1853. ANNALEN *№*. 7.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND LXXXIX.

I. *Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern, mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche;*

von H. Helmholtz.

(Schlufs.)

IV. Theorem von der gleichen gegenseitigen Wirkung zweier elektromotorischen Flächenelemente.

Wählt man im Innern eines zusammengesetzten, aber nicht elektromotorisch wirksamen Leitersystems zwei beliebig gelegene Flächenelemente a und b, und ertheilt erst dem a, später dem b eine gleiche elektromotorische Kraft, so fliefst im ersten Falle durch b so viel Elektricität, wie im zweiten durch a.

Zum Beweise dieses Theorems gebrauche ich einen Satz, den Green [1]) gefunden, und zum Beweise eines ähnlichen Theorems für statische Elektricität angewendet hat, und dem man leicht eine etwas andere Form geben kann. Sind nämlich U und V zwei continuirliche Functionen der Coordinaten x, y, z, deren erste Differentialcoëfficienten im Innern eines geschlossenen Raumes S nirgends unendlich werden, und ist $d\omega$ ein Element der Oberfläche dieses Raumes, n die nach Innen gerichtete Normale desselben, so ist

$$\iiint U\left(\frac{d^2V}{dx^2}+\frac{d^2V}{dy^2}+\frac{d^2V}{dz^2}\right)dx\,dy\,dz+\int U\frac{dV}{dn}\,d\omega=$$
$$\iiint V\left(\frac{d^2U}{dx^2}+\frac{d^2U}{dy^2}+\frac{d^2U}{dz^2}\right)dx\,dy\,dz+\int V\frac{dU}{dn}\,d\omega \qquad (1.)$$

1) *On the Theories of Electr. and Magnetism.* Art. 3. Gleichung (2), abgedruckt in Crelle's Journal Bd. 44.

wo die dreifachen Integrale über den ganzen Raum S und die einfachen über seine ganze Oberfläche auszudehnen sind.

Nun sey die Function U die Potentialfunction einer Masse, die theils mit der veränderlichen Dichtigkeit μ im Innern von S, theils aufserhalb verbreitet ist, dann ist nach einem bekannten Satze von Gaufs und Green

$$\frac{d^2 U}{dx^2} + \frac{d^2 U}{dy^2} + \frac{d^2 U}{dz^2} = -4\pi\mu.$$

Und ebenso sey V die Potentialfunction einer Masse, die mit der veränderlichen Dichtigkeit ν theils in S, theils aufserhalb verbreitet ist, so dafs

$$\frac{d^2 V}{dx^2} + \frac{d^2 V}{dy^2} + \frac{d^2 V}{dz^2} = -4\pi\nu.$$

Die Gleichung (1) verwandelt sich dann in folgende [1])

$$\int U \frac{dV}{dn} d\omega - 4\pi \iiint \nu U\, dx\, dy\, dz =$$
$$\int V \frac{dU}{dn} d\omega - 4\pi \iiint \mu V\, dx\, dy\, dz \qquad (2.)$$

Um mit Hülfe dieser Gleichung das oben ausgesprochene Theorem zu beweisen, unterscheiden wir folgende Fälle:

1) *wenn der Leiter S in allen seinen Theilen dieselbe Leitungsfähigkeit k besitzt.*

Wir machen in diesem Falle das U der Gleichung (2) gleich der Potentialfunction der Elektricität, welche entsteht, wenn das Flächenelement a elektromotorisch wirkt, V gleich der anderen, welche entsteht, wenn b wirksam ist. Dann ist μ überall gleich Null aufser in der elektrischen Doppelschicht des Flächenelements a, und ν überall gleich Null, aufser in der Doppelschicht von b. Bezeichnen wir mit U_b und V_a den Werth dieser Functionen in den betreffenden Orten b und a, den Abstand der elektri-

1) Aus dieser Gleichung folgt als ein besonderer Fall die No. (3) in der angeführten Stelle von Green, welche entsteht, wenn ein endlicher Theil der Masse μ in einen Punkt vereinigt wird, in welchem dann auch die Differentialcoëfficienten, ebenso wie die Dichtigkeit der Masse unendlich werden.

schen Schichten von den Flächenelementen mit c, und die Normale auf a nach Seite der positiven Belegung positiv gerechnet mit α, ebenso die auf b mit β, so ist der Werth von U innerhalb der positiv elektrischen Belegung von b gleich

$$U_b + \varepsilon \frac{dU}{d\beta},$$

innerhalb der negativen

$$U_b - \varepsilon \frac{dU}{d\beta},$$

der Werth von V innerhalb der positiven Belegung von a gleich

$$V_a + \varepsilon \frac{dV}{d\alpha}$$

innerhalb der negativen

$$V_a - \varepsilon \frac{dV}{d\alpha}.$$

Ist die Dichtigkeit der positiv elektrischen Belegung auf a wie auf b gleich $+A$, die der negativen gleich $-A$, und bezeichnen wir in den folgenden Gleichungen mit a und b die Gröſse der Flächenelemente, so reduciren sich die dreifachen Integrale der Gleichung (2) respectiv auf

$$2A\varepsilon b \frac{dU}{d\beta}$$

und

$$2A\varepsilon a \frac{dV}{d\alpha}.$$

Die einfachen Integrale jener Gleichung werden gleich Null, weil nach Kirchhof's zweiter Bedingung für die Stromvertheilung an der freien Oberfläche die Werthe von $\frac{dU}{dn}$ und $\frac{dV}{dn}$ überall gleich Null seyn müssen. Die Gleichung (2) reducirt sich also in diesem Falle auf:

$$-8\pi A\varepsilon b \frac{dU}{d\beta} = -8\pi A\varepsilon a \frac{dV}{d\alpha}.$$

Daher ist auch

$$-kb \frac{dU}{d\beta} = -ka \frac{dV}{d\alpha}.$$

Diese beiden Gröfsen sind aber die durch a und b in der Zeiteinheit fliefsenden Elektricitätsmengen, deren Gleichheit bewiesen werden sollte.

2) *Wenn der Leiter aus zwei Theilen $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ besteht, deren einer die Leitungsfähigkeit $k_{\prime}$, der andere $k_{\prime\prime}$ hat, und beide Flächenelemente a und b in $S_{\prime}$ liegen.*

U und V behalten ihre Bedeutung wie im vorigen Falle für das Leiterstück $S_{\prime}$, die entsprechenden Potentialfunctionen in $S_{\prime\prime}$ bezeichnen wir mit u und v. Wie im vorigen Falle reduciren sich die dreifachen Integrale der Gleichung (2) innerhalb $S_{\prime}$ auf

$$2A\varepsilon b\frac{dU}{d\beta}$$

und

$$2A\varepsilon a\frac{dV}{d\alpha}.$$

Innerhalb $S_{\prime\prime}$, welches gar keine elektromotorischen Kräfte, also auch keine elektrischen Massen enthält, werden sie gleich Null. Die einfachen Integrale jener Gleichung werden aber nicht mehr gleich Null, da an dem Theile der Gränzoberflächen, wo sich $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ berühren, die Gröfsen $\frac{dU}{dn_{\prime}}$, $\frac{dV}{dn_{\prime}}$, $\frac{du}{dn_{\prime\prime}}$ und $\frac{dv}{dn_{\prime\prime}}$ nicht mehr gleich Null werden, wie an der freien Oberfläche der Fall ist. Zwischen diesen Gröfsen bestehen aber in sämmtlichen Punkten der Gränzfläche folgende Beziehungen

$$k_{\prime}\frac{dU}{dn_{\prime}}+k_{\prime\prime}\frac{du}{dn_{\prime\prime}}=0$$

$$k_{\prime}\frac{dV}{dn_{\prime}}+k_{\prime\prime}\frac{dv}{dn_{\prime\prime}}=0$$

$$U=u \text{ und}$$

$$V=v.$$

Daraus folgt, dafs auch

$$\left.\begin{aligned} k_{\prime}\int V\frac{dU}{dn_{\prime}}\,d\omega_{\prime}&=-k_{\prime\prime}\int v\frac{du}{dn_{\prime\prime}}\,d\omega_{\prime\prime}\\ k_{\prime}\int U\frac{dV}{dn_{\prime}}\,d\omega_{\prime}&=-k_{\prime\prime}\int u\frac{dv}{dn_{\prime\prime}}\,d\omega_{\prime\prime}\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

wobei die Integrale über die ganze Gränzfläche, oder, was damit einerlei ist, über die ganze Oberfläche der betreffenden Leiterstücke $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ auszudehnen sind.

Die Gleichung (2) verwandelt sich demgemäfs für $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ betreffend in

$$\left.\begin{aligned}\int U\frac{dV}{dn_{\prime}}d\omega_{\prime}-8\pi A\varepsilon b\frac{dU}{d\beta}&=\int V\frac{dU}{dn_{\prime}}d\omega_{\prime}-8\pi A\varepsilon a\frac{dV}{d\alpha}\\ \int u\frac{dv}{dn_{\prime\prime}}d\omega_{\prime\prime}&=\int v\frac{du}{dn_{\prime\prime}}d\omega_{\prime\prime}.\end{aligned}\right\}\quad(4)$$

Multiplicirt man die erstere dieser Gleichungen mit $k_{\prime}$, die zweite mit $k_{\prime\prime}$, addirt sie und berücksichtigt dabei die Gleichungen (3), so erhält man wieder

$$-k_{\prime}b\frac{dU}{d\beta}=-k_{\prime}a\frac{dV}{d\alpha}$$

d. h. die betreffend durch a und b fliefsenden Elektricitätsmengen sind sich gleich, was zu beweisen war.

3) *Wenn der Leiter aus zwei Stücken $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ von verschiedener Leitungsfähigkeit $k_{\prime}$ und $k_{\prime\prime}$ besteht, und das Flächenelement a in $S_{\prime}$, b in $S_{\prime\prime}$ liegt.*

In diesem Falle ist die Gröfse μ der Gleichung (2) überall gleich Null aufser in der Belegung von a im Leiter $S_{\prime}$, die Gröfse ν überall gleich Null aufser in der Belegung von b im Leiter $S_{\prime\prime}$. Von den dreifachen Integralen bleibt also im Leiter $S_{\prime}$ nur eins bestehen mit dem Werthe:

$$2A\varepsilon a\frac{dV}{d\alpha}$$

im Leiter $S_{\prime\prime}$ auch eins mit dem Werthe:

$$2A\varepsilon b\frac{du}{d\beta}$$

Die Gleichungen (3) des vorigen Falles bestehen auch in diesem unverändert.

Die Gleichung (2) für $S_{\prime}$ und $S_{\prime\prime}$ reducirt sich betreffend auf:

$$\left.\begin{aligned}\int U\frac{dV}{dn_{\prime}}d\omega_{\prime}&=\int V\frac{dU}{dn_{\prime}}d\omega_{\prime}-8\pi A\varepsilon a\frac{dV}{d\alpha}\\ \int u\frac{dv}{dn_{\prime\prime}}d\omega_{\prime\prime}-8\pi A\varepsilon b\frac{du}{d\beta}&=\int v\frac{du}{dn_{\prime\prime}}d\omega_{\prime\prime}\end{aligned}\right\}\quad(5.)$$

Multiplicirt man die erstere dieser Gleichungen mit $k_{\prime}$, die zweite mit $k_{,,}$, und addirt sie mit Berücksichtigung der Gleichungen (3), so erhält man

$$-k_{,,}b\frac{du}{d\beta}=-k_{,}a\frac{dV}{d\alpha}.$$

Die beiden letzteren Gröfsen sind wieder die durch b und a fliefsenden Elektricitätsmengen.

Man sieht leicht ein, dafs dieselbe Art des Beweises auf drei oder mehr Stücke von verschiedener Leitungsfähigkeit anzuwenden seyn würde, so dafs das oben hingestellte Theorem als allgemein gültig betrachtet werden kann.

Seine hauptsächlichste Anwendung erhält dieses Theorem bei solchen Aufgaben, wo das körperlich ausgedehnte Leitersystem mit einem Galvanometer in Verbindung gesetzt ist, in dessen linearer Leitung man die Stromstärke bestimmen will. Ist man nämlich im Stande zu bestimmen, in welcher Weise ein im Galvanometerdraht erregter Strom sich in dem körperlichen Leiter vertheilt, so kann man mit Hülfe unseres Satzes auch die Stärke des Galvanometerstromes bestimmen, welcher durch jede beliebige Vertheilung von elektromotorischen Kräften im körperlichen Leiter hervorgebracht wird, ohne dafs man nöthig hat, die Vertheilung der Ströme in dem letzteren zu kennen. Jedes einzelne Element a einer elektromotorischen Fläche läfst so viel Elektricität durch den Galvanometerdraht fliefsen, als durch es selbst fliefsen würde, wenn seine elektromotorische Kraft in diesem Drahte angebracht wäre. Summirt man die Wirkungen sämmtlicher elektromotorischen Flächenelemente, deren jede einzelne in der angegebenen Weise zu finden ist, so bekommt man den ganzen Strom im Galvanometer.

Das besprochene Theorem ergänzt die Anwendbarkeit des Princips von der elektromotorischen Oberfläche. Bei der Verbindung eines elektromotorisch wirksamen körperlichen, und eines linearen Leiters können wir uns die den ersteren durchkreisenden Ströme zusammengesetzt denken aus einem System A, wie es die elektromotorischen Kräfte vor Anlegung des Galvanometerdrahtes erregen, und aus einem System *B*, welches der Vertheilung eines den Draht durchkreisenden Stromes entspricht. Mittels des Princips von der elektromotorischen Oberfläche können wir die elektromotorische Kraft des Galvanometerstroms ermitteln, wenn wir *A*, aber nicht *B* kennen, und mittelst des zuletzt bewiesenen Satzes die Intensität des Galvanometerstroms, wenn wir *B* kennen, aber nicht *A*.

V. Experimentelle Prüfung.

Die bisher theoretisch abgeleiteten Sätze lassen sich in so weit durch Versuche bestätigen, als dabei nur Stromstärken in linearen Leitern zu messen sind. Als körperlichen Leiter wählte ich für diese Versuche einen soliden Cylinder von Bunsenscher Kohle, 3¼ Zoll lang und 2 Zoll dick, von nicht ganz regelmäſsiger Form, und, wie die Versuche ergaben, von sehr ungleichmäſsigem Widerstande in verschiedenen Theilen. Derselbe wurde horizontal auf einem Brettchen befestigt, und auf dem nach oben gekehrten Theile seiner cylindrischen Fläche kittete ich vier kleine Pappringe fest, so daſs dadurch vier Näpfchen zur Aufnahme von Quecksilber gebildet wurden, deren Boden aus Kohle, und deren Seitenwände aus Pappe bestanden. Die Näpfchen standen nahe hin in einer geraden Linie, und in gleichen Abständen von einander, sie sind im Folgenden der Reihe nach mit Buchstaben *a, b, c* und *d* bezeichnet. Durch sie geschah die Zuleitung und Ableitung der Ströme. Der Versuch, Kupfervitriollösung in Glasgefäſsen mit kupfernen Elektroden als körperlichen Leiter zu benutzen, miſsglückte, weil die Polarisation der Elektroden, die zwar gering genug ist, um bei anderen Versuchen vernachlässigt zu werden, bei den hier vorkommenden schwachen abgeleiteten Strömen sehr störend sich bemerklich machte. Metallstücke, welche nach drei Dimensionen beträchtliche Ausdehnungen haben, leiten wiederum zu gut im Vergleich mit den Drahtleitungen der Batterie und des Galvanometers, so daſs die Unterschiede der elektrischen Spannungen in ihnen und demgemäſs auch die abgeleiteten Ströme zu schwach werden. Die Bunsen'sche Kohle war von beiden Uebelständen frei.

Die Messung der Stromintensitäten im Galvanometerdrahte geschah mit Hülfe eines magnetisirten Stahlspiegelchens, wie es W. Weber vorgeschlagen hat. Dasselbe hing innerhalb eines dicken kupfernen Gehäuses, so dafs seine Schwingungen sehr stark gedämpft wurden, und seine Ablenkungen wurden in bekannter Weise durch Beobachtung der scheinbaren Bewegung des Spiegelbildes einer 2,4 Met. entfernten Scale gemessen. Die Ablenkungen überstiegen nicht vier Winkelgrade, so dafs ihre Tangenten den Stromintensitäten proportional zu setzen waren.

Die erste Beobachtungsreihe ist bestimmt, das Theorem Abschnitt II. No. 4 zu prüfen, wonach ein körperlicher zusammengesetzter Leiter, der in zwei bestimmten Punkten seiner Oberfläche abgeleitet wird, bei verschiedenem Widerstande des Ableitungskreises genau ebenso starke abgeleitete Ströme giebt, als ein linearer Leiter von einem gewissen constanten Widerstande und einer constanten elektromotorischen Kraft geben würde.

Die Pole eines Daniell'schen Elements von grofser Oberfläche wurden mit den Quecksilbernäpfen *a* und *d* der Kohle verbunden, und in diesen Kreis ein mäfsiger Drahtwiderstand eingeschaltet, um zu verhindern, dafs der Zustand des galvanischen Elements unter dem Einflufs sehr starker Ströme sich zu schnell ändere. Diese Verbindung des Daniell'schen Elements mit der Kohle stellte den abgeleiteten und elektromotorisch wirksamen Leiter *A* der obigen Theoreme dar. Die Leitung des abgeleiteten Kreises bestand aus einem bleibenden Drahtstücke *m* und drei einzuschaltenden Stücken, die wir *p*, *q* und *r* nennen wollen. In den folgenden Versuchen wird *p* als die willkührliche Einheit des Widerstandes gebraucht werden. Der sehr lange und feine Galvanometerdraht war als Nebenleitung des Stückes *m* eingefügt. Die Enden des abgeleiteten Kreises wurden in dieser Versuchsreihe stets mit den Näpfen *b* und *d* verbunden, in welchen letzteren Napf auch der eine

Zuleitungsdraht der Batterie tauchte. Das in *b* tauchende Ende des abgeleiteten Kreises empfing dagegen die Strömungen nur aus dem Kohlencylinder.

Die hier folgende Tafel enthält die Beobachtungen der Stromstärke im abgeleiteten Kreise, welche bei verschiedenen Einschaltungen gemacht wurden. Die letzteren sind in der zweiten Columne bezeichnet; *o* bedeutet, dafs keine Einschaltung vorhanden war, der abgeleitete Kreis also nur aus dem Stücke *m* mit dem als Nebenleitung eingeschalteten Galvanometerdrahte bestand; $p+q$ bezeichnet, dafs die beiden Stücke hinter einander eingeschaltet waren, so dafs sie der Strom nach einander durchlief, $p \infty q$, dafs sie neben einander sich befanden, und der Strom sich zwischen sie theilte. Die Stromintensitäten sind durch die der Ablenkung des Magneten entsprechenden Scalentheile angegeben. Die Correctionen, welche nöthig sind, um die abgelesenen Tangenten des doppelten Ablenkungswinkels in die doppelten Tangenten des einfachen Winkels zu verwandeln, sind angebracht.

Beobachtungsreihe I.

No.	Einschaltung des abgeleit. Kreises.	Stromstärke.	Elektromotorische Kraft A.	Wesentlicher Widerstand W.	Berechn. Stromstärke J.	Differenz.
1	*o* *p* *o*	300,26 159,82 300,56	341,49	1,1367		
2	*q*	240,49			240,50	— 0,01
3	*o* *p* *o*	298,48 159,18 297,35	341,82	1,1474		
4	$p+q$	139,78			139,98	— 0,20
5	*o* *p* *o*	294,78 157,08 292,40	337,85	1,1508		
6	$p \infty q$	245,30			245,59	— 0,29
7	*o* *p* *o*	292,01 155,09 289,93	332,09	1,1413		

No.	Einschaltung des abgeleit. Kreises.	Stromstärke.	Elektromotorische Kraft A.	Wesentlicher Widerstand W.	Berechn. Stromstärke J.	Differenz.
8	r	74,18			74,02	+ 0,16
9	o p o	288,90 151,35 283,75	321,07	1,1214		
10	$p \infty r$	169,59			169,69	− 0,10
11	o p o	282,66 150,85 282,47	323,62	1,1453		
12	$p+r$	59,49			59,37	+ 0,12
13	o p o	280,54 149,56 280,44	320,40	1,1423		

Die Rechnung ist in folgender Weise ausgeführt worden. Der abgeleitete Kreis wurde unserem Theorem gemäfs betrachtet, als wäre er aus lauter linearen Leitern mit einer constanten elektromotorischen Kraft gebildet. Letztere nennen wir A, den Widerstand des supponirten linearen Kreises ohne Einschaltung W. Die mit o bezeichneten Beobachtungen geben den Werth von $\frac{A}{W}$, die mit p bezeichneten von $\frac{A}{W+p}$. Aus je drei solcher Beobachtungen, welche unter einer Nummer vereinigt sind, wurden die in der vierten und fünften Columne obiger Tafel stehenden Werthe von A und W berechnet. Aus den beiden mit o bezeichneten Beobachtungen wurde zu diesem Zwecke das Mittel genommen. Die gewonnenen Werthe von A und W dienten nun dazu, die Stromstärke bei Einschaltungen anderer Widerstände zu berechnen. So ist zum Beispiel in Versuch 2 obiger Tafel bei der Einschaltung q die Stromstärke $\frac{A}{W+q}$. Für A und W wurden die Mittel der Werthe genommen, welche aus den Versuchen No. 1 und No. 3 berechnet waren, und so der als berechnete

Stromstärke aufgeführte Werth in der sechsten Columne gewonnen. Die Werthe von q und r waren durch andere Beobachtungen bestimmt worden:

$$q = 0{,}2786\,p$$
$$r = 3{,}2801\,p.$$

Daraus ergiebt sich nach bekannten Regeln

$$p \backsim q = 0{,}2179\,p$$
$$p \backsim r = 0{,}7663\,p.$$

Die Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung sind überall kleiner als $\frac{1}{100}$ der gemessenen Gröfse, und kleiner als $\frac{3}{10}$ eines Scalentheils, eine Uebereinstimmung, die wohl nicht gröfser erwartet werden kann.

Bisher waren die Enden des abgeleiteten Kreises stets mit denselben zwei Näpfen b und d verbunden. Die nun folgende zweite Beobachtungsreihe hat zum Zwecke, die elektromotorischen Kräfte zu vergleichen, welche bei der Ableitung verschiedener Punkte der äufsern Oberfläche des körperlichen Leiters auf den ableitenden Bogen wirken. Das Princip von der elektromotorischen Oberfläche verlangt, dafs die abgeleiteten Ströme solche seyen, wie sie durch constante auf der Oberfläche der Kohle verbreitete elektromotorische Kräfte entstehen würden, und zwar können wir an einem beliebigen Punkte z. B. im Napfe a die Kraft der elektromotorischen Oberfläche (sowie die elektrische Spannung) gleich Null setzen. In einem durch die Näpfe a und b abgeleiteten Strome, wirkt dann nur die elektromotorische Kraft von b, die wir mit s_b bezeichnen wollen und in ähnlicher Weise bestimmen können, wie es in der ersten Beobachtungsreihe geschehen ist. Ebenso ist die Gröfse dieser Kraft im Punkte c und d, d. h. s_c und s_d zu bestimmen. Nennen wir nun A_{bc} die elektromotorische Kraft im abgeleiteten Kreise, wenn dessen Enden mit den Näpfen b und c verbunden sind, und die Intensität eines von b durch den Bogen nach c gehenden Stromes positiv gerechnet wird, A_{bd} und A_{cd} die entsprechenden elektromotorischen Kräfte bei Verbindung von b mit d und von c

mit d, so ist nach dem Princip von der elektromotorischen Oberfläche:

$$A_{cd} = s_c - s_d$$
$$A_{bd} = s_b - s_d$$
$$A_{bc} = s_b - s_c$$

also

$$A_{bc} + A_{cd} = A_{bd}$$

Diese Form des Theorems läfst sich durch den Versuch bestätigen. Die Zusammensetzung des Kreises der Batterie und des abgeleiteten Kreises blieb dieselbe wie in der ersten Versuchsreihe, und es wurden die Stromstärken theils ohne Einschaltung (bezeichnet mit o) theils mit Einschaltung des Stückes p beobachtet. In der zweiten Columne der folgenden Tafel sind die Quecksilbernäpfchen bezeichnet, mit denen die Enden des ableitenden Kreises in Verbindung gesetzt waren. Aus je drei unter einer Nummer zusammengestellten Beobachtungen wurde wieder die entsprechende elektromotorische Kraft berechnet, indem ich aus den beiden mit o bezeichneten Beobachtungen das Mittel nahm, ganz wie bei der vorigen Versuchsreihe. Die gefundenen Werthe der elektromotorischen Kraft sind in der letzten Columne der Tafel verzeichnet.

Beobachtungsreihe II.

No.	Quecksilbernäpfe.	Einschaltung.	Stromstärke.	Elektromotorische Kraft.
1	*b d*	*o* *p* *o*	297,94 158,88 297,25	340,86
2	*c d*	*o* *p* *o*	207,01 110,24 205,97	236,51
3	*b d*	*o* *p* *o*	296,16 157,98 296,36	338,46
4	*b c*	*o* *p* *o*	89,81 48,00 90,01	102,97

No.	Quecksilbernäpfe.	Einschaltung.	Stromstärke.	Elektromotorische Kraft.
5	*b d*	*o* *p* *o*	296,01 158,08 295,27	339,74
6	*c d*	*o* *p* *o*	204,98 109,09 204,33	233,62
7	*b d*	*o* *p* *o*	294,68 156,88 294,23	335,78

Die Reihe ist so geordnet, daſs man nur das Mittel der entsprechenden Beobachtungen zu nehmen hat, um sie alle auf einen Zeitpunkt gleicher Stromstärke zu reduciren. Die Mittel für die Werthe der elektromotorischen Kräfte sind

$$A_{bd} = 338,71$$
$$A_{cd} = 235,06$$

addirt man zu der letzteren Gröſse den Werth von

$$A_{bc} = 102,97,$$

so erhält man

$$A_{bc} + A_{cd} = 338,03$$

fast genau übereinstimmend mit dem Werthe von A_{bd}, wie es das Theorem verlangt.

Ist bei diesen Versuchen der ableitende lineare Zweig von einem so groſsen Widerstande, daſs dagegen der des körperlichen Leiters verschwindet, so kann man die Beobachtungsmethode sehr vereinfachen. Da sich dann nämlich bei der Anlegung an verschiedenen Stellen der Widerstand des ableitenden Bogens nicht merklich ändert, so ist seine Stromstärke direct proportional der gesuchten elektromotorischen Kraft, mit welcher der körperliche Leiter auf ihn wirkt. Aendert sich der Zustand der Batterie, so kann sich wohl der absolute Werth der gesuchten elektromotorischen Kräfte ändern, muſs dabei aber stets der Intensität des Batteriestromes proportional bleiben. Sucht man also das Verhältniſs je zweier solcher elektromotorischen Kräfte, so muſs dieſs eine constante, von den Veränderungen der Batterie unabhängige Zahl seyn.

Ich stellte deshalb noch eine Beobachtungsreihe nach folgender Methode an. Die Widerstände des ableitenden Drahtes und des Batteriezweiges wurden noch gröfser gemacht als in der vorigen Reihe, obgleich schon dort die Unterschiede des Widerstandes im ableitenden Kreise bei verschiedenen Verbindungen desselben verschwinden. Aus den Zahlen der zweiten Tafel berechnet sich derselbe nämlich im Mittel:

für die Verbindung $bd = 1{,}1443$
» » $cd = 1{,}1434$
» » $bc = 1{,}1453$

Die Poldrähte des Daniell'schen Elements wurden mit den Näpfen *a* und *d* in Verbindung gebracht, und der Spannungsunterschied oder die elektromotorische Kraft dieser beiden Punkte gleich 100 gesetzt, die übrigen elektromotorischen Kräfte mufsten sich zu dieser dann wie die entsprechenden Stromstärken verhalten.

Ich lasse hier zunächst die Bestimmung eines einzelnen solchen Verhältnisses folgen, um die Anordnung des Versuchs daran zu zeigen; von den übrigen werde ich nur die Resultate hersetzen.

Beobachtungsreihe III.

Ruhestand des Magneten	501,1
Strom *ad*	871,1
Ruhestand	501,1
Strom *ab*	752,9
Ruhestand	500,5
Strom *ad*	870,5
Ruhestand	500,0

Daraus finden wir die erste Ablenkung
durch den Strom *ad* gleich 370,0, corrigirt 367,80
die zweite gleich 370,25, corrigirt 368,05
Mittel 367,92

Ablenkung durch den Strom *ab* 252,1, corrigirt 251,41
Also die elektromotorische Kraft für *ab* gleich

$$\frac{251{,}41}{367{,}92} \cdot 100 = 68{,}335.$$

Ganz in derselben Weise sind die elektromotorischen Kräfte verschiedener Verbindungsstellen bestimmt worden, welche ich hier folgen lasse.

No.	Quecksilbernäpfe.	Elektromotorische Kraft, beobachtet.	Mittel.	Elektromotorische Kraft, berechnet.	Differenz.
1 9 10	*a*,	78,61 78,36 78,81	78,59	78,87	— 0,28
4 5 12	*c*, *d*	20,98 21,00 20,70	20,89	21,13	— 0,24
2 8	*a*, *b*	68,33 68,42	68,37	68,29	+ 0,08
7 11	*b*, *d*	31,73 31,75	31,77	31,71	+ 0,04
3 6 13	*b*, *c*	10,59 10,75 10,51	10,61	10,58	+ 0,03

Die Ziffern der ersten Columne bezeichnen die Reihenfolge, in welcher die Versuche angestellt worden sind. In der zweiten sind die Quecksilbernäpfe bezeichnet, mit denen die Enden des ableitenden Zweiges verbunden waren. Die dritte Columne enthält unter der Bezeichnung von beobachteten elektromotorischen Kräften diejenigen, welche unmittelbar aus den Versuchen in der oben ausgeführten Weise berechnet waren, die vierte deren Mittel. Der fünften liegt folgende Rechnung zum Grunde. Die fünf gemessenen Gröfsen müssen folgende Gleichungen erfüllen:

$$A_{ab} + A_{bc} + A_{cd} = 100$$
$$A_{ab} + A_{bc} = A_{ac}$$
$$A_{bc} + A_{cd} = A_{bd}$$

Sind also beliebige zwei von ihnen bekannt, so sind dadurch auch die anderen drei zu berechnen. Die Mittel der Beobachtungen erfüllen diese Gleichungen fast, aber nicht vollkommen genau, denn substituirt man sie in denselben, so geben sie

in der ersten links: 99,87, rechts: 100
in der zweiten links: 78,98, rechts: 78,59
in der dritten links: 31,50, rechts: 31,75.

Doch sind die Unterschiede so klein, dafs sie Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden können. Ich habe nun nach der Methode der kleinsten Quadrate diejenigen Werthe der fünf Gröfsen bestimmt, welche jene drei Gleichungen streng erfüllen, und sich am nächsten an die Beobachtungen anschliefsen, und diese als die berechneten Werthe der elektromotorischen Kraft in die Tafel aufgenommen. Man sieht, dafs ihre Abweichungen von den Mittelwerthen gering sind.

Somit ist der Satz von der elektromotorischen Oberfläche, wenigstens für angelegte lineare Leiter, auch durch die Versuche bestätigt worden. Ich schliefse endlich noch eine Beobachtungsreihe an zur Prüfung des Theorems von der gleichen gegenseitigen Wirkung elektromotorischer Flächenelemente.

Um das Problem zu prüfen, müssen wir die Stromstärke in beiden Elementen bestimmen können, und diefs ist nur möglich, wenn beide in linearen Leitern liegen. Wir werden also den Fall untersuchen, wo an einen körperlichen Leiter zwei lineare B und C angelegt sind. Nach dem aufgestellten Theorem mufs eine elektromotorische Kraft, welche in B angebracht wird, in C dieselbe Stromstärke hervorbringen, welche in B eintreten würde, wenn jene Kraft in C angebracht wäre. Um die beiden Stromstärken vergleichen zu können, mufs man also einmal die Batterie in B und das Galvanometer in C, dann wieder erstere in C letzteres in B anbringen, und da sich dabei der Widerstand der betreffenden Stromeszweige nicht ändern darf, so müfsten Batterie und Galvanometer denselben Widerstand haben. Diese Bedingung würde wegen des wechselnden Zustandes der Batterie ziemlich schwer zu erfüllen seyn. Glücklicher Weise können wir uns ihrer Erfüllung ungestraft entziehen, wenn wir den Widerstand beider zu vertauschenden Leitungen so grofs machen, dafs die Widerstände

stände des übrigen Theiles der Leitung dagegen verschwinden. Während nämlich im Allgemeinen der obige Satz nur gilt, wenn die beiden vertauschten Zweige denselben Widerstand W haben, so bleibt er bei sehr grofsen Widerständen der beiden Zweige doch auch bestehen, wenn der des Galvanometers geändert, und gleich w gemacht wird. Dabei ändert sich bei verschiedenen Verbindungsweisen des Galvanometerzweiges mit dem körperlichen Leiter seine Stromintensität stets in demselben Verhältnisse $\frac{W}{w}$, und hatte sie also beim Widerstande W gleiche Werthe, so wird sie solche auch noch beim Widerstande w haben.

Als körperlicher Leiter diente wieder der bisher gebrauchte Kohlencylinder. Der Galvanometerzweig bestand nur aus dem sehr langen und feinen Galvanometerdrahte, der Batteriezweig aus vier Daniell'schen Elementen, säulenartig verbunden, mit Einschaltung einer Drahtspirale, deren Widerstand den des in der dritten Beobachtungsreihe gebrauchten ableitenden Zweiges noch übertraf, so dafs jedenfalls die Widerstände der Kohle gegen die der Zweige verschwindend klein waren.

Die folgenden Beobachtungen beweisen, dafs die Stromstärke im Galvanometer unverändert bleibt, wenn seine Verbindungsstellen und die des Batteriezweiges mit der Kohle verwechselt werden. In der zweiten Columne der Tafel sind die Quecksilbernäpfe bezeichnet, in welche die Enden der Batteriedrähte, in der dritten die, in welche die Enden des Galvanometerdrahts tauchten. In der fünften bedeutet die Bezeichnung B_{ab} G_{cd}, dafs die Batterie mit den Näpfen a und b, das Galvanometer mit denen c und d verbunden war. Es sind nicht alle Combinationen erschöpft, welche sich herstellen liefsen, doch glaube ich genug beobachtet zu haben, um die Richtigkeit des zu prüfenden Satzes aufser Zweifel zu stellen.

Beobachtungsmethode IV.

No.	Batterie.	Galvanometer.	Stromstärke.	Mittel.
1	*ad*	*bc*	90,25	$B_{ad}\,G_{bc} = 90{,}44$
	bc	*ad*	90,45	$B_{bc}\,G_{ad} = 90{,}28$
	ad	*bc*	90,9	
	bc	*ad*	90,5	
	ad	*bc*	90,5	
	bc	*ad*	90,05	
	ad	*bc*	90,1	
	bc	*ad*	90,1	
2	*ac*	*bd*	83,15	$B_{ac}\,G_{bd} = 83{,}10$
	bd	*ac*	83,0	$B_{bd}\,G_{ac} = 83{,}17$
	ac	*bd*	83,05	
	bd	*ac*	83,35	
3	*cd*	*ab*	7,1	$B_{cd}\,G_{ab} = 7{,}1$
	ab	*cd*	6,4	$B_{ab}\,G_{cd} = 6{,}95$
	cd	*ab*	7,1	
	ab	*cd*	6,75	
	ab	*cd*	7,7	
4	*ad*	*bd*	102,8	$B_{ad}\,G_{bd} = 103{,}15$
	bd	*ad*	102,9	$B_{bd}\,G_{ad} = 103{,}20$
	ad	*bd*	103,5	
	bd	*ad*	103,5	
5	*cd*	*ad*	73,0	$B_{cd}\,G_{ad} = 73{,}05$
	ad	*cd*	72,7	$B_{ad}\,G_{cd} = 72{,}67$
	cd	*ad*	73,1	
	ad	*cd*	72,65	
6	*cd*	*bd*	75,45	$B_{cd}\,G_{bd} = 75{,}67$
	bd	*cd*	75,4	$B_{bd}\,G_{cd} = 75{,}70$
	cd	*bd*	75,9	
	bd	*cd*	76,0	
7	*bc*	*ac*	93,45	$B_{bc}\,G_{ac} = 93{,}47$
	ac	*bc*	93,25	$B_{ac}\,G_{bc} = 93{,}37$
	bc	*ac*	93,5	
	ac	*bc*	93,5	
8	*dc*	*ac*	65,1	$B_{dc}\,G_{ac} = 65.12$
	ac	*dc*	65,5	$B_{ac}\,G_{dc} = 65{,}27$
	dc	*ac*	65,15	
	ac	*dc*	65,05	
9	*bc*	*dc*	62,55	$B_{bc}\,G_{dc} = 62{,}55$
	dc	*bc*	62, 9	$B_{dc}\,G_{bc} = 62{,}9$

VI. Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche.

Die thierischen Theile, Muskeln und Nerven, stellen körperlich ausgedehnte Leiter dar, in deren Innerem überall elektromotorische Kräfte verbreitet sind; denn jeder kleinste noch reizbare Theil eines Muskels ist nach den Untersuchungen von E. du Bois-Reymond fähig, elektrische Ströme hervorzubringen. Bei den darüber anzustellenden Versuchen werden die thierischen Theile in geeigneter Weise mit einem Galvanometer verbunden, und der in den Draht dieses Instruments abgeleitete Stromzweig ist vorläufig der einzige Theil jener elektrischen Wirkungen, welcher der directen Beobachtung und Messung zugänglich ist. Mit den empirisch gefundenen Gesetzen seiner Erscheinung müssen die Folgerungen aus den theoretischen Vorstellungen verglichen werden, welche wir uns über die Anordnung elektromotorischer Theile im Innern des Muskels oder Nerven gebildet haben. Dafür waren die bisherigen theoretischen Kenntnisse der Stromvertheilung in Körpern nicht ausreichend, daher du Bois-Reymond in seinem ausgezeichneten Werke über thierische Elektricität in den Abschnitten, welche die hypothetischen Vertheilungsweisen elektromotorischer Kräfte im Innern der Muskeln behandeln, sich vielfältig mit scharfsinnig combinirten Analogien und Wahrscheinlichkeitsgründen begnügen mufste, um zum Ziele zu gelangen. Unsere Theoreme setzen uns jetzt in den Stand, strengere und kürzere Ableitungen für die Hauptpunkte seiner theoretischen Betrachtungen zu geben, welche in allen wesentlicheren Punkten mit den von ihm aufgestellten Sätzen übereinstimmen. Dafs in einigen weniger wesentlichen Punkten Abweichungen vorkommen, ist unter diesen Umständen nicht zu verwundern, und kann dem Lobe, welches du Bois' Scharfsinn gebührt, keinen Abbruch thun, um so weniger als diese Punkte solche sind, in denen die Versuche an den Kupferzinkschematen seine Schlüsse zu bestätigen schienen.

Die Versuche ergeben unmittelbar, dafs jedes Stück einer einzelnen Muskelfaser in einem angelegten unwirksamen leitenden Bogen Ströme erregt, welche von ihrer prismatischen oder cylindrischen Oberfläche (ihrem Längsschnitte) zu ihren Endflächen (Querschnitten) hingehen. Denken wir uns also die elektromotorische Oberfläche eines solchen Faserstücks an die Stelle seiner inneren Kräfte gesetzt, so mufs diese am Längsschnitt nach aufsen positiv, an den Querschnitten negativ seyn. Mit einer kleinen Erweiterung der von du Bois angewendeten Bezeichnungsweise wollen wir eine solche Anordnung elektromotorischer Kräfte, welche eine elektromotorische Oberfläche giebt, an der zwei unter sich gleichartige Pole der Aequatorialgegend entgegengesetzt sind, die *peripolare* nennen. Die Muskelprimitivfasern sind nun allerdings die kleinsten Theile des Muskels, welche wir mechanisch abtrennen, und allenfalls noch auf ihr elektromotorisches Verhalten untersuchen können, auch zeigt selbst das Mikroskop keine weiteren Unterabtheilungen im Innern von frischen Fasern; indessen machen doch andere elektrische Erscheinungen, namentlich die ungeheure Schnelligkeit, mit der in der negativen Stromesschwankung und im elektrotonischen Zustande die elektromotorischen Kräfte der Muskeln und Nerven ihre Stärke und Richtung wechseln können, es wahrscheinlich, dafs die kleinsten elektromotorischen Elemente noch viel kleiner als der Durchmesser der Muskel- und Nervenfasern sind, und eine grofse Beweglichkeit besitzen. Deshalb führt du Bois die elektrischen Wirkungen der thierischen Theile auf peripolar elektromotorische Molekeln von verschwindend kleiner Gröfse zurück, welche umgeben von einer indifferenten leitenden Substanz im Inhalt der Fasern in gleichen Abständen regelmäfsig vertheilt sind, so dafs ihre Axe der Axe der Faser parallel ist. Mögen wir nun bis auf die Primitivfasern oder bis auf die hypothetischen elektromotorischen Molekeln zurückgehen, jedenfalls müssen wir uns den ganzen Muskel aus unzähligen, sehr kleinen, regelmäfsig geordneten Theilen zusammengesetzt denken, deren innere elektromotorische Kräfte wir für unsern Zweck durch eine elektromotorische Fläche mit peripolarer Anordnung, positivem Aequator und negativen Polen ersetzen können. Die elektrischen Ströme, welche der ganze Muskel erregt, sind nun aus den Wirkungen dieser elektromotorischen Flächen herzuleiten.

Legen wir zwei gleiche peripolare Elemente mit zweien ihrer Polflächen an einander, so stofsen daselbst zwei gleich starke elektromotorische Flächen, aber in entgegengesetzter Richtung, die negative Seite an die negative, zusammen, und heben deshalb ihre Wirkungen gegenseitig auf. Legen wir zwei solche Elemente mit ihrem Längsschnitt an einander, so stofsen wieder gleich starke Theile der elektromotorischen Oberflächen, und wieder in entgegengesetzter Richtung, dieses Mal aber mit den positiven Seiten zusammen, und heben wiederum ihre Wirkungen gegenseitig auf. Setzen wir also einen ganzen Muskel oder Nerven regelmäfsig aus solchen Elementen zusammen, indem wir immer Querschnitt an Querschnitt, und Längsschnitt an Längsschnitt fügen, so heben sich im Innern des Ganzen alle elektromotorischen Flächen gegenseitig auf, und es bleiben nur diejenigen bestehen, welche der Aufsenfläche des Ganzen angehören. Wir bekommen also dadurch unmittelbar die elektromotorische Oberfläche des Ganzen, welche nach aufsen hin alle Kräfte der inneren Theile ersetzt. Sie ist überall, wo nur Querschnitte der Fasern zu Tage liegen (am natürlichen und künstlichen Querschnitte des Ganzen) aus den negativen Polarflächen der Elemente, im natürlichen oder künstlichen Längsschnitt des Ganzen dagegen aus den positiven Aequatorialflächen der Elemente zusammengesetzt. Deshalb mufs, wie der Versuch bestätigt, jede Stelle des Längsschnitts durch einen angelegten Bogen mit einer des Querschnitts verbunden im Bogen einen Strom geben, der von jener zu dieser geht.

So ergiebt sich also sehr einfach die Erklärung der Ströme zwischen Längsschnitt und Querschnitt. Anders ist es mit denjenigen, welche du Bois zwischen verschiedenen Punkten des Querschnitts, und ebenso zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnitts gefunden hat; sie erklären sich nicht aus den bisher angenommenen theoretischen Grundlagen. Diese Ströme haben dieselbe Richtung wie die bisher besprochenen, d. h. sie sind im ableitenden Bogen von der Mitte des Längsschnitts zu seinem Rande, und vom Rande des Querschnitts zu seiner Mitte gerichtet, sind aber sehr viel schwächer als die zwischen Längsschnitt und Querschnitt. Wir wollen für unsere Erörterung annehmen, ein cylindrisches Bündel paralleler Fasern habe durch zwei senkrecht gegen seine Axe geführte Schnitte zwei reine Querschnitte erhalten, in denen nur die negativen Polarflächen der Elemente zu Tage liegen, ebenso wie der Cylindermantel ganz aus den positiven Aequatorialflächen zusammengesetzt ist. Jede Polarfläche eines einzelnen Elements kann nun zwar Flächenelemente von verschieden intensiver elektromotorischer Kraft darbieten, mufs aber in jeder Beziehung jeder andern gleich seyn, so dafs die mittlere elektromotorische Kraft des Gesammtquerschnitts an allen Stellen dieselbe seyn mufs. Ebenso verhält es sich mit dem Längsschnitt des Ganzen. Innerhalb der elementaren Aequatorialflächen können wohl verschiedene Gröfsen der elektromotorischen Kraft vorkommen, die mittlere Gröfse derselben mufs aber überall dieselbe seyn. Ist nun die Breite der an den Muskel gelegten Endflächen des leitenden Bogens sò grofs, dafs sie eine sehr grofse Menge von elementaren Abtheilungen des Muskels gleichzeitig berühren, und werden sie beide entweder an reinen Querschnitt oder an reinen Längsschnitt angelegt, so kann kein Strom entstehen, weil die mittlere elektromotorische Kraft jeder Berührungsfläche gleich grofs ist, und beide entgegengesetzte Ströme im Bogen hervorzurufen streben, sich also gegenseitig vollständig im Gleichgewicht halten müssen.

Es könnte hierbei zweifelhaft erscheinen, ob es erlaubt sey die mittlere elektromotorische Kraft für die verschiedenen Gröfsen dieser Kraft zu substituiren, welche sich in jeder einzelnen Elementarabtheilung der Begränzungsfläche vorfinden, selbst wenn diese Elementarabtheilungen gegen die Gröfse des ganzen Muskels verschwindend klein sind. Deshalb lasse ich noch eine zweite Ableitung desselben Resultats folgen, welche aus dem Theorem von der gleichen gegenseitigen Wirkung elektromotorischer Flächenelemente hergenommen ist, und jenem Einwurfe nicht unterliegt. Man denke sich wiederum die elektromotorische Oberfläche des ganzen Faserbündels construirt. *A* und *B* mögen die Berührungsflächen der Galvanometerleitung mit zwei verschiedenen Stellen des Längsschnittes seyn. Wir denken uns diese Flächen so breit, wie sie es in der That bei den Versuchen sind, dafs sie unzählbar viele von den Aequatorialfeldern der Elementarabtheilungen des Muskels umfassen. Die Begränzungsfläche eines jeden Elementes sey in zwei Abtheilungen getheilt, deren eine alle diejenigen Punkte dieser kleinen Fläche in sich begreift, deren elektromotorische Kraft stärker als eine gewisse bestimmte Gröfse ist, die andere alle anderen Punkte, in denen das Gegentheil stattfindet. Die Wahrscheinlichkeit, dafs ein willkührlich gewählter Punkt der Fläche *A* in eine der Abtheilungen von stärkerer elektromotorischer Kraft falle, ist dann offenbar überall in der ganzen Fläche *A*, auch an deren Rändern, dieselbe, und genau ebenso grofs, wie dieselbe Wahrscheinlichkeit in der Fläche *B*. Nehmen wir nun die Wirkungen der elektromotorischen Kräfte des Muskels suspendirt an, und dafür in dem Galvanometerdrahte eine solche Kraft angebracht, welche einen durch den Muskel sich vertheilenden Strom erregt, so folgt aus dem Theorem des Abschnitt IV., dafs wenn hierbei mehr Elektricität durch die Abtheilungen stärkerer Kraft in der Fläche *A*, als durch dieselben der Fläche *B* fliefst, der Muskel im Galvanometer einen Strom von *A* nach *B* geben mufs, im umgekehrten Falle umgekehrt. Nun hat aber jeder Stromesfaden, durch welche Stelle der Fläche *A* er auch in den Muskel eintreten, und durch welche von *B* er auch austreten mag, in der einen die gleiche Wahrscheinlichkeit eine Abtheilung stärkerer Kraft zu treffen, wie in der anderen. Daraus folgt, dafs durch die Abtheilungen stärkerer Kraft in *A* so viel Elektricität fliefsen mufs, wie in *B*, und daraus wieder, dafs der Muskel im Galvanometerdrahte keinen Strom erregen kann.

Eine Ausnahme würde nur dann eintreten, wenn in einer der Flächen *A* oder *B* die Gränze des Längsschnitts läge, weil unmittelbar an dieser auch nur Gränztheile der Elementarfelder, d. h. Abtheilungen geringerer Kraft liegen würden, und daher die Wahrscheinlichkeit, in ein Feld stärkerer Kraft zu fallen, für die Punkte der Gränze gleich Null wird. Unter diesen Umständen mufs, gemäfs der eben gemachten Auseinandersetzung der Muskel im Galvanometer einen Strom erregen, welcher nach dem die Gränze des Längsschnitts berührenden Ende hingeht, ähnlich als wenn dieses schon den Querschnitt zu berühren anfinge.

Da diese Folgerungen mit den Versuchen an den Muskeln selbst in Widerspruch stehen, so ist daraus zu schliefsen, dafs noch Einflüsse hier in Betracht kommen, welche bisher nicht beachtet sind. Zwei Fragen, welche sich in dieser Hinsicht zunächst aufdrängen, sind folgende: Erstens ob die oberflächlichen Theile der thierischen Gebilde, welche der Eintrocknung, der Berührung der Luft und fremdartiger Flüssigkeiten ausgesetzt sind, ihre elektromotorischen Kräfte wohl ungeschwächt erhalten. Zweitens beziehen sich alle in dieser Abhandlung aufgestellten Theoreme nur auf solche elektromotorische Kräfte, welche von der Stromstärke unabhängig sind. Es fragt sich, ob diefs bei denen der Muskeln der Fall ist. Natürlich können erst für diesen Zweck besonders angestellte Versuche entscheiden, ob eine und welche von diesen Möglichkeiten stattfinde. Ich bemerke noch, dafs auch die aus Kupfer und Zink in Schwefelsäure zusammengesetzten schematischen Nachahmungen der Muskeln, welche du Bois-Reymond untersucht hat, ähnliche Abweichungen von der Theorie zeigten, wie die Muskeln. Aber diese haben inconstante elektromotorische Kräfte, und entsprechen deshalb nicht den Voraussetzungen unserer Theoreme.

Andere Abweichungen finden sich bei der Vergleichung der Stromeswirkungen von verschieden langen und dicken Muskeln. Die Kraft der elektromotorischen Oberfläche hängt ihrer Gröfse nach nicht ab von der Zahl der vereinigten Elementarabtheilungen; der Theorie nach mufs sie deshalb an grofsen und kleinen Muskeln immer dieselbe seyn. Beim Versuche hat du Bois-Reymond dagegen an längeren und an dickeren Muskeln eine gröfsere elektromotorische Kraft gefunden, was wahrscheinlich durch dieselben Umstände bedingt seyn wird, welche die schwachen Ströme des Längsschnitts für sich, und des Querschnitts für sich hervorbringen.

II. *Ueber die Temperaturveränderungen, welche ein galvanischer Strom beim Durchgange durch die Berührungsfläche zweier heterogenen Metalle hervorbringt; von Dr. von Quintus Icilius in Göttingen.*

Bei der Untersuchung der Erwärmung von Metalldrähten durch hindurchgehende galvanische Ströme hat Peltier bekanntlich gefunden, dafs ein solcher Strom an der Berührungsfläche zweier heterogenen Metalle je nach der Richtung, in welcher er durch dieselbe geht, bald eine Erwärmung bald eine Abkühlung hervorruft. Seine Versuche sind von Moser wiederholt worden, welcher dabei im Allgemeinen dasselbe Resultat wie Peltier fand. Beide haben sich aber damit begnügt, das Factum zu constatiren, und für verschiedene Metalle zu ermitteln, bei welcher Stromrichtung die Temperatur wächst, bei welcher sie sinkt, wobei jedoch in Bezug auf Wismuth und Antimon ihre Angaben gerade entgegengesetzt sind [1]). Die zweckmä-

1) Dove und Moser, Repertorium der Physik, Bd. 1, S. 354.