VI. *Eine Bestimmung des Ohms;
von F. Himstedt.*¹⁾

(Aus den Berichten der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.
Bd. I. Heft 1. 1885; mitgetheilt vom Hrn. Verf.)

(Hierzu Taf. VI Fig. 1—4.)

Die nachfolgende Untersuchung wurde ausgeführt mit den Mitteln, welche die grossherzoglich badische Regierung auf Anregung des Electricercongresses zu Paris für eine absolute Widerstandsmessung bewilligt hat.

1. Die Methode.²⁾

Es sei ein primärer Stromkreis gebildet aus der inducirenden Rolle A , zwei parallel geschalteten Widerständen r und w_0 , einer Stromquelle E und einem Stromunterbrecher D_1 (Fig. 1). Der secundäre Stromkreis bestehe aus der Inductionsrolle B , dem Galvanometer G , dem Unterbrecher D_2 und einem Widerstande $r_1 = r$. Der gesammte Widerstand des secundären Kreises w_1 sei gleich $r_1 + w_2$ und es sei w_2 gleich dem oben genannten w_0 . Wird der primäre Strom i durch den Unterbrecher D_1 in der Secunde n mal geschlossen und unterbrochen und durch passende Regulirung von D_2 dafür gesorgt, dass entweder nur die Schliessungs- oder nur die Öffnungsinductionsströme das Galvanometer durchfliessen, so ist:

$$(I) \quad G \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{n \cdot i \cdot V}{w_1}$$

G der Reductionsfactor des Galvanometers, α_1 die beobachtete Ablenkung, V das Potential der Rollen aufeinander. Wird andererseits der Hauptstrom dauernd geschlossen und w_0 ersetzt durch w_2 (die Leitung des secundären Kreises, nachdem aus dieser r_1 ausgeschaltet ist), sodass also die Rolle B und das Galvanometer sich im Nebenschluss zu r befinden, so besteht für die jetzt beobachtete Galvanometerablenkung α_2 die Gleichung:

1) Im Auszuge der k. preuss. Acad. d. Wiss. zu Berlin vorgelegt am 23. Juli 1885.

2) Vgl. F. Himstedt, Wied. Ann. 22. p. 281. 1884.

$$(II)^1) \quad G \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{r i}{r + w_2} = \frac{r i}{w_1}.$$

Aus (I) und (II) folgt:

$$(III) \quad r = n \cdot V \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1}.$$

Nimmt man für die inducirende Rolle A ein Solenoid, gegen dessen Länge der Radius desselben, sowie die Dimensionen der inducirten Rolle nur klein sind, und das nur mit einer Drahtlage umwickelt ist, so wird:

$$(IV) \quad V = 4\pi^2 R^2 k b (1 + 2a),$$

$$(V) \quad r = 4\pi^2 R^2 k b n (1 + 2a) \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1}.$$

Hierin bezeichnet R den Radius des Solenoids, k die Anzahl der Drahtwindungen auf der Längeneinheit desselben, b die Gesamtzahl der Windungen auf der Inductionsrolle B und $2a$ ein später zu entwickelndes Correctionsglied. Der Werth dieses letzteren war bei allen Versuchen kleiner als 0,03, sodass für die Bestimmung von r nur die genaue Messung der Grössen $R k b n$ und $\operatorname{tg} \alpha_2 / \operatorname{tg} \alpha_1$ in Frage kam.

Die Vortheile²⁾ dieser Versuchsanordnung bestehen darin, dass die Zahl der zu messenden Grössen eine verhältnissmässig sehr kleine ist, und dass hierbei alle die Grössen in Wegfall kommen, bei deren Bestimmung die erforderliche Genauigkeit anerkanntermassen nur schwer zu erreichen ist. Ich rechne hierher die Constanten, resp. Variationen des Erdmagnetismus und des Stabmagnetismus, den Inductionscoëfficienten, resp. die Windungsflächen von Drahtspulen mit vielen Lagen übereinander, den Reductionsfactor eines Galvanometers, Trägheitsmoment und logarithmisches Decrement schwingender Magnete und besonders auch die genaue Bestimmung des Widerstandes von Kupferdrähten, die oft nicht einmal in demselben Zimmer sich befinden, und deren Temperatur immer nur angenähert aus der der umgebenden Luft gefunden werden kann.³⁾

1) Die Anordnung der Stromkreise, welche auf Gleichung (I) geführt hat, wird im Folgenden als „Schaltung I“, die der Gleichung (II) entsprechende als „Schaltung II“ bezeichnet werden.

2) Vgl. hierüber Roiti, Nuov. Cim. (3) 15. p. 97. 1884.

3) Hr. G. Wiedemann hat in seinem Werke Electricität 4. Abth. 2.

2. Ableitung des Correctionsgliedes 2a der Formel V.

Wir setzen voraus, dass die Mittelpunkte und die Axen des Solenoids und der Inductionsrolle zusammenfallen. Dann lässt sich das Potential derselben aufeinander in die Form bringen:

$$(VI) \quad V = V_0 + 2V_1.$$

Hierin bezeichnet V_0 das Potential des Solenoids, das-

eine „Vergleichung der Methoden“ zur Bestimmung des Ohms gegeben und schreibt § 340 p. 969:

„Die Methode der Induction zweier Drahtkreise aufeinander und Messung des Inductionsstromes an einem Galvanometer bedingt zunächst die Ausmessung dreier Drahtrollen, des inducirten Kreises und des Galvanometers, resp. noch des um letzteres gelegten Gewindes zur Messung des inducirenden Stromes;

„Ist P das Potential der Spiralen aufeinander, ϑ die Ablenkung der Galvanometernadel durch den Inductionsstrom, α dieselbe durch den inducirenden Strom, h das Verhältniss der Drehungsmomente der verwendeten Gewinde des Galvanometers, T die Zeitdauer der Schwingung der Nadel desselben, so ist, wiederum abgesehen von Nebenumständen:

$$W = \frac{\pi}{T} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \frac{1}{2} \vartheta} \frac{P}{h}.$$

„Aus den Formeln für P ergibt sich, dass ein Fehler in der Messung des mittleren Abstandes der Spiralen linear, und dass der Fehler in der Bestimmung des mittleren Radius quadratisch im Endresultate auftritt. Bei geringeren Abständen der inducirenden Rollen ist der Abstand also sehr genau zu messen, resp. durch Aenderung desselben eine grössere Genauigkeit zu erzielen.“

„Ähnliche Betrachtungen gelten für die Methode von Roiti.“

Es könnte hiernach den Anschein haben, als ob alle die vorstehend wiedergegebenen Betrachtungen, resp. ihnen ähnliche, auf die Methode von Roiti, welche der von mir benutzten gleich ist, Anwendung fänden, und ich glaube, deshalb darauf aufmerksam machen zu müssen, dass nur der Passus: „dass der Fehler in der Bestimmung des mittleren Radius quadratisch im Endresultate auftritt“, für diese Methode Gültigkeit hat, denn der Methode ist die Anwendung eines unendlich langen Solenoids eigenthümlich und da durch die Versuchsanordnung auch die Galvanometerconstanten eliminirt werden, so sind nicht drei Drahtrollen auszumessen, sondern nur der Durchmesser einer einzigen Drahtlage, ebenso wenig muss der Abstand der inducirenden Rollen „sehr genau“ gemessen werden, denn derselbe tritt nur in einem Correctionsgliede auf (vgl. p. 2), und endlich fällt auch die Bestimmung der Grössen h und T in obiger Formel fort.

selbe als unendlich lang angesehen, $2V_1$ stellt das Potential der Endflächen des Solenoids auf B dar, wenn man diese derart mit nord-, resp. südmagnetischer Masse belegt denkt, dass diese Massen das Solenoid in seiner electromagnetischen Wirkung nach aussen ersetzen können. Wenn wir, wie oben, den Radius des Solenoids mit R , die Anzahl der Windungen auf der Längeneinheit mit k bezeichnen und annehmen, dass die Inductionsrolle B aus b Windungen besteht, so ist:

$$(VII) \quad V_0 = 4\pi^2 R^2 k b \cdot 1)$$

Um V_1 abzuleiten, sei HJK (Fig. 2) eine der Windungen der Rolle B , durchflossen vom Strome 1; ihr Abstand von der Endfläche N , die Länge OJ , sei gleich z . Wir ersetzen HJK durch eine magnetische Doppelfläche und nehmen hierzu das Stück HCK der Oberfläche einer um O als Mittelpunkt beschriebenen Kugel. Bezeichnen wir mit do ein Flächenelement derselben, mit v das Potential der Endfläche N des Solenoids auf einen magnetischen Punkt 1 in do , so ist:

$$P = \int \frac{\partial v}{\partial r} do$$

das Potential von N auf HJK . Die Integration ist hierbei über das durch den Kreis HK begrenzte Stück HCK der Kugeloberfläche zu erstrecken.

Nach Maxwell²⁾ ist:

$$v = 2\pi k \left\{ \frac{1}{2} \frac{R^2}{r} P^0(\cos \vartheta) - \frac{1 \cdot 1}{2 \cdot 4} \frac{R^4}{r^3} P^2(\cos \vartheta) + \frac{1 \cdot 1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 6} \frac{R^6}{r^5} P^4 \cos \vartheta \dots \right\}$$

und wir finden:

$$P = 4\pi^2 R^2 k \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{z}{r} - 1 \right) - \frac{3}{16} \frac{R^2}{r^3} \left(\frac{z^3}{r^3} - \frac{z}{r} \right) + \frac{5}{128} \frac{R^4}{r^5} \left(7 \frac{z^5}{r^5} - 10 \frac{z^3}{r^3} + 3 \frac{z}{r} \right) \dots \right\}.$$

Hierin ist $r = \sqrt{z^2 + p^2}$ und p der Radius der Windung HK . Bezeichnet man den mittleren Radius der ganzen Inductionsrolle mit ϱ und setzt $p = \varrho + \delta$, bezeichnet ferner

1) Maxwell, Electricity and Magnetism. 2. p. 281.

2) Maxwell, ibid. 2. p. 302.

die halbe Länge des Solenoids mit l und setzt $z = l + \zeta$, so erhält man für das Potential der Endfläche N auf alle Windungen der Rolle B , also für die oben mit V_1 bezeichnete Grösse:

$$V_1 = \kappa \mu \int_{-\frac{1}{2}c}^{+\frac{1}{2}c} d\zeta \int_{-\frac{1}{2}d}^{+\frac{1}{2}d} P. d\delta,$$

wo c die Breite, d die Höhe des Querschnittes der Windungen von B bezeichnet, κ , resp. μ die Zahl der Windungen auf der Längeneinheit von c , resp. d , sodass die Gesamtzahl der auf B vorhandenen Windungen $b = \kappa \mu d$. Entwickeln wir P in die Reihe:

$$P = P_0 + \zeta \left(\frac{dP}{d\zeta} \right)_0 + \delta \left(\frac{dP}{d\delta} \right)_0 + \frac{1}{2} \zeta^2 \left(\frac{d^2 P}{d\zeta^2} \right)_0 + \dots$$

so erhalten wir:

$$(VIII) \quad V_1 = 4\pi^2 R^2 k b \left\{ S_1 + \frac{1}{24} (c^2 S_2 + d^2 S_3) + \dots \right\},$$

wobei zur Abkürzung gesetzt ist:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{2} \left(\frac{l}{\sigma} - 1 \right) + \frac{3}{16} R^2 \frac{l \varrho^2}{\sigma^5} + \frac{5}{128} R^4 l \varrho^2 \frac{3\varrho^2 - 4l^2}{\sigma^9}, \dots \\ S_2 &= \frac{1}{2} \frac{l \varrho^2}{\sigma^5} \left\{ -1 + \frac{3}{8} R^2 \frac{4l^3 - 3\varrho^2}{\sigma^4} - \frac{35}{64} R^4 \frac{5\varrho^4 - 20l^2 \varrho^2 + 8l^4}{\sigma^8} \dots \right\} \\ S_3 &= \frac{1}{2} \frac{l}{\sigma^5} \left\{ 2\varrho^2 - l^2 + \frac{3}{8} R^2 \frac{2l^4 - 21l^2 \varrho^2 + 12\varrho^4}{\sigma^4} \right. \\ &\quad \left. + \frac{5}{64} R^4 \frac{90\varrho^6 - 395\varrho^4 l^2 + 200\varrho^2 l^4 - 8l^6}{\sigma^8} \dots \right\}, \\ \sigma &= \sqrt{l^2 + \varrho^2}. \end{aligned}$$

Aus den Formeln (IV) bis (VIII) findet man das gesuchte Correctionsglied:

$$(IX) \quad 2a = 2 \left\{ S_1 + \frac{1}{24} (c^2 S_2 + d^2 S_3) \dots \right\}.$$

Weitere Glieder von $2a$, als die hier aufgeführten, zu berücksichtigen, war bei den benutzten Apparaten nicht nöthig, denn das nächstfolgende Glied hatte angenähert den Werth $S_1 \cdot 10^{-5}$.

Fällt der Mittelpunkt der Inductionsrolle B nicht mehr in den Mittelpunkt des Solenoids, sondern besitzt von diesem

in der Richtung der Axe den Abstand e , so erhält man mit genügender Annäherung:

$$(IX_*) \quad 2a_1 = 2 \left\{ S_1 + \frac{1}{24} [(12e^2 + c^2) S_2 + d^2 S_3] \dots \right\}.$$

3. Die Grundmaasse.

Alle Längenmessungen sind bezogen auf einen Maassstab aus Glas mit Millimetertheilung, welcher in der Normalaichungscommission in Berlin mit dem Normalmeter verglichen ist. Eine Ausnahme hiervon macht nur eine später zu erwähnende Messung, der ein cylindrischer Glasstab zu Grunde liegt, dessen Länge ich nicht selbst bestimmen konnte, und der deshalb ebenfalls in der Normalaichungscommission ausgemessen wurde. Für beide Messungen bin ich dem Director Hrn. Geh. Regierungsrath Förster zu Dank verpflichtet.

Zu den Zeitmessungen diente ein Marinechronometer von Bröcking in Hamburg, das halbe Secunden schlug. Der Gang desselben wurde durch Zeitbestimmungen controlirt.

4. Das Solenoid.

Das Solenoid ist auf eine vielfach verleimte hohle Walze aus Holz gewickelt, wie solche in den Orchestrions verwendet werden. Dieselbe ist im Jahre 1868 angefertigt und im Mai 1884 für den vorliegenden Zweck nochmals abgeschliffen und auf der Drehbank polirt. Der Durchmesser derselben wurde auf drei verschiedene Arten¹⁾ bestimmt, die so gewählt waren, dass sie zugleich ein Urtheil ermöglichen darüber, ob der Querschnitt der Walze mit genügender Annäherung ein Kreis, und ob ebenso die ganze Walze ein Cylinder war.

1) Ich habe auch versucht, den Durchmesser durch Kathetometermessungen zu bestimmen, aber keine brauchbaren Werthe erhalten. Die Einstellungen auf denselben Punkt einer Seitenkante der Cylinderfläche differirten um mehr als 0,1 mm, je nachdem ich die Kante von der hinteren oder der vorderen Seite beleuchtete, je nachdem ich das Licht direct auffallen oder durch mattgeschliffene Glasplatten gehen liess etc. Aehnliche Beobachtungen hat auch Hr. Wild gemacht, doch ist es ihm bei seinen Apparaten gelungen, eine Einrichtung zu treffen, die übereinstimmende Resultate lieferte. Mém. de l'Acad. de St. Pétersbourg. (7) 32. No. 2. p. 81.

1. Messung: Mittelst einer Mikrometerschraube wurden an 13 über die Länge der Walze gleichmässig vertheilten Punkten je sechs Durchmesser desselben Querschnittes verglichen mit der Länge eines Glasstabes.

Fig. 3 stellt die benutzte Einrichtung dar. Eine mit drei Fusschrauben versehene 3 cm dicke Eisenplatte *E* trägt auf drei Messingsäulen *M* eine in der Mitte durchbrochene Metallplatte *S*, in welche die Gewinde eingeschnitten sind für drei Schrauben mit flachabgedrehten Köpfen *K*. Auf diesen ruhen die Füße eines Sphärometers von Breithaupt und werden in ihrer Stellung durch die Klemmen *F* gesichert. In der Mitte der Platte *E* sind zwei Glasstücke *G* so aufgekittet¹⁾, dass sie im reflectirten Lichte die Newton'schen Ringe zeigen, und dass diese ihre Lage ändern, sobald man die oberste Glasplatte, resp. den kleinen auf derselben befestigten Knopf *B* berührt. Die Ringe werden mit einem Mikroskop beobachtet. Der ganze Apparat ruht auf einer in der Wand eingegypsten Steinplatte. Der zur Vergleichung benutzte Glasstab *T* war cylindrisch, ca. 2 cm dick und, wie Fig. 4 zeigt, in eine mit Stellschrauben versehene Messingplatte *P* eingekittet. In der Mitte jeder der beiden senkrecht zur Längsaxe angeschliffenen Endflächen des Stabes war ein Kreisring eingeätzt von nicht ganz 3 mm Durchmesser. Der Abstand dieser so markirten Kreisflächen ist in der Normalaichungscommission zu Berlin bestimmt zu 23,3264 cm bei 18,5° C. mit einer wahrscheinlichen Unsicherheit von 0,0002 bis 0,0003 cm. Um mit diesem Abstände die Durchmesser der Walze zu vergleichen, wurde zunächst die Platte *E* (Fig. 3) mit Hilfe einer Libelle horizontal gestellt und an den Schrauben *K* so lange gedreht, bis die Axe der Sphärometerschraube *X* senkrecht stand über dem Knopfe *B*, dann der Dreifuss (Fig. 4) mit dem Glasstabe zwischen den Knopf *B* und das Ende der Mikrometerschraube gestellt, an den Fusschrauben des Dreifusses gedreht, bis die untere Kreisfläche des Glasstabes mit dem Knopfe *B* in Berührung kam, die Sphärometerschraube bis zur Berührung mit der oberen Kreisfläche gedreht und

1) Vgl. K. R. Koch, Wied. Ann. 3. p. 611. 1878.

ihre Stellung an der Theilung abgelesen. Der Eintritt der Berührung wurde hierbei immer im Mikroskop an der beginnenden Bewegung der Newton'schen Ringe erkannt. Hierauf wurde der Glasstab entfernt und die Stellung der Sphärometerschraube für einen Durchmesser der Walze bestimmt. Die letztere ruhte hierbei auf einem, resp. zwei passend gepolsterten Schlitten, welche durch Schrauben in drei zu einander senkrechten Richtungen bewegt werden konnten. Um sicher zu sein, dass der tiefste, resp. höchste Punkt eines Querschnittes der Walze mit dem Knopfe *B*, resp. dem Ende der Sphärometerschraube in Berührung war, also nicht etwa eine Sehne statt des Durchmessers gemessen ward, wurde die Walze senkrecht zu ihrer Längsaxe erst in der einen, dann in der entgegengesetzten Richtung verschoben und für alle Stellungen, 8—10 im ganzen, die Einstellung der Sphärometerschraube abgelesen. Der grösste hierbei gefundene Werth war dann der des Durchmessers. Dieses Hin- und Herbewegen wurde viermal wiederholt, sodass für jeden Durchmesser drei Ablesungen gewonnen wurden. Dieselben differirten nie um mehr als 0,005 mm.

Die Temperatur der Räume, in welchen die Messungen ausgeführt wurden, und in welchen die Walze bis nach Beendigung aller Beobachtungen stehen blieb, lag stets (Nacht und Tag) zwischen 13 und 16° C. Um auch diese Unterschiede in den Temperaturen in Rechnung ziehen zu können, habe ich vor Beginn der eigentlichen Messungen versucht, mit dem eben beschriebenen Apparate den Ausdehnungscoëfficienten der Walze wenigstens angenähert zu bestimmen, und zwischen 9 und 22° C. für denselben gefunden: 0,00005. Mit Zugrundelegung dieses Werthes sind dann alle Messungen auf 14° C. reducirt. Mit demselben Apparate habe ich auch untersucht, ob der Feuchtigkeitsgehalt der Luft einen messbaren Einfluss ausübte. Die Feuchtigkeit der Zimmerluft wurde mit einem August'schen Psychrometer bestimmt. Für Schwankungen der relativen Feuchtigkeit von 60 bis nahezu 90 Proc. konnte nicht die geringste Aenderung in dem Durchmesser der Walze gefunden werden. Die definitiven Messungen haben ergeben:

	der kleinste Werth	der grösste Werth	im Mittel
I _a	23,3198	23,3289	23,3252
I _b	23,3187	23,3293	23,3244

Die Messung I_a wurde ausgeführt in den Tagen vom 23. bis 27. October 1884, die Messung I_b vom 2. bis 8. Januar 1885. Die sehr kleine Differenz zwischen dem grössten und kleinsten Werthe lässt erkennen, dass der Querschnitt mit genügender Annäherung als Kreis betrachtet werden kann.

2. Messung: Durch umgelegte Papierstreifen wurden an 13 Stellen die Umfänge der Walze gemessen.

Die Streifen waren aus Pauspapier geschnitten, wie beistehende Figur zeigt, 4 cm breit, die Strecke *AB* war um wenige Millimeter kürzer, als der zu messende Umfang. Bei dem Umlegen des Streifens wurde *BC* durch die Oeffnung bei *A* gezogen, an *C* und *D* wurden je 250 g angehängt und der Streifen, von dem tiefsten Punkte des Umfanges anfangend, mit beiden Händen glatt gestrichen. Nachdem durch einen Stich mit einer feinen Nadel zwei übereinander liegende Punkte des Streifens markirt waren, wurde derselbe so über den horizontal gelegten, oben erwähnten Glasmaassstab gelegt, dass die Enden mit den Gewichten frei herunterhingen, dann wurden auf die Nadelstiche zwei Mikroskope mit Ocularmikrometern eingestellt und abgelesen, der Papierstreifen entfernt, der Maassstab durch Fusschrauben um die Papierdicke gehoben, sodass die Mikroskope jetzt auf die Theilung des Maassstabes scharf eingestellt waren, und dann an diesen ihre Entfernung voneinander abgelesen. Jeder Umfang wurde zweimal gemessen. Aus der so gefundenen Länge *l* und der Dicke des benutzten Papieres δ wurde der Durchmesser berechnet:

$$D = \frac{l}{\pi} - \delta, \quad \delta \text{ betrug } 0,07 \text{ mm.}$$

Für den Durchmesser wurde gefunden:

		der kleinste Werth	der grösste Werth	im Mittel
d. 10. Jan.	II _a	23,3186	23,3256	23,3227
d. 12. Jan.	II _b	23,3186	23,3249	23,3231

Die Messung zeigt in Verbindung mit der ersten, dass die Walze gut cylindrisch war.

3. Messung: Der Durchmesser wurde berechnet aus der Länge des aufgewickelten Drahtes.

Um die Länge desselben zu bestimmen, waren fünf Messlatten mit Stellschrauben versehen und so an einander gesetzt, dass sie einen etwa 13 m langen Tisch bildeten, dieser wurde mit einer Schicht Paraffin übergossen, damit die Umspinnung des darüberhin schleifenden Drahtes keine Beschädigung erlitt. An den Enden dieser Bahn war je eine mit Millimetertheilung versehene Spiegelglasscala aufgekittet, und wurde die Entfernung entsprechender Theilstriche der beiden Scalen nach Art der Basismessungen ermittelt, indem ein Maassstab unter Mikroskopen verschoben wurde. Die Richtung, in welcher der Maassstab verschoben werden musste, wurde durch einen straffgespannten Draht markirt und mit einem Theodolithen controlirt. Bei der Wickelung wurde der Draht von einer Spule abgewickelt, die nahezu gleichen Radius hatte, wie das zu wickelnde Solenoid. Dieselbe lief in Spitzen, und war an der Axe durch passende Gewichte gebremst. Der Draht wurde zunächst über mehrere leicht laufende Rollen und dann über die Messbahn zur Walze geführt, die ihrerseits durch Schrauben an der Axe so stark gebremst war, dass sie in jeder beliebigen Stellung sicher feststand. Die Spannung des Drahtes hing im wesentlichen nur ab von der Grösse der bremsenden Gewichte und darf deshalb als constant angesehen werden. Ueber der ersten Glasscala der Bahn wurden mit einer feinen Nadel, deren Spitze in Asphaltlack getaucht wurde, auf den Draht drei feine Marken gemacht und diese, nachdem sie die Bahn durchlaufen hatten, über der zweiten Glasscala wieder abgelesen.

Während der Wickelung wurde gleichzeitig durch Mikroskop mit Ocularmikrometer an 332 Stellen die Dicke des Drahtes bestimmt und im Mittel gefunden $d = 0,047$ cm. Für den Durchmesser der Walze ohne Draht hat diese Messung ergeben:

III 23,3242 cm.¹⁾

1) In dem Ber. d. Berl. Acad. 1885. 23. Juli ist durch ein Versehen 23,3262 gedruckt.

Nach beendeter Wickelung wurde der Durchmesser der Walze mit Draht wieder in der oben angegebenen Weise durch umgelegte Papierstreifen gemessen.

Mit Berücksichtigung der Drahtdicke ergibt sich aus dieser Messung der Durchmesser ohne Draht:

d. 12. Febr. IV_a 23,3190 cm.

Dieselbe Messung ausgeführt nach Beendigung der ganzen Arbeit ergab:

d. 9. Juli IV_b 23,3194 cm.

Endlich habe ich diese Messung auch noch ausgeführt mit einem Stahlbandmaass, welches den Papierstreifen durch- aus ähnlich geschnitten war. Die Dicke desselben war $\delta = 0,17$ mm. Jeder Umfang wurde dreimal gemessen. Im Mittel ergab sich für den Durchmesser:

d. 10. Juli V 23,3204 cm.

Die Uebereinstimmung in den Resultaten der Messungen II, IV und V lässt erkennen, dass die Walze während der Dauer der Versuche keine merklichen Veränderungen erlitten hat. Ueberhaupt hat es wohl kein Bedenken, Rollen von Holz überall dort zu verwenden, wo man, wie in dem vorliegenden Falle, die Dimensionen stets contro- liren kann.

Hr. G. Wiedemann sagt in seiner Arbeit: „Ueber die Bestimmung des Ohms“:¹⁾ „Papierstreifen eignen sich für ganz exacte Messungen dieser Art nicht gut, da sie durch Spannung und Belastung gedehnt werden. So verlängerte sich nach Kathetometerbeobachtungen ein durch 266 g belasteter Streifen von Zeichenpapier von 47 mm Breite bei weiterer Belastung mit 1073 g von 604,66 bis 605,02 mm“. Ich habe diese Versuche nachgemacht und, wie zu erwarten war, durchaus ähnliche Resultate erhalten, die Papierstreifen mit einem Schlitz, wie ich sie bei den obigen Messungen benutzt habe, sind sogar bei einer Belastung von 1200 g meistens gerissen. Trotzdem aber glaube ich, behaupten zu dürfen, dass unter den Verhältnissen und Bedingungen, unter welchen ich die Papierstreifen verwendet habe (Belastung von 250 g und Ausspannen über einen horizontalen Maass-

1) G. Wiedemann, Abh. der Berliner Academie. 1884. p. 24.

stab), man sehr genaue Messungen damit ausführen kann. Es erhellt dies, glaube ich, zur Genüge aus der ausserordentlich guten Uebereinstimmung, welche die zahlreichen, mit Papierstreifen ausgeführten Messungen sowohl unter einander als auch mit den in ganz anderer Weise ausgeführten übrigen Messungen zeigen.

Für die Berechnung des Radius R der Formel V wurden benutzt: das Mittel aus I_a und I_b $D = 23,3248$ cm, das Mittel aus II_a und II_b $D = 23,3229$ cm, ferner III $D = 23,3242$ cm, das Mittel aus IV_a und IV_b $D = 23,3192$ cm und V $D = 23,3204$ cm. Mit Berücksichtigung der Drahtdicke findet sich:

$$R = 11,6846 \text{ cm.}$$

Die Drahtwindungen bedeckten die Walze auf einer Länge:

$$2l = 135,125 \text{ cm.}$$

Diese Länge wurde in folgender Weise bestimmt. Es wurden drei Mikroskope mit Ocularmikrometer eingestellt auf den Anfang, auf einen Punkt nahe der Mitte und auf das Ende des Solenoids, dann wurde dieses entfernt, und der Glasmaassstab zuerst unter die beiden ersten, dann unter das zweite und dritte Mikroskop gebracht. Diese Messungen wurden an sechs verschiedenen Stellen ausgeführt, indem das Solenoid um je 60° um seine Längsaxe gedreht wurde. Jede Messung ist dreimal wiederholt.

Die Zahl der Windungen, durch ein Uhrwerk bei der Wickelung bestimmt und durch directes Zählen controlirt, war 2864. Mithin ist die Anzahl der Windungen auf der Längeneinheit:

$$k = \frac{2864}{135,125}.$$

Der Kupferdraht war doppelt mit weisser Seide übersponnen und durch eine Lösung von Paraffin in Terpentinöl gezogen. Proben desselben waren chemisch auf ihren Eisengehalt untersucht. Qualitativ konnten Spuren desselben nachgewiesen werden, doch waren dieselben zu gering, um quantitativ bestimmt werden zu können. Ein astatisches Nadel-paar wurde durch eine Rolle des Drahtes nicht merklich abgelenkt.

So unwahrscheinlich es an und für sich war, dass bei

nur einer Lage von doppelt umsponnenem und mit Paraffin überzogenem Drahte, dessen Windungen ohne jede Gewalt nebeneinander gelegt waren, zwei derselben in metallische Berührung getreten sein sollten, so wünschte ich doch eine Controle für die Isolation bringen zu können, und ich habe dieselbe deshalb mit einer Hughes'schen Inductions Wage in ähnlicher Weite zu prüfen gesucht, wie dies von Lord Rayleigh¹⁾ beschrieben ist. Es wurde hierzu die später zu beschreibende Inductionsrolle *B* benutzt. Die Wickelung derselben bestand aus 15 Abtheilungen; sieben derselben wurden mit einer Drahtspule *C* zu einem primären Kreise verbunden, in welchen der durch einen Unterbrecher intermittirend gemachte Strom geschickt wurde. Die übrigen acht Abtheilungen der Rolle *B* bildeten zusammen mit einer Spule *D* den secundären Kreis, in welchen ein Telephon eingeschaltet war. Durch Verschieben von *C* gegen *D* konnte der Ton im Telephon zwar nicht absolut zum Verschwinden gebracht, aber doch so geschwächt werden, dass er nur noch bei äusserster Aufmerksamkeit und vollkommener Stille der Umgebung wahrgenommen werden konnte. Wurde jetzt *B* über das Solenoid geschoben, so trat eine geringe Verstärkung des Tones ein, um welche Stelle des Solenoids die Rolle auch gelegt wurde, und die Intensität dieses Tones konnte durch Verschieben von *C* gegen *D* nicht verringert werden. Lord Rayleigh hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass der Ton wahrscheinlich Folge der Condensatorwirkung der zu prüfenden Rolle ist. Wurde das Solenoid in sich geschlossen, so trat eine Verstärkung des Tones ein. Wurden ferner zwei feine Nähnadeln, die durch einen Draht von etwa 2 S.-E. Widerstand verbunden waren, mit ihren Spitzen auf zwei Drahtwindungen des Solenoids in der Nähe der umgelegten Rolle *B* aufgedrückt, sodass hierdurch jene beiden Windungen metallisch in sich geschlossen waren, so trat eine bedeutende Verstärkung des Tones auf. Hieraus darf man schliessen, dass an jener Stelle ohne die Nähnadeln eine metallische Berührung zweier Windungen nicht stattgefunden hat. Diese

1) Lord Rayleigh, Proc. Roy. Soc. London. p. 1884.

Prüfung wurde über die ganze Länge des Solenoids ausgeführt, indem die Inductionsrolle stets um nahezu das Doppelte ihrer Breite verschoben wurde. Ein Isolationsfehler wurde nicht gefunden.

5. Die Inductionsrolle B.

Der Rahmen derselben war aus Holz. Der Kupferdraht, wie der des Solenoids mit weisser Seide doppelt umspinnen und durch Paraffin gezogen, bildete 3848 Windungen in 15 Abtheilungen, die beliebig combinirt werden konnten. Die Dicke des Drahtes war nicht bei allen Abtheilungen dieselbe. Alle zur Verwendung gekommenen Drahtsorten waren vorher chemisch auf Eisengehalt untersucht, bei keiner konnte eine quantitative Bestimmung ausgeführt werden. Die Breite der Spule betrug 4,01 cm. Der mittlere Radius jeder Abtheilung wurde berechnet aus den mit Papierstreifen gemessenen Umfängen der einzelnen Lagen.

Da die Dimensionen der Spule nur in das Correctionsglied $2a$ eingehen, so ist die Genauigkeit dieser Bestimmung mehr als ausreichend. Dagegen erschien es wichtig, die Zahl der Windungen b zu controliren, denn diese tritt in dem Ausdrucke für den Widerstand r (p. 548) direct als Factor auf. Diese Zahl war bei der Wickelung durch ein Uhrwerk bestimmt, und waren ausserdem die Windungen jeder Lage direct gezählt, ehe eine neue Lage darüber gewickelt war. Es konnte hier aber ein Fehler dadurch entstehen, dass zwei Windungen infolge mangelhafter Isolation in metallische Berührung getreten waren. Es wurden deshalb die mittleren Radien der einzelnen Abtheilungen nach der Methode von Bosscha¹⁾ miteinander verglichen. Zu dem Zwecke wurde die Spule als Tangentenbussole eingerichtet mit einem kleinen Magnet für Spiegelablesung, der Strom von zwei Daniell'schen Elementen in zwei aufeinander folgende Abtheilungen verzweigt und in die Leitung der einen von beiden so viel Widerstand zugeschaltet, bis der Magnet nicht mehr abgelenkt wurde. Es besteht dann die Beziehung:

1) G. Wiedemann, *Electricität*, 3. p. 213. 1885.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{\varrho_1}{\varrho_2} \frac{n_2}{n_1} \frac{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_1}{\varrho_1} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{\beta_1}{\varrho_1} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{\varrho_1} \right)^2}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_2}{\varrho_2} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{\beta_2}{\varrho_2} \right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{\varrho_2} \right)^2},$$

w der Gesamtwiderstand einer Leitung, ϱ der mittlere Radius einer Abtheilung, n die Zahl ihrer Windungen, α die halbe Breite, β die halbe Höhe des rechteckigen Querschnittes der Windungen, λ die halbe Länge des Magnets.

Die äussersten Abtheilungen der Rolle, nämlich Nr. 15, 14 und 13 bestanden je aus einer Lage von Draht, der mit einer dicken Kautschukhülle umgeben war, sodass bei diesen ein Isolationsfehler nicht zu fürchten war. Die Vergleichung geschah deshalb in der Reihenfolge, dass Nr. 15 mit 14, Nr. 14 mit 13, Nr. 13 mit 12 u. s. w. je zwei aufeinander folgende Abtheilungen. Die nachfolgende Tabelle enthält in der ersten Columne die Nummer der Abtheilung, in der zweiten die Zahl ihrer Windungen, in der dritten den mittleren Radius gemessen mit Papierstreifen, in der vierten das Verhältniss ϱ_k/ϱ_{k-1} berechnet aus den Werthen der Columne drei, und in der fünften dasselbe Verhältniss, abgeleitet aus den eben beschriebenen Beobachtungen.

Nr.	n	ϱ	ϱ_k/ϱ_{k-1} ber.	ϱ_k/ϱ_{k-1} beob.
15	12	17,104	—	—
14	12	16,800	1,0181	1,0191
13	12	16,498	1,0183	1,0180
12	205	16,230	1,0165	1,0172
11	414	15,842	1,0245	1,0249
10	561	15,147	1,0459	1,0454
9	154	14,620	1,0360	1,0353
8	258	14,334	1,0200	1,0202
7	257	13,9885	1,0247	1,0243
6	257	13,635	1,0263	1,0261
5	247	13,284	1,0264	1,0337(?)
4	249	12,930	1,0274	1,0195
3	88	12,7165	1,0168	1,0170
2	432	12,584	1,0105	1,0108
1	690	12,314	1,0219	1,0215

Die kleinen Unterschiede in den Zahlen der Columnen 4 und 5 rühren zum Theil von Beobachtungsfehlern her, zum

1) F. Himstedt, Wied. Ann. 22. p. 276. 1884.

Theil daher, dass der mittlere Radius von Drahtwindungen erfahrungsgemäss durch Umwicklung neuer Lagen geändert wird. Hier ist aber einmal (Columnne 4) das Verhältniss ρ_k/ρ_{k-1} aus den Messungen bei der Wickelung bestimmt, das andere mal (Columnne 5) nach beendiger Wickelung, eine vollständige Uebereinstimmung war deshalb von vornherein nicht zu erwarten. Im übrigen zeigen die Zahlen deutlich, dass ein Isolationsfehler nicht vorhanden. Eine Ausnahme hiervon macht nur Abtheilung Nr. 5. Für ρ_6/ρ_5 und ρ_6/ρ_4 stimmen die berechneten Werthe nicht mit den beobachteten überein, dagegen findet man für ρ_6/ρ_4 wieder Uebereinstimmung, nämlich ber.: 1,0545, beob.: 1,0539. Der Fehler muss also in der fünften Abtheilung stecken und wurde diese deshalb bei den Versuchen nicht benutzt.

6. Der Disjunctor.

Der Disjunctor D_1 und D_2 der Fig. 1 wurde durch das phonische Rad getrieben.¹⁾ Zur Bestimmung von n der Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde war mit der Rotationsaxe ein Zählwerk verbunden, das direct $1/60$ Umdrehung abzulesen gestattete. Gezählt wurden bei jedem Versuche mindestens 900—1000 Umdrehungen, sodass die erforderliche Genauigkeit leicht zu erreichen war. Der Apparat arbeitete sehr gleichmässig, sodass die Ablenkungen am Galvanometer durchaus constant waren. Es scheint mir dies ein wesentlicher Vorzug dieses Disjunctors gegenüber dem von Hrn. Roiti benutzten zu sein, und ich glaube, dass die Abweichungen, welche die einzelnen Beobachtungen des Hrn. Roiti voneinander gezeigt haben, gewiss zum grössten Theile, wenn nicht ganz ihre Erklärung finden in dem unregelmässigen Gange des von ihm benutzten Schmidt'schen Wassermotors. Eine andere Erklärung für dieselben vermag ich wenigstens nicht in der sehr sorgfältigen Untersuchung zu finden.

7. Der Widerstand r .

Der in absolutem Maasse zu bestimmende Widerstand betrug 1 S.-E. oder $1/2$ S.-E. oder 2 S.-E. und wurde gebildet

1) Himstedt, Wied. Ann. 22. p. 276. 1884.

aus zwei Einheiten von Siemens und Halske, die entweder einzeln oder neben- oder hintereinander geschaltet zur Verwendung kamen. Dieselben hatten nicht die gewöhnliche Form der sogenannten Doseneinheiten, sondern waren mit Metallbüchsen umgeben, die mit Kaiseröl angefüllt wurden, sodass der Drahtwiderstand direct in dieser Flüssigkeit lag, mithin die Temperaturbestimmung eine durchaus sichere war. Ausserdem standen die Büchsen in einem grossen Flüssigkeitsbade und dieses in einer mit Watte ausgefüllten Kiste, infolge hiervon blieb die Temperatur während der Dauer einer Beobachtung vollständig constant.

Da alle Reproductionen der Quecksilbereinheit übereinstimmend gezeigt haben, dass die von Siemens und Halske ausgegebenen Etalons mit genügender Annäherung den angegebenen Widerstand wirklich besitzen, so habe ich mich darauf beschränkt, die beiden Einheiten sowohl unter sich als mit einer Doseneinheit vor und nach den Versuchen zu vergleichen. Die Doseneinheit war in der Zwischenzeit unbenutzt geblieben. Die Vergleichung geschah mittelst eines Differentialgalvanometers Wiedemann'scher Construction, dessen Rollen aus 2 mm dickem Kupferdraht einen Widerstand von $\frac{1}{3}$ S.-E. hatten. In den einen Zweig wurde einer der zu vergleichenden Widerstände r_1 eingeschaltet, in den anderen ein Jacobi'scher Rheostat und eine S.-E., zu welcher ein Widerstandskasten von 1—5000 parallel geschaltet war. In diesem Kasten wurde Stöpsel 1000 gezogen und am Rheostat geändert, bis am Galvanometer kein Ausschlag mehr erfolgte. Dann wurde r_1 in dem ersten Zweige vertauscht mit r_2 (r_1 und r_2 waren die zu vergleichenden Widerstände) und am Kasten gestöpselt, bis wieder das Galvanometer auf Null stand. Selbstverständlich blieb hierbei jetzt der Rheostat vollständig ungeändert. Die Methode ist sehr bequem. Man verfügt über sehr kleine Bruchtheile der S.-E. und findet die Differenz der zu vergleichenden Widerstände direct in Bruchtheilen der S.-E.

Die beiden oben erwähnten S.-E. und die Doseneinheit tragen die Bemerkungen:

	Nr.	richtig bei	α	
r_1	3618	21,5° C.	0,00037	} März 1885
r_2	3619	20,9	0,00036	
d	3164	18,2	0,00033	April 1884.

Es müssen also bei 18,2° C. sein:

$$r_1 : r_2 : d = 0,998\,779 : 0,999\,028 : 1. —$$

Es wurde gefunden am 26./4. 1885 reducirt auf 18,2° C.:

$$r_1 : r_2 : d = 0,998\,827 : 0,999\,097 : 1. —$$

Hierbei wurden die Temperaturen von r_1 , r_2 und d abgelesen zu 14,96° C., 14,95° C. und 14,83° C. Die Widerstände hatten 24 Stunden in derselben Kiste gestanden, die beiden ersteren im Flüssigkeitsbade, d in der Luft. Nimmt man an, dass alle Widerstände dieselbe Temperatur hatten, und die von d fehlerhaft bestimmt war, so wird die Uebereinstimmung mit den Angaben von Siemens und Halske noch grösser.

Die Vergleichung am 12. Juli ergab reducirt auf 18,2° C.:

$$r_1 : r_2 : d = 0,998\,843 : 0,999\,062 : 1.$$

Die abgelesenen Temperaturen sind:

$$18,80, 18,80 \text{ und } 18,78^\circ \text{ C.}$$

Die Empfindlichkeit des Galvanometers war der Art, dass bei Anwendung eines Bunsen'schen Elementes für $1,10^{-4}$ S.-E. ein Ausschlag von 58 Scalentheilen erfolgte. Der Scalenabstand betrug 4,5 m.

Für die folgenden Bestimmungen sind die Angaben von Siemens und Halske als richtig angenommen.

8. Die Thermometer.

Die Thermometer waren in Zehntelgrade eingetheilt. Zwei Theilstriche hatten eine Entfernung von ca. 1 mm, sodass Hundertstelgrade sicher geschätzt werden konnten. Die Thermometer wurden dreimal sehr sorgfältig mit dem Normal-Thermometer des hiesigen physikalischen Instituts verglichen.

9. Das Galvanometer.

Der Draht, doppelt mit weisser Seide umspinnen und durch Paraffin gezogen, war auf einen Rahmen von Holz in zwei Abtheilungen gewickelt. Der Rahmen war nicht durchbrochen, die Magnete deshalb an einem Bügel aus Aluminium

aufgehängt, ähnlich dem bei dem Meissner-Meyerstein'schen Galvanometer.¹⁾ Es wurde ein System von drei Magneten benutzt, von denen einer in der Mitte der Windungen und je einer über, resp. unter denselben schwingt. Dieselben waren voneinander und von dem Bügel isolirt. Zwei derselben bildeten ein astatisches Paar, der dritte war bedeutend schwächer. Es wurde durch diese Anordnung eine grosse Empfindlichkeit bei sicherer Nullpunktslage erreicht und überflüssige Gewichte vermieden, die sonst zur Erzielung einer grossen Schwingungsdauer nöthig gewesen wären. Eine Dämpfung war nicht angebracht, die Ablenkungen wurden durch Beobachtung der Umkehrpunkte bestimmt. Bei etwa 4 m Scalenabstand betrugen die doppelten Ablenkungen ca. 800 mm. Die Ablenkungen bei der Messung der Inductionsströme und bei der des constanten Stromes waren stets bis auf wenige Scalentheile einander gleich, sodass es nicht nöthig war, für die Reduction auf Bogen den Scalenabstand mit der äussersten Genauigkeit zu messen. Die Theilungsfehler der Fernrohrscala waren bekannt.

10. Aufstellung der Apparate.

Das Solenoid stand vertical $\frac{1}{2}$ m über dem Fussboden, 1 m entfernt von der Zimmerwand auf einem Brett mit Fusschrauben. Die Inductionsrolle war darüber geschoben und ruhte mit drei Stellschrauben auf zwei in der Wand befestigten Balken. Da der innere Durchmesser der Holzrolle nur 0,5 cm grösser war als der äussere Durchmesser des Solenoids, so war es leicht, die Axen der beiden zur Coincidenz zu bringen. Uebrigens hat ein Fehler von 2—3 mm in der Einstellung auf das schliessliche Resultat keinen messbaren Einfluss. Ebenso hat es keine Schwierigkeiten, die Mittelpunkte bis auf 0,1 cm genau zum Zusammenfall zu bringen. Eine solche Genauigkeit ist aber auch hierbei gar nicht erforderlich, denn ein Fehler von 1 cm bei dieser Einstellung gibt im Endresultate erst eine Abweichung von höchstens 0,002 Proc. In dem Zimmer war ausser den Thür-

1) G. Wiedemann, Electricität. 3. p. 548.

und Fensterbeschlägen kein Metall. Alle anderen Apparate standen in einem anstossenden Zimmer und hatten in Luftlinie mindestens eine Entfernung von 13 m von dem Solenoid. Alle Verbindungsdrähte waren mit Kautschuk überzogen und leicht zusammengedreht, alle Stromwender etc. aus Paraffin und Siegellack angefertigt. Trotzdem diese letzteren, wenn nicht benutzt, sorgfältig durch übergestülpte Kasten geschützt wurden, sammelte sich auf denselben doch stets etwas Staub an. Derselbe wurde vor jedem Versuche mit einem Haarpinsel entfernt, dann aber noch alle diese Apparate mit der Flamme des Bunsen'schen Brenners überfahren. Bei Beobachtung dieser Vorsichtsmaassregeln habe ich nie Störungen in der Isolation bemerkt. Die Schneiden des Disjunctors wurden vor jedem Versuche neu verkupfert und amalgamirt, das Quecksilber in den Rinnen sehr sorgfältig gereinigt durch Waschen und Filtriren, sodass es blanke gute Kuppen bildete.

Von grosser Wichtigkeit war, dass bei der Messung des constanten Stromes die Ableitung genau an den Enden des Widerstandes r (Fig. 1) stattfand. Die Electroden dieses bestanden aus amalgamirten Kupferstangen von 6 mm Durchmesser. An diese wurden die Zu-, resp. Ableitungsdrähte, ebenfalls amalgamirt, angelegt und durch umgewickelten Kupferdraht festgeschnürt, das Ganze dann in Quecksilbernäpfe getaucht. Bei anderen Versuchen tauchten die Enden von r in die mit Quecksilber gefüllten Bohrungen von Messingklötzen, an welche die Zu- und Ableitungsdrähte angelöthet waren.

Die Methode setzt voraus, dass der Widerstand des secundären Kreises $r_1 + w_2$ bei der Messung der Inductionsströme (Schaltung I)¹⁾ gleich ist dem Widerstande $r + w_2$ bei der Messung des constanten Stromes (Schaltung II). Die Schaltung I konnte durch eine einzige Drehung eines passenden Commutators übergeführt werden in Schaltung II, indem dabei die Unterbrecher D_1 und D_2 ausgeschaltet und durch ihnen gleiche Drahtwiderstände ersetzt wurden, und

1) Vgl. p. 548.

indem w_0 ersetzt wurde durch die Leitung des secundären Kreises, nachdem aus dieser r_1 weggelassen war. Vor, resp. nach jedem Versuche wurden nun die betreffenden Widerstände abgeglichen, resp. ihre Gleichheit controlirt, indem zuerst die Leitung des secundären Kreises (Schaltung I) in den einen Zweig eines Differentialgalvanometers eingeschaltet wurde, dessen anderer Zweig einen Widerstandskasten und einen Jacobi'schen Rheostaten enthielt. Erfolgte kein Ausschlag mehr am Galvanometer, so wurde Schaltung I durch Umlegen des oben erwähnten Commutators in Schaltung II übergeführt und der Widerstand dieser so lange geändert, bis das Galvanometer wieder auf Null stand. Die Grösse der hierbei zur Vergleichung kommenden Widerstände betrug bei den einzelnen Versuchen zwischen 300 und 500 S.-E. Eine Ungleichheit von 0,01 S.-E. gab am Galvanometer bei Anwendung eines Daniell'schen Elementes einen Doppelausschlag von 3—6 Scalentheilen. Da der Widerstand von Schaltung I, wie aus Fig. 1 ersichtlich, bis auf etwa 0,3 Proc. sich genau aus denselben Theilen zusammensetzte, wie der von Schaltung II, und da die ausgewechselten Stücke durchaus gleichartig waren, nämlich zwei S.-E., so trat während der Versuche nie eine messbare Störung der Gleichheit ein.

11. Die Versuche.

Im ganzen wurden 67 Versuche ausgeführt. Bei der Anordnung derselben wurde Bedacht darauf genommen, alle darin vorkommenden Grössen in möglichst weiten Grenzen zu variiren. Am wenigsten war dies möglich bei dem Solenoid. Dieses wurde bei allen Versuchen benutzt, und hier konnte nur die Abänderung getroffen werden, dass die Inductionsrolle statt um die Mitte desselben, um einen Punkt gelegt wurde, der 10 cm mehr nach dem oberen oder unteren Ende des Solenoids lag.

Von der Inductionsrolle wurden einzelne Abtheilungen oder Combinationen derselben von zwei bis fünf angewendet, sodass die Zahl der benutzten Windungen 359 bis 2020 betrug.

Die Zahl der Stromunterbrechungen per Secunde betrug

5 bis nahe 13. Mehr wurden nie benutzt, um sicher zu sein, dass die Inductionsströme Zeit hatten, vollständig abzulaufen. Ob, resp. dass dies der Fall war, wurde vor jedem Versuche mit neuer Unterbrechungszahl in folgender Weise untersucht. Es wurde dem Disjunctor die für den Versuch bestimmte Rotationsgeschwindigkeit ertheilt und die Inductionsströme durch die Ablenkung am Galvanometer gemessen. Darauf wurden die Scheiden des Disjunctors ein wenig verstellt in dem Sinne, dass jetzt die Inductionsströme weniger Zeit zu ihrer Ausbildung hatten, und wieder die Ablenkung am Galvanometer gemessen. War diese dieselbe geblieben, so war damit bewiesen, dass die Inductionsströme zu voller Ausbildung gelangt waren, war sie kleiner geworden, oder zeigten sich kleine Schwankungen in den Ablenkungen am Galvanometer, so wurde natürlich jene Rotationsgeschwindigkeit nicht benutzt.

Der in absolutem Maasse zu bestimmende Widerstand betrug, wie schon erwähnt, $\frac{1}{2}$ S.-E. oder 1 S.-E. oder 2 S.-E. Damit der Ausschlag am Galvanometer eine passende Grösse hatte, wurde entweder die Stärke des inducirenden Stromes geändert, indem der Widerstand des primären Kreises vergrößert oder verkleinert wurde, oder die Stärke des inducirten Stromes in entsprechender Weise regulirt oder die Empfindlichkeit des Galvanometers geändert, indem eine oder beide Drahtwickelungen benutzt wurden, oder aber der dritte Magnet des Systems schwächer oder stärker genommen wurde. Die Schwingungsdauer des Galvanometers betrug 15 bis 33 Secunden.

Da mit dem Galvanometer eine Reihe schnell aufeinander folgender Inductionsströme gemessen werden sollte, so war es denkbar, dass die Dicke der Magnete von Einfluss gewesen wäre. Es wurden deshalb zu einer Anzahl von Versuchen Magnete von 6 mm Durchmesser, zu den übrigen Versuchen solche von nicht ganz 1 mm Durchmesser benutzt. Die erhaltenen Resultate weichen nicht voneinander ab.

Die Stärke des inducirenden Stromes betrug 0,0008 bis 0,01 Ampère. Die Versuche wurden ausgeführt mit Schliessungs- und mit Oeffnungs-Inductions-Strömen. Die Ver-

suchsanordnung setzt voraus, dass die electromotorische Kraft des benutzten Elementes während der Dauer eines Versuches stets dieselbe ist, unabhängig davon, ob das Element periodisch, wie bei der Beobachtung der Inductionsströme, oder dauernd, wie bei der Messung des constanten Stromes, in Anspruch genommen wird. Es liegt deshalb der Einwand sehr nahe, dass die Polarisirung in der Kette zu Fehlern Veranlassung geben kann. Um diesem Einwande zu begegnen, wurden benutzt:

1. Ein bis vier Daniell'sche Elemente, die direct den Strom in das Solenoid schickten.

2. Vier bis sechs Bunsen'sche Elemente, die durch einen Drahtwiderstand geschlossen waren. Von zwei passend gewählten Punkten dieses Widerstandes wurde der für diese Versuche nöthige Strom abgezweigt. Hierbei sind also die Elemente stets geschlossen, durch den Unterbrecher D_1 wird nur der Widerstand des Stromkreises geändert.

3. Eine Thermosäule.

Alle Stromquellen lieferten übereinstimmende Resultate.

Die Thermosäule bestand aus 130 Eisen- und Neusilberdrähten, die so auf ein $\frac{1}{2}$ m langes Brett gewickelt waren, dass die Löthstellen an den beiden entgegengesetzten Enden desselben lagen. Die eine Reihe der Löthstellen befand sich in einem Glasgefässe mit Kaiseröl, das in einem grossen Wasserbade stand, durch welches beständig das Wasser der Wasserleitung floss. Durch Einpacken in Eis habe ich eine constante Temperatur für längere Zeit nicht erzielen können. Es

dauerte dabei gewöhnlich 20 Minuten, bis die Löthstellen ihre tiefste Temperatur angenommen hatten, diese hielt sich 15–20 Minuten constant, begann aber dann wieder langsam zu steigen. Die zweite Reihe der Löthstellen befand sich in

einem Luftbade von etwa 260° C. Dasselbe besteht nach D'Arsonval aus einem doppelwandigen Gefässe von Kupferblech, das bei Zimmertemperatur etwa 7 l Oel fasst. Die Figur stellt einen Schnitt dar. Beim Anheizen ist der Hahn H_2 geschlossen, während H_1 dem sich ausdehnenden Oele freien Austritt gestattet. Ist die gewünschte Temperatur erreicht, so wird H_1 geschlossen und H_2 geöffnet. Das Ende von H_2 ist mit einem sehr feinen Gummihäutchen verschlossen, bis b mit Quecksilber gefüllt und mittelst Stopfen luftdicht in das Glasrohr G eingesetzt. In dieses mündet, ebenfalls luftdicht eingesetzt, das Gasleitungsrohr L . Das Rohr B führt zum Brenner, C verhütet das vollständige Auslöschen der Flamme. Die Löthstellen der Thermosäule befinden sich etwa in der Mitte von A . Das ganze Kupfergefäss steht auf einem passenden Dreifuss im Innern einer grossen Holzkiste, und ist aller freie Raum in derselben mit Holzasche ausgefüllt. Die Einrichtung bewährte sich ausgezeichnet, die Thermosäule war sehr constant.

Nachdem eine Anzahl von Versuchen (43) ausgeführt war, wurden alle Zuleitungsdrähte durch neue ersetzt, alle Stromwender, sowie der Disjuncter neu aus Paraffin und Siegelack angefertigt. Die Resultate der nachfolgenden Versuche stimmten mit den früheren durchaus überein.

Die Dauer eines Versuches betrug je nach der benutzten Schwingungsdauer des Galvanometers 30 bis 70 Minuten.

Zuerst wurden mittelst des Differentialgalvanometers die Widerstände von Schaltung I und Schaltung II abgeglichen, die Temperatur des Widerstandes r abgelesen, der Disjuncter in Thätigkeit gesetzt und bei einem bestimmten Schlage des Chronometers das Zählwerk an demselben eingeschaltet. Nun wurde α_1 beobachtet, indem zuerst bei einer bestimmten Stromesrichtung fünf Umkehrpunkte der Galvanometernadel abgelesen wurden, dann wurde der inducirende Strom commutirt und abgelesen, hierauf der inducirte, wieder der inducirende und zum Schluss nochmals der inducirte. Nachdem mittelst des Hauptcommutators Schaltung I übergeführt in II, wurde ebenso α_2 bestimmt, und diese Beobachtungen abwechselnd jede mindestens drei-, resp. zweimal wiederholt.

Jetzt wurde bei einem bestimmten Secundenschlage das Zählwerk des Disjunctors eingeschaltet und dieser angehalten, die Gleichheit der Widerstände von Schaltung I und II controlirt und wieder die Temperatur des Widerstandes r abgelesen.

Im Nachfolgenden theile ich die Beobachtungen des ersten Versuches ausführlich mit.

Den 27. 4. 1885 Temperatur beim Solenoid $T = 14,4^{\circ} \text{C.}$:

$r = 1 \text{ S.-E. Nr. 3619 } t = 14,18^{\circ} \text{C. u. } 14,19^{\circ} \text{C.}$

Stärke des inducirenden Stromes $i = 0,0008 \text{ Ampère.}$

Von der Inductionsspule B benutzt die Abtheilungen Nr. 1, 12 und 13 mit im ganzen 907 Windungen. Mithin das Potential $V = 101681 \cdot 10^8 \text{ c. g. s.}$

Schwingungsdauer der Galvanometernadel: 15,7 Secunden. Die am Galvanometer beobachteten Doppelausschläge $2s_1$ bei Schaltung I (Inductionsströme) und $2s_2$ bei Schaltung II (constanter Strom) waren:

$2s_1 =$	814,06	813,35	813,30	813,23	812,75
$2s_2 =$	808,83	808,40	808,32	807,80	
Scalenabstand 365,52 cm.					

Hieraus berechnet $\text{tg } \alpha_2 / \text{tg } \alpha_1$:

0,99404 0,99421 0,99398 0,99396 0,99396 0,99368 0,99366

Mittel: 0,99393.

Uhr		Zählwerk am Disjunctore	
9 h	47 m	0	0
10	37	2328	47

Da der zweite Zeiger des Zählwerks die $1/60$ Umdrehungen anzeigt, so haben wir 2328,78 Umdrehungen in 3000 Secunden. Jede Umdrehung gibt 12 Unterbrechungen, mithin:

$$n = \frac{2328,78}{3000} \cdot 12 = 9,3151.$$

Mit Berücksichtigung des Temperaturcoefficienten der benutzten S.-E. ergibt sich:

$$1 \text{ S.-E.} = 0,94379 \text{ Ohm.}$$

Bei den für $\text{tg } \alpha_2 / \text{tg } \alpha_1$ mitgetheilten Zahlen beträgt die grösste Abweichung vom Mittel nahezu 0,0003 des Gesamtwertes. Ich muss bemerken, dass ausser diesem ersten Versuche nur noch zwei andere Beobachtungen (Nr. 10, und 17,

der folgenden Tabelle), also im ganzen 3 unter 66 eine ähnliche Differenz ergeben haben, bei allen anderen ist die Uebereinstimmung eine noch wesentlich bessere. Als Beispiel theile ich noch die Werthe des zweiten Versuches Ib mit:

$2s_1 =$	778,23	778,11	778,25	778,17
$2s_2 =$	798,60	798,28	798,42	798,28
$\text{tg } \alpha_2 / \text{tg } \alpha_1$				
1,02583	1,02569	1,02586	1,02568	1,02564 Mittel: 1,02576.

Die grösste Abweichung vom Mittel beträgt nur 0,0001.

Die folgende Tabelle enthält in der ersten Verticalreihe die Nummern der Versuche, in der zweiten die Bezeichnung der bei dem betr. Versuche benutzten Abtheilungen der Inductionsrolle, in der dritten die Zahl der darin enthaltenen Windungen. V giebt das Potential des Solenoids auf die in Frage kommenden Windungen der Inductionsspule, T die Zimmertemperatur in der Nähe des Solenoids. In der Columnne E bedeutet D Daniell'sches, B Bunsen'sches, Θ Thermoelement. Die Stromstärke im inducirenden Kreise i , ausgedrückt in Ampère, ist angenähert berechnet aus der electromotorischen Kraft der benutzten Elemente und dem Widerstande des Kreises. Unter r findet sich der Widerstand, welcher in absolutem Maasse gemessen werden sollte. Wenn nur 1 S.-E. benutzt wurde, war dies stets Nr. 3619, richtig bei 20,9° C. $\alpha = 0,00036$. Die Temperatur dieses Widerstandes, zu Anfang und zu Ende des Versuches abgelesen, findet sich unter t . Weiter bedeutet n die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde, τ die Schwingungsdauer des Galvanometers in Secunden, und $\text{tg } \alpha_2 / \text{tg } \alpha_1$ das Verhältniss der reducirten Galvanometerablenkungen bei Schaltung I und II (cfr. p. 2). Endlich enthält die letzte Nummer den Werth der S.-E. in absolutem Maasse ausgedrückt, d. h. in Bruchtheilen des Ohms.

Zu der nachstehende Tabelle muss ich noch die folgenden Bemerkungen machen.

Die Versuche, deren Nummern den Index a tragen, sind mit Schliessungs-, die mit dem Index b mit Oeffnungs-Inductions-Strömen ausgeführt.

Die Resultate.

Nr.	A	b	$V \cdot 10^{-3}$	T	E	i	r	t	n	τ	$\text{tg}\alpha_2/\text{tg}\alpha_1$	S.-E./Ohm
1 ^a	1.12.13	907	101 691	14,4	1 D.	0,0008	1	14,18 14,19	9,3151	15,7	0,99393	0,94379
1 ^b	"	"	"	14,6	"	"	"	14,39	9,0241	"	1,02576	0,94352
2 ^a	"	"	"	14,2	"	0,002	"	14,70 14,68	9,1532	"	1,01134	0,94346
2 ^b	"	"	"	14,3	"	"	"	13,33 13,34	9,1623	"	1,00987	0,94348
3 ^a	"	"	"	13,9	2 D.	0,006	"	13,62 13,64	9,1601	"	1,01004	0,94331
3 ^b	"	"	"	14,1	"	"	"	13,88	9,1597	"	1,01008	0,94323
4 ^a	"	"	"	14,8	"	0,01	"	14,15	9,1589	"	1,01061	0,94355
4 ^b	"	"	"	14,5	"	"	"	14,22	9,1621	"	1,01048	0,94373
5 ^a	1.2	1122	126 109	14,7	1 D.	0,001	"	14,62 15,05	7,4797	"	0,99783	0,94334
5 ^b	"	"	"	14,1	"	"	"	15,03 15,70	7,4822	"	0,99779	0,94347
6 ^a	4.6.7.8	1021	114 347	15,1	"	"	"	15,71	8,1584	"	1,00934	0,94336
6 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	15,93	8,1536	"	1,01026	0,94359
7 ^a	10.11	975	108 638	15,2	"	"	"	15,41 15,40	8,6509	"	1,00211	0,94366
7 ^b	"	"	"	14,9	"	"	"	13,75	8,6532	"	1,00120	0,94361
8 ^a	8.11.12 13.14	731	81 402,1	14,8	"	"	"	13,13 13,14	11,4232	"	1,01204	0,94369
8 ^b	"	"	"	14,1	"	"	"	13,66	11,4473	"	1,01012	0,94372
9 ^a	1	690	77 574,7	13,8	"	"	"	15,23	12,2060	"	0,99434	0,94344
9 ^b	"	"	"	14,1	"	"	"	14,77 14,75	12,1444	"	0,99932	0,94354
10 ^a	2.4	681	76 483,9	14,5	"	"	"	14,9	12,4720	"	0,98696	0,94350
10 ^b	"	"	"	14,8	"	"	"	15,55 15,56	12,5336	"	0,98262	0,94377
11 ^a	1.2	1122	126 109	14,4	"	0,003	"	16,43 16,44	7,4989	23	0,99636	0,94375
11 ^b	"	"	"	14,6	"	"	"	16,77	7,5022	"	0,99608	0,94379
12 ^a	1.2.3.9	1364	153 195	14,7	"	0,0008	"	16,93	6,1193	"	1,00506	0,94354
12 ^b	"	"	"	15,0	"	"	"	16,88 16,90	6,0702	"	1,01328	0,94363
13 ^a	"	"	"	15,1	"	"	"	16,73	6,0735	33,4	1,01274	0,94370
13 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	16,10	6,0760	"	1,01176	0,94339
14 ^a	"	"	"	15,0	"	0,001	2	17,40	12,3922	15,5	0,99273	0,94362
14 ^b	"	"	"	14,8	"	"	"	17,80 17,81	12,4400	"	0,98904	0,94360
15 ^a	1.2.3 4,9	1613	181 144	15,0	"	0,0008	"	17,31	10,4441	"	0,99615	0,94364
15 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	17,45 17,46	10,4105	"	0,99933	0,94356
16 ^a	1.2.3 4.10	2020	226 509	15,2	"	"	"	17,71	8,3797	"	0,99320	0,94378
16 ^b	"	"	"	15,0	"	"	"	17,80 17,81	8,3831	"	0,99278	0,94374
17 ^a	10	561	62 567,1	15,5	"	0,004	0,5	18,39	7,6165	"	0,98923	0,94379
17 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	18,60	7,6004	"	0,99097	0,94338
18 ^a	2	432	48 534,7	15,1	"	"	"	18,42	9,6232	"	1,00919	0,94366

Nr.	A	b	V. 10 ⁻³	T	E	i	r	t	n	τ	tgα ₁ /tgα ₂	S.-E./Ohm
18 ^b	2	432	48 534,7	15,1	1 D.	0,004	0,5	{17,82 17,84	9,6603	15,5	1,00519	0,94375
[19	9.12	359	39 987,1	15,2	"	"	"	{18,84 18,85	11,9084	"	0,99136	0,94495]*
19 ^a	"	"	"	15,7	"	"	"	18,78	11,9320	"	0,98804	0,94367
19 ^b	"	"	"	15,1	"	"	"	17,69	11,9277	"	0,98814	0,94380
20 ^a	10	561	62 567,1	15,0	"	"	"	{17,42 17,45	7,5049	"	1,00334	0,94356
20 ^b	"	"	"	14,7	"	"	"	16,65	7,5032	"	1,00353	0,94379
21 ^a	1.12.13	907	101 691	14,9	"	0,001	1	17,31	9,1689	"	1,01082	0,94370
21 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	18,72	9,2023	"	1,00761	0,94365
22 ^a	"	"	"	15,6	"	"	"	{19,01 19,02	9,2100	"	1,00676	0,94355
22 ^b	"	"	"	15,8	"	"	"	19,63	9,1881	"	1,00946	0,94362
23 ^a	2.4	681	76 483,9	15,7	"	0,009	"	19,41	12,2741	"	1,00475	0,94374
23 ^b	"	"	"	15,6	"	"	"	19,03	12,2409	"	1,00739	0,94378
24 ^a	6.7.8	772	86 397,9	15,2	"	0,002	"	19,90	10,9787	"	0,99425	0,94342
24 ^b	"	"	"	15,5	"	"	"	{20,01 20,02	10,9030	"	1,00117	0,94340
25 ^a	"	"	86 291,9*	15,0	"	"	"	19,56	11,0179	"	0,99162	0,94324
25 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	18,74	10,9991	"	0,99307	0,94329
26 ^a	"	"	86 288,7*	15,1	"	"	"	18,92	11,0114	"	0,99224	0,94346
26 ^b	"	"	"	* 15,3	"	"	"	{18,87 18,88	10,9598	"	0,99709	0,94364
27 ^a	1.12.13	907	101 574	* 15,8	"	"	"	20,23	9,3124	"	0,99725	0,94353
27 ^b	"	"	"	15,8	"	"	"	20,41	9,3280	"	0,99577	0,94365
28 ^a	"	"	101 691	15,7	5 B.	0,0009	"	20,72	9,1845	"	1,01005	0,94342
28 ^b	"	"	"	15,3	"	"	"	20,59	9,1973	"	1,00865	0,94348
29 ^a	6.7.8	772	86 397,9	15,4	6 B.	0,0012	"	{20,90 20,89	10,8549	"	1,00579	0,94327
29 ^b	"	"	"	15,8	"	"	"	21,34	10,8812	"	1,00357	0,94332
30 ^a	"	"	"	15,9	Θ	?	"	22,24	11,0451	"	0,98899	0,94331
30 ^b	"	"	"	15,5	"	?	"	{23,44 23,45	10,9956	"	0,99411	0,94353
31 ^a	1.2	1122	126 109	15,6	"	?	"	21,33	7,4666	"	1,00224	0,94357
31 ^b	"	"	"	15,4	"	?	"	18,84	7,4738	"	1,00015	0,94335
32 ^a	"	"	"	15,2	1 D.	0,001	"	18,78	7,4825	"	0,99909	0,94347
32 ^b	"	"	"	15,5	"	"	"	19,01	7,4893	"	0,99834	0,94354
33 ^a	10.12	766	85 351,2	15,8	"	"	"	19,90	11,0062	"	1,00414	0,94362
33 ^b	"	"	"	15,4	"	"	"	19,23	10,9867	"	1,00572	0,94366

* Siehe p. 575.

Bei den Versuchen Nr. 1_a bis 13_b bestand das Magnet-system des Galvanometers aus Magneten von 6 mm Durchmesser, bei allen übrigen Versuchen betrug der Durchmesser der Magnete noch nicht ganz 1 mm (cfr. p. 568).

Nach Beendigung des Versuches Nr. 21^b wurden alle Verbindungsdrähte durch neue ersetzt und alle Stromwender sowie der Disjuncter aus reinem Paraffin und Siegellack neu hergestellt.

Bei den Versuchen 25^a und 25^b war der Mittelpunkt der Inductionsrolle in Richtung der Axe um 10,05 cm nach der einen Seite, bei den Versuchen Nr. 26a bis 27b um 10,20 cm nach der anderen Seite von dem Mittelpunkte des Solenoids entfernt. Das Potential ist nach Formel IX, p. 552 berechnet.

Bei den Versuchen Nr. 28a und 28b waren fünf Bunsen'sche Elemente geschlossen durch einen Draht von 5260 S.-E. Von zwei Punkten, zwischen denen der Widerstand nahezu 500 S.-E. betrug, wurde abgezweigt zum Solenoid. Bei 29^a und 29^b waren entsprechend sechs Bunsen geschlossen durch 3000 S.-E. und abgezweigt von den Enden von 400 S.-E.

Bei den Beobachtungen mit der Thermosäule habe ich versäumt, die electromotorische Kraft der Säule mit der eines Daniell zu vergleichen, und kann die Stromintensität deshalb nicht berechnen.

In der letzten Columnne weicht ein Werth, der von Nr. 19 in Klammer, nicht unbedeutend von allen übrigen ab. Ich vermag den Grund hierfür nicht anzugeben. Nr. 19^a ist unter genau denselben Verhältnissen ausgeführt wie Nr. 19, es ist zwischen den beiden Versuchen nur das Quecksilber des Disjunctors neu eingefüllt, wie dies stets vor einem neuen Versuche geschehen ist, im übrigen alles ungeändert geblieben.

Da der Werth von Nr. 19 durchaus vereinzelt dasteht, so glaube ich, dass irgend ein Versehen in den Ablesungen vorliegt, und ich habe den Versuch deshalb bei der Berechnung des Mittels ausgeschlossen. Würde er mit berücksichtigt, so wäre im Endresultat die fünfte Decimale um zwei Einheiten zu erhöhen.

Das Mittel aus den 66 übrigen Versuchen ergibt:

$$1 \text{ S.-E.} = 0,94356 \text{ Ohm,}$$

oder ein Ohm entspricht dem Widerstande einer Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt und

$$105,98 \text{ mm Länge bei } 0^{\circ} \text{ C.}$$

Von den erhaltenen Werthen war:

$$\text{der kleinste } 1 \text{ S.-E.} = 0,94323 \text{ Ohm,}$$

$$\text{der grösste } 1 \text{ S.-E.} = 0,94380 \text{ Ohm.}$$

Phys. Inst. Freiburg i. B.