

III.

Ueber den Einfluss, welchen die Dimensionen innerlich polarisirbarer Körper auf die Grösse der secundär-elektromotorischen Wirkung üben.

(Gelesen in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 31. Januar 1859.)¹

Die wichtige Rolle, welche die innere Polarisation bei gewissen thierisch-elektrischen Erscheinungen spielt, hat mich veranlasst, sie noch nach mehr Richtungen weiter zu verfolgen, als dies in meiner ersten Mittheilung darüber² geschehen ist. Unter anderen ward es mir wünschenswerth, eine deutliche Vorstellung davon zu erlangen, wie die Dimensionen [69] des innerlich polarisirbaren Körpers auf die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung einwirken. Offenbar muss das Verhältniss ein sehr verwickeltes sein, insofern nämlich der Widerstand der innerlich polarisirbaren Körper stets ein grosser im Vergleich zu dem der Säule und des Multiplicators ist, die ursprüngliche und die secundäre Stromstärke folglich schon in dieser Weise von den Maassen jenes Körpers abhängen; zweitens bei wachsendem Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers die Dichte des gleich stark gedachten ursprünglichen Stromes darin abnimmt, die secundär-elektromotorische Kraft aber unzweifelhaft nicht mit der ursprünglichen Stromstärke, sondern vielmehr mit dieser Dichte nach irgend einem Gesetze wächst.

Um einigermaassen die Folgen dieser verschiedenen Abhängigkeiten zu übersehen, wollen wir gewisse einfache Voraussetzungen machen, wodurch wir in Stand gesetzt werden, uns der Rechnung zu bedienen.

Es heisse nämlich

E die elektromotorische Kraft der Säule, die den ursprünglichen Strom liefert;

¹ Monatsberichte u. s. w. 1859. S. 68.

² S. die vorhergehende Abhandlung (II).

S der Widerstand des Säulenkreises gemessen bis zum innerlich polarisirbaren Körper;

M der Widerstand des Multiplicatorkreises ebenso gemessen;

q der Querschnitt jenes prismatisch gedachten Körpers;

L dessen Länge gemessen zwischen den den Grundflächen des Prisma's angelegten Endbüschen des Säulenkreises;

mL , worin m eine Constante < 1 , seine Länge gemessen zwischen den Keilbüschen des Multiplicatorkreises;

σ dessen Widerstand für die Einheit der Länge und des Querschnittes; endlich t die Dauer der Schliessung des ursprünglichen Stromes.

Die Stärke des ursprünglichen Stromes wird sein

$$I = \frac{E}{S + \frac{\sigma L}{q}} \quad (I)$$

Wir wollen annehmen, die im durchströmten Körper im Augenblick der Oeffnung des Säulen- und Schliessung des Multiplicator[70]kreises (die als gleichzeitig betrachtet werden) gegenwärtige und im letzteren Kreise wirksame Summe E' secundär-elektromotorischer Kräfte sei 1. der Dauer des ursprünglichen Stromes, 2. seiner Dichte, beides zwischen gewissen Grenzen, 3. der Länge der in's Auge gefassten Strecke mL einfach proportional. Da die Dichte = dem Quotienten aus dem Querschnitt in die Stromstärke, so wird also E' dem Querschnitt, innerhalb gewisser Grenzen, umgekehrt proportional sein.

Dies scheint ganz unverfänglich, doch ist zweierlei dazu zu bemerken. Erstens muss man sich den innerlich polarisirbaren Körper von sehr gestreckter Gestalt denken, damit man ohne merklichen Fehler E' der Strecke mL proportional setzen könne, weil nämlich die Ableitung zum Multiplicatorkreise nicht von den Grundflächen des Prima's aus, sondern mittels der Keilbüsche geschieht, in welche sich die Stromcurven hineinbiegen müssen, so dass ein Theil der zunächst den Ableitungsstellen ihren Sitz habenden elektromotorischen Kräfte nicht zur Wirkung kommt. Für's Zweite sind Gründe vorhanden anzunehmen, dass die in einem Querschnittselement erzeugte secundär-elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise nur mit einem Theile wirkt, welcher nicht unabhängig ist von dem Querschnitt des innerlich polarisirten Körpers, von seiner Länge, und vom Widerstande des Multiplicatorkreises.

Sieht man von diesen Umständen ab, so hat man also

$$E' = -n \cdot t \cdot \frac{I}{q} \cdot mL.$$

Setzt man hierin für I dessen Werth aus (I), so erhält man

$$E' = - n.t. \frac{E}{S + \frac{\sigma L}{q}} \cdot \frac{mL}{q}$$

Unter der schon erwähnten Voraussetzung einer sehr gestreckten Gestalt des innerlich polarisirbaren Körpers ist dessen Widerstand zwischen den Keilbäuschen ohne merklichen Fehler zu setzen

$$= \frac{m\sigma L}{q}$$

[71] Es ergibt sich folglich für die im ersten Augenblick der Schliessung des Multiplicatorkreises stattfindende Stromstärke der Ausdruck

$$I' = - n.t. \frac{E}{\left(S + \frac{\sigma L}{q}\right)\left(M + \frac{m\sigma L}{q}\right)} \cdot \frac{mL}{q} \quad (\text{II})$$

Wie man sieht, kommen in diesem Ausdruck die Dimensionen des polarisirbaren Körpers L und q nur zusammen und zwar dergestalt verbunden vor, dass sie den Widerstand des Körpers angeben, insofern er von den Dimensionen abhängt. Liesse man daher L und q in gleichem Verhältniss sich verändern, so dass

$$\frac{L}{q} = r = \text{const.},$$

so würde die im ersten Augenblick stattfindende secundär-elektromotorische Wirkung dieselbe bleiben, welches auch der Werth von L und q wäre.

Ein Ergebniss, welches auch ohne Rechnung einleuchtet. Bleibt nämlich der Widerstand des innerlich polarisirbaren Körpers unverändert, so bleibt dies auch die Stärke des ursprünglichen Stromes, und ebenso der Widerstand des secundären Kreises, d. h. des Kreises, der aus jenem Körper und dem Multiplicatorkreise besteht. In dem Maasse, wie der Querschnitt wächst, nimmt freilich, bei sich gleich bleibender Stärke des ursprünglichen Stromes, die Dichte dieses Stromes im Querschnitt und folglich die secundär-elektromotorische Kraft im Längenelemente ab. Allein da in demselben Maasse die Länge wachsen soll, so bleibt schliesslich E' , die Summe der secundär-elektromotorischen Kräfte, constant, und bei sich gleichbleibendem Widerstande des secundären Kreises also auch die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung im ersten Augenblick.

Denken wir uns nunmehr r veränderlich und untersuchen die Function $I' = f(r)$, so zeigt sich, dass diese für $r = 0$ und $r = \infty$ verschwindet und dazwischen ein Maximum hat für

$$r = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{SM}{m}}$$

wenn also $S = M$ und $m = 1$, für

$$[72] \quad \sigma r = \frac{\sigma L}{q} = S = M,$$

oder für den Fall, dass der Widerstand des innerlich polarisirbaren Körpers gleich ist dem des Säulen- und dem des Multiplicatorkreises. Geben wir S und M ihre allgemeine Bedeutung wieder, denken uns q beständig, und nur L veränderlich, so findet ein Maximum statt für

$$L = \frac{q}{\sigma} \sqrt{\frac{SM}{m}}.$$

Umgekehrt bei beständigem L und veränderlichem q für

$$q = \sigma L \sqrt{\frac{m}{SM}}. \quad (\text{III})$$

Bemerkenswerth ist noch, was sich ereignet, wenn man sich denkt, dass der Widerstand des Säulen- sowohl als des Multiplicatorkreises verschwindet gegen den des innerlich polarisirbaren Leiters, und umgekehrt. In beiden Fällen hört die Function $I = f(r)$ auf, ein Maximum zu besitzen. Im ersten Fall nämlich wird sie

$$I = \frac{ntE}{\sigma^2 \cdot r},$$

im zweiten

$$I = \frac{mntE \cdot r}{SM}. \quad (\text{IV})$$

Die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung wird also im ersten Falle dem Widerstand des polarisirbaren Leiters, insofern er von dessen Dimensionen abhängt, umgekehrt, im zweiten gerade proportional sein.

Es wäre nun von hohem Interesse gewesen, die wichtigsten unter diesen Schlüssen durch den Versuch zu prüfen, theils um die Gestaltung des Phänomens unter den fraglichen Umständen wirklich zu erkennen, theils um sich von dem Maass von Wahrheit und Irrthum in den gemachten Voraussetzungen zu überzeugen. Dies würde indessen für's Erste erfordert haben, dass diese Versuche in messende umgewandelt würden, wozu die Beseitigung der Polarisation der Platinenden des Multiplicatorkreises [73] und die Anwendung eines wirklichen galvanometrischen Messwerkzeuges, statt des Multiplicators für den Nervenstrom, oder Graduirung des letzteren, vor Allem nöthig geworden wären. Für's Zweite ist aber noch zu beachten, dass der Ausdruck (II) die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung unter den gemachten Voraussetzungen genau nur im ersten Augenblick nach der als gleichzeitig betrachteten Oeffnung des Säulen- und Schliessung des Multiplicatorkreises darstellt. Zur Bewährung dieser Formel und der daraus abgeleiteten Schlüsse könnte folglich nur

geschritten werden mit Hülfe der von Hrn. POGGENDORFF für das Studium der secundär-elektromotorischen Erscheinungen empfohlenen und zwar äusserst schnell bewegten Wippe, etwa in der Gestalt, die Hr. SIEMENS derselben ertheilt hat.¹

Obschon ich nun dies Alles für nicht unausführbar hielt, so würde es doch auf alle Fälle ein so weit aussehendes Unternehmen geworden sein, dass ich vor der Hand davon abstehen zu müssen glaubte. Ich habe mich damit begnügt, von jenen Schlüssen solche durch den Versuch zu bestätigen, welche dazu keine eigentlichen Maassbestimmungen erfordern, wobei ich also ausser Acht lassen durfte erstens, dass die bei Schliessung des Multiplicator- nach Oeffnung des Säulenkreises erfolgende Summe secundär-elektromotorischer Wirkungen auf die Nadel der Grösse der im ersten Augenblick stattfindenden secundär-elektromotorischen Kraft möglicherweise nicht einfach proportional ist; und zweitens, dass wenn auch diese Proportionalität stattfände, der Ausschlag der Nadel doch nicht entfernter Weise ein getreues Maass jener Summe liefert. Sogar von solchen Prüfungen habe ich übrigens nur den allerkleinsten, wenn auch wichtigsten Theil bisher anzustellen vermocht.

$$I. \frac{L}{q} = const.$$

Ein Punkt, der zunächst zur experimentellen Bestätigung einlud, war das oben der Formel (II) entnommene Ergebniss, dass die Grösse der secundär-elektromotorischen Wirkung von [74] der Länge und dem Querschnitt ganz unabhängig sei, wenn nur das Verhältniss beider beständig bleibe.

Ich liess von einem geschickten Tischler aus demselben Stück Weissbuchenholz fünf Paar Stäbe von verschiedener Grösse schneiden, an denen diese Bedingung möglichst genau erfüllt war. Sie besaßen nämlich (in rheinischen Zollen) folgende Maasse:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Länge	1"	2"	3"	4"	6"
Querschnitt	$\frac{1}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{1}{64} \square''$	$\frac{2}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{2}{64} \square''$	$\frac{3}{8}'' \times \frac{1}{8}'' = \frac{3}{64} \square''$	$\frac{2}{8}'' \times \frac{2}{8}'' = \frac{4}{64} \square''$	$\frac{3}{8}'' \times \frac{2}{8}'' = \frac{6}{64} \square''$

Diese Stäbe wurden in destillirtem Wasser gesotten, bis sie unter-sanken und anzunehmen war, dass sie alle auf allen Punkten gleichmässig damit durchtränkt seien. Die Stäbe wurden, bei den folgenden Versuchen, um ihnen den ursprünglichen Strom zuzuleiten, mit ihren beiden Enden zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule eingeklemmt. Die Enden waren,

¹ Vgl. POGGENDORFF's Annalen der Physik und Chemie. 1844. Bd. LXI. S. 586; — 1857. Bd. CII. S. 70. — Vergl. unten, S. 48.
E. du Bois-Reymond, Ces. Abh. I.

wie ich es häufig bei diesen Versuchen thue, um das Eindringen des Kupfersalzes zu verhindern, mit Schildern aus Modellirthon bekleidet. Der Modellirthon ist zwar selber innerlich polarisirbar,¹ indessen verschwinden die secundär-elektromotorischen Wirkungen, deren er fähig ist, gegen die des Holzes sogar bei gleichen Dimensionen; vollends musste dies hier der Fall sein, wo die Dicke der Thonschilder gegen die Länge der Stäbe, mit Ausnahme vielleicht des kürzesten, kaum in Betracht kam.

Die grösstmögliche Dünne der Schilder war übrigens noch durch eine andere Betrachtung geboten. Durch ihre Einführung in den Säulenkreis geht der erste Factor des Nenners in (II) über in

$$S + \frac{2\tau\lambda}{q} + \frac{\sigma I}{q}$$

wo τ den eigenthümlichen Widerstand des Thons, λ die Dicke des Thonschildes bezeichnen. Da in dem hinzugetretenen Gliede [75] der Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers nicht mehr mit der Länge zusammen in der Art vorkommt, dass dadurch der Widerstand jenes Körpers ausgedrückt wird, insofern er von den Dimensionen abhängt, so würde, wenn dieses Glied einen grossen Einfluss ausübte, die Schlussfolge, auf deren Bestätigung im Versuch es hier abgesehen ist, in ihren Vordersätzen untergraben werden. Es muss also darauf geachtet werden, dass $2\tau\lambda : q$ möglichst klein sei, was, da τ durch die Natur der Dinge und q durch den angewandten Stab gegeben sind, nur dadurch geschehen kann, dass man λ möglichst klein, d. h. die Thonschilder möglichst dünn nimmt.

Um die secundär-elektromotorische Wirkung von den Stäben abzuleiten, wurden ihnen die mit doppelten Eiweissshäutchen bekleideten Schneiden der Keilbäusche angelegt; wenn die Stäbe nicht quadratisch waren, der einen breiten Seite, allen aber an zwei im Voraus bezeichneten, von ihren beiden Enden gleich weit entfernten und zwar so gewählten Stellen, das $m = \frac{11}{12}$.

Einige Vorversuche lehrten, dass, um am Multiplicator für den Nervenstrom einen Ausschlag von passender Grösse durch die secundär-elektromotorische Wirkung dieser Stäbe zu erhalten, der Durchgang des Stromes von zehn GROVE'schen Elementen während eines gewissen durch das Uhrwerk² abgemessenen Bruchtheils einer Secunde genügte, dessen absoluten Werth ich noch nicht kenne und daher vorläufig mit $\frac{1}{n}$ bezeichne. Diese Anordnung wurde beibehalten, da anzunehmen war, dass der Widerstand der mit destillirtem Wasser getränkten Stäbe noch immer

¹ S. oben Abh. II. S. 17.

² S. oben Abh. I. S. 3.

gross genug war im Vergleich zu dem der zehngliederigen GROVE'schen Säule, damit nicht eine Annäherung an den durch (IV) ausgedrückten Zustand stattfinde, während es aus Gründen, die ich hier noch nicht erörtern mag, zweckmässig schien, die Schliessung des Säulenkreises möglichst kurz dauern zu lassen.

Die Stärke des ursprünglichen Stromes, die begreiflich mit allen Stäben dieselbe sein musste, wurde durch den Ausschlag [76] bestimmt, den er an einer Tangentenbussole mit Spiegelablesung hervorbrachte. Der Spiegel schwang so viel schneller als das Nadelpaar des Multiplicators für den Nervenstrom, dass es keine Schwierigkeit hatte, zuerst den Ausschlag durch den ursprünglichen Strom, dann den durch die secundär-elektromotorische Wirkung zu beobachten.

Es wurden nun nach einander, jedoch ohne in Bezug auf die absolute Grösse der Stäbe irgend eine Ordnung zu beobachten, mit jedem der beiden zu einem Paare gehöriger Stäbe vier Versuche angestellt. Bei zweien ging der Strom in der einen, bei den beiden anderen in der anderen Richtung durch die Stäbe. Die Zahlen in der folgenden Tabelle sind demnach Mittel aus acht Ablesungen. Die Zahlen in der mit *U* bezeichneten wagerechten Reihe sind die Ausschläge durch den ursprünglichen Strom, die in der mit *S* bezeichneten die durch die secundär-elektromotorische Wirkung.

	I	II	III	IV	V
<i>U</i>	38·2	49·9	34·9	45·4	46·0
<i>S</i>	55·8	59·5	45·7	53·6	50·6

Die Zahlen der zweiten Reihe stimmen zwar nicht besonders, indem die unter II und III eine etwas grosse Abweichung vom Mittel zeigen. Da aber die Zahlen der ersten Reihe in demselben Sinne abweichen, so ist klar, dass in diesen Fällen, aus irgend einem Grunde, das Product aus Stärke in Dauer des ursprünglichen Stromes beziehlich grösser oder kleiner war als sonst. Erwägt man, dass während die absoluten Dimensionen der Stäbe so ausserordentlich wachsen, die Zahlen, welche die ungefähre Grösse der secundären Wirkung bemessen, sich beinahe gleich bleiben, und höchstens spurweise eine Abnahme nach der Richtung der wachsenden absoluten Dimensionen erkennen lassen; nimmt man hiezu die zahlreichen Fehlerquellen, als da sind verschiedene Leitungsfähigkeit und Polarisirbarkeit des Holzes, rascheres Austrocknen der Stäbe von kleinerem Querschnitt, verschiedene Leitungsfähigkeit und Dicke der Thonschilder, ver- [77] schiedene Dauer der Schliessung des Säulenkreises (da das Uhrwerk bei so kurzen Zeiträumen etwas weniger verlässlich arbeitet), verschiedenes Anlegen der Keilbäusche, Austrocknen der Eiweisshäutchen

und Eindringen des Salzes in die Häutchen, u. d. m.: so gelangt man zu dem Schlusse, dass das theoretisch vorhergesehene Gesetz sich im Versuch hinreichend bewährt habe, um annehmen zu können, dass es nicht allzuweit von der Wahrheit abweiche. In diesem Schlusse wird man noch bestärkt durch die Wahrnehmung, zu der uns alsbald Gelegenheit werden wird, wie rasch und gesetzmässig die secundär-elektromotorischen Wirkungen sich verändern, sobald nicht bloss die absoluten, sondern auch die relativen Dimensionen des innerlich polarisirbaren Körpers sich verändern.

II. Maximum in Bezug auf L .

Demnächst versuchte ich nämlich jetzt, das durch die Rechnung verkündigte Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung in Bezug auf den Leitungswiderstand des innerlich polarisirbaren Körpers, sofern er durch die Dimensionen bestimmt wird, nachzuweisen, und zwar zuerst indem ich, bei beständigem Querschnitt, allein die Länge wachsen liess. Zu diesem Zweck brachte ich auf der einen schmalen Seite der in der vorigen Versuchsreihe mit V bezeichneten, $6'' = 156 \cdot 9^{\text{mm}}$ langen, mit destillirtem Wasser getränkten weissbuchenen Stäbe, eine willkürliche Theilung an, deren Grade beiläufig sehr nahe $= 2^{\text{mm}}$ waren. Der Stab wurde mit dem einen Ende eingeklemmt, so dass er wagerecht freischwebte. An die eine seiner dabei senkrecht gestellten breiten Seitenflächen wurden die mit doppelten Eiweisshäutchen bekleideten Keilbäusche des Säulenkreises, an die andere, jenen genau gegenüber, die des Multiplicatorkreises gelegt, so dass also m hier $= 1$ war. Der ursprüngliche Strom wurde von nur fünf GROVE'schen Elementen geliefert. Die Dauer der Durchströmung war auch hier nur $\frac{1}{n}''$. Ich gebe die Zahlen einer Versuchsreihe, in Mitteln aus zwei Beobachtungen mit verschiedener Richtung des ursprünglichen Stromes.

[78] In folgender Tabelle zeigt die erste Columne (L) die zwischen den beiden Paaren von Querbäuschen begriffenen Längen des feuchten Holzstabes in Graden jener willkürlichen Theilung an; die zweite und fünfte (No.) enthalten die Nummern der Versuche; die mit S und U bezeichneten haben dieselbe Bedeutung wie in der vorigen Tabelle. Beim Verfolgen der Versuchsnummern bemerkt man, dass ich zuerst L von 5 bis auf 80° wachsen und dann wieder bis auf 5° sinken liess. Dies hatte zum Zweck die Veränderungen der verschiedenen Theile der Vorrichtung, die während der mehrere Stunden langen Dauer des Versuches nicht wohl zu vermeiden waren, unschädlich zu machen. Man sieht, dass unserer Vorhersicht gemäss, ein Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung

L	No.	U	S	No.	U	S
5	1	75.5	3.7	26	53.7	3.0
10	2	54.5	17.5	25	39.0	7.0
15	3	39.2	26.2	24	35.0	22.0
20	4	34.2	34.0	23	31.7	30.5
25	5	25.5	30.5	22	27.5	31.7
30	6	23.7	30.0	21	24.0	30.2
35	7	23.2	32.5	20	22.7	31.5
40	8	19.7	29.2	19	19.2	26.5
45	9	16.7	26.0	18	20.0	30.0
50	10	16.0	25.5	17	15.5	24.2
60	11	12.0	22.0	16	15.2	26.2
70	12	9.7	19.0	15	11.5	20.0
80	13	9.4	17.0	14	9.2	16.5

in Bezug auf die Länge des innerlich polarisirbaren feuchten Leiters wirklich stattfindet. Dasselbe liegt zwischen den Längen 20° und 35° . Die Ausschläge schwanken hier so wenig, dass ihre Unterschiede innerhalb der Grenzen bleiben, zwischen denen sie sich auch ohne Veränderung der Länge zeigen würden, wenn die Keilbäusche [79] mehrmals entfernt und wieder hingeschoben worden wären. Jenseit des Maximums nimmt die secundär-elektromotorische Wirkung weit langsamer ab, als sie diesseit desselben anstieg.

Aehnliche Versuche mit gleichem Erfolg, wenn auch nicht so wohl ausgesprochener Gesetzmässigkeit der Zahlen, habe ich auch noch mit dem oben S. 35 mit III bezeichneten Stäbepaar angestellt.

III. Maximum in Bezug auf q .

Nunmehr handelte es sich darum, das Dasein eines Maximums auch in Bezug auf q , bei beständig gehaltenem L , nachzuweisen. Dies hatte sehr viel grössere Schwierigkeiten. Erstens gibt es keine Art den Querschnitt des innerlich polarisirbaren feuchten Leiters mit solcher Leichtigkeit zu verändern, wie seine beim Versuch in Betracht kommende Länge, und zweitens wird der Vergrösserung des Querschnittes durch die Maasse der Bäusche sehr bald eine nicht zu überschreitende Grenze gesetzt, wenn nicht ganz andere Einrichtungen nöthig werden sollen.

Zuerst schnitt ich aus grossen Kartoffeln Prismen von ungefähr 40^{mm} Länge und möglichst grossem Querschnitt, klemmte sie, an ihren Grundflächen mit möglichst dünnen Thonschildern versehen, zwischen die Zuleitungsbäusche der Säule ein, und legte ihnen die mit doppelten Eiweisshäutchen bekleideten Keilbäusche des Multiplicatorkreises an. Es zeigte sich, dass bei 1" langer Dauer des ursprünglichen Stromes dreissig GROVE'sche Glieder nothwendig waren, um am Multiplicator für den Nervenstrom eine secundär-elektromotorische Wirkung von passender Stärke zu erzeugen. Ich spaltete nun das Prisma der Länge nach, beobachtete abermals die secundär-elektromotorische Wirkung, und so fort, bis ich das Prisma auf einen ganz dünnen Streifen des Kartoffelgewebes zurückgeführt hatte. Allein nur in seltenen Fällen gab sich, und auch nicht ganz überzeugend, anfangs eine Verstärkung, und erst später eine Schwächung der Wirkung in Folge der Verdünnung des Prisma's kund. Nur das zeigte sich allerdings, dass von einer gewissen Grenze an die Wirkungen mit weiter wachsender Dicke nicht mehr merklich zunehmen. Unter der Voraussetzung, dass ein Maximum wirklich vorhanden und die Formel (III) richtig sei, war es deutlich, dass dies Maximum [80] in diesen Versuchen nicht erreicht werden konnte, weil die Bäusche sowohl, als die Kartoffeln, vermöge ihrer absoluten Dimensionen, nicht die Anwendung eines Prisma's von solchem Querschnitt erlaubten, dass die in (III) ausgesprochene Bedingung erfüllt würde. Es konnte aber, von den im Zähler stehenden Factoren dieses Ausdrucks, σ naturgemäss nicht verkleinert werden. L konnte es deshalb nicht, weil dann die Gesetze der linearen Stromvertheilung auch nicht mehr annähernd anwendbar gewesen wären, und weil dadurch die secundär-elektromotorische Wirkung selber zu sehr geschwächt worden wäre. Aus demselben Grunde kann die Verkleinerung von m nicht viel helfen, die ich übrigens fruchtlos bis zu $m = \frac{1}{2}$ trieb.

Eben so unglücklich war ich mit aus Thon gekneteten Stäben von verschiedenem Querschnitt, und mit balkenförmigen Fliesspapierbäuschen, die mit destillirtem Wasser getränkt waren, und von denen ich Schicht um Schicht ablöste um ihren Querschnitt allmählich zu verkleinern. Indessen führte mich dieser letztere Versuch auf den Gedanken der Methode, mit deren Hülfe es mir zuletzt doch gelang, das Maximum der secundär-elektromotorischen Wirkung auch in Bezug auf den Querschnitt darzuthun.

Es war nämlich klar, dass es sich darum handelte, einen innerlich polarisirbaren Körper von geringerem eigenthümlichen Widerstande zu haben, als Kartoffelgewebe, Thon, Fliesspapier mit Wasser getränkt. Ein solcher ist das mit einer Salzlösung getränkte Holz, welches sich damit noch immer, obschon bei weitem nicht so stark wie mit Wasser, kräftiger

secundär-elektromotorischer Wirkungen fähig zeigt.¹ Die Anwendung des Holzes bot aber eine doppelte Schwierigkeit. Erstens die, es vollkommen gleichmässig mit der so schwer darin eindringenden Salzlösung zu tränken, zweitens die, dass man nicht weiss, wie man den Querschnitt nach Belieben veränderlich machen könne. Denn daran, ein feuchtes Holzprisma etwa zu spalten oder mit der Säge allmählich zu verkleinern, war aus vielerlei Gründen nicht zu denken.

[81] Ich half mir folgendermaassen. Aus Birkenfournier liess ich eine hinlängliche Anzahl Streife von 6" Länge, $\frac{1}{2}$ " Breite und $\frac{1}{16}$ " Dicke schneiden. Einen Theil davon sott ich in gesättigter Kochsalzlösung, bis sie darin untersanken. Auf die in passenden Abstand gerückten Zuleitungsbüusche der Säule legte ich nun zuerst einen Streif mit seinen beiden Enden flach auf, gegen Verunreinigung mit dem Kupfersalz durch ein Thonschild geschützt. An die eine Kante des Streifes schob ich, in geringer Entfernung von dessen Enden, die Keilbüusche des Multiplicatorkreises, hier natürlich ohne Eiweisshäutchen, da ja der Streif gleichfalls mit Kochsalzlösung getränkt war. Nachdem die secundär-elektromotorische Wirkung unter diesen Umständen bestimmt war, legte ich auf den ersten Streif einen zweiten, auf diesen einen dritten, und so fort nach Bedürfniss, indem ich Sorge trug, dass die Kante der Streife stets in genaue Berührung mit den Schneiden der Keilbüusche kam. Die Säule musste, bei $\frac{1}{n}$ " dauerndem Durchgang des Stromes, dreissiggliederig genommen werden. Die secundäre Wirkung wurde wie bisher am Multiplicator für den Nervenstrom, die ursprüngliche an der Spiegelbussole beobachtet. In der folgenden Tabelle, deren Zahlen das Mittel aus vier Ablesungen bei verschiedener Richtung des ursprünglichen Stromes, und bei wachsender und abnehmender Anzahl der Streife sind, bedeuten die obersten Zahlen die Anzahl der angewandten Fournierstreife.

	1	2	3	4	5	6	8
<i>U</i>	27·7	33·1	42·0	44·1	44·5	45·0	46·5
<i>S</i>	5·0	6·7	4·0	4·1	2·8	?	?

Bei 6, vollends bei 8 Streifen fand nur noch eine ungewisse Spur secundär-elektromotorischer Wirkung statt.

Da, bei verschwindendem Querschnitt des innerlich polarisirbaren Körpers, die secundär-elektromotorische Wirkung nothwendig gleichfalls verschwinden muss, so ist durch diese Versuchsreihe nunmehr ein Maximum jener Wirkung auch in Bezug auf den Querschnitt erwiesen, wenn

¹ S. oben Abh. II. S. 18.

gleich die ihr entsprechenden Zahlen von 1 bis 2 Streifen nur unbedeutend wachsen.

[82] Besser spricht sich das Gesetz in folgender Versuchsreihe aus, welche mit ähnlichen Streifen angestellt wurde, die ich aber, statt in Kochsalzlösung, in schwefelsaurer Kupferoxydlösung gesotten hatte. Hier fielen die Thonschilder zwischen den Streifen und den Säulenbüschen fort, hingegen ward es nöthig, die Keilbüsche mit mehreren Lagen Fliesspapier zu bekleiden, von denen die innersten mit Kochsalzlösung, die äussersten mit schwefelsaurer Kupferoxydlösung getränkt waren. Die secundär-elektromotorische Wirkung war so sehr viel grösser,¹ dass es genügte, fünf GROVE'sche Glieder $\frac{1}{n}$ " lang einwirken zu lassen, dass aber ausserdem die Empfindlichkeit des Multiplicators für den Nervenstrom noch bedeutend gemässigt werden musste. Die Zahlen in der mit $\frac{1}{2}$ bezeichneten senkrechten Spalte sind mit einem der Länge nach in zwei gleich breite Hälften zerschlitzten Fournierstreife gewonnen.

	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5	6	8	10
<i>U</i>	13·2	19·6	47·3	60·6	67·2	65·7	68·2	67·0	56·3
<i>S</i>	10·7	19·6	22·6	19·0	11·7	11·0	7·7	5·5	3·0

Das Dasein eines Maximums in Bezug auf den Querschnitt ist hienach nicht zu bezweifeln. Befremdend ist jedoch, dass mit der Kupferlösung das Maximum wie mit der Salzlösung bereits bei zwei Dicken erreicht wurde. Nach Formel (III) hätte man erwarten sollen, dass, wegen des grösseren σ und des kleineren SM , das dem Maximum entsprechende q mit der Kupferlösung grösser hätte sein müssen. Dagegen ist es aber doch eingetroffen, dass mit den mit Salzlösungen getränkten Holzstreifen das Maximum bei einem viel geringeren Querschnitt erreicht wurde, als mit den mit destillirtem Wasser getränkten Fliesspapierbüschen, dem Thon und den aus Kartoffeln geschnittenen Prismen.

Diese Versuche beweisen somit hinlänglich streng Folgendes: Die Stärke der secundär-elektromotorischen Wirkung innerlich polarisirbarer Körper ist eine Function des Widerstandes dieser Körper, in sofern er durch die Dimensionen bestimmt wird. Diese Function besitzt ein Maximum, welches bei beständiger [83] Länge und wachsendem eigenthümlichen Widerstande der innerlich polarisirbaren Körper in Bezug auf q weiter hinausrückt. Bei weiter wachsendem Querschnitt verschwindet die secundär-elektromotorische Wirkung.

Diese Ergebnisse stimmen mit obiger Theorie überein, und sind

¹ S. oben Abh. II. S. 22. 25. 26.

zum Theil eigenthümlich genug, um es wahrscheinlich zu machen, dass diese Uebereinstimmung nicht auf einem blossen Zufall beruhe.

Weiter bin ich in dieser Richtung nicht fortgeschritten. Das Bisherige genügte für meine Zwecke, und diese Prüfungen stellten sich doch auch bei dieser lockeren Art der Behandlung als viel zu schwierig heraus, als dass es sich für mich der Mühe verlohnt hätte, damit weiter fortzufahren. Es däucht mir aber hier ein schönes Feld für weitere Bestrebungen in scharf messendem Sinne offen zu stehen.
