VII. *Untersuchung über den galvanischen Lichtbogen; von Prof. E. Edlund.*

(Vorgetragen in der Königl. Akademie der Wissenschaften in Stockholm den 10. April 1867. Aus: *Oefversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar* 1867, No. 4, p. 95 bis 113).

1. Jede Naturkraft hat eine in quantitativer Hinsicht bestimmte Wirkung. Wenn bei einer Gelegenheit eine Kraft eine Wirkung ausübt, welche in der einen oder andern Hinsicht verschieden ist von derjenigen, welche dieselbe Kraft bei einer anderen verursacht, so müssen dennoch diese beiden Wirkungen in quantitativer Hinsicht gleich groß seyn. Verrichtet die Kraft diese beiden Wirkungen gleichzeitig, so muß die Summe der Wirkungen so groß seyn, wie der quantitative Werth der einen von ihnen, da diese allein verrichtet wird. Natürlicher Weise wird hier vorausgesetzt, daß die Zeit, in welcher die Kraft wirkt, in allen diesen Fällen gleich groß sey. Wie bekannt, hat der galvanische Strom mehrere verschiedene Wirkungen: er bewirkt Wärme und Licht, zerlegt chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten, welche Leiter der Elektricität sind, erregt Magnetismus und wirkt ein auf bereits gebildete Magnete, inducirt galvanische Ströme in nahe liegenden Leitern usw. Gewissermaassen läßt sich sagen, daß die erste und unmittelbare Wirkung des galvanischen Stromes die Wärme-Production ist, weil diese denselben immer begleitet, während die übrigen Wirkungen fordern, daß dabei noch gewisse Bedingungen erfüllt sind. Durch zuverlässige Wirkungen ist bekannt, daß die erzeugte Wärme proportional ist dem Quadrate der Stromstärke, multiplicirt mit dem Leitungswiderstande. Die ganze Wärmemenge, welche von dem Strome entwickelt wird, ist also proportional dem Quadrate der elektromotorischen Kraft, dividirt durch den ganzen Leitungswiderstand des Stromes. Dieses gilt, so lange der Strom keine andere Arbeit verrichtet, als das Erzeugen von Wärme. Daß dieses

auf dem Wege der Erfahrung gefundene Gesetz richtig und zuverlässig ist, kann man dadurch für bewiesen ansehen, daß dasselbe sich, wie Clausius dargethan hat, theoretisch deduciren läßt¹⁾). Wenn aber der Strom, neben der Erzeugung von Wärme, auch noch eine andere Arbeit verrichtet, so muß die ganze erzeugte Wärmemenge um so viel vermindert werden, als dieser Arbeit entspricht. Wenn man also eine galvanische Säule von gegebener elektromotorischer Kraft hat, deren Pole mittelst eines festen Leiters mit einander vereinigt sind, und man dabei außer der elektromotorischen Kraft auch den Widerstand sowohl in der Säule als in der äußeren Leitung zwischen den Polen kennt, so läßt sich die von dem Strome während einer gewissen Zeit erzeugte Wärmemenge leicht berechnen. Denkt man sich nun, daß ein Theil der äußeren Leitung hinweggenommen und statt desselben eine zerlegbare Flüssigkeit, z. B. schwefelsäurehaltiges Wasser, dessen Widerstand gleich gemacht ist dem Widerstande in dem weggenommenen Stücke des festen Leiters, eingeschaltet wird, so haben durch diesen Tausch die elektromotorische Kraft und der Leitungswiderstand keine Veränderung erlitten. Nichts desto weniger kann die erzeugte Wärmemenge nicht so groß seyn wie zuvor, sondern muß geringer seyn, weil der Strom nebst der Wärme-Erzeugung auch die mechanische Arbeit verrichtet, welche zu der chemischen Zerlegung des Wassers erforderlich ist. Dieses entspringt daraus, daß, wie bekannt, bei der Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff eine Absorption von Wärme stattfindet, und daß diese Absorption an Größe gleich ist der Wärmeproduction bei der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff. Die Absorption ist also ein Maas der mechanischen Arbeit, welche zu der Zerlegung erforderlich ist. Die ganze von dem Strome erzeugte Wärmemenge wird also genau um eben so viel vermindert, als der von dem Strome verrichteten Zerlegungsarbeit entspricht. Was hierbei die Ueberziehung der Polplatten mit Wasserstoff und Sauerstoff betrifft, wodurch ein

1) Pogg. Ann. Bd. 87, S. 415.

Polarisationsstrom von entgegengesetzter Richtung mit dem Hauptstrome verursacht wird, so ist dieses, wie sich leicht einsehen läßt, ein ganz secundäres Phänomen, das mit der Natur der Sache gar nichts zu schaffen hat.

Hat man ferner einen galvanischen Strom, dessen totaler Widerstand bekannt ist, und dessen Intensität sich unaufhörlich verändert, so kann man die ganze von dem Strome erzeugte Wärmemenge berechnen, wenn die Stromintensität für jeden Augenblick bekannt ist. Legt man nun einen geschlossenen Leiter in die Nähe des Hauptstromes, so entstehen Inductionsströme in jenem. Der Hauptstrom verrichtet also eine galvanische Induction gleichzeitig damit, daß er Wärme erregt, und es ist klar, daß die Wärme-Erzeugung geringer seyn muß, als wenn keine Induction stattfindet. Auf der anderen Seite aber sind die elektromotorische Kraft der Säule und der Widerstand der Hauptleitung, worauf nach dem oben erwähnten Gesetze die GröÙe der Wärmeproduction beruht, nicht verändert worden. In einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich experimentell bewiesen, daß in dem vorliegenden Fall die Wärme-Erzeugung des Hauptstromes wirklich geringer ist und zwar immer auf solche Art, daß die Summe der Wärme, die von dem Hauptstrome erregt wird, und derjenigen, welche von dem Inductionsstrome in seiner Bahn bewirkt wird, gleich ist der Wärme, welche von dem Hauptstrome allein hervorgebracht seyn würde, wenn keine Induction stattfände. Da aber die Wärme, welche der Inductionsstrom erzeugt, mit Recht als das Wärme-Aequivalent dieses Stromes betrachtet werden muß, so folgt, daß die von dem Hauptstrome in seiner Bahn unter der Induction hervorgebrachte Wärme verringert worden ist um die Wärmequantität, welche der Arbeit entspricht, die der Hauptstrom zur Hervorbringung der Induction verbraucht.* Wie ich in der erwähnten Arbeit gezeigt habe, wird diese Verminderung in der Wärme-Er-

1) *Öfversigt af Vet. Akad. Förhandl. för 1864. p. 77. Pogg. Ann. Bd. 123; S. 193. Arch. des sciences phys. et nat. Nouv. période T. 34, p. 324. Philosophical Magazine (4) Vol. 31, p. 253.*

zeugung des Hauptstromes dadurch bewirkt, daß der Inductionsstrom in der Hauptleitung Inductionsströme höherer Ordnung erregt, welche sich dem Hauptstrome immer auf solche Weise addiren oder von demselben subtrahiren, daß dadurch die Wärme-Erzeugung verringert wird. In diesem Falle wurde also die erzeugte Wärmemenge mit Beihülfe der Inductionsströme verringert.

Wir nehmen endlich an, daß der Leitungsdraht zwischen den Polen der Säule mit einer Rolle von übersponnenem Leitungsdraht in Verbindung stehe, und daß in dieser Rolle sich ein weicher Eiseencylinder befinde, dessen Anker durch eine Feder oder dergleichen Vorrichtung von dem Eiseencylinder entfernt werde, sobald der entwickelte Magnetismus zu schwach wird, um denselben nach den Polen des Elektromagneten hinzuziehen. Wenn nun der Strom nach bestimmten Zwischenzeiten geschlossen und geöffnet wird, so wird während einer gewissen Zeit eine bestimmte Quantität Wärme erzeugt. Läßt man darauf den Anker, während derselbe zu den Polen des Elektromagnets gezogen wird, eine mechanische Arbeit verrichten, z. B. ein Gewicht oder dergleichen heben, so ist klar, daß die Wärme-Erregung dadurch um so viel geringer wird, als der verrichteten mechanischen Arbeit entspricht, was auch, wie Favre auf experimentellem Wege bewiesen hat, wirklich der Fall ist ¹⁾. Auf der andern Seite aber sind weder der Widerstand in der Leitungsbahn des Stroms noch die elektromotorische Kraft in der Säule, auf welchen beiden Momenten die entwickelte Wärmemenge beruht, verändert worden. Doch läßt sich leicht einsehen, daß die verschiedene Beschaffenheit der Inductionsströme in den beiden Fällen diesen Widerspruch aufhebt. Ein Theil der erzeugten Wärmemenge besteht nämlich in der Wärme, welche von den durch die Bewegung des Ankers entstehenden Inductionsströmen in dem Elektromagneten und seinem Anker hervorgebracht wird. Die Elektrizitätsmenge, welche hierdurch in Bewegung ge-

¹⁾ *Compt. R. T. 45, p. 56. Arch. des sciences phys. et nat. T. 36, p. 59.*

setzt wird, ist zwar gleich groß, der Anker mag belastet seyn oder nicht: wenn aber der Anker frei ist, so bewegt er sich geschwinder, als wenn er Arbeit verrichtet, und daher haben in dem ersteren Falle die fraglichen Inductionsströme eine kürzere Dauer als in dem letzteren. Eine gleich große Elektrizitätsmenge vollendet also ihre Circulation in kürzerer Zeit, wenn der Anker frei ist, als wenn er belastet ist. Die Intensität des Inductionsstromes wird daher in jenem Falle größer als in diesem, obgleich die ganze circulirende Elektrizitätsmenge in beiden Fällen gleich ist. Da nun die entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der Intensität des Stromes proportional ist, so läßt sich leicht erweisen, daß die von den erwähnten Inductionsströmen in dem Elektromagnete und seinem Anker erregte Wärmemenge größer wird, wenn der Anker frei ist und sich folglich schneller bewegt, als wenn er eine mechanische Arbeit verrichtet und daher der Gang seines Ankers langsamer ist. Ein analoges Verhalten findet statt mit den Inductionsströmen, welche in beiden Fällen in der Leitungsbahn des galvanischen Stromes entstehen. Die Dazwischenkunft der Inductionsströme ist in diesem Falle so nothwendig zur Aufhebung des erwähnten Widerspruches, daß, wenn diese zuvor nicht bekannt waren, man durch eine ähnliche Schlussfolge möglicher Weise ihr Daseyn hätte ahnen können.

2. Die galvanische Induction und die Wärmeabsorption bei chemischer Zerlegung sind längst bekannt gewesen, und wir haben in dem Vorhergehenden zu zeigen gesucht, in welchem innigen Zusammenhange diese Phänomene mit dem richtigen Begriffe von Kraft und mechanischer Arbeit stehen. Nun wollen wir übergangen zu einem Falle, in welchem man bisher das Mittel nicht gekannt hat, welches die Natur anwendet, um den Widerspruch zu heben zwischen dem bewiesenen Satze, daß die Wärmeentwicklung des galvanischen Stromes auf der elektromotorischen Kraft und dem Leitungs-Widerstande beruht, und der axiomatischen Wahrheit, daß, wenn eine Kraft gleichzeitig zwei Wirkungen hervorbringt, die Summe der quantitativen Werthe dersel-

ben eben so groß seyn muß, wie der quantitative Werth der einen derselben, wenn diese allein hervorgebracht wird.

Ein solcher Fall ist der galvanische Lichtbogen, welcher gebildet wird, wenn die Elektrizität unter Entwicklung von Licht und Wärme durch ein Gas von einem festen Leiter auf einen andern übergeht. Es ist eine wohl bekannte Sache, daß in einem solchen Lichtbogen durch den Strom materielle Partikeln von dem einen Pole losgerissen und zu dem andern übergeführt werden. Besonders wird der positive Pol auf solche Weise zerrissen, während der negative solchen Zerreißen weniger ausgesetzt ist. Außer dieser rein mechanischen Arbeit, die von dem Strome verrichtet wird, können durch die directe Mitwirkung des Stromes chemische Zersetzungen in dem Lichtbogen vorkommen. Wenn die Bildung neuer chemischer Verbindungen dort stattfinden sollte, so kann dieses nicht als eine directe und ausschließliche Wirkung des Stromes selbst betrachtet werden, sondern hat, wenigstens zum Theil, seine Ursache außerhalb desselben und unabhängig von demselben. Was nun zuerst die chemischen Zersetzungen betrifft, so hat die mechanische Arbeit, die der Strom zur Hervorbringung derselben verbraucht, ihr mechanisches Wärmeäquivalent in der Wärmeabsorption, die dabei immer entsteht. Dagegen verhält es sich ganz anders mit dem rein mechanischen Zerreißen der Pole. Mit dem Zerreißen ist keine Wärmeabsorption verbunden, sondern im Gegentheil eine bedeutende Wärmeproduction. In dem Lichtbogen verrichtet also der Strom eine mechanische Arbeit, welche nicht compensirt wird von einer dort entstehenden Wärmeabsorption.

Wir denken uns nun eine galvanische Säule von gegebener elektromotorischer Kraft, und ihre Pole vereinigt durch einen festen Leiter von einem bestimmten Leitungswiderstande. Die Wärmemenge, welche dann in einer gewissen Zeit von dem Strome erzeugt wird, ist ebenfalls bestimmt. Nehmen wir nun an, daß ein Theil des festen Leiters hinweggenommen und anstatt desselben ein Lichtbogen zwischen Kohlenspitzen gebildet sey; ferner daß dieser Lichtbogen

so lang genommen worden, daß sein Widerstand ebenso groß ist wie der Widerstand des weggenommenen Stückes, so ist durch diesen Tausch der ganze Widerstand in der Kette nicht verändert worden. Nichts desto weniger muß die ganze von dem Strome erzeugte Wärmemenge geringer seyn, als diejenige, welche aus der elektromotorischen Kraft und dem Leitungswiderstande berechnet werden kann, weil der Strom nunmehr neben der Erregung von Wärme auch die mechanische Arbeit verrichtet, welche erforderlich ist zur Abreißung der materiellen Partikel von den Polen. Dieser Widerspruch läßt sich nur dadurch lösen, daß die Stromstärke um so viel verringert wird, daß die Verringerung an erzeugter Wärme, welche dadurch entsteht, dieser mechanischen Arbeit genau entspricht. Die fragliche mechanische Arbeit aber kann nur auf zweierlei Art eine Verminderung der Stromstärke bewirken, nämlich entweder dadurch, daß sie auf gleiche Art als ein Zuwachs des Leitungswiderstandes wirkt, oder dadurch, daß sie einer elektromotorischen Kraft, die dem Hauptstrome einen Strom in entgegengesetzter Richtung entgegen sendet, das Daseyn giebt. Nun aber läßt sich leicht einsehen, daß, wenn die erforderliche Verminderung der Stromstärke soll bewirkt werden können durch einen von der mechanischen Arbeit verursachten Zuwachs des Widerstandes, dieser Zuwachs anders beschaffen seyn muß, wie ein galvanischer Widerstand von der gewöhnlichen Art. Der von der Arbeit verursachte Widerstand muß nämlich so seyn, daß er die Stromstärke vermindert, ohne daß der Strom bei der Ueberwindung desselben eine ihm entsprechende Wärmemenge erzeugt. Nehmen wir für einen Augenblick an, daß der fragliche Widerstand von gewöhnlicher Art ist, und bezeichnen denselben mit m , sowie den Widerstand in der übrigen Leitung mit M , so ist der ganze Widerstand während der Lichtbogen stattfindet, $M + m$. Wird nun der Lichtbogen weggenommen und der Widerstand durch die Einschaltung eines festen Leiters auf $M + m$ gebracht, so wird man, da die elektromotorische Kraft unverändert bleibt, dieselbe Wärmemenge erhalten,

wie wenn der Lichtbogen existirt, und man bleibt also fortwährend in demselben Dilemma stecken, aus welchem man durch die Annahme eines Zuwachses im Widerstande kommen wollte. Der erforderliche Widerstand muß daher, wenn er seine Bestimmung soll erfüllen können, so beschaffen seyn, daß er eine Verminderung in der Stromstärke verursacht, ohne eine Wärmeentwicklung zu veranlassen, da der Strom durch denselben geht oder ihn überwindet. Dergleichen Widerstände sind noch nicht bekannt, und der fragliche würde daher ein Widerstand von neuer Art seyn. Wie die erforderliche Herabsetzung in der Stromstärke eigentlich bewirkt wird, läßt sich am besten ansehen aus den drei zuvor erwähnten Fällen, in denen wir genau kennen, wie alles zugeht. Wenn der Strom durch eine chemisch zusammengesetzte leitende Flüssigkeit geht, so entsteht in demselben eine chemische Zerlegung. Die mechanische Arbeit, welche der Strom zur Hervorbringung dieser Zerlegung ausübt, ist in der Hinsicht, wovon hier die Rede ist, ganz gleichartig mit der mechanischen Arbeit, welche in dem galvanischen Lichtbogen zur Zerstäubung der Polardrähte erforderlich ist. In dem ersteren Falle ist es die chemische Attraktion zwischen verschiedenen Stoffen, und in dem letzteren die Attraction zwischen Partikeln gleicher Art, die von dem Strome überwunden werden muß, damit eine Zertheilung entstehen könne; diese Verschiedenheit zwischen den überwundenen Kräften in beiden Fällen kann aber keinen Einfluß haben auf die Rückwirkung der ausgeübten Arbeit auf den Strom selbst. Nun wissen wir mit Sicherheit, daß die von dem Strome verrichtete chemische Zerlegungsarbeit die Stromstärke *nicht* auf solche Weise vermindert, daß sie den Leitungswiderstand vermehrt: denn diese chemische Arbeit wird ganz compensirt von der bei der Zerlegung entstehenden Wärmeabsorption. Wir müssen daraus schließen, daß die Zerstäubung der Polflächen in dem Lichtbogen in diesem Falle auch keinen Einfluß auf die Größe des Leitungswiderstandes hat. Gehen wir nun über zu den beiden erwähnten Fällen bei denen Induction stattfindet, so finden

wir, daß die von dem Strome verrichtete Inductionsarbeit durch elektromotorische Kräfte compensirt wird und keinesweges dadurch, daß die Stromstärke durch eine Vermehrung des Widerstandes herabgesetzt wird. Da also in den mehr erwähnten drei Fällen die von dem Strome verrichtete mechanische Arbeit nicht dadurch compensirt wird, daß die Stromstärke durch eine Vermehrung des Widerstandes eine Verringerung erleidet, so müssen wir annehmen, daß das Verhalten damit in dem vierten Falle ein und dasselbe ist, weil wir für das Gegentheil keinen triftigen Grund anzuführen vermögen. Hierzu kommt noch ein Grund, der nicht unberücksichtigt bleiben darf. Aus einem anderen Theile der Elektricitätslehre¹⁾ ist es bekannt, daß die Zerbröckelung fester Körper, wie durch Brechen, Feilen, Schaben usw. oft Elektricitätsentwicklung veranlaßt. Dieses würde ohne Zweifel immer der Fall seyn, wenn es möglich wäre, die getrennten Theile so schnell von einander zu entfernen, daß die vertheilten Elektricitätsarten keine Zeit erhielten, sich wieder zu vereinigen. Durch dieses alles wird man zu der Annahme gezwungen, *daß in dem galvanischen Lichtbogen durch die mechanische Zertheilung der festen Pole eine elektromotorische Kraft entsteht, welche dem Hauptstrome einen Strom in umgekehrter Richtung entgegen schickt.*

Wir wollen nun zeigen, wie dieser Schlufssatz mit den angestellten Versuchen übereinstimmt.

3. Wenn eine elektromotorische Kraft in dem Lichtbogen vorhanden ist, so muß diese natürlich constant und unveränderlich bleiben, so lange die elektromotorische Kraft der Säule, die Stromstärke und der Leitungswiderstand dieselben bleiben. Sie muß daher unabhängig seyn von der Länge des Bogens, vorausgesetzt, daß man, wenn der Bogen länger gemacht wird, von dem übrigen Widerstande in der Leitung so viel hinwegnimmt, daß der ganze Leitungswiderstand des Stromes derselbe bleibt wie zuvor. Wenn also diese Bedingungen erfüllt sind, so ist die elektromotorische Kraft in dem Lichtbogen dieselbe, dieser mag an Länge grö-

1) Riefs, Die Lehre von der Reibungselektricität, Thl. 2, S. 400.

fer oder kleiner seyn. Die fragliche Kraft sendet dem Hauptstrom einen Strom in umgekehrter Richtung entgegen und macht dadurch die totale Stromstärke geringer. Sie wirkt also zur Verminderung der Stromstärke auf dieselbe Weise, wie ein eingefügter Leitungswiderstand. Dagegen ist klar, daß der eigentliche Leitungswiderstand in dem Lichtbogen unter übrigens gleichen Verhältnissen mit der Länge desselben zunehmen muß. Wenn man also den Widerstand in dem Lichtbogen mißt, so findet man, daß dieser aus zwei Theilen besteht, von denen der eine unabhängig ist von der Länge des Bogens, und der andere mit derselben wächst. Bezeichnet man den ersten Widerstand mit a und den eigentlichen Widerstand in einem Lichtbogen von der Länge eines Scalentheiles mit b_1 , so ist der ganze gemessene Widerstand in einem Lichtbogen von dieser Länge $= a + b_1$. Hat der Lichtbogen eine Länge von 2 Scalentheilen und der mittlere Widerstand in jeder derselben wird b_2 genannt, so ist der ganze Widerstand in diesem Bogen $= a + 2b_2$. In einem Bogen von der Länge von 3 Scalentheilen ist der ganze Widerstand $= a + 3b_3$ usw. Die nachstehenden Versuche zeigen, daß a einen ganz bedeutenden Werth hat, und daß b_1, b_2, b_3 usw. gleich groß sind.

Die angewendete Säule war von Bunsen's Construction mit Salpetersäure um die Kohle. Als Rheostat wurde ein hölzerner Kasten von parallelepipedischer Form, inwendig mit Asphalt überzogen, angewendet. Dieser Kasten war 440 Millimeter lang, 148 Millimeter breit und eben so tief und zum Theil mit einer Kupfervitriollösung gefüllt. In dem Kasten standen zwei kupferne Bleche von gleicher Breite mit dem Kasten und hinabreichend bis auf den Boden desselben. Das eine dieser kupfernen Bleche war befestigt und also während der Versuche stillstehend; das andere dagegen konnte parallel mit sich selbst verschoben werden, und die Entfernung zwischen beiden wurde abgelesen an den oberen Kanten des Kastens, die zu diesem Zwecke graduirt waren. Der Strom kam durch das eine Blech in die Lösung und ging durch das andere hinaus. Um den

Einfluß der Polarisation auf die Genauigkeit der Messungen zu vermeiden, war immer ein größerer oder kleinerer Theil des Rheostaten in die Stromleitung eingesetzt. Der Strom wurde mit einer Tangentenbussole gemessen, und konnte mit einem Commutator umgekehrt werden. Da bei diesen Versuchen nur Ströme von bedeutender Stärke anwendbar waren, so konnten Metalldrähte nicht als Rheostat angewendet werden, weil diese stark erhitzt worden wären und dadurch ihren Leitungswiderstand verändert haben würden.

Die Polspitzen, zwischen denen der Lichtbogen gebildet wurde, waren in Foucault's neuen Apparat für constantes elektrisches Licht eingesetzt. Doch wurde der Apparat bei den meisten Versuchen nur als Polhalter angewendet, und die bestimmte Entfernung zwischen den Spitzen wurde bewirkt durch die Verschiebung der einen Polspitze mit der Hand¹⁾.

Der Apparat war während der Versuche in die zu demselben gehörende Laterne gestellt. Die Länge des Lichtbogens wurde nicht direct durch Messung der Entfernung zwischen den Spitzen bestimmt, sondern es wurde mit Beihülfe einer in die Laterne eingesetzten Glaslinse von dem Bogen ein vergrößertes Bild genommen, welches auf eine an der entgegengesetzten Wand des Zimmers aufgestellten Scala projectirt wurde. Die Entfernung zwischen den parallelen Theilungslinien der Scala war 10 Millimeter. Die Glaslinse vergrößerte 25mal. Jeder Theil der Scala entsprach also einer Länge des Lichtbogens von ungefähr 0,4 Millimeter. Um das Bild des Lichtbogens recht deutlich zu machen, wurde der größte Theil des Tageslichtes aus dem Arbeitszimmer ausgeschlossen.

1) Der Professor an dem Carolinischen Medico-Chirurgischen Institut, Herr Dr. Stenberg, welcher an allen diesen Experimenten theilgenommen hat, bestimmte durch die Versetzung der Polspitzen die Länge des Lichtbogens, während ich an der Tangentenbussole die Stromstärke ablas. Ich benutze diese Gelegenheit dem Prof. Stenberg hierfür meinen aufrichtigen Dank darzubringen.

Versuchsreihe 1.

4. Die Säule bestand aus 76 Elementen, die Polspitzen aus harter Kohle, dem Aeußern nach von derselben Art, welche zu Säulenkohlen angewendet werden. Wenn nur 0,6 Zoll von dem Rheostaten in die Leitung eingeschaltet, und die Kohlenspitzen in Contact waren, so betrug der Ausschlag der Tangentenbussole $= 63^{\circ} 30'$, und wenn 8,4 Zoll eingefügt waren, $51^{\circ} 5'$. Hieraus findet man, daß der Widerstand (M), *aufserhalb* des Rheostaten, 11,994 Widerstandseinheiten betrug. Nach Beendigung der Versuchsreihe zeigte die Tangentenbussole in dem ersteren Falle 64° und in dem letzteren $52^{\circ} 10'$. Hieraus erhält man $M = 12,577$. Im Mittel war also während dieser Reihe $M = 15,285$ Widerstandseinheiten.

Versuch 1. Als ein Lichtbogen von der Länge von 5 Scalentheilen gebildet und von dem Rheostaten 0,6 Zoll in die Leitung eingeschaltet war, so betrug die Stromstärke $= Tg 51^{\circ} 5'$. Als darauf die Kohlenspitzen in Contact gestellt und hart auseinander gedrückt wurden, mußten 8,4 Zoll von dem Rheostaten in die Leitung eingefügt werden, um die Tangentenbussole auf den erwähnten Ausschlagswinkel zu bringen. Der totale Widerstand in diesem Lichtbogen war also $8,4 - 0,6 = 7,8$ Widerstandseinheiten. Bei gleicher Stromstärke ergaben sich für Lichtbogen von geringerer Länge folgende Resultate:

Länge des Bogens $= 4$ Scalentheile, Widerstand desselben $= 7,6$.

do. $= 3$ do. do. $= 7,3$.

do. $= 2$ do. do. $= 7,1$.

do. $= 1$ do. do. $= 6,9$.

Man erhält also: $a + 5b_5 = 7,8$; $a + 4b_4 = 7,6$; $a + 3b_3 = 7,3$; $a + 2b_2 = 7,1$ und $a + b_1 = 6,9$. Für jede Vermehrung eines Scalentheiles in der Länge des Bogens wird also der Widerstand um 0,2 Widerstandseinheiten vergrößert. Hieraus kann man schließen, daß $b_5 = b_4 = b_3 = b_2 = b_1$ und $a = 6,7$.

Die elektromotorische Kraft, welche in dem Lichtbogen entsteht, vermindert also die Stromstärke eben so viel, wie

ein eingeschalteter Widerstand von 6,7 Widerstandseinheiten. Hieraus läßt sich die GröÙe dieser Gegenkraft, ausgedrückt in der elektromotorischen Kraft der Säule, leicht berechnen. Bezeichnet man diese letztere mit E und die elektromotorische Kraft in dem Lichtbogen mit D , so hat man:

$$\frac{E}{12,285 + 8,4 = 20,685} = \frac{D}{20,685 - 6,7 = 13,985};$$

hieraus erhält man $D = 0,3239 E$.

Versuch 2. Als der Widerstand M bis auf 14,176 Widerstandseinheiten vergrößert worden, und 11,0 Widerstandseinheiten des Rheostaten in die Leitung eingeschaltet waren, war die Stromstärke = Tg. $45^{\circ} 30'$. Bei dieser Stromstärke ergaben sich folgende Resultate:

Länge des Bogens = 3 Scalentheile; Widerstand desselben = 10,4.

do. = 2 do. = 9,8.

do. = 1 do. = 9,2.

Für diese Stromstärke hat man also; $a + 3b = 10,4$; $a + 2b = 9,8$ und $a + b = 9,2$; woraus $a = 8,6$ und $b = 0,6$.

Berechnet man hiernach D auf dieselbe Weise, wie bei dem vorhergehenden Versuche, so ergibt sich:

$$D = 0,3416 E.$$

Versuch 3. Bei diesem Versuch wurde $M = 21,29$ Widerstandseinheiten gemacht. Als außerdem 13,5 Zoll von dem Rheostaten eingeschaltet wurden, zeigte im Mittel die Tangentenbussole $36^{\circ} 22'$. 13,5 Zoll war die ganze Länge des Rheostaten, so daß, mit Beibehaltung des erwähnten Werthes für M , die Stromstärke mit Hülfe des Rheostaten nicht geringer gemacht werden konnte. Als die Länge des Lichtbogens 2 Scalentheile betrug, war der Ausschlag der Tangentenbussole $33^{\circ} 40'$. Hieraus läßt sich der Widerstand in dem Lichtbogen leicht berechnen. Man erhält nämlich:

Länge des Bogens = 2 Scalentheile; Widerstand desselben = 16,66

do. = 1 do. = 14,76.

Man erhält also, da die Stromstärke ist = Tg. $33^{\circ} 40'$, $a + 2b = 16,66$ und $a + b = 14,76$; wonach $a = 12,86$ und $b = 1,9$.

Hieraus ergibt sich auf dieselbe Weise, wie bei dem ersten Versuche: $D = 0,3336 E$.

5. Aus den vorstehenden Versuchen ergibt sich, *dafs die elektromotorische Kraft (D) in dem Lichtbogen unabhängig ist von der Stärke des Stromes, und dafs der eigentliche Leitungswiderstand des Lichtbogens proportional ist seiner Länge, und wächst, wenn die Stromstärke abnimmt.*

Dafs D unabhängig ist von der Stromstärke, erscheint vielleicht beim ersten Ansehen unerwartet; bei näherem Nachdenken aber findet man doch, dafs dieses mit anderen Eigenschaften des galvanischen Stromes, die hiermit in naher Verbindung stehen, vollkommen übereinstimmt. Die mechanische Arbeit, welche der Strom zur Zerreissung der Polspitzen ausübt, wird gemessen durch die Verminderung der von dem Strome erregten totalen Wärmemenge, welche aus der von dem Zerreißen verursachten elektromotorischen Kraft D entsteht. Ist E die elektromotorische Kraft und L der Widerstand bei einer gewissen Stromstärke, wenn kein Lichtbogen gebildet wird, so drückt $\frac{E}{L}$ die Stromstärke und $\frac{E^2}{L}$ die ganze von dem Strome hervorgebrachte Wärmemenge aus. Wird dagegen ein Lichtbogen gebildet und L drückt fortwährend den ganzen Widerstand aus, so ist $\frac{E-D}{L}$ die Stromstärke und $\frac{(E-D)^2}{L}$ die erzeugte Wärmemenge. Die von dem Strome im Lichtbogen verrichtete Arbeit hat also als Aequivalent den Unterschied zwischen diesen beiden Wärmemengen, oder $\frac{E^2 - (E-D)^2}{L} = \frac{D(2E-D)}{L}$. Ist der Widerstand L' und folglich die Stromstärke eine andere, so wird dasselbe Aequivalent $\frac{D(2E-D)}{L'}$. Benennt man die mechanische Arbeit in dem ersten Falle A und in dem letzteren A' , so hat man also $A : A' = L' : L$. Die Widerstände L' und L sind aber den Stromstärken umgekehrt proportional. Hieraus folgt also endlich, *dafs die von dem Strome in dem Lichtbogen verrichtete Arbeit proportional ist der Stromstärke, so lange die elektromotorische Kraft der Säule constant bleibt.* — Demselben Gesetze folgt auch

die mechanische Arbeit, welche der Strom zu der Wärme-production verrichtet. Die erzeugte Wärme ist proportional mit $E \cdot \frac{E}{L}$ und also, wenn E constant ist, proportional der Stromstärke. Diese Gleichheit zwischen den beiden Fällen würde, wie leicht einzusehen, nicht stattfinden, wenn nicht D von der Stromstärke unabhängig wäre.

Versuchsreihe 2.

6. Diese Versuchsreihe wurde angestellt um zu erforschen, ob und auf welche Weise D abhängig seyn könnte von der elektromotorischen Kraft der Säule. Daher wurden die Versuche mit einer verschiedenen Anzahl von Elementen angestellt. Da zu diesen Versuchen neue Kohlen spitzen eingesetzt wurden, welche vielleicht rücksichtlich der Härte und übrigen Eigenschaften verschieden waren von den zuvor angewendeten, und da überdies die Kupfervitriollösung in dem Rheostaten in den Tagen, die zwischen den beiden Reihen verflossen, sich verändert haben konnte, so kann man diese nicht als mit einander vergleichbar ansehen.

Versuch 4. Die Säule bestand aus 79 Elementen. Als 0,6 Zoll von dem Rheostaten in die Leitung eingeschaltet war und die Kohlen spitzen hart an einander gedrückt wurden, so daß der Contact zwischen denselben vollständig war, betrug der Ausschlag der Tangentenbussole $60^{\circ} 35'$. Als 13,5 Rheostat-Einheiten (Zoll) in die Leitung eingeschaltet wurden, war der Ausschlag $42^{\circ} 55'$. Hieraus kann man berechnen, daß der totale Widerstand *aufserhalb* des Rheostaten oder M 13,62 Widerstands-Einheiten betrug. Nimmt man als Einheit die elektromotorische Kraft, welche für den Widerstand 1 einen Ausschlag von 45° an der Tangentenbussole verursacht, so wird die elektromotorische Kraft der Säule oder $E = 25,22$.

Als 0,6 Zoll des Rheostaten in die Leitung eingeschaltet und der Lichtbogen 4 Scalentheile lang war, blieb die Tangentenbussole auf $48^{\circ} 5'$ stehen. Als darauf 9,0 Zoll

des Rheostaten eingeschaltet und die Kohlenspitzen zum Contact zusammengedrückt wurden, ergab sich die gleiche Gradzahl. Der Widerstand in einem Lichtbogen von der Länge von 4 Scalentheilen war also $= 8,4$.

Mit Beibehaltung der gleichen Stromstärke ergaben sich für kürzere Bogen folgende Resultate:

Länge des Bogens	$= 3$ Scalentheile;	Widerstand desselben	$= 7,8$
do.	$= 2$	do.	$= 7,2$
do.	$= 1$	do.	$= 6,6$.

Hieraus ergibt sich: $a = 6,0$ und $b = 0,6$.

Wird hiernach D auf dieselbe Weise wie zuvor berechnet nach der Gleichung

$$\frac{E}{13,62 + 9,0 = 22,62} = \frac{E - D}{22,62 - 6,0 = 16,62},$$

so ergibt sich:

$$D = 0,2652 \times E = 6,690.$$

Versuch 5. Von der Säule wurden 24 Elemente fortgenommen, so daß diese nur aus 55 derselben bestand. Als von dem Rheostaten 0,6 Zoll in die Leitung eingeschaltet und die Kohlenspitzen in Contact waren, blieb die Nadel der Tangentenbussole auf $63^{\circ} 32'$ stehen, und, als 13,5 Zoll eingeschaltet waren, auf $35^{\circ} 59'$. Hieraus läßt sich berechnen, daß der ganze Widerstand *aufserhalb* des Rheostaten oder $M = 8,104$ und $E' = 17,483$ betrug.

Als 0,6 Zoll des Rheostaten in die Stromleitung eingeschaltet und die Länge des Lichtbogens 2 Scalentheile war, zeigte die Tangentenbussole $13^{\circ} 20'$, und nachdem 10,2 Zoll in die Leitung eingeschaltet und die Kohlenspitzen in Contact gebracht waren, ergab sich die gleiche Gradzahl. Hieraus erhält man:

Länge des Bogens $= 2$ Scalentheile; Widerstand desselben $= 9,6$; und bei gleicher Stromstärke:

Länge des Bogens $= 1$ Scalenthail; Widerstand desselben $= 8,4$.

Man hat also jetzt: $a = 7,2$ und $b = 1,2$.

Berechnet man hiernach D auf gleiche Weise wie zuvor, so ergibt sich:

$$D = 0,3934 \times E' = 6,877.$$

Diese beiden Versuche führen also zu dem Resultate, *dafs D auch unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft der Säule.* Der Unterschied zwischen 6,877 und 6,690 kann nämlich als Beobachtungsfehler angesehen werden.

Versuchsreihe 3.

7. Bei dieser Reihe wurde Eisen zu den Polspitzen angewendet. Hierbei geschah es, dafs die Spitzen sich stark oxydiren, wodurch die Leitung im Bogen schlechter wurde und die Stromstärke sank, so dafs es schwer war, ein genaues und zuverlässiges Maafs für den Widerstand des Lichtbogens zu erhalten. Zwischen zwei aufeinander folgenden Beobachtungen mußte das Oxyd mit einer Feile fortgeschafft werden.

Nachstehende Zahlen ergaben sich, ehe noch ein dickerer Oxydüberzug sich zu bilden Zeit gehabt hatte.

Versuch 6. Die Stromstärke war = Tg. $54^{\circ} 15'$.

Länge des Lichtbogens = 4 Scalentheile; Widerstand desselben = 3,4.			
do.	= 3	do.	= 3,1.
do.	= 2	do.	= 2,8.
do.	= 1	do.	= 2,45.

Versuch 7. Die Stromstärke = Tg. $56^{\circ} 25'$.

Länge des Lichtbogens = 4 Scalentheile; Widerstand desselben = 3,3.			
do.	= 1	do.	= 2,4.

Die Säule bestand bei diesen beiden Versuchen aus 50 Bunsen'schen Elementen.

Versuchsreihe 4.

Bei dieser Reihe wurden wiederum Kohlenspitzen angewendet, doch von einer anderen Art als zuvor. Der Rheostat wurde geleert, gereinigt und darauf mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt.

Versuch 8. Die Säule bestand aus 77 Elementen. Als 0,6 vom Rheostaten in die Leitung eingeschaltet waren, stand die Magnetnadel im Mittel auf $63^{\circ} 43'$, und als darauf 13 Rheostat-Einheiten eingeschaltet wurden, auf $43^{\circ} 53'$. Hieraus berechnet sich: $M = 10,62$ und $E = 22,73$. Als

nur 0,6 vom Rheostaten in der Leitung befindlich waren und die Länge des Bogens = 4 Scalentheile betrug, ergab sich der Widerstand desselben = 6,7.

Bei gleicher Stromstärke ergab sich außerdem:

Länge des Bogens = 3 Scalentheile; Widerstand desselben = 6,2.

do. = 2 do. do. = 5,9.

do. = 1 do. do. = 5,4.

Versuch 9. Bei diesem Versuch wurden 20 Elemente fortgenommen, so daß die Säule nur aus 57 derselben bestand. Als 0,6 vom Rheostaten in der Leitung befindlich, war der Ausschlag an der Tangentenbussole $62^{\circ} 6'$, und als 13 Rheostat-Einheiten eingeschaltet worden, $37^{\circ} 44'$. Hieraus ergibt sich: $M' = 8,425$ und $E = 15,91$. Als 0,6 vom Rheostaten in der Leitung waren, ergab sich folgendes Resultat:

Länge des Bogens = 2 Scalentheile; Widerstand desselben = 8,9.

und bei gleicher Stromstärke

Länge des Bogens = 1 Scalenthil; Widerstand desselben = 8,1.

Aus dem Versuche No. 8 ergibt sich: $D = 0,279 \times E = 6,34$, und aus No. 9: $D = 0,407 \times E' = 6,48$. Diese Reihe führt also zu demselben Resultate, wie die Versuchsreihe 2, d. h. daß D unabhängig ist von der elektromotorischen Kraft der Säule.

Versuchsreihe 5.

8. Die Größe der Wärmeentwicklung in dem galvanischen Lichtbogen beruht auf der Stärke des Stromes und dem Widerstande des Bogens und ist dem letzteren proportional. Da nun der wirkliche Widerstand nicht größer ist als die vorhergehenden Versuche an die Hand geben, und er nur einen kleineren Bruchtheil von demjenigen beträgt, was man bisher angenommen hat, so könnte man vielleicht in Zweifel ziehen, ob dieser Widerstand hinlänglich groß sey, um die Entstehung der hohen Temperatur zu erklären, welche in dem Lichtbogen stattfindet. Um dieses zu untersuchen, wurden folgende Versuche angestellt.

Der bei meinen vorhergehenden Versuchen über die

galvanische Ausdehnung angewendete Platindraht (1150 Millimeter lang und 0,542 Millimeter im Durchmesser) hielt sich diesen Versuchen gemäß, bei einer constanten Verlängerung von 138 Scalentheilen, wenn ein Strom durch denselben ging, dessen Stärke = Tg. $43^{\circ} 21'$ war. In der ersten Secunde nach dem Aufhören des Stromes erkaltete der Draht, so daß er sich um 12,94 Scalentheilen verkürzte, was fast ganz genau 7 Temperaturgraden entspricht. Da ein Strom von der erwähnten Stärke den Draht bei einer constanten Verlängerung zu halten vermochte, so mußte also dieser Strom eine Temperaturerhöhung in dem Drahte von 7 Grad in jeder Secunde bewirken, was einer Wärmeerzeugung von 1,27 Wärmeeinheiten entspricht, wenn das Gramm als Gewichts-Einheit genommen wird. Der Widerstand dieses Drahtes wurde nun mit dem in den obigen Versuchen 8 und 9 angewendeten Rheostaten gemessen und dabei gefunden, daß derselbe 0,35 Widerstands-Einheiten betrug, also etwas weniger, als der eines Lichtbogens von der Länge eines Scalentheiles (0,4 Millimeter) in dem Versuche No. 8. Bei diesem Versuche, bei welchem die Stromstärke bedeutend größer war als bei dem erwähnten Versuche bei der galvanischen Ausdehnung, wurden also mehr denn 1,27 Wärmeeinheiten in jedem Scalentheile des Lichtbogens während 1 Secunde entwickelt. Diese Wärmemenge (1,27 Wärmeeinheiten) ist hinreichend, um die Temperatur in einem Stücke des Platindrahtes von der Länge von 0,4 Millimeter auf mehr denn 2000 Grad zu erhöhen, falls solches geschehen könnte, ohne daß der Draht schmelze oder in Gas verwandelt würde. Man sieht hieraus, daß der Widerstand, welcher, dem Vorhergehenden gemäß, wirklich in dem Lichtbogen vorhanden ist, hinreicht, um die Entstehung der hohen Temperatur, die dort stattfindet, zu erklären.

Versuchsreihe 6.

9. Wenn Kohlenspitzen angewendet wurden zu der Bildung des Lichtbogens, hielt die Stromstärke sich nicht constant während einer längeren Zeit, sondern veränderte

sich nach kurzen Zwischenzeiten. Dieses wurde dadurch verursacht, daß der Lichtbogen sich nicht ruhig verhielt, sondern auf den Kohlenspitzen von einem Punkte zum andern überging, und dieses Versetzen war oft von einem Laute begleitet, der einem Knistern glich. Die Magnetnadel der Tangentenbussole kam hierdurch in Bewegung, wodurch das Ablesen erschwert wurde. Daher konnte es oft geschehen, daß zu einer einzigen Beobachtung eine ziemlich lange Zeit erforderlich war, weil man mit dem Ablesen warten mußte, bis die Nadel ruhig wurde. Der Versuch wurde mit mehreren Kohlenarten angestellt; doch alle zeigten mehr oder weniger diese Unbequemlichkeit, welche aber gänzlich verschwand, als statt der Kohlenspitzen ein paar dicke kupferne Drähte angewendet wurden. Nun wurde die Stromstärke constant und nur in dem Maasse verringert, als die Entfernung zwischen den kupfernen Drähten vergrößert wurde. Die nachstehenden Bestimmungen liefern das Resultat der mit den kupfernen Drähten angestellten Versuche.

Versuch 10. Die Säule bestand aus 76 Bunsen'schen Elementen. Als 4 Zoll des Rheostaten eingeschaltet waren, stand die Tangentenbussole im Mittel auf $54^{\circ} 15'$, und als 13 Zoll eingefügt waren, auf $40^{\circ} 50'$. Hieraus berechnet sich: $M = 10,82$ und $E = 20,58$. Als man darauf 0,7 des Rheostaten in die Leitung eingeschaltet und einen Lichtbogen von 6 Scalentheilen bildete, blieb die Magnetnadel auf 53° stehen. Bei dieser Stromstärke ergaben sich folgende Resultate:

Länge des Bogens = 6 Scalentheile; Widerstand desselben = 4,2	
do. = 4	do. = 4,0.
do. = 2	do. = 3,8.
do. = 1	do. = 3,6.

Hieraus ergibt sich: $a = 3,4$ und $b = 0,1$.

Wird hieraus die elektromotorische Kraft D berechnet, so erhält man:

$$D = \frac{3,4 E}{15,72} = 4,45.$$

Versuch 11. Von der Säule wurden 20 Elemente fortgenommen, so daß nur 56 in Thätigkeit waren. Als

4 Zoll des Rheostaten in die Leitung eingeschaltet waren, so war die Stromstärke = Tg. $52^{\circ} 29'$, und als 13 Zoll eingesetzt waren, = Tg. $35^{\circ} 42'$. Hieraus ergibt sich $M' = 7,08$ und $E' = 14,43$.

Als 1,4 Zoll des Rheostaten den Widerstand bildeten, und der Lichtbogen 6 Scalentheile lang war, zeigte die Magnetnadel $44^{\circ} 30'$. Mit dieser Stromstärke ergaben sich folgende Resultate:

Länge des Bogens = 6 Scalentheile	Widerstand desselben = 6,2		
do.	do.	do.	= 5,9
do.	do.	do.	= 5,6.

Hieraus ergibt sich: $a = 5,3$ und $b = 0,15$.

Wird hieraus die elektromotorische Kraft D berechnet, so ergibt sich dieselbe:

$$D = \frac{5,3 E}{14,68} = 5,21.$$

Da 4,45 und 5,21 innerhalb der Gränzen der möglichen Beobachtungsfehler einander gleich sind, so ergibt sich auch aus dieser Versuchsreihe, daß D von der elektromotorischen Kraft der Säule unabhängig ist.

10. Aus dem Obigen folgt, daß D geringer ist, wenn zu den Polspitzen Kupfer angewendet wird, als wenn dieselben aus fester und harter Kohle bestehen. Dieses dürfte darauf beruhen, daß das Kupfer sich vor dem Zerreißen in einem geschmolzenen oder halbgeschmolzenen Zustande befindet, in Folge dessen die mechanische Arbeit, welche der Strom bei dem Zerreißen ausübt, geringer wird. Es wurden auch mit Kohlen von sehr loser Beschaffenheit einige Versuche angestellt; bei diesen aber waren keine vollkommen constante Resultate zu erhalten, weshalb ich dieselben der Mittheilung nicht für werth erachtet habe. Inzwischen zeigten doch diese Versuche, daß D bei den lockeren Kohlensorten kleiner war als bei den harten. Die Versuche, welche mit Zinn gemacht wurden, ergaben ebenfalls für D einen geringeren Werth; die mit diesem Metalle erhaltenen Resultate waren aber unsicher, weil das in Menge

gebildete Zinnoxid die Ruhe des Lichtbogens störte und Schwankungen in der Stromstärke veranlasste.

Da die beiden Polspitzen eine verschiedene Temperatur haben, so wäre es wohl möglich, daß eine thermo-elektrische Kraft in dem Lichtbogen thätig wäre. Ueberdies wird wahrscheinlich die in der Luft befindliche Feuchtigkeit von dem galvanischen Strome zerlegt, und wenn die Zerlegungsproducte, Wasserstoff und Sauerstoff, auf die Polspitzen niedergeschlagen werden, würde daraus ein Polarisationsstrom in umgekehrter Richtung gegen den Hauptstrom entstehen. Wenn aber auch diese beiden Elektrizitätsquellen im Lichtbogen vorhanden sind, so können doch beide zusammen nur einen unbedeutenden Bruchtheil der oben gefundenen elektromotorischen Kraft D ausmachen, selbst wenn man voraussetzt, daß die Polarisation ihr Maximum der Stärke erreicht. Um alle Polarisation zu entfernen, müßten die Versuche in einem luftleeren Raume angestellt werden oder in einem Gase, welches von dem Strome nicht zerlegt wird.

VIII. *Neue Theorie der elektrischen Erscheinungen; von W. Hankel;*

(Aus den Berichten d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften 1866, vom Hrn. Verf. übersandt.)

(Fortsetzung von Ann. Bd. 126, S. 466.)

C. I n d u c t i o n.

In den Berichten der math.-phys. Classe der Gesellschaft für 1865 S. 30 ff. habe ich mich bereits in der Kürze über die Art und Weise, wie zufolge der von mir aufgestellten neuen Theorie der elektrischen Erscheinungen die Inductionsströme entstehen, ausgesprochen; ich werde jetzt die an jenem Orte gegebenen allgemeinen Grundlagen weiter