

suche doch nur Intensitätsschwankungen wirksam sein. Die könnte man beobachten, wenn man in seitlicher Lage in der Richtung der Kraftlinien einen weichen Eisenstab mit Drahtspule anbrächte. Die Inductionsstösse wären abwechselnd entgegengesetzt und könnten daher nur mit dem Dynamometer gemessen werden. Leider steht mir ein solches nicht zur Verfügung, aber ich glaube, dass auf diese Weise die Frage nach der Drehung der Kraftlinien entschieden werden könnte. Bekanntlich habe ich die Drehung der Kraftlinien nicht erfunden, wie man nach Hrn. Edlund glauben könnte, man sehe G. Wiedemann's Lehrbuch, speciell Bd. IV 2. p. 1119. Dass Zöllner's Experiment nichts dagegen sagt, folgt aus eben derselben Darstellung.¹⁾

Ich bemerke zum Schlusse, dass nach den in vorstehender Arbeit mitgetheilten Versuchen mit dem Electrometer meiner Ansicht nach jede Theorie, die freie Electricität an der Oberfläche eines rotirenden Magnets statuirt, widerlegt ist.

III. *Ueber eine Bestimmung der Grösse „v“; von F. Himstedt.*

^{*}(Hierzu Taf. V Fig. 21.)

Nachdem durch die vielfachen Ohmbestimmungen der letzten Jahre, sowie durch die neueren Arbeiten über das electrochemische Aequivalent des Silbers und auch der Verdet'schen Constanten gezeigt ist, dass die Bestimmung dieser electrischen Constanten einer weit grösseren Genauigkeit fähig ist, als man sie bis dahin erreicht hatte, liegt die Frage nahe, ob dies auch bezüglich einer anderen Constanten der Fall ist, nämlich des Verhältnisses der electromagnetischen und electrostatischen Einheiten der Electricität. Dass eine genaue Kenntniss dieser nach Maxwell im Folgenden mit „v“ bezeichneten Grösse von Wichtigkeit ist, bedarf bei der oft betonten und allgemein bekannten grossen Bedeutung derselben keiner weiteren Begründung. Dass aber die bisher dafür gefundenen Werthe bei weitem noch nicht

1) G. Wiedemann, Electricität. 3. p. 150.

die Uebereinstimmung zeigen, welche bei den eingangs erwähnten Constanten erreicht ist, lehrt ein Blick auf die Zusammenstellung der Resultate in G. Wiedemann's *Electricität* IV, (2) p. 1004. Selbst wenn man die allerersten Bestimmungen von W. Weber und R. Kohlrausch, von Maxwell und W. Thomson unberücksichtigt lässt, bleiben noch Differenzen von 4 Proc., und die neusten Messungen von Exner ($v = 29,20 \cdot 10^9$), Klemenčič ($v = 30,18 \cdot 10^9$) und J. J. Thomson ($v = 29,63 \cdot 10^9$) ergeben noch keine wesentlich bessere Uebereinstimmung.¹⁾ Ich habe mir deshalb die Aufgabe gestellt, neue Bestimmungen dieser Grösse auszuführen und die Versuche möglichst so anzuordnen, dass ihre Resultate ein Urtheil über die erreichbare Genauigkeit ermöglichen. Der Natur der Sache gemäss setzt sich eine Bestimmung des „ v “ aus zwei Theilen zusammen, denn es muss eine Messung in electrostatischem und eine zweite in electromagnetischem Maasse ausgeführt werden. Die erste Aufgabe besteht im wesentlichen in der Bestimmung der Capacität eines Condensators, resp. der Constante eines absoluten Electrometers aus den zu messenden Dimensionen der betreffenden Apparate, die zweite im wesentlichen in einer Widerstandsmessung eventuell auch noch einer Strommessung.

Ich habe geglaubt, mich für die Versuchsanordnung entscheiden zu sollen, bei welcher die Capacität eines Condensators zu bestimmen ist, weil ich dies für leichter, resp. genauer ausführbar halte, als eine Messung mit dem absoluten Electrometer, und ich habe zuerst die Versuche des Hrn. Klemenčič wiederholt, weil deren Resultate vom Mittel der neueren Beobachtungen am weitesten nach der einen Richtung abweichen. Die Abänderungen, welche ich in der Anordnung getroffen habe, sind aus dem späteren zu ersehen, die wesentlichste ist die, dass ich stets nach der Nullmethode mir mit dem Differentialgalvanometer gearbeitet habe. Der von gefundene Werth $v = 30,07 \cdot 10^9$ stimmt mit dem des Hrn. Klemenčič nahezu bis auf 0,004 seines Betrages überein. Es

1) Die neueste Bestimmung des Hrn. Colley, *Wied. Ann.* **28**. p. 1. 1886 hat für v ergeben $30,15 \cdot 10^9$, doch macht der Autor selbst darauf aufmerksam, dass die Genauigkeit nur auf etwa $2-2\frac{1}{2}$ Proc. verbürgt ist.

entsteht deshalb jetzt die Frage, rührt die Abweichung von den Resultaten anderer Beobachter hauptsächlich her aus den electromagnetischen Messungen oder aus den electrostatischen. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, gedenke ich zunächst mit Benutzung desselben Condensators eine Bestimmung nach einer anderen Methode auszuführen, dann aber den benutzten Plattencondensator mit einem Schutzingcondensator zu vergleichen.¹⁾ Ich theile jetzt meine bisherigen Messungen ausführlich mit.

1. Die Methode.

Ein Condensator von der Capacität Q in electrostatischem Maasse, also der Capacität Q/v^2 in electromagnetischem Maasse werde n -mal in der Secunde geladen und entladen, indem man die Platten desselben abwechselnd mit den Endpunkten des Widerstandes AB (Fig. 21), durch welchen die Kette E geschlossen ist, und mit den Enden DD der einen Rolle eines Differentialgalvanometers G verbindet. Die Enden der zweiten Rolle FF verbinde man dauernd mit zwei Punkten A und C , die auf dem Widerstande AB so gewählt werden, dass die Nadel des Galvanometers keine Ablenkung zeigt. Der Widerstand zwischen den Punkten A und C werde mit w , der der zweiten Galvanometerrolle mit R und der zwischen den Punkten A und B mit W bezeichnet.²⁾ Alsdann besteht die Relation:

$$(1) \quad n \cdot \frac{Q}{v^2} \cdot W \cdot i = \frac{w \cdot i}{R + w}. \quad \text{Mithin ist:}$$

$$(2) \quad v = \sqrt{\frac{n \cdot Q \cdot W \cdot R + w}{w}}.$$

Die besondere Einfachheit dieser Versuchsanordnung tritt in der Formel (2) deutlich hervor. In electrostatischem Maasse ist nur die Capacität Q zu bestimmen, in electro-

1) Nach dem diese Arbeit schon an die Redaction eingesendet war, habe ich Kenntniss von einer neuen Bestimmung des Hrn. Klemenčič erhalten. Das Resultat derselben $v = 30,15$ stimmt mit dem von mir gefundenen Werthe sogar noch besser überein, die Abweichung beträgt nicht ganz 0,3 Proc.

2) Der Widerstand zwischen A und B setzt sich zusammen aus dem Stücke BC und dem Stücke AC , zu welchem letzteren die Galvanometerrolle R sich im Nebenschluss befindet.

magnetischem nur der Widerstand W . Dazu kommen zwei Hilfsmessungen, es muss n , d. i. bei einem Stimmgabelunterbrecher die Schwingungszahl der Gabel, und es muss $(R + w)/w$, d. i. das Verhältniss zweier Widerstände bestimmt werden. Die Beobachtungen sind dagegen vollständig unabhängig von der Constanz der benutzten electromotorischen Kraft, sowie der Stromintensität, die Batterie wird während des Versuchs stets unter den gleichen Bedingungen benutzt.

2. Der Condensator.

Der Condensator bestand aus zwei vernickelten und polirten Stahlplatten, die in vorzüglicher Weise von F. W. Breithaupt und Sohn in Cassel hergestellt waren. Die untere ruhte auf drei je 50 cm langen Stützen aus Hartgummi, welche mit ihren unteren Enden in ein starkes Brett mit Fusschrauben eingelassen, und deren obere Enden verjüngt und rund abgedreht waren. Die drei Endpunkte lagen auf einem Kreise von etwa 18 cm Radius. Auf der unteren Platte ruhte die zweite, von ihr durch kleine Glasstückchen getrennt. Das Gestell mit dem Condensator stand auf einem sogenannten Isolirschemel mit etwa 50 cm langen gläsernen Füßen, sodass der Condensator selbst gut 1 m vom Fussboden entfernt war. Nach allen Richtungen betrug die Entfernung von den nächststehenden Gegenständen über 2 m. Die Zuleitungsdrähte waren von der Decke, resp. dem Fussboden des Zimmers nach der Mitte der Platten geführt und hatten einen Durchmesser von 0,1 mm. Die Stahlplatten hatten im Mittel eine Dicke von 1,727 cm. Ihr Durchmesser wurde im ganzen viermal bestimmt. Zweimal direct, indem die Mikroskope eines Comparators auf die Ränder eingestellt wurden, und zweimal aus dem mit Stahlbandmaass gemessenen Umfange. Das Stahlband war dasselbe mit Schlitz zum Durchziehen versehene, dessen ich mich bei der Ohmbestimmung bedient habe, die Dicke desselben wurde in Rechnung gezogen. Alle Messungen sind zurückgeführt auf eine Glasscala, die in der Normalaichungscommission in Berlin mit dem Normalmeter verglichen war. Es wurde gefunden für die Durchmesser der Platten:

	Directe Messungen		Stahlbandmaass		Mittel
	1	2	1	2	
Platte I	49,9435	49,946	49,9525	49,9425	49,946
Platte II	49,9468	49,9504	49,951	49,944	49,948

Als Hauptmittel ergibt sich hiernach für den Radius:

$$r = 24,9735 \text{ cm.}$$

Die Glasplättchen, welche zur Trennung der Condensatorplatten dienten, waren zu je drei aus derselben Planparallelplatte herausgebohrt. Ihre Dicke wurde mit einem Breithaupt'schen Sphärometer bestimmt, wobei die Plättchen auf einem Planglase ruhten, das eine mal mit der einen, das zweite mal mit der anderen Fläche. An der Theilung des Instrumentes konnte direct 0,0001 cm abgelesen werden. Die Spitze der Sphärometerschraube wurde dann in jeder Lage mit dem Mittelpunkt und drei Punkten nahe der Peripherie in Berührung gebracht, und der Eintritt der Berührung nach der K. R. Koch'schen Methode¹⁾ an der beginnenden Bewegung eines mit Mikroskop beobachteten Systems Newton'scher Ringe erkannt. Die Messungen wurden vor den eigentlichen Versuchen und nach denselben ausgeführt und ergaben ausserordentlich gute Uebereinstimmung. Es wurden für die Dicken aus den Ablesungen an der Sphärometerschraube gefunden.

δ_1	δ_2	δ_3	δ (Mittel)
0,21024	0,20999	0,20995	0,21006
0,34846	0,34875	0,34879	0,34867
0,47731	0,47719	0,47736	0,47729
0,61539	0,61528	0,61549	0,61539
0,92540	0,92535	0,92524	0,92533

Um diese Grössen auf wahre Centimeter zurückzuführen, musste die Schraube des Sphärometers untersucht werden. Zu dem Zwecke wurde zunächst ihre Gesamtlänge von nahe 2 cm in der Weise ausgewerthet, dass mit ihr ein Glasstab gemessen wurde, dessen Länge in der Normalaichungscommission zu 1,9917 cm mit einer Fehlergrenze von 0,0005 cm bestimmt war. Die Ablesungen an dem Sphärometer ergaben 1,99645 cm, der Stab umgekehrt, d. h.

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

das bisher untere Ende nach oben gekehrt, 1,99652 cm. Im Mittel 1,9965 cm. Ich hatte nun weiter die Absicht, die Theilfehler, speciell den periodischen Fehler der Schraube in ähnlicher Weise zu ermitteln, wie man die Calibercorrectionen etwa eines Thermometers bestimmt, und wollte zu dem Zwecke die Dicke zweier Planparallelgläschen von nahe 0,1 und 0,2 cm Dicke an aufeinander folgenden Stellen der Schraube bestimmen, allein ein Durchmessen mit dem ersten Glasstückchen ergab, dass die Fehler der Schraube so klein sind, dass sie innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegen. Es findet sich mithin aus den Werthen für δ die wahre Dicke der Glasplättchen:

$$d = \frac{19917}{19965} \delta.$$

Es ist vielleicht von Interesse, zu erwähnen, dass eine Stelle derselben Schraube, nämlich etwa 1 mm, schon einmal, und zwar in ganz anderer Weise, von Hrn. K. R. Koch¹⁾ untersucht ist, und dass auch damals kein periodischer Fehler gefunden ist.

Die Glasplättchen aus den drei dünnen Glassorten hatten einen Durchmesser von 0,4 cm, die beiden dickeren von 0,5 cm. Bei der Berechnung der wegen der Glasstückchen an der Capacität des Condensators anzubringenden Correction wurde die Dielectricitätsconstante des Glases gleich 6 angenommen. Für die Berechnung der Capacität wurde die von Hrn. Kirchhoff²⁾ gegebene Formel benutzt:

$$(3) \quad C = \frac{r^2}{4d} + \frac{r}{4\pi} \left[\log \frac{16\pi r(d+b)}{ed^2} + \frac{b}{d} \log \frac{b+d}{b} + 2 \right].$$

Der nach (3) berechnete Werth von C darf jedoch nicht direct für die Capacität Q in die Gleichung (1), resp. (2) eingesetzt werden, denn letzteres bezeichnet nicht die Capacität der Platten allein, sondern die Capacität der Platten und des Stückes *HKL* der Zuleitungsdrähte (Fig. 21). Dass nur dieses Stück in Betracht kommt, ist aus der Figur leicht zu erkennen. Die eine Platte des Condensators, das Galvano-

1) K. R. Koch, Wied. Ann. 18. p. 511. 1883.

2) Kirchhoff, Monatsber. d. Berl. Acad. 1877. p. 144.

meter und die Leitung DH sind dauernd mit A verbunden, also mit diesem Punkte auf gleichem Potential, ebenso ist die Leitung BL dauernd mit B verbunden. Bei der Ladung des Condensators ist der Unterbrecher bei L geschlossen, der bei H unterbrochen. Es wird also das Stück LKH auf das Potential von B kommen, bei der Entladung aber ist L unterbrochen und H geschlossen, das Stück sich also mit entladen. Um dies in Rechnung ziehen zu können, stellen wir zunächst einen Versuch an, bei welchem die Ladung des Condensators mitsammt der der Zuleitungsdrähte durch das Galvanometer fließt, dies liefert die schon angegebene Gleichung:

$$(1) \quad \frac{n \cdot Q \cdot W i}{v^2} = \frac{w i}{R + w}.$$

Sodann entfernen wir die Condensatorplatten und suchen denjenigen Widerstand w_0 , von dem der constante Strom für die zweite Galvanometerrolle abgezweigt werden muss, damit wieder die Nadel des Galvanometers in Ruhe bleibt, wenn gleichzeitig durch die erste Rolle die Entladungen der Zuleitungsdrähte geschickt werden, wir stellen also genau denselben Versuch, aber ohne die Platten an. Bezeichnen wir die Capacität der Zuleitungsdrähte mit C_0 , so erhalten wir, der Gl. (1) entsprechend:

$$(1_a) \quad \frac{n \cdot C_0 W \cdot i}{v^2} = \frac{w_0 i}{R + w_0}.$$

Aus beiden folgt:

$$(1_b) \quad \frac{Q}{C_0} = \frac{C + C_0}{C_0} = \frac{w \cdot R + w_0}{w_0 \cdot R + w}.$$

Bezeichnen wir den Werth dieses Quotienten mit ε , so ergibt sich leicht:

$$(1_c) \quad \frac{Q}{C} = \frac{C + C_0}{C_0} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1},$$

und setzen wir hierfür zur Abkürzung α , so haben wir:

$$(1_d) \quad Q = \alpha \cdot C.$$

Der Werth von Q in Gl. (1) besteht also aus zwei Factoren, von denen der eine, C , nach der unter (3) gegebenen Formel aus den Dimensionen der Platten zu berechnen ist, der zweite, α , durch den Versuch gefunden wird, und bei-

läufig bei meinen Apparaten je nach der Dicke der zwischen die Stahlplatten gelegten Glasstücke zwischen 1,038 und 1,156 lag. Die genaueren Angaben finden sich später in den Tabellen.

Die Isolation der die Condensatorplatten tragenden Hartgummistützen erwies sich bei vielfachen Prüfungen mit dem Goldblattelectroskop stets als eine sehr gute, wohingegen die Glasplättchen das Electroskop ohne Ausnahme fast momentan entluden. Dieselben wurden deshalb vor dem Gebrauch in der von Hrn. Seidel¹⁾ angegebenen Weise behandelt, sie wurden zehn Minuten lang in Wasser gelegt und dann mit reinem Fliesspapier abgetrocknet. Nach diesem Abwaschen isolirten sie ausgezeichnet und behielten diese Eigenschaft selbst bei sehr feuchtem Wetter sechs bis acht Tage lang. Ich habe vor jedem Versuche die Glasstücke mit dem Goldblattelectroskop untersucht, und wenn die Isolation nicht mehr ganz vollkommen war, immer wieder wie oben angegeben abgewaschen. Dies Verfahren hat sich jedesmal auf das Beste bewährt. Alle Zuleitungsdrähte waren an Siegellackstangen befestigt, die an die Zimmerwände etc. angekittet waren.

3. Das Galvanometer.

Dasselbe war G. Wiedemann'scher Construction. Der Ringmagnet war durch einen Haüy'schen Stab derart astasirt, dass seine Schwingungsdauer etwa 14 Sec. betrug, und er durch den Kupferdämpfer nahe aperiodisch gedämpft wurde.

Von den Rollen war die erste, durch welche die Entladungen des Condensators geschickt werden sollten, aus 0,1 mm starkem Kupferdrahte gewickelt und hatte 11000 Windungen. Die zweite Rolle, durch welche die Abzweigung des constanten Stromes ging (cf. p. 562), hatte 10000 Windungen aus 0,2 mm starkem Neusilberdraht. Letzterer war um deswillen gewählt, weil der Widerstand dieser Rolle R in das Endresultat Gl. (2) eingeht, und weil bei Kupfer der grosse Temperaturcoefficient leicht die Genauigkeit der Widerstands-

1) E. Warburg u. P. Ihmori, Wied. Ann. 27. p. 488. 1886.

bestimmung beeinträchtigen kann, denn wenn man nicht über einen Raum von constanter Temperatur verfügt, lässt sich, glaube ich, die Temperatur solcher Rollen, selbst wenn man das Galvanometer, wie ich dies bei dem meinigen gethan habe, nochmals mit einem Kasten überdeckt, kaum genauer als auf 0,5 bis 1° C. angeben. Die Drähte waren doppelt mit weisser Seide umspinnen, und bei der Wickelung durch eine breiige Lösung von Paraffin in Terpentinöl gezogen, die Holzrollen waren vor der Bewickelung mit einem ziemlich dicken Paraffinüberzuge versehen.

Um die Wirkung der beiden Rollen auf den Magnet abzugleichen, wurde die mit der kleineren Anzahl von Windungen so nahe als möglich an den Magnet herangeschoben, die beiden Rollen hinter einander in den Stromkreis eines Daniell'schen Elementes eingeschaltet und nun die Stellung der kräftiger wirkenden durch Verschieben mittelst einer Mikrometerschraube solange geändert, bis der Magnet keine Ablenkung mehr anzeigte. Die Abgleichung liess sich auf diese Weise recht bequem und mit grosser Genauigkeit ausführen, sodass bei 4,5 m Scalenabstand der Magnet seine Ruhelage bis auf 0,1 Scalentheil beibehielt, während er unter der Einwirkung nur einer Rolle um mehrere Tausend Scalentheile abgelenkt sein würde. Die Einstellung wurde vor und nach jedem Versuche controlirt.

Bei dieser Abgleichung floss durch beide Rollen ein constanter Strom, und zwar von verhältnissmässig geringer Intensität, während bei den Beobachtungen selbst durch die eine Rolle wieder ein constanter Strom ging, durch die andere hingegen die Condensatorentladungen erfolgten. Letztere verlangen aber eine weit sorgfältigere Isolation der Drahtwindungen voneinander, und es war deshalb denkbar, dass zwei nebeneinander liegende Windungen, die für den verhältnissmässig schwachen constanten Strom genügend von einander isolirt waren, für die Condensatorentladungen dies nicht mehr waren. In dem Falle würden aber die Rollen nicht mehr als abgeglichen gelten können. Um dieses zu untersuchen, glich ich zuerst die Rollen durch den constanten Strom ab und schickte dann statt desselben die Condensatorentladungen

hindurch. In der That blieb der Magnet nicht in seiner Ruhelage. Bei näherer Untersuchung zeigte es sich allerdings, dass der Fehler an der Neusilberrolle lag, also vielleicht ohne Einfluss gewesen wäre, da durch diese ja bei den Versuchen der constante Strom ging, doch habe ich mich dabei nicht beruhigt, und gelang es mir auch, durch allmähliges Abwickeln und Wiederholung derselben Probe die defecte Stelle zu finden. An derselben waren zwei Drahtenden zusammengewickelt, und das Ende des einen konnte beim Durchlaufenlassen durch die Hand als ganz feine Spitze gefühlt werden, die sich nun wahrscheinlich in die Umspinnung des daneben liegenden Drahtes eingebohrt hatte. Nach sorgfältiger Umwicklung der Stelle zeigten sich die Rollen, wenn mit constantem Strom abgeglichen, auch für die Condensatorentladungen gleich. Ich habe im Laufe der Versuche die obige Probe mehrmals wiederholt.

Der Widerstand R der aus Neusilberdraht gewickelten Rolle wurde dreimal mit Hülfe der Wheatstone'schen Brücke bestimmt. Zwei Zweige derselben waren gebildet von den beiden Seiten eines Siemens'schen Widerstandskastens 1—50, resp. 100—5000 S.-E., und wurden bei jeder Bestimmung drei verschiedene Verhältnisse der Zweige benutzt. Ein zweiter Widerstandskasten von 1—5000 S.-E. und die in Frage kommende Galvanometerrolle R bildeten die beiden anderen Zweige. Sollte eine Widerstandsmessung ausgeführt werden, so wurden schon am Tage vorher die Widerstände in dem betreffenden Zimmer aufgestellt, um bei der Temperaturbestimmung möglichst sicher zu gehen. Es wurde gefunden:

den 8. Mai 1886	$R = 33038,4$ bei 14° C.
den 27. Mai 1886	$R = 33029,0$ bei $17,9$
den 30. August 1886	$R = 33027,5$ bei $20,6$

Von diesen unabhängige Messungen im April zwischen 7 und 9° C. und im August zwischen 19 und 22° C. wurden dazu benutzt, den Temperaturcoefficienten zu berechnen. Unter der Annahme, dass der des Siemens'schen Kastens $0,0004$ sei, wurde für die Rolle gefunden $\alpha = 0,00035$. Mit

Benutzung desselben ergeben die obigen Messungen für den Widerstand der Galvanometerrolle bei 20° C.:

33028,5, 33025,5, 33028,4, Mittel: 33027,5 S.-E.

Die benutzten Widerstandskasten waren calibriert, und alle Messungen sind zurückgeführt auf die S.-E. Nr. 3619 (sogenannte Normale, welche zum Einsetzen in ein Flüssigkeitsbad eingerichtet ist), welche auch meiner Ohmbestimmung zu Grunde liegt.

4. Der Stimmgabelunterbrecher.

Zum Laden und Entladen des Condensators wurde dieselbe Einrichtung benutzt, deren sich Hr. Klemenčič bedient hat. Eine Platinspitze an dem oberen Schenkel der electromagnetisch getriebenen Stimmgabel vermittelt durch Eintauchen in Quecksilber die Ladung, eine zweite am unteren Schenkel durch Eintauchen in ein zweites Quecksilbernäpfchen darauf die Entladung. Die Platindrähte waren jeder an das Ende einer 4 cm langen Siegellackstange angeschmolzen, deren anderes Ende an der Stimmgabel befestigt war. Die Quecksilbernäpfchen aus Glas waren ebenfalls auf 4 cm langen Siegellackstangen befestigt, und diese auf die Köpfe von Schrauben gekittet, durch welche die richtige Stellung der Platinspitzen gegenüber dem Quecksilber regulirt werden konnte. Die Stimmgabel war an Krampen befestigt, die in die Wand eingegypst waren, das Brett, durch welches die die Quecksilbernäpfe tragenden Schrauben hindurchgingen, war von der Stimmgabel vollständig getrennt und an einer Fensterbank festgeschraubt, sodass die Quecksilberoberfläche, wenn die Spitzen nicht eintauchten, durch die Schwingungen der Gabel kaum sichtbar erschüttert wurden. Ausser der Unterbrechungsvorrichtung für den die Stimmgabel treibenden Strom war noch eine zweite angebracht, durch welche ein intermittirender Strom in die Electromagnete eines phonischen Rades geschickt wurde. An der Axe dieses war ein Zählwerk befestigt, und aus der hiermit beobachteten Anzahl der Umdrehungen des Rades konnte die Schwingungszahl der Stimmgabel bestimmt werden. An dem Zählwerk konnte

man $\frac{1}{80}$ Umdrehung ablesen, gezählt wurden mindestens 8—900 Umdrehungen.

Ein besonderer Vorzug dieses Verfahrens scheint mir zu sein, dass die Schwingungszahl der Gabel bestimmt wird, gerade während dieselbe als Unterbrecher functionirt, nicht etwa vorher oder nachher, denn ganz abgesehen von dem Temperatureinflusse, habe ich gefunden, dass eine electromagnetisch getriebene Stimmgabel, wenn man sie anhält und später wieder in Gang setzt, in den Schwingungszahlen Differenzen ergibt, die bis 0,1 Proc. betragen können. Es erklärt sich dies wohl aus der Aenderung der Stromstärke, resp. der Contactdauer der Unterbrechungsvorrichtung.

Der Stimmgabelunterbrecher functionirte ausserordentlich gut.¹⁾ Derselbe hat nicht ein einziges mal bei allen meinen Versuchen versagt. Lord Rayleigh²⁾ hat angegeben, dass er dieselben Vorrichtungen zu demselben Zwecke zu benutzen versucht hat, jedoch keine zuverlässigen Resultate erlangt hat.

Ich habe bei meinem Bemühen, diesen Widerspruch womöglich aufzuklären, und bei den eigens zu diesem Zwecke angestellten besonderen Versuchen nur zwei Umstände auffinden können, welche ein unregelmässiges Arbeiten des Apparates veranlassen können, doch muss ich bemerken, dass, wenn ich dieselben hier anführe, ich damit durchaus nicht die Vermuthung aussprechen will, es hätten diese Verhältnisse bei Lord Rayleigh's Versuchen eine Rolle gespielt. Die Ablenkung des Galvanometers durch die Condensatorentladungen kann unregelmässig werden, habe ich gefunden: 1) wenn die Quecksilbernäpfchen so angebracht sind, dass das Quecksilber durch die Schwingungen der Gabel in stärkere Vibration oder Rotation versetzt wird, und 2) wenn man die Schenkel der Stimmgabel gegen einander verstimmt etwa dadurch, dass man den einen mehr belastet, als den anderen. Im letzteren Falle gelingt es auch meist nicht, das phonische Rad dauernd in Rotation zu erhalten.

1) Cf. über die Brauchbarkeit des Stimmgabelunterbrechers auch eine inzwischen erschienene Abhandlung des Hrn. Klemenčič „Ueber die Dämpfung electricischer Oscillationen“ Rep. der Physik 1886.

2) Rayleigh, Phil. Mag. 1886.

5. Die Widerstände.

Die Widerstände W (p. 562) bestanden aus bifilar gewickelten Rollen von Neusilberdraht, dessen Enden an kurze dicke Kupferdrähte gelöthet waren, welche in gläserne Quecksilbernäpfchen tauchten.

Die Verbindung mehrerer geschah durch übergelegte Kupferbügel. Die Drahtrollen waren dauernd in mit Kaiseröl gefüllte Steingutgefäße eingetaucht, einmal, um eine sichere Temperaturbestimmung zu ermöglichen, dann aber auch, um jede Ableitung nach der Erde zu vermeiden. Die Gefäße standen auf einem Sandsteinconsol. Der Widerstand der einzelnen Rollen betrug 0,25 — 20000 S.-E., in Summa nahe 111 000 S.-E. Um bei der Bestimmung von w Aenderungen unter 0,25 S.-E. ausführen zu können, war zu diesen Widerständen nach 1 S.-E. (zum Einsenken in ein Flüssigkeitsbad eingerichtet) geschaltet mit einem Widerstandskasten von 1 — 5000 S.-E. im Nebenschluss. Die Widerstände W und w wurden nach jedem Versuche wieder mit der oben angegebenen Wheatstone'schen Brückencombination gemessen. Bei wiederholter Calibrirung der Siemens'schen Kasten, die nach den Angaben des Hrn. Dorn mit Berücksichtigung des Widerstandes der Zuleitungsdrähte geschah, erhielt ich anfangs Resultate, die durchaus nicht die erwartete Uebereinstimmung hatten, es zeigte sich dies später daher rührend, dass die Temperaturcoefficienten der einzelnen Widerstände eines Kastens durchaus nicht immer dieselben sind. Man kann deshalb mit solchen Kasten nur dann die äusserste Genauigkeit erreichen, wenn man stets nahe bei ein und derselben Temperatur, am besten dann natürlich nahe bei 20° C., beobachtet. Ich habe alle definitiven Beobachtungen von Mitte Juni bis Ende August ausgeführt und nur an solchen Tagen beobachtet, an denen die Temperatur während der Dauer der Versuche zwischen 18 und 22,5° C. lag.

Wie schon erwähnt, sind alle Widerstandsmessungen zurückgeführt auf die S.-E. Nr. 3619. Bei meiner Ohmbestimmung habe ich für dieselbe gefunden: 1 Ohm gleich

1) Dorn, Wied. Ann. 22. p. 558. 1884.

1,0601 S.-E., und ich habe diese Zahl für die Reduction meiner Messungen auf Ohm benutzt.

Eine wichtige Frage war: Erwärmt sich der Widerstand W merklich, wenn die benutzte Batterie durch ihn geschlossen wird. Um dies zu entscheiden, wurde der Widerstand mit der Wheatstone'schen Brücke bestimmt, dann durch ihn der Strom von 90 Elementen (dies die grösste bei meinen Versuchen zur Anwendung gekommene Zahl) eine halbe Stunde lang ununterbrochen hindurchgeleitet und unmittelbar darauf die Widerstandsmessung wiederholt. Es bedurfte, um von der einen Operation zur anderen überzugehen, nur des Umlegens eines Commutators. Der zweimal wiederholte Versuch hat nie eine Aenderung des Widerstandes erkennen lassen, welche $\frac{1}{5000}$ des Gesamtwertes erreicht hätte.

Ich habe deshalb nicht geglaubt, diesen Punkt weiter berücksichtigen zu sollen, und das um so weniger, als bei den eigentlichen Beobachtungen der Strom stets nur sehr kurze Zeit geschlossen war.

6. Die Batterie.

Die Batterie bestand nach Bedarf aus 28—90 Bunsen'schen Chromsäureelementen. Die Zahl wurde bei jedem Versuche so gewählt, dass, wenn die Condensatorentladungen allein durch die dafür bestimmte Galvanometerrolle geschickt wurden, die Nadel bei 4,5 m Scalenabstand eine doppelseitige Ablenkung von mehr als 1000 Scalentheilen erfuhr. Die Elemente waren nach Art einer Tassen- oder Becherbatterie angeordnet, in jedes Glas war ein Zink und eine Kohle eingetaucht und die Kohle der ersten Zelle mit dem Zink der folgenden verbunden, sonst aber waren die Platten gar nicht, also nicht etwa an gemeinsamen Stativen befestigt. Es hat dies das Unbequeme, dass das Zusammensetzen und Auseinandernehmen der Batterie ziemlich zeitraubend ist, doch erwies es sich für die Isolation der Elemente als durchaus nothwendig. Die Elementengläser waren am oberen Rande mit einem ca. 5 cm breiten Paraffinanstreiche versehen und standen auf einem Tische, der dick mit Asphaltlack angestrichen war, und auf den mit Paraffin angestrichene Papier-

bogen gelegt waren. Dieses Verfahren erwies sich als recht praktisch, denn wenn die Isolation irgend gelitten hatte, genügte es, die Papierbogen durch neue zu ersetzen. Um die Isolation zu prüfen, wurde der eine Pol der Kette isolirt, der andere mit dem einen Ende der Galvanometerleitung verbunden, und es wurde nur dann mit der Batterie beobachtet, wenn das Galvanometer keine dauernde Ablenkung zeigte. Auch noch auf andere Weise ergab sich mangelnde Isolation zu erkennen, und zwar ist dies die Erscheinung, die mich überhaupt erst dazu veranlasste, auf eine isolirte Aufstellung der Batterie zu achten. In die Leitung der durch den Widerstand W geschlossenen Batterie war ein Commutator (Hauptcommutator) S eingeschaltet. Ebenso befand sich ein Commutator S_1 in der Leitung, durch welche die Condensatorentladungen zum Galvanometer geführt wurden, und ein dritter S_2 in der Leitung, welche man vom Widerstande w abzweigend zur zweiten Galvanometerrolle führte.

Ich erhielt nun am Galvanometer verschiedene Ausschläge, je nachdem ich entweder den Hauptcommutator oder die beiden anderen umlegte, sodass wenn die Einstellung auf Null im ersten Falle erreicht war, im zweiten sich wieder ein Ausschlag ergab. Dies fiel vollständig fort, nachdem in der oben beschriebenen Weise für die Isolirung der Batterie gesorgt war. Die Stromwender bestanden aus einer Paraffinplatte, in welcher Bohrungen zur Aufnahme des Quecksilbers waren, und aus den nöthigen Kupferbügeln, die an Siegellackstangen passend befestigt waren.

7. Die Versuche.

Bei jedem Versuche wurden zuerst die Stahlplatten des Condensators gereinigt (meist nur durch Abwischen mit einem weichen Leder, von Zeit zu Zeit auch unter Zuhülfenahme von Aether) und die dazwischen zu legenden Glasstückchen in der oben (p. 567) angegebenen Weise auf ihre Isolation geprüft, dann wurden die Rollen des Differentialgalvanometers abgeglichen und die Batterie zusammengesetzt und geprüft, ob sie genügend isolirt war. Hierauf wurde der Stimmgabelunterbrecher, nachdem das Quecksilber in den Näpfchen

durch Filtriren gereinigt war, in Gang gesetzt, und wurden vorläufig die Widerstände w und w_0 gesucht, das sind diejenigen, von deren Enden zur zweiten Galvanometerrolle abgezweigt werden muss, damit die durch die erste Rolle geschickten Entladungen compensirt werden, bei w von Condensator und Zuleitung, bei w_0 von letzterer allein. Nun erst begann die eigentliche Beobachtung.

Auf einen bestimmten Secundenschlag wurde das Zählwerk am phonischen Rade eingeschaltet, dann beide Leitungen zum Galvanometer geschlossen und hierauf durch den Hauptcommutator der Strom geschlossen, der Strom commutirt und wieder commutirt. Dann der Strom unterbrochen, und nachdem die beiden Stromwender in den Leitungen zum Galvanometer umgelegt waren, wieder geschlossen und zweimal commutirt. Hierauf, nachdem der Strom wieder unterbrochen, die beiden Stromwender umgelegt und die erste Beobachtung wiederholt. Darauf wurde der Condensator ausgeschaltet und genau in derselben Weise w_0 bestimmt, dann wieder eingeschaltet und die erste Bestimmung von w controlirt. Es wurde bei keinem Versuche eine messbare Aenderung des w gefunden. Bei einem bestimmten Secundenschlage wurde das Zählwerk wieder angehalten, und nachdem die Temperaturen der Widerstände abgelesen waren, sofort zur Bestimmung derselben mittelst der Wheatstone'schen Brücke geschritten. Diese letztere Beobachtung nicht mitgerechnet, betrug die Dauer eines Versuches zehn bis höchstens fünfzehn Minuten.

Bei der Anordnung der einzelnen Versuche bin ich vor allem darauf bedacht gewesen, die folgenden beiden für die ganze Untersuchung fundamentalen Fragen zu entscheiden, nämlich: 1) Stellt die Kirchhoff'sche Formel mit genügender Annäherung die Capacität des benutzten Condensators dar? 2) Findet bei dem Stimmgabelunterbrecher bei jeder Schwingung eine vollständige Entladung des Condensators statt? Beide Fragen kann ich, wie dies schon früher auch von Hrn. Klemenčič geschehen ist, bejahend beantworten. Um den ersten Punkt zu untersuchen, wurde der Condensator bei verschiedenen Abständen der Platten von 0,2 — 0,9 cm benutzt. Die Correction, welche der Kirch-

hoff'schen Formel entsprechend anzubringen ist (der Werth des zweiten Gliedes von Formel (3) p. 565), beträgt 3 bis 11 Proc. der jedesmaligen Capacität, die für v erhaltenen Werthe sind aber dieselben.

Vielleicht könnte man aus den Resultaten eine ganz geringe Abweichung nach der Richtung hin herauslesen, dass für die kleineren Plattenabstände die berechnete Capacität etwas zu klein ausfiel, besonders wenn man bedenkt, dass Differenzen in den Werthen von v auf doppelt so grosse in denen für die Capacität schliessen lassen, doch ist hierbei zweierlei zu bedenken. Einmal sind die Bestimmungen bei kleinem Abstände, wie schon von anderen Beobachtern mehrfach hervorgehoben ist, dadurch weniger sicher, dass kleine, selbst bei der grössten Vorsicht nicht zu vermeidende Staubtheilchen störend wirken können, dann aber kann auch der Umstand zu einer Differenz Veranlassung geben, dass die als eben angenommenen Begrenzungsflächen solcher Platten streng genommen nie vollkommen eben sind. Diese stets vorhandenen Unebenheiten, unter Umständen auch Durchbiegungen der Platten werden aber bei kleiner Plattendistanz einen viel bedeutenderen Einfluss auf die Capacität haben, als bei grösseren. Eine genaue Untersuchung meiner Platten durch Verschiebung einer sehr empfindlichen Libelle ergab in dieser Beziehung, dass eine Durchbiegung, wie bei der beträchtlichen Dicke von 1,7 cm zu erwarten, nicht stattfand, und weiter, dass die eine der beiden Platten mit ausserordentlich grosser Annäherung auf der einen Seite eine Ebene bildete. Dagegen ergab sich bei der zweiten, dass dieselbe auf der zu benutzenden Seite (die Kehrseite war nicht mit jener äussersten Sorgfalt polirt) nahe der Mitte ganz schwach concav war.

In der That lassen die Resultate dies auch erkennen oder richtiger ist umgekehrt hiermit die Erklärung der später mitzutheilenden Resultate gefunden, denn ich bin durch die letzteren erst veranlasst worden, die Untersuchung mit der Libelle auszuführen. Ich hatte bei den Versuchen, um zu sehen, ob eine Durchbiegung der Platten stattfände, die Glasplättchen immer auf drei verschiedene Arten zwischen

die Condensatorplatten gelegt, nämlich so, dass sie auf einem Kreise vom Radius $\rho = 20$ cm oder $\rho = 10$ cm oder $\rho = 3$ cm lagen. Bei Benutzung der dickeren Glasplättchen nun gaben alle drei Stellungen die gleichen Werthe für v , dagegen zeigen die Resultate bei der kleinsten Plattendistanz ganz deutlich, vielleicht auch noch die mit $\delta = 0,3478$, dass v für $\rho = 10$ cm und $\rho = 3$ cm kleiner gefunden wurde, als für $\rho = 20$ cm. Wie schon erwähnt, lässt sich dies durch die constatirte Concavität der Platte erklären, denn für $\rho = 10$ cm und $\rho = 3$ cm liegen die Glasplättchen in der Höhlung, und die Capacität des Condensators ist also in Wirklichkeit grösser, als die in der Formel für v (p. 562) benutzte und unter der Voraussetzung ebener Platten berechnete. Bei $\rho = 20$ cm liegen die Verhältnisse natürlich umgekehrt. Wie aus den unten folgenden Tabellen zu ersehen, sind indessen die Abweichungen so gering, dass man unbedenklich das Mittel aus allen Beobachtungen nehmen darf.

Um zu entscheiden, ob auch bei jeder Schwingung der Stimmgabel eine vollständige Ladung und Entladung des Condensators stattfand, wurde die Schwingungszahl der Gabel durch Belastung der Zinken mit passenden Gewichten innerhalb sehr weiter Grenzen variirt, sodass die Anzahl der Ladungen, resp. Entladungen in der Secunde 44 bis 89 betrug. Bei allen wurde für v derselbe Werth gefunden.

Bei der Wickelung der Galvanometerrollen hatte ich den Draht doppelt auflaufen lassen und für die Versuche dann die beiden Lagen jeder Rolle für sich hintereinander verbunden. Da bei der benutzten Versuchsanordnung die Gleichheit der beiden Rollen des Differentialgalvanometers eine grosse Rolle spielt, wünschte ich auch hierin eine Abänderung vorzunehmen, und während bei allen anderen Versuchen stets alle Windungen des Galvanometers benutzt wurden, habe ich bei zwei Beobachtungen von jeder Galvanometerrolle nur eine Lage benutzt. Die Versuche, je einer in den beiden ersten Tabellen, sind dadurch erkenntlich, dass unter der Rubrik für den Galvanometerwiderstand 14925, resp. 14924 steht. Da es einerseits nicht möglich war, mehr als zwei, höchstens drei Bestimmungen hinterein-

$$d = 0,4761. \quad C = 350,204.$$

q	α	E	W	R	w	n	$v \cdot 10^{-9}$
20	1,0842	50	110 842	33027	86,04	59,511	30,118
20	1,0843	50	110 841	33027	86,06	59,521	30,115
20	1,0800	60	110 861	33027	86,10	59,500	30,084
20	1,0813	66	110 914	33057	67,58	46,678	30,108
20	1,0815	66	110 925	33056	66,17	45,597	30,076
20	1,0821	40	110 732	33003	117,35	81,000	30,083
20	1,0824	35	110 693	33000	117,26	81,040	30,098
10	1,0843	56	110 891	33030	101,16	69,499	30,068
10	1,0843	40	110 807	33026	127,37	87,542	30,076
20	1,0841	40	110 809	33031	127,44	87,523	30,063
3	1,0839	40	110 813	33032	127,48	87,606	30,077
20	1,0848	40	110 812	33033	127,43	87,525	30,076
Mittel							30,087

$$d = 0,6139. \quad C = 275,87.$$

q	α	E	W	R	w	n	$v \cdot 10^{-9}$
20	1,1030	72	110 799	33004	102,33	87,549	30,084
10	1,1075	72	110 804	33004	102,32	87,548	30,077
3	1,1077	72	110 807	33007	102,29	87,557	30,082
20	1,1081	72	110 806	33007	102,35	87,563	30,085
20	1,1121	87	110 769	33004	71,875	61,305	30,078
20	1,1107	70	110 807	33007	102,66	87,614	30,085
Mittel							30,082

$$d = 0,9231. \quad C = 189,17.$$

q	α	E	W	R	w	n	$v \cdot 10^{-9}$
20	1,1566	87	110 813	33010	73,182	87,546	30,087
10	1,1560	87	110 813	33011	73,112	87,468	30,080
3	1,1559	90	110 816	33013	73,214	87,608	30,081
20	1,1560	90	110 820	33014	73,070	87,529	30,105
Mittel							30,088

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Mittelwerthe der einzelnen Versuchsreihen.

d	C	$v \cdot 10^{-9}$
0,2095	770,513	30,071
0,3478	472,320	30,044
0,4761	350,204	30,087
0,6139	275,870	30,082
0,9231	189,170	30,088

Als Mittel aus allen Versuchen ergibt sich somit:

$$v = 30,074 \cdot 10^9 \text{ cm/sec.}$$

Phys. Inst. der Univ. Freiburg i. B., Sept. 1886.