Untersuchungen ü. th. Electr. III. S. 268 ff. Die Wunde verhält sich positiv! gegen die unverletzte Hautstelle. — Reichert's und du Bois Reymond's Archiv 1867. S. 279 ff. 286 werden ähnliche aber entgegengesetzte electromotorische Wirkungen erwähnt.

3) Annalen d. Chem. u. Pharm. Bd. 89. S. 76—89. 1854.

4) Studien des physiolog. Instit z. Breslau, von Heidenhain. Heft I. 1861.

In ausgedehnten Versuchsreihen an sehr verschiedenen Pflanzen und Pflanzenabschnitten habe ich selbst die von Buff und Heidenhain gesehene Stromentwicklung beobachtet. Man kann den Strom, wie Buff bemerkt, willkürlich bald aufsteigend, bald absteigend, bald nach dieser bald nach jener Seite lenken, je nachdem man oben oder unten oder zur Seite einer unverletzten Stelle der Pflanzenoberfläche, an welcher die eine Electrode anliegt, eine Wunde anbringt, so seicht oder so tief man will, und mit dieser Wunde die zweite Electrode des stromprüfenden Kreises in Berührung bringt. Die Wundfläche fand auch ich hiebei in der Regel (mit einzelnen Einschränkungen, von denen später gehandelt werden soll) negativ gegen die unverletzte Oberhautstelle, so dass also in dem leitenden Bogen ein Strom von der Oberhaut zur Wunde gerichtet kreist, der auf der Oberfläche der Pflanze von der Wunde durch das die Oberfläche befeuchtende Wasser zur zweiten Electrode geht.⁵⁾

Man kann diesem Versuche beliebig eine Gestalt geben, in welcher er oberflächlich an die Versuche über thierische Electricität an Muskeln und Nerven erinnert. Legen wir z. B. an einem sonst unverletzten Stengelstücke einen oder zwei frische Querschnitte an und verbinden nun ableitend einen Punkt der Epidermis oder der nicht zu trockenen Rinde an der Längsoberfläche des annähernd cylinderischen Stücks mit einem Punkt des Querschnitts, so zeigt sich ein Strom, der im ableitenden Bogen von der Längsoberfläche zum Querschnitt d. h. zu der Wundfläche verläuft, welcher sonach im Bogen dieselbe Richtung besitzt wie der „starke Strom“, welchen wir nach E. du Bois-Reymond von einem Nervenstücke oder einem längsfaserigen Muskelcylinder zwischen Querschnitt und Längsschnitt ableiten können.

5) Ganz trockene Pflanzenoberflächen zeigen, da die trockene, ältere, verkorkte Epidermis bekanntlich normal die Electricität nicht leitet, diese Strom-Entwicklung nicht oder nur schwach.

Ich nenne diese von Buff, Heidenhain und wohl schon früher von Anderen gesehenen Ströme an Pflanzen und Pflanzentheilen:

falsche Ströme.

Diese falschen Ströme sind nach dem Gesagten dadurch charakterisirt, dass sich bei ihnen wie bei Muskel und Nerven der Querschnitt negativ gegen die (unverletzte) Längsoberfläche verhält.

Zwischen unverletzten und sonst nicht äusserlich durch Verunreinigung (etwa mit Wundsaft) ungleichartigen Punkten der Längsoberfläche findet sich — auch hier einige später namhaft zu machende Einschränkungen abgerechnet — keine gesetzmässige Stromentwicklung, wie schon Buff l. c. nachgewiesen und ich vielfältig bestätigen konnte. Störungen des electrischen Gleichgewichtes kommen zwar, wie Buff bemerkt, bei solchen Versuchen hie und da vor, „da sie aber bald in dem einen bald in dem andern Sinne wahrgenommen wurden, so mochten zufällige kleine Verletzungen an dieser oder jener Seite die Veranlassung gegeben haben.“ (Buff.) Auch zwischen den inneren Theilen der Pflanze konnte Buff keine gesetzmässigen electromotorischen Wirkungen entdecken (l. c. S. 85). An diesem letzteren Punkte setzen die neuen Versuche mit einem entscheidend gegentheiligen Resultate ein.

§. 3. Beobachtungsmethode.

Die erste Aufgabe neuer Untersuchungen war es, sich womöglich von der Wirkung der Ungleichartigkeiten frei zu halten, welche Veranlassung zu der Entstehung falscher Ströme geben können. Es gelingt das, wie die Versuche ergaben, genügend in der Weise, dass man Stücke aus dem Pflanzeninnern ausschneidet, welche bei saftigen Pflanzen durch die Präparation selbst an allen Stellen ihrer künst-

lichen Oberflächen mit dem Gewebssaft sofort ziemlich gleichmässig überströmt sind.

Es sind damit an allen Punkten der Oberfläche analoge Quellen zu Ungleichartigkeiten vorhanden, welche sich, abgesehen von einem zufälligen und dann unter allen Umständen unregelmässig wirkenden Mehr oder Minder, gegenseitig ganz oder wenigstens mehr oder weniger aufheben. Bei sehr saftigen oder auch bei manchen holzigen Pflanzen fliesst aber bekanntlich am Querschnitt oft mehr Flüssigkeit aus als auf Längsschnitten, die Querschnittelectrode wird also stärker verunreinigt werden als die Längsschnittelectrode, so dass noch immer eine Veranlassung zur Entstehung der falschen Ströme, bei welchen der Querschnitt negativ gegen den Längsschnitt ist, bleibt. Es wird sich sogleich ergeben, dass diese Quelle von Ungleichartigkeiten unsere mitzutheilenden Resultate a fortiori beweist und sicherstellt. Uebrigens kann meist, was die Ergebnisse der Versuche meist als unnöthig erkennen lassen, durch sanftes Andrücken des Querschnitts an reines feines Filtrirpapier die Vertheilung des Gewebssaftes auf Quer- und Längsschnitt gleichmässiger gemacht werden.

Weiter war darauf zu achten, dass sich nicht etwa chemische Ungleichartigkeiten anderer Art, wie sie sich innerhalb der Pflanzengewebe selbst finden, in die Untersuchungsergebnisse störend einmischen konnten. Wir wissen vorzüglich durch die Untersuchungen von J. Sachs, dass es eine Anzahl von Pflanzen gibt, bei denen sich eine chemische Reactions-Differenz der verschiedenen Gewebe in ganz bestimmter Richtung nachweisen lässt⁶⁾. Der an Eiweissstoffen reiche Saft der dünnwandigen Zellenstränge der Gefässbündel reagirt in vielen lebhaft vegetirenden Pflanzen alkalisch, der Saft des umgebenden Zellengewebes ist dagegen

6) Botan. Zeitung. 1862. Nr. 33.

vorwiegend sauer. Es erscheint zunächst wahrscheinlich, dass wir leicht dadurch unrichtige, auf äusserlichen chemischen Ungleichartigkeiten der untersuchten Gewebe beruhende Ströme, analog den falschen Strömen erhalten könnten, wenn wir mit der einen ableitenden Electrode zufällig eine alkalische mit der anderen eine sauer reagirende Gewebsabtheilung berühren würden.

Die Vermeidung dieser Fehlerquelle ergibt sich aus den betreffenden Angaben von J. Sachs von selbst. Sachs zählt l. c. eine Anzahl von Pflanzen auf, bei denen er keine Spur einer solchen Gewebsreactions-Differenz auffinden konnte, bei denen alle Gewebe gleichmässig nur eine stärker oder schwächer saure Reaction zeigen. Es ist klar, dass wir uns, um jenen gefürchteten Fehler sicher zu vermeiden, zunächst bei den Untersuchungen an solche Pflanzen zu halten haben, welche keine erkennbaren Reactionsdifferenzen ihrer Gewebe zeigen. Die Grundversuche wurden aus dieser Ursache an den Blattstielen von *Rheum undulatum* angestellt.

Viel entscheidender als die Vermeidung dieser beiden sich zunächst darbietenden Fehlerquellen zeigte sich die Rücksicht auf den mehr oder weniger regelmässigen Bau der zu prüfenden Pflanzentheile. Es ist bekannt, dass die gesetzmässige Stromentwicklung zwischen Längsschnitt und Querschnitt in ihrer typischen Form bei den Muskeln nur an parallelfaserigen Abschnitten in Erscheinung tritt. Muskeln mit schief auf die Längsaxe verlaufenden Fasern z. B. der *Gastrocnemius* zeigen das electromotorische Gesetz der Stromentwicklung unter dem Einfluss der Neigungs-Ströme (E. du Bois-Reymond's) verhüllt. Es war von vorneherein zu erwarten, dass auch bei den Pflanzen eine analoge Einwirkung der Gewebsanordnung sich finden werde.

Unterscheiden wir (mit Sachs) drei Hauptgewebsarten: 1) Epidermis, 2) Fibrovasalstränge, 3) das den Zwischenraum zwischen diesen beiden ausfüllende Gewebe im Ganzen

als Grundgewebe, so können wir in gewissem Sinne als längsfaserige, resp. parallelfaserige Pflanzenstücke solche bezeichnen, bei denen wie in den mittleren Abschnitten von Stengelgliedern einjähriger dicotyledoner Pflanzen die Fibrovasalstränge der Hauptsache nach in der Richtung der Axe durch das Grundgewebe verlaufen. Ein analoges Verhältniss zeigen die Mittelpartien der Stengelglieder monocotyledoner Pflanzen, sowie Blattstiele und bei den Monocotyledonen auch die Blätter. Auch die Anordnung der Zellen des Grundgewebes ist z. B. im Mark bei vielen Pflanzen eine der Längsrichtung mehr oder weniger parallele. In diesem Sinne zunächst sprechen wir in der Folge von „parallel faserigem Gewebe“, ohne dass wir dabei immer an das Vorhandensein von Fibrovasalsträngen denken wollen. Präparate nur aus Zellenreihen bestehend verhalten sich genau ebenso wie solche mit Fibrovasalsträngen.

Aus den drei genannten Hauptgesichtspunkten wurden zu den folgenden Versuchen zunächst verwendet: nackte Pflanzenstücke, von gleichmässig saurerer Reaktion auf der ganzen Oberfläche und von parallelfaserigem Bau. Zu den Grundversuchen wurden annähernd cylindrische Stücke aus dem Blattstiel von *Rheum undulatum* benützt, deren Längsaxe mit der Blattstielaxe zusammenfiel und welche durch zwei senkrecht auf diese Axe geführte Querschnitte begrenzt waren. Ihre Grösse betrug 2—3 CM. Längen- und 0,5—1,5 CM. Querdurchmesser.

Die stromprüfende Vorrichtung bestand aus einem Meissner-Meyersteinschem Galvanometer und den bekannten neuesten Apparaten E. du Bois-Reymond's zur Ableitung und Bestimmung thierisch electricer Ströme; vor allem unpolarisierbare Electroden in den beiden gebräuchlichen Formen (mit Bäuschen oder die Thonstiefelectroden, letztere besonders zur Ableitung der Querschnittströme). Ein kreis-

förmiger Compensator mit einem Daniell'schen Elemente, Schlüssel, Wippe, feuchte Kammer, E. du Bois-Reymond'sche Ablesevorrichtung für Skala und Fernrohr: Apparat, welche ich zum grossen Theil der Gefälligkeit des Herrn Professor Dr. von Bischoff verdanke.

§. 4. Grundversuche der Pflanzenelectricität an Blattstielen von Rheum angestellt.

a. Falscher Strom.

Schneidet man aus einem lebensfrischen jüngeren Blattstiel von Rheum undulatum ein Stück heraus etwa von der eben angegebenen Grösse und von zwei senkrecht zur Blattstielaxe gerichteten Querschnitten begrenzt und legt nun die eine unpolarisirbare Electrode der für Beobachtung des Nervenstromes genügend empfindlichen stromprüfenden Vorrichtung an einen beliebigen Punkt der Querschnitts, die andere an einen beliebigen Punkt der noch von unverletzter Epidermis bedeckten Längsoberfläche, so zeigt sich ein electricer Strom, der im ableitenden Bogen von der unverletzten Epidermis zum Querschnitt gerichtet ist. Es ist das der oben definirte:

falsche Strom,

bei welchem sich der Querschnitt negativ gegen die unverletzte Längsoberfläche verhält, dessen Richtung also dem Muskel- und Nervenstromen (d. h. dem starken Stromen derselben) entspricht. Der Strom kann ausbleiben, wenn die Längsoberfläche sehr trocken ist.

b. Wahrer Pflanzenstrom.

1. Der starke Pflanzenstrom.

Präparirt man nun die Epidermis entweder allein vorsichtig ab, oder entfernt man die äussere Pflanzenoberfläche und damit auch die Epidermis durch parallel der Blatt-

stielaxe geführte tiefere oder seichtere Schnitte, und bringt das nun nackte Pflanzenstück, wie eben beschrieben worden, wieder in den stromprüfenden Kreis, so dass die eine ableitende Electrode an einem beliebigen Punkt eines der Querschnitte, die andere an einem beliebigen Punkt des (nackten) Längsschnitts angelegt wird, so zeigt sich constant und ohne Ausnahme ein electricer Strom, welcher in dem leitenden Bogen von dem Querschnitt zum Längsschnitt d. h. umgekehrt wie der falsche Strom und umgekehrt wie der Muskel- und Nervenstrom gerichtet ist. Dieser Strom ist: der wahre Pflanzenstrom, der Ausdruck der wahren Pflanzelectricität.

Der eben beschriebene Strom des längsfaserigen resp. parallelfaserigen Pflanzentheils entspricht dem starken Strome E. du Bois-Reymond's zwischen Längsschnitt und Querschnitt an Muskel und Nerven, wir belegen ihn mit der analogen Bezeichnung: starker Pflanzenstrom. Dieser starke Strom verschwindet nicht, wenn wir das zur Prüfung dienende Pflanzenstück durch senkrecht oder parallel zur Axe geführte Schnitte fast beliebig verkleinern. Meist nimmt mit der Verkleinerung zunächst die Ablenkung des Magneten (wegen Verminderung der Widerstände?) zu⁷⁾. Noch kleinere Stücke zeigen den Strom schwächer und schwächer werdend, endlich entzieht er sich ohne sein Gesetz zu verändern der Wahrnehmung. Dieses Verhalten entspricht dem der electromotorischen Wirksamkeit der Muskeln und Nerven.

2. Die schwachen Pflanzenströme.

Nichts beweist bekanntlich die Unabhängigkeit der animalen Electricität von zufälligen äusseren Ungleichartigkeiten sicherer als das Vorhandensein der sogenannten: „schwachen

7) „E. du Bois Reymond: Ueber das Gesetz des Muskelstroms S. 561. Tab. I.

Ströme“ E. du Bois-Reymond's. Nach seiner Bezeichnungsweise nennen wir einen idealen mittleren Querschnitt eines vollkommen cylindrisch gedachten thierischen oder pflanzlichen, gesetzmässig electromotorisch wirkenden Gewebstückes: Aequator. Eine durch die Mittelpunkte seiner Querschnitte gelegte Linie nennen wir Axe.

Legen wir bei Muskel oder Nerven die Electroden an zwei symmetrisch zur Axe gelegene Punkte des Querschnitts oder an zwei symmetrisch zum Aequator gelegene Punkte des Längsschnitts an, so erhalten wir keine Stromentwicklung: unwirksame Anordnung E. du Bois-Reymonds.

Wählen wir zur Ableitung dagegen zwei Querschnittspunkte, welche unsymmetrisch zur Axe gelagert sind, so verhält sich bekanntlich der von der Axe entferntere Punkt positiv gegen den der Axe näher gelegenen. Thierische Electromotore zeigen dann also einen schwachen Strom, der im ableitenden Bogen von dem der Axe ferner (dem Längsschnitt näher) gelegenen Punkt des Querschnitts zu dem der Axe näher gelegenen Punkte gerichtet ist.

Wählen wir zwei unsymmetrisch zum Aequator gelagerte Punkte des Längsschnitts zur Ableitung, so erhalten wir auch schwache Ströme, welche im Muskel und Nerven von dem dem Querschnitt näher gelegenen Punkt zu dem dem Aequator näher gelegenen gerichtet sind. Der dem Aequator näher gelegene Punkt verhält sich positiv gegen einen dem Aequator ferner gelegenen Längsschnittspunkt.

Wir können in analoger Gesetzmässigkeit **schwache Längsschnitt- und Querschnittströme** an parallelfaserigen Pflanzengeweben nachweisen, ihre Stromrichtung ist, entsprechend dem entgegengesetzten Vorzeichen des starken Pflanzenstromes, **der Stromrichtung der schwachen Ströme bei Muskeln und Nerven entgegengesetzt.**

Auch bei parallelfaserigen Pflanzenstücken zeigen sich

symmetrisch zur Axe gelagerte Punkte des Querschnitts, ebenso symmetrisch zum Aequator gelagerte Punkte des Längsschnitts, (abgesehen von zufälligen Störungen des galvanischen Gleichgewichts) gegen einander gleichartig⁸⁾: unwirksame Anordnung bei parallelfaserigen Pflanzengeweben.

Wählen wir zur Ableitung zwei unsymmetrisch zur Axe gelagerte Querschnittspunkte, so verhält sich der der Axe fernere Punkt negativ gegen den der Axe näher gelegenen Punkt. Man erhält also einen schwachen Strom, welcher im ableitenden Bogen von dem der Axe näher gelegenen Punkt zu dem der Axe ferner (dem Längsschnitt näher) gelegenen Punkt gerichtet ist: schwache Querschnittsströme bei parallelfaserigen Pflanzengeweben.

In analoger Weise erhält man einen schwachen Strom zwischen zwei zu dem Aequator unsymmetrisch gelagerten Längsschnittspunkten eines parallelfaserigen Pflanzenstücks. Der Strom ist im ableitenden Bogen von dem dem Aequator ferner gelegenen Punkt zu dem dem Aequator näher gelegenen Punkt des Längsschnitts gerichtet. Der dem Querschnitt näher gelegene Längsschnittspunkt verhält sich also positiv gegen den vom Querschnitt entfernteren Längsschnittspunkt: schwache Längsschnittsströme bei parallelfaserigen Pflanzengeweben.

Zum sicheren Nachweis wählt man am besten einen dem Querschnitt ziemlich nah gelegenen Punkt für die Anlagerung der einen Electrode. (cfr. die Anmerkung.)

8) Wie bei Versuchen an thierischen Electromotoren muss experimentell im speciellen Falle die Lage des Aequators und der Axe festgestellt werden, da wir keine vollkommen gleichmässigen Cylinder vor uns haben. Am besten entsprechen diesem Postulat manche freipräparirte (geschälte) Holzcyliner, die auch keine sonstigen gröberen Verletzungen tragen. Künstliche Längsschnitte sind bei Pflanzen fast immer nur sehr schiefwinkelige Querschnitte.

3. Die Neigungsströme bei Pflanzengewebe.

Bei einem rhombisch geschnittenen oder zu einem Rhombus gedehnten Muskelstücke verhalten sich in Uebereinstimmung mit dem Gesetz der thierischen Electricität Punkte an den spitzen Rhombusecken negativ zu den Punkten an den stumpfen Rhombusecken. Im ableitenden Bogen verläuft ein Strom von dem Punkte am stumpfen zu dem Punkte am spitzen Rhombuseck: Neigungsströme E. du Bois-Reymond's.

Wir sind im Stande auch diese gesetzmässige electromotorische Wirkungsweise an parallelfaserigen Pflanzengewebe nachzuweisen, doch haben die Neigungsströme der Pflanzen entsprechend der entgegengesetzten Richtung der starken und schwachen Pflanzenströme die entgegengesetzte Richtung wie die Neigungsströme des Muskels.

Blattstiele von Rheum bieten ein passendes Material zur Herstellung rhombischer Präparate. Ein Punkt an der Spitze des spitzen Winkels des Rhombus verhält sich positiv gegen einen Punkt an der Spitze des stumpfen Winkels des Rhombus (cfr. Anmerkung 8). Der Strom verläuft also in dem ableitenden Bogen von dem Punkte des spitzen Winkels zu dem Punkte des stumpfen Winkels des Rhombus.

4. Die electromotorische Kraft der Pflanzenströme bei Rheum.

Die electromotorische Kraft der Pflanzenströme von Rheum undulatum stimmt etwa mit der der Nervenströme überein.

Präparate von sehr saftigen, frischabgeschnittenen Pflanzen, welche besonders am Querschnitt viel Saft aus-

fiessen lassen, verhalten sich, da sich hier der falsche Strom einmischt (§. 3. S. 183), schwächer electromotorisch wirksam. Ist der Gewebssaft auf Längsschnitt und Querschnitt gleichmässiger vertheilt, z. B. bei Präparaten, welche einige Zeit im feuchten Raum gelegen, oder welche von ein oder mehrere Tage in Wasser gesteckten oder sonst passend conservirten Pflanzentheilen entnommen sind, so ist das Präparat meist stärker electromotorisch wirksam.

Abgesehen von der angedeuteten Einmischung der falschen Ströme durch ungleichmässiges Befeuchten der ableitenden Electroden mit Gewebssaft, combiniren sich hier Resultate mehrerer Umstände. Ich erinnere zunächst an die von E. du Bois-Reymond beobachtete anfängliche Steigerung der electromotorischen Kraft animaler Electromotore⁹⁾. Vielleicht stehen wir vor der Beobachtung eines Zusammenhanges der Pflanzenelectricität mit ganz spezifischen Lebenserscheinungen des Pflanzenprotoplasmas. Präparate von älteren, Pflanzentheilen zeigen den Pflanzenstrom schwächer, von jugendlichen, stark vegetirenden stärker.

5. Die Pflanzenströme verschwinden bei dem normalen Absterben der Pflanzengewebe.

Auch darin verhalten sich die wahren Pflanzenströme der thierischen Electricität analog, dass sie in ihrem Vorhandensein an das Leben des Gewebes geknüpft sind.

Freiwillig im feuchten Raume vollkommen abgestorbene Pflanzenpräparate (und Pflanzen) zeigen den wahren Pflanzenstrom nicht mehr.

An Stelle des wahren Pflanzenstroms treten bei feucht-abgestorbenen Pflanzenpräparaten den falschen Strömen entsprechende unregelmässige Stromentwickelungen auf, denen

9) Reicherts etc. Archiv 1867. S. 268 ff.

man je nach der Auflagerungsweise (d. h. stärkere oder geringere Verunreinigung der Electroden) eine beliebige Richtung ertheilen, oder sie vollkommen zum Verschwinden bringen kann.

Auf die anfänglich eintretende Zunahme dann Abnahme der electromotorischen Wirkung scheint hie und da vor dem Absterben eine Umkehr der Stromrichtung einzutreten, wie E. du Bois-Reymond eine solche für absterbende Nerven constatirt hat.

Man darf sich hier aber nicht dadurch täuschen lassen, dass bei äusserlich trocknenden Präparaten, die Austrocknung am Längsschnitt oft rascher verläuft, als am Querschnitt, wodurch neue Veranlassung zum Uebergewicht der falschen Ströme gegeben werden kann.

Das freiwillige Absterben der Pflanzengewebe erfolgt im feuchten Raum bei sorgfältiger Aufbewahrung und niedriger Temperatur oft erst nach Wochen. Auch hierin zeigt sich eine Uebereinstimmung mit den animalen Electromotoren. Ich habe ausgeschnittene Gastroknemien vom Frosch noch nach 151 stündigem Liegen in 0,7% Kochsalzlösung lebensfrisch, sogar kontraktile gefunden.

Die Reaction der Gewebe, welche die thierische Electricität zeigen, ist im Ganzen normal eine stärker oder schwächer alkalische oder neutrale. Namentlich bei den Muskeln ist es bekanntlich leicht nachweisbar, dass sich nach der Trennung vom Gesamtkörper nach und nach eine saure Reaction des Gewebes ausbildet. Mit der vollkommenen Ausbildung derselben ist die electromotorische Wirksamkeit verschwunden. Bei den centralen von den äusseren Einwirkungen geschützteren Gewebepartien geht diese Umänderung der Reaction und der Eintritt des Todes langsamer vor sich als bei den äusseren Theilen. Innere Theile können noch lebend sein und damit noch Veranlassung zum Auftreten normaler Stromentwicklung geben, wenn die

äusseren Partien auf Längs- und Querschnitt schon abgestorben, d. h. sauer oder bei Sommertemperaturen durch Fäulniss schon wieder alkalisch geworden sind.

Die lebenden Pflanzengewebe reagiren in ihrer Gesamtheit stärker oder schwächer sauer bis neutral. Bei dem normalen feuchten Absterben gehen sie endlich zu einer alkalischen Reaction über. Hat sich diese Reactionsänderung vollkommen ausgebildet, so ist das Leben des betreffenden Pflanzentheils definitiv erloschen und damit auch seine normale electromotorische Wirkung verschwunden. Auch hier kann sich äusserlich schon eine weitgehende Veränderung der Reaction eingestellt haben, während innere Gewebspartien noch sauer sind und ihre Lebenseigenschaften und damit ihre electromotorische Wirkung in gesetzmässiger Weise besitzen.

An derartigen halbgestorbenen Präparaten lassen sich hie und da falsche Ströme dadurch hervorrufen, dass man die eine Electrode an eine noch schwach saure, die andere an eine stark alkalisch reagirende Partie anlegt. Diese Ströme folgen dann dem bekannten Gesetz des Säurealkalischstroms. Sie treten aber doch nur selten in Erscheinung, da meist auch ohne vorhergegangene Entfernung der abgestorbenen Partien die Ströme des überlebenden Gewebes mächtig genug sind, sich trotz dieser Ungleichartigkeiten geltend zu machen.

Durch Kochen bildet sich bei Pflanzen ebensowenig wie bei Muskel und Nerven eine qualitative Reactionsänderung aus. Erwärmte und gekochte Pflanzenpräparate zeigen die ganze Mannigfaltigkeit der electromotorischen Erscheinungen, welche E. du Bois Reymond an verschiedenen Orten für erwärmte und gekochte Muskeln und Nerven beschreibt. Ueber die Wirkung verschiedener Todesarten auf den Pflanzenstrom sollen spätere Mittheilungen erfolgen.

§. 5. Nachweis der wahren Pflanzenelectricität an anderen Pflanzen und Pflanzentheilen.

1. Liste der untersuchten Pflanzen.

Dieselbe electromotorische Wirkung, welche wir an Präparaten aus den Blattstielen von *Rheum undulatum* aufgefunden haben, findet sich in derselben Gesetzmässigkeit bei parallelfaserigen Gewebstücken aller bisher untersuchten Pflanzen.

Eine Anzahl überragt in Beziehung auf electromotorische Kraft die Präparate von *Rheum*. Am stärksten wirken Stengelabschnitte von Holzpflanzen, von denen man die äusseren trockenen Schichten bis auf das *Combium* entfernt hatte, sehr stark wirkt auch der freie Holzcylinder.

Ein Zusammenhang zwischen der von Sachs beobachteten verschiedenen Gewebsreaction und einer stärkeren electromotorischen Wirkung der betreffenden Pflanzentheile liess sich bis jetzt nicht constatiren. Präparate von *Cucurbita pepo* (junge Pflanzen), bei denen nach Sachs die Gewebsreactions-Unterschiede fast am deutlichsten auftreten, wirkten nur schwach electromotorisch aber in gesetzmässiger Richtung. *Papaver somniferum*, welcher saueren Milchsaft enthält, zeigt auch die normalen Pflanzenströme. Größere Gewebsungleichartigkeiten in Beziehung auf die Reaction scheinen hiernach kaum direkt im Sinne des Pflanzenstroms wirksam zu werden.

Folgendes ist die Liste der bis jetzt auf das Vorhandensein der falschen Ströme, der starken Pflanzenströme und der schwachen Längsschnittströme untersuchten Pflanzen:

62 Species sehr verschiedener Pflanzengruppen.

I. Pflanzen mit nur saueren Geweben:

<p>1 Rheum undulatum Dahlia variabilis Vitis vinifera Solanum tuberosum</p>	<p>5 Mesembryanthemum cordi folium (nackt.) Helianthus annuus Artemisia vulgaris Papaver somniferum</p>
---	---

II. Die anderen untersuchten Pflanzen in der zufälligen Reihe, in welcher sie geprüft wurden:

<p>Rumex acetosa 10 Anthriscus sylvestris Iris pallida Cucurbita pepo Aspidium filix mas Asparagus officinalis 15 Ampelopsis hederacea Syringa vulgaris Philadelphus coronarius Raphanus sativus Daucus carota 20 Rhus toxicodendron Pavia rubra Viburnum opulus Sida napaea Nymphaea alba 25 Hippuris vulgaris Sagittaria sagittaefolia Acorus calamus Orchis militaris Orobanche cruenta (!) 30 Lappa major Digitalis purpurea Myosotis palustris Nicotiana tabacum Atropa belladonna 35 Valeriana officinalis</p>	<p>Mentha sylvestris Campanula Platanus orientalis Nerium oleander 40 Rubia tinctorum Cichorium intybus Helianthus tuberosus Lactuca virosa Jasminum officinale. 45 Betula alba Iuglans regia Ficus carica Pinus sylvestris Pinus austriaca 50 Abies excelsa Thuja occidentalis Cytisus laburnum Hieracium Hieracium 55 Hieracium Althaea rosea Tilia grandifolia Aesculus hippocastanum Acer pseudoplatanus 60 Hedera helix Rosa centifolia Viola tricolor hort.</p>
--	---

2. Versuche an nicht parallelfaserigen Pflanzenabschnitten.

a. Versuche an Wurzeln: *Raphanus sativus* und *Daucus carota*.

Wurzeln von annähernd cylindrischer oder nicht zu stark konischer Gestalt zeigen die wahren Pflanzenströme regelmässig.

Wählt man aber Punkte des Längsschnitts zur Ableitung, an welchen Wurzeläste abgingen, so dass also an dem betreffenden Längsschnittpunkt der Querschnitt des Wurzelastes zu Tage liegt, so verhalten sich solche Punkte schwächer oder stärker im Sinne eines Querschnitts. Die Stromrichtung kann dadurch scheinbar eine umgekehrte werden: oder es kommen die Längsaxe entsprechende Gesamtströme grösserer Stücke zur Beobachtung.

b. Versuche an Stengelabschnitten.

Analoge Beobachtungen lassen sich machen an Stengeln und Stammabschnitten an den Stellen, an welchen reichlich Gefässe für Blätter oder Zweige abgehen.

Das Köpfchen der Sparchelsprossen eignet sich zu diesen Beobachtungen besonders gut. Während die unteren Abschnitte des Sparchels die normalen starken und schwachen Pflanzenströme zeigen, erscheint an den oberen Abschnitten, an denen sich die Blattabgänge häufen, zunächst das Gesetz der schwachen Ströme getrübt. Das nackte, oben von einem Querschnitt begrenzte etwa 2 CM. lange obere Endstücke (mit dem Köpfchen des Sparchels) zeigt einen so starken absteigenden Gesamtstrom, dass dadurch das Gesetz auch des starken Pflanzenstroms verdunkelt wird. Der Versuch erinnert an die electromotorische Wirkung des *Gastroknemius*.

Ueber Gesamtströme werden spätere Mittheilungen erfolgen.

3. Auftreten des Pflanzenstroms an unenthäuteten Pflanzenabschnitten.

Im Allgemeinen ist die Gegenwart der Epidermis vollkommen im Stande, die Erscheinung des Pflanzenstromes zu hindern. Die Epidermis erscheint dabei meist als zur Leitung der Electricität unfähig; ebenso dickere verkorkte Pflanzenoberflächen. Daher kommt es, dass die überwiegende Mehrzahl der Pflanzenabschnitte vor dem Enthäuten die falschen Ströme zeigt.

In einigen Fällen zeigten sich auch die zunächst unter der Epidermis liegenden Schichten so trocken (?) dass der falsche Strom noch das Uebergewicht über den Pflanzenstrom behaupten konnte.

Im Gegensatze dazu sind auch einige Fälle vorgekommen, in welchen die unenthäuteten Pflanzenstücke schon den wahren Pflanzenstrom zeigten.

Das war der Fall bei Präparaten z. B. von *Cucurbita pepo*, wo durch das unvermeidliche Abbrechen der Haare an der Längsoberfläche gleichsam ein künstlicher Längsschnitt hergestellt wurde.

Dasselbe war der Fall bei dem untersten (blassen) Abschnitte des Blattstiels der *Nymphaea alba*. Der Pflanzenstrom, welcher vor dem Enthäuten sich schon gezeigt hatte, wurde durch das Enthäuten verstärkt. Ebenso war es bei dem untersten Ende des Blütenstiels derselben Pflanze. Die grünen Abschnitte zeigten sowohl am Blattstiel als am Blütenstiel die falschen Ströme vor dem Enthäuten, während die jugendliche Epidermis den wahren Strom leitete.

Weitere auf die Ausführung der Versuche und die Bedingungen ihres Gelingens bezügliche Bemerkungen bleiben einer späteren Darstellung vorbehalten.

§. 6. Schlussbetrachtung.

Es steht nun fest, dass das Leben der Pflanzen in ganz analoger Weise wie das Leben der animalen Organismen mit gesetzmässigen electromotorischen Erscheinungen verknüpft ist.

Es hat sich damit ein neuer Kreis geschlossen, welcher das Leben der gesammten organisirten Welt in einer uns bisher noch unbekanntem Richtung zu einer Einheit zusammenfasst; es zeigt sich, dass auch in dieser Beziehung ein einheitliches Gesetz die gesammte Organisation beherrscht.

Entsprechend der qualitativen Gleichheit der Lebensvorgänge im Thier- und Pflanzenreiche sehen wir die Gesetze der thierischen und der pflanzlichen Electricität Punkt für Punkt sich decken. Sowohl die thierischen als die pflanzlichen Electromotore zeigen starke Ströme zwischen Querschnitt und Längsschnitt, sie zeigen ebenso beide die charakteristischen, für die Theorie unentbehrlichen schwachen Längsschnitt- und Querschnittströme sowie die Neigungsströme. Aber entsprechend dem charakteristischen quantitativen Gegensatz in den chemischen Lebensvorgängen bei Pflanze und Thier sehen wir die Richtung der Pflanzenströme der Richtung der Ströme animaler Electromotore entgegengesetzt. Es ist uns das ein neuer Beweis dafür, wie innig die chemischen Lebensvorgänge in beiden Reichen mit den electricischen Lebensvorgängen verknüpft sind, beide stammen aus derselben Kraftquelle.

Ein näheres Eingehen auf die inneren Ursachen der Pflanzenelectricität erscheint zunächst noch nicht gerechtfertigt. Doch ist soviel klar, dass wir durch den Nachweis des Gesetzes der Pflanzenelectricität und seiner Gleichartigkeit mit dem Gesetze der Muskel- und Nervenelectricität uns nun auch das Recht erworben haben, die E. du Bois-Reymond'sche Molekularhypothese der thierischen Electricität

mit den nöthigen Einschränkungen auf die Pflanzelectricität zu übertragen.

Wir dürfen uns auch das Innere der regelmässig electromotorisch wirkenden Pflanzentheile gleichmässig erfüllt denken von kleinen, in eine leitende Substanz eingebetteten peripolarangeordneten Molekülen (Massentheilchen), deren Axen, welche die beiden Pole jedes Moleküls verbinden, sämmtlich untereinander und der Axe des Pflanzentheiles parallel sind.

Die Theorie der animalen Electromotore fordert für jedes der Moleküle zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone; das Gesetz der Pflanzelectricität verlangt für jedes ihrer Moleküle dagegen **zwei positive Polar- und eine negative Aequatorialzone.**

Eine weitere Aufgabe wird es sein, nachzuweisen, ob auch die Pflanzelectricität der negativen Schwankung des electricischen Stroms gereizter Muskel- und Nervenfasern analoge Schwankungen zeigt während der Ruhe und der Thätigkeit des Protoplasmas.
