

LE

# PHYSIOLOGISTE RUSSE

RÉDIGÉ PAR

M. LÉON MOROKHOWETZ,

Professeur de physiologie à l'Université Impériale.

MOSCOU.

---

VOL. II.

17 OCTOBRE 1900.

№№ 26—30.

---

## Ueber den Einfluss der elektrischen Ströme auf den Leitungswiderstand der Pflanzengewebe.

Dr. T. I. Wjasemsky.

---

Prof. J. Burdon Sanderson war der erste, der im Jahre 1888 die Beobachtung machte, dass sich der Widerstand der Gewebe eines Blattes von *Dionaea muscipula* vermindert, nachdem dieses dem Einflusse eines durch dasselbe geleiteten galvanischen Stromes ausgesetzt gewesen war <sup>1)</sup>. Die Ursache dieser Erscheinung untersuchte er aber nicht näher, und die Frage blieb offen.

Auf dieselbe Thatsache bin ich in meinen elektrophysiologischen Untersuchungen gestossen, und da mich besonders die theoretische Seite der Frage interessirte, so unternahm ich eine ganze Reihe diesbezüglicher Versuche, deren Resultate ich hier mitzutheilen beabsichtige.

Als Objekte dienten mir Blätter verschiedener Pflanzen, deren Aufzählung weiter unten folgt.

Die von den Pflanzen abgeschnittenen Blätter wurden in einer feuchten Kammer gehalten, wo mit denselben experimentirt wurde.

Der Strom der Batterie wurde durch das Blatt mittels unpolarisirbarer Elektroden geleitet, deren Thon statt mit einer 0.75%-igen Kochsalzlösung mit gewöhnlichem Wasser getränkt war. Die Elektroden berührten die Oberfläche des Blattes unmittelbar mit ihren Thonspitzen. Die Widerstandsmessung

---

<sup>1)</sup> B. Sanderson.—On the Electromotive Properties of the Leaf of *Dionaea* in the Excited and Unexcited States. Second Paper (Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol. 179 (B). 1889).

geschah nach Wheatston's Methode. Wie aus Fig. I ersichtlich ist, bediente ich mich der Wheatstone'schen Drahtcombination von solch einer Anordnung, dass der rheostatische Widerstand während der ganzen Messungszeit eine constante Grösse blieb und bezwecks der Bestimmung von  $X$  sich nur das Verhältniss zwischen den Längen  $SC$  und  $CQ$  des Neusilberdrahtes  $SQ$  veränderte bis zu dem Moment, wo das Gleichgewicht der Spannungen in bestimmten Punkten ( $B$  und  $C$ ) der eigentlichen Brücke sich einstellte. In diese letztere wurde entweder ein Galvanometer oder ein Capillar-Elektrometer ( $A$ ) eingeschaltet. Als Brückendraht diente ein Rheochord-Neusilberdraht 1600 Mm

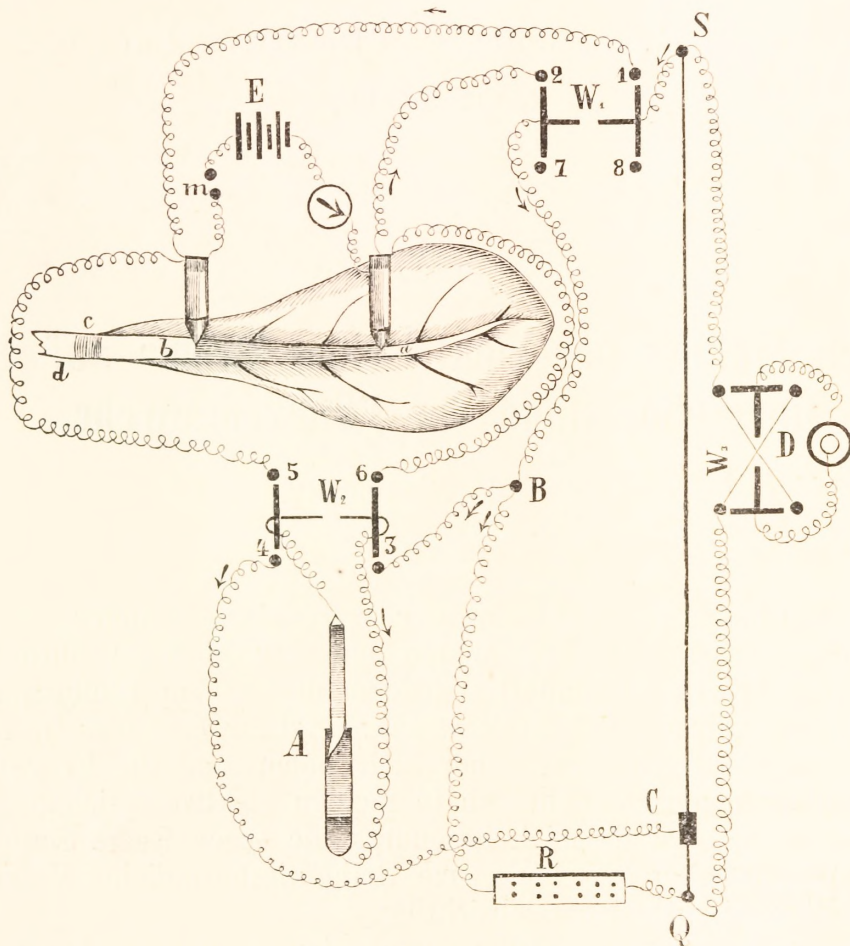


Fig. 1.

lang und 0.75 Mm. im Durchmesser. Ein quer über denselben gespanntes Platindrähtchen bildete den verschiebbaren Contact ( $C$ ). Des Capillar-Elektrometers bediente ich mich auch bei der Messung der Potentialdifferenzen zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  des Blattes.

Die Widerstandmessung wurde nach folgendem einförmigem Schema ausgeführt.

Durch ein System von Leitern, welche die Wheatstone'sche Brücke bilden, fliesst der Strom eines grossen Daniell'schen Elements. Die Wippe ( $W_3$ ) macht es möglich die Richtung dieses Stromes zu ändern. Zwei andere derartige

Wippen ( $W_1, W_2$ ) ohne Kreuz befinden sich in den Zweigen der Wheatstone'schen Brücke. Nehmen wir den Fall an, dass die Verbindung der Leiter durch die Quecksilbernäpfe 1, 2 der Wippe  $W_1$  und 3, 4 der Wippe  $W_2$  stattfindet. Die Kette der Batterie  $E$  bei  $m$  ist offen. Bei einer solchen Anordnung der Contacte ist der Strom des Daniell'schen Elements folgendermaassen verzweigt. Der Strom geht aus dem Ende des Rheochorddrahts ( $S$ ) in das Quecksilbernäpfchen 1, in die Elektrode  $b$ , durch die Strecke ( $ba$ ) des Hauptnerven, die Elektrode  $a$  in das Quecksilbernäpfchen 2, durch den Leiter zum Punkte  $B$ . Das ist der erste Zweig der Brücke, der einen unbekanntem Widerstand enthält. Aus dem Punkte  $B$  fliesst der Strom durch den zweiten Zweig der Brücke, welcher einem genau bestimmten rheostatischen ( $R$ ) Widerstand (bei meinen Versuchen war derselbe immer gleich 100000 Ohm) enthält, zum andern Ende ( $Q$ ) des Rheochorddrahts. Vom Punkte  $B$  aus findet die Abzweigung des Stromes statt. Dieser Zweig des Stromes geht durch den Leiter, der die eigentliche Brücke bildet. In letzteren wurde entweder ein Galvanometer oder ein Capillar-Elektrometer ( $A$ ) eingeschaltet. Der Strom geht hier aus dem Punkte  $B$  durch das Quecksilbernäpfchen 3 der Wippe  $W_2$  in den Elektrometer und von dort durch das Quecksilbernäpfchen 4 derselben Wippe zum verschiebbaren Contact  $C$  des Rheochorddrahts.

Bei einer solchen Anordnung der Contacte wird zuerst die Widerstandsmessung der Strecke  $ab$  vor dem Durchgang des Batteriestromes durch dieselbe ausgeführt. Nach Beendigung dieser Messung unterbricht man die metallische Verbindung mit den Quecksilbermassen 1 und 2 und stellt die Verbindung mit den Quecksilbermassen 7 und 8 her. Offenbar ist jetzt der Strom der Kette des Daniell'schen Elements in der Brücke unterbrochen (Der Du Bois-Reymond'sche Schlüssel, welcher sich im Kreise des Elektrometers befindet, ist geöffnet). Darauf schliesst man im Punkte  $m$  die Kette der Batterie  $E$ . Die Strecke ( $ab$ ) des Hauptnerven eines Blattes wird der Einwirkung des Batteriestromes während einer bestimmten Zeit ausgesetzt. Darnach wird die Kette der Batterie  $E$  geöffnet und werden die Contacte der Wippe  $W_2$  mit den Quecksilbermassen 5 und 6 verbunden. Dies giebt die Möglichkeit den Zustand der polarisirten Strecke  $ab$  hinsichtlich der zwischen den Punkten  $b$  und  $a$  vorhandenen elektrischen Differenzen zu untersuchen, oder, falls dies nicht nötig ist, man setzt die Contacte wieder mit den Quecksilbermassen 1, 2, 3 und 4 in Verbindung und misst den durch den Strom schon veränderten Leitungswiderstand der Strecke ( $ab$ ).

In den folgenden Messungsprotokollen wurden die in der ersten verticalen Colonne ( $ba$ ) gegebenen Widerstandsgrössen dann erhalten, wenn der Strom der Batterie  $E$  und derjenige des Daniell'schen Elements im Nerven eine und dieselbe Richtung von  $b$  nach  $a$  hatten; die in der zweiten verticalen Colonne ( $ab$ ) enthaltenen Grössen, wenn die Stromrichtung des Daniell'schen Elements eine entgegengesetzte, von  $a$  nach  $b$ , war. Die dritte, durch den Buchstaben  $M$  bezeichnete, verticale Colonne enthält die mittleren arithmetischen Widerstandsgrössen. Die Zeit ( $T$ ), während welcher die Messungen geschahen, ist in Stunden und Minuten angegeben. Ausserdem sind sowohl die Grössen der Potentialdifferenzen (in Millivolten) zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  ( $Va - Vb$ ), als auch die diesen Punkten entsprechenden elektrischen Zeichen gegeben.

Um von den Resultaten meiner Versuche einen vorläufigen Begriff zu geben, führe ich ein Messungsprotokoll an; die Widerstandsgrößen sind in Tausenden gegeben.

Der Widerstand der Elektroden allein war:

	T		R		M
VI <sup>h</sup> .	25'		17.2	17.4	<b>17.3</b>
	30'		17.0	17.0	<b>17.0</b>
	40'		16.6	16.8	<b>16.7</b>

Dann wurden die Elektroden an die untere Seite des Hauptnerven 10 Mm. weit von einander gesetzt. Der Batteriestrom ( $E=5^v.4$ ) hatte die Richtung von  $b$  nach  $a$ . Die Schliessungsdauer der Kette ( $\tau$ )=1 Minute.

Vor Einwirkung des Stroms.

T		ba	ab	M	Va-Vb	a	b
VII.	30'	463	455	<b>459</b>	3.5	—	+
	35'	461	452	<b>456.5</b>	3.5	—	+
	45'	463	448	<b>455.5</b>	5	—	+
VIII.	2'	467	444	<b>455.5</b>	5	—	+

Nach Einwirkung des Stroms.

	3'	305	326	<b>315.5</b>	5	+	—
	4'	344	315	<b>329.5</b>	6.5	—	+
	5'	357	315	<b>336</b>	7	—	+
	6'	370	319	<b>344.5</b>	7	—	+
	8'	370	321	<b>345.5</b>	6.8	—	+
	10'	377	332	<b>354.5</b>	6.5	—	+
	12'	377	342	<b>359.5</b>	6	—	+
	14'	377	357	<b>382</b>	4	—	+
	16'	385	370	<b>377.5</b>	3.5	—	+
	18'	392	382	<b>387</b>	3	—	+
	20'	394	388	<b>391</b>	3	—	+
	22'	400	388	<b>394</b>	3	—	+
	25'	403	394	<b>398.5</b>	2	—	+
	30'	409	400	<b>404.5</b>	2	—	+
	35'	409	408	<b>408.5</b>	1	—	+
	40'	417	414	<b>415.5</b>	1	—	+
	45'	426	416	<b>421</b>	1.5	—	+
	50'	433	424	<b>423.5</b>	1.5	—	+
	55'	435	426	<b>430.5</b>	1.5	—	+
IX.	0'	435	433	<b>434</b>	1	—	+

Der Widerstand der Elektroden allein ist nach Beendigung des Versuchs gleich  $\frac{14. + 15}{2} = 14.9$  Ohm.

Wir sehen, dass die Widerstandsgrösse der Strecke *ab*, die vor dem Durchgang des Stromes gleich 45500 Ohm gewesen war, nachdem der Strom eine Minute lang eingewirkt hatte, bis auf 31500 Ohm fiel, worauf mit der Zeit die frühere Widerstandsgrösse allmählig wiederkehrte. Die Abweichung der Grössen der Summanden von der mittleren Grösse wird, wie das Untersuchungsprotokoll zeigt, durch das gleichzeitige Vorhandensein elektromotorischer Kräfte in der beobachteten Strecke oder in deren Berührungsfläche mit den Elektroden bedingt.

Messungen, welche speziell das Studium dieser Kräfte bezweckten, beweisen, dass dieselben wirklich vorhanden sind. Die Verteilung der Zeichen an den Ableitungspunkten ist überhaupt dieselbe wie unmittelbar vor dem Durchgang des äusseren Stromes. Diese Verteilung der Zeichen war nur in der ersten Minute nach dem Oeffnen der Batteriekette eine andere. Die Gegenwart elektromotorischer Kräfte in der Strecke, die wir hinsichtlich ihres Leitungswiderstands studiren, muss offenbar das Resultat der Messungen beeinflussen. Bei der Bildung einer geschlossenen Kette entwickeln die elektromotorischen Kräfte des Blattes Ströme. Wenn deren Richtung im Blatte mit der Stromrichtung der Messungskette nicht zusammenfällt, so muss gegenseitige Aufhebung (Compensation) und daher (scheinbare) Vergrösserung des Widerstands stattfinden; in dem Falle aber, wenn die Stromrichtungen zusammenfallen, summiren sich die letzteren und es entsteht (scheinbare) Verminderung des Widerstandes. Auf diese Weise erhalten wir bei beiden Stromrichtungen der Messungskette nicht die wirkliche Grösse.

Nehmen wir aber an, dass während der Widerstandsmessung bei den entgegengesetzten Stromrichtungen der Messungskette die elektromotorischen Kräfte des Blattes gleich gross bleiben, so können wir auch annehmen, dass die Vergrösserung und Verminderung um eine und dieselbe Grösse stattfindet. Folglich ist die mittlere Grösse der durch die Messung erhaltenen Summanden eine Grösse, welche den Widerstand der intrapolaren Strecke genau bestimmt. Das Protokoll zeigt, dass die elektromotorischen Kräfte des Blattes quantitativ überhaupt schwanken; da uns aber bis jetzt das Gesetz dieser Schwankungen in der Zeitfunction unbekannt ist, so können wir auch nicht bestimmt sagen, ob die elektromotorischen Kräfte des Blattes während der Widerstandsmessung constante Grössen bleiben oder nicht. Andererseits verändert der äussere Strom, wie dasselbe Protokoll zeigt, nicht nur die Grösse, sondern auch die Verteilung der elektrischen Zeichen an den Ableitungspunkten. Folglich haben wir das Recht vorauszusetzen, dass auch der Strom der Messungskette, wie schwach er auch sei, eine gewisse Veränderung in der Widerstandsgrösse und den elektromotorischen Kräften hervorbringen wird. Daraus ist ersichtlich, dass wir nicht mit Bestimmtheit davon reden können, dass die mittleren Grössen reelle Widerstandsgrössen sind. Obgleich uns nicht die Bestimmung der absoluten Widerstandsgrössen der Pflanzengewebe, sondern nur das Verhältniss zwischen den beobachteten Grössen inte-

ressirt, so wäre es doch wünschenswerth zu wissen, wie gross die Abweichung der mittleren Grössen von der wirklichen ist. Die Lösung der Frage beschränkt sich auf das Studium des Einflusses des Messstromes während der Zeit des Messprozesses selbst auf die elektrische Differenz, die zwischen den Ableitungspunkten besteht. Wie wir aber aus einer speziellen Arbeit sehen werden, ist dieser Einfluss ein derartiger, dass die Genauigkeit der Schlüsse darunter nicht leidet.

Dass die Abweichung der Summanden von der mittleren Grösse wirklich durch das Vorhandensein elektromotorischer Kräfte im Blatte bedingt wird, ist aus Folgendem ersichtlich. Wenn wir für jeden Moment der Messung 1) die Grössenunterschiede des Leitungswiderstandes (Un.  $LW$ ), welche bei zwei entgegengesetzten Richtungen des Stromes eines Daniell'schen Elements gemessen wurden und 2) die Grössen der elektromotorischen Kräfte des Blattes vergleichen, so sehen wir, dass je bedeutender diese letztere Grösse ist, desto schärfer der Grössenunterschied der Summanden hervortritt, was offenbar auf ein Verhältnis von Ursache zu Wirkung hinweist.

T	VII	30'	35	45	VIII	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35	40	45	50	55	IX
Un. $LW$		8	9	15		23	21	29	42	51	49	45	35	20	15	10	6	12	9	9	1	3	10	9	9	2
$Va-Vb$		3.5	3.5	5.		5	5	6.5	7.	7	6.8	6.5	6.	4.	3.5	3.	3.	3.	2.	2.	1	1	1.5	1.5	1.5	1.

Wenden wir uns jetzt wieder der Analyse der in dem ersten Messungsprotokoll angeführten Thatsachen zu. Wenn wir die anfängliche Widerstandsgrösse durch 100 bezeichnen, so finden die Grössen, welche den veränderten Widerstand der beobachteten Strecke in verschiedenen Momenten (z. B. alle 10 Minuten) nach der Unterbrechung der Stromeswirkung vorstellen, in folgenden Zahlen ihren Ausdruck:

T	0'	10'	20'	30'	40'	50'
VIII <sup>h</sup>	69. <sub>2</sub>	78. <sub>9</sub>	86. <sub>4</sub>	89. <sub>1</sub>	91. <sub>2</sub>	91. <sub>9</sub>
IX	95. <sub>2</sub>	97. <sub>0</sub>	98. <sub>3</sub>	98. <sub>3</sub>	99. <sub>0</sub>	100
X	100. <sub>5</sub>	101. <sub>2</sub>	192. <sub>3</sub>	103. <sub>1</sub>	103. <sub>1</sub>	103. <sub>1</sub>

Wir sehen, dass die anfängliche Grösse zwei Stunden nach der Unterbrechung der Einwirkung des Stromes wieder hergestellt wird, dann im Laufe der dritten Stunde anwächst, gegen das Ende der ersten Hälfte der dritten Stunde ihr Maximum erreicht, und in der ganzen zweiten Hälfte der dritten Stunde anhält.

Nach diesem vorläufigem Versuche wollen wir zur Analyse der Erscheinung in Abhängigkeit von den verschiedenen Umständen, die bei dem Experimentiren stattfinden, übergehen.

Wir können a priori annehmen, dass die trockene Blattoberfläche dem durch dieselbe fliessenden Strome einen sehr grossen Widerstand entgegengesetzt. Wir müssen auch zugeben, dass bei dem Anlegen der feuchten unpolarisirbaren Elektroden an die Oberfläche des Blattes Diffusion der Flüssigkeit stattfindet. Folglich muss schon die Gegenwart der feuchten Elektroden die Leitungsfähigkeit der Gewebe beeinflussen. Das zeigen klar die Thatsachen des ersten Versuches (N<sup>o</sup> 1). Doch ist die Veränderung der Widerstandsgrösse hier un-

bedeutend, da zwischen dem Moment des Anlegens der feuchten Elektroden an die Oberfläche des Blattes und dem Anfang der Messung im gegebenen Falle eine geraume Zeit verstrichen war. Wir haben das Recht zu erwarten, dass die bedeutendsten Veränderungen der Widerstandsgrösse in den ersten Momenten nach dem Anlegen der Elektroden vor sich gehen. Um sich über die Grösse dieser Schwankungen ein Urtheil zu bilden, sind spezielle Versuche nötig. Hier wollen wir nur die Thatsache vermerken, dass der Leitungswiderstand der Blattgewebe sich mit der Zeit in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit der Elektroden verändert.

Es ist klar, dass wenn wir die Blattgewebe dem Einflusse des Stromes sogleich nach der Anlegung der Elektroden aussetzen, wir bei der Widerstandsmessung eine Grösse erhalten, auf deren Veränderung nicht nur der Batteriestrom, sondern auch die Diffusion des Wassers aus den feuchten Elektroden gewirkt hat. Folglich muss man um den Einfluss des Stroms allein zu beurteilen, das Blatt nur dann der Einwirkung des Stromes aussetzen wenn sich eine mehr oder weniger constante Widerstandsgrösse hergestellt hat. Wenn in den Protokollen meiner Messungen nur *eine* numerische Widerstandsgrösse der Blattgewebe vor der Einwirkung des Stroms auf dieselben gegeben ist, so heisst das, dass durch vorläufige Messungen genau festgestellt wurde, dass in der Zeitperiode, welche man zu mehr oder weniger genauen Messungen bestimmt hatte, die genannte Grösse keine merklichen Schwankungen zeigte.

## I.

### Abhängigkeit der Veränderung des Widerstandes der Pflanzengewebe von der Intensität des sie durchfliessenden galvanischen Stromes <sup>1)</sup>.

Versuche dieser Art sind einfach, die erhaltenen Resultate befriedigend, wie die weiter unten angeführten Messungsprotokolle zeigen. Die erste Bemerkung, die ich hier hinsichtlich solcher Versuche machen muss, bezieht sich auf die Bestimmung der Intensität des einwirkenden Stromes. Das Blatt wurde nur dann dem Einflusse des Stromes ausgesetzt, wenn der anfängliche Widerstand desselben eine bestimmte, in allen beobachteten Fällen fast gleiche Grösse vorstellte. Dadurch wurde die Notwendigkeit der unmittelbaren Messung der Stromintensität vermieden. Indem wir in verschiedenen Fällen verschiedene Grössen der elektromotorischen Kräfte der Batterie anwenden, haben wir bei einer und derselben Widerstandsgrösse der Blattgewebe verschiedene Grössen der Stromintensität, die aber immer in geradem Verhältnisse zu den elektromotorischen Kräften der Batterie stehen. Da  $E$  und  $R$  bekannte Grössen sind, so ist  $J$  offenbar der Berechnung nach auch eine bekannte Grösse.

<sup>1)</sup> Einige der von mir weiter unten beschriebenen Versuche führte ich im Laboratorium des Hrn Prof. I. L. Prevost zu Genf aus. Ihm wie auch seinem Assistenten M. Battelli fühle ich mich gedrungen hier meinen lebhaftesten Dank für ihr liebenswürdiges Entgegenkommen zu bezeugen.

Warum ich dieses Verfahren des Dosirens der Stromintensität gewählt habe, wird in der Folge ersichtlich werden. Die unpolarisirbaren Elektroden wurden auf den Hauptnerven an der Rückseite des Blattes 1 Ctm. weit von einander gesetzt. Die Fläche des Thons, die mit der Blattoberfläche in Berührung kam, war 25 und 30 ( $\square$  Mm.) gross. Zwischen den Elektroden wurde ein Strom geleitet, im gegebenen Falle von einer Gaiffe'schen Batterie mit Leclanché-Elementen. Wirkungsdauer ( $\tau$ ) des Stromes=1 Minute.

Die Zahlengrößen <sup>1)</sup>, die in der ersten vertikalen Colonne stehen, wurden bei der Messung der Widerstände erhalten, wenn in dem Blatte die Richtung des Messstromes und diejenige des Batteriestromes zusammenfielen. In den gegebenen Versuchen ging der Batteriestrom von *a* nach *b* (Fig. 1). Folglich wurden die Größen der ersten vertikalen Colonne erhalten, wenn die Richtung des Messstromes von *a* nach *b* und die Größen der zweiten Colonne—wenn die Richtung desselben Stromes von *b* nach *a* war. Die in den Widerstandsgrößen erhaltenen Veränderungen nach der Einwirkung des Batteriestromes während einer Minute wurden eine ganze Stunde lang beobachtet, gleich nach der Einwirkung des Stroms, dann nach 3', 5', 10', 20', 30', 40', 50', 60'; die anfängliche Widerstandsgröße in den Messungsprotokollen bezieht sich auf 0 Zeit.

Die Größen der Stromintensität der Batterie sind in Millionsteln Ampère gegeben und entsprechen dem Momente des Stromschlusses. Diese Intensität wächst in Folge continuirlicher Verminderung des Widerstandes mit jedem weiteren Momente an und erreicht ihre Maximalgröße bei der Stromunterbrechung.

$$E=3^v \text{ (2 Elem. Lecl.)}$$

$$\text{№ II. } J=0.000012 \text{ A.}$$

$$\text{№ III. } J=0.000012 \text{ A.}$$

Vor Einwirkung des Stromes.

T	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>
0	238	250	<b>244</b>	240	238	<b>239</b>

Nach Einwirkung des Stromes.

1	188	212	<b>200</b>	173	227	<b>200</b>
3	207	217	<b>212</b>	207	222	<b>214.5</b>
5	215	227	<b>221</b>	222	227	<b>224.5</b>
10	217	233	<b>225</b>	227	238	<b>232.5</b>
20	227	230	<b>228.5</b>	238	238	<b>238</b>
30	238	233	<b>235.5</b>	250	257	<b>253.5</b>
40	250	247	<b>248.5</b>	257	257	<b>257</b>

<sup>1)</sup> Da die Resultate einer langen Reihe von Versuchen gut übereinstimmen, so führe ich sowohl hier wie in den folgenden Paragraphen als Beispiel nur einige derselben an.

50	263	263	<b>263</b>	257	263	<b>260</b>
60	263	263	<b>263</b>	257	263	<b>260</b>

№ IV.  $J=0.000012$  A.

№ V.  $J=0.000012$  A.

Vor Einwirkung des Stromes.

T	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>
0	250	258	<b>254</b>	250	250	<b>250</b>

Nach Einwirkung des Stromes.

1	217	227	<b>222</b>	202	238	<b>220</b>
3	238	233	<b>235.5</b>	212	244	<b>228</b>
5	244	235	<b>239.5</b>	227	250	<b>238.5</b>
10	244	242	<b>243</b>	233	257	<b>245</b>
20	240	257	<b>248.5</b>	238	262	<b>250</b>
30	250	257	<b>253.5</b>	244	270	<b>257</b>
40	261	261	<b>261</b>	257	284	<b>270.5</b>
50	261	261	<b>261</b>	257	284	<b>270.5</b>
60	261	261	<b>261</b>	257	284	<b>270.5</b>

$E=9^v$  (6 Elm. Lecl.).

№ VI.  $J=0.000037$  A.

№ VII.  $J=0.000038$  A.

Vor Einwirkung des Stromes.

T	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>
0	238	244	<b>241</b>	232	234	<b>233</b>

Nach Einwirkung des Stromes.

1	129	163	<b>146</b>	158	150	<b>154</b>
3	156	170	<b>163</b>	166	156	<b>161</b>
5	170	181	<b>175.5</b>	185	166	<b>175.5</b>
10	173	194	<b>183.5</b>	185	173	<b>179</b>
20	170	212	<b>191</b>	194	177	<b>185.5</b>
30	177	217	<b>197</b>	207	198	<b>202.5</b>
40	185	227	<b>206</b>	217	207	<b>212</b>
50	196	235	<b>215.5</b>	222	212	<b>217</b>
60	200	241	<b>220.5</b>	222	212	<b>217</b>

№ VIII.  $J=0.000038$  A.

№ IX.  $J=0.000036$ .

Vor Einwirkung des Stromes.

T	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>	<i>ab</i>	<i>ba</i>	<i>M</i>
0	233	227	<b>230</b>	245	255	<b>250</b>

## Nach Einwirkung des Stromes.

1	138	143	<b>140.5</b>	150	170	<b>160</b>
3	150	146	<b>148</b>	166	185	<b>175.5</b>
5	159	164	<b>161.5</b>	189	203	<b>196</b>
10	166	177	<b>171.5</b>	194	207	<b>200.5</b>
20	177	181	<b>179</b>	194	217	<b>205.5</b>
30	185	185	<b>185</b>	198	228	<b>213</b>
40	198	184	<b>191</b>	194	233	<b>213.5</b>
50	203	182	<b>192.5</b>	198	233	<b>215.5</b>
60	207	181	<b>194</b>	198	233	<b>215.5</b>

 $E=18^v$  (12 Elem. Lecl.).№ X.  $J=0.000072$  A.№ XI.  $J=0.000077$  A.

## Vor Einwirkung des Stromes.

T	ab	ba	M	ab	ba	M
0	250	250	<b>250</b>	232	232	<b>232</b>

## Nach Einwirkung des Stromes.

1	117	119	<b>118</b>	112	98	<b>105</b>
3	134	138	<b>136</b>	117	104	<b>110.5</b>
5	150	156	<b>153</b>	138	112	<b>125</b>
10	163	163	<b>163</b>	156	129	<b>142.5</b>
20	173	163	<b>168</b>	163	135	<b>149</b>
30	181	181	<b>181</b>	170	140	<b>155</b>
40	194	189	<b>191.5</b>	177	146	<b>158.5</b>
50	212	203	<b>207.5</b>	187	153	<b>170</b>
60	217	207	<b>212</b>	196	170	<b>183</b>

№ XII.  $J=0.000072$  A.№ XIII.  $J=0.000069$  A.

## Vor Einwirkung des Stromes.

T	ab	ba	M	ab	ba	M
0	250	262	<b>256</b>	270	238	<b>254</b>

## Nach Einwirkung des Stromes.

1	127	117	<b>122</b>	122	110	<b>116</b>
3	134	124	<b>129</b>	127	119	<b>123</b>
5	153	143	<b>148</b>	156	135	<b>145.5</b>
10	163	150	<b>156.5</b>	170	153	<b>161.5</b>
20	174	163	<b>168.5</b>	194	166	<b>180</b>

30	189	173	<b>181</b>	212	188	<b>200</b>
40	203	181	<b>192</b>	233	207	<b>220</b>
50	212	185	<b>198.5</b>	238	222	<b>230</b>
60	222	194	<b>208</b>	238	222	<b>230</b>

Um uns von den Veränderungen der Widerstandsgrösse der Blattgewebe in Abhängigkeit von der Stromintensität besser Rechenschaft zu geben, wollen wir diese Veränderungen auf 100 beziehen, d. h. annehmen, dass die Widerstandsgrösse der Blattgewebe bis zum Moment, wo der Batteriestrom durch dieselben durchgeleitet wurde, 100 war.

$E=3^v. J=0.000012 \text{ A.}$

N <sub>2</sub>	2.	100	82.4	86.9	90.5	92.9	93.6	96.5	101.8	107.8	107.8
>	3.	100	83.6	89.3	93.9	97.2	99.5	106	107.5	108.7	108.7
>	4.	100	87.4	92.5	94.3	95.6	97.8	99.6	102.7	102.7	102.7
>	5.	100	88	91.2	95.4	98	100	102.2	108.2	108.2	108.2
<b>M:</b>		<b>100</b>	<b>85.3</b>	<b>89.9</b>	<b>93.5</b>	<b>95.9</b>	<b>97.7</b>	<b>101.8</b>	<b>105</b>	<b>106.8</b>	<b>106.8</b>

$E=9^v. J=0.000036-0.000038 \text{ A.}$

N <sub>2</sub>	6.	100	60.6	67.6	72.8	76.4	79.2	81.7	85.4	89.4	91.4
>	7.	100	66.1	69.1	75.3	76.8	79.6	86.9	90.9	93.1	93.1
>	8.	100	61.4	64.3	70.3	74.5	77.8	80.4	83	83.7	84.3
>	9.	100	64	70.2	78.4	80.2	82.2	85.2	85.4	86.2	86.2
<b>M'</b>		<b>100</b>	<b>62.9</b>	<b>68</b>	<b>74.2</b>	<b>76.9</b>	<b>79.7</b>	<b>83.5</b>	<b>86.7</b>	<b>88</b>	<b>88.7</b>

$E=18^v. J=0.000069-0.000077 \text{ A.}$

N <sub>2</sub>	10.	100	47.2	54	61.2	65.2	67.2	72.4	76.6	83	84.8
>	11.	100	45.2	47.6	53.8	61.4	64.2	66.8	68.3	73.2	78.8
>	12.	100	47.6	50.4	57.7	61.1	65.8	70.7	75.0	77.5	81.2
>	13.	100	45.6	48.4	57.2	63.5	70.8	78.6	86.2	90.5	90.5
<b>M''</b>		<b>100</b>	<b>46.4</b>	<b>50.2</b>	<b>57.5</b>	<b>62.8</b>	<b>67</b>	<b>72.2</b>	<b>76.5</b>	<b>82</b>	<b>83.4</b>

Diese Zahlenangaben veranschaulichen, dass die Veränderungen der Widerstandsgrössen, die durch den galvanischen Strom bewirkt werden, fast gleich sind, wenn nur die Stromintensität und die elektromotorische Kraft der Batterie dieselben sind.

Was die Abhängigkeit der Grösse der Veränderungen von der Intensität des einwirkenden Stromes anbetrifft, so wird durch diese Angaben nur die Thatsache constatirt, dass mit der Stromintensität auch die Grösse der Veränderungen zunimmt. Die Kurven auf Fig. 2 zeigen anschaulich die Abhängigkeit der Widerstandsgrösse von der Stromintensität. Auf der geraden Linie OT sind die Zeiten vermerkt, auf der Linie OR—die Widerstandsgrössen (die mittleren Grössen: M, M' und M''). Der gestrichelte Teil entspricht dem Zeitraum (1 Min.), in welchem auf das Blatt ein Strom von verschiedener Intensität (I=11,=37,=72) einwirkte.

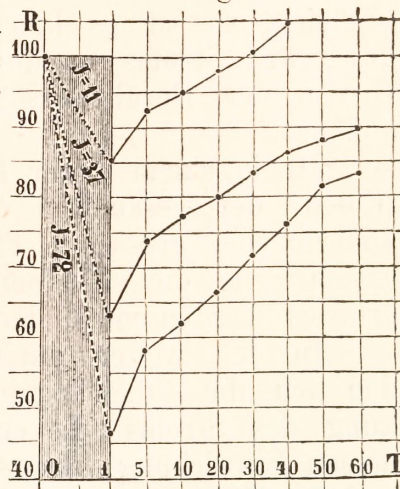


Fig. 2.

## II.

**Abhängigkeit der Veränderungen der Widerstandsgrössen der Pflanzengewebe von der Dichtigkeit des sie durchfliessenden galvanischen Stromes.**

Aus den Protokollen II—XIII erfahren wir, dass die Grösse der Veränderungen des Widerstands der Blattgewebe als Resultat des Einflusses des äusseren Stromes mit der Intensität dieses letzteren zunimmt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass alle übrigen Versuchsbedingungen dieselben waren. Beobachtungen zeigen, dass bei der Anwendung von Strömen gleicher Intensität die Resultate sich scharf von einander unterscheiden können. Offenbar weist dieser Umstand darauf hin, dass in dem geschlossenen Kreise solche Bedingungen vorhanden sein können, deren Veränderungen bei den Versuchen an verschiedenen Blättern sehr merklich auf das Resultat des Einflusses von Strömen gleicher Intensität einwirken. Wenn diese Bedingungen nicht schon früher studirt worden wären, so würde es kaum möglich gewesen sein die befriedigenden Resultate zu erhalten, welche in den oben angeführten Protokollen mitgeteilt sind. Unter diesen Bedingungen nimmt die Grösse der Berührungsflächen der Thonspitzen der Elektroden mit dem Blatte die erste Stelle ein. Von der Grösse dieser Flächen wird, wie bekannt, bei einer und derselben Stromintensität die Dichtigkeit des Stromes bedingt.

Um die Abhängigkeit der Veränderungen des Widerstands der Blattgewebe von der Dichtigkeit des durch dieselben geleiteten Stroms festzustellen, führte ich eine Reihe diesbezüglicher Versuche aus. Dieselben sind in zwei Serien geteilt.

**Erste Serie.** In dieser Serie sind alle die Versuche gruppirt, bei denen die Stromintensität eine constante Grösse blieb. Wenn in zwei analogen Versuchen die Stromintensitäten gleich sind, die Berührungsflächen der Elektroden aber ungleich, so ist es klar, dass der Unterschied in dem Resultat der Einwirkung des Stroms in diesen beiden Versuchen von dem Unterschiede in der Grösse der Berührungsflächen der Elektroden mit dem Blatte der Pflanze abhängt.

Da in einem dieser Fälle (bei der Anwendung kleiner Flächen der Elektroden) der gesammte Widerstand des Kreises grösser sein wird als in dem andern (bei grösseren Flächen der Elektroden), so ist es klar, dass in dem ersten Falle die elektromotorische Kraft der Batterie verhältnissmässig vergrössert werden muss, damit in beiden Fällen die Stromintensität gleich sei.

In den weiter unten gegebenen Protokollen, №№ (XIV—XXI), befinden sich die Zahlenangaben des Leitungswiderstands des Blattes vor Einwirkung des Stroms (die erste horizontale Reihe ist auf 0 bezogen) sowie nach dessen Einwirkung—zuerst unmittelbar (1'), dann nach 5, 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Min. Die Stromrichtung war in allen hierher gehörigen Fällen von *a* nach *b*. Die Entfernung der Elektroden von einander war 10 Mm.

$E=6^v$  (4 Elem. Lecl.).

Die Berührungsfläche einer jeden Elektrode war 38—42 Mm. lang, 6—8 Mm. breit.

№ XIV. $J=0.000070$ A.				№ XV. $J=0.000074$ A.			
T	ab	ba	M	ab	ba	M	
0	86	84	85	81	83	82	100
1	60	98	79	75	81	78	95. <sub>1</sub>
5	70	92	81	75	81	78	95. <sub>1</sub>
10	80	92	86	76	80	78	95. <sub>1</sub>
20	81	96	88. <sub>5</sub>	75	83	79	96. <sub>3</sub>
30	81	96	88. <sub>5</sub>	72	88	80	97. <sub>5</sub>
40	78	94	86	75	90	82. <sub>5</sub>	100. <sub>6</sub>
50	80	96	88	73	92	82. <sub>5</sub>	100. <sub>6</sub>
60	78	96	87	74	92	83	101. <sub>2</sub>

$E=12^v$  (8 Elem. Lecl.).

Die Flächen der Elektroden waren: 10—12 mm. lang, 6—8 mm. breit.

№ XVI. $J=0.000076$ A.				№ XVII. $J=0.000072$ A.			
T	ab	ba	M	ab	ba	M	
0	156	176	166	166	188	177	100
1	117	100	108. <sub>5</sub>	104	140	122	68. <sub>9</sub>
5	98	156	127	92	170	131	74
10	104	163	133. <sub>5</sub>	100	177	138. <sub>5</sub>	78. <sub>2</sub>
20	134	143	138. <sub>5</sub>	104	177	140. <sub>5</sub>	79. <sub>3</sub>
30	129	153	141	117	173	145	81. <sub>9</sub>
40	119	163	141	128	170	149	84. <sub>1</sub>
50	115	170	142. <sub>5</sub>	138	172	155	87. <sub>6</sub>
60	115	173	144	142	170	156	88. <sub>1</sub>

$E=18^v$  (12 Elem. Lecl.).

Die Flächen der Elektroden waren: 6—8 mm. lang, 4—6 mm. breit.

№ XVIII. $J=0.000073$ A.				№ XIX. $J=0.000066$ A.			
T	ab	ba	M	ab	ba	M	
0	244	292	268	270	286	278	100
1	122	106	114	120	129	124. <sub>5</sub>	44. <sub>5</sub>
5	143	117	130	124	140	132	47. <sub>4</sub>
10	163	134	148. <sub>5</sub>	129	150	139. <sub>5</sub>	50. <sub>1</sub>
20	170	150	160	134	163	148. <sub>5</sub>	53. <sub>4</sub>

30	173	170	171. <sub>5</sub>	<b>64.<sub>0</sub></b>	146	172	159	<b>57.<sub>2</sub></b>
40	181	177	179	<b>66.<sub>8</sub></b>	154	179	166. <sub>5</sub>	<b>59.<sub>8</sub></b>
50	185	185	185	<b>69</b>	162	186	174	<b>62.<sub>6</sub></b>
60	189	191	190	<b>70.<sub>9</sub></b>	170	192	181	<b>65.<sub>1</sub></b>

$E=24^v$ . (16 Elem. Lecl.).

Die Flächen der Elektroden waren: 4—5 mm. lang, 3—4 mm. breit.

№ XX. $J=0.000070$ A.				№ XXI. $J=0.000072$ A.				
T	ab	ba	M		ab	ba	M	
0	342	336	339	<b>100</b>	340	320	330	<b>100</b>
1	78	63	70. <sub>5</sub>	<b>20.<sub>8</sub></b>	78	81	79. <sub>5</sub>	<b>24.<sub>1</sub></b>
5	66	75	70. <sub>5</sub>	<b>20.<sub>8</sub></b>	75	92	83. <sub>5</sub>	<b>25.<sub>3</sub></b>
10	72	78	75	<b>22.<sub>1</sub></b>	88	98	93	<b>28.<sub>2</sub></b>
20	73	78	75. <sub>5</sub>	<b>22.<sub>2</sub></b>	96	104	100	<b>30.<sub>3</sub></b>
30	72	83	77. <sub>5</sub>	<b>22.<sub>8</sub></b>	98	112	105	<b>31.<sub>3</sub></b>
40	76	85	80. <sub>5</sub>	<b>23.<sub>7</sub></b>	102	117	109. <sub>5</sub>	<b>33.<sub>4</sub></b>
50	78	87	82. <sub>5</sub>	<b>24.<sub>3</sub></b>	105	120	112. <sub>5</sub>	<b>34.<sub>4</sub></b>
60	76	88	82	<b>24.<sub>4</sub></b>	105	120	112. <sub>5</sub>	<b>34.<sub>4</sub></b>

Die Messungsprotokolle enthalten die Angaben, welche bei der Einwirkung von Strömen gleicher Intensität, aber ungleicher Dichtigkeit erhalten wurden. Wollen wir dieselben benutzen, um die Abhängigkeit der Veränderungen der Widerstandsgrösse von der Dichtigkeit des Stroms deutlicher zu zeigen.

Wir haben 4 Paar Versuche: 1) XIV und XV, 2) XVI und XVII, 3) XVIII und XIX, 4) XX und XXI, in denen die Grössen der Elektrodenflächen sich scharf von einander unterscheiden. Die mittlere Grösse der Elektrodenflächen in dem ersten Paar war = 280 □ Mm., in dem zweiten = 77 □ Mm., in dem dritten = □ 35 Mm. und in dem vierten Paar von Versuchen = 15 □ Mm.

Die Verhältnisse der Grössen der Berührungsflächen der Elektroden sind:

$$18.<sub>6</sub> : 5.<sub>1</sub> : 2.<sub>3</sub> : 1.$$

Wollen wir sehen, um wieviel Prozent die anfängliche Widerstandsgrösse des Blattes bei der Einwirkung von Strömen gleicher Intensität aber ungleicher Dichtigkeit, wie soeben angegeben wurde, fiel. Benutzen wir die Angaben, welche *sogleich* nach der Unterbrechung des Batteriestroms und 5 Minuten später vermerkt wurden.

T	XIV	XV	M	XVI	XVII	M	XVIII	XIX	M	XX	XXI	M
1'	7. <sub>1</sub>	4. <sub>9</sub>	<b>6</b>	34. <sub>7</sub>	31. <sub>1</sub>	<b>32.<sub>9</sub></b>	57. <sub>5</sub>	55. <sub>6</sub>	<b>56.<sub>5</sub></b>	79. <sub>2</sub>	75. <sub>9</sub>	<b>77.<sub>5</sub></b>
5'	4. <sub>8</sub>	4. <sub>9</sub>	<b>4.<sub>9</sub></b>	23. <sub>5</sub>	26	<b>24.<sub>8</sub></b>	51. <sub>5</sub>	52. <sub>6</sub>	<b>52</b>	79. <sub>2</sub>	74. <sub>7</sub>	<b>77</b>

Wenn wir nur die mittleren Grössen ins Auge fassen und nur ihr Verhältnis zu einander nehmen, so erhalten wir:

$$\begin{array}{l} 1' \quad 1 : 5.5 : 9.4 : 12.9. \\ 5' \quad 1 : 5.0 : 10.4 : 15.7. \end{array}$$

Vergleichen wir jetzt alle constatirten Verhältnisse mit einander.

Die Verhältnisse der Grössen der elektromotorischen Kräfte sind 1:2:3:4.

> > > Berührungsflächen der Elektroden—18.<sub>6</sub> : 5.<sub>4</sub> : 2.<sub>3</sub> : 1.

> > > % der Abnahme des Leitungswiderstandes—1:5.<sub>5</sub> : 9.<sub>4</sub> : 13.

Wir sehen, dass je grösser die Dichtigkeit des Stromes ist, desto bedeutender die Veränderungen des Widerstandes der Blattgewebe sind. Wir könnten uns mit diesem Resultate begnügen, wenn wir nicht gesehen hätten, dass bei dem Studium dieser Abhängigkeit, mit der Veränderung der Dichtigkeit des Stromes sich zugleich und in derselben Richtung auch die Grösse der elektromotorischen Kräfte verändert. Der Einfluss der Grössenveränderungen dieser letzteren auf die Grössenveränderungen des Leitungswiderstandes der Blattgewebe ist uns bis jetzt nicht bekannt. Den Unterschied in den erhaltenen Resultaten können wir nicht ausschliesslich dem Unterschiede in der Dichtigkeit des Stromes zuschreiben, ehe wir einen Beweis dafür erhalten haben, dass eine Schwankung in der Grösse der elektromotorischen Kräfte die Resultate nicht ändert, solange die Stromintensität unverändert bleibt.

**Zweite Serie.**—Das gegenseitige Verhältnis der Richtungen des Batteriestromes und des Stromes der Messungskette, die Wirkungskdauer des Stromes und die Entfernung der Elektroden von einander waren dieselben wie in den Versuchen der ersten Serie. Ein wesentlicher Unterschied bestand nur darin, dass die elektromotorische Kraft der Batterie in allen Versuchen eine constante Grösse blieb = 12° (8 Elemente Leclanché).

Bei den Versuchen XXII und XXIII war die mittlere Grösse der Berührungsfläche einer jeden Elektrode 9 □ Mm.

№ XXII. J=0.000023 A.				№ XXIII. J=0.000024 A.				
T	ab	ba	M	ab	ba	M		
0	526	488	507	100	488	566	527	100
1	222	156	189	37. <sub>5</sub>	177	212	194. <sub>5</sub>	36. <sub>9</sub>
5	244	194	219	43. <sub>2</sub>	203	263	233	44. <sub>2</sub>
10	244	244	244	48. <sub>1</sub>	222	308	265	50. <sub>3</sub>
20	270	316	293	57. <sub>3</sub>	257	400	328. <sub>5</sub>	62. <sub>3</sub>
30	300	400	350	59. <sub>0</sub>	257	440	348. <sub>5</sub>	66. <sub>1</sub>
40	334	455	394. <sub>5</sub>	77. <sub>3</sub>	300	480	390	74
50	354	488	421	83	300	520	410	77. <sub>8</sub>
60	376	525	450. <sub>5</sub>	88. <sub>0</sub>	310	550	430	81. <sub>6</sub>

Bei den Versuchen XXIV und XXV war die mittlere Grösse der Berührungsfläche einer jeden Elektrode 20 □ Mm.

№ XXIV. $J=0.000030$ A.					№ XXV. $J=0.000030$ A.				
T	ab	ba	M		ab	ba	M		
0	400	376	388	<b>100</b>	400	316	358	<b>100</b>	
1	212	185	198. <sub>5</sub>	<b>51.<sub>4</sub></b>	194	181	187. <sub>5</sub>	<b>52.<sub>3</sub></b>	
5	227	257	242	<b>62.<sub>4</sub></b>	207	233	220	<b>61.<sub>4</sub></b>	
10	238	277	257. <sub>5</sub>	<b>66.<sub>4</sub></b>	217	263	240	<b>67</b>	
20	263	300	281. <sub>5</sub>	<b>72.<sub>5</sub></b>	227	277	252	<b>70.<sub>4</sub></b>	
30	292	300	296	<b>76.<sub>3</sub></b>	244	292	268	<b>74.<sub>8</sub></b>	
40	300	316	308	<b>79.<sub>4</sub></b>	263	325	294	<b>82.<sub>4</sub></b>	
50	316	334	325	<b>83.<sub>7</sub></b>	263	344	303. <sub>5</sub>	<b>84.<sub>8</sub></b>	
60	320	350	335	<b>66.<sub>3</sub></b>	370	354	312	<b>87.<sub>4</sub></b>	

Bei den Versuchen XXVI und XXVII war die mittlere Grösse der Berührungsfläche einer jeden Elektrode 200 □ Mm.

№ XXVI. $J=0.000092$ A.					№ XXVII. $J=0.000089$ A.				
T	ab	ba	M		ab	ba	M		
0	130	134	132	<b>100</b>	135	155	145	<b>100</b>	
1	106	90	98	<b>74.<sub>2</sub></b>	108	115	111. <sub>5</sub>	<b>77</b>	
5	100	112	106	<b>80.<sub>3</sub></b>	117	117	117	<b>80.<sub>7</sub></b>	
10	110	117	113. <sub>5</sub>	<b>86</b>	127	129	128	<b>88.<sub>3</sub></b>	
20	117	124	120. <sub>5</sub>	<b>91.<sub>3</sub></b>	135	138	136. <sub>5</sub>	<b>94.<sub>1</sub></b>	
30	119	127	123	<b>93.<sub>2</sub></b>	138	146	142	<b>97.<sub>9</sub></b>	
30	122	127	124. <sub>5</sub>	<b>94.<sub>3</sub></b>	140	150	145	<b>100</b>	
50	126	132	129	<b>97.<sub>7</sub></b>	138	156	147	<b>101.<sub>4</sub></b>	
60	130	134	132	<b>100</b>	140	159	149. <sub>5</sub>	<b>103.<sub>1</sub></b>	

Vergleichen wir unter einander die mittleren Grössen 1) der Berührungsflächen der angewandten Elektroden (□), 2) der Stromintensitäten ( $J$ , in Millionsteln Ampère) und 3) der Abnahme des Leitungswiderstandes (in %), die sogleich nach dem Oeffnen der Kette stattgefunden hat.

$J = 90.5$	30	23. <sub>5</sub>
□ = 200	20	9
% der Abnahme = 23. <sub>3</sub>	48. <sub>3</sub>	63

Wir sehen, dass die anfängliche Widerstandsgrösse der Blattgewebe unter dem Einflusse des Batteriestromes je mehr abnimmt, je geringer der Flächenraum der dabei angewandten Elektroden ist. Dieser Einfluss der Grösse der Berührungsfläche der Elektroden ist um so offener, als bei der Anwendung von Elektroden mit kleinen Berührungsflächen die Stromintensität weit geringer ist als, in einem analogen Versuche, die Stromintensität, wenn Elektroden mit grösseren Berührungsflächen angewandt werden. Wenn in dem Falle, wo Elektroden angewandt werden, deren Berührungsflächen je 200 □

Mm. betragen und die anfängliche Widerstandsgrösse der Blattgewebe um 23% sinkt, so sinkt dieselbe Grösse um 48,3% bei der Anwendung von Elektroden mit noch kleineren Berührungsflächen, z. B. 20 □ Mm., zweimal grösser als im ersten Falle, obgleich die Stromintensität (30) dreimal schwächer ist als im ersten Falle (90).

### III.

#### Abhängigkeit der Grössenveränderung des Leitungswiderstandes der Pflanzengewebe von der Grösse der elektromotorischen Kräfte der Batterie.

Gehen wir jetzt zum Studium der Abhängigkeit der Veränderungen des Leitungswiderstandes der Pflanzengewebe von der zweiten elektrischen Grösse—der elektromotorischen Kraft der angewandten Batterie über. Obgleich in den Versuchen, deren Resultate wir oben mitgeteilt haben, Veränderungen in der Grösse dieser Kraft beobachtet wurden, so fanden dieselben gleichzeitig mit den Veränderungen der Stromintensität (Protokolle №№ II—XIII) statt und standen zu denselben in geradem Verhältnisse. In weiteren Versuchen machten wir es uns zur Aufgabe die Thatsache der Abhängigkeit der Grössenveränderungen des Leitungswiderstandes von der Dichtigkeit des Stromes festzustellen, wobei aber bei diesen Versuchen (zweite Serie) die elektromotorische Kraft der Batterie eine constante Grösse blieb.

Um die Abhängigkeit der Grössenveränderungen des Leitungswiderstandes der Pflanzengewebe von den elektromotorischen Kräften der Batterie festzustellen wird eine solche Anordnung des Versuches notwendig, bei welcher die Intensität und Dichtigkeit des Stromes constant, Grössen wären. Die von mir getroffene Anordnung bestand in Folgendem. Zwischen die Elektroden *a* und *c* (Fig. 3), durch welche der Batteriestrom floss, setzte ich noch eine Elektrode *b*. Gemessen wurden die Grössen des Leitungswiderstandes zwischen den Punkten *a* und *c*, *a* und *b*, *b* und *c* vor und nach dem Durchgange des Batteriestromes. Dann wurde ein anderes Blatt genommen und an dasselbe ebenfalls drei Elektroden gesetzt. Der Zweck dieses Versuches bestand darin, dass auf die Strecke *ac* dieses zweiten Blattes ein Strom von derselben Intensität einwirke, wie auf die analoge Strecke des ersten Blattes eingewirkt hatte. Der einzige Unterschied muss darin bestehen, dass die elektromotorische Kraft der Batterie in beiden Fällen merklich eine verschiedene sei. Zu diesem Zwecke wird im zweiten Versuche wird die Grösse der Berührungsfläche einer der Elektroden und zwar der Elektrode *c* verändert, während diejenige der Elektrode *a* im Vergleich zu derjenigen des ersten Versuchs unverändert bleibt. So war im Versuch XXVIII die Berührungsfläche einer jeden der beiden Elektroden, *a* und *c* = 16(4.4) □ Mm. Im Versuch XXX war diejenige der Elektrode *a* auch = 16 □ Mm., die Berührungsfläche der

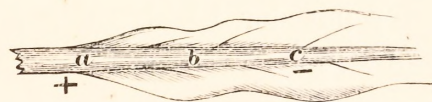


Fig. 3.

Elektrode  $c$  aber 120 □ Mm. Im ersten Falle wirkte auf die Strecke  $ca$  der Strom einer Batterie von  $24^v$ , im zweiten von  $18^v$  ein, in beiden Fällen aber war die Stromintensität ( $24 : 615000 = 0,000038$  und  $18 : 460000 = 0,000039$ ) dieselbe. Mit derselben Intensität floss der Strom auch durch einen jeden Querschnitt des Leiters, folglich auch durch die Strecke  $ab$ .

Was die Dichtigkeit des Stromes anbetrifft, so bestehen offenbar in einem jeden der beiden Versuche ungleiche Bedingungen. Während wir in dem ersten Versuche dieselbe in beiden Elektroden für gleich ansehen können, müssen wir in dem zweiten Versuche in denselben Elektroden in den Dichtigkeitsgrößen einen scharfen Unterschied anerkennen. Folglich, wenn wir in Bezug auf die Dichtigkeit des Stromes alle Querschnitte beider interpolärer Strecken mit einander vergleichen, so finden wir die bedeutendsten Unterschiede in deren Grösse in der unmittelbaren Nachbarschaft mit der Elektrode  $c$ , während dieselbe, je mehr sich jene der Elektrode  $a$  nähern, allmählig ausgleicht und in der unmittelbaren Nähe der letzteren wahrscheinlich gleich Null wird. Je kürzer  $ab$  im Vergleich zur interpolären Strecke ist, desto geringer ist der Unterschied in der Dichtigkeit des sie durchfliessenden Stromes. In meinen Versuchen war  $ab = \frac{1}{3} ac$  ( $ac = 30$  Mm.). Diese Strecke  $ab$  wurde in beiden Versuchen der Einwirkung eines Stromes von gleicher Intensität und gleicher Dichtigkeit ausgesetzt (letztere war eine und dieselbe bei der Elektrode  $a$ , aber (wahrscheinlich) eine verschiedene bei der Elektrode  $b$ ). Folglich, wenn sich in dem Effekt des Einflusses des Stromes auf die Objekte, die man studirt, ein Unterschied bemerkbar macht, so ist derselbe dem Unterschiede in der Grösse der elektromotorischen Kräfte (richtiger—dem Unterschiede in der Grösse der Potentialdifferenzen zwischen den Punkten  $a$  und  $b$ ) zuzuschreiben.

In allen Versuchen, deren Protokolle weiter unten gegeben werden, hatte der Strom in dem Blatte die Richtung von  $a$  nach  $c$ , wobei die Elektrode  $b$  weder mit der Elektrode  $a$  noch mit der Elektrode  $c$  in metallischer Verbindung stand.

Bei den Versuchen XXVIII und XXIX war die Grösse der Berührungsfläche einer jeden Elektrode ( $a$  und  $c$ ) 16 □ Mm.

№ XXVIII.			$E=24^v$ (16 Elem. Lecl.).				$J=0.000038$ A.		
T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	615	669	<b>642</b>	376	354	<b>365</b>	440	506	<b>473</b>
1	308	257	<b>282</b> <sub>.5</sub>	193	227	<b>210</b>	284	216	<b>250</b>
5	284	316	<b>300</b>	207	270	<b>238</b> <sub>.5</sub>	276	243	<b>259</b> <sub>.5</sub>
10	292	354	<b>323</b>	249	316	<b>282</b> <sub>.5</sub>	300	287	<b>293</b> <sub>.5</sub>
20	328	392	<b>360</b>	320	375	<b>347</b> <sub>.5</sub>	340	312	<b>326</b>
30	365	415	<b>390</b>	327	295	<b>361</b>	388	327	<b>357</b> <sub>.5</sub>
40	394	448	<b>421</b>	319	415	<b>367</b>	406	357	<b>381</b> <sub>.5</sub>
50	430	458	<b>444</b>	337	398	<b>367</b> <sub>.5</sub>	408	372	<b>390</b>
50	450	480	<b>465</b>	337	398	<b>367</b> <sub>.5</sub>	418	396	<b>407</b>

№ XXIX.  $F=24^v$  (16 Elem. Lecl.).  $J=0.000037$  A.

T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	640	680	<b>660</b>	334	334	<b>334</b>	490	514	<b>502</b>
1	304	272	<b>288</b>	168	173	<b>170</b> . <sub>5</sub>	236	207	<b>221</b> . <sub>5</sub>
5	315	294	<b>304</b> . <sub>5</sub>	193	203	<b>198</b>	254	226	<b>240</b>
10	350	300	<b>325</b>	200	214	<b>207</b>	308	280	<b>294</b>
20	376	366	<b>371</b>	207	270	<b>238</b> . <sub>5</sub>	372	360	<b>366</b>
30	438	426	<b>432</b>	241	300	<b>270</b> . <sub>5</sub>	442	408	<b>425</b>
40	516	450	<b>483</b>	285	370	<b>327</b> . <sub>5</sub>	503	463	<b>483</b>
50	564	476	<b>520</b>	308	370	<b>339</b>	510	460	<b>485</b>
60	683	538	<b>610</b> . <sub>5</sub>	317	368	<b>342</b> . <sub>5</sub>	515	450	<b>482</b> . <sub>5</sub>

Bei den Versuchen XXX und XXXI war die Grösse der Berührungsfläche der Elektrode  $a$  16 □ Mm., der Elektrode  $c$ —120 □ Mm. (10.12).

№ XXX.  $E=18^v$  (12 Elem. Lecl.).  $J=0.000039$  A.

T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	460	422	<b>431</b>	354	412	<b>383</b>	300	222	<b>261</b>
1	316	354	<b>335</b>	257	292	<b>274</b> . <sub>5</sub>	233	233	<b>233</b>
5	316	387	<b>351</b> . <sub>5</sub>	250	344	<b>297</b>	263	227	<b>245</b>
10	325	400	<b>362</b> . <sub>5</sub>	270	376	<b>323</b>	263	227	<b>245</b>
20	325	426	<b>375</b> . <sub>5</sub>	270	376	<b>323</b>	257	233	<b>245</b>
30	331	455	<b>393</b>	270	400	<b>335</b>	257	238	<b>247</b> . <sub>5</sub>
40	336	488	<b>413</b>	277	412	<b>344</b> . <sub>5</sub>	263	250	<b>256</b> . <sub>5</sub>
50	342	495	<b>418</b> . <sub>5</sub>	280	426	<b>353</b>	268	258	<b>263</b>
60	340	502	<b>421</b>	284	438	<b>361</b>	274	264	<b>269</b>

№ XXXI.  $E=18^v$  (12 Elem. Lecl.).  $J=0.000039$  A.

T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	455	371	<b>413</b>	308	354	<b>331</b>	355	257	<b>306</b>
1	270	376	<b>323</b>	177	270	<b>223</b> . <sub>5</sub>	233	238	<b>235</b> . <sub>5</sub>
5	300	376	<b>338</b>	212	270	<b>241</b>	233	250	<b>241</b> . <sub>5</sub>
10	316	387	<b>351</b> . <sub>5</sub>	233	277	<b>255</b>	238	270	<b>254</b>
20	334	400	<b>367</b>	250	300	<b>275</b>	260	263	<b>261</b> . <sub>5</sub>
30	334	406	<b>370</b>	244	310	<b>277</b>	276	250	<b>263</b>
40	340	400	<b>370</b>	263	308	<b>285</b> . <sub>5</sub>	262	258	<b>260</b>
50	342	402	<b>372</b>	278	292	<b>285</b>	254	284	<b>269</b> . <sub>5</sub>
60	344	402	<b>373</b>	284	300	<b>292</b>	250	290	<b>270</b>

Bei den Versuchen XXXII und XXXIII war die Grösse der Berührungsfläche der Elektrode  $a$  16 □ Mm.,—der Elektrode  $c$ —200 (25.8) □ Mm.

№ XXXII.  $E=12^v$  (8 Elem. Lecl.).  $J=0.000036$  A.

T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	324	284	<b>304</b>	316	354	<b>335</b>	344	256	<b>300</b>
1	284	257	<b>270</b> . <sub>5</sub>	284	334	<b>309</b>	254	270	<b>312</b>

5	292	263	<b>277</b> <sub>.5</sub>	300	354	<b>327</b>	376	277	<b>326</b> <sub>.5</sub>
10	292	277	<b>284</b> <sub>.5</sub>	308	387	<b>347</b> <sub>.5</sub>	380	300	<b>340</b> <sub>.5</sub>
20	263	325	<b>294</b>	325	426	<b>375</b> <sub>.5</sub>	384	334	<b>359</b>
30	263	334	<b>298</b> <sub>.5</sub>	334	440	<b>387</b>	387	360	<b>373</b> <sub>.5</sub>
40	270	330	<b>300</b>	365	420	<b>392</b> <sub>.5</sub>	394	365	<b>379</b> <sub>.5</sub>
50	305	305	<b>305</b>	400	412	<b>406</b>	400	370	<b>385</b>
60	330	288	<b>309</b>	440	400	<b>420</b>	426	376	<b>401</b>

N: XXXIII.  $E=12^v$  (8 Elem. Lecl.). $J=0.000033$  A.

T	ac	ca	M	ab	ba	M	bc	cb	M
0	354	376	<b>365</b>	278	376	<b>327</b>	354	284	<b>319</b>
1	316	365	<b>340</b> <sub>.5</sub>	257	365	<b>311</b>	354	270	<b>312</b>
5	325	365	<b>345</b>	263	376	<b>319</b> <sub>.5</sub>	365	277	<b>321</b>
10	334	358	<b>346</b>	270	372	<b>321</b>	365	280	<b>322</b> <sub>.5</sub>
20	376	344	<b>360</b>	308	365	<b>336</b> <sub>.5</sub>	376	292	<b>334</b>
30	371	358	<b>364</b> <sub>.5</sub>	365	354	<b>359</b> <sub>.5</sub>	325	344	<b>334</b> <sub>.5</sub>
40	376	365	<b>370</b> <sub>.5</sub>	400	354	<b>377</b>	344	372	<b>358</b>
50	387	370	<b>378</b> <sub>.5</sub>	405	365	<b>385</b>	354	376	<b>365</b>
60	390	372	<b>381</b>	410	370	<b>390</b>	352	384	<b>368</b>

Um die Abhängigkeit, die wir eben studiren, anschaulicher zu machen, wollen wir die erhaltenen Zahlen ( $M$ ) wieder auf 100 beziehen. Angesichts dessen, dass die Resultate in einem jeden Paar von Versuchen (XXVIII und XXIX, XXX und XXXI, XXXII und XXXIII), die unter gleichen Bedingungen angestellt wurden, einander äusserst ähnlich sind, führe ich nur die mittleren der auf jedes Paar Versuche bezüglichen Grössen an.

XXVIII	XXX	XXXI	XXVIII	XXX	XXXII	XXVIII	XXX	XXXII	
und	und	und	und	und	und	und	und	und	
XXIX.	XXXII.	XXXIII.	XXIX.	XXXI.	XXXIII.	XXIX.	XXXI.	XXXIII.	
T	ac	ac	ac	ab	ab	ab	bc	bc	bc

 $E=24^v$ .  $E=18^v$ .  $E=12^v$ .

0	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	43 <sub>.8</sub>	77 <sub>.9</sub>	91 <sub>.4</sub>	54 <sub>.2</sub>	69 <sub>.5</sub>	93 <sub>.6</sub>	48 <sub>.5</sub>	83 <sub>.4</sub>	100 <sub>.9</sub>
5	46 <sub>.3</sub>	81 <sub>.6</sub>	92 <sub>.8</sub>	62 <sub>.3</sub>	75 <sub>.4</sub>	97 <sub>.6</sub>	51 <sub>.3</sub>	86 <sub>.2</sub>	104 <sub>.7</sub>
10	49 <sub>.8</sub>	84 <sub>.6</sub>	94 <sub>.4</sub>	69 <sub>.6</sub>	80 <sub>.6</sub>	100 <sub>.9</sub>	60 <sub>.2</sub>	88 <sub>.4</sub>	107 <sub>.2</sub>
20	56 <sub>.1</sub>	87 <sub>.9</sub>	97 <sub>.6</sub>	83 <sub>.3</sub>	83 <sub>.6</sub>	107 <sub>.4</sub>	70 <sub>.9</sub>	89 <sub>.6</sub>	112 <sub>.4</sub>
30	63	90 <sub>.4</sub>	99	89 <sub>.9</sub>	85 <sub>.5</sub>	112 <sub>.7</sub>	80	90 <sub>.3</sub>	114 <sub>.6</sub>
40	69 <sub>.3</sub>	92 <sub>.7</sub>	100	99 <sub>.2</sub>	88	116 <sub>.4</sub>	88 <sub>.4</sub>	91 <sub>.5</sub>	119 <sub>.3</sub>
50	73 <sub>.9</sub>	93 <sub>.5</sub>	102	101 <sub>.4</sub>	89 <sub>.4</sub>	119 <sub>.4</sub>	89 <sub>.5</sub>	94 <sub>.3</sub>	121 <sub>.3</sub>
60	82 <sub>.4</sub>	94	103	101 <sub>.6</sub>	91 <sub>.2</sub>	122 <sub>.3</sub>	91	95 <sub>.6</sub>	124 <sub>.5</sub>

Wir richten unser Augenmerk nur auf die Strecke  $ab$ . Obgleich dieselbe in allen Versuchen dem Einflusse von Strömen einer und derselben Intensität

und Dichtigkeit ausgesetzt gewesen war, so boten doch die seitens derselben in dieser Strecke hervorgerufenen Veränderungen in dem Leitungswiderstande bedeutende Schwankungen. Diese Schwankungen treten um so schärfer hervor, je grösser die elektromotorische Kraft der Batterie ist. Wenn bei Anwendung einer Batterie von  $12^v$  elektromotorischer Kraft der Leitungswiderstand der Blattgewebe der Strecke *ab* sich um 7% der anfänglichen Grösse verminderte, so fiel derselbe um 45.8%, wenn eine Batterie von  $24^v$  elektromotorischer Kraft angewandt wurde. Daraufhin müssen wir anerkennen, dass die Grössen der Veränderungen des Leitungswiderstandes der Blattgewebe sich in offenkundiger Abhängigkeit von der Grösse der elektromotorischen Kräfte der angewandten Batterien befinden.

### Vorläufige Analyse der Versuche.

Ehe ich zur weiteren Darlegung meiner Versuche übergehe, halte ich es für nötig mich bei der theoretischen Abschätzung der von mir schon erhaltenen Thatsachen aufzuhalten. Ich bezwecke damit die Aufstellung eines Programms für die weiteren Versuche, welche auf diese Weise als eine logische Folge schon jetzt angedeuteter allgemeiner Prinzipien erscheinen werden.

Es wirft sich uns die Frage auf, warum unter dem Einflusse des elektrischen Stromes der Leitungswiderstand der Blattgewebe abnimmt. In dem hier gegebenen Falle besitzt der Leiter besondere Eigenschaften, die der Physiker nicht in Betracht zu ziehen hat. Daraus folgt aber noch nicht, dass der das Blatt durchfliessende Strom in letzterem irgend eine andere Form von Arbeit leistet, als diejenigen, welche schon bei dem Durchgange des Stromes durch nicht organisierte Körper beobachtet worden sind. Folglich müssen wir auf eine uns schon bekannte Arbeitsform des Stromes hinweisen, und zwar auf diejenige, welche in dem gegebenen Falle einwirkte und die Veränderung des Leitungswiderstandes, dessen Grössenabnahme, hervorrief. Diese Abnahme wurde, wie wir gesehen haben, grösser verhältnismässig: 1) zur Intensität (Dichtigkeit) des Stroms und 2) zur Grösse der elektromotorischen Kräfte. Eine solche Funktionalität der Erscheinung bewegt uns, zuerst die mechanischen Aeusserungen des Stromes zu untersuchen.

Im Jahre 1809 wurde die von Reuss (in Moskau) entdeckte Thatsache der Fortführung von Flüssigkeiten durch ein poröses Diaphragma unter dem Einflusse eines dieses Diaphragma durchfliessenden elektrischen Stromes bekannt. Diese Thatsache wurde jedoch bald vergessen, und erst seit 1816 wird ihrer in den speciellen Zeitschriften wieder erwähnt. Seitdem ist die Frage von der Fortführung der Flüssigkeiten durch den Strom der Gegenstand eines aufmerksamen Studiums seitens einer ganzen Reihe von Physikern geworden, und hat die Erscheinung selbst zwei Benennungen «elektrische Endosmose»<sup>1)</sup> und «kathaphorische Wirkung des Stromes» erhalten. Was die Gesetze anbe-

---

<sup>1)</sup> Diese Benennung ist unbefriedigend.—S. Étude sur l'osmose des liquides au point de vue historique, physique et de ses principales applications.—Thèse par Em. Doumer. 1881, Bordeaux.

trifft, denen diese Fortführung von Flüssigkeiten von der Anode zur Kathode durch das poröse Diaphragma unterworfen ist, so waren dieselben bis 1852 nicht festgestellt. Dann aber erschien eine grosse experimentelle Arbeit Wiedemann's, in welcher er eine bestimmte Abhängigkeit der Menge ( $m$ ) der übergeführten Flüssigkeit, von verschiedenen Versuchsbedingungen feststellt, und zwar die Abhängigkeit von der Intensität ( $i$ ) des Batteriestroms, von der Oberfläche ( $o$ ) des Thondiaphragma, von dessen Dicke ( $d$ ) und dem specifischen Leitungswiderstande ( $r$ ) der Flüssigkeit. Er fand, dass  $m = ki$  ist, wobei  $k$  eine für jede Flüssigkeit constante, für verschiedene Flüssigkeiten veränderliche Grösse, in Abhängigkeit von deren Leitungswiderstand und der Reibung in den Poren, ist. Wir sehen, dass die Menge der Flüssigkeit, die durch den galvanischen Strom in einer Zeiteinheit von der Anode zur Kathode fortgeführt wird, von der Oberfläche und Dicke des Diaphragma nicht abhängt und für eine jede gegebene Flüssigkeit und ein jedes gegebene Material des Diaphragma in geradem Verhältnisse zur Intensität des Batteriestromes steht.

Wenn man das Ende der Röhre, aus welcher die Flüssigkeit unter dem Einflusse des Stromes herausfliesst mit einem Quecksilbermanometer verbindet, so wird die Kraft, mit welcher der galvanische Strom die Flüssigkeit von der Anode zur Kathode überzuführen strebt, durch einen entsprechenden Druck compensirt werden. Die Grösse des compensirenden Druckes wird, so zu sagen, als Maass der fortbewegenden Kraft des Stromes dienen. Wiedemann hat die Abhängigkeit dieser Kraft, die durch die Höhe ( $h$ ) der Quecksilbersäule des Manometers gemessen wird, von verschiedenen Versuchsbedingungen untersucht und gefunden, dass

$$(I) \quad h = \text{Const.} \frac{i \cdot r \cdot d}{o}$$

ist.

Wir sehen, dass die Kraft, mit welcher der galvanische Strom die Flüssigkeit fortführt, der Intensität dieses Stromes, dem specifischen Widerstand der Flüssigkeit und der Dicke der Thonwand (d. h. der Länge der Capillarröhrchen) proportional, der Oberfläche der letzteren umgekehrt proportional ist.

Wenn wir mit  $E$  die elektrische Spannung auf den in die Flüssigkeit tauchenden und an beiden Seiten des Thondiaphragma befindlichen Metallplatten bezeichnen, so ist

$$(II) \quad i = \text{Const.} \frac{Eo}{dr}$$

Dieser galvanische Strom führt die Flüssigkeit durch das Diaphragma mit einer gewissen Kraft fort, welche dem hydrostatischen Drucke ( $h$ ) entspricht.

Substituirt man den Wert  $i$  in Gleichung (I), so erhält man

$$h = \text{Const.} \text{ Const.} \frac{Eo}{dr} \cdot \frac{rd}{o} = CE,$$

d. h. die elektrische Spannung, die in den an beiden Seiten des in die Flüssigkeit tauchenden Thondiaphragma's befindlichen Elektrodenplatten vorhanden ist, führt die Flüssigkeit mit einer Kraft fort, die dem hydrostatischen Drucke gleich ist, welcher dieser Spannung proportional ist. Daraus zieht Wiedemann folgenden Schluss: «Es ist demnach die Fortführung der Flüssigkeit durch den galvanischen Strom lediglich eine Aeusserung der sie erzeugenden elektromotorischen Kraft». Aber in Wiedemann's Arbeit finden wir keine speciellen Versuche zur Bestätigung dieses Satzes. Solche wurden später (im Jahre 1861) von Quincke veranstaltet, aber nicht unter Anwendung von Thondiaphragmen, sondern von capillaren Glasröhrchen. Die Resultate dieser Versuche stimmen vollkommen mit den von Wiedemann mitgetheilten überein. Das ist begreiflich, da man ein Thondiaphragma als eine Sammlung von Capillarröhrchen betrachten kann.

Ich führe hier zwei Paar von Quincke's Versuchen an, welche ein unmitttelbares Verhältniss zu dem Falle haben, den wir untersuchen, und welche das oben festgestellte Gesetz bestätigen.

Ein Capillarröhrchen 0,897 Mm. im Durchmesser enthielt destillirtes Wasser, welches in demselben dem Einflusse des Stromes einer Batterie aus Grove'schen Elementen ausgesetzt wurde. Die Entfernung ( $L$ ) zwischen den Elektroden war entweder 100 oder 190 Mm. Das Ansteigen des Meniscus der Wassersäule wurde mit dem Mikroskop beobachtet.

Länge der Wassersäule = 190 Mm.			Länge der Wassersäule = 100 Mm.		
Batterie:	$I$	$\Delta h$	$I$	$\Delta h$	
80	58. <sup>Sk</sup> <sub>65</sub>	5.60	139. <sup>Sk</sup> <sub>87</sub>	5.875	
40	27. <sup>Sk</sup> <sub>07</sub>	2.85	64. <sup>Sk</sup> <sub>53</sub>	2.85	

Wir sehen, das die Steighöhen ( $\Delta h$ ) des Wassers unter sonst gleichen Bedingungen den Stromintensitäten proportional sind. Vergleichen wir jetzt mit einander die Resultate der Versuche bei der Anwendung von Batterien mit einer und derselben elektromotorischen Kraft.

	$L$	$E$	$I$	$\Delta h$
N <sup>o</sup> 1	100	40	64,53	2,85
N <sup>o</sup> 2	190	40	27,07	2,85

Wir sehen, dass, obgleich im ersten Falle (N<sup>o</sup> 1) die Wassersäule dem Einflusse eines stärkeren Stromes ausgesetzt war, die absolute Steighöhe des Meniscus in beiden Fällen eine und dieselbe war (2,85). Da aber in beiden Fällen die Grösse der elektromotorischen Kräfte der Batterie dieselbe war, so müssen wir daraus schliessen, dass die Grösse der Wirkung sich in gerader Abhängigkeit von der Grösse der elektromotorischen Kräfte der angewandten Batterien befindet. Bei einer und derselben elektromotorischen Kraft der Batterie hat die Länge der Capillarröhrchen keinen Einfluss auf die Grösse der Steighöhe des Wassermeniscus, was aus Wiedemann's Versuchen geschlossen

werden kann, nach welchen die Menge der fortgeführten Flüssigkeit von der Dicke  $d$  der Thondiaphragmen, das heisst von der Länge der Capillaren, nicht abhängt.

Nun wende ich mich wieder meinen eigenen Versuchen zu. Die Bedingungen, unter denen sie angestellt wurden, lassen natürlicherweise die Vermutung aufkommen, dass während des Durchgangs des elektrischen Stromes durch das Blatt, die soeben betrachtete Arbeitsform des Stromes vor sich gehen könnte. In der That hatten wir dort in unmittelbarer Berührung mit einander feuchte Elektroden und die Oberfläche des Hauptnerven, welche die Eigenschaft besitzt, gut benetzt zu werden, vor uns. Folglich kann unter dem Einflusse des Stromes Fortführung des Wassers aus dem feuchten Elektroden in das Blatthäutchen stattfinden, was seinerseits zur Verminderung des Widerstandes der darunterliegenden Strecke des Blattes herbeiführen kann. Diese Erklärung wird an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn es uns gelingt die Resultate meiner Versuche mit den physikalischen Gesetzen von der Fortführung der Flüssigkeiten in Uebereinstimmung zu bringen.

Wenden wir uns einem Vergleich zu. Derselbe zeigt deutlich, dass zwei Reihen von Erscheinungen—die Fortführung einer Flüssigkeit durch poröse Diaphragmen und die Verminderung des Widerstandes der Blattgewebe—in ihrer Funktion von der Stromdichte mit einander garnicht übereinstimmen. Während die Grösse der Oberfläche des porösen Diaphragma gar keine Bedeutung für die Menge der durchfliessenden Flüssigkeit hat, ist die Grösse der Verminderung des Widerstandes der Blattgewebe, im Gegenteil, in offener Abhängigkeit von der Grösse der Berührungsfläche der Thonelektroden.

Was die Abhängigkeit beider bezeichneter Erscheinungen von der zweiten elektrischen Grösse— $E$  anbetrifft, so beobachten wir zwar eine Aehnlichkeit, aber keine vollständige. Während wir in Wiedemann's und Quincke's Versuchen Proportionalität zwischen der Menge der übergeführten Flüssigkeit und der Grösse der elektromotorischen Kräfte sehen, vermischen wir eine solche Proportionalität in den Versuchen mit dem Blatte; alles, was wir sagen können, wird sich nur auf die Beobachtung beschränken, dass der Widerstand der Pflanzengewebe mit dem Anwachsen der elektromotorischen Kräfte der Batterie geringer wird, indem er dabei einem andern Gesetze als demjenigen der geraden Linie folgt.

Folglich, wenn wir die Verminderung des Widerstandes der Gewebe des Blattes durch den Eintritt in dasselbe von Wasser aus den feuchten Elektroden unter dem Einflusse des elektrischen Stromes erklären wollen, so müssen wir zuerst den scheinbaren Widerspruch der von mir erhaltenen Resultate mit denjenigen, die wir auf Grund physikalischer Forderungen von der Ueberführung von Flüssigkeiten zu erwarten berechtigt wären, beseitigen.

Wie lässt sich nun der Widerspruch dieser beiden Erscheinungen erklären? Um das zu verdeutlichen, wollen wir uns zuerst bei ihrer Abhängigkeit von den elektromotorischen Kräften der angewandten Batterien aufhalten.—Das Wesentlichste, was hier unsere Aufmerksamkeit auf sich lenkt, ist der Unterschied in der Natur der von uns untersuchten Grössen: in Wiedemann's

und Quincke's Versuchen werden die Mengen frei ausfliessender oder fortgeführter Flüssigkeit, in den Versuchen mit dem Blatte—die Veränderungen elektrischer Grössen untersucht. Diese Veränderungen, welche durch denselben elektrischen Strom bedingt werden, welcher in demselben Versuche auch die Fortführung der Flüssigkeit bewirkt, können wir als secundäre Erscheinungen betrachten. Nehmen wir, dass wir anstatt eines Blattes ein dickes Thondiaphragma vor uns haben, welches an jeder Seite von einer unpolarisirbaren Elektroden berührt wird, deren Fläche im Vergleich zu der Fläche des Thondiaphragma sehr klein ist. Der Strom einer Batterie von zwei Grove'schen Elemente wird auf so lange geschlossen, dass das aus den feuchten Elektroden übergeführte Wasser den Thon nur sehr oberflächlich befeuchte. Machen wir einen ähnlichen Versuch mit einem andern Thondiaphragma, indem wir uns aber einer Batterie von 4 Elementen bedienen. Offenbar wird im zweiten Falle die in die Thonwand eingetretene Wassermenge doppelt so gross als im ersten Falle sein. Nehmen wir jetzt an, dass der Widerstand des ersten Thondiaphragma in Abhängigkeit von dem in dasselbe unter der Einwirkung des Stromes von 2 Grove'schen Elementen eingetretenen Wassers im Vergleich mit seiner anfänglichen Grösse um 25% geringer geworden ist. Dürfen wir nun behaupten, dass im zweiten Falle, wenn zweimal mehr Wasser eintritt, der Widerstand um 50% sinkt. Offenbar nicht, da die Veränderungen der Widerstandsgrössen körperlicher Leiter in dem gegebenen Falle einem andern Gesetze untergeordnet sind. Aber es ist ebenso klar, dass die Menge der ortgeführten Flüssigkeit sowohl als auch die Grösse der Veränderungen des Widerstandes von einer und derselben unabhängigen Variablen  $E$  abhängen. Das bezieht sich auch auf die Versuche mit dem Blatte. Der Eintritt von Wasser in das Blattgewebe steht (in gewissen Grenzen) in gerader Abhängigkeit von der elektromotorischen Kraft der Batterie, während die dadurch hervorgerufene Verminderung des Widerstandes des Blattes einem andern Gesetze untergeordnet ist; beide Erscheinungen befinden sich jedoch in Abhängigkeit von  $E$ .

Wenden wir uns jetzt der Vergleichung beider Erscheinungen, die wir studiren, hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von der Stromdichtigkeit zu. In Wiedemann's Versuchen hängt bei einer und derselben Stromintensität die Menge der fortgeführten Flüssigkeit von der Grösse der Oberfläche der Thonwand nicht ab. In den Versuchen mit dem Blatte befindet sich, im Gegenteil, die Grösse der Veränderungen des Widerstandes in offener Abhängigkeit von der Grösse der Berührungsflächen der Elektroden. Wenn wir die Verminderung des Widerstandes der Gewebe durch die Ueberführung von Wasser in dieselben aus den feuchten Elektroden erklären wollen, so müssen wir auch diesen Widerspruch beseitigen. Auch lässt er sich leicht erklären.—Wiedemann's Versuchen nach, wird durch ein kleines Diaphragma ebenso viel Flüssigkeit fortgeführt wie durch ein grosses. Daraus erhellt offenbar, dass ein unter einer mit kleiner Berührungsfläche versehenen Elektrode befindlicher Teil des Blattes ebenso viel Flüssigkeit erhält wie einer, der sich unter einer Elektrode befindet, die eine grosse Berührungsfläche hat. Folglich stellt die oberflächliche Schicht des ersten Teils eine homogenere Masse vor und bedingt

daher im Vergleich mit dem zweiten Teil geringeren Widerstand. Um in gleichen Zeiträumen eine und dieselbe Flüssigkeitsmenge durch Diaphragmen, die sich durch ihre Oberfläche unterscheiden, fortzuführen, muss die Stromintensität umgekehrt proportional den Grössen dieser Flächen sein. In dem Versuche *A* beträgt die Oberfläche der Elektroden  $\frac{1}{10}$  der Oberfläche der Elektrode des Versuches *B*. Obgleich für einen jeden der beiden Blattteile eine und dieselbe Wassermenge genügen wird, so wird das Wasser auf den kleineren Teil (Versuch *A*) des Blattes mit einer 10-mal grösseren Kraft strömen als auf den grösseren Teil (Versuch *B*). Folglich wird der erste Teil tiefer durchfeuchtet werden, auf einer grösseren Strecke eine homogenere und besser leitende Masse vorstellen als der zweite.

Diese vorläufige Analyse der durch Versuche erhaltenen Thatsachen giebt uns die Möglichkeit anzuerkennen, dass die durch den Strom bedingte Verminderung des Widerstandes der Blattgewebe durch die Fortführung in dieselben von Wasser aus den feuchten Elektroden bedingt wird.

Aber dürfen wir uns darauf beschränken und die ganze Erscheinung auf die örtliche Veränderung der Oberfläche des Blattes zurückführen? Offenbar nicht. Das Blatthäutchen an den Berührungsstellen mit den Elektroden ist die erste und letzte Haltestelle, die Aus- und Eintrittsstelle des Stromes. Man muss a priori zugeben, dass auf der ganzen interpolaren Strecke unseres complicirt gebauten Leiters der Strom irgend eine Arbeit ausführt, die auf die Leitungsfähigkeit der Gewebe einen Einfluss ausübt. Von diesem Gesichtspunkte aus wird der Unterschied zwischen den Grössen des anfänglichen und des veränderten Widerstandes nicht nur durch Veränderungen in dem Blatthäutchen, sondern auch durch solche in allen Geweben, durch welche der Strom fliesst, bedingt.

Wenn ich hier diese vorläufige Analyse der durch Versuche erhaltenen Thatsachen gebe, so geschieht es, um den Ausgangspunkt zu weiteren Versuchen festzustellen.

---