

III. *Die Abhängigkeit elektrischer Ströme von der Form ihrer Schließungen; von Peter Riefs.*

(Aus den Monatsber. d. Akad. Juni 1862.)

Die Entdeckung der Rückwirkung des Nebenstromes auf den ihn erregenden Hauptstrom der leydenen Batterie führte mich auf die Untersuchung, ob in der Hauptschließung selbst ein Nebenstrom erregt und dadurch der Hauptstrom geändert werde. Es wurden 26 Fufs von dem Drahte, der die Batterie schlofs, zu zwei ebenen Spiralen gewunden, diese Spiralen einander nahe gegenübergestellt, und entweder so mit einander verbunden, dafs der Entladungsstrom sie in gleicher, oder so, dafs er sie in entgegengesetzter Richtung durchlaufen mufste. Die Erwärmung in einem andern Theile der Schließung wurde nicht verschieden gefunden bei dieser verschiedenen Form des Schließungsbogens (Pogg. Ann. Bd. 50, S. 19). Als jedoch Hankel bei seinen Magnetisirungsversuchen durch den elektrischen Strom diesen Versuch mit 317 Fufs Draht wiederholte (Pogg. Ann. Bd. 69, S. 330), und statt des Thermometers die Stahladel als Prüfungsmittel gebrauchte, gab diefs empfindlichere Mittel einen bedeutenden Unterschied der Magnetisirung, je nachdem die Spiralen in gleichem oder entgegengesetztem Sinne mit einander verbunden waren. Es war hiernit die Aenderung des Entladungsstromes durch veränderte Form seiner Schließung angezeigt, aber der Sinn dieser Aenderung unbestimmt gelassen. Als ich auf meinen Versuch zurückging (Pogg. Ann. Bd. 81 S. 428) fand ich mit zwei Spiralen, die zusammen eine Drahtlänge von 107 Fufs besaßen, dafs die durch den Strom erregte Erwärmung vermindert wurde, wenn die Spiralen in gleichem und verstärkt, wenn sie in entgegengesetztem Sinne verbunden waren, und konnte daraus über die Abhängigkeit elektrischer Ströme von der Form ihrer Schließung einen empirischen Satz ableiten, der sich bis jetzt in allen

Fällen bewährt hat. Dieser Satz heisst: Zwei einander parallel naheliegende Theile des Schließungsbogens der Batterie wirken auf einander. Der Entladungsstrom wird durch diese Einwirkung geschwächt, wenn er beide Theile in gleicher, und verstärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft. Jede Biegung des Schließungsbogens, in welcher der erste Fall stattfindet, wurde als N-Form, jede in welcher der zweite, als U-Form bezeichnet.

Die Ursache dieser Aenderungen des Stromes ergab sich aus frühern Erfahrungen. Ich hatte nachgewiesen, daß ein Strom in seinem Gange verzögert werden kann durch einen Nebenstrom, den er in einem neben dem Hauptdrahte liegenden Drahte erregt. Dabei war die Richtung des Nebenstromes allein durch die des Hauptstroms bestimmt und konnte nicht ohne diese geändert werden. Wenn aber ein Nebenstrom in dem Drahte selbst erregt wird, der den Hauptstrom leitet, so wird durch eine verschiedene Biegung dieses Drahtes die Richtung des Nebenstromes gegen die des Hauptstromes geändert. Es wurde daher folgerichtig die Verzögerung durch jene frühere Erfahrung erklärt, und die neue Erfahrung, einer Beschleunigung des Stromes, der veränderten Richtung des Nebenstromes zugeschrieben (Pogg. Ann. Bd. 81 S. 433). Dadurch war die Aenderung eines Stromes durch die Form seiner Schließung auf das Engste mit dem Nebenstrom verknüpft, und alle Folgerungen aus dieser Annahme sind bestätigt worden. So war die Geringfügigkeit der Aenderung des Hauptstromes (dieser stets gemessen durch seine verständlichste Wirkung, die Erwärmung) durch den Umstand erklärlich, daß der Nebenstrom nur bis in die Belegungen der Batterie, und daher nicht in sich zurücklaufen konnte. Es war vor auszusehen, daß bei gestattetem Kreislaufe die Aenderung eines Stromes viel bedeutender seyn würde. Durch Induction kann ein Strom an einer Stelle eines vollständig metallischen Kreises erregt werden, und dieser Strom erregt im Kreise einen Nebenstrom, der in sich zurückläuft. An allen inducirten Strömen ist daher die Abhängigkeit

von der Form ihrer Schließung sehr groß und dadurch die Gelegenheit gegeben zur Prüfung der Annahme, daß der Grund der Stromänderung in einem in der Schließung erregten Nebenstrom zu finden sey. Faraday hat nämlich bei der Entdeckung des Nebenstromes im Schließdrahte einer voltaschen Kette, der bei Unterbrechung des Stromes auftritt und als Extrastrom bezeichnet wird, die merkwürdige Erfahrung gemacht, daß dieser Strom ausbleibt, wenn ein zum Kreise geschlossener Draht dem Schließdrahte der Kette parallel nahe liegt. Es wird, nach seinem Ausdrucke, der Extrastrom dann auf den naheliegenden Draht übertragen (*exp. resear.* 1092). Rührt also die Aenderung der Ströme der leydenen Batterie bei Formänderung ihrer Schließungen von einem Extrastrome her, so muß diese Aenderung beseitigt werden können durch Nabelegung eines der Schließung parallelen geschlossenen Drahtes. Dieß ist mir bei der Schwächung der Ströme durch die N-Form ihrer Schließung vollständig gelungen, und daß es bei der Stärkung des Stromes durch die U-Form nur in sehr geringem Maasse gelang, davon habe ich den Grund angegeben und werde unten darauf zurückkommen. Da mir die Stromänderung durch die Schließungsform das Mittel gab, die relative Richtung der verschiedenen Nebenströme des Batteriestromes zu bestimmen, so habe ich die Erfahrungen über jene Aenderung in einer Abhandlung mitgetheilt, die den Titel führt: Ueber die elektrischen Ströme höherer Ordnung ¹⁾. Die bei dieser Untersuchung angewandten Apparate waren bequem, aber, ihrer Wirkung nach, nicht einfach. Ich brauchte nämlich zur Herstellung der N-Form der Schließung eine ebene Drahtspirale, und zur U-Form zwei solche, an gleichgelegenen Enden verbundene Spiralen, oder eine eigene Vorrichtung, die U-Tafel, auf der ein Draht im Zickzack befestigt war. Die Wirkung dieser Apparate war kräftig und bestimmt, aber sie brachte einige Unklarheit in die Beurtheilung des Mechanismus der Stromänderung. Um diese zu entfernen, fand ich es gera-

1) Monatsberichte der Akad. 1851. Pogg. Ann. Bd. 83 S. 309.

then, auf jene Versuche mit einfacheren Apparaten zurückzugehen. Es sind im Folgenden zur Formänderung der Stromschliessung, freilich auf Kosten der Bequemlichkeit des Versuches, nur ausgebreitete Drähte gebraucht worden, und ich bemerke ausdrücklich, dafs, wenn Drahtspiralen erwähnt werden, diese dem Gegenstande der Untersuchung fremd sind, nur zur Erregung des Stromes dienen und, wenn es mir nicht unnöthig erschienen wäre, auch durch gerade Drähte hätten ersetzt werden können. Es haben sich bei der neuen Anordnung der Versuche die früheren Resultate durchaus bestätigt, dabei aber auch einige Erfahrungen ergeben, die bei der alten Anordnung verborgen blieben, und es gestatten, die Ursache der Stromänderung durch Formänderung der Schliessung bestimmter und anschaulicher anzugeben, als es bisher geschehen ist.

Der innere Nebenstrom eines Drahtes.

In jedem geraden Drahte, der einen Strom von kurzer Dauer leitet, wird durch diesen Strom ein Nebenstrom erregt, der zur Unterscheidung der *innere Nebenstrom des Drahtes* heifsen mag. Seine Stärke wächst mit der Länge des Drahtes, und er erhält bei constanter Länge seinen größten Werth, wenn der Draht dem Strome gestattet, einen Kreislauf zu vollenden. Faraday entdeckte diesen Strom, indem er ein voltasches Element durch einen ausgebreiteten Kupferdraht von 114 Fufs Länge schlofs, und bei der Oeffnung der Kette einen hellen Funken bemerkte, während bei einer Länge des Drahtes von einem Fufse der Funke kaum sichtbar war (*exp. resear.* 1068). Der innere Nebenstrom war hier deshalb so stark, weil er in einem langen Drahte erregt war und durch die Flüssigkeit des Elements und die schmale Luftschicht, die der glänzende Funke durchbrach, in sich zurücklaufen konnte. Tritt, wie man nach Analogie zu schliessen berechtigt ist, auch in dem Schliessungsbogen der leydenen Batterie ein innerer Nebenstrom auf, so konnte es nicht auffallen, dafs die Wirkung desselben sehr gering ist. Der Strom kann, des die

Belegungen trennenden Glases wegen, nicht in sich zurücklaufen, und seine Einwirkung auf die Erwärmung wird deshalb, auch bei grofser Länge der Schließung, klein bleiben. Dieser Grund der Schwäche des inneren Nebenstromes fällt aber fort, wenn an den Schließungsdraht ein Zweigdraht angelegt wird, da alsdann der in jedem Zweige erregte innere Nebenstrom durch den anderen Zweig ablaufen kann. Untersucht man daher die Erwärmung in einem Zweige der Batterieschließung, so wird sie, bei einiger Länge eines Zweiges, modificirt, sowohl durch den inneren Nebenstrom des Zweiges, dessen Wärme man prüft, wie durch den Strom des anderen Zweiges, der durch jenen abläuft. Die vielfachen Störungen des Theilungsgesetzes des Entladungsstromes finden hierin ihre Erklärung, und ich habe, um jenes Gesetz experimentell aufzuzeigen, mich nur kurzer Zweige bedient, und diese Beschränkung des Versuches in der angegebenen Weise begründet (Pogg. Ann. Bd. 63 S. 501). Es ist bei der Verzweigung des Schließdrahtes der leydenener Batterie die Bedingung für die Entstehung eines starken inneren Nebenstromes, die aus einem Versuche Faraday's hervorgeht ¹⁾, so vollständig vorhanden, dafs es eine überraschende, des strengsten Beweises bedürftige Entdeckung wäre, dafs kein innerer Nebenstrom in den Zweigen vorhanden sey. Deshalb schien mir der directe Beweis für das Vorhandenseyn dieses Stromes in den Zweigen überflüssig, und ich habe ihn erst viele Jahre später gegeben, als er sich mir zufällig in schlagender Weise darbot (Monatsber. 1859. I).

Sehr auffallend läfst sich der innere Nebenstrom mit dem Thermometer an einer Nebenschließung der leydenener Batterie, also an einem secundären Strome, nachweisen. In die Hauptschließung einer Batterie aus drei Flaschen, jede

1) Faraday schlofs eine Volta'sche Kette durch einen ausgestreckten, 132 Fufs langen Draht, an dessen Enden ein kurzer Draht als Zweig angelegt war, in welchem sich eine kleine Lücke befand. Wurde die Kette geöffnet, so ging in dieser Lücke ein Funke über, mit dem der innere Nebenstrom des langen Zweiges abflofs.

mit 2,6 Quadratfufs Belegung, wurde eine aus 13 Fufs eines 0,55 Linie dicken Kupferdrahtes gewundene ebene Spirale eingeschaltet, dieser eine gleiche Nebenspirale in $1\frac{1}{2}$ Linien Entfernung gegenüber gestellt und die letztere durch kurze Kupferdrähte, ein elektrisches Thermometer (dessen Platindraht 0,037 Linie dick, $35\frac{7}{8}$ Zoll lang war), und endlich durch einen 2,06 Zoll langen, 0,0554 Linie dicken Platindraht geschlossen. Nachdem sechs Thermometerbeobachtungen gemacht waren, wurde der Platindraht ersetzt durch 203 Fufs Telegraphendraht, der aus Kupferdraht von 0,75 Linie Dicke bestehend, mit Guttapercha umprefst war. Dieser Draht war theils an den Wänden des Zimmers, theils auf ausgespannten Seidenschnüren hoch über dem Boden in weiten Windungen geführt, so dafs die meisten Theile desselben aufser Wirkung auf einander blieben. Der kurze Platin- und der lange Kupferdraht hatten, wie die Rechnung zeigt, nahe denselben Verzögerungswerth. Dessenungeachtet wirkten sie in der Schliessung des secundären Stromes in so verschiedener Weise, dafs der flüchtigste Blick auf das Thermometer entscheiden konnte, ob der eine oder der andere Draht sich in der Schliessung befand. Diefs zeigen die folgenden Beobachtungen, bei welchen, zur Messung der Elektricitätsmenge, die Kugeln der Maafsflasche $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt waren.

I.

Elektricitätsmenge	4	6	8	10	Einh. d. Lad.
Erwärmung b. Platineinsch.	9,9	20,5	35,4		1,74
b. Kupfereinsch.		6,1	10,7	15,2	0,49

Indem statt des Platindrahtes der Kupferdraht zur Einschaltung in die Schliessung benutzt wurde, ist der Strom nahe im Verhältnisse 32 zu 9 geschwächt worden. Dafs diese grosse Schwächung durch den inneren Nebenstrom bewirkt wurde, läfst sich unzweifelhaft darthun dadurch, dafs sie durch Nebenlegung eines in sich geschlossenen Drahtes zum Theile aufgehoben werden kann. Diefs ist in den folgenden Versuchen geschehen, in welchen, bei Benutzung einer um die Hälfte geringeren Drahtlänge und bei

der Lage derselben auf dem Boden des Zimmers, die Schwächung kleiner war, aber mit Sorgfalt bestimmt wurde.

Zwei Stücke des Telegraphendrahtes von der angegebenen Beschaffenheit, jedes $100\frac{1}{4}$ Fufs lang, wurden mit seidenen Bändern an einander gebunden, und an den Wänden und auf dem Fufsboden des Zimmers herumgelegt, so dafs ihre vier Enden an der Schliessung des secundären Stromes zu liegen kamen. Diese Schliessung wurde zuerst durch 1 Zoll des 0,0554 Linie dicken Platindrahtes vollzogen, dann durch den Kupferdraht von $100\frac{1}{4}$ Fufs Länge, und die Erwärmung beobachtet; zuletzt wurde die zweite Beobachtung wiederholt, während die Enden des zweiten Stückes Kupferdraht mit einander verbunden waren.

II.

Schliessung durch

	Platindraht	Kupferdraht		denselben bei ge- schlossenem Neben- draht	
Elektricitäts- menge		Erwärmung			
6	22,5	12,6	12,4	17,8	17,8
8	38,5	22,1	22,8	30,0	30,8
10	63,3	34,2	34,2	48,3	48,1
Einh. d. Lad.	1,86	1,04		1,45	
Verhältniss	9	5		7	

Durch Vertauschung des Platindrahtes mit dem ihm gleichwerthigen Kupferdrahte wurde der Strom von 9 zu 5 geschwächt und der geschwächte Strom durch Schliessung des neben dem Kupferdrahte liegenden Drahtes wiederum zu 7 gestärkt. Dafs er seinen ersten Werth 9 nicht erreichte, also die Wirkung des inneren Nebenstromes durch den Nebendraht nicht gänzlich aufgehoben wurde, kann nicht auffallen, da der Nebendraht von dem Drahte, dessen Wärme untersucht wurde, an den günstigsten Stellen $1\frac{1}{2}$ Linie (die doppelte Dicke der Guttaperchahülle) und sonst noch weiter entfernt lag. Es läfst sich hier nachweisen, was für sich klar ist und ich früher auf andere Weise gezeigt habe, dafs die den erregenden Strom stärkende Wirkung des Nebendrahtes durch einen, in diesem Drahte erregten Nebenstrom ausgeführt wird. Als bei der Einschal-

tung des langen Kupferdrahtes die Enden des Nebendrahtes nicht mit einander verbunden, sondern nur einander bis etwa 0,1 Linie genähert waren, gab die Elektrizitätsmenge 10 eine Erwärmung von 46,2 und 46,8, also nicht viel geringer, als bei vollkommenem Schlusse des Nebendrahtes, wo sie 48,2 betrug. Zugleich aber erschien in der Lücke des Nebendrahtes ein glänzender Funke, als Zeichen des kräftigen im Nebendrahte erregten Stromes.

Die Verzögerung, die ein Strom kurzer Dauer in einem geraden Drahte durch den inneren Nebenstrom erfährt, dauert fort, wenn durch Biegung zwei entfernte Theile des Drahtes einander nahe gebracht werden. Diefes zeigt sehr auffallend ein Versuch des folgenden Abschnittes. Würde aber auch jene Verzögerung durch die Biegung verringert werden, weil bei der Erregung des inneren Nebenstromes in einem Stücke des Drahtes ihm ein anderes Stück desselben Drahtes nahe liegt, so könnte diefes eine nach der Art der Biegung verschiedene Aenderung des Stromes nicht zur Folge haben. Da nämlich nur die Wirkung in Betracht kommen kann, welche der Nebenstrom auf den erregenden Strom äußert, der mit ihm in demselben Drahtstücke zusammentrifft, die Stärke und Richtung des Nebenstroms aber gegen den ihn erregenden Strom an jeder Stelle dieselbe bleibt, der Draht mag durch die Biegung die N- oder U-Form erhalten haben, so kann der innere Nebenstrom allein nicht die Ursache der verschiedenen Aenderung eines Stromes nach der Form seiner Schließung seyn.

Der äußere Nebenstrom eines Drahtes.

Wenn der Leitdraht eines Stromes kurzer Dauer so gebogen wird, daß zwei Stücke desselben einander nahe kommen, so inducirt jedes Stück in dem anderen Stücke einen Nebenstrom, den wir den *äußeren Nebenstrom des Drahtes* nennen wollen. Dieser inducirte Strom ist desto stärker, je länger die auf einander einwirkenden Drahtstücke sind, je mehr sie einander parallel liegen und je kleiner der sie trennende Zwischenraum ist. Während also der innere Ne-

benstrom bei einem Drahte jeder Form auftritt, kommt der äußere Nebenstrom nur in einem Drahte zu Stande, der so gelegt ist, daß zwei entfernte Theile desselben auf einander wirken.

Der äußere Nebenstrom verbreitet sich von jeder Stelle, an der er erregt wurde, durch den ganzen Leitungsdraht und vollendet, wenn dieser geschlossen ist, einen Kreislauf. Der Strom übt also in jedem Drahtstücke eine Wirkung aus auf das diesem parallele Drahtstück und zweitens auf den Strom, der mit ihm an derselben Stelle zusammentrifft. Die Fernwirkung ist nicht nur viel schwächer als die zweite Wirkung, sondern sie bleibt auch bei einer Formänderung des Schließungsdrahtes dieselbe, so daß wir sie nicht weiter zu beachten brauchen. Die Richtung des äußeren Nebenstromes gegen den ihn erregenden Strom, mit dem er an derselben Stelle des Drahtes zusammentrifft, ist von der Biegung des Drahtes abhängig. Wenn er bei der N-Form des Drahtes dem erregenden Strome gleichlaufend begegnet, so fließt er ihm bei der U-Form entgegen. Es wird also der äußere Nebenstrom merklich werden können in den Aenderungen, welche ein Strom irgend einer Ordnung dadurch erfährt, daß sein Leitungsdraht in verschiedene Formen gelegt wird. Wie dies früher am Hauptstrome und den Strömen zweiter bis fünfter Ordnung mit Hülfe zusammengesetzter Vorrichtungen gezeigt wurde, läßt es sich mit geraden Drähten an jedem Strome höherer Ordnung sehr auffallend nachweisen.

Es wurde, wie bereits oben geschehen ist, ein secundärer Strom durch zwei 13 Fufs lange Kupferspiralen erregt. Die Schließung des Stromes wurde durch die beiden an einander gebundenen Telegraphendrähte bewirkt (jeder $100\frac{1}{4}$ Fufs lang), so daß der Strom beide Drähte durchlaufen mußte. Hierzu wurde ein kurzer Verbindungsdraht (Telegraphendraht 2' 8" lang) benutzt, der von den 4 Enden des Doppeldrahts zwei, entweder entgegengesetzt oder gleich gelegene Enden mit einander verband und so die N- oder die U-Form des Doppeldrahts herstellte. Ein

empfindliches Thermometer gab bei verschiedener Ladung von 3 Flaschen die folgenden Erwärmungen an.

III.

Elektricitätsmenge	6	8	10	12	Einh. d. Lad.
		Erwärmung			
Schließung N-Form		5,2	8,4	11,3	0,24
U-Form	16	27	42		1,29

Indem der Doppeldraht zuerst mit entgegengesetzt, dann mit gleich gelegenen Enden in die Schließung eingeschaltet wurde, ist der Strom im Verhältnisse 3 zu 16 verändert, sein Werth auf das Fünffache gebracht worden. Dafs mit der Erwärmung auch die mechanische Wirkung des Stromes eine aufserordentliche Vergröfserung erfuhr, wird unten gezeigt werden.

Rührte die Schwächung des Stroms bei der N-Form von einem in der Schließung erregten Nebenstrom her, so mußte sie beseitigt werden durch Naehelegung eines gut leitenden geschlossenen Drahtes an den Doppeldraht. Es war an dem Doppeldrahte ein mit Guttapercha bekleideter $100\frac{1}{2}$ Fufs langer $\frac{5}{7}$ Lin. dicker Kupferdraht festgebunden, der hier als Nebendraht bezeichnet werden soll, und dessen Enden bisher frei lagen. Diese Enden wurden mit einander verbunden und der Strom geprüft bei N-Form des Doppeldrahtes. Ich füge den Beobachtungen die oben bei ungeschlossenem Nebendrahte erhaltenen Werthe bei. Die Beobachtungen bei Einschaltung des 203 Fufs langen auf Seidenschnüren ausgebreiteten Telegraphendrahtes lassen beurtheilen, welche Wirkung der geschlossene Nebendraht auf den durch die N-Form geschwächten Strom hatte.

IV.

Elektricitäts- menge	Schließung durch		
	einfachen Draht	Doppeldraht 203 Fufs	
	203 Fufs	N-Form	N mit Nebendraht
		Erwärmung	
8	10,3	5,2	14,8
10	15,6	8,4	22,2
12	21,6	11,3	31,7
Einh. d. Lad.	0,47	0,24	0,67

Hier tritt die merkwürdige Erfahrung auf, daß der Strom bei N-Form und geschlossenem Nebendrahte nicht nur stärker ist als bei N-Form ohne Nebendraht, sondern noch merklich stärker als bei Einschaltung des einfachen ausgebreiteten Drahtes, und alle spätern Versuche gaben Dasselbe. Der geschlossene Nebendraht hebt nicht nur die Schwächung des Stromes auf, welche durch die N-Form bewirkt wird, sondern seine Wirkung geht, bei günstiger Lage, darüber hinaus.

Als der geschlossene Nebendraht benutzt wurde, während der Doppeldraht in U-Form lag, gaben dieselben Ladungen, welche oben die Erwärmungen 16 27 42 geliefert hatten, die Werthe 15 26 41. Der Strom war also durch den geschlossenen Nebendraht in geringem Maasse geschwächt worden. Es ist darauf kein Gewicht zu legen, weil die Schwächung offenbar zufällig war und daher rührte, daß der Nebendraht nicht an allen Stellen eine gleiche Lage und Entfernung von jedem Strange des Doppeldrahts hatte. Der Nebendraht wirkt durch den in ihm erregten Nebenstrom, und wenn er eine durchgängig gleiche Lage gegen die beiden Schenkel des U bewahrt, so kann in ihm kein Strom erregt werden, weil der Draht die Induction von zwei entgegengesetzt gerichteten Strömen zugleich erfährt.

Während also ein geschlossener Nebendraht auf einen elektrischen Strom, der in einem N-förmigen Drahte fließt, so kräftig einwirkt, daß er diesen Strom stärker macht, als er in dem gerade ausgestreckten Drahte seyn würde, bleibt der Nebendraht auf einen im U-förmigen Drahte fließenden Strom gänzlich wirkungslos. Die zweite Thatsache, zwar nicht im Geringsten auffallend, ist zu merken, damit der gebräuchliche Ausdruck, ein Nebenstrom werde auf einen geschlossenen Nebendraht übertragen, richtig aufgefaßt werde. Die Verstärkung, die der beobachtete Strom durch die U-Form erfährt, ist Folge eines in seinem Leitdrahte erregten Nebenstromes, und dieser Strom bleibt ungeändert, wenn auch ein geschlossener Draht ihm nahe

liegt. Die Aenderung des Nebenstromes könnte nur durch einen neuen, im Nebendrahte erregten, Nebenstrom geschehen und findet daher nicht statt, wenn diese Erregung ausbleibt.

Die Gröfse der Stromänderung durch Aenderung der Schließungsform hängt hauptsächlich ab von der Länge des Theils der Schließung, der die Formänderung erfährt im Verhältnisse zu der ganzen Länge der Schließung. Geringeren Einflufs äußern Material und Dicke der Schließung, wie die folgenden Versuche lehren. Die bisher gebrauchte Spirale aus 13 Fufs eines 0,55 Linie dicken Kupferdrahtes bestehend, wurde aus der secundären Schließung entfernt und durch eine gleichfalls 13 Fufs lange Spirale ersetzt, die aus Platindraht von 0,076 Lin. Dicke bestand. Diese Spirale wurde der Hauptspirale, durch welche der Batteriestrom ging, möglichst nahe gestellt, um den erregten Strom stark zu erhalten. Die übrigen Theile der secundären Schließung waren die früher gebrauchten, es wurden darin die folgenden Erwärmungen beobachtet.

V.

Elektricitäts- menge	Schließung durch				
	einfachen Draht 203 Fufs	N-Form	Doppeldraht N mit Ne- bendraht	203 Fufs U-Form	U mit Ne- bendraht
	Erwärmung				
8	9,3	5,0	12,4	20,0	20,8
10	14,3	7,0	19,1	31,2	30,7
12	20,7	10,6	28,6	44	43,5
Einh. d. Lad.	0,43	0,22	0,58	0,93	0,93
Verhältniß	100	51	135	216	216

Die Schwächung des Stromes durch die N-Form ist hier eben so groß, wie früher, aber die Verstärkung durch die U-Form ist geringer, so daß das Verhältniß vom schwächsten zum stärksten Strome hier nur 4 zu 17 beträgt, während es früher 3 zu 16 war. Auch hier ist die merkwürdige Erscheinung deutlich, daß der Strom bei N-Form seiner Schließung und einem naheliegenden geschlossenen

Drahte stärker ist, als bei ausgestreckter Schließung ohne Nebendraht.

Als der Schließungsbogen des Stromes verlängert wurde, sein der Aenderung unterworfenen Theil aber der früher gebrauchte war, erfolgten geringere aber nicht weniger deutliche Aenderungen des Stromes. Die Spirale, in welcher der Strom erregt wurde und die bisher aus 13 Fufs Draht bestand, wurde durch eine Spirale ersetzt, die aus 53 Fufs eines $\frac{2}{3}$ Linie dicken Kupferdrahtes gewunden war. Eine gleiche Spirale kam in die Hauptschließung und wurde von jener 2 Linien entfernt. Bei den verschiedenen Formen des, in der Schließung des secundären Stromes befindlichen, Kupferdrahtes von 203 Fufs Länge erhielt der Strom die folgenden Werthe.

VI.

Stromver- hältniß	Schließung durch				
	einfachen Draht	N-Form	N mit Nebendr.	den Doppeldraht U-Form	U mit Nebendr.
	100	83	104	129	130

Das Verhältniß des schwächsten Stromes zum stärksten war hier nur 9 zu 14. Da aber der Strom, in der großen Spirale erregt, viel stärker als früher war, so konnte hier der Versuch, die Aenderung des Stromes ohne Thermometer aufzuzeigen, mit mäßigen Batterieladungen ausgeführt werden. In der Schließung wurde ein Eisendraht, 0,053 Lin. dick 1 Zoll lang, angebracht und der Doppeldraht in N-Form gebraucht. Die Elektrizitätsmenge 48, aus 5 Batteriefaschen entladen, lieferte einen Strom, der den Eisendraht dunkel und unverletzt liefs. Als aber der Doppeldraht durch Umlegen des Verbindungsdrahtes seiner Enden die U-Form erhielt, brachte der durch eine geringere Elektrizitätsmenge 46 erregte Strom den Eisendraht in helles Glühen und zerstörte ihn gänzlich.

Will man sich mit dem Eindrücke auf das Auge begnügen, so ist die Stromänderung noch einfacher nachzuweisen. Es wurde mit Hülfe der Spiralen von 13 Fufs Drahtlänge ein Strom erregt durch die in 3 Flaschen ge-

sammelte Elektrizitätsmenge 6. In der Schließung des secundären Stromes, welche den 203 Fufs langen Doppeldraht enthielt, war eine Lücke von 0,1 Linie angebracht. Der Funke beim Uebergange des Stromes durch diese Lücke war lichtschwach, wenn der Doppeldraht in N-Form lag, hingegen glänzend, wenn er die U-Form erhalten hatte.

Es ist noch ein Versuch anzuführen, um eine Folgerung aus den frühern Versuchen direct aufzuzeigen. Bei Einschaltung eines gegebenen Drahtes in die Bahn eines Stromes erhält man zwar den Strom am stärksten, wenn der Draht in die U-Form gelegt wird, aber sein Werth bleibt stets kleiner als er durch einen geraden Draht, selbst von größerem Verzögerungswerthe, erhalten wird, wenn die Länge des letztern gegen die des gegebenen Drahtes hinlänglich klein genommen wird. Es wurde ein Strom mit den beiden Kupferspiralen von 13 Fufs Drahtlänge erregt, in seine Schließung der doppelte Kupferdraht in beiden Formen, und zuletzt ein Platindraht 0,0554 Lin. dick, 5,79 Zoll lang eingeschaltet.

VII.

Schließung durch

Elektricitäts- menge in 3 Flaschen	Kupferdraht N-Form	in U-Form	Platindraht
	Erwärmung		
6	3,0	16,3	20,3
8	5,4	28,1	36,1
10	8,7	43,0	55,8
Einheit d. Lad.	0,25	1,32	1,69

Die Werthe des Stromes bei Einschaltung des 203 Fufs langen Kupferdrahtes in N- und U-Form verhielten sich wie 7 zu 37, also nahe wie in Versuch III bei derselben Anordnung des Apparates, wo diefs Verhältniß 3 zu 16 betrug. Aber der größte Werth des Stromes war noch bedeutend kleiner als er erhalten wurde, wenn statt des Kupferdrahtes der Platindraht in die Schließung gebracht war, obgleich letzterer mit 570 Fufs Kupferdraht gleichwerthig war. Es rührt diefs, wie sich zeigen wird, daher, daß die Länge des Platindrahtes, von weniger als 6 Zollen, ge-

gen die Länge des Kupferdrahtes sehr klein, und deshalb sein innerer Nebenstrom geringer war, als der im Kupferdrahte bei der U-Form zurückgebliebene Nebenstrom.

Ursache der Abhängigkeit des Stromes von der Form seiner
Schließung.

Alle früher von mir veröffentlichten, wie die hier mitgetheilten Versuche über die Stärke eines Stromes bei verschiedener Form seiner Schließung, haben dasselbe Resultat gegeben, das sich für den empirischen Bedarf sehr einfach aussprechen läßt. Wenn zwei Theile des Leiters eines Stromes von kurzer Dauer nahe an einander gelegt werden, so ist der Strom schwächer, als bei gerade ausgestrecktem Leiter, im Fall er in beiden Theilen mit gleicher Richtung, und stärker, wenn er darin mit entgegengesetzter Richtung fließt. Ein dem Leiter naheliegender in sich geschlossener Draht ändert, nach Maafsgabe seiner Schließung, den Strom im Leiter, im Falle dafs im Nebendrahte selbst eine Elektricitätsbewegung stattfindet. Ist eine solche Bewegung nicht vorhanden, so bleibt der Nebendraht wirkungslos.

Die Ursache dieser, ihrer Gröfse nach, sehr verwickelten Aenderungen eines Stromes war durch Versuche gegeben, die bei ihrer Auffindung bereits vorlagen. Faraday hatte entdeckt, dafs bei Unterbrechung eines voltaschen Stromes im Stromleiter ein neuer Strom auftritt, der inducirte Strom oder Nebenstrom, und hatte eine Wirkung desselben untersucht, den Glanz des Funkens, mit dem er übergeht. Es hatte sich ergeben, dafs diese Wirkung am stärksten ist, wenn der Leitungsdraht schraubenförmig aufgewunden, schwächer, wenn der Draht gerade ausgestreckt ist, und dafs sie ausbleibt, wenn er in der Mitte umgeben, also in U-Form gelegt wird (*exp. resear.* 1096). Die Erwärmung durch einen Strom der leydenen Batterie zeigt genau das entgegengesetzte Verhalten: die schwächste Erwärmung im Schließungsdrahte wenn er in N-Form gelegt, eine stärkere wenn er gerade ausgestreckt war, die stärkste

wenn er die U-Form erhalten hat. Dieser Widerspruch löst sich leicht. Während in Faradays Versuchen nur die Wirkung des erregten Nebenstromes beobachtet wird, tritt in den Versuchen an der leydenen Batterie die Wirkung des erregten zu der des erregenden Stromes hinzu. Nun ist es durch Versuche erwiesen, daß ein Nebenstrom von bestimmter Richtung den erregenden Strom in seinem Gange aufzuhalten, die durch diesen bewirkte Erwärmung zu vermindern vermag, und es war nur die Annahme zu machen, daß ein Nebenstrom von der entgegengesetzten Richtung den erregenden Strom beschleunigt, um die Aenderung eines Stromes durch die Formänderung seiner Schließung mit den früheren Erfahrungen in Einklang zu bringen. Bei dieser Erklärung war von den beiden Theilen des Nebenstromes, der mit dem erregenden Strom in demselben Drahte fließt, nur der Theil in Betracht gezogen worden, der durch die Biegung des Drahtes eine veränderte Richtung erhält, und es war dadurch die Art, wie er die Beschleunigung im U-Drahte bewirkt, unklar geblieben. Wenn auch der andere, bisher vernachlässigte Theil des Nebenstromes bei der Ableitung der Erscheinung hinzugezogen wird, so ergibt sich die Beschleunigung des Stromes durch die U-Form als eine nothwendige Folge der Verzögerung, die er in einem gerade ausgestreckten Drahte erfährt, und man gelangt zu folgender einfachen Erklärung der hier betrachteten Erscheinungen.

Es ist gezeigt worden, daß in einem ausgestreckten Leiter, durch den man einen elektrischen Strom hindurchgehen läßt, ein *innerer* Nebenstrom erregt wird, der den Gang des Stromes verzögert, und zwar um so mehr verzögert, je stärker der Nebenstrom ist. Der erregende Strom besteht also im Leiter eine längere Zeit, als er bestehen würde, wenn der Nebenstrom fehlte. Können wir den inneren Nebenstrom schwächen, so wird der erregende Strom schneller fließen, und langsamer, wenn wir ihn verstärken können. Nur der erste Fall ist ausführbar, wenn der Stromleiter gerade ausgestreckt bleiben soll. Ein vollkommen

geschlossener Draht dem Leiter nahe gelegt, schwächt den inneren Nebenstrom, und damit wird der Strom im Leiter verstärkt. Darf hingegen der Leiter umgebogen werden, so lassen sich, ohne Anwendung des Nebendrahtes, beide Fälle ausführen. Da nämlich jeder Theil des Leiters in einem ihm nahetretenden Theile desselben Leiters einen *äußeren* Nebenstrom erregt, so kann durch die Biegung des Leiters bewirkt werden, daß dieser äußere Nebenstrom dem inneren Nebenstrom an jeder Stelle des Leiters entweder mit gleicher oder mit entgegengesetzter Richtung begegnet. Trifft der äußere Nebenstrom den inneren mit gleicher Richtung, so fügt er sich ihm hinzu; trifft er ihn mit entgegengesetzter, so hebt er ihn theilweise auf, weil zwei Ströme derselben Ordnung mit entgegengesetzter Richtung nicht in demselben Stücke eines Leiters sich bewegen können. Die Aufhebung des innern Nebenstromes ist eine nur theilweise, weil der äußere Nebenstrom, aus größerer Entfernung erregt, stets schwächer ist, als der innere Nebenstrom. Man sieht nun sogleich, daß in einem N-förmigen Drahte der äußere Nebenstrom den inneren mit gleicher Richtung trifft, aber mit entgegengesetzter in einem U-förmigen. Es wird also ein Strom, der in einem N-förmigen Drahte fließt, schwächer, der in einem U-förmigen fließt, stärker seyn müssen, als in dem gerade ausgestreckten Drahte, und diese Aenderungen des Stromes folgen unmittelbar aus den zwei Sätzen: ein Nebenstrom, der mit dem ihn erregenden Strome in demselben Drahte fließt, verzögert den Gang dieses Stromes; und: zwei Nebenströme in demselben Drahte wirken auf den erregenden Strom mit ihrer Summe oder mit ihrer Differenz, je nachdem sie eine gleiche oder eine entgegengesetzte Richtung verfolgen.

Diese Ableitung der Erscheinungen wird durch die Versuche kräftig unterstützt. Nach der gegebenen Vorstellung sind in einem N-förmigen Leiter außer dem erregenden Strome zwei Nebenströme, von welchen der stärkere, der innere Nebenstrom, schon in dem Leiter vorhanden war, als er gerade ausgestreckt war. Legt man einen geschlos-

senen Draht dem N-förmigen Leiter nahe, so müssen beide Nebenströme geschwächt werden, und der erregende Strom, der durch die N-Form geschwächt war, wieder stärker erscheinen. Diefß wurde in meinen früheren Versuchen gezeigt, in welchen zur Schwächung des Stromes die Spiralform des Leiters gebraucht war; aber der günstigste Fall bestand darin, daß der geschwächte Strom durch den geschlossenen Nebendraht beinahe auf die Stärke gebracht wurde, die er vor der Schwächung besessen hatte. So betrug der Werth des Stromes 100 bei geradem Schließungsdrahte, 74 als dieser zu einer cylindrischen Spirale gewunden war und wurde durch die Näherung einer zweiten Spirale auf 98 gehoben (Pogg. Ann. Bd. 83 S. 332). In der vorliegenden Abhandlung geht, was nicht vorauszusehen war, die Wirkung des Nebendrahtes viel weiter. So war z. B. im Versuche IV der Werth des Stromes bei ausgebreitetem Drahte 100, bei N-förmigem 51, und durch den geschlossenen Nebendraht wurde der letzte Werth auf 143 gebracht. Es geschah diefß durch die sehr günstige Lage des Nebendrahtes dicht an den Schenkeln des N-Drahtes. Der Nebendraht hatte nicht nur die Wirkung des äußeren Nebenstromes aufgehoben, der die Schwächung des Stromes durch die N-Form bewirkte, sondern ferner einen Theil des inneren Nebenstromes unwirksam gemacht, dem die Schwächung des Stromes im geraden Drahte zuzuschreiben ist.

In einem U-förmigen Drahte wird an jeder Stelle ein Theil des inneren Nebenstromes durch den äußeren aufgehoben, und dadurch die Verstärkung des erregenden Stromes bewirkt. Ein geschlossener Draht in gleicher Lage und Entfernung von beiden Schenkeln des U hat keine Wirkung, weil in ihm nachweislich keine Elektrizitätsbewegung statt hat. Liegt der Draht dem einen Schenkel näher als dem anderen, so führt er einen, wenn auch sehr schwachen Strom, und seine Wirkung kann entweder den einen oder den entgegengesetzten Erfolg haben. Nach dem allgemeinen Satze nämlich, daß die Induction in einem Lei-

ter geschwächt wird durch die Nähe eines geschlossenen Drahtes, muß in den Schenkeln des U der innere und äussere Nebenstrom geschwächt werden, der innere aber weniger als der äussere. Von dem Verhältnisse beider Ströme zu einander, wie von dem Werthe ihrer Schwächung hängt es ab, ob die Differenz beider Ströme kleiner oder grösser ist, als sie vor Anlegung des Nebendrahtes war. Im ersten Falle würde der Nebendraht den erregenden Strom im U-Drahte stärken, im zweiten schwächen. In der That sind in meinen Versuchen beide Aenderungen des Stromes vorgekommen, sie waren aber stets so unbedeutend, daß ich kein Gewicht auf sie gelegt und es nicht der Mühe werth gehalten habe, ihren Betrag aus einer grösseren Zahl von Beobachtungen genau zu ermitteln.

Eine fernere Bestätigung der gegebenen Erklärung liegt in Folgendem. Gleichwerthig werden zwei Drähte genannt, die einzeln zum Schliessungsbogen einer Leydener Batterie hinzugesetzt, die Erwärmung ungeändert lassen, die der Entladungsstrom an einer constanten Stelle des Bogens hervorbringt. Bei freier Verfügung über Metall und Dicke der Drähte lassen sich ihre Längen beliebig verschieden machen. Setzt man zwei solche Drähte zum Schliessungsbogen eines secundären Stromes hinzu, so giebt, bei genügendem Unterschiede der Längen beider Drähte, nicht nur der kürzere Draht einen stärkeren Strom als der lange, sondern dies ist noch der Fall, wenn der lange Draht in U-Form gelegt, der Strom darin also zu seiner grössten Stärke gebracht worden ist. Es folgt dies daraus, daß der innere Nebenstrom im langen Drahte durch den äusseren Nebenstrom niemals ganz aufgehoben werden kann, und man dem inneren Nebenstrom im kurzen Drahte durch Beschränkung seiner Länge immer einen kleineren Werth zu geben vermag, als der zurückbleibende Theil des Nebenstromes im langen Drahte besitzt. Hiervon ist in Versuch VII ein schlagendes Beispiel gegeben worden, indem der weniger als 6 Zoll lange Platindraht einen merklich stärkeren Strom gab, als der 203 Fufs lange in U-Form gelegte

Kupferdraht, obgleich der Platindraht nach der Rechnung mehr als den doppelten Verzögerungswerth des Kupferdrahtes besafs.

Der Grund der Aenderung eines Stromes durch Formänderung seiner Schliessung läfst sich mit wenig Worten anschaulich machen. In einem Drahte, er sey gestaltet wie er wolle, wird ein Strom kurzer Dauer in seinem Gange aufgehalten durch einen Nebenstrom, den jener in der Masse des Drahtes erregt. Der Nebenstrom und damit die Verzögerung des erregenden Stromes ist am stärksten, wenn der Draht die N-Form hat, wo der Nebenstrom aus zwei Theilen besteht, die zusammenwirken, schwächer, wenn er gerade ausgestreckt ist, weil dann nur der eine Theil des Nebenstromes vorhanden ist, und am schwächsten, wenn er in U-Form gelegt worden, wo die beiden Theile des Nebenstromes einander entgegenwirken.

So einfach hier die Rückwirkung des Nebenstromes auf den ihn erregenden Strom auftritt, indem mit der Stärke des in dem Stromleiter selbst erregten Nebenstromes auch die Verzögerung des erregenden Stromes zunimmt, so verwickelt wird sie, wenn ein zweiter Nebenstrom in einem neben dem Leiter liegenden Drahte erregt wird. Ich habe früher in vielen Beispielen die merkwürdige Thatsache aufgezeigt, dafs der durch seine Leitung geschwächte Nebenstrom eine gröfsere Verzögerung hervorbringt, als der ungeschwächte, und bei zunehmender Verlängerung des Nebendrahtes die Wirkung auf den erregenden Strom ein Maximum erreicht, so dafs man stets zwei verschiedene Längen des Nebendrahtes durch den Versuch finden kann, bei welchen der erregende Strom denselben Werth erhält.
