

~~46170~~

71170

SEPARATABDRUCK

AUS DEM

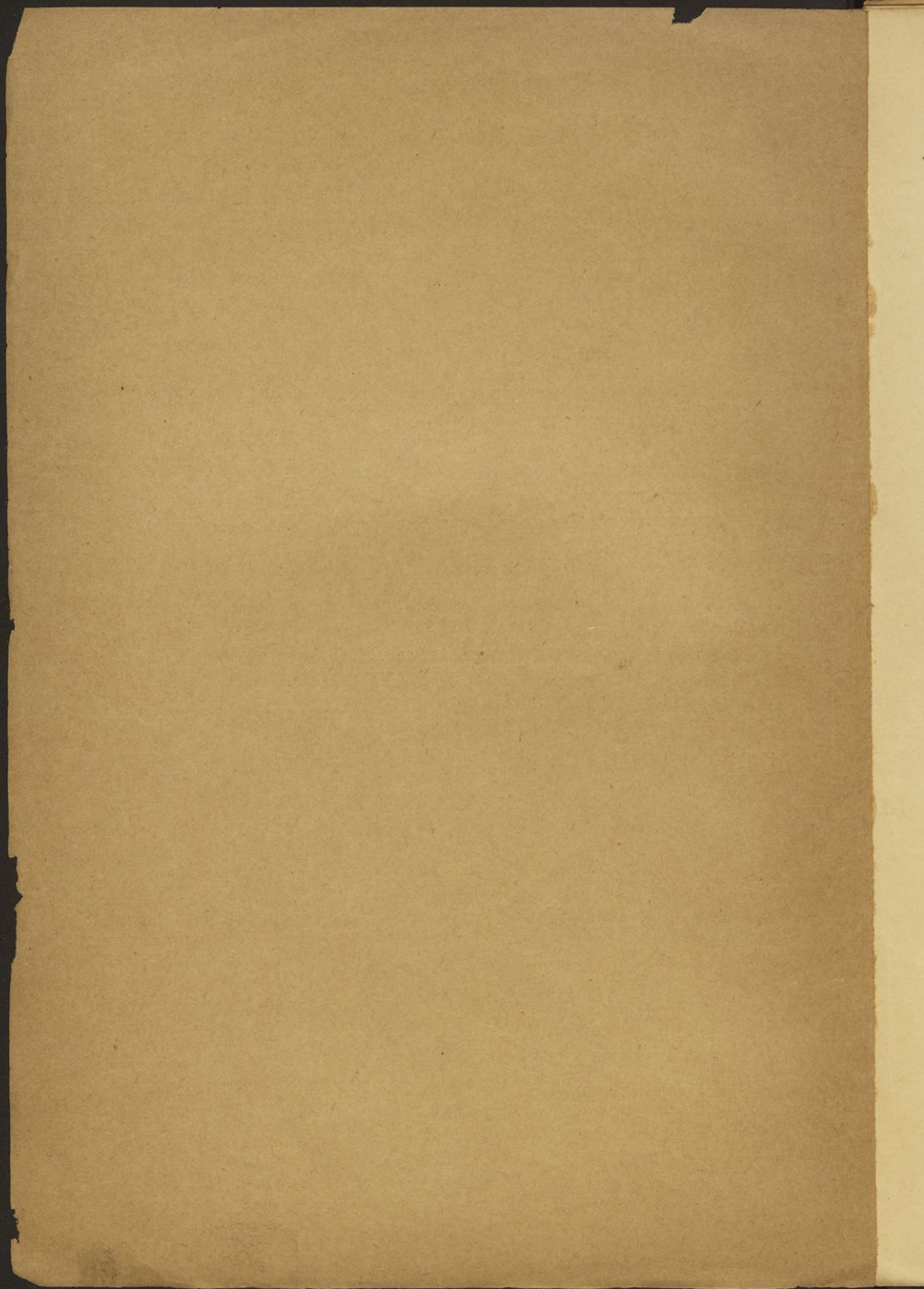
REPERTORIUM DER PHYSIK.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. F. EXNER,  
A. O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT WIEN.

[München. Oldenbourg 1884]





~~46170~~

I 71170



# Untersuchungen über das Verhältniss zwischen dem elektrostatischen und elektromagnetischen Maasssystem. I.<sup>1)</sup>

Von

**Dr. Ignaz Klemenčič.**

## I. Einleitung.

Das Verhältniss zwischen der elektrostatischen und elektromagnetischen Einheit der Stromintensität hat der berühmte englische Physiker Maxwell mit  $v$  bezeichnet, da demselben die Dimension einer Geschwindigkeit zukommt. Derselbe Gelehrte hat die Auswerthung dieser Grösse zu den wichtigsten Untersuchungen gezählt, zu denen die elektrischen Erscheinungen Veranlassung geben (Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, deutsch von Weinstein, Kap. 19 S. 516).

Die Wichtigkeit dieser Zahl liegt nicht bloss in dem praktischen Interesse, welches der Physiker an der genauen Bestimmung des Verhältnisses zweier wichtiger Maasssysteme besitzt, sondern auch ganz besonders in jenen Ansichten, die von dem genannten englischen Forscher über die Wechselbeziehungen zweier Gebiete physikalischer Erscheinungen, des Lichtes und der Elektrizität, aufgestellt worden sind, und denen zufolge die Grösse  $v$  mit der Lichtgeschwindigkeit identisch sein soll.

Neben Weber und Kohlrausch<sup>2)</sup>, dann Thomson<sup>3)</sup> und Maxwell<sup>4)</sup>, die die ersten Bestimmungen des  $v$  lieferten, beschäftigte

1) Vom Herrn Verfasser mitgetheilt aus den Sitzungsberichten der Wiener Akad. Bd. 89. 1884.

2) Weber und Kohlrausch, Elektrodyn. Maassbest. Leipzig 1856.

3) Thomson, Rep. Brit. Assoc. 1869. — Gordon, A physical treatise on electricity and magnetism vol. II p. 194. — Wiedemann, Galvanismus 2. Aufl. S. 462.

4) a. a. O. Wiedemann, Galvanismus.



030035702



sich in den letzten Jahren eine grössere Zahl von Physikern mit der experimentellen Feststellung des Werthes von  $v$ , und zwar insgesamt nach Methoden, die schon von Maxwell in seinem bereits citirten Lehrbuche mit grösserer oder geringerer Ausführlichkeit angegeben wurden.

Die ersten von Weber und Kohlrausch, dann Thomson und Maxwell ermittelten Werthe liegen ziemlich weit aus einander. Jene leiteten aus ihren Beobachtungen den Werth  $3,107 \times 10^{10}$  ab; Thomson fand  $2,82 \times 10^{10}$ , Maxwell  $2,88 \times 10^{10}$ .

Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen liegen zwar innerhalb engerer Grenzen, indem sie durchwegs zwischen die Weber'sche und Maxwell'sche Zahl fallen, es ist jedoch mit ihnen noch durchaus nicht jene genaue Kenntniss dieser Grösse erreicht, welche ihrer Wichtigkeit entspricht. So fand

Mc. Kichan <sup>1)</sup> im Jahre 1873 nach der Methode von Thomson durch die Bestimmung einer elektromotorischen Kraft im elektrostatischen und elektromagnetischen Maasse den Werth . . . . .	$2,93 \times 10^{10}$
R. Shida <sup>2)</sup> fand nach eben dieser Methode im Jahre 1881 $v =$ . . . . .	$2,995 \times 10^{10}$
W. E. Ayrton und Perry <sup>3)</sup> bestimmte die Capacität eines mit Schutzring versehenen Condensators durch Rechnung in elektrostatischem Maasse, dann in elektromagnetischem, indem sie ihn mittels einer Kette von 382 Dan.-El. luden und durch ein Galvanometer entluden. Diese Methode ergab $v =$ . . . . .	$2,980 \times 10^{10}$
Hockin <sup>4)</sup> ermittelte auf diese Weise $v =$ . . . . .	$2,988 \times 10^{10}$

Im Märzhefte 1881 der Sitzungsberichte der Wiener Akad. veröffentlichte ich einige vorläufige Resultate, die nach einer ähnlichen Methode wie die vorhergehende gewonnen wurden; der Unterschied zwischen beiden Methoden lag in der Anwendung einer continuirlichen Ladung und Entladung des Condensators, wodurch die Anwendung einer Ladungskette von sehr vielen Elementen entfällt. — Zu den Versuchen diente ein Condensator nach Kohlrausch; dessen Capacität wurde

1) Phil. Mag. 47. Berl. Fortschritte 1873. — Gordon, A physical etc.

2) Phil. Mag. 1881. Wiedemann's Beiblätter 1881.

3) Phil. Mag. 1879. Gordon, A physical etc. vol. II p. 198. Wiedemann's Beibl. 1879.

4) Gordon l. c.



nach der Formel gerechnet, die eine durchaus gleichmässige Vertheilung der Elektrizität an den Condensatorflächen voraussetzt. Das ist jedoch ein Fall, der der Wirklichkeit nicht entspricht; die veröffentlichten Resultate waren daher nur als ein Beweis der Brauchbarkeit der beschriebenen Methode anzusehen.

Stoletow beobachtete nach der gleichen Methode jedoch unter Anwendung eines Schutzringcondensators. Er beschrieb seine Versuche im „Journal de physique t. X. 1881“ und bezeichnete als vorläufiges Resultat die beiden Grenzwerte 2,98 und . . . . .

$$3,00 \times 10^{10}$$

In gleicher Weise versuchte Branly<sup>1)</sup> die Elektrizitätsmenge zu bestimmen, welche ein Daniell'sches Element bei einem gewissen Schliessungswiderstande in der Zeiteinheit durch den Querschnitt schickt, ohne jedoch daraus einen Werth für  $v$  abzuleiten.

J. J. Thomson<sup>2)</sup> benutzte ebenfalls diese Art der Untersuchung. Als Resultat derselben wird angegeben  $v =$

$$2,963 \times 10^{10}$$

F. Exner<sup>3)</sup> ermittelte durch Vergleich der Einheiten der elektromotorischen Kräfte den Werth  $3,01 \times 10^{10}$ . Bei diesen Versuchen wurde 1 S.-E.  $= 0,9717 \times 10^9$  absoluten Einheiten angenommen. Dieser Werth, der von Kohlrausch<sup>4)</sup> im Jahre 1873 gefunden wurde, ist in neuester Zeit von ihm selbst nach einer abermaligen Ausmessung der Fläche des benutzten Inductors verbessert worden<sup>5)</sup>. Darnach ist 1 S.-E.  $= 0,9433 \times 10^9$  abs. E. zu setzen. — Legt man der Berechnung Exner's diesen Werth zu Grunde, so folgt  $v =$  . . . . .

$$2,92 \times 10^{10}$$

Rowland<sup>6)</sup> leitete aus seinen Versuchen über die magnetische Kraftwirkung der convectiv fortgeführten Elektrizität einen Werth ab  $=$  . . . . .

$$3,0448 \times 10^{10}$$

Die angeführten Zahlen beweisen, dass man mit den bisherigen Untersuchungen noch nicht an der Grenze der wünschenswerthen

1) Compt. rend. 1873.

2) Proc. Roy. Soc. 35. 1883. Wiedemann's Beibl. 1883.

3) Sitzungsberichte der Wiener Akad. Bd. 86 Jahrg. 1882.

4) Pogg. Ann. Ergbd. 6.

5) Nachrichten der kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1882. Wied. Ann. Bd. 18 S. 513.

6) Berliner Monatsber. 1876. Gordon vol. II p. 201. — Pogg. Ann. Bd. 158.



Genauigkeit angelangt ist, und dass es weiteren Bemühungen vorbehalten bleiben muss, eine Entscheidung über den richtigen Werth der Grösse  $v$  herbeizuführen.

In der vorliegenden Abhandlung werden Versuche beschrieben, welche ich zur Ermittlung der obigen Zahl nach der Methode anstellte, über die bereits (a. a. O.) einige vorläufige Resultate mitgetheilt wurden. Das Wesen der Methode selbst besteht in folgendem: Man ladet einen Condensator, dessen Capacität man im elektrostatischen Maasse berechnen kann, mittels einer Kette mehrmals in der Secunde und entladet ihn ebenso oft durch ein Galvanometer, wobei man an diesem einen constanten Ausschlag beobachtet. Dieser Vorgang sei als Beobachtung der Condensatorentladungen bezeichnet. Dann schliesst man die Kette durch einen Widerstand und durch ein Galvanometer und beobachtet an diesem wieder den constanten Ausschlag. Diesen zweiten Vorgang will ich die Beobachtung bei geschlossener Kette nennen. Aus dem Verhältniss der beiden Galvanometerausschläge, aus der Anzahl der Entladungen in der Secunde, aus der elektrostatischen Condensatorcapacität und aus dem in elektromagnetischem Maasse ausgedrückten Widerstande bei geschlossener Kette lässt sich der Werth des  $v$  berechnen.

Als ein besonderes Merkmal dieser Versuche kann die Anwendung eines Condensators ohne Schutzring angesehen werden. Während man sich bisher durchwegs der Schutzringcondensatoren bediente, wo es sich um eine exacte Berechnung der Capacität nach elektrostatischem Maasse handelte, gebrauchte ich hier zum ersten Male einen einfachen, aus zwei kreisförmigen Platten bestehenden Condensator. Die Capacität eines solchen Condensators kann nach einer von Kirchhoff<sup>1)</sup> abgeleiteten Formel berechnet werden. Die gute Uebereinstimmung der Werthe, die bei verschiedenen Plattendistanzen erhalten wurden, beweist, dass die erwähnte Formel bei einem derartigen Condensator mit aller wünschenswerthen Genauigkeit anwendbar ist. Dieses Resultat hat insoferne eine praktische Bedeutung, als es nun möglich sein wird, einen Condensator von genau berechenbarer Capacität ohne grossen Aufwand von Geld und Kunst herzustellen. Wollte man die Berechtigung des oben Gesagten noch auf eine andere Weise auf die Probe stellen, dann würde es sich empfehlen, einen gewöhnlichen kreisförmigen Plattencondensator direct mit einem Schutzringcondensator zu vergleichen.

Als Commutator, der die Ladung und Entladung des Condensators selbstthätig zu besorgen hatte, ist hier eine elektromagnetisch

---

1) Monatsber. der Berliner Akademie 1877



anregbare Stimmgabel verwendet worden. Es darf mit Recht behauptet werden, dass alle Vorrichtungen, welche zu einem ähnlichen Zwecke ersonnen und benutzt wurden, von dieser bezüglich der Regelmässigkeit des Ganges übertroffen werden, sie ist, bei sorgfältiger Behandlung, ohne Zweifel der beste Commutator für solche Versuche.

Bei der Ausführung der Messung ist, wie oben auseinandergesetzt, die Beobachtung zweier Vorgänge nothwendig; die der Condensatorentladungen und die Beobachtung bei geschlossener Kette. Führt man dieselben hinter einander durch, so kann mit Recht gefragt werden, ob die Kette in den beiden Fällen wohl auch die gleiche elektromotorische Kraft besitze, oder mit anderen Worten, ob die elektromotorische Kraft bei offener und bei geschlossener Kette dieselbe sei. Um einer solchen Frage auszuweichen, habe ich einen Theil der Versuche nach einer abgeänderten Methode durchgeführt. Während nämlich durch die eine Rolle eines Differentialgalvanometers der Condensator entladen wurde, war durch die zweite und durch einen Widerstand die den Condensator ladende Kette constant geschlossen. Die Wirkungen der beiden Ströme auf die Magnetnadel waren entgegengesetzt und es konnte durch Veränderung des Widerstandes in der constanten Schliessung der Ausschlag des Galvanometers immer gleich Null gemacht werden. Es ist dies also eine sog. Nullmethode. Sie ist, wie ich mich nachträglich überzeugte, auch bereits von Maxwell (a. a. O.) angegeben worden.

Indem ich die Beobachtungen sowohl hinter einander als auch nach der Nullmethode anstellte, suchte ich den Unterschied zwischen der elektromotorischen Kraft der offenen und der durch einen Widerstand von 5000 bis 10000 S.-E. geschlossenen Kette festzustellen. Ein solcher konnte nicht mit Sicherheit constatirt werden; jedenfalls ist er kleiner als 0,17 %.

Für das Verhältnis zwischen der elektrostatischen und elektromagnetischen Einheit der Stromintensität wurde aus vielen Bestimmungen bei sechs verschiedenen Plattendistanzen ein Mittelwerth

$$v = 3,0188 \times 10^9$$

ermittelt.

Bei der Beobachtung der Condensatorentladungen wird, vorausgesetzt, dass die gesammte während der Ladung im Condensator angehäuften Electricität während der kurzen Zeit, in der der Condensator mit dem Galvanometer und der Erde verbunden wird, wirklich abfließt. Dies ist in unserem Falle auch vollkommen geschehen. Es lässt sich jedoch durch Vergrösserung des Widerstandes, durch den die Entladung vor sich geht, immer bewerkstelligen, dass ein Theil



der Elektrizität im Condensator zurückgehalten wird. Das Verhältniss der zurückgebliebenen, zur gesammten durch die Ladung im Condensator angehäuften Elektrizität ist eine Function des Widerstandes, der Condensatorcapacität, der Entladungsdauer und des Inductionscoefficienten der in der Leitung vorhandenen Drähte. Die theoretische Behandlung eines solchen Falles lieferte W. Thomson<sup>1)</sup>. Durch Beobachtungen dieser Art kann der Widerstand in elektrostatischem Maasse ausgedrückt werden; bestimmt man ihn überdies in elektromagnetischem, so lässt sich aus diesen beiden Werthen  $v$  berechnen. Auch diese Methode findet sich in Maxwell's Lehrbuche angeführt. Versuche dieser Art sollen in einer zweiten Abhandlung beschrieben werden.

## II. Die Beobachtungsmethode.

Ein Pol einer Kette von der elektromotorischen Kraft  $E$  sei mit einem Condensator von der elektrostatisch oder mechanisch gemessenen Capacität  $C$  verbunden, der andere zur Erde abgeleitet. Im Condensator wird hierdurch eine Elektrizitätsmenge  $EC$  angesammelt. Unterbricht man dann die Verbindung der Kette mit dem Condensator und entladet letzteren durch ein Galvanometer, so wird dieses momentan abgelenkt. Es nimmt eine dauernde Ablenkung an, wenn man die Ladung und Entladung des Condensators rasch hinter einander wiederholt. Es geschehe dies  $N$ mal in der Secunde, dann haben wir folgende Relation:

$$i = NEC = G\alpha, \quad (1)$$

wo  $i$  die Stromstärke,  $G$  den Reductionsfactor und  $\alpha$  den Galvanometerausschlag bedeutet. Alle Grössen sollen in elektrostatischem Maasse angegeben sein.

Schliesst man hierauf die Kette durch einen Widerstand  $R$  (mechanisch gemessen) und durch das Galvanometer, so bekommt man einen Ausschlag  $\varphi$ . Bedeutet  $J$  die Stromstärke in diesem Falle, dann haben wir

$$J = \frac{E}{R} = G\varphi. \quad (2)$$

$R$  bedeutet den Widerstand der Gesamtschliessung. Um einen ablesbaren Ausschlag zu bekommen, ist man gewöhnlich bemüssigt, vor dem Galvanometer eine Nebenschliessung anzubringen. Ist der Widerstand dieser Nebenschliessung  $w$ , der Widerstand der Galvanometer-

1) Phil. Mag. 1855. Berliner Fortschritte 1853. Wiedemann, Galvanismus 2. Aufl. S. 121.



rollen  $q$  und der Widerstand der gesammten übrigen Leitung sammt Kette  $W$ , so hat man

$$R = \frac{W(w + q) + qw}{w} \quad (3)$$

zu setzen.

Substituirt man aus Gl. 1 den Werth für  $E$  in Gl. 2, so bekommt man

$$R = \frac{\alpha}{q N C}. \quad (4)$$

Durch die Gleichung 4 wird  $R$  in mechanischem Maasse gemessen. Wird derselbe Widerstand in elektromagnetischem Maasse ausgedrückt, so ist

$$R_{\text{mech.}} = \frac{R_{\text{elm.}}}{v^2}. \quad (5)$$

Darin bezeichnen die  $R$  angehängten mech. und elm. die entsprechenden Maasssysteme.

Aus Gl. 4 und 5 folgt

$$v = \sqrt{R_{\text{elm.}} N C \frac{q}{\alpha}}. \quad (6)$$

Bedient man sich bei den Beobachtungen eines Differentialgalvanometers, so kann man die beiden Rollen desselben bezüglich ihrer Wirksamkeit vollkommen gleich machen. Ein und derselbe Strom, der dann durch dieselben in entgegengesetztem Sinne hindurchgeschickt wird, bringt gar keine Ablenkung der Galvanometernadel hervor. Sind die beiden Rollen auf diese Weise vollkommen compensirt, so kann durch eine dieser Rollen die Kette dauernd geschlossen, durch die andere der Condensator entladen werden. Durch Veränderung der Widerstände  $W$  und  $q$  in dem Schliessungskreise der Kette ist es dann möglich, die Ablenkung der Galvanometernadel gleich Null zu machen. Da dieselbe Kette gleichzeitig den constanten Strom liefert und den Condensator ladet, so haben wir in dem Falle

$$v = \sqrt{R_{\text{elm.}} N C}. \quad (7)$$

### III. Anordnung der Versuche.

Fig. 1 gibt eine Uebersicht über die Zusammenstellung der Apparate in dem Falle, in dem die Beobachtungen der continuirlichen Condensatorentladungen und die bei geschlossenem Strom hintereinander gemacht wurden. Zur Berechnung der Versuche diente hier Gleichung 6.



Die beiden Rollen des Galvanometers  $G$  waren so verbunden, dass sich die Wirkungen des dieselben durchfliessenden Stromes sum-

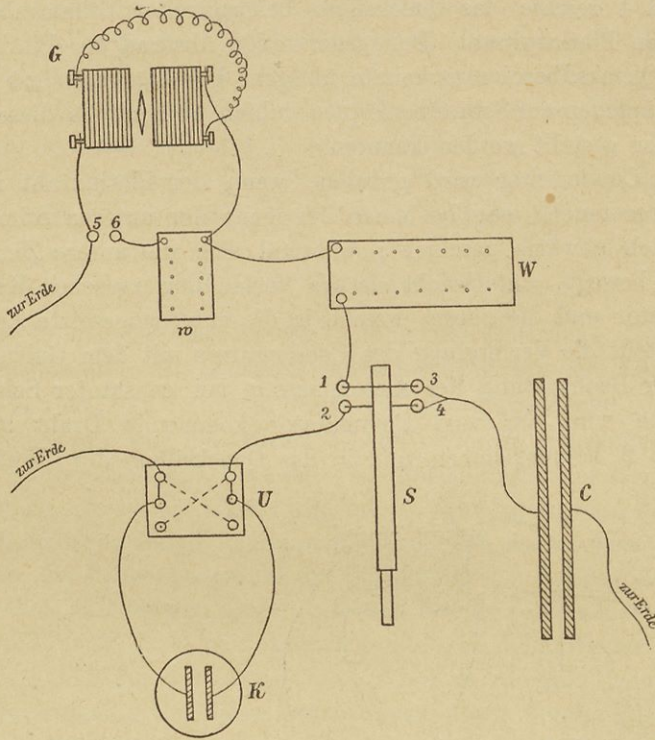


Fig. 1.

mirten.  $W$  ist ein Siemens'scher Stöpselatalon von zusammen 10000 S.-E., aus dem der jeweilig benötigte Widerstand eingeschaltet wurde,  $w$  ist ebenfalls ein Siemens'scher Stöpselatalon von zusammen 1000 S.-E.; dieser diente zur Einschaltung des Widerstandes  $w$  in der Nebenschliessung vor dem Galvanometer.  $C$  der Condensator, dessen eine Platte zur Erde abgeleitet ist;  $K$  die Kette,  $U$  ein Commutator und  $S$  die die Ladung und Entladung des Condensators vermittelnde Stimmgabel. Zu diesem Zwecke waren an ihren

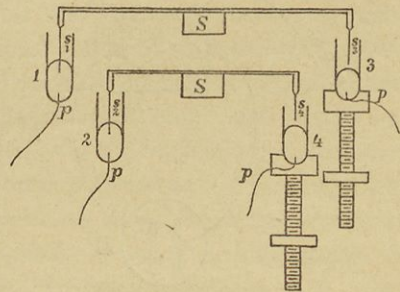


Fig. 2.

Zinken Bügel aus Kupferdraht befestigt (Fig. 2), die an ihren Enden dünne Platindrähte  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  und  $s_4$  trugen, diese letzteren tauchten

in die mit Quecksilber gefüllten Näpfchen 1, 2, 3 und 4. Die Näpfchen 1 und 2 waren so weit mit Quecksilber gefüllt, dass die Platindrähte auch bei schwingender Gabel stets mit demselben in Contact blieben. In 3 und 4 reichte das Quecksilber bei ruhender Stimmgabel nahe bis zu den Platinspitzen. Der gegenseitige Abstand der Platinspitzen und des Quecksilberniveaus konnte übrigens beliebig verändert werden, da die Näpfchen auf Schraubenköpfen ruhten und mittels dieser höher oder tiefer gestellt werden konnten.

Der Condensator wird geladen, wenn der Platindraht in 4 ins Quecksilber taucht, was bei einer Bewegung der unteren Stimmgabelzinke nach abwärts geschieht; während sich die untere Zinke nach aufwärts bewegt, unterbricht sie die Verbindung zwischen Kette und Condensator und die obere, welche ja die entgegengesetzte Bewegung macht, stellt die Verbindung des Condensators mit dem Galvanometer her. Zur Beobachtung des Ausschlages  $\varphi$  bei constanter Schliessung der Kette wird der vom Commutator kommende Draht aus dem Näpfchen 2 herausgehoben und in das Quecksilber des Näpfchens 1

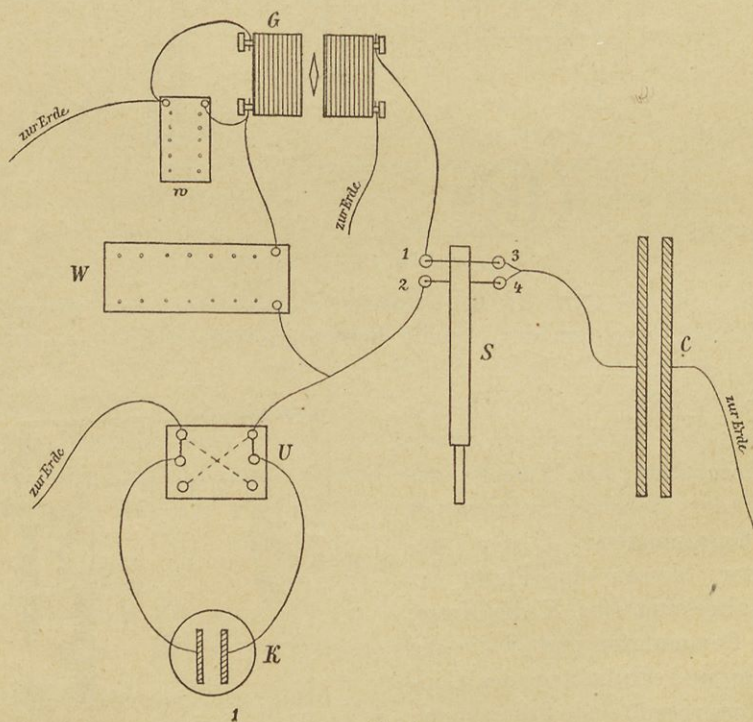


Fig. 3.

eingesenkt; ferner wird zwischen den Näpfchen 5 und 6 mittels eines dicken Kupferdrahtes eine Verbindung hergestellt, um den grössten



Theil des Stromes durch die Nebenschliessung  $w$  abzuleiten. Vermittelt des Commutators  $U$  kann der Condensator abwechselnd durch den einen oder durch den anderen Pol der Kette geladen werden.

Fig. 3 gibt die Anordnung der Versuche bei den Beobachtungen nach der Nullmethode. Durch die eine der Galvanometerrollen fliesst der constante Strom, durch die andere geschieht gleichzeitig die continuirliche Condensatorentladung. Die schematische Darstellung in der Figur ist ohne Weiteres leicht verständlich.

Im nachfolgenden sollen noch einige Bemerkungen über die Stimmgabel, die Widerstände, das Galvanometer und den Condensator folgen.

#### IV. Die Stimmgabel.

Die Stimmgabel, welche die Ladung und Entladung des Condensators vermittelte, ist elektromagnetisch anregbar; die Länge ihrer Zinken beträgt  $26,2\text{ cm}$ , deren Breite  $1,3$  und deren Dicke  $0,6\text{ cm}$ . Ihre Schwingungszahl war im Mittel  $129,88$  einfache Schwingungen; da jedoch dieser Zahl nur halb so viel Entladungen des Condensators entsprechen, so will ich hinfort alle auf die Schwingungszahl der Stimmgabel bezüglichen Daten in Doppelschwingungen ausdrücken. Darnach war also die Schwingungszahl im Mittel  $69,94$ . Da ich die auf die Stimmgabel aufgesetzten Bügel hin und wieder ein wenig verschob, oder wohl auch ganz herunternahm und sie dann wieder aufsetzte, so änderte sich die Schwingungszahl von Fall zu Fall, jedoch immer nur unbedeutend. Um diese Aenderungen, sowie überhaupt die absolute Zahl der Schwingungen in der Secunde festzustellen, war in der Nähe eine zweite Stimmgabel mit Spalten zur stroboskopischen Beobachtung aufgestellt. Die Laufgewichte an dieser zweiten Stimmgabel waren so gestellt, dass ihre Schwingungszahl nach der Angabe des Verfertigers, R. König,  $32,5$  betrug. An dieser Stimmgabel, ich will sie Hilfsgabel nennen, wurde während der ganzen Beobachtung nichts geändert, man konnte daher annehmen, dass ihre Schwingungsdauer bis auf die durch die Temperaturunterschiede bedingten Schwankungen constant blieb. Der Temperatureinfluss macht sich nach Kayser<sup>1)</sup> bei mässigen Temperaturschwankungen, wie sie im Zimmer vorkommen, in der zweiten Stelle nach dem Komma bemerkbar. Für eine Gabel von  $72$  einfachen Schwingungen gibt er an, dass die Schwingungszahl pro Grad Erwärmung um  $0,0064$  abnimmt. In unserem Falle waren die Temperaturen an den verschiedenen Beobachtungstagen nur wenig verschieden; eine Störung der Genauigkeit in den Resultaten war daher von dieser Seite nicht zu befürchten.

1) Wied. Ann. Bd. 8 1879.



Die verwendeten Stimmgabeln stammen, wie erwähnt, aus der Fabrik des Herrn R. König in Paris her; den an den Zinken angegebenen Zahlen kann also ein grosses Vertrauen entgegengebracht werden. Eine bestimmte Temperatur, für welche die Zahlen gelten, ist nicht angegeben, allein es ist höchst wahrscheinlich, dass sich dieselben auf die Zimmertemperaturen beziehen. Um eine grössere Gewissheit sowohl bezüglich der absoluten Schwingungszahl als auch der entsprechenden Temperatur zu erlangen, habe ich selbst eine Bestimmung durchzuführen versucht. Die zu diesem Zwecke angewendete Methode ist ähnlich jener von Maxwell zur Bestimmung des Selbstinductionscoefficienten einer Spirale mittels der Wheatstone'schen Brückenordnung.

In die vier Zweige 1, 2, 3 und 4 (Fig. 4) einer solchen Brücke seien vier Drähte eingeschaltet; ihre Widerstände sollen durch  $w_1$ ,  $w_2$ ,

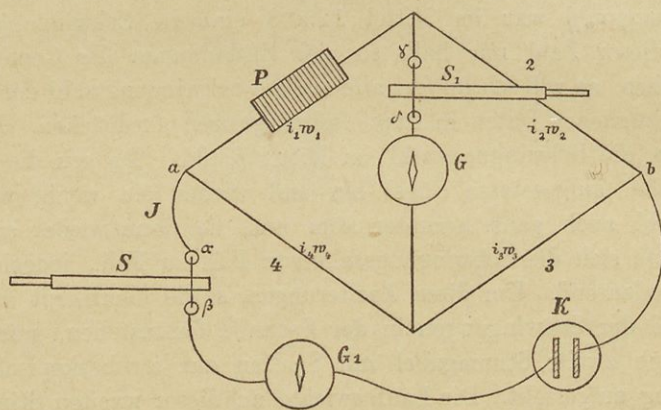


Fig. 4.

$w_3$  und  $w_4$  bezeichnet werden; diese sollen so abgeglichen sein, dass im Falle der Einschaltung einer Kette zwischen den Punkten  $a$  und  $b$  im Brückengalvanometer  $G$  kein Ausschlag bemerkt wird. Dies findet bekanntlich statt, wenn die Relation

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{w_3}{w_4}$$

besteht.

Von den vier Zweigdrähten, resp. Widerständen, waren drei so gewickelt, dass sie keine Selbstinduction ausübten, im Zweige 1 jedoch bestand der Widerstand aus einer Spirale vom Selbstinductionscoefficienten  $P$ . Wird nun der Strom in dem die Kette enthaltenden Zweige, welchen wir Hauptzweig nennen wollen, geschlossen oder geöffnet, so



schlägt die Nadel des Brückengalvanometers momentan aus. Die beiden Ausschläge beim Oeffnen und Schliessen der Kette sind gleich gross, aber entgegengesetzt. Aus der Beobachtung dieser momentanen Ablenkungen, sowie aus einigen andern gegebenen Daten lässt sich der Selbstinductionscoefficient bestimmen.

Unterbricht man den Strom im Hauptzweige rasch hinter einander, etwa mittels einer Stimmgabel, so bekommt man am Galvanometer keinen Ausschlag, weil sich die von der Oeffnung und Schliessung herrührenden Stösse gegenseitig aufheben; schaltet man jedoch in die Galvanometerleitung eine Commutatorvorrichtung ein, die nur die Schliessungs- oder nur die Oeffnungsstösse durchs Galvanometer lässt, dann bekommt man eine dauernde Ablenkung, die viel grösser ist, als der einzelne Momentanausschlag. Aus der Beobachtung dieses, sowie der constanten Ablenkung, dann einiger durch die Brücken-anordnung gegebener Daten, aus der Schwingungsdauer des Galvanometers und seiner Dämpfung lässt sich die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde, resp. die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel rechnen.

Zur Ausführung der Versuche war nebst einem Meyersteinschen Galvanometer  $G$  im Brückenzeige noch ein zweites Galvanometer  $G_1$  im Hauptzweige eingeschaltet. Die Unterbrechungen des Stromes im Hauptzweige besorgte die Stimmgabel  $S$ , die Schliessung und Oeffnung der Galvanometerleitung die Gabel  $S_1$ . Beide waren elektromagnetisch anregbar und nahezu gleich gestimmt.  $S_1$  wurde von  $S$  aus angeregt, infolge der nicht ganz gleichen Abstimmung schwangen sie mit der Phasendifferenz  $\frac{\pi}{2}$ .  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  sind wieder

Quecksilbernäpfchen, in welche die Platinspitzen der von den Stimmgabeln getragenen Bügel tauchten. Waren die Platinspitzen von  $S_1$  gerade am tiefsten ins Quecksilber eingetaucht, dann traten die Spitzen in  $\alpha$  und  $\beta$  gerade aus dem Quecksilber heraus oder in dasselbe hinein. Auf diese Weise konnte entweder nur der Oeffnungs- oder nur der Schliessungsinductionsstrom das Galvanometer passiren.

Infolge der elektromotorischen Kraft, welche im Zweige 1 beim Oeffnen oder Schliessen der Kette im Hauptzweige auftritt, fliesst durch das Brückengalvanometer ein Strom, der gemessen wird durch

$$\int i dt = \frac{G T_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \arctg. \frac{\pi}{\lambda}}. \quad (8)$$

$G$  bedeutet den Reductionsfactor des Galvanometers,  $T_0$  die Schwingungsdauer der ungedämpften Nadel,  $\alpha$  den Momentanausschlag



und  $\lambda$  das logarithmische Decrement der Schwingungen der Galvanometernadel.

Es lässt sich jedoch  $\int i dt$  noch in einer andern Weise ausdrücken. Bedeutet nämlich  $J$  die Stromstärke im Hauptzweige, dann ist

$$\int i dt = \frac{PJw_3w_4}{(w_1 + w_4)[w_2(w_1 + w_g) + w_1(w_3 + w_g)]}. \quad (9)$$

$w_g$  bezeichnet den Widerstand der Brückenleitung; bezüglich der Widerstände  $w_1, w_2, w_3, w_4$  ist dabei vorausgesetzt, dass sie der obigen Relation genügen.

Wir setzen

$$\frac{w_2w_4}{(w_1 + w_4)[w_2(w_1 + w_g) + w_1(w_3 + w_g)]} = m. \quad (10)$$

$J$  kann am Galvanometer  $G_1$  in absolutem Maasse bestimmt werden.

Aus Gl. 8 und 9 folgt

$$\alpha = \frac{PJm\pi}{GT_0e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}}.$$

Aus dieser Formel kann man  $P$  berechnen, wenn man die Widerstände so gewählt hat, dass  $\alpha$  ein gut beobachtbar Ausschlag ist. Es sei dies angenommen; liesse man nun die Stimmgabel schwingen, dann erhielte man durch die vielen Stösse eine viel zu grosse Ablenkung, um sie noch am Spiegelgalvanometer ablesen zu können. Man hat daher früher die Widerstände zu vergrössern und dann die Stimmgabel anzuregen. Der jetzt beobachtete constante Ausschlag sei  $\varphi$ . Ein einziger Stoss hätte bei dieser Anordnung der Widerstände die Momentanausweichung  $\alpha'$  hervorgebracht, dann besteht zwischen  $\varphi$  und  $\alpha'$  die Relation<sup>1)</sup>

$$\varphi = \frac{NT_0\alpha'}{\pi} e^{\frac{\lambda'}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda'}}.$$

Darin bezeichnet  $N$  die Anzahl der Unterbrechungen in der Secunde und  $\lambda'$  das logarithmische Decrement in diesem Falle.  $\alpha'$  wäre zu klein, um es genau zu beobachten; wir können es jedoch durch  $\alpha$  ausdrücken mittelst der Gleichung

$$\frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{J'm'e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}}{Jm e^{\frac{\lambda'}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}}.$$

1) S. Töpler und Ettingshausen. Pogg. Ann. Bd. 160.



Hiernach wird

$$N = \frac{\pi \varphi}{T_0 \alpha} \frac{Jm}{J'm'} \frac{1}{e^{\frac{\lambda}{\pi} \arctg \frac{\pi}{\lambda}}}. \quad (11)$$

Die Schwingungsdauer des Galvanometers durch eine elektrische Registrirung mittels des Morseapparates bestimmt.

Es möge hier ein Beispiel folgen.

Es wurde beobachtet

$$\lambda_{\text{vulg.}} = 0,1158, \quad T_0 = 4,707; \quad \frac{Jm}{J'm'} = 37,84$$

$$w_1 = 74,79; \quad w_2 = 74,79; \quad w_3 = 10,02; \quad w_4 = 10,02; \quad w_g = 47,6$$

$$w'_1 = 75; \quad w'_2 = 900; \quad w'_3 = 900; \quad w'_4 = 75; \quad w'_g = 1015,3$$

$$\alpha = 182,8$$

$$\varphi = 262,0.$$

Die Widerstände sind in Siemens'schen Einheiten angegeben. Aus obigen Daten berechnet sich

$$N = 31,95.$$

Aus sechs Versuchen, wobei ein, zwei oder drei Daniell'sche Elemente verwendet wurden, bekam ich für  $N$  folgende Werthe

$$N = 31,92$$

$$32,09$$

$$31,89$$

$$31,95$$

$$31,84$$

$$31,79$$

$$\text{Der Mittelwerth ist } N = 31,913.$$

Nun wurde die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel  $S$  mit Hilfe der früher als Hilfspgabel bezeichneten auf stroboskopischem Wege unter Zugrundelegung der König'schen Angaben bestimmt und

$$N = 31,970$$

gefunden. Die Temperatur bei der Stimmgabel war an den verschiedenen Tagen im Mittel  $16^\circ$ . Die beiden Zahlen stimmen gut überein und ich habe im folgenden die von R. König an den Zinken angegebenen Schwingungszahlen als richtig angenommen.

In vielen Fällen wird es von Vorthail sein, die in Fig. 4 gegebene Anordnung zur Bestimmung des Selbstinductionscoefficienten einer Spirale zu benutzen. Das wird namentlich dann der Fall sein, wenn



die Verhältnisse derart sind, dass ein einziger Stoss keine erhebliche Ablenkung hervorbringt. Auch dann wird diese Methode gut anzuwenden sein, wenn man auf ein Galvanometer angewiesen ist, dessen Schwingungsdauer und logarithmisches Decrement nicht genau bestimmt werden können, welches also zu Versuchen nach der sog. ballistischen Methode ungeeignet ist. Bei der in Rede stehenden Anordnung tritt nämlich in der Formel für den Selbstinductionscoefficienten statt der Schwingungsdauer des Galvanometers, die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel ein, und das Glied, welches das logarithmische Decrement enthält, fällt heraus, da ja an dem Galvanometer eine dauernde Ablenkung zu beobachten ist. Wir haben wie früher

$$\int i dt = PJm = \frac{GT_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}$$

und

$$\varphi = \frac{NT_0}{\pi} \alpha e^{\frac{\lambda}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\pi}{\lambda}}.$$

Daraus folgt

$$P = \frac{G\varphi}{JmN}. \quad (12)$$

$G$  ist der Reductionsfactor des Galvanometers in der Brücke,  $\varphi$  der constante Ausschlag,  $J$  die am Galvanometer  $G$  gemessene Stromstärke,  $N$  die Schwingungszahl der unterbrechenden Stimmgabel und  $m$  der durch Gl. 10 gegebene Ausdruck. Die einzelnen Grössen sind in dem Maasse anzugeben, in welchem man den Selbstinductionscoefficienten der Spirale ausgedrückt haben will.

Auf diese Weise wurde der Selbstinductionscoefficient der verwendeten Spirale  $P = 5760$  (nach elektromagnetischem Maasse) ermittelt. Von den beiden Rollen des Galvanometers, welches zur Bestimmung des  $v$  diente, hatte die eine den Selbstinductionscoefficienten 45600, die andere 47800<sup>km</sup>. Ihr gegenseitiger Inductionscoefficient in der Stellung, wie sie am Galvanometer waren, betrug 26000<sup>km</sup> nach elektromagnetischem Maasse. Als Kette genügten zwei oder drei Daniell'sche Elemente.

## V. Die Widerstände.

Alle Angaben der Widerstände beziehen sich auf den Stöpsel-etalon Nr. 2878 von Siemens und Halske. Dieser Etalon hat im ganzen 10000 Einheiten; er wurde verglichen mit der Ohmadcopie Nr. 7 von Elliot Br. und

1 Ohmad = 1,0494 Einheiten des Stöpsel-etalons gefunden.



Zur Verwandlung der Etalonangaben in absolutes elektromagnetisches Maass ist nach den gut übereinstimmenden Resultaten von H. Weber, Rayleigh und Mrs. Sidgwick, dann Glazebrook und Sargant

$$1 \text{ Ohmad} = 0,987 \times 10^9$$

absoluten Einheiten anzunehmen.

Daraus folgt

$$1 \text{ Einheit des Etalons Nr. 2878} = 0,941 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Es scheint, dass es den Bemühungen obiger Forscher endlich gelungen ist, den Werth der B.-A.-Einheit ziemlich genau festzustellen. Die darauf bezüglichen Untersuchungen der neuesten Zeit zeigen eine bemerkenswerthe Uebereinstimmung.

So fand:

H. Weber. Der Rotationsinductor etc.

Leipzig 1882 . . . . .  $1 \text{ B.-A.-E.} = 0,9877 \times 10^9$

Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick.

Nach der Methode der B.-A. mit neuen

Apparaten. Wied. Beibl. 1883 . . .  $1 \text{ B.-A.-E.} = 0,98651 \times 10^9$

Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick.

Nach der Methode von Lorenz. Phil.

Trans. 1883. Wied. Beibl. 1884 . .  $1 \text{ B.-A.-E.} = 0,98675 \times 10^9$

R. T. Glazebrook und E. B. Sargant.

Durch Messung eines Inductionsstromes nach absolutem Maasse, der durch die Einwirkung eines in einer Spirale entstehenden oder verschwindenden Stromes von gemessener Intensität in einer benachbarten Spirale erregt wurde. Der gegenseitige Inductionscoefficient der Spiralen war bekannt . . . . .

$1 \text{ B.-A.-E.} = 0,98665 \times 10^9$

Für das Verhältniss zwischen Quecksilbereinheit und Ohmad haben Lord Rayleigh und Mrs. Sidgwick den Werth  $1 \text{ Ohmad} = 1,0480 \text{ Q.-E.}$  gefunden. Ein nahe gleiches Resultat ergab auch eine neuerliche Reproduction der Quecksilbereinheit im Atelier von Siemens und Halske<sup>1)</sup>. Der von mir für die Einheit des Stöpsetalons Nr. 2878 gefundene Werth stimmt sehr gut überein mit der älteren Bestimmung von Hermann Siemens<sup>2)</sup>. Den früher erwähnten neuesten Resultaten

1) Siemens und Halske, Reproduction der Quecksilbereinheit etc. Berlin 1882. Wied. Beibl. 1883.

2) Pogg. Ann. Bd. 148.



zufolge sind also die Einheiten des Etalons Nr. 2878 etwas grösser als eine Quecksilbereinheit. Noch etwas grösser als die des genannten Etalons habe ich die Widerstände des Etalons Nr. 2158 und 2159 gefunden; die stärksten Abweichungen zeigte jedoch Nr. 1228. Die bezeichneten Etalons sind alle im Atelier von Siemens und Halske verfertigt worden.

Der Vergleich der einzelnen Widerstände des Etalons Nr. 2878 unter einander zeigte durchwegs eine sehr befriedigende Uebereinstimmung. Der gegenseitige Unterschied beträgt meistens weniger als 0,01 % des Werthes. Die grösste Differenz macht 0,08 % aus (zwischen 20 und  $10 + 10$ ).

Nr. 2158 (Summe aller Widerstände = 1000 E.) verglichen mit 2878 lieferte Werthe, die bis zu 0,2 % zu hoch waren. Gleiche Verhältnisse wurden beim Etalon Nr. 2159 (Summe aller Widerstände = 100 E.) vorgefunden.

Ganz beträchtliche Differenzen wies aber, wie gesagt, Etalon Nr. 1228 auf. Drückt man seine Widerstände durch die Einheiten des Etalons 2878 aus, so ist z. B. 2000 gleich 2008,9, 500 gleich 502,5, 200 gleich 201,25 u. s. w. zu setzen. Was von diesen Abweichungen auf eine fehlerhafte ursprüngliche Bestimmung zurückzuführen ist, und was in einer Aenderung des Widerstandes mit der Zeit seinen Grund hat, ist kaum zu entscheiden. Nach Siemens und Halske (a. a. O.) ändern Neusilberdrähte mit der Zeit ihren Widerstand. Diese Aenderung soll indes nie einige Tausendstel betragen.

Zum Vergleiche der Widerstände diente die Wheatstone'sche Brückencombination. Die beiden zu vergleichenden Etalons waren nebst einem calibrirten Kupferdraht zu einem Zweige verbunden. Die drei übrigen Zweige enthielten passende Compensationswiderstände. Nachdem aus dem einen Etalon durch Herausziehen des Stöpsels ein Widerstand eingeschaltet und die Nadel durch Veränderung an den Compensationswiderständen auf Null gebracht worden war, stöpselte man wieder diesen Widerstand und schaltete vom andern Etalon und eventuell vom calibrirten Kupferdraht so lange ein, bis der Ausschlag wieder gleich Null war. Es ist dies also eine Verbindung der Brücken mit der Substitutionsmethode. Sie gewährt den Vortheil, dass man auf diese Weise den Widerstand der Zuleitungsdrähte eliminirt und dass man weder den absoluten Werth, noch das Verhältniß der Widerstände in den andern drei Zweigen zu kennen braucht.

Vor jedem Vergleiche sind die Widerstände längere Zeit nebeneinander gestanden, um die gleiche Temperatur anzunehmen.



# VI. Das Galvanometer.

Das benutzte Galvanometer war eine Spiegelbussole nach Wiedemann mit zwei Rollen aus sehr feinem Kupferdraht und je 8000 Windungen. Als Nadel diente entweder ein magnetisirter Stahlspiegel oder ein Ringmagnet mit Glasspiegel. Die Nadel war astasirt und machte nahezu aperiodische Schwingungen. Für die Messungen war es vor allem nothwendig, den Widerstand der Rollen genau zu kennen. Derselbe wurde nach der oben beschriebenen Brückenmethode bestimmt. Ein neben der Rolle befindliches Thermometer sollte die Temperatur derselben angeben. Damit es erlaubt war, die vom Thermometer angezeigte Temperatur auch als die Temperatur der Rollen anzunehmen, wurde die Messung immer erst dann ausgeführt, wenn die Temperatur zwei bis drei Stunden constant gewesen war. Diese Vorsicht musste natürlich auch bei den späteren Versuchen, bei denen es sich um eine genaue Kenntniss des Rollenwiderstandes handelte, geübt werden. In Ermangelung eines Beobachtungszimmers mit constanter Temperatur konnten die meisten Versuche erst Nachmittags durchgeführt werden, da Vormittags die Temperatur des Arbeitsraumes bis gegen 11 Uhr constant stieg.

Aus drei Messungen des Rollenwiderstandes bekam ich folgende Resultate:

Tab. I.

Temp.	$\varrho_A$	$\varrho_B$
16,2	3338,0	3122,7
16,4	3341,4	3123,4
16,5	3346,0	3121,5
Mittel 16,4	3341,8	3122,8

$\varrho$  bedeutet den Galvanometerwiderstand überhaupt.  $\varrho_A$  den Widerstand der einen,  $\varrho_B$  den der andern Rolle. Der Vergleichsetalon Nr. 2878 ist bei 20° C. richtig, d. h. das zwischen der Ohmad und einer Einheit dieses Etalons gefundene Verhältniss, welches zur Verwandlung seiner Widerstände in absolutes Maass benutzt wurde, gilt für die Temperatur von 20°. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ergibt sich also

$$\varrho_A = 3337,1 \text{ und } \varrho_B = 3118,3 \text{ E. bei } 16,4^\circ.$$

Tab. I zeigt, dass es selbst bei grosser Vorsicht nicht immer möglich ist, den Temperatureinfluss richtig zu erfassen. Während die Rolle A mit steigender Temperatur auch eine Vergrösserung des Wider-



standes aufweist, ist bei  $B$  der Widerstand für  $16,5^\circ$  kleiner gefunden worden als für  $16,2^\circ$ . Diese Verschiedenheit in den Werthen rührt offenbar daher, dass das Thermometer nicht in allen Fällen die richtige Temperatur der Galvanometerrollen anzeigte. Auf eine Unsicherheit in den Galvanometerbeobachtungen sind diese Unterschiede nicht zurückzuführen, da die Empfindlichkeit des Galvanometers so regulirt war, dass eine Veränderung des Widerstandes im Zweige, wo die Rolle und der Etalon eingeschaltet waren, um 1 S.-E. einen Ausschlag von 13 Scalentheilen hervorbrachte.

Beobachtungen, bei denen es auf eine genaue Kenntniss des Widerstandes von Kupferdrahtrollen ankommt, und die nicht in eigens eingerichteten Räumen mit constanter Temperatur durchgeführt werden können, werden immer unter dem Einflusse der wechselnden Temperatur zu leiden haben. Bei Messungen dieser Art, wie die hier vorliegenden, könnte man jedoch diesem Uebelstande durch Anwendung von Galvanometerrollen aus Neusilber begegnen. Dabei würde es sich empfehlen, die Anzahl der Windungen behufs Erhöhung der Empfindlichkeit bedeutend zu vermehren. Ein Condensator von der üblichen Capacität würde sich auch bei dem erhöhten Widerstande und Selbstinductionscoefficienten der Galvanometerrollen noch immer in einer sehr kurzen Zeit entladen.

## VII. Der Condensator.

Den Condensator<sup>1)</sup> bildeten zwei kreisförmige Stahlplatten mit gut polirten, durch Glasplättchen von einander getrennten Innenflächen. Der Durchmesser der Platten wurde durch Messung ihres Umfanges mittels eines Streifens Morsepapier ausgewerthet und die Länge dieses Papiers an einem Normalmaassstabe von Starke ausgemessen. Der Umfang der einen Platte wurde gleich 131,85, der der andern gleich 131,92<sup>cm</sup> gefunden. Daraus berechnen sich die Radien zu 20,985 und 20,995 oder im Mittel

$$R = 20,99^{\text{cm}}.$$

Die Dicke  $b$  war gleich 1,5<sup>cm</sup>.

Die Platten ruhten auf dem Ende einer 5,5<sup>cm</sup> weiten, vertical gestellten Glasröhre (die Plattenfläche war also horizontal) in der Mitte eines Zimmers, wenigstens 2<sup>m</sup> weit weg von allen Gegenständen, deren Anwesenheit ihre Capacität beeinflussen konnte.

Die untere Platte war zur Erde abgeleitet, zur oberen ein dünner Draht von oben herab geleitet und auf ihre Mitte aufgelegt.

---

1) Einige Versuche mit diesem Condensator wurden bereits Wiener Akad. Bd. 86 beschrieben.



Die zwischen die Condensatorplatten zu legenden Glasplättchen wurden aus nebeneinander liegenden Stellen verschieden dicker Platten herausgeschnitten oder herausgesprengt und möglichst klein gehalten, damit sie vermöge ihrer hohen Dielektricitätsconstante die Capacität des Condensators nicht beeinflussten. Es wurden immer je drei Glasplättchen zwischen die Condensatorplatten gelegt und das arithmetische Mittel ihrer Dicke als Plattendistanz  $\delta$  angenommen. Tab. II gibt in den drei ersten Rubriken die Dicke der einzelnen Glasplättchen, in der vierten das Mittel derselben  $\delta$ .

Tab. II.

Dicke der Glasplättchen			$\delta$ cm
0,11107	0,11126	0,11125	0,1112
0,21446	0,21438	0,21440	0,2144
0,33308	0,33344	0,33394	0,3335
0,49001	0,49024	0,49053	0,4903
0,6055	0,6049	0,6041	0,6048
0,8628	0,8607	0,8614	0,8616

Die Dicke der Glasplättchen wurde mit einem Pfister'schen Sphärometer ausgemessen. Dasselbe besitzt eine Schraube, an deren einem Ende sich eine in 250 Theile getheilte Trommel befindet. Das andere Ende schiebt ein rundes Tischchen, auf welchem ein am Ende abgerundeter Stift liegt. Dieser Stift drückt mit seinem zweiten zugespitzten Ende gegen eine Libelle, welche zur Einstellung benutzt wird. Der auszumessende Körper kommt zwischen das Tischchen und den Stift, und es wird die Einstellung der Libelle mittels der Schraube mit und ohne dazwischen gelegten Körper vorgenommen. Aus der bekannten Schraubenganghöhe wird dann die Dicke des dazwischen gelegten Körpers berechnet. Die Höhe eines Schraubenganges wurde zu 0,04988<sup>cm</sup> bestimmt und zwar in folgender Weise. Auf das von der Schraube geschobene runde Tischchen wurde eine sehr feine Nadel befestigt und der erwähnte Maassstab von Starke in verticaler Stellung so nahe am Tischchen angebracht, dass die Nadel unmittelbar vor die Theilstriche des Maassstabes zu liegen kam. Bei einer Drehung der Schraube bewegte sich die Nadel parallel dem Maassstabe auf oder ab. Die Schraube ist ziemlich lang und daher war eine solche Bewegung in der Ausdehnung bis zu 2<sup>cm</sup> erlaubt. Die Nadel wurde nun auf zwei um 2<sup>cm</sup> von einander entfernte Theilstriche des Maassstabes eingestellt und die dazu gehörige Anzahl der Trommelumdrehungen bestimmt. Um die Einstellung sicherer zu machen, waren zwei Lupen



angebracht und auf die Theilstriche eingestellt. War zugleich die Nadel im Gesichtsfelde, so war sie auch ganz deutlich zu sehen und die Einstellung konnte mit grosser Präcision vorgenommen werden. Die Mitten der beiden Lupen waren gerade 2<sup>cm</sup> von einander entfernt. Durch diese constant erhaltene Entfernung der beiden Lupen, welche gerade dem Unterschiede der beiden Nadelstellungen entsprach, wurden die Beobachtungen erleichtert und die Genauigkeit derselben erhöht. Auf diese Weise wurden 2 Decimeter an zwei verschiedenen Stellen des Maassstabes von je 2 zu 2<sup>cm</sup> ausgemessen und daraus obiger Werth abgeleitet.

Die Berechnung der Capacität  $C$  des Condensators in elektrostatischem Maasse geschah nach der von Kirchhoff gegebenen vollständigen Theorie<sup>1)</sup> des Condensators mittels der Formel

$$C = \frac{R^2}{4\delta} + \frac{R}{4\pi} \left[ \log \frac{16\pi(\delta + b)R}{e\delta^2} + \frac{b}{\delta} \log \frac{\delta + b}{b} + 2 \right], \quad (13)$$

welche die Capacität für die nicht zur Erde abgeleitete Platte angibt.

Es ist bereits in der früher erwähnten Arbeit eine Beobachtungsreihe mitgetheilt worden, welche die Uebereinstimmung der Kirchhoff'schen Formel mit der Erfahrung bestätigte. Die Uebereinstimmung der durch die Beobachtung bei verschiedenen Plattendistanzen gewonnenen Werthe des  $v$  ist wieder ein Beweis, dass die Capacität eines gewöhnlichen Condensators mit derselben Genauigkeit wie die eines Schutzringcondensators gerechnet werden kann. Auf die Vortheile, die der erstere gegenüber dem letzteren bezüglich seiner Billigkeit und leichteren Handhabung besitzt, brauche ich kaum hinzuweisen. Im übrigen wäre es, wie schon erwähnt, wünschenswerth, zwei solche Condensatoren bezüglich ihrer Capacität direct zu vergleichen, was in Laboratorien, die bereits Schutzringcondensatoren besitzen, leicht ausgeführt werden könnte. Der Vergleich liesse sich mit Hilfe einer oder zweier Stimmgabeln und eines Differentialgalvanometers auf eine einfache und sichere Weise durchführen.

Von der Formel 13 stellt bekanntlich das erste Glied rechts vom Gleichheitszeichen die Capacität eines Condensators dar, der unendlich dünn ist und eine durchwegs gleichmässige Vertheilung der Elektricität an seinen Flächen aufweist. Eine solche gleichmässige Vertheilung ist nun in Wirklichkeit infolge der Begrenzung des Condensators nicht vorhanden. Die Elektricität hat an seinem Rande eine andere Dichte als in seinem Innern. Ueberdies sitzt bei dem hier gebrauchten Condensator, da er ja nicht unendlich dünn ist, auch ein Theil der Elek-

1) Berliner Monatsberichte 1877.



tricität an der Aussenfläche, welcher Umstand bei der Berechnung der Capacität ebenfalls zu berücksichtigen ist. Beides geschieht durch das zweite Glied der Formel. Zur Beurtheilung der Grösse des Correctionsgliedes sind in der nachfolgenden Tabelle die beiden rechtseitigen Glieder für die verschiedenen Plattendistanzen einzeln angeführt. Dabei ist

$$M = \frac{R^2}{4\delta} \text{ und } N = \frac{R}{4\pi} \left[ \log \frac{16\pi(\delta + b)R}{e\delta^2} + \frac{b}{\delta} \log \frac{\delta + b}{b} + 2 \right].$$

Tab. III.

$\delta$	$M$	$N$	$C$
0,1112	990,52	23,04	1013,56
0,2144	513,83	20,90	534,73
0,3335	330,26	19,49	349,75
0,4903	224,67	18,29	242,96
0,6048	182,11	17,62	199,73
0,8616	127,84	16,54	144,38

Während das Correctionsglied bei der geringsten Plattendistanz nur etwa 2 % ausmacht, erreicht es bei  $\delta = 0,8616$ , mehr als 11 % des Gesamtwertes.

### VIII. Resultate.

In den nachfolgenden Tabellen bedeutet:

- $A$  die Anzahl der verwendeten Elemente.  $D$  = Daniell,  $B$  = Bunsen (mit doppelt-chroms. Kaliumlösung),  $L$  = Leclanché;
- $T_1$  die Temperatur in  $C^0$  bei der Stimmgabel;
- $T_2$  „ „ „ „ beim Galvanometer;
- $\mathcal{P}$  die stroboskopische Schwingungsdauer;
- $N$  die Schwingungszahl der Stimmgabel in der Secunde (Doppelschwingung);
- $\varphi$  den Ausschlag, wenn die Kette durch das Galvanometer und durch eine Nebenschliessung geschlossen war. Der Ausschlag ist auf einen der Tangente proportionalen Theil corrigirt;
- $a$  den Doppelausschlag des Galvanometers, wenn der Condensator sammt den Zuleitungsdrähten  $N$ mal in der Secunde entladen wurde;
- $a_0$  dasselbe bei der Entladung der Zuleitungsdrähte, allein ohne Condensator;



$\alpha$  das auf einen der Tangente prop. Theil corrigirte  $\frac{a}{2} - \frac{a_0}{2}$ ;

$C$  die Capacität des Condensators in Centimetern;

$\delta$  die Plattendistanz des Condensators in Centimetern;

$w$  den Widerstand in der Nebenschliessung vor dem Galvanometer;

$q$  den Widerstand des Galvanometers;

$W$  „ „ in der Hauptleitung.

Die Entfernung der Scala vom Spiegel war 200<sup>cm</sup>.

Zunächst zeigen die Daten der Tab. IV eine vollkommene Proportionalität zwischen der elektromotorischen Kraft der ladenden Kette und der Ladung des Condensators, wie das die Theorie verlangt. Das Verhältnis zwischen dem Ausschlag  $q$ , der der elektromotorischen Kraft und dem Ausschlag  $\alpha$ , der der Ladung des Condensators proportional ist, ist ein constantes.

Tab. IV.

$A$	$a$	$q$	$\frac{q}{\alpha}$
15 <i>D</i>	308,6	353,8	1,1461
12 „	248,2	284,6	1,1466
9 „	186,8	214,2	1,1466
6 „	124,1	142,5	1,1482
3	61,9	70,0	1,1470

Bezüglich der Frage, ob sich der Condensator während der kurzen Dauer des Eintauchens der Platinspitzen (etwa 0,007 Sec.) vollkommen lade und entlade, verweise ich auf die betreffenden Versuche, die in der früher erwähnten Arbeit (Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. 83) mitgetheilt worden sind. Dieselben zeigen, dass Condensatoren von den hier gebräuchlichen Capacitäten in noch kürzerer Zeit vollständig geladen und entladen werden können.

Zur Gewinnung der in den nachfolgenden sechs Tabellen enthaltenen Resultate sind die Beobachtungen der Condensatorentladungen und die bei geschlossener Kette hintereinander gemacht worden.

Es wurde zuerst die Kette durch  $W$ ,  $w$  und  $q$  dauernd geschlossen und  $q$  abgelesen; dann die Verbindung zur Ladung des Condensators hergestellt,  $a$  und  $a_0$  beobachtet und schliesslich wieder eine Ablesung des  $q$  gemacht; jedes  $q$  ist also das Mittel aus zwei Werthen.

Die Beobachtungen sind an verschiedenen Tagen gemacht worden; an jedem Tage aber wurde bei allen sechs Plattendistanzen beobachtet.



Es war  $W = 10000$  S.-E.;  $w = 5,01$  S.-E.;  $\varrho$  der Widerstand der beiden Galvanometerrollen bei der betreffenden Temperatur.

Tab. V.

$$\delta = 0,1112, C = 1013,56.$$

$A$	$T_1$	$T_2$	$\vartheta$	$N$	$\varphi$	$a$	$a_0$	$\alpha$	$v$
9 D	17,5	17,6	18,8	64,95	212,3	400,8	21,3	189,2	$3,001 \times 10^{10}$
9 "	16,6	16,3	20,4	64,95	214,2	395,5	21,1	186,8	3,027 "
15 "	17,0	16,4	14,0	64,93	352,1	656,6	34,4	308,8	3,017 "
15 "	17,0	16,6	14,0	64,93	351,7	654,9	34,5	308,0	3,020 "
9 B	17,0	16,6	19,2	64,95	388,1	721,6	38,2	338,8	3,025 "
9 "	17,0	16,6	22,0	64,95	387,4	722,1	38,2	339,0	3,022 "
									Mittel $3,0187 \times 10^{10}$

Tab. VI.

$$\delta = 0,2144, C = 534,73.$$

$A$	$T_1$	$T_2$	$\vartheta$	$N$	$\varphi$	$a$	$a_0$	$\alpha$	$v$
9 D	17,5	17,6	17,2	64,94	212,3	220,4	21,3	99,4	$3,007 \times 10^{10}$
12 "	17,0	16,2	17,2	64,94	284,8	291,1	27,8	131,5	3,021 "
15 "	17,0	16,4	16,0	64,94	352,9	361,2	34,5	163,0	3,019 "
15 "	17,0	16,7	14,0	64,93	350,8	359,7	34,3	162,3	3,017 "
9 B	17,0	16,5	19,2	64,95	387,4	396,4	38,2	178,6	3,024 "
9 "	17,0	16,7	22	64,95	387,7	398,4	38,2	179,6	3,016 "
									Mittel $3,0173 \times 10^{10}$

Tab. VII.

$$\delta = 0,3335, C = 349,75.$$

$A$	$T_1$	$T_2$	$\vartheta$	$N$	$\varphi$	$a$	$a_0$	$\alpha$	$v$
9 D	17,6	17,5	17,2	64,94	212,3	150,6	21,3	64,6	$3,016 \times 10^{10}$
9 "	17,0	16,0	12,4	64,92	214,5	150,7	21,1	64,8	3,018 "
15 "	16,9	16,3	12,4	64,92	353,6	248,9	34,5	107,1	3,016 "
15 "	17,0	16,7	14,0	64,93	349,9	246,6	34,3	106,0	3,015 "
9 B	17,0	16,5	19,2	64,95	388,0	272,2	38,2	116,8	3,026 "
9 "	17,0	16,7	19,2	64,95	387,7	273,5	38,2	117,2	3,019 "
									Mittel $3,0183 \times 10^{10}$



Tab. VIII.

$$\delta = 0,4903, C = 242,96.$$

<i>A</i>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	$\vartheta$	<i>N</i>	$\varphi$	<i>a</i>	<i>a</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>v</i>
9 <i>D</i>	17,6	17,5	17,4	64,94	212,2	110,6	21,1	44,75	$3,021 \times 10^{10}$
15 "	16,4	16,0	12,4	64,92	356,0	184,4	34,6	74,90	3,014 "
15 "	16,9	16,3	12,0	64,92	354,3	183,5	34,7	74,40	3,019 "
15 "	17,9	16,6	16,2	64,94	349,6	181,4	34,6	73,40	3,019 "
9 <i>B</i>	16,6	16,2	22,0	64,95	387,5	201,0	38,2	81,35	3,018 "
9 "	17,0	16,7	22,0	64,95	387,3	200,5	38,2	81,10	3,024 "
									Mittel $3,0192 \times 10^{10}$

Tab. IX.

$$\delta = 0,6048, C = 199,73.$$

<i>A</i>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	$\vartheta$	<i>N</i>	$\varphi$	<i>a</i>	<i>a</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>v</i>
15 <i>D</i>	16,4	16,1	11,2	64,92	355,7	157,5	34,7	61,40	$3,017 \times 10^{10}$
15 "	16,8	16,2	18,4	64,95	354,6	157,5	34,7	61,40	3,015 "
15 "	17,0	16,6	16,2	64,94	349,4	155,6	34,2	60,70	3,010 "
9 <i>B</i>	16,6	16,2	22,0	64,95	387,3	172,3	38,3	67,00	3,015 "
9 "	17,0	16,8	22,0	64,95	386,6	172,1	38,2	66,95	3,017 "
									Mittel $3,0148 \times 10^{10}$

Tab. X.

$$\delta = 0,8616, C = 144,38.$$

<i>A</i>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	$\vartheta$	<i>N</i>	$\varphi$	<i>a</i>	<i>a</i> <sub>0</sub>	<i>a</i>	<i>v</i>
15 <i>D</i>	16,8	16,2	12	64,92	356,6	123,5	34,5	44,48	$3,018 \times 10^{10}$
13 "	16,9	16,2	18,4	64,95	307,0	106,4	29,4	38,50	3,012 "
15 "	17,0	16,6	20,0	64,95	349,4	121,8	34,4	43,70	3,016 "
9 <i>B</i>	16,6	16,2	22,0	64,95	387,8	134,2	38,1	48,05	3,029 "
9 "	17,0	16,8	22,0	64,95	386,2	134,6	38,0	48,30	3,018 "
									Mittel $3,0186 \times 10^{10}$

Bei den nachfolgenden Versuchen wurde die Nullmethode angewendet. Nachdem beide Rollen, durch Verschieben der einen, soweit abgeglichen worden waren, dass ein Strom, der dieselben im entgegen-



gesetzten Sinne durchfloss, keine Ablenkung der Magnetnadel hervorbrachte, wurde durch die eine die continuirliche Condensatorentladung geschickt, durch die andere aber die Kette dauernd geschlossen. Wie früher war auch jetzt vor dieser Rolle eine Nebenschliessung  $w$  und überdies in der Hauptleitung ein Widerstandsetalon  $W$  eingeschaltet. Durch Veränderung der Widerstände  $w$  und  $W$  war es möglich, die Ablenkung der Nadel gleich Null zu machen. In allen Fällen war zum Widerstande der Galvanometerrollen noch ein genau ausgewertheter Ballastwiderstand eingeschaltet. In den drei folgenden Tabellen sind alle Widerstände auf die entsprechende Temperatur corrigirt angegeben. Die Beobachtung musste auf die drei kleineren Plattendistanzen beschränkt bleiben, da bei den grösseren die Stromstärke etwas zu gering war, um die Einstellung auf Null mit der wünschenswerthen Genauigkeit vornehmen zu können. Bei Bestimmung nach dieser Methode wird es in Hinkunft gerathen sein, Condensatoren mit recht grosser Capacität zu benutzen. Die Capacität derselben braucht nicht gerade direct berechenbar zu sein; man kann ja dieselbe mit der eines Schutzringes oder gewöhnlichen Condensators vergleichen und im absoluten Maasse ausdrücken.

Für die Berechnung dieser Versuche wurde die Capacität der Zuleitungsdrähte in absolutem Werthe bestimmt und zu der Capacität des Condensators addirt.  $C$  ist also nachfolgend die Summe dieser beiden Capacitäten.

Die Bestimmung der Capacität der Zuleitungsdrähte geschah durch Vergleich derselben mit der des Condensators; sie wurde gleich  $57,05^{\text{cm}}$  gefunden.

Unter  $q$  ist jetzt die Summe des Rollen- und Ballastwiderstandes zu verstehen. Es möge wieder erwähnt sein, dass die in den Tabellen für jede Plattendistanz angegebenen Beobachtungen nicht alle hintereinander gemacht wurden, sondern dass die Beobachtungen bei verschiedenen Plattendistanzen mit einander abwechselten.

Tab. XI.

$$\delta = 0,1112, C = 1070,6.$$

$A$	$T_1$	$T_2$	$\vartheta$	$N$	$q$	$w$	$W$	$V$
10 B	15,6	15	19,6	64,95	10335	5,004	6756	$3,023 \times 10^{10}$
"	16,0	15,2	20,0	64,95	10338	5,004	6794	3,031 "
"	16,2	15,4	20,0	64,95	10341	5,004	6784	3,030 "
"	16,6	15,6	20,6	64,95	10344	5,004	6748	3,022 "
"	16,6	15,6	20,6	64,95	10344	5,004	6738	3,020 "
12 L	16,6	16,2	19,2	64,95	4304	5,006	16211	3,020 "
"	16,6	16,2	19,6	64,95	10357	5,006	6740	3,022 "
								Mittel $3,0240 \times 10^{10}$



Tab. XII.

$$\delta = 0,2144, \quad C = 591,8.$$

<i>A</i>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	$\vartheta$	<i>N</i>	$\varrho$	<i>w</i>	<i>W</i>	<i>V</i>
10 <i>B</i>	15,6	15	19,6	64,95	12341	4,007	8194	$3,022 \times 10^{10}$
"	16,0	15,2	20,0	64,95	12344	4,007	8194	3,023 "
"	16,2	15,4	20,0	64,95	12347	4,007	8160	3,016 "
"	16,6	15,6	20,8	64,95	12351	4,007	8175	3,020 "
"	16,6	15,6	20,8	64,95	12351	4,007	8155	3,016 "
								Mittel $3,0194 \times 10^{10}$

Tab. XIII.

$$\delta = 0,3335, \quad C = 406,8.$$

<i>A</i>	<i>T</i> <sub>1</sub>	<i>T</i> <sub>2</sub>	$\vartheta$	<i>N</i>	$\varrho$	<i>w</i>	<i>W</i>	<i>V</i>
10 <i>B</i>	15,6	15,0	19,6	64,95	12341	2,005	5948	$3,017 \times 10^{10}$
"	16,0	15,2	20,0	64,95	12342	3,005	8933	3,021 "
"	16,2	15,4	20,0	64,95	12347	2,005	5959	3,021 "
"	16,6	15,6	20,8	64,95	12351	3,005	8914	3,019 "
"	16,6	15,6	20,8	64,95	12351	3,005	8900	3,016 "
								Mittel $3,0188 \times 10^{10}$

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass im allgemeinen die bei grossen Plattendistanzen erhaltenen Werthe untereinander besser übereinstimmen als die bei kleinen. Es folgt dies sowohl aus den Tabellen V—X als auch XI—XIII. Ein Theil dieser Unterschiede mag vielleicht auf den Einfluss des unvermeidlichen Staubes zu schieben sein. Die bei verschiedenen Plattendistanzen erhaltenen Mittelwerthe zeigen jedoch eine sehr gute Uebereinstimmung.

In Tabelle XIV sind die zwei Mittelwerthe, die nach den beiden Methoden für je eine der drei kleinsten Distanzen erhalten wurden, zusammengestellt, —  $v_1$  bezieht sich auf die erste,  $v_2$  auf die letzte Auswerthung.

Tab. XIV.

$\delta$	$v_1$	$v_2$
0,1112	$3,0187 \times 10^{10}$	$3,0240 \times 10^{10}$
0,2144	3,0173 "	3,0194 "
0,3335	3,0183 "	3,0188 "
Mittel $3,0181 \times 10^{10}$		$3,0207 \times 10^{10}$



Der nach der Nullmethode erhaltene Mittelwerth ist um 0,086 % grösser als der Mittelwerth  $v_1$ . — Hiernach wäre in der That die elektromotorische Kraft der offenen Kette etwas grösser als die der geschlossenen (bei einem Widerstande von 5000 bis 10000 S.-E. im Schliessungskreise). Allein der Unterschied ist so klein, dass er auch Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden kann; es lässt sich daher aus diesen Beobachtungen ein Unterschied in der elektromotorischen Kraft der Kette in den zwei Fällen nicht mit Sicherheit beweisen.

Der grösseren Uebersicht halber sollen die neun Mittelwerthe in der Reihenfolge, wie sie erhalten wurden, hier zusammengestellt werden.

Tab. XV.

$\delta$	$v$
0,1112	$3,0187 \times 10^{10}$
0,2144	3,0173 „
0,3335	3,0183 „
0,4903	3,0192 „
0,6048	3,0148 „
0,8616	3,0186 „
0,1112	3,0240 „
0,2144	3,0194 „
0,3335	3,0188 „

Als Schlussresultat dieser Untersuchungsreihe ist der aus Tab. XV folgende Mittelwerth

$$v = 3,0188 \times 10^{10}$$

zu verzeichnen.



*K(Fd. Seidl)*  
R. 2. 120/43









