I. *Ueber die Wirkung des unterbrochenen Inductionsstromes auf die Magnetnadel;*
von J. H. Koosen.

Es giebt zwei in ihrer Natur gänzlich von einander unterschiedene Wirkungsweisen der Elektricität auf das Galvanometer, die Wirkung eines geschlossenen Stromes, der in allen Theilen seines Weges nur gute Leiter vorfindet, und die Ausgleichung der entgegengesetzten Elektricitätsmengen, welche auf den Belegungen einer Leydener Flasche angesammelt worden, welche letztere Ausgleichung aber ihrer Natur nach nie in einer völlig metallischen Schließung vor sich gehen kann, sondern außerdem noch stets einen mehr oder weniger luftverdünnten Raum, in welchem der elektrische Funke auftritt, zu durchdringen hat.

Diese beiden Wirkungsarten der elektrischen Ausgleichung unterscheiden sich besonders dadurch, daß im ersten Falle die Gröfse der galvanometrischen Wirkung durch in die Schließung eingeschaltete Widerstände wesentlich vermindert wird, während sie im zweiten Falle unverändert bleibt, wie groß auch der eingeschaltete Widerstand seyn möge.

Für den galvanischen Strom wird die Gröfse seiner Wirkung auf die Magnetnadel je nach den eingeschalteten Widerständen unter allen Umständen durch das Ohm'sche Gesetz bestimmt, und scheint das Gesetz nicht bloß für constant bleibende, sondern auch für beliebig veränderliche elektromotorische Kräfte maßgebend zu seyn; es wäre allerdings wohl denkbar, daß für mit großer Geschwindigkeit vor sich gehende Aenderungen in der Gröfse der elektro-

motorischen Kraft die Ausgleichung der Elektricitäten in einem Schließungsdrahte von großer Länge nicht den Aenderungen der elektromotorischen Kraft augenblicklich zu folgen vermöchte und dann würde sich bei Einschaltung verschiedener Widerstände eine Abweichung vom Ohm'schen Gesetze zu erkennen geben; allein bei den in der Praxis vorkommenden veränderlichen elektromotorischen Kräften, selbst bei den durch elektromotorische Induction entstandenen, ist die Aenderung in der Größe der Kraft, obwohl äußerst plötzlich, doch immer verhältnißmäßig langsam gegen die Ausgleichungsgeschwindigkeit der Elektricitäten in der metallischen Schließung, und daher eine Abweichung vom Ohm'schen Gesetze bisher nicht zu bemerken gewesen.

Was nun die Ablenkung der Magnetnadel durch statische Elektricität betrifft, die auf den Belegungen einer Leydener Flasche angehäuft worden, so sind früher gehörige Beobachtungen erst durch Faraday und Riefs gemacht und haben zur Feststellung der beiden Hauptgesetze geführt, daß der der Galvanometernadel durch Ausgleichung der statischen Elektricitäten ertheilte Impuls allein proportional der angesammelten *Elektricitätsmenge* ist, aber unabhängig von ihrer Spannung wie auch namentlich von den eingeschalteten Widerständen. In den betreffenden Versuchen von Faraday und Riefs ist aber die Stromschließung, weil Elektricitäten von verhältnißmäßig hoher Spannung verwandt wurden, und um eine sichere Ausgleichung durch alle Windungen des Galvanometers herzustellen, überall durch Einschaltung schlecht leitender Flüssigkeiten vermittelt; es schien mir daher um das wichtige Grundgesetz der Unabhängigkeit der galvanometrischen Wirkung von den eingeschalteten Widerständen außer allen Zweifel zu setzen, von Bedeutung, die Ausgleichung der statischen Elektricitäten in einer rein metallischen Leitung zu prüfen.

Die Eigenschaft der statischen Elektricität, daß ihre Einwirkung auf das Galvanometer unabhängig von den eingeschalteten Widerständen ist, erlaubt sehr kleine Elektri-

citätsmengen am Galvanometer zu messen, indem die Wirkung mit der Anzahl der Windungen des Galvanometerdrahtes einfach wächst; daher ein Sauerwald'sches Galvanometer von 21000 Windungen, welches ich hiezu benutzte, ein auch für sehr kleine Elektricitätsmengen empfindliches Instrument ist. Um möglichst gleiche kleine Elektricitätsmengen zu den Messungen zu erhalten, durfte ich natürlich keine Leydener Maafsflasche anwenden, denn da deren Elektricität durch die Schlagweite gemessen wird, so würde hier die Spannung schon viel zu groß werden, um sie für das empfindliche Galvanometer benutzen zu können. Ich verschaffte mir daher kleine und möglichst gleich große Elektricitätsmengen, indem ich durch den Metalldeckel eines schon lange in Gebrauch stehenden Kautschuck-Elektrophors mittelst ein- oder mehrmaligen Abhebens eine Leydener Flasche von 1⁰ Fufs Belegung sehr schwach lud; ich überzeugte mich von der gleichbleibenden Gröfse der Ladung dadurch, dafs ich immer bei directer Entladung durch den Galvanometerdraht allein nahezu dieselbe Ablenkung erhielt; diese Ablenkung blieb auch unverändert, wenn bei der Entladung ein 34000 Fufs langer Kupferdraht von 0,15^{mm} Durchmesser eingeschaltet wurde, also ein Widerstand der den des Galvanometerdrahtes von 21000 Windungen um mehr als das Doppelte übertraf; hiedurch fand sich also das Hauptgesetz, dafs die Ablenkung unabhängig von dem eingeschalteten Widerstande ist, auch für metallische Schließung bestätigt. Ich benutzte meistens bei diesen Versuchen eine Elektricitätsmenge, welche durch viermalige Ladung des Elektrophordeckels erhalten wurde, und beobachtete nie ein Ueberspringen der Elektricität zwischen den Windungen des Galvanometerdrahtes, selbst bei directer Entladung der Leydener Flasche durch denselben; wohl aber fand dies statt bei achtmaliger Ladung des Elektrophordeckels. Die Ablenkung des nur wenig astatischen Nadelpaares durch die viermalige Ladung betrug nahe an 30° mit oder ohne Einschaltung metallischer Widerstände.

Sehr kleine und äufserst constante Mengen statischer

Elektricität kann man erhalten, wenn man einen großen Condensator mittelst eines oder mehrerer Daniell'scher Elemente ladet; schon bei Anwendung Eines Elementes erhielt ich mit einem Condensator aus Gutta-Percha-Papier von 40² Fufs Oberfläche eine Ladung, welche durch das obige Galvanometer mit sehr astatischem Nadelsystem entladen eine Ablenkung von mehreren Graden gab. Brachte ich aber eine Commutatorvorrichtung an, wie sie zuerst von Siemens beschrieben worden, mittelst deren der Condensator rasch geladen und entladen werden kann, und sowohl der Ladungsstrom als der Entladungsstrom, aber commutirt, durch das Galvanometer geht, so wurde die Nadel sogleich bis auf 90° abgelenkt; woraus hervorgeht, dafs das Galvanometer von vielen Windungen mit astatischem Nadelpaar nicht blofs zur Messung galvanischer Ströme mit grofsem Leitungswiderstande, sondern noch mehr zur Messung sehr kleiner Mengen statischer Elektricität höchst geeignet ist.

Ich gehe jetzt über zu einer dritten Art von Stromeswirkungen auf die Magnetnadel, der Wirkung des durch Luft oder gasförmige Media unterbrochenen Inductionsstromes; wie dieser Entladungsstrom in seinen übrigen Erscheinungen eine Vermittelung bildet zwischen galvanischer und statischer Elektricität, so auch in seiner Wirkung auf das Galvanometer. Der einfachste Versuch lehrt, dafs bei dem ungeschlossenen Inductionsstrome, die Schlagweite möge noch so klein seyn, die Wirkung auf das Galvanometer im Allgemeinen nur einen sehr kleinen Bruchtheil, oft nur wenige Procente, derjenigen ausmacht, welche derselbe Strom bei metallischer Schließung ausübt; er lehrt ferner, dafs während bei metallischer Schließung der Inductionsrolle die galvanometrische Wirkung dieselbe bleibt, auf welche Art und Weise man die Unterbrechung des Hauptstromes vornehmen möge, indem das Integral der in jedem Augenblicke frei werdenden elektromotorischen Kräfte, multiplicirt mit ihrer respectiven Zeitdauer, hier immer dasselbe bleibt und ebenso der gesammte Leitungswiderstand, — diese Gleich-

heit der Wirkung keineswegs bei dem durch Luft unterbrochenen Strome stattfindet, ja dafs man selten bei zwei aufeinanderfolgenden Unterbrechungen des Hauptstromes dieselbe Ablenkung erhält. Die schwächere Wirkung des ungeschlossenen Inductionsstromes im Vergleich zum geschlossenen mufs wesentlich darauf beruhen, dafs dort ein bedeutender Leitungswiderstand, der leuchtende Luftraum, eingeschaltet worden, über dessen Gröfse und Natur es uns bis jetzt noch gänzlich an Beobachtungen fehlt; es scheint aber ausserdem noch erforderlich zu seyn, um die grofse Veränderlichkeit der Stromwirkung bei verschiedenartiger Unterbrechung des Hauptstromes zu erklären, anzunehmen, dafs die Zeitdauer der durch die Unterbrechung entstehenden elektromotorischen Kräfte mit der Art der Unterbrechung geändert werde, ja dafs die durch geringe elektromotorische Kräfte in der Inductionsrolle entwickelte Elektrizität nicht immer hinreichende Spannung habe, um den die Schlagweite bildenden Luftkanal zu durchbrechen, und daher gar nicht durch den Galvanometerdraht gehe. Ich vermuthete anfangs, dafs man die Erklärung der hieher gehörenden Erscheinungen vereinfachen würde durch die Annahme, dafs bei Unterbrechung des Hauptstromes zunächst an den Polen der Inductionsrolle eine gewisse Elektrizitätsmenge angesammelt werde, so lange bis ihre Spannung stark genug geworden um den Schlagraum zu durchbrechen, worauf dann die Entladung ganz nach den Gesetzen der statischen Elektrizität erfolge; allein ich sah bald, dafs diese Gesetze hier nicht anwendbar sind, indem die Einschaltung eines grofsen Widerstandes eine Verringerung der galvanometrischen Wirkung herbeiführt, dafs also hier die Gesetze der galvanischen Stromentladung eher gültig sind. Ferner läfst sich nicht erklären, wie eine Ansammlung einer gröfseren Elektrizitätsmenge an den Polen der offenen Inductionsrolle stattfinden kann, so lange diese Pole nicht mit den Belegungen eines Condensators verbunden sind. Die Drahtenden werden allerdings während der Unterbrechung des Hauptstromes in hohem Grade elektrisch, wovon man sich leicht

durch ein Elektroskop überzeugen kann; allein wegen ihrer geringen Masse kann von einer Ansammlung einer irgend erheblichen Elektrizitätsmenge auf ihnen nicht die Rede seyn. Ich mußte also davon absehen, die hieher gehörenden Erscheinungen als Entladungsvorgänge statischer Elektrizität anzusehen, und sie vielmehr aus den Gesetzen galvanischer Ströme mit veränderlichen elektromotorischen Kräften und ebenso veränderlichen durch die Natur des Schlagraumes und den eingeschalteten metallischen Widerstand bedingten Widerständen der gesammten Leitung zu erklären versuchen. Da ich, wie schon erwähnt, durch einzelne Unterbrechungen des Hauptstromes nie dieselbe galvanometrische Wirkung des Inductionsstromes bei offener Leitung erhalten konnte, so blieb nichts übrig als den Inductionsapparat mittelst eines selbstthätig wirkenden Unterbrechers in Thätigkeit zu setzen und den so erhaltenen Inductionsstrom mittelst einer empfindlichen Tangentenbussole zu messen. Ich hatte oft Gelegenheit zu bemerken, daß die gewöhnlichen Unterbrecher an Inductionsapparaten, aus festen metallischen Theilen gefertigt, so gut sie bei schwachen Strömen wirken, bei stärkeren Hauptströmen höchst unregelmäßig arbeiten, und daß die Schlagweiten des Inductionsstromes abnehmen, anstatt zu wachsen. Diefß rührt von einer theilweisen momentanen Schmelzung der sich berührenden Spitzen oder Platten her an denjenigen freien Hervorragungen, wo die Unterbrechung stattfindet, und ist bei solchen Unterbrechern, so lange der Hauptstrom eine gewisse Intensität überschreitet, auf keine Weise zu vermeiden; ich wende daher schon seit längerer Zeit die Unterbrechung mittelst Quecksilbers unter Wasser an. Eine silberne Feder, welche die Verlängerung des vor dem kleinen Elektromagnet schwingenden Ankers aus weichem Eisen bildet, taucht in ein zur Hälfte mit Quecksilber gefülltes Gefäß, während die obere Hälfte voll reinem Wasser ist, durch welches die unterbrechenden metallischen Theile fortwährend kühl erhalten werden und die Verbrennung des Quecksilbers vermieden wird. Ein solcher Unterbrecher arbeitet sehr regelmäfsig, ohne daß die Anzahl der

Oscillationen wesentlich von der Stärke der Batterie abhängt, giebt im Allgemeinen bei Anwendung eines Condensators längere Funken als die gewöhnlichen Unterbrecher, braucht aber allerdings eine größere Stromstärke als diese, um überhaupt in Thätigkeit gesetzt zu werden. Die Anzahl der Oscillationen kann durch Verstellung der schwingenden Feder beliebig abgeändert werden. Sie ist im Ganzen bedeutend geringer als die Anzahl der Unterbrechungen bei den Stromunterbrechern mit festen Theilen; allein ich habe bemerkt, daß in Folge der auftretenden Extracurrente der primären Spirale eine 10malige Unterbrechung des Hauptstromes in der Sekunde nicht überschritten werden darf, wenn man möglichst lange Funken erhalten will, auch die gesammte Elektrizitätsentwicklung in der Inductionsspirale mit der Anzahl der Unterbrechungen nur in geringem Grade zunimmt, weil bei einer schnelleren Unterbrechung als der obigen, der Magnetismus nicht Zeit hat in der primären Spirale sich in seiner ganzen Stärke zu entwickeln.

Der Ring der Tangentenbussole, an welchem die Stärke des Inductionsstromes gemessen wurde, hatte 6 Zoll Durchmesser und es waren an 200 Windungen eines $\frac{1}{4}$ mm im Durchmesser haltenden Kupferdrahts darauf gewunden. Der Inductionsstrom war durch Stahlspitzen unterbrochen, durch deren Entfernung mittelst Mikrometerschraube die Schlagweite beliebig verändert und zugleich mittelst des Funkenmikrometers bis auf 0,01 mm gemessen werden konnte. Der Leitungswiderstand der ganzen Inductionsrolle mit dem um die Tangentenbussole gewundenen Draht war durch directe Versuche mit galvanischen Strömen im Mittel gleich dem von 6800 Fuß des zu den Einschaltungen gebrauchten Normal-Kupferdrahts von 0,15 mm Durchmesser gefunden worden.

Bei einer anderen größeren Inductionsmaschine war der Leitungswiderstand der ganzen Inductionsrolle gleich dem von 37000 Fuß des Normaldrathes von 0,15 mm Durchmesser bestimmt worden. Mit dieser letzteren Maschine machte ich zunächst eine Reihe von Versuchen, um zu sehen, welchen Einfluß auf die Stromstärke die veränderte Schlag-

weite am Funkenmikrometer habe. Die Unterbrechung des Hauptstromes geschah ungefähr 10mal in der Sekunde und schien bei allen Schlagweiten mit derselben Regelmäßigkeit vor sich zu gehen, so daß die hier in Wirkung tretenden elektromotorischen Kräfte als constante Größen angenommen werden können; die Aenderung der Stromstärke, wie sie beifolgend verzeichnet ist, mit der Aenderung der Schlagweite, kann daher nur in der Vergrößerung des Widerstandes, die der verlängerte Schlagraum dem Durchgange des Stromes bietet, seine Erklärung finden, da in dem festen Theile der Leitung Alles constant bleibt.

Schlagweite in mm	Tangente der Ablenkung	Combination zweier Schlagweiten	Daraus berechneter
			Widerstand für 1 ^{mm} Schlagraum
$\frac{1}{4}$	0,767	$(\frac{1}{2}, \frac{1}{4})$	15600'
$\frac{1}{2}$	0,70	$(\frac{1}{4}, 1)$	15100
1	0,60	$(\frac{1}{2}, 1)$	14800
2	0,466	$(\frac{1}{4}, 3)$	18600
3	0,344	(1, 2)	14900
4	0,287	(1, 3)	21920
5	0,231	(1, 4)	21100
6	0,176	(1, 5)	24600
7	0,14	(1, 6)	34400
		(1, 7)	44800
		(2, 4)	30000

In Bezug auf die beiden letzten Columnen ist zu bemerken: Unter der Voraussetzung der Unveränderlichkeit der elektromotorischen Kraft des Inductionsstromes ist es das Einfachste anzunehmen, daß der Leitungswiderstand der Schlagräume von verschiedener Länge proportional diesen Längen selbst seyen, d. h. daß der specifische Leitungswiderstand von 1^{mm} Schlagraum eine constante Größe sey. Combiniren wir unter dieser Voraussetzung irgend zwei Beobachtungen z. B. die von $\frac{1}{4}$ ^{mm} und 1^{mm} Schlagraum, was in der dritten Columnne durch $(\frac{1}{4}, 1)$ bezeichnet ist, so ergeben sich durch Berechnung nach dem Ohm'schen Gesetze die in der vierten Columnne in Füssen des Normal-

drahtes bezeichneten Widerstandswerthe für 1^{mm} Schlagraum. Diese mußten nach unserer Voraussetzung für alle Beobachtungen gleichen Werth haben; wir sehen jedoch, daß dies nur innerhalb der kleinen Schlagweiten bis zu drei Millimetern stattfindet, und daß wir innerhalb dieser Gränze die Constanz des specifischen Leitungswiderstands annehmen können, welcher für 1^{mm} Schlagraum ungefähr gleich 15000 Fufs des Normaldrahtes ist, da die Abweichungen innerhalb der Gränze der Beobachtungsfehler liegen. Für grössere Schlagweiten zeigen jedoch die Beobachtungen, daß der specifische Widerstand des Schlagraums sehr abnimmt; diese Abnahme läßt sich am wahrscheinlichsten daraus erklären, daß der Grad der Luftverdünnung und die Breite des Luftkanals im Schlagraume, welche offenbar die Leitungsfähigkeit desselben bestimmen, beide durch eine grössere Länge des Schlagraumes verringert werden, indem die Entladung bei grösseren Schlagweiten nicht mehr die Kraft hat den Luftkanal in dem Grade zu verdünnen als dies bei geringeren Schlagweiten der Fall ist.

Um zu sehen, wie sich der specifische Leitungswiderstand von 1^{mm} Schlagraum bei anderen Inductionsapparaten verhalte, machte ich noch einige Versuche mit einer kleineren Inductionsmaschine, deren Draht einen Widerstandswerth von nur 6700 Fufs des Normaldrahtes hatte. Hier erhielt ich die Messungen:

Schlagweite in mm	Tangente der Ablenkung	der Combination zweier Schlagweiten	Daraus berechneter Widerstand für 1 ^{mm} Schlagraum
$\frac{1}{4}$	0,384	$(\frac{1}{2}, \frac{1}{4})$	4600
$\frac{1}{2}$	0,335	$(1, \frac{1}{4})$	7600
1	0,231	$(1, \frac{1}{2})$	11000
2	0,15	$(1, 2)$	7800

So unsicher nun diese Beobachtungen sind, so zeigt sich doch auch hier eine Zunahme des Werthes des specifischen Widerstands von 1^{mm} Schlagraum; aber dieser Werth ist bedeutend geringer als bei der Inductionsmaschine mit grossem Leitungswiderstand. Das ganz verschiedene Ansehen der

Funken der beiden Maschinen für gleiche Schlagweite läßt schon ein solches Resultat vermuthen; bei der großen Maschine mit dünnem Drahte sind die Funken sehr dünn, wenig leuchtend und fast geräuschlos, bei der kleineren Maschine mit dickerem Drahte breit, blendend und weithin hörbar, es scheint im letzteren Falle jede Entladung der durch Induction entwickelten Elektrizitätsmenge in weit kürzerer Zeit vor sich zu gehen, da sie nur eine kurze und verhältnißmäßig dicke Drahtspirale zu durchlaufen hat; deshalb durchsetzt sie den Schlagraum mit größerer Kraft, bringt eine größere Luftverdünnung hervor und verringert dadurch zugleich den Werth des Leitungswiderstandes in diesem verdünnten Luftkanale. Eine Bestätigung dieser Ansicht, daß bei verlängerter Drahtleitung eine Verzögerung in der Entladung des Inductionsfunken und dadurch mittelbar eine Vergrößerung des specifischen Leitungswiderstands des Schlagraums eintritt, werden wir in den gleich zu beschreibenden Versuchen mit Einschaltung willkürlicher Widerstände bei derselben Schlagweite finden.

Bei den vorhergehenden, wie bei den folgenden Versuchen, habe ich mich immer auf die Beobachtung bei sehr kleinen Schlagweiten beschränkt, obwohl ich aus den angewandten Maschinen Funken bis zu 1 Zoll Länge erhalten konnte; allein einerseits ist die galvanometrische Wirkung bei so langen Funken zu schwach, als daß sie noch einigermaßen sichere vergleichende Messungen erlaubte, andererseits war ich nur bei kurzen Schlagweiten vollkommen sicher, daß bei der rasch aufeinanderfolgenden Funkenzahl jeder Unterbrechung des Hauptstromes auch ein Funke folgte, daß also die elektromotorische Kraft immer dieselbe Größe behielt, während es bei großer Schlagweite vorkommt, daß zuweilen ein Funke ausbleibt.

Die folgenden Versuche sind sämmtlich mit der kleineren Inductionsmaschine angestellt, deren Drahtwiderstand 6700 Fufs Normaldraht beträgt. Es wurden bei einer jeden bestimmten Schlagweite die Stromstärken bei den successiven Drahteinschaltungen 04900; 11100; 18000, alles in Fussen

des Normaldrahtes, abgelesen; in der letzten Columnne befindet sich dann der Widerstandswerth von 1^{mm} Schlagraum, berechnet aus der betreffenden Beobachtung combinirt mit der Stromstärke, welche der Drahteinschaltung 0 bei derselben Schlagweite entspricht.

Schlagweite in ^{mm}	Einschaltung in Fussen	Stromstärke	Widerstandswerth von 1 ^{mm} Schlagraum
2	0	0,15	
2	4900	0,132	14300
2	11100	0,114	14200
2	18000	0,105	17600
1	0	0,231	
1	4900	0,194	19000
1	11100	0,176	28800
1	18000	0,158	32200
$\frac{1}{2}$	0	0,335	
$\frac{1}{2}$	4900	0,296	61000
$\frac{1}{2}$	11100	0,249	50900
$\frac{1}{2}$	18000	0,231	66500
$\frac{1}{4}$	0	0,384	
$\frac{1}{4}$	4900	0,306	48800
$\frac{1}{4}$	11100	0,277	87300
$\frac{1}{4}$	18000	0,249	103000
$\frac{1}{10}$	0	0,781	
$\frac{1}{10}$	4900	0,65	177000
$\frac{1}{10}$	11100	0,51	142000
$\frac{1}{10}$	18000	0,42	143000

Man sieht sogleich, dafs bei jeder Einschaltung eines Widerstandes die Stromstärke abnimmt, dafs man es also wesentlich mit einer galvanischen Entladung zu thun hat; aber zugleich zeigt sich, je geringer die Schlagweite ist, eine um so gröfsere Abweichung von dem aus dem Ohm'schen Gesetze abgeleiteten Widerstandswerthe des Schlagraums; nur

bei der Schlagweite 2 hält sich dieser Werth so ziemlich innerhalb fester Gränzen bei verschiedenen eingeschalteten Drahtlängen. Der Strom nimmt in geringerem Grade ab, als es das Ohm'sche Gesetz verlangt, wenn man die Länge der eingeschalteten Drähte berücksichtigt; daraus ergibt sich bei der Berechnung ein scheinbar größerer Widerstandswerth für den Schlagraum bei verschiedenen außerwesentlichen Widerständen. Allein zugleich sehen wir hier, daß dieser Widerstandswerth mit den Schlagweiten in umgekehrtem Verhältnisse wächst, während wir aus den oben gemachten Beobachtungen, wo keine außerwesentlichen Widerstände eingeschaltet waren, auf eine in gleichem Verhältnisse gehende Zunahme beider Größen geschlossen hatten. Dieser Widerspruch läßt sich nur lösen, wenn wir auf die Annahme verzichten, daß wir es hier mit einer rein galvanischen Entladung zu thun haben, und die Voraussetzung zu Hülfe nehmen, daß ein gewisser wenn auch kleiner Theil der entladenen Elektricität vor seiner Entladung im Inductionsapparat *angesammelt* werde, seine Entladung daher nicht nach den Ohm'schen Gesetzen erfolgen könne, seine Wirkung auf das Galvanometer daher auch durch eingeschaltete Drahtlängen nicht geschwächt werde, und so einen größeren Stromwerth anzeige, als dieß seyn sollte, wenn die ganze Elektricitätsmenge auf galvanischem Wege entladen würde. Als Sitz einer solchen Ansammlung während und vor der Entladung läßt sich nur der Entladungsapparat selbst, nämlich die beiden Spitzen, zwischen welchen die Funken übergehen, ansehen. Es ist bekannt, wie sehr die Schlagweite des Inductionsapparates von der Form und Gestalt der Enden des Entladers bei gleichbleibenden Abstände derselben abhängt, und daß namentlich bei Kugeln die Schlagweite nur halb so groß ist als bei Spitzen; diese Erscheinung kann nur durch eine der Entladung vorangehende Vertheilung, resp. Ansammlung, der Elektricität an den Enden des Entladers erklärt werden.

Ist der Funke einmal entstanden und damit ein luftverdünnter Raum also ein guter Leiter hervorgebracht, so geht

die weitere Entladung nach dem Ohm'schen Gesetze vor sich; allein die vor der Entstehung des Funkens auf den Flächen des Entladers angesammelte Elektrizitätsmenge, welche ebenfalls bei Entstehung des Funkens sich ausgleicht, ist ihrer Quantität nach unabhängig von etwa eingeschalteten Widerständen, ihre Ausgleichung und der Einfluß derselben auf die Stromstärke wird es daher ebenfalls seyn. Denke man sich anstatt des Funkenmikrometers eine Leydener Flasche eingeschaltet, so daß keine Ausgleichung, sondern nur eine Ansammlung der Elektrizität während der Unterbrechung des Hauptstromes stattfinden kann, so wird offenbar die galvanometrische Wirkung dieses Ladungsstromes ebenso unabhängig von etwa in die Leitung eingeschalteten Widerständen seyn, wie die einfache Entladung einer Leydener Flasche; dieser Vorgang läßt sich allerdings nicht durch den Versuch bestätigen, weil einer directen Ladung der Flasche durch den Inductionsstrom stets eine sofortige Rückentladung durch den Inductionsdraht selbst nachfolgt, sobald die elektromotorischen Kräfte in demselben zu wirken aufgehört haben, wenigstens so lange beide Drahtenden metallisch mit den Belegungen der Flasche verbunden sind. Ich habe mich jedoch auf andere Weise überzeugt, daß der Strom, welcher eine Leydener Flasche ladet, wenn er galvanischen Ursprungs ist, ebenso wie der Entladungsstrom einer Flasche, in seiner Wirkung auf die Magnetnadel ganz unabhängig von den eingeschalteten Widerständen ist, daß also nur die Quantität der in der Flasche angesammelten Elektrizität gemessen wird. Mittelst einer Batterie aus zwei Daniell'schen Elementen lud ich einen großen Condensator aus Gutta-Percha-Papier; in einen der Ladungsdrähte war ein sehr empfindliches Sauerwald'sches Galvanometer eingeschaltet, welches den Ladungsstrom sofort durch eine bedeutende Ablenkung anzeigte; wurde die Batterie ausgeschaltet und der Condensator direct durch den Galvanometerdraht entladen, so erschien derselbe Ausschlag der Nadel in entgegengesetztem Sinne. In beiden Fällen wurden die Ablenkungen durch eingeschaltete Widerstände

nicht verändert, so lange die elektromotorische Kraft der Batterie dieselbe blieb. Ganz in derselben Weise wie hier muß auch die im Inductionsdrahte thätige elektromotorische Kraft eine Ansammlung von Elektrizität an den Enden des Entladers bewirken, ehe diese hinreichende Spannung zur Hervorbringung des Funkens erlangt hat. Dieser Ladungsstrom geht ebenfalls wie der darauf folgende rein galvanische Entladungsstrom durch das eingeschaltete Galvanometer, und zwar beide in derselben Richtung; allein der erstere wird in seiner galvanometrischen Wirkung durch eingeschaltete Widerstände nicht verändert, während der mit dem Funken eintretende eigentliche Inductionsentladungsstrom ganz dem Ohm'schen Gesetze folgt. Die Menge der durch Vertheilung vor der Funkenentladung auf den Flächen des Entladers angesammelten Elektrizität ist nach den Vertheilungsgesetzen um so größer je näher diese Flächen einander sind, d. h. je kleiner die Schlagweite des Inductionstromes. Deshalb sehen wir auch in der obigen Beobachtungsreihe den Einfluß eingeschalteter Widerstände mit der Verkleinerung der Schlagweite sehr abnehmen, was den Anschein giebt, als ob der Leitungswiderstand des Schlagraumes bei kleiner Schlagweite sehr wachse, obwohl wir wissen, daß dies nicht der Fall ist. Je größer verhältnißmäßig die Menge der durch Vertheilung angesammelten Elektrizitätsmenge, je stärker also der Ladungsstrom ist, in desto geringerem Grade wird der gesammte Strom galvanometrisch durch eingeschaltete Widerstände vermindert werden, einen desto größeren scheinbaren Widerstandswerth wird man daher auch für den Schlagraum berechnen, wenn man das Ohm'sche Gesetz hier anwendet. Wäre die gesammte in Funken übergehende Elektrizitätsmenge erst angesammelt worden, so müßte die galvanometrische Wirkung ihrer Entladung gänzlich unabhängig von den eingeschalteten Widerständen seyn, und wollten wir hier das Ohm'sche Gesetz anwenden, so würde der Widerstand des Schlagraumes dadurch als unendlich groß berechnet werden. Wir sehen aus der obigen Tabelle, daß der auf diese Weise

berechnete Werth sich um so mehr von seinem wahren oder wahrscheinlichen Werthe entfernt, je kleiner die Schlagweite ist, d. h. je mehr Antheil die Ladung und Ansammlung von Elektricität an dem ganzen Vorgange hat.

Eine nähere Einsicht in die Natur des hier auftretenden Ladungsstromes erhält man noch, wenn man künstlich eine Ansammlung von Elektricität bei Entladung des Inductionsstromes hervorruft, indem man die Enden des Entladers mit den beiden Belegungen einer Franklin'schen Tafel verbindet. Hiedurch verändert bekanntlich der Entladungsfunke Ansehen und Farbe und nähert sich derjenigen Erscheinung, welche die Entladung einer Leydener Flasche darbietet; aber schon bei Anwendung einer sehr kleinen Ladungstafel zeigt sich die Schlagweite an den Spitzen des Entladers außerordentlich verringert, und dieser Umstand ist es wesentlich, der die Beobachtung der galvanometrischen Wirkung des so modificirten Stromes sehr erschwert und unsicher macht. In allen Fällen habe ich eine Abnahme der Stromstärke bei gleichbleibender Schlagweite und bei Einschaltung einer noch so kleinen Ladungstafel beobachtet. Was die Erklärung der mit der Gröfse der Ladungstafel im umgekehrten Verhältnisse abnehmenden Schlagweite betrifft, so sieht man ein, dafs sich die Elektricitätsmenge vorzugsweise auf den Flächen dieser Tafel, in Folge der Influenz, eher ansammelt, als wie früher an den Spitzen des Entladers, und dafs durch die Ausbreitung derselben Elektricitätsmenge auf den Flächen der Tafel ihre Dichtigkeit an den Enden des Entladers, obwohl auch hier noch in geringerem Grade Ansammlung stattfindet, verringert werden mufs, da ja bekanntlich die Dichtigkeit der Elektricität an irgend einem Punkte des Zuleitungsdrahtes immer geringer ist als in der Fläche der Ladungstafel selbst. Wäre die Elektricitätsquelle im Inductionsdrahte in ihrer elektromotorischen Kraft unerschöpflich und constant, so würde dennoch, trotz der Gegenwart der Ladungstafel, die Elektricität an den Enden des Entladers dieselbe Dichtigkeit wie vorher ohne die Ladungstafel, erreichen, und die Schlag-

weite unverändert bleiben; allein die elektromotorische Kraft wirkt nur eine sehr kurze Zeit hindurch in bestimmter Stärke, und diese Zeit ist nicht hinreichend groß, um die zur Sättigung erforderliche Elektrizitätsmenge durch den langen Inductionsdraht an die Enden des Entladers zu befördern, sobald sie sich vorzugsweise auf den Flächen der Ladungstafel zu sammeln genöthigt ist; daraus folgt die Abnahme der Schlagweite. Da bei Anwesenheit der Ladungstafel und vermöge dieser eine größere Elektrizitätsmenge angesammelt wird, die sich dann mittelst des Funkens entladet, so sollte man denken, daß dann auch die galvanometrische Wirkung der Entladung stärker seyn müßte, als ohne die Ladungstafel, während mir die Beobachtung gerade das Gegentheil gezeigt hatte. Allerdings ist die Menge der angesammelten Elektrizität größer als vorher, allein die Menge der auf galvanischem Wege durch den Funken sich ausgleichenden Elektrizität ist desto geringer, weil wegen der verminderten Spannung an den Enden des Entladers der Funke erst später eintritt, als dies ohne Ladungstafel der Fall ist; die Wirkung der elektromotorischen Kraft als Ursache der auf galvanischem Wege übergehenden Elektrizitätsmenge hält daher kürzere Zeit an, bringt daher für sich allein nicht die frühere Ablenkung hervor. Wir können uns die bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes eintretende elektromotorische Kraft als eine steil ansteigende und allmählich abfallende Curve (Fig. 1, Taf. IV) *abc* vorstellen, deren Abscissen die Zeit, deren Ordinaten die Größe der in jedem Zeitpunkte nach Unterbrechung des Hauptstromes stattfindenden elektromotorischen Kraft bedeuten; durch eine ähnliche Curve wird auch die an den Enden des Entladers stattfindende elektrische Spannung dargestellt werden können.

Ist die größte Spannung oder Dichtigkeit der Elektrizität *b* nicht hinreichend, um den Luftraum zu durchbrechen, so geht kein Funke über, und die am Entlader wie an den Belegungen einer etwa mit demselben verbundenen Ladungstafel während des Wachsens der elektromotorischen

Kraft angesammelte Elektricität gleicht sich eben so **schnell** durch den Inductionsdraht hindurch wieder aus; ein in diesen Draht eingeschaltetes Galvanometer wird daher ein fortwährendes Zittern der Nadel, aber keine bleibende Ablenkung anzeigen; nimmt man eine Ladungstafel von grosser Oberfläche zu Hülfe, so dafs die durch Ladung und Entladung durch den Galvanometerdraht hin und her bewegte Elektricitätsmenge eine grosse wird, so beobachtet man leicht die sogenannte doppelsinnige Ablenkung. Nähert man die Spitzen des Entladers, so dafs schon bei der elektromotorischen Kraft eg und bei der ihr entsprechenden Dichtigkeit der Elektricität die letztere hinreichend stark ist, um den Schlagraum zu durchbrechen, so wird sich in diesem Augenblick nicht allein die an den Spitzen des Entladers und auf den etwa gleichzeitig vorhandenen Flächen einer Ladungstafel gesammelte Elektricität entladen, sondern auch ein Inductionsstrom entwickeln, dessen elektromotorische Kraft anfangs bis bh zunimmt, dann allmählich bis 0 abnimmt; die gesammte galvanometrische Wirkung dieses Stromes läfst sich durch das Flächenintegral egc ausdrücken.

Nähert man die Spitzen des Entladers noch mehr, so dafs schon, wenn die elektromotorische Kraft die Gröfse fd erreicht hat, ein Funke entsteht, so wird die gesammte galvanometrische Wirkung des Inductionsstromes durch die Fläche dfc dargestellt werden, die um das Stück $dfge$ gröfser ist als im vorigen Falle; obwohl sich vermuthen läfst, dafs die Curve sehr steil ansteigt und daher das Stück $dfge$ im Vergleich zur ganzen eingeschlossenen Fläche sehr klein ist, so ist doch klar, dafs unsere frühere Voraussetzung, dafs bei jeder Schlagweite die gesammte elektromotorische Kraft des Inductionsstromes dieselbe Gröfse habe oder vielmehr aus derselben Anzahl von Differentialkräften zusammengesetzt sey, nicht strenge richtig ist.

Die Abnahme der Stromstärke bei gleichbleibendem metallischem Widerstande und bei zunehmender Schlagweite, welche wir oben einer Zunahme des specifischen Wider-

standes des Schlagraumes zugeschrieben, läßt sich daher vielleicht eben so gut durch die Verringerung der elektromotorischen Kraft des Inductionsstromes, nicht in ihrer Stärke, wohl aber in der Zeitdauer ihrer Wirkung erklären.

Sind die Spitzen des Entladers so nahe gerückt, daß schon bei der Stärke der elektromotorischen Kraft df ein Funke übergehen würde, und man verbindet den Entlader mit den Flächen einer Ladungstafel, so wird nun durch die auf dieser angesammelte Elektrizität die Spannung am Entlader vermindert, so daß diese erst in einem späteren Zeitpunkte, wenn die elektromotorische Kraft des Inductionsstromes etwa die GröÙe eg erreicht hat, die zur Entladung nöthige Spannung besitzt. Auch in diesem Falle wird daher, trotz der geringen Schlagweite, die galvanometrische Wirkung nicht durch die Fläche dfc , sondern durch egc dargestellt werden, also wiederum durch Einschaltung der Ladungstafel um eine dem Stücke $dfge$ entsprechende GröÙe verkleinert seyn; daraus erklärt sich wohl die Abnahme der Stromstärke bei Gegenwart einer Ladungstafel unter unveränderter Schlagweite, trotzdem daß die bei der Entstehung des Funkens ebenfalls übergelassene angesammelte Elektrizitätsmenge größer geworden ist als vorher.

In Bezug auf die durch die Gegenwart der Ladungstafel verminderte Schlagweite des Inductionsfunkens ist es nicht gleichgültig, mit welchen Theilen der Leitung die Flächen des Condensators verbunden sind. Im Vorhergehenden habe ich immer vorausgesetzt, daß diese Verbindung unmittelbar an den beiden Enden der Inductionsrolle, wo auch der Funkenmesser sich befindet, statt hat; schaltet man zwischen den Belegungen und den Enden des Entladers Drähte von großer Länge ein, so daß die Elektrizitäten auf ihrem Wege zum Entlader immer an den condensirenden Platten sich vorbei bewegen müssen (Fig. 2 Taf. IV), so ist der Einfluß der letzteren auf die Schlagweite derselbe, als ob die Belegungen unmittelbar mit den Enden des Entladers verbunden wären, so lange nur die Verbindungen zwischen den Enden der Inductionsrolle und den Enden des Entla-

ders stattfinden; anders ist es aber, wenn die Elektricitäten, wie in Fig. 3, Taf. IV, auf ihrem Wege von der Inductionsrolle i zu den Platten des Condensators c erst an den Enden des Entladers e vorbei müssen und von hier aus erst durch lange Drähte zu den Flächen der Ladungstafel gelangen können; in diesem Falle wird der Einfluss der letzteren auf die Schlagweite mit der Länge der eingeschalteten Drähte abnehmen, und ich habe beobachtet, dafs bei hinreichender Länge derselben die Schlagweite eben so grofs wird, als wenn gar keine Ladungstafel vorhanden wäre; es findet in diesem Falle offenbar keine bemerkbare Ansammlung auf dem Condensator statt, weil die Elektricitäten sich schon durch den Entlader ausgleichen, ehe dieselben Zeit gehabt haben, sich in hinreichender Menge nach der um so viel weiter entfernten Ladungstafel zu bewegen.

Sind in der Bahn des Inductionsstromes grofse Widerstände, z. B. sehr lange Drähte eingeschaltet, so nimmt der Funke an Lichtglanz und Schall auferordentlich ab, bis er kaum mehr sichtbar ist; ich habe jedoch nie eine Abnahme der Schlagweite durch solche eingeschaltete Widerstände beobachten können, wenn nur dafür gesorgt ist, dafs der Strom keine Nebenschliessungen bildet, in welchen sich ein Theil der Elektricität ausgleicht; von dem letzteren Falle, der allerdings die Schlagweite immer verringert, wird sogleich die Rede seyn.

Sind die Enden der Inductionsrolle metallisch geschlossen durch einen Draht, dessen Länge sehr grofs ist gegen die der Inductionsrolle selbst, so behalten die Enden des Inductionsdrahtes, trotz der metallischen Schliessung, elektrische Spannungen, welche ebenso oder doch nahezu ebenso grofs sind als bei der ungeschlossenen Kette, denn man erhält, wenn man die beiden Enden des Inductionsdrahtes mit dem Entlader verbindet, fast dieselbe Schlagweite wie bei dem offenen Drahte.

Aber nicht allein die Pole, sondern jeder Punkt des dieselben verbindenden Drahtes, mit Ausnahme des gerade in der Mitte zwischen den beiden Polen des Inductionsdrahtes

liegenden Punktes, hat eine gewisse elektrische Spannung, wovon man sich leicht durch ein in die Nähe gehaltenes Goldblattelektrometer überzeugen kann. Von dem in der Mitte des Schließungsdrahtes liegenden Indifferenzpunkte aus nimmt die elektrische Spannung nach beiden Seiten hin mit entgegengesetztem Vorzeichen allmählich zu, bis sie, wenn der Draht hinreichend lang ist, an den Enden des Inductionsdrahtes die Werthe für die Spannung der offenen Kette erreicht; wenn man daher irgend zwei Punkte des Schließungsdrahtes mit dem Funkenmesser verbindet, so wird man Funken erhalten, deren Schlagweite um so größer ist, je weiter die betreffenden Punkte im Schließungsdrahte von einander abstehen.

Als ich die Enden des 6700 Fufs langen Inductionsdrahtes durch einen ähnlichen Draht von 37000 Fufs Länge schloß, war die Schlagweite an den Enden des Inductionsdrahtes dieselbe wie ohne dieselbe, nämlich 11^{mm} ; als ich hingegen mit dem Funkenmesser Punkte des Schließungsdrahtes verband, welche um successive 29000', 24000', 18000', 11000' von einander abstanden, ergaben sich die resp. Schlagweiten 8^{mm} , 5^{mm} , 2^{mm} , $0,01^{\text{mm}}$. Diese Messungen der elektrischen Spannung durch die Schlagweite, bei welcher regelmäsig Funken erscheinen, sind jedoch sehr unsicher. Schließt man die Enden des Inductionsdrahtes durch einen im Verhältniß zur Länge des letzteren kurzen Draht, so zeigen die Enden, wie alle Theile des Schließungsdrahtes, wohl noch elektrische Spannungen, jedoch sehr geringe gegen die oben angegebenen. Da nämlich die gesammte elektromotorische Kraft der Inductionsrolle aus einer sehr großen Anzahl kleiner Partialkräfte besteht, deren Sitz in allen Punkten des Inductionsdrahtes vertheilt ist, so haben die durch jede dieser Partialkräfte in Bewegung gesetzten kleinen Elektrizitätsmengen den ganzen Inductionsdraht zu durchlaufen, ehe sie in den Schließungsdraht gelangen; letzterer kann daher, wenn er gegen den ersteren kurz ist, nur verhältnißmäsig nahe gelegene Punkte der Strombahn mit einander verbinden.

Obwohl die galvanometrische Wirkung des Inductionsstromes immer zunimmt, je näher man die Spitzen des Entladers zu einander bringt, so ist diese Zunahme für sehr kleine Schlagweiten, wie etwa $0^{\text{mm}},01$, ganz außerordentlich, wenn jene Spitzen aus Kohle bestehen; es bildet sich hier wahrscheinlich bei jeder Entladung eine Brücke aus feinen Kohlentheilchen zwischen den Spitzen, welche nun dem Strom als feste und verhältnißmäßig gute Leitung dient, anstatt des verdünnten Luftkanals; als ich bei der kleinen Inductionsrolle von 6700' Länge den Strom zwischen Kohlenspitzen übergehen liefs und successive die Drahtlängen 0, 4900', 11100', 18000' einschaltete, ergaben sich resp. die Tangenten der Ablenkung 1,54, 1,0, 0,75, 0,51; daraus berechnet man den Widerstand zwischen den Kohlenspitzen in Längen des normalen Drahtes zu 2400', 2200', 2300', also scheint sich hier die Elektrizität ganz nach den Ohmschen Gesetzen zu bewegen, was auf eine feste Stromleitung schliessen läßt; natürlich muß die aus festen Kohlentheilen bestehende Verbindung zwischen den beiden Kohlenspitzen bei jeder Entladung neu gebildet werden und mit dieser wieder aufhören; denn würde sie, wie es zuweilen geschieht, bestehen bleiben, so geht sofort der Schließungs-Inductionsstrom mit durch die Leitung und man erhält dann keine Ablenkung der Galvanometernadel.

Dresden im April 1859.