I. Untersuchungen über die beim Oeffnen und Schliessen einer galvanischen Kette entstehenden Inductionsströme; von E. Edlund aus Upsala.

I.

In der neunten Reihe seiner Experimental-Untersuchungen ¹⁾ über Elektricität hat Herr Faraday auf die interessanten Erscheinungen zuerst aufmerksam gemacht, die beim Oeffnen und Schliessen einer galvanischen Kette stattfinden, und vorzugsweise sich zeigen, wenn eine Drahtrolle mit einem Kerne von weichem Eisen sich in der Leitung befindet. Wie bekannt, erkannte Herr Faraday diese Erscheinungen sogleich für Inductionsströme, die durch die Einwirkung des galvanischen Stromes auf sich selbst und durch Reaction des durch denselben im Eisen entstehenden und verschwindenden Magnetismus erregt werden. Wie natürlich auch diese Erklärung war, da derartige Inductionsphänomene schon bekannt waren, und die Induction im vorliegenden Falle fast mit Nothwendigkeit vermuthet werden mußte, so wurde doch die wirkliche Existenz dieser Ströme von berühmten Naturforschern bezweifelt ²⁾ und zuerst durch Hr. Jacobi's ³⁾ und besonders durch Herrn Dove's ⁴⁾ sinnreiche Untersuchungen bewiesen. Obschon bald anderthalb Decennien verflossen sind, seitdem die Faraday'sche Entdeckung bekannt wurde, so hat doch noch Niemand, so weit ich weifs, Messungen über diese Inductionsströme ausgeführt. Ueberzeugt, dafs eine Kenntnifs der quantitativen

1) Pogg. Ann., Bd. 35. S. 413.

2) Repertorium der Physik, Bd. 1. S. 328.

3) Pogg. Ann., Bd. 45. S. 132.

4) Pogg. Ann., Bd. 56. S. 251.

Poggendorff's Annal. Bd. LXXVII.

Verhältnisse dieser Ströme von Interesse seyn würde, habe ich darüber einige Versuche angestellt, deren Resultate ich hier mittheile.

II.

Weil der Hauptstrom und der durch denselben inducirte dieselbe Leitung gleichzeitig durchströmen, so besteht die eigentliche Schwierigkeit bei diesen Messungen darin, die zwei Ströme von einander zu trennen oder auf irgend eine Weise die Wirkung des ersten beim Messen des letzten zu annulliren. Da überdiß die gedachten Ströme, besonders die, welche durch die bloße Wirkung des Stromes auf sich selbst entstehen, in den meisten Fällen klein und dadurch einer störenden Einwirkung anderer Kräfte leicht ausgesetzt sind, so ist es nothwendig, wenn die erhaltenen Zahlenwerthe auf irgend eine Genauigkeit Anspruch machen sollen, daß alle Umstände, deren störende Einwirkung nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann, mit Sorgfalt beseitigt werden. Diese Schwierigkeiten hoffe ich durch das folgende Verfahren größtentheils überwunden zu haben.

Fig. 1, Taf. I: *a* ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* ausgehen. Von *b* und *c* gehen wieder vier Drähte *ce*, *cf*, *bg* und *bh* zu einem Magnetometer bei *k*. Dieses Magnetometer, das sorgfältig vor Luftströmungen geschützt und auf einem festen Stative aufgestellt ist, ist von zwei Lagen von übersponnenem Kupferdrahte umgeben, von denen jede für sich eine geschlossene Leitung von mehreren parallel miteinander liegenden Umwindungen bildet. Nun werden *ce* und *bg* mit der einen und *ef* und *bh* mit der anderen dieser Lagen auf diese Weise vereinigt, daß ein von *c* nach *e* gehender elektrischer Strom die im Magnetometer befindliche Nadel in der Richtung *nmlp*, und ein Strom, der durch den Leitungsdraht *cf* von *c* nach *f* geht, in der entgegengesetzten Richtung *plmn* umströmt. Zwischen *c* und *d* ist ein, aus einigen neben einander ausgespannten Neusilberdrähten bestehender Rheostat eingeschaltet, wodurch der Leitungswi-

derstand im Drahte *cenmlpgb* nach Belieben abgeändert werden kann. Der von der Säule *a* ausgehende Hauptstrom theilt sich nun bei *c* und *b*, so daß der eine Theil durch die Leitung *cenmlpgb* und der andere durch *cfplmnhb* hindurchgeht. Mit Hülfe des Rheostats kann der Widerstand der ersten dieser Leitungen so abgepaßt werden, daß die ganze Einwirkung der zwei um das Magnetometer in entgegengesetzter Richtung gehenden Hauptströme aufgehoben wird. Es versteht sich von selbst, daß, wenn die zwei Hauptströme für eine gewisse Intensität sich aufheben, dieß auch für eine andere beliebige Stromstärke der Fall seyn muß. Daraus folgt, daß die Gleichgewichtslage der Nadel von den Variationen der Stromstärke unabhängig ist, und daß die Kette geöffnet und geschlossen werden kann, ohne daß die Nadel davon unmittelbar afficirt wird. Die ringsum das Magnetometer gehenden Umwindungen waren soweit und die davon gebildeten Lagen so breit im Verhältnisse zu den Dimensionen der Nadel, daß, wenn die zwei Hauptströme bei einer bestimmten Lage der Nadel sich ausglich, dieß auch bei jeder anderen Lage derselben, wenigstens weit außerhalb der Gränzen, unter welchen alle folgenden Beobachtungen liegen, der Fall war. Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, wodurch die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Um dem Hauptstrome eine entgegengesetzte Richtung geben zu können, war ein Commutator in die Leitung *cab* eingeschaltet. Die Magnetnadel wurde mit einem Fernrohre beobachtet, wie bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist. Der Abstand des Spiegels von der Scale war so groß, daß ein Scalentheil sich auf etwas mehr als 40 Bogensekunden belief.

III.

Nehmen wir nun an, daß bei *d* eine Inductionsrolle sich befinde und daß die Kette bei *q* geöffnet werde, so muß in der Rolle ein momentaner Strom inducirt werden. Dieser Strom geht z. B. von *d* nach *e*, dann ringsum das

Magnetometer in der Richtung $nmlpg$, von g über b zurück nach h , darauf wieder um das Magnetometer in der Richtung $nmlp$ bis nach f und von dort endlich über c nach d . Der Inductionsstrom geht also nicht, wie der von der Säule a ausgehende Hauptstrom, durch die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter sondern in der nämlichen Richtung, und seine Einwirkung auf die Nadel wird durch die beiden Lagen verstärkt. Die Folge davon ist, daß die Magnetnadel einen Ausschlag machen muß, woraus die Gröfse des Stromes sich bestimmen läßt. Wenn die Kette geschlossen wird, so muß das nämliche Verhältniß stattfinden, doch mit der Ausnahme, daß ein Theil des Inductionsstromes durch die Leitung cab strömt. Aus Ohms Gesetze geht aber hervor, daß die Einwirkung des bei d inducirten Stromes auf die Magnetnadel die nämliche bleibt, wenn auch ein Theil desselben durch die Leitung cab geht, oder, mit anderen Worten, es ist gleichgültig für die Einwirkung auf die Nadel, ob der Leitungswiderstand in cab Null oder unendlich groß ist. Dieß war für die praktische Anwendbarkeit dieser Methode eine Nothwendigkeit, weil man die Messung so kleiner Kräfte auf die unsicheren Bestimmungen des veränderlichen Widerstandes einer Flüssigkeit kaum hätte begründen können. Nennt man nun die Leitungswiderstände $cenmlpgb$, $cfplmnhb$ und cab respective r , r_1 und R ; die beim Oeffnen der Kette in der Rolle d entstehende elektromotorische Kraft k und die beim Schließen entstehende k_1 ; die Einwirkung des Anfangsstromes auf die Nadel A und die des Endstromes E ; so hat man

$$A = \frac{k(\mu + \lambda)}{r + r_1}, \text{ und } \dots \dots (1)$$

$$E = \frac{k_1\mu(r_1 + R) + \lambda k_1 R}{r(r_1 + R) + r_1 R}; \dots (2)$$

worin μ und λ zwei Gröfsen sind, von welchen jene der Einwirkung des durch den Leitungsdraht, dessen Widerstand r ist, gehenden Stromes, diese der des Stromes, dessen Widerstand r_1 , proportional ist. Wären die zwei Lagen einander vollkommen gleich, so würde natürlich $\mu = \lambda$ seyn.

Nun sind aber die Leitungswiderstände r und r_1 so abgepaßt, daß die zwei Hauptströme einander aufheben. Man hat also

$$\mu r_1 = \lambda r.$$

Wenn man hieraus den Werth von μ in die Gleichungen (1) und (2) setzt, so wird

$$A = \frac{k\lambda}{r_1}, \text{ und } \dots \dots \dots (3)$$

$$E = \frac{k_1 \lambda \left(r + \frac{Rr}{r_1} + R \right)}{r_1 \left(r + \frac{Rr}{r_1} + R \right)} = \frac{k_1 \lambda}{r_1} \quad (4)$$

Hieraus ergibt sich, daß, wenn die zwei beim Oeffnen und Schließen der Kette entstehenden Inductionsströme in der That gleich groß sind, ihre Einwirkung auf die Nadel nach unserer Beobachtungsmethode die nämliche werden muß. Diese Folgerung aus Ohm's Gesetze wurde durch directe Versuche bestätigt.

IV.

Um die Stärke des inducirten Stromes zu bestimmen, bediente ich mich folgender Methode als der bequemsten.

Wenn r und r_1 so abgepaßt sind, daß die zwei Hauptströme einander aufheben, und man dann einen Widerstand p bei c in den Leitungsdraht ce einfügt, wodurch r in $r + p$ verwandelt wird, so muß die Magnetnadel einen Ausschlag S_p machen, und man erhält

$$S_p = \frac{k\lambda p}{R(r+p+r_1) + (r+p)r_1}$$

Nennt man den durch die Drahtrolle d gehenden inducierenden Strom J_p , so hat man

$$J_p = \frac{k r_1}{R(r+p+r_1) + (r+p)r_1}$$

Für einen anderen Elektromotor erhält man auf dieselbe Weise, wenn der nämliche Widerstand p eingeschaltet wird

$$S_p = \frac{k'\lambda p}{R'(r+p+r_1) + (r+p)r_1} \text{ und } J_p = \frac{k'r_1}{R'(r+p+r_1) + (r+p)r_1}$$

Hieraus findet man

$$\frac{S_p}{S_p'} = \frac{J_p}{J_p'} = \frac{R'(r+p+r_1) + (r+p)r_1}{R(r+p+r_1) + (r+p)r_1} \times \frac{k}{k'}$$

Nun sucht man aber nicht das Verhältniß zwischen J_p und J'_p aus dem beobachteten zwischen S_p und S'_p zu finden, sondern das Verhältniß zwischen den inducirenden Strömen, wenn p gleich Null ist, d. h. zwischen J und J' , wenn diese durch die Gleichungen

$$J = \frac{k r_1}{R(r+r_1) + r r_1}, \quad J' = \frac{k' r_1}{R'(r+r_1) + r r_1}$$

bestimmt werden.

Wenn man nun $\frac{J_p}{J'_p} = \frac{J}{J'}$ setzt, so begeht man einen Fehler, der gleich ist

$$\pm \frac{r_1 p (r+r_1) (R-R')}{[R(r+r_1) + r r_1 + (R+r_1)p] [R'(r+r_1) + r r_1]} \times \frac{k}{k'}$$

Dieser Fehler war aber in den folgenden Versuchen so unbedeutend, daß man keine Rücksicht darauf zu nehmen brauchte. Der bei c eingeschaltene Widerstand p bestand nämlich aus einem Kupferdrahte von anderthalb Meter Länge von derselben Art, wie der in der Rolle d , der eine Länge von mehr als 300 Meter besaß. r war also, sogar wenn man den nicht unbedeutenden Widerstand in den Umwindungen des Magnetometers vernachlässigt, mehr als 200 Mal größer als p . Vernachlässigt man nun $(R+r_1)p$ im Nenner des vorstehenden Ausdruckes und setzt $200p = r = r_1$, was approximativ richtig ist, so findet man, daß der erwähnte Fehler nicht größer seyn kann, als

$$\pm \frac{(R-R')}{100 r \left(\frac{2R}{r} + 1 \right)^2} \frac{k}{k'}$$

Der Werth dieses Ausdruckes näherte sich nur einmal (als eine große Rolle in den ungetheilten Leitungsdraht eingeschaltet war) einem halben Procennte des Verhältnisses $\frac{J}{J'}$. Bei den übrigen Versuchen lag derselbe bedeutend unter dieser Gränze und es war daher nicht nöthig denselben in Betracht zu nehmen. Der anderthalb Meter lange Kupferdraht war mit dem einen Ende bei c befestigt, und um die Stromstärke zu messen, brauchte man bloß ce von c zu trennen, das andere Ende des Drahtes einzusetzen und

den dadurch bewirkten Ausschlag, sobald die Nadel zur Ruhe gekommen war, zu beobachten. Die Stromstärke wurde auf diese Weise gewöhnlich zwei oder drei Mal vor und nach jedem Versuche gemessen und hieraus das Mittel genommen.

V.

Weil die Widerstände r und r_1 beinahe gleich groß seyn mußten, damit die zwei Hauptströme einander aufheben könnten, und bei d eine Drahtrolle von bedeutendem Widerstande eingeschaltet war, so mußte auch in dem anderen Leitungsdrahte ein entsprechender Widerstand eingefügt werden. Zu diesem Zwecke konnte man indessen aus bekannten Gründen nicht einen dünnen Metalldraht oder eine schlecht leitende Flüssigkeit benutzen, sondern mußte sich eines Drahtes, von ungefähr derselben Beschaffenheit, wie der in der Rolle d , bedienen. Um zu verhindern, daß in dieser Rolle, wie in der Rolle d , ein Inductionsstrom entstände, der den in d inducirten aufgehoben haben würde, wurde der Draht über zwei Glasstangen, die drei Meter von einander abstanden, gewunden und die verschiedenen Drähte zusammengebunden. Dadurch kamen Ströme von derselben und der entgegengesetzten Richtung neben einander zu liegen, wodurch die wechselseitige Induction größtentheils aufgehoben wurde. Es ist deutlich, daß dieß auch mit der Induction in den Umwindungen des Magnetometers der Fall seyn mußte, weil dieselbe in den beiden Lagen in entgegengesetzter Richtung stattfand.

VI.

Das vorstehende Verfahren wäre in seiner Anwendung sehr einfach, wenn nicht ein Umstand hinzukäme, der berücksichtigt werden muß. Der galvanische Strom bewirkt nämlich eine Temperaturveränderung in den Leitungsdrähten, welche eine Veränderung des Widerstandes verursacht. Da diese Veränderung des Widerstandes in den beiden Drähten, durch welche die zwei Hauptströme gehen, selten

gleich groß ist, so folgt daraus, daß, wenn auch diese für einen Augenblick sich gegenseitig aufheben, dieselben doch nach Verlauf einiger Zeit die Magnetnadel aus der Gleichgewichtslage ablenken werden, die sie unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus einnehmen würde. Bei einigen der folgenden Versuche war die Nadel auf diese Weise nach zwei Minuten (ungefähr die Zeit zweier aufeinander folgenden Beobachtungen) um drei Scalentheile von ihrer wahren Gleichgewichtslage entfernt. Obgleich dies wohl keinen sehr erheblichen Einfluß auf die Bewegungen der Nadel haben kann, so ist es doch nothwendig denselben näher zu untersuchen.

VII.

Da die Einwirkung der Hauptströme auf die Magnetnadel nicht vollkommen aufgehoben wird, so sind μr_1 und λr nicht mehr einander gleich, woraus folgt, daß die Gleichungen (3) und (4) nicht gültig und folglich die zwei Inductionsströme nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind. Setzt man nun $\mu r_1 = \lambda (r \pm \delta)$ und eliminirt μ aus den Gleichungen (1) und (2), so erhält man

$$A = \frac{\lambda k}{r_1} \pm \frac{k \delta \lambda}{r_1 (r \pm r_1)};$$

$$E = \frac{k_1 \lambda}{r_1} \pm \frac{k_1 \delta \lambda}{r_1 \left(r \pm \frac{R r_1}{r_1 + R} \right)}.$$

In den meisten Fällen war es hinreichend einige Zoll von dem Neusilberdrahte einzuschalten oder auszuschließen, um die Magnetnadel in ihre frühere Gleichgewichtslage zu bringen. δ ist also eine sehr kleine Größe im Verhältnisse zu r und r_1 ; woraus folgt, daß man das letzte Glied in den beiden vorstehenden Gleichungen vernachlässigen kann, um dadurch wieder zu (3) und (4) zu gelangen. Da es sehr leicht war, diese Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze zu prüfen, so wurden die folgenden Versuche angestellt. Ein Magnetinductor ¹⁾, der aus einer Drahtrolle be-

1) Dieser Inductor war von Hrn. Prof. Weber für einen anderen Zweck schon früher construirt worden.

stand, in welcher ein runder Holzstab sich aufwärts und abwärts bewegen konnte, wurde bei d in die Leitung eingeschaltet. In den beiden Enden des Stabes waren zwei Magnete, mit den feindschaftlichen Polen gegen einander eingesetzt. Der Stab konnte so weit nach oben und nach unten geführt werden, daß der in demselben befindliche Magnet, bis in die Mitte der Rolle kam. Vermittelst eines Hebels wurde der Stab durch einen Tritt mit dem Fulse in Bewegung gesetzt. Hierdurch hatte man also einen Elektromotor von constanter Kraft und man hatte bloß die Ausschläge der Nadel für die beiden Fälle zu beobachten, wo die Leitung cab eingeschaltet oder ausgeschlossen war. Wenn die Ausschläge gleich groß waren, so war es deutlich, daß die Leitung cab keinen Einfluß hatte. Mit Hilfe einer Säule wurden nun r und r_1 so abgepaßt, daß die Einwirkung der zwei Hauptströme auf die Magnetnadel entweder aufgehoben wurde oder einen größeren oder geringeren Ausschlag bewirkte. Dann wurde die Säule aufgelöst und statt deren entweder ein dicker, einen halben Fuß langer Kupferdraht oder eine Drahtrolle von größerem Widerstande zwischen c und b eingeschaltet. Die Säule konnte als Leitung nicht benutzt werden, weil der von derselben kommende, durch den Magnetinductor gehende Strom den Magnetismus der inducirenden Magnete und folglich auch ihre elektromotorische Kraft verändert hätte. Es war auch natürlicherweise gleichgültig, woraus die Leitung cab bestand.

No. 1.

Die Kette offen $\mu r_1 = \lambda r$

Gleichgew. der Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
510,0	625,0	115,0
510,0	395,3	114,7
510,0	624,9	114,9
509,6	394,9	114,7
509,6	624,8	115,2
		Mittel 114,90

No. 2.

Ein $\frac{1}{2}$ Meter langer Kupferdraht war zwischen c und b eingeschaltet. $\mu r_1 = \lambda r$

Gleichgew. d. Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
510,9	625,9	115,0
510,9	396,2	114,7
510,8	625,7	114,9
510,5	396,0	114,5
510,4	625,8	115,4
Mittel		114,90

No. 3.

Eine Drahtrolle zwischen c und b eingeschaltet. $\mu r_1 = \lambda r$

Gleichgew. d. Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
511,0	625,9	114,9
510,8	396,0	114,8
510,5	625,7	115,2
510,3	395,9	114,4
510,3	625,7	115,4
Mittel		114,94

No. 4.

Die zwei Hauptströme bewirkten einen Ausschlag von 6 Scalentheilen. Keine directe Leitung zwischen c und b .
 $\mu r_1 = \lambda (r - \delta)$

Gleichgew. d. Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
509,5	624,5	115,0
509,6	395,0	114,6
509,5	624,3	114,8
509,3	395,0	114,3
509,1	624,0	114,9
Mittel		114,72

No. 5.

Der $\frac{1}{2}$ Meter lange Kupferdraht war zwischen c und b eingeschaltet. $\mu r_1 = \lambda (r - \delta)$

Gleichgew. d. Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
509,0	623,9	114,9
509,0	394,5	114,5
508,9	623,8	114,9
508,9	394,4	114,5
508,6	623,5	114,9
Mittel		114,74

No. 6.

Eine Drahtrolle zwischen c und b eingeschaltet. μr_1
 $= \lambda (r - \delta)$

Gleichgew. d. Nadel.	Ausschlag.	Unterschied.
508,7	623,4	114,7
508,8	394,1	114,7
508,5	623,1	114,6
508,4	394,0	114,4
508,1	623,1	115,0
Mittel		114,68

Weil die drei ersten wie die drei letzten Mittel unter sich gleich sind, so ergibt sich daraus, daß die Gleichungen (3) und (4) gültig sind, wenn auch die Hauptströme einen Ausschlag von 6 Scalentheilen verursachen, d. h. ungefähr einen doppelt so großen, als wie er in den folgenden Versuchen vorkommt. Daß die Mittel in den drei ersten Versuchen etwas größer sind als die in den drei letzten, rührt davon her, daß bei diesen der Widerstand größer war als bei jenen. War der Ausschlag 90 Scalentheile, so bewirkte die directe Verbindung zwischen c und b einen Unterschied von einem und für 280 Scalentheile einen Unterschied von drei Procenten.

VIII.

Wenn die Einwirkung der zwei Hauptströme sich nicht ausgleicht, so würde die Directionskraft der Nadel nicht die nämliche verbleiben, wenn die Säule in der Leitung sich befände. Ist die Kette offen, so oscillirt die Nadel bloß unter dem Einflusse des Erdmagnetismus und der durch

eine dicke, die Magnetnadel umgebende Metallhülse verursachten Dämpfung. Ist sie aber geschlossen, so wird die Directionskraft der Nadel die Resultante des Erdmagnetismus und der ablenkenden Kraft der Säule. Da aber die durch die Inductions-kraft bewirkten Ausschläge der Nadel klein sind (die größten überstiegen kaum $\frac{1}{3}$ Grad), so ist es leicht einzusehen, daß die Gröfse der Directionskraft der Nadel unverändert bleibt, während die Richtung derselben sich mehr oder weniger verändert. Man kann nämlich für die Sinus der Ausschlagswinkel die entsprechenden Bögen setzen. Was die Dämpfung betrifft, so hat Hr. Gauss ¹⁾ unter andern gezeigt, daß dieselbe der Geschwindigkeit der Nadel proportional gesetzt werden kann. Diefs geht auch, wie wir sehen werden, aus den Beobachtungen selbst hervor. Nennt man den veränderlichen Ausschlagswinkel x , die Directionskraft der Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, dividirt mit dem Trägheitsmomente derselben m , und ist überdies $2n$ eine Gröfse, die von der Dämpfung abhängig und mit dem Trägheitsmomente dividirt ist, so hat man

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = - m x - 2n \frac{dx}{dt}$$

Wenn aber die Kette geschlossen ist, und die zwei Hauptströme einander nicht aufheben, so kommt noch eine neue auf die Nadel wirkende Kraft hinzu, welche, obgleich eigentlich dem Cosinus der Ablenkungswinkel proportional, doch, weil diese sehr klein sind, als vollkommen constant betrachtet werden kann. Diese Kraft ist gleich $m_0 x_0$, wo m_0 die Directionskraft der Nadel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus und x_0 den Abstand der zwei Gleichgewichtslagen von einander, in Scalentheilen ausgedrückt, bedeuten. Dividirt man nun $m_0 x_0$ mit dem Trägheitsmomente der Magnetnadel, wodurch m_0 in m übergeht, so erhält man die folgende Differential-Gleichung für den Fall, daß die Kette geschlossen ist,

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = - m x - m x_0 - 2n \frac{dx}{dt} \dots \dots (8)$$

1) Resultate aus den Beobachtungen des magnet. Vereins im Jahre 1837.

Wenn man in dieser Gleichung $y = x + x_0$ setzt, so erhält man

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -my - 2n \frac{dy}{dt} \dots \dots (9)$$

In der Gleichung (9) geht y auf dieselbe Weise ein, wie x in der Gleichung (7), und weil y nichts anders ist, als der veränderliche Abstand der Nadel von der Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen ist, so geht daraus hervor, daß die Nadel auf dieselbe Weise um diese Gleichgewichtslage oscillirt, wie sie, wenn die Kette offen wäre, um die von dem Erdmagnetismus bestimmte Ruhelage oscilliren würde.

IX.

Daraus, daß die zwei Hauptströme einander nicht aufheben, folgt endlich, daß die momentane Einwirkung der Inductionsströme die Nadel nicht in der Gleichgewichtslage trifft, die ihr zukommt, während sie den dadurch bewirkten Ausschlag macht, oder mit anderen Worten, nicht in der Lage, in welcher sie stehen bleiben würde, wenn sie augenblicklich nach dem Ausschlage zur Ruhe gelangen konnte, sondern in einem Punkte p , der um einen oder mehrere (x) Scalentheile von dieser Gleichgewichtslage entfernt ist. Nun leuchtet aber von selbst ein, daß die Geschwindigkeit, die der Magnetnadel in dem Punkte p von dem momentanen Strome ertheilt wird und zufolge deren sie einen bestimmten Ausschlag u , von der Gleichgewichtslage aus gerechnet, macht, die nämliche seyn muß, als die Geschwindigkeit, die die Nadel in demselben Punkte gehabt haben würde, wenn sie von einem Punkte u , gekommen wäre, der so weit von der Gleichgewichtslage abstände, daß die Nadel ohne Einfluß fremder Kräfte denselben Ausschlag u hätte machen können. Um die der Nadel durch den Inductionsstrom ertheilte Geschwindigkeit zu finden, ist es also hinreichend die Geschwindigkeit derselben während einer ungestörten Schwingung in der Nähe der Gleichgewichtslage bestimmen zu können. Die Geschwindigkeit, die die

Nadel im Punkte p haben muß, um den Ausschlag u zu machen, wird also ein Maafs des Inductionsstromes. Die Voraussetzungen, die dabei gemacht sind, dafs die Lage der Nadel hinsichtlich der Umwindungen in einem beliebigen Punkte in der Nähe der Gleichgewichtslage als die nämliche betrachtet werden könne und dafs die Einwirkung des Inductionsstromes in einem einzigen Punkte die Nadel treffe, sind bei dem angewandten Apparate vollkommen erlaubt. Wenn x , m und n dieselbe Bedeutung wie in No. 8 behalten, so hat man für die beiden Fälle, dafs die Kette offen oder geschlossen ist

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -mx - 2n \frac{dx}{dt}.$$

Nennt man die Geschwindigkeit der Nadel h , integrirt und bestimmt die Constanten so, dafs die Geschwindigkeit Null und der Ausschlag u_1 wird, wenn die Zeit Null ist, so erhält man

$$h = -\frac{u_1 m}{\sqrt{m-n^2}} \sin t \sqrt{m-n^2} e^{-nt}; \dots (10)$$

$$x = u_1 \left(\cos t \sqrt{m-n^2} + \frac{n}{\sqrt{m-n^2}} \sin t \sqrt{m-n^2} \right) e^{-nt} \quad (11)$$

Bedeutet T die Zeit einer ganzen Schwingung, so ist

$$T = \sqrt{\frac{\pi}{m-n^2}} \dots \dots \dots (12)$$

Aus den Gleichungen (10) und (11) erhält man

$$h = -nx \pm \sqrt{u_1^2 - \left(\frac{m-n^2}{m}\right) e^{2nt} x^2} \sqrt{m} e^{-nt}. \dots (13)$$

Weil in der Gleichung (13) der numerische Werth der Quadratwurzel immer gröfser als nx ist, so muß man, da die Geschwindigkeit nach der Gleichung (10) als negativ zu betrachten ist, immer minus vor die Wurzel setzen, oder wenn man die Geschwindigkeit als positiv ansehen will, so müssen beide Glieder das Vorzeichen plus erhalten. — Nun kann aber nicht u , sondern nur u beobachtet werden. Allein zwischen diesen beiden Gröfsen findet nach der Gleichung (11) das Verhältnifs statt, dafs

$$u_1 = ue^{nT}$$

Um u' aus u zu bestimmen, ist es also nothwendig die Dämpfung zu kennen, welche sich mit Genauigkeit auf folgende Weise finden läßt ¹⁾. Der oben beschriebene Magnetinductor wurde in die Leitung eingeschlossen. Nun wurde die Magnetnadel mittelst desselben nach der einen Seite abgestoßen. Dann liefs man die Nadel ihre Gleichgewichtslage frei passiren und auf die andere Seite übergehen. Wenn darauf die Nadel wieder in der Gleichgewichtslage angelangt war, wurde sie durch den Inductor nach derselben Seite hin zurückgeworfen; darauf liefs man sie wieder die Gleichgewichtslage frei passiren und auf die erste Seite übergeben und wenn sie von da wieder in die Gleichgewichtslage kam, wurde sie zurückgeworfen u. s. w. Nachdem die Nadel, auf diese Weise einige Schwingungen gemacht hatte, wurden die Ausschläge durch die Dämpfung constant und die eigentlichen Beobachtungen begannen. Fig. 2, Taf. I macht die Bewegungen der Magnetnadel anschaulich. a ist die Gleichgewichtslage, b und c sind die aufeinander folgenden Ausschläge.

No. X.

Die Gleichgewichtslage der Nadel = 511,5

560,0	604,0	462,0	419,6
560,6	604,0	462,5	419,7
561,2	603,8	463,0	419,5
561,0	604,0	462,5	419,7
560,9	604,0	462,4	419,7
561,0	604,0	462,8	419,9
561,0	604,2	462,5	420,0
561,0	604,0	462,6	419,6
561,0	604,0	462,7	419,5
560,8	603,9	462,3	419,2
560,5	603,9	462,0	419,0
560,82	603,98	462,48	419,58

Subtrahirt man das letzte Mittel von dem zweiten und das dritte von dem ersten und dividirt den letzten Rest mit dem ersten, so erhält man

$$e^{-nT} = 0,5333 \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

1) Die treffliche Methode die Dämpfung zu bestimmen, gehört Herrn Prof. Weber.

und daraus

$$\log nT = 0,79843 - 1.$$

Wenn der Werth von u_1 und die dem Punkte x entsprechende Zeit in die Gleichung (13) eingesetzt werden, so erhält man die Geschwindigkeit der Nadel in diesem Punkte. Bezeichnet man mit t_0 die Zeit, die die Nadel braucht um bis zu der Gleichgewichtslage zu kommen und mit y die Zeit, die sie nöthig hat um von der Gleichgewichtslage nach x zu gelangen, wobei y positiv oder negativ seyn kann, so hat man für die x entsprechende Zeit $t = t_0 + y$.

Aus den Gleichungen (11) und (12) hat man

$$Tg \frac{t_0 \pi}{T} = - \frac{\pi}{nT} \text{ und daraus } t_0 = 0,563 T.$$

Wenn man p statt $\frac{n}{\sqrt{m}}$ schreibt, so erhält man aus der Gleichung (12)

$$nT = \frac{\pi p}{\sqrt{1 - p^2}}$$

und wird dieses in die Gleichung (15) eingesetzt, so findet man, daß $p = 0,1962$ und daraus $\frac{n}{\sqrt{m - n^2}} = 0,2001$.

Setzt man statt dieses Ausdruckes dessen Werth in die Gleichung (11) ein, und schreibt $t_0 + y$ statt t , so wird $x = u \left(\cos \left(\frac{t_0 \pi + y \pi}{T} \right) + 0,2001 \sin \left(\frac{t_0 \pi + y \pi}{T} \right) \right) e^{0,437 nT - ny}$ und daraus, weil Cosinus bei der Entwicklung verschwindet

$$\sin \frac{y \pi}{T} e^{-ny} = - 0,7449 \frac{x}{u}$$

Wenn man blofs die erste Potenz von y beibehält, was hinreichend ist, so wird

$$y = - 0,237 \frac{x}{u} T$$

Wenn man in die Gleichung (13) statt t dessen Werth $(0,563 T - 0,237 T \frac{x}{u})$ einsetzt, entwickelt und blofs die

zwei ersten Potenzen von x beibehält, so hat man für die Geschwindigkeit der Nadel in einem beliebigen Punkte in der Nähe der Gleichgewichtslage den folgenden Ausdruck

$$h = \sqrt{m} e^{0,437 n T} \left(u + 0,3 x - 0,27 \frac{x^2}{u} \right) \dots (16)$$

Will man h in Function des primitiven (imaginären) Ausschlages u_1 ausdrücken, so findet man

$$h = \sqrt{m} e^{0,437 n T} \left(0,5333 u_1 + 0,3 x_1 - 0,5 \frac{x_1^2}{u_1} \right) \dots (17)$$

In diesen beiden Formeln ist natürlich x als positiv oder negativ zu betrachten, je nachdem es auf derselben oder der entgegengesetzten Seite der Gleichgewichtslage in Hinsicht auf den primitiven Ausschlag u_1 sich befindet.

Um zu sehen mit welcher Genauigkeit die Geschwindigkeit der Nadel für einen beliebigen Punkt in der Nähe der Gleichgewichtslage sich aus den Gleichungen (16) und (17) finden lasse, kann man dieselbe mit derjenigen vergleichen, die man aus den Gleichungen (10) und (11) erhält.

Wenn man die Gleichung (10) differentiirt, so findet man, daß die Geschwindigkeit der Nadel für $t = 0,437 T$ am größten ist. Wird dieser Werth von t in die Gleichung (11) eingesetzt, so sieht man, daß dies in einem Punkte $x = 0,298 u_1$ stattfindet. Aus den Gleichungen (16) und (17) erhält man dagegen für x $0,296 u_1$ und $0,3 u_1$; welche Werthe sich von dem aus der Gleichung (11) erhaltenen unbedeutend unterscheiden. Da x in den folgenden Beobachtungen diesen Werth nicht übersteigt, so können also die erwähnten Formeln benutzt werden, um die Geschwindigkeit der Nadel mit hinreichender Genauigkeit zu finden.

Im Vorbeigehen kann bemerkt werden, daß aus den Gleichungen (10) und (11) folgt, daß die Zeit, die die Nadel braucht um bis zu dem Punkte zu gelangen, wo die Geschwindigkeit am größten ist, derjenigen Zeit gleich ist, die sie anwendet, um den Bogen u zu beschreiben und

dafs diefs von der Gröfse der Dämpfung unabhängig ist. Im vorliegenden Falle ist diese Zeit = 0,437 T.

X.

Wir gehen nun zu den eigentlichen Beobachtungen über.

Nachdem die Inductionsrolle d in den einen, und eine Widerstandsrolle in den anderen Leitungsdraht eingeschaltet, und die Widerstände der zwei Drähte so abgepaßt worden waren, dafs die Hauptströme einander ausglich, so erhielt ich mit einem schwach geladenen Grove'schen Becher beim Oeffnen und Schliessen der Kette einen Ausschlag von 2 Scalentheilen. Dann wurden 80 Meter von der Widerstandsrolle über die in No. 5 erwähnten Glasstangen gewunden, wodurch der Ausschlag bis zu 4,0 Scalentheilen vergrößert wurde. Für die folgenden 78 Meter stieg der Ausschlag auf 5,0; für die darauf folgenden 78 Meter auf 7,5 und endlich für die zuletzt aufgewundenen 78 Meter bis auf 8,5 Scalentheile. Dieses beweist, dafs die zu untersuchenden Inductionsströme von der Einwirkung des Hauptstromes auf sich selbst herrühren. Bei diesen, wie bei allen folgenden Versuchen, war kein Eisen in der Inductionsrolle.

Die Zahlen der 6. und 7. Columnne der folgenden Tabelle sind, wo es nöthig war, nach der Formel (16) berechnet worden. Für die 6. Columnne ist u der Unterschied der Zahlen in der 2. und 3. Columnne und für die 7. Columnne der Unterschied der Zahlen in der 4. und 5. Für die 6. Columnne erhält man x durch Subtraction der Zahlen in der 1. und 3. und für die 7. Columnne durch Subtraction der Zahlen in der 3. und 5.

No. 8.

Ein Grove'scher Becher. Die Stromstärke vor dem Versuche 56,2.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Oeffnen.	Gleichgewichtslage während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Gleichgewichtslage während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Oeffnen.	Schließen.
509,0	521,9	509,2	496,1	509,0	12,8	13,0
509,0	521,8	509,6	497,1	509,0	12,4	12,1
509,0	521,8	509,5	496,9	509,2	12,4	12,4
509,0	521,4	509,0	497,0	510,5	12,4	13,0
509,5	521,4	509,3	497,3	510,0	12,0	12,5
509,0	520,9	509,2	496,1	508,7	11,8	12,7
Mittel					12,30	12,62

Die Stromstärke nach dem Versuche 52,1. Das Mittel aus beiden 54,2.

No. 9.

Derselbe Becher wie vorher. Der Strom in der entgegengesetzten Richtung. Die Stromstärke 47,6.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Oeffnen.	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Oeffnen.	Schließen.
505,0	494,9	504,9	516,2	505,0	10,0	11,2
505,0	494,7	504,2	516,0	504,0	9,7	11,9
504,0	493,6	503,1	514,3	502,8	9,7	11,4
502,8	492,4	502,0	513,0	501,8	9,8	11,1
501,8	492,3	503,0	513,8	502,5	10,3	11,1
502,5	493,3	503,6	513,8	502,5	9,9	10,9
503,0	493,8	503,9	513,8	502,0	9,8	11,1
504,0	493,6	503,4	514,9	503,8	10,0	11,2
503,8	493,6	503,0	513,9	503,1	9,6	10,8
503,0	493,3	502,8	513,4	502,9	9,6	10,5
Mittel					9,84	11,12

Die Stromstärke 44,3. Das Mittel aus beiden 46,0.

No. 10.

Zwei Grove'sche Becher. Die Stromstärke 85,2.

Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Öffnen.	Schließen.
500,0	481,0	498,0	518,9	500,8	17,5	18,8
498,0	480,4	498,1	518,0	499,0	17,7	19,3
498,1	480,3	498,3	518,2	500,0	17,9	18,7
498,0	480,8	498,5	516,1	495,0	17,5	19,9
498,5	481,7	498,9	518,2	500,5	17,1	18,1
499,0	482,1	500,3	519,0	501,0	17,8	18,2
499,0	481,5	499,0	518,8	501,5	17,5	18,0
500,0	483,0	500,8	519,5	501,0	17,6	18,6
501,0	483,6	501,0	519,9	500,8	17,4	19,0
500,9	483,0	500,3	519,0	500,3	17,5	18,7

Mittel 17,55 | 18,73

Die Stromstärke 80,9. Das Mittel aus beiden 83,1.

No. 11.

Drei Grove'sche Becher. Die Stromstärke 116,2.

Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Öffnen.	Schließen.
504,0	478,3	503,8	533,0	504,8	25,6	28,5
504,0	478,6	503,5	532,0	505,0	25,0	27,1
504,0	478,4	503,9	531,1	503,9	25,5	27,2
504,0	479,0	504,1	531,1	504,1	25,1	27,0
504,0	479,1	504,2	531,3	504,0	25,0	27,2
504,0	479,1	504,1	531,5	504,0	25,0	27,5
504,0	479,0	504,4	532,0	504,6	25,3	27,5
505,0	480,2	505,0	532,2	505,0	24,8	27,2
505,0	480,1	505,0	532,5	505,2	24,9	27,4
505,5	480,4	504,9	532,0	505,9	24,7	28,4

Mittel 25,09 | 27,33

Die Stromstärke 111,0. Das Mittel aus beiden 113,6.

No. 12.

Dieselben drei Becher wie vorher. Der Strom in der entgegengesetzten Richtung. Die Stromstärke 111,0.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Oeffnen.	Schließen.
504,0	526,9	502,7	477,1	503,5	23,8	26,2
503,3	526,7	502,3	477,4	503,5	24,1	25,7
502,9	526,0	502,1	477,0	503,1	23,7	25,8
502,0	525,8	502,9	477,4	503,5	23,2	25,9
503,0	527,0	503,0	477,3	503,0	24,0	25,7
Mittel					23,76	25,86

Die Stromstärke 105,8. Das Mittel aus beiden 108,4.

No. 13.

Dieselben drei Becher wie vorher. Ein Polarisationsgefäß, das aus einem Glase mit Schwefelsäure und Wasser bestand, worin zwei Platinbleche eingesetzt waren, war in der ungetheilten Leitung eingeschlossen. Die Stromstärke 34,7.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Oeffnen.	Schließen.
508,0	500,5	508,0	517,0	507,3	7,5	9,5
507,2	500,5	507,9	516,0	506,9	7,2	8,8
508,1	501,7	508,0	517,0	508,3	6,3	8,8
508,1	501,1	508,0	517,0	508,6	6,9	8,6
508,9	501,5	508,5	517,4	509,0	7,1	8,5
509,0	502,0	508,9	517,5	509,6	6,9	8,1
508,5	503,0	510,6	518,6	510,0	6,8	8,4
511,0	505,1	513,0	520,5	512,0	7,2	8,2
513,0	506,6	513,1	521,5	513,0	6,5	8,5
Mittel					6,93	8,60

Die Stromstärke 32,8. Das Mittel aus beiden 33,8.

No. 14.

Dieselben drei Becher wie vorher. Das Polarisationsgefäß wurde ausgelöst und statt dessen eine Drahtrolle in die ungetheilte Leitung eingeschaltet. Die Stromstärke 45,0.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Oeffnen.	Schließen.
515,1	505,0	514,1	525,0	514,3	9,4	10,8
514,3	504,0	513,0	524,0	513,0	9,3	11,0
513,0	502,7	511,5	522,1	511,9	9,2	10,3
511,9	501,0	510,3	521,0	510,2	9,7	10,8
510,0	500,1	509,6	520,0	509,1	9,6	10,7
509,3	499,6	509,0	519,7	509,2	9,5	10,6
509,2	499,4	508,9	519,5	509,2	9,6	10,4
509,0	499,0	509,0	519,1	509,1	10,0	10,0
509,1	499,1	509,0	519,1	509,0	9,9	10,1
509,0	499,1	509,0	519,0	508,9	9,9	10,1
Mittel 9,61					10,48	

Die Stromstärke 44,5. Das Mittel aus beiden 44,8.

XI.

Aus den vorhergehenden Versuchen könnte man beim ersten Augenblicke folgern, daß für dieselbe Stromstärke der Anfangsstrom immer etwas größer als der Endstrom wäre. Es ist aber nothwendig, ehe man eine solche Folgerung zieht, genau zu untersuchen, ob die Stromstärke in den beiden Fällen vollkommen die nämliche sey. Wenn man in den Versuchen No. 11, 12 und 14 das Mittel in der vorletzten Column von dem Mittel in der letzten subtrahirt und den Rest mit dem Mittel in der letzten dividirt, so erhält man respective 0,062, 0,081 und 0,083; für den Versuch No. 13 aber 0,194. Für die Versuche No. 9 und 10 erhält man auf dieselbe Weise 0,115 und 0,063. Diese Zahlen sind also constant für denselben Rheomotor, wachsen, wenn ein Polarisationsgefäß in die Leitung eingeschlossen wird und verändern sich im Allgemeinen von einem Rheomotor zu einem anderen. Daß dieselben von der Zeit,

während welcher die Kette in Wirksamkeit gewesen ist, abhängen, geht aus den Versuchen No. 8 und 9 hervor. No. 8 fand nämlich statt, sobald die Kette geschlossen worden war, und erst nach Verlauf einiger Zeit folgte No. 9. Diese Umstände ließen schon vermuthen, daß der beobachtete Unterschied der zwei Inductionsströme von einer durch die Polarisation in der Säule selbst hervorgebrachten Verminderung der inducirenden Stromstärke herrührte. Wenn nämlich eine Polarisation in der Säule stattfindet, so geht daraus von selbst hervor, daß, weil diese sich nicht augenblicklich entwickeln kann und allmählig verschwindet, wenn die Kette geöffnet wird, die Stromstärke beim Schließen der Kette größer ist als beim Oeffnen und daß der Unterschied, wenigstens bis zu einer gewissen Gränze, mit der Zeit, während welcher die Kette offen oder geschlossen geblieben ist, wachsen muß. Dasselbe Verhältniß muß auch mit den inducirten Strömen stattfinden, weil diese, wie die vorhergehenden Versuche zeigen, mit dem inducirenden Strome wachsen und abnehmen. Wenn also diese Zeit für die Beobachtungen verkürzt wird, so muß der Unterschied der Inductionsströme, wenn nämlich derselbe von einer Polarisation in der Säule herrührt, kleiner werden. Da, um dieses zu untersuchen, die in den vorigen Versuchen angewandte Beobachtungsmethode nicht benutzt werden konnte, weil die Säule nach jeder Beobachtung so lange offen oder geschlossen bleiben mußte, bis die Magnetnadel in Ruhe kam, wozu gewöhnlich eine Minute nöthig war, so wurde eine ähnliche Methode, wie für die Bestimmung der Dämpfung angewandt.

Durch das Oeffnen und Schließen der Kette wurde die Magnetnadel in Bewegung gesetzt und jedes zweite Mal, wenn die Nadel in einem bestimmten Punkte in der Nähe der Gleichgewichtslage ankam, wurde sie durch Oeffnen oder Schließen der Kette zurückgeworfen. Die Summe der Geschwindigkeiten, die die Nadel beim Zurückwerfen besaß, und die sie in entgegengesetzter Richtung dadurch erhielt, war ein Maas des Inductionsstromes. Da die Oscillations-

dauer der Magnetnadel ungefähr $8\frac{1}{2}$ Sekunden betrug, so war die Kette bei diesem Beobachtungsverfahren jedesmal bloß 17 Sekunden offen oder geschlossen. Nennt man H die ganze der Magnetnadel durch den Inductionsstrom ertheilte Geschwindigkeit, so erhält man durch Addition der Gleichungen (16) und (17)

$$H = \sqrt{me}^{0,437 n T} \left(u + 0,5333 u_1 + 0,3 x + 0,3 x_1 - 0,27 \frac{x^2}{u} - 0,5 \frac{x_1^2}{u_1} \right) \quad (18)$$

u ist wie früher der durch das Oeffnen oder Schließen der Kette bewirkte Ausschlag der Nadel und x der Abstand des Punktes, wo die Nadel zurückgeworfen wird, von derjenigen Gleichgewichtslage, die ihr zukommt, während sie den Ausschlag u macht. u_1 bedeutet den Abstand der Gleichgewichtslage der Nadel während der letzten Schwingung vor dem Zurückwerfen von dem Punkte, wo ihre Geschwindigkeit Null war, und x_1 den Abstand des Punktes, wo die Nadel zurückgeworfen wird, von der letztgenannten Gleichgewichtslage. Es ist deutlich, daß x und x_1 im Allgemeinen nicht gleich groß sind, weil die Gleichgewichtslage der Nadel sich verändert, wenn die Kette geöffnet oder geschlossen wird. Die Gleichgewichtslagen können nicht hier, wie in den vorigen Versuchen, direct beobachtet werden, weil die Nadel nicht zur Ruhe kommt; aber sie lassen sich mit Hülfe der Gleichung (14) leicht berechnen. Ist nämlich y die Ruhelage der Nadel während einer gewissen Schwingung und v_1 und v die Punkte, wo ihre Geschwindigkeit Null ist, so hat man nach der Gleichung (14)

$$(v_1 - y) 0,5333 = y - v,$$

und daraus

$$y = \frac{v + 0,5333 v_1}{1,5333} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

Nach dieser Formel sind bei den folgenden Beobachtungen die Gleichgewichtslagen der Nadel berechnet worden.

No. 15.

Zwei Grove'sche Becher. Die Kette wurde geöffnet und

geschlossen, sobald die Magnetnadel zur Ruhe kam. Die Stromstärke 56,0.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette offen war.	beobachtet während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette geschlossen war.	beobachtet während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Schließen.
506,0	518,1	500,0	506,3	506,1	492,0	513,8	506,2	506,0	11,9	14,2
506,0	518,4	500,1	506,5	506,7	493,2	514,3	506,9	507,1	12,0	13,6
507,0	518,9	500,2	506,7	506,8	492,9	513,9	506,6	506,0	12,1	13,8
506,5	518,9	500,4	506,8	506,9	493,1	514,1	506,8	506,4	12,2	13,7
506,4	518,8	500,5	506,9	506,9	493,0	513,8	506,5	506,9	12,0	13,6
506,9	518,9	500,6	506,9	507,0	493,0	513,9	506,6	506,4	12,0	13,7
507,5	518,8	500,7	507,0	507,0	493,0	514,0	506,7	506,8	11,9	13,8
507,0	518,6	500,1	506,5	506,8	493,4	514,9	507,4	507,0	11,9	13,8
Mittel									12,0	13,78

Die Stromstärke 53,4. Das Mittel aus beiden 54,7.

Die in der dritten und siebenten Columnne vorkommenden Zahlen sind, was wir oben σ genannt haben, oder die Punkte, wo die Geschwindigkeit der Nadel unmittelbar nach dem vom Inductionsstrome bewirkten Ausschlag Null war. In der vierten und achten Columnne sind die aus den Zahlen in der zweiten und dritten sammt sechsten und siebenten nach der Formel (19) berechneten Ruhelagen aufgenommen worden. In der fünften und sechsten Columnne findet man die beobachteten Ruhelagen, nachdem die Nadel zu Ruhe gekommen war. Man sieht, daß die berechneten und beobachteten Ruhelagen sich wenig von einander unterscheiden und daß jene in den meisten Fällen, wie es seyn muß, zwischen zwei aufeinander folgenden beobachteten Ruhelagen liegen. Diefs ist ein Beweis für die Genauigkeit der Formel (19) und der Gleichungen, aus welchen sie abgeleitet worden ist, also auch dafür, daß die Dämpfung der Geschwindigkeit der Nadel proportional gesetzt werden kann. Die zwei letzten Columnnen sind nach der Formel (16) berechnet worden.

No. 16.

Dieselben zwei Becher, wie vorher. Die Magnethadel wurde bei 506,0 durch Oeffnen oder Schliessen der Kette zurückgeworfen. Die Stromstärke 57,7.

				Gleichgewichtslage berechnet während die Kette geschlossen offen war.		Ausschlag beim	
						Oeffnen	Schliessen
516,1	502,0	495,7	512,0	506,9	506,4	12,3	13,4
516,1	502,0	496,0	512,0	506,9	506,4	12,3	13,1
516,1	502,0	495,9	512,0	506,9	506,4	12,3	13,2
516,1	502,0	496,0	512,2	506,9	506,5	12,3	13,1
516,1	502,0	496,0	512,3	506,9	506,6	12,3	13,2
516,1	502,0			506,9			
Mittel						12,3	13,2

Die Stromstärke 55,8. Das Mittel aus beiden 56,8.

Die vier ersten Columnen sind mit den vier ersten der Tabelle (7) analog. Die Zahlen der fünften Columnne sind aus den der zwei ersten und die der sechsten Columnne aus den Zahlen der dritten und vierten Columnne nach der Formel (19) berechnet worden. Die zwei letzten Columnen sind nach der Formel (18) erhalten.

Aus den zwei letzten Versuchen folgt, dass der Unterschied zwischen den Inductionsströmen von der Zeit, während welcher die Kette offen und geschlossen geblieben ist, abhängt. Im Versuche No. 15, wie in allen vorhergehenden, war die Kette die ganze Zeit offen oder geschlossen, die die Nadel brauchte um in Ruhe zu kommen. Im Versuche No. 16 aber folgte das Oeffnen und Schliessen der Kette nach Verlauf zweier Schwingungen oder ungefähr 17 Sekunden. Diefs wird durch die folgenden Versuche bestätigt. Bei diesen war die Polarisation in der Säule sehr stark, was daraus hervorging, dass, wenn ein Becher in entgegengesetzter Richtung wie die zwei übrigen gestellt wurde, der Ausschlag beim Schliessen der Kette nicht mehr als drei Scalentheile betrug und beim Oeffnen derselben unmerklich war. Diefs konnte nicht von einer Verschieden-

heit der elektromotorischen Kraft der verschiedenen Becher herrühren, weil das Resultat unverändert blieb, welcher von den drei Bechern auch in seiner Richtung umgekehrt werden mochte.

No. 17.

Drei Grove'sche Becher. Die Kette wurde geöffnet und geschlossen, sobald die Nadel zur Ruhe kam. Die Stromstärke 79,6. Die Columnen stehen in derselben Ordnung wie in No. 15.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette offen war.	beobachtet während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette geschlossen war.	beobachtet während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Schließen.
512,0	495,0	521,0	512,0	512,0	534,9	498,5	511,2	511,8	17,0	23,8
511,9	494,3	521,0	511,7	512,0	535,1			512,6	17,3	22,7
513,0	495,3	522,1	512,8	513,0	536,0	501,0	513,1	514,0	17,6	22,9
514,0	496,2	523,9	514,2	514,6	538,5	500,5	513,7	514,5	17,9	24,5

Mittel 17,45|23,48

Die Stromstärke 81,0. Das Mittel aus beiden 80,3.

Der folgende Versuch wurde so angestellt, daß *jedesmal*, wenn die Nadel in einem bestimmten Punkte in der Nähe der Gleichgewichtslage ankam, ihre Geschwindigkeit durch Öffnen oder Schließen der Kette vergrößert wurde. Nachdem die Nadel auf diese Weise einige Schwingungen gemacht hatte, wurden die Ausschläge, wie im Versuche No. 16, constant. Weil die Nadel keine ganze Schwingung ungestört machte, so konnten ihre successiven Ruhelagen nicht berechnet werden. Die Ruhelage wurde deswegen vor und nach dem Versuche beobachtet, und man nahm an, daß sie während desselben sich der Zeit proportional verändert habe. Auf diese Weise war die Kette nur ungefähr $8\frac{1}{2}$ Sekunden offen oder geschlossen. Die zwei letzten Columnen sind nach einer Formel, die man erhält, wenn

man die Gleichung (17) von der Gleichung (16) subtrahiert, berechnet worden.

No. 18.

Dieselben drei Becher, wie in No. 17. Die Kette wurde bei 520,0 geöffnet und geschlossen. Die Stromstärke 81,0.

Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schlie- ßen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette ge- schlossen war.	Ausschlag beim	
				Öffnen.	Schließen.
480,0	520,9	563,7	521,1	18,3	20,9
480,1	521,2	563,2	521,3	18,7	20,0
480,6	521,4	563,0	521,6	18,8	19,7
481,0	521,6	562,9	521,9	18,9	19,4
481,1	521,8	562,6	522,1	19,2	18,9
482,0	522,1	562,2	522,4	19,0	18,5

Mittel 18,82 | 19,57

Die Stromstärke 81,5. Das Mittel aus beiden 81,3.

No. 19.

Dieselben drei Becher wie in No. 18. Jedes zweite Mal, wenn die Nadel in 524,0 ankam, wurde sie durch Öffnen und Schließen der Kette zurückgeworfen. Die Stromstärke 81,5. Diese Tabelle ist mit der in No. 16 analog.

				Gleichgewichtslage		Ausschlag beim	
				offen.	geschlossen	Öffnen.	Schließen
	511,1	532,3	541,9	524,9			
515,1	511,4	532,3	541,8	525,0	524,4	18,4	21,2
515,1	511,8	532,4	541,4	525,2	524,4	18,1	21,0
515,1	511,8	532,4	541,3	525,2	524,2	18,0	20,6
515,2	512,0	532,8	541,8	525,6	524,3	18,1	20,4
515,2	512,0	532,8	541,9	525,6	524,4	18,1	20,7
515,8	512,0	533,0	542,0	525,7	524,9	18,1	20,5
516,0	512,1	533,0			525,0	18,0	20,5

Mittel 18,11 | 20,70

Die Stromstärke 79,9. Das Mittel aus beiden 80,7.

No. 20.

Dieselben drei Becher, wie im vorhergehenden Versuche. In der ungetheilten Leitung war eine Drahtrolle eingeschaltet. Die Magnetonadel wurde bei 513,0 durch Oeffnen oder Schliessen der Kette zurückgeworfen. Die Stromstärke 50,5.

				Gleichgewichtslage		Ausschlag beim	
				offen.	geschlossen.	Oeffnen.	Schliessen.
	504,5	517,0	524,0	512,7			
508,0	504,6	517,1	524,0	512,7	513,5	11,3	13,0
508,1	504,5	517,0	524,0	512,7	513,5	11,2	13,0
508,0	504,5	517,0	524,0	512,7	513,5	11,3	13,1
508,0	504,5	517,0	521,0	512,7	513,5	11,3	13,0
508,1	504,7	517,1	524,0	512,7	513,5	11,3	13,0
508,5	504,9	517,5			513,9	11,2	13,0
Mittel						11,27	13,02

Die Stromstärke 50,0. Das Mittel aus beiden 50,3.

No. 21.

Dieselben drei Becher wie im vorhergehenden Versuche. Die Kette wurde geöffnet und geschlossen, sobald die Nadel zur Ruhe kam. Die Stromstärke 52,7. Diese Tabelle ist analog mit der in No. 15.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Oeffnen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage		Ausschlag beim Schliessen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage		Ausschlag beim	Schliessen.
			berechnet während die Kette offen war.	beobachtet während die Kette offen war.			berechnet während die Kette geschlossen war.	beobachtet während die Kette geschlossen war.		
510,5	500,0	517,3	511,3	511,3	525,5	502,0	510,2	510,9	11,0	14,9
510,9	500,0	517,0	511,1	511,0	525,0	502,1	510,1	510,2	11,0	14,6
510,1	599,5	517,3	511,1	511,1	525,0	502,1	510,1	510,0	11,3	14,6
510,0	499,2	517,0	510,8	510,9	524,2	502,0	509,8	510,0	11,3	11,0
510,2	499,7	517,0	511,0	510,9	524,5			510,5	11,0	13,9
510,5	500,0	517,0	511,1	511,0	524,5	502,3	510,0	510,5	10,9	14,2

Mittel 11,08 | 14,37

Die Stromstärke 51,0. Das Mittel aus beiden 51,9.

No. 22.

Dieselben drei Becher wie vorher. In der ungetheilten Leitung waren zwei Drahtrollen eingeschaltet. Die Stromstärke 42,0: Die Kette wurde geöffnet und geschlossen, sobald die Nadel zur Ruhe kam. Diese Tabelle ist analog mit der vorhergehenden.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette offen war.	beobachtet während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen.	Für die Bestimmung der Gleichgewichtslage.	Gleichgewichtslage berechnet während die Kette geschlossen war.	beobachtet während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Schließen.
511,1	503,0	517,4	512,4	512,5	523,0		511,2	9,0	11,4	
511,6	503,0	517,4	512,4	512,4	523,0	504,9	511,2	9,1	11,4	
511,9	503,0	517,8	512,7	512,7	523,1	505,0	511,3	9,4	11,3	
512,0	503,1	518,0	512,8	513,0	523,9		512,5	9,4	11,2	
512,5	504,0	518,4	513,4	513,3	524,0	505,6	512,0	9,1	11,6	
									Mittel 9,20	11,38

Die Stromstärke 42,2. Das Mittel aus beiden 42,1.

Aus diesen Versuchen geht unstreitig hervor, daß der Unterschied der Inductionsströme von der Zeit abhängt, während welcher die Kette offen oder geschlossen geblieben ist. Im Versuche No. 17 ist dieser Unterschied 6,03 Scalentheile, in No. 19, wo Öffnen und Schließen nach Verlauf von 17 Sekunden aufeinander folgten, ist derselbe nur 2,59, und in No. 18, wo diese Zeit die Hälfte davon ist, beläuft sich der Unterschied auf 0,75. Dieselben Resultate gehen aus No. 20 und 21 hervor. Der nachfolgende Versuch zeigt, daß die Inductionsströme gleich groß werden, wenn die Kette beständig geschlossen ist.

No. 23.

Zwischen *b* und *s* (Figur 1, Tafel 1) wurde ein Leitungsdraht eingeschaltet, dessen Widerstand eben so groß war, wie der in der Leitung *ckb*. Mittels der vorher erwähnten Vorrichtung bei *q*, war es leicht zu bewirken, daß, sobald die Kette bei *q* geöffnet wurde, der erwähnte Leitungsdraht bei *s* eingeschaltet, und, sobald man die Kette

bei q schloß, die directe Leitung zwischen b und s aufgehoben wurde. Die Säule war auf diese Weise in einer stätigen Wirksamkeit, obgleich der Strom nur periodisch durch die Leitungsdrähte ckb hindurchging. Wenn also die Polarisation die Ursache des beobachteten Unterschiedes zwischen den Inductionsströmen war, so mußte derselbe hierdurch verschwinden. Der folgende Versuch beweist, daß dies wirklich der Fall ist.

Vier Grove'sche Becher. Die Kette wurde geöffnet und geschlossen, sobald die Magnetnadel zur Ruhe kam. Zum Vergleich war während der sechs ersten und drei letzten Beobachtungen keine directe Leitung zwischen s und b , während die Kette offen war.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Öffnen.	Schließen
506,0	538,3	506,5	469,0	506,1	31,9	37,2
505,9	536,6	506,3	468,5	505,0	30,4	36,9
506,5	536,7	506,5	469,2	506,0	30,2	36,9
506,1	538,5	506,5	468,8	506,9	32,1	38,0
507,1	537,0	507,0	471,0	506,5	30,0	35,6
506,1	537,9	507,1	469,2	505,0	31,1	36,4

Mittel 30,95 | 36,83

Directe Leitung zwischen b und s , sobald die Kette bei q geöffnet wurde.

Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichtslage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichtslage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Öffnen.	Schließen
506,9	537,0	507,0	475,9	506,1	30,0	30,5
507,0	536,7	507,1	478,0	507,5	29,6	29,4
507,0	536,0	507,5	479,0	507,8	28,6	28,7
508,0	536,0	507,9	479,8	508,1	28,1	28,2
508,0	535,9	508,0	480,0	508,5	27,9	28,3
508,5	535,9	508,0	480,9	509,1	27,7	27,9
508,0	535,4	508,1	480,9	507,8	27,3	27,0
507,5	535,0	508,3	480,9	508,0	26,9	27,2

Mittel 28,26 | 28,40

Keine directe Leitung zwischen *b* und *s*.

Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim Öffnen.	Gleichgewichts- lage, während die Kette offen war.	Ausschlag beim Schließen	Gleichgewichts- lage, während die Kette geschlossen war.	Ausschlag beim	
					Öff- nen.	Schließen
507,8	535,0	508,3	471,6	507,9	26,8	36,4
508,0	536,2	508,6	473,8	508,9	27,8	35,0
509,0	536,4	508,5	472,0	509,0	27,7	36,8
					Mittel 27,43	36,07

Der Unterschied der zwei Inductionsströme ist hier nicht mehr als 0,14 Scalentheile und fällt also innerhalb der Gränze der unvermeidlichen Beobachtungsfehler.

XII.

Dafs die Stromstärke, besonders wenn ein Polarisationsgefäfs in die Leitung eingeschlossen ist, beim Schließen der Kette sehr schnell abnimmt, kann direct nachgewiesen werden, wenn man die Schwingungen der Nadel beobachtet und ihre successiven Gleichgewichtslagen nach der Formel (19) berechnet.

Vier Grove'sche Becher. Ein Polarisationsgefäfs wurde in die Leitung eingeschaltet. Der anderthalb Meter lange Kupferdraht war wie bei der Messung der Stromstärke in die Leitung eingefügt.

Die Schwingungen der Nadel.

Die berechneten Gleichgewichtslagen der Nadel.

348,2	427,0
469,0	435,8
418,1	439,3
450,5	442,0
437,5	443,6
446,9	445,0
444,0.	

In den ersten 45 Sekunden nach dem Schließen der Kette hatte also die Stromstärke um 18 Scalentheile abgenommen, was ungefähr 22 Procent der ganzen Stromstärke ausmachte. Während der darauf folgenden 5 Minuten wurde sie um 5 Scalentheile vermindert und blieb dann eine lange
Zeit

Zeit constant. In einem zweiten Versuche, wo kein Polarisationsgefäß eingeschaltet war und die Kette zwei Minuten vor dem Schließen offen gestanden hatte, war die Abnahme der Stromstärke während der ersten 37 Sekunden 12 Procent und während der darauf folgenden 10 Minuten eben so viel. In einem dritten Versuche, ohne Polarisationsgefäß, wo die Kette nur 4 Sekunden vor dem Schließen geöffnet worden war, belief sich die Abnahme der Stromstärke während der ersten 37 Sekunden auf 6 Procent, während der folgenden 2 Minuten auf 2 Procent und blieb während der darauf folgenden 5 Minuten constant. Man sieht hieraus, daß die Abnahme der Stromstärke vollkommen so, wie der beobachtete Unterschied der Inductionsströme von der Zeit, während welcher die Kette offen gestanden hat, abhängt, und daß dieselbe größer wird, wenn ein Polarisationsgefäß in die Leitung eingeschlossen worden ist. Da überdies aus dem Versuche No. 23 folgt, daß die Inductionsströme gleich groß sind, wenn die Kette beständig geschlossen und die Stromstärke also unverändert bleibt, so ist hierdurch der folgende Satz experimentell bewiesen:

Die beim Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette durch die Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden Inductionsströme sind gleich groß, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen die nämliche ist. Der Unterschied, der oft wahrgenommen wird, rührt von einer durch die Polarisation in der Säule verursachten Verminderung der inducirenden Stromstärke her.

Wenn man die inducirenden Ströme mit den inducirten vergleicht und die letzten unter der Voraussetzung berechnet, daß sie den ersten proportional sind, so erhält man die folgende Tabelle:

Die inducirende Stromstärke	Der Inductionsstrom		Unterschied
	beobachtet	berechnet	
33,8	6,93	7,32	— 0,39
42,1	9,20	9,12	+ 0,08
44,8	9,61	9,71	— 0,10
46,0	9,84	9,97	— 0,13
51,9	11,08	11,24	— 0,16
52,8	11,58	11,44	+ 0,14
54,2	12,30	11,74	+ 0,56
54,7	12,0	11,85	+ 0,15
80,3	17,45	17,40	+ 0,05
83,1	17,55	18,00	— 0,45
108,4	23,76	23,49	+ 0,27
113,6	25,09	24,61	+ 0,48

In diese Tabelle sind nur die Versuche, in welchen die Kette, nachdem die Magnetnadel schon zur Ruhe gekommen war, geöffnet und geschlossen wurde, und nur der Inductionsstrom, der beim Oeffnen entstand, aufgenommen worden. Dafs der Inductionsstrom beim Schliesen der Kette nicht aufgenommen werden konnte, geht daraus hervor, dafs unser Maafs der Stromstärke nicht für den Augenblick gelten kann, in welchem die Kette geschlossen wird, weil die Abnahme der Stromstärke von einem Rheomotor zu einem anderen auf verschiedene Weise variirt. Die dritte Columnne ist aus der ersten durch Multiplication mit 0,21665 erhalten. Da die Unterschiede der berechneten und beobachteten Zahlen nicht gröfser als die Beobachtungsfehler sind, so folgt hieraus:

Dafs die beim Oeffnen und Schliesen einer galvanischen Kette durch die Einwirkung des Stromes auf sich selbst entstehenden Inductionsströme der inducirenden Stromstärke proportional sind.

XIII.

Obgleich man wohl mit Sicherheit voraussehen konnte, dafs die Inductionsströme, die durch eine blofse Variation des inducirenden Stromes hervorgebracht werden, denselben Gesetzen wie diejenigen unterworfen sind, die beim Oeffnen und Schliesen entstehen, so wurden doch darüber einige Versuche angestellt, von denen es hinreicht den folgenden anzuführen.

Um nach Belieben eine Variation des inducirenden Stromes hervorzubringen, wurden einige Metallscheibchen in die Peripherie einer runden Holzscheibe eingelegt, so daß sie mit dieser in derselben Ebene lagen und von einander isolirt waren. Im Mittelpunkte der Holzscheibe war eine drehbare Axe von Metall eingesetzt und an dieser ein Metallzeiger gelöthet, der mit dem Ende zwei neben einander liegende Metallscheibchen berühren konnte. Die Metallscheibchen waren in der Nähe ihrer äußeren Kante mit einem Loche versehen, wodurch ein Leitungsdraht gesteckt werden konnte, um sie mit einander in Verbindung zu setzen. Die Axe wurde mit dem einen und eins der Metallscheibchen mit dem anderen Pole der Säule vereinigt. Dieses Metallscheibchen konnte nun auf verschiedene Weise durch einen Leitungsdraht von größerem oder kleinerem Widerstande mit einem oder mehreren der anderen Metallscheibchen verbunden werden. Wurde der Zeiger auf das Scheibchen gelegt, das direct mit dem Pole der Säule verbunden war, so wurde die Stromstärke am größten, weil der Widerstand am geringsten war. Wurde der Zeiger auf eines der anderen Metallscheibchen gedreht, das mit dem ersten in Verbindung stand, so wurde der verbindende Leitungsdraht eingeschaltet und der Strom dadurch geschwächt. Die Versuche wurden mit dieser Vorrichtung auf mehrfache Weise abgeändert.

No. 24.

Die Stromstärke variierte zwischen 81,4 und 48,6; also um 32,8.

Gleichgewichtslage der Nadel	Ausschlag beim Steigen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim Fallen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim	
					Steigen	Fallen
507,9	500,2	507,0	514,0	506,9	7,0	7,1
506,9	499,0	505,5	512,4	505,9	6,8	6,6
505,0	497,0	503,9	511,2	504,5	7,2	6,9
504,1	496,5	502,1	510,0	503,5	6,0	6,8
503,5	495,7	501,6	509,9	503,0	6,3	7,2

Mittel 6,66 | 6,92

13 *

Wenn man 3,28 mit 0,21665 multiplicirt, so erhält man 7,11 oder den Ausschlag beim Oeffnen eines Stromes von der Intensität 32,8, was sich von dem beobachteten Ausschlage 6,92 bei der Verminderung der Stromstärke unbedeutend unterscheidet. Hieraus ergibt sich also, daß die Inductionsströme, die durch eine Variation der inducirenden Stromstärke hervorgebracht werden, denjenigen vollkommen gleich sind, die beim Oeffnen und Schliessen der Kette entstehen.

Schliesslich wurden auch einige Versuche angestellt, um zu erfahren, welchen Einfluß die verschiedene Weise, wie die Kette geöffnet und geschlossen wurde, auf die Gröfse des Inductionsstromes ausübte. Es zeigte sich, daß die Ausschläge gleich groß waren, wie auch die Kette geöffnet und geschlossen wurde, sobald die dafür nöthige Zeit so kurz war, daß die Einwirkung des Inductionsstromes auf die Nadel als momentan betrachtet werden konnte. Diefes ist außerdem eine nothwendige Folge von dem, was eben angeführt worden ist. Als Beweis hiefür mögen jedoch die folgenden zwei Versuche aufgenommen werden.

No. 25.

Die Stromstärke 47,0. Beim Oeffnen der Kette stieg die Stromstärke erst von 47,0 bis 78,0 und ging dann direct zu Null über und beim Schliessen umgekehrt. Das Oeffnen und Schliessen geschah, sobald die Magnetenadel zur Ruhe gekommen war.

Gleichgewichtslage der Nadel	Ausschlag beim Steigen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim Fallen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim	
					Steigen	Fallen
507,0	517,5	507,0	495,2	506,9	10,5	11,7
507,6	517,5	507,0	495,0	507,3	10,3	12,2
507,5	518,0	507,9	496,0	507,0	10,2	11,3
507,0	517,8	507,1	495,0	507,0	10,7	12,0
507,0	518,0	508,3	496,0	508,1	10,0	12,2
Mittel					10,34	11,88

No. 26.

Die Stromstärke 77,5. Beim Oeffnen der Kette ging der Strom über 47,0 bis Null und beim Schliesssen umgekehrt. Die Kette wurde geschlossen und geöffnet, sobald die Nadel zur Ruhe kam.

Gleichgewichtslage der Nadel	Ausschlag beim Steigen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim Fallen des Hauptstroms	Gleichgewichtslage	Ausschlag beim	
					Steigen	Fallen
509,0	525,9	509,0	490,0	509,6	16,9	19,4
509,3	526,3	508,6	489,0	509,0	17,5	19,9
508,9	526,1	508,9	490,0	509,5	17,2	19,3
509,2	526,0	508,0	489,1	509,1	17,6	19,7

Mittel 17,30 | 19,58

Multiplicirt man 47,0 und 77,5 mit 0,21665, so erhält man 10,18 und 16,79, welche Zahlen sehr nahe mit den beobachteten übereinstimmen. Diefs ist ein Beweis dafür, dafs der Inductionsstrom der totalen Variation proportional ist, von welcher Beschaffenheit auch diese seyn mag.

Mag es mir schliesslich erlaubt seyn, Herrn Professor Weber meinen innigsten Dank für die gütige Erlaubnifs zur Benutzung der Apparate, sowie für seine unschätzbare Anleitung abzustatten, durch welche er jetzt fast seit einem Jahre meine physikalischen Studien mir erleichtert hat.

II. Ueber die Wirkung der Hefe; von Dr. Schubert in Würzburg.

Im Bande 69, S. 157 u. 542 dies. Ann. wurden von mir bereits einige Andeutungen über die Wirkungsweise der Hefe mitgetheilt. Ich habe später mehrere Versuche vorgenommen, um die dort aufgestellte Ansicht besser zu begründen und zu vervollständigen. Ich will es versuchen, dieselbe hier theils aus bekannten Thatsachen, theils aus den von mir gemachten Beobachtungen zu entwickeln.