Im übrigen rechtfertigen sie die Erweiterung der Fresnel'schen Betrachtungen — betreffend die Deutung des Imaginären bei totaler Reflexion — auf einaxige Medien, welche bis dahin nur für isotrope Medien bewiesen worden sind.

Königsberg i. Pr., 1885/86.

VI. *Potentialverstärker für Messungen;* *von W. Hallwachs.*

(Hierzu Taf. II Fig. 16.)

§ 1.

Electrometrische Messungen kleinerer Potentiale etwa von der Grössenordnung eines Volt lassen sich nicht wohl direct mit dem Electrometer ohne weitere Hülfsapparate bewerkstelligen. Der Versuch hierzu ausreichende Electrometer zu construiren, scheitert daran, dass die electrostatischen Kräfte, welche die Electrometertheile bei der Ladung auf Potentiale von der genannten Grössenordnung ausüben würden, zu klein sind, um zur Messung gelangen zu können. Man hat daher seine Zuflucht entweder zu Hülfsladungen oder zu Condensatoren genommen, ist jedoch nicht dazu gelangt, diese Apparate so einzurichten, dass man genauere Messungen unter hinreichend constanter Empfindlichkeit ausführen kann, wie es für viele Zwecke wünschenswerth ist. Die Hülfsladungen leiden, auch wenn sie von galvanischen Säulen geliefert werden, an Inconstanz und veranlassen eine Reihe von fortlaufenden Controlmessungen. Bei der Anwendung eines Condensators ist man erstens von den Capacitätsverhältnissen abhängig: man muss, um auch bei Anwendung kleinerer Ladungspotentiale genügende Ladungen zu erhalten, die Dimensionen des Condensators entweder unbehülflich gross wählen, oder aber die Platten bei der Ladung in solche Nähe bringen, dass eine Constanz der Verstärkungszahl des Apparates nicht mehr zu erreichen ist.

Gerade die empfindlichsten Instrumente, die Quadrantelectrometer, weisen eine so grosse Capacität auf, dass sich die Anwendung eines einfachen Condensators aus den gegebenen Gründen zur Verstärkung der Ladung bei Messungen nicht eignet. Dazu kommt noch zweitens, dass der Electricitätsverlust, welchen die Anwendung des Condensators mit sich bringt, bei der grossen Schwingungsdauer der Quadrantelectrometer zu erheblich wird.

Wendet man aber den Condensator wiederholt an, indem man den Collector nach der Verbindung mit dem Electrometer immer wieder der Condensatorplatte gegenüberstellt, ladet und mit dem Electrometer in Berührung bringt, so wird bei genügend schnellem Tempo dieses Vorgangs der Einfluss des Electricitätsverlustes verschwinden. Ausserdem erreicht dann das Potential auf dem Electrometer schliesslich denselben Werth, wie auf der freien Collectorplatte, wird also gleich dem zur Ladung verwendeten Potential multiplicirt mit der Verstärkungszahl des Condensators. Auf diese Weise macht man sich in weiten Grenzen unabhängig von der Capacität des Electrometers und kann daher für den Condensator kleinere Dimensionen und kleinere Verstärkungszahl wählen, wodurch sich die Constanz des letzteren sichern lässt.

Nach diesem Princip, bei dessen Auffindung mich eine Bemerkung des Hrn. F. Kohlrausch sehr unterstützte, wurde ein im Folgenden beschriebener Potentialverstärker construirt. Derselbe soll im Verein mit dem vor kurzem beschriebenen Electrometer¹⁾ dazu dienen, Potentiale von der Grössenordnung eines Volt unter constanter und dabei genügend grosser Empfindlichkeit zu messen (ein Daniell gibt bei 3 m Abstand 300 Scalentheile Ausschlag beim Commutiren der Quadranten).

§ 2. Beschreibung des Apparates.

Der Potentialverstärker (s. Fig. 16) ist im wesentlichen ein Halbcylindercondensator, dessen Collector in Rotation versetzt

1) W. Hallwachs, Wied. Ann. 29. p. 1. 1886.

und so immer wieder von neuem der Condensatorplatte gegenüber gestellt und dann von ihr entfernt werden kann.

Zur Herstellung des Halbcylindercondensators dient ein Messingrohr *a*, welches an zwei diametral gegenüberliegenden Stellen Längsausschnitte *b* erhält. Die Enden des Rohres werden durch Hartgummistücke *c* von der Form eines Systems von Radspeichen getragen, welche die Rotation um die feststehende stählerne Axe *d* vermitteln und die beiden durch Furchen *b* getrennten Theile des Messingrohrs sowohl voneinander, als auch von der Axe isoliren. Diese beweglichen Messinghalbcylinder laufen in ihrer tiefsten Stellung ganz in dem 6 mm breiten Zwischenraum zwischen zwei feststehenden Messinghalbcylindern *e* und *f*, deren innerer an die feststehende Axe angeschraubt ist, während der äussere auf dem den Apparat tragenden Brette ruht. Beide stehen mit der Erde in leitender Verbindung, gestatten also eine bedeutende electricische Ladung der beweglichen Halbcylinder, sobald dieselben, in ihre tiefste Stellung gelangt, vermittelst seitlicher Fortsätze *g* die Contactfeder *h* berühren, welche die Zufuhr der Electricität von der Potentialquelle vermittelt. Von der aufgenommenen Ladung gibt die Collectorplatte in ihrer höchsten Stellung einen Theil an das Electrometer ab, indem sie die zu demselben führende Contactfeder *i* streift. Die beiden Contacts *h* und *i* bestehen aus Streifen von hartem Neusilberblech und werden von der oberen Kante der dreieckigen Messingfortsätze *g* nur leicht gestreift, sodass sie keine Aenderungen ihrer Stellung durch das Anschlagen erleiden, und die Capacität der Messinghalbcylinder innerhalb der Berührungsdauer constant bleibt. Die Contactfedern sind an harte, genügend dicke Messingdrähte angelöthet, welche von Hartgummisäulen *ku* und *l* gehalten werden und mit Klemmschrauben in Verbindung stehen.

Zur Drehung des Apparates läuft über die Rolle *o* eine Transmission von Messingdraht, welche durch eine ausserhalb des Apparates aufgestellte Rotationsvorrichtung in Bewegung gesetzt wird. Als solche diene meist eine neben dem Fernrohr aufgestellte, mit der Hand zu drehende Rolle mit Kurbel. Bei dieser Einrichtung lässt sich die Drehungs-

geschwindigkeit beliebig reguliren, sodass die Schwingungen des Electrometers schnell genügend beruhigt werden können. Ist es störend, die Rotation mit der Hand zu bewirken, so kann man sich eines geeigneten Motors bedienen; ein kleiner Griscom'scher electromagnetischer Motor erwies sich als geeignet.

Der ganze Apparat wird zur Abhaltung von äusserer Influenz und Vermeidung von Inconstanz der Verstärkungszahl in einen Messingkasten q eingesetzt, welcher bei genügender Höhe eine wesentliche Verminderung der Verstärkungszahl vermeiden lässt. Geeignete Einschnitte in demselben gestatten das Ueberschieben, auch ohne dass die Verbindungen mit den anderen Apparaten gelöst werden. Um die metallische Hülle zu vervollständigen, bedeckt auch die obere Fläche des Brettes, welches dem Apparat als Träger dient, ein Messingblech. Alle Metalltheile, mit Ausnahme der rotirenden Halbcylinder, stehen mit der Klemme r , zu welcher eine Erdleitung führt, in metallischer Verbindung.

Das Instrument ist von Hrn. Mechaniker W. Siedentopf in Würzburg hergestellt worden.

§ 3. Theorie des Apparates.

Im Folgenden soll gezeigt werden, in welcher Weise das Potential auf den mit dem Verstärker verbundenen Electrometertheilen ansteigt, secundäre Einflüsse mögen dabei zunächst unberücksichtigt bleiben (über dieselben s. § 5).

Wird an den Verstärker das Potential p angelegt, so nimmt der Collector eine gewisse Electricitätsmenge auf und hebt dieselbe während seines Ueberganges in die freie Lage auf das Potential P . Das Verhältniss $P:p$ ist der Verstärkungszahl v des Halbcylindercondensators gleich. Beim Berühren der oberen Contactfeder gibt der Collector einen Theil seiner Ladung PC , wenn C die Capacität in der freien Lage bedeutet, an das Electrometer von der Capacität γ ab, sodass auf demselben das Potential:

$$\psi_1 = P \frac{C}{C + \gamma}$$

entsteht. Gleich darauf führt der andere Halbcylinder, der in Bezug auf die Capacitätsverhältnisse dem ersten gleich

sein soll, von neuem die Electricitätsmenge PC heran. Bei der Berührung mit dem Electrometer, auf welchem sich schon die Ladung $\gamma\psi_1$ befindet, erhält das gemeinsame Potential den Werth ψ_2 , und es ist:

$$\psi_2(C + \gamma) = \gamma\psi_1 + CP,$$

woraus unter Benutzung des Werthes von ψ_1 folgt:

$$\psi_2 = P \frac{C}{C + \gamma} \left[1 + \frac{\gamma}{C + \gamma} \right].$$

Nach einer dritten Berührung des Electrometers mit dem Verstärker wird das Potential:

$$\psi_3 = P \frac{C}{C + \gamma} \left[1 + \frac{\gamma}{C + \gamma} + \left(\frac{\gamma}{C + \gamma} \right)^2 \right].$$

Schreiben wir einfacher:

$$\frac{\gamma}{C + \gamma} = \nu,$$

so wird das Potential ψ_n nach der n ten Berührung:

$$\psi_n = P(1 - \nu)[1 + \nu + \nu^2 + \dots + \nu^{n-1}] = P(1 - \nu^n).$$

Der Betrag, um welchen nach $\frac{1}{2}n$ Umläufen das Potential auf dem Electrometer noch hinter dem des freien Collectors zurückbleibt, ist also:

$$\frac{P - \psi_n}{P} = \nu^n.$$

Die Formel gibt die Anleitung dazu, wie gross die Capacität des Verstärkers und seine Umdrehungszahl gewählt werden müssen, damit bei den im Gebrauch befindlichen Electrometern das Potential genügend rasch zum Werthe P bis auf zu vernachlässigende Beträge ansteigt. Als genügend rasch ist es bei der Anwendung eines Quadrantelectrometers zu bezeichnen, wenn die Schwingungsdauer desselben durch die Art und Weise, wie hier geladen wird, keine erhebliche Vergrösserung erleidet, und innerhalb dieser Schwingungsdauer die Ladung bis auf zu vernachlässigende Beträge vollendet ist.

Den gestellten Anforderungen kann mit dem § 2 beschriebenen Apparate selbst bei Anwendung eines Quadrantelectrometers von ausnahmsweise grosser Capacität genügt werden, wie es bei den weiter unten mitzutheilenden Ver-

suchen benutzt und vor kurzem beschrieben worden ist.¹⁾ Ein Ueberblick über die gangbaren Constructionen des Quadrantelectrometers lehrt, dass der Verstärker in den einmal angenommenen Dimensionen bei allen anwendbar bleiben wird.

In unserem Fall war die Capacität des Electrometers in Doppelschaltung sechsmal so gross, wie die des freien Halbcylinders, sodass $\nu = \frac{6}{7}$ wird. Machte der Apparat, wie es gewöhnlich geschah, etwa 2,5 Umläufe in der Secunde, so war also nach 3; 6; 9, bzw. 12 Secunden die Ladung bis auf $\frac{1}{10}$; $\frac{1}{100}$; $\frac{1}{1000}$, bzw. $\frac{1}{10000}$ vollendet. Die Schwingungsdauer betrug wegen der gewünschten grossen Empfindlichkeit 22 Secunden, die Ladung war also innerhalb der Schwingungsdauer genügend vorgeschritten. Unter diesen Umständen verhielt sich das Electrometer gerade so, als ob es mit einem etwa neunmal so grossen Potential direct verbunden worden wäre, da die Verstärkungszahl etwa 9 betrug.

§ 4. Versuche.

Die Versuche mit dem Potentialverstärker, deren ausführlichere Mittheilung sogleich folgen wird, ergaben dessen Verstärkungszahl zu 9,355, sodass unter Anwendung des erwähnten Electrometers ein Daniell'sches Element bei 3 m Scalenabstand einen commutirten Ausschlag von 320 Scalentheilen lieferte. Die einzelnen Werthe der Verstärkungszahl wichen bei einer Reihe aufeinanderfolgender Bestimmungen im Maximum um 0,1 Proc. voneinander, um 0,06 Proc. vom Mittel ab. Im Laufe der Zeit trat keine wahrnehmbare Aenderung der erwähnten Grösse ein: dieselbe betrug z. B. am 8. März 9,355 (Mittel aus zehn Bestimmungen), am 23. März nach vielseitiger Benutzung des Apparates 9,354 (Mittel aus fünf Bestimmungen).

Zur Ermittlung der Verstärkungszahl wurden electrometrisch verschiedene Paare von Potentialen gemessen, deren grösseres bei directer Anlegung an das Electrometer etwa

1) Hallwachs, Wied. Ann. 29. p. 1. 1886. (Dem Instrument wird eine zweite, kleinere Nadel beigegeben: $T = 8$ Sec., $k = 2,7$, welche $\frac{3}{8}$ der Empfindlichkeit gibt).

denselben Ausschlag ergab wie das andere kleinere bei Zwischenschaltung des Verstärkers, und deren Werth durch galvanometrische Bestimmungen festgelegt wurde. Das letztere geschah in der Weise, dass man von den Enden bekannter Widerstände zum Electrometer, resp. Verstärker abzweigte und den dieselben durchfliessenden Strom, welcher bei allen Versuchen nahe gleiche Stärke hatte, mit einem Wiedemann'schen Galvanometer mass. Bei den electrometrischen Messungen bediente man sich der Doppelschaltung¹⁾, da ja bei der Construction des Verstärkers die Absicht vorlag, eine electrometrische Messmethode für kleine Potentiale zu schaffen, welche nicht nur grosse, sondern hauptsächlich auch constante Empfindlichkeit aufwies, die letztere Forderung von dem benutzten Electrometer allein, bei der angegebenen Schaltungsweise aber erfüllt wurde. Zur Messung der einzelnen Potentiale ermittelte man die einseitigen Ausschläge für positive und negative Ladung aus Umkehrpunkten und nahm das Mittel, wodurch, wie die folgenden Versuche und die Betrachtungen des § 5 beweisen werden, secundäre Vorgänge ihren Einfluss auf das Resultat verloren. Der Verstärker stand durch eine Transmission von Messingdraht mit einer kleinen Drehvorrichtung in Verbindung, welche beim Fernrohr aufgestellt war. Das Umdrehen derselben geschah mit der Hand, wobei leicht eine geeignete Dämpfung der Schwingungen erzielt wurde. Der Verstärker machte etwa 2,5 Umdrehungen in der Secunde. Die Verbindungen zu demselben und dem Electrometer waren durch Messingröhren geführt, die Suspensionsröhre des Electrometers mit einem Drahtnetz umhüllt und sämmtliche Hüllen zur Erde abgeleitet.

Um zunächst einen Anhalt über die bei Anwendung des Verstärkers zu erreichende Genauigkeit der Einzelmessung zu geben, sind in der folgenden Tabelle vergleichende Beobachtungen mit dem Electrometer und dem Galvanometer angeführt. n bedeutet den Electrometer-, N den Galvanometerausschlag, $N/\sqrt{n}$ soll für jede der drei Reihen eine Constante sein.

1) W. Hallwachs, Wied. Ann. 29. p. 5. 1886.

n	N	$\frac{N}{\sqrt{n}}$	n	N	$\frac{N}{\sqrt{n}}$	n	N	$\frac{N}{\sqrt{n}}$
457,4	718,0	33,57	207,6	724,5	50,28	432,4	647,1	31,12
454,0	715,9	33,60	205,8	721,2	50,27	429,5	644,9	31,12
452,2	713,7	33,57	204,3	718,6	50,28	426,5	643,0	31,14
449,3	711,8	33,59	203,3	716,8	50,28	425,6	641,6	31,11
447,7	710,6	33,59	202,1	715,3	50,32	422,9	640,1	31,13
		33,58			50,29			31,12

Die Zusammenstellung zeigt, dass die Abweichungen der Einzelmessungen vom jeweiligen Mittel im Maximum nur 0,06 Proc. erreichten.

Ferner ist zu erweisen, dass die Verstärkungszahl für verschiedene Ausschläge dieselbe bleibt; es wurde gefunden:

Electrometerausschlag	450	205	
Verstärkungszahl	9,353	9,358	Mittel 9,355

Vierzehn Tage nach diesen Bestimmungen, während in-
zwischen der Verstärker vielfach benutzt worden war, ergab
sich die Verstärkungszahl (bei einem Ausschlag von 430 Sca-
lentheilen) zu 9,354, sodass eine Veränderung derselben in
der angegebenen Periode nicht zu ermitteln war.

§ 5. Secundäre Einflüsse.

Die im vorigen Paragraphen mitgetheilten Versuche
weisen nach, dass die Messungen mit dem Verstärker eine
Genauigkeit zulassen, welche nicht erheblich hinter der des
Electrometers allein zurückbleibt.¹⁾ Dazu ist indess nöthig,
für die Beseitigung secundärer Einwirkungen zu sorgen, welche
theils electricischer, theils mechanischer Natur sind, und im
Folgenden besprochen werden sollen.

a) Electricische Einflüsse. — Zunächst könnte man
denken, dass wegen der Unmöglichkeit einer vollständigen
Isolation das unter Anwendung des Verstärkers zu erreichende
Maximalpotential etwas herabgedrückt werden könnte. Im
§ 3 wurde der Betrag, um welchen nach $\frac{1}{2}n$ Umdrehungen
das Potential auf dem Electrometer noch hinter dem auf
dem freien Collector zurückbleibt, hergeleitet, es war:

1) l. c. p. 32 u. p. 41.

$$\frac{P - \psi_n}{P} = v^n.$$

Verliert nun während einer halben Umdrehung der Collector ε , das Electrometer δ seiner Ladung, so findet sich durch eine einfache Rechnung:

$$\frac{P - \psi_n}{P} = v^n + \frac{\gamma}{C} \delta + \varepsilon,$$

wo γ und C wie früher die Capacitäten des Electrometers und des Collectors sind. Es bleibt also, wenn auch v^n auf einen zu vernachlässigenden Betrag herabgesunken ist, das Potential des Electrometers hinter dem des Collectors noch zurück. Indess werden bei den kleinen Potentialen, welche hier zur Messung gelangen, ε und δ sehr kleine Werthe haben. Versuche, bei denen die Isolationsverhältnisse absichtlich ungünstig gestaltet wurden, liessen kein Zurückbleiben des Potentials erkennen. Auch die aus den § 4 mitgetheilten Versuchen hervorgehende Constanz der Verstärkungszahl weist darauf hin, dass der Electricitätsverlust keinen merklichen Einfluss gewinnt.

Fassen wir einen anderen Vorgang ins Auge, dessen Wirkungen auf die Versuche nicht zu vernachlässigen sind. Im allgemeinen haben die rotirenden Halbcylinder auch bei Ableitung zur Erde schon eine kleine Potentialdifferenz gegen die feststehenden, welche, wenn die sämtlichen Halbcylinder nicht aus demselben Stück Blech geschnitten sind und nicht dieselbe Oberflächenbearbeitung erfahren haben, mehrere Hundertel Volt betragen kann. Dieselbe fügt sich zu dem zu messenden Potential hinzu, behält aber beim Commutiren des letzteren ihre Richtung bei, sodass sie bei genügender Kleinheit auf das Mittel der beiden durch Commutiren erhaltenen Ausschläge keinen Einfluss gewinnt. Bei dem von mir benutzten Instrument waren durch ein Missverständniss des Mechanikers die verschiedenen Theile des Verstärkers nicht aus demselben Blech gefertigt, wodurch zu Anfang erhebliche Differenzen der Einstellungen beim Commutiren des angelegten Potentials verursacht wurden; durch eine in vollkommen gleicher Weise vorgenommene Politur

sämmtlicher Halbcylinder wurden dieselben bedeutend herabgemindert, erreichten indess erst dann die wünschenswerthe Kleinheit als diejenigen Halbcylinder, welche bei Ableitung zur Erde das höhere Potential aufwiesen, auf ihrer Oberfläche etwas mit Wasser befeuchtet worden waren. Ihr Potential sank dann allmählich, und man konnte dem Betrag, um welchen es herunterging, durch Befeuchten eines grösseren oder kleineren Theiles der Oberfläche leicht die gewünschte Grösse geben. Auf diese Weise war es möglich, das Potential der feststehenden und rotirenden Halbcylinder abzugleichen. Während des Rotirens des Apparates schien dann die etwa noch vorhandene Potentialdifferenz Aenderungen zu erleiden, und zwar immer nach der gleichen Richtung hin, was sich aus kleinen Variationen der Ablenkungsdifferenz für positive und negative Ladung ergab, welche bei der quadratischen Empfindlichkeit des Instruments leicht zu erkennen waren. Diese Aenderungen gingen indess nicht so schnell vor sich, dass sie die Beobachtungen auch nur bis auf ein Tausendtel beeinflussen konnten. Ob dieselben indess wirklich einer Aenderung des Oberflächenpotentials der Halbcylinder während der Rotation oder anderen Ursachen, die sich noch zur Erklärung darbieten, zuzuschreiben sind, konnte nicht definitiv entschieden werden, da die Versuche eine Unterbrechung erleiden mussten.

Betrachten wir noch den Einfluss, welchen die Verstärkerhülle auf das Potential des freien Collectors ausübt. Setzen wir der Einfachheit halber voraus, dass die verschiedenen Halbcylinder keine Potentialdifferenz gegeneinander aufweisen, und dass die Verstärkerzuleitung mit der Erde in Verbindung steht. Beim Durchgang durch die Condensatorstellung verlieren dann die Halbcylinder ihre Ladung fast vollständig. Nachdem sie in die freie Stellung gelangt sind, herrscht auf ihnen ein Potential, welches durch die Beschaffenheit der inneren Oberfläche der Hülle bedingt ist. Stimmt diese mit derjenigen des freien Halbcylinders überein, so nimmt der letztere, wenn man ihn jetzt mit der Erde verbindet, keine Ladung auf; er thut dies aber, falls die erwähnte Gleichheit der Oberflächen nicht besteht. Wird

die Verbindung mit der Erde unterlassen, aber eine solche mit einem anderen Conductor, z. B. dem Electrometer, hergestellt, so wird dadurch auf diesem das Potential geändert: es muss von demselben Electricität zu dem freien Halbcylinder überströmen, welche bei der Rotation des Verstärkers weggeführt wird. Das Resultat der immer neuen Berührungen der freien Halbcylinder mit dem Electrometer besteht dann darin, dass auf letzterem das Potential um einen gewissen Betrag sinkt. Derselbe ist, wie eine detaillirte Rechnung des genaueren zeigt, gleich der Potentialabnahme, welche der bewegliche Halbcylinder nach dem Durchgang zwischen den festen Halbcylindern erleiden würde, wenn er mit der Erde in metallische Verbindung träte. Die durch den besprochenen Umstand verursachte Aenderung der Ladung des Electrometers bleibt dieselbe, wenn an den Verstärker noch ein zu messendes Potential angelegt wird. Dass dieselbe übrigens nur klein sein kann, ersieht man daraus, dass diejenigen Theile der Hülle, welche dem freien Halbcylinder zunächst liegen und daher für dessen Potential am meisten bestimmend sind, von den feststehenden Halbcylindern, also gleichem Metall, gebildet werden. Um weiter auch den Einfluss des gegen äussere Influenz schützenden, übergesetzten Metallkastens herabzumindern, ist derselbe wie die Verstärkertheile aus Messing hergestellt worden.

b) Eliminirung der secundären electrischen Einflüsse bei der Messung. — Bei den Messungen mit dem Verstärker kann man sich leicht so einrichten, dass die erwähnten secundären Einflüsse das Resultat unberührt lassen. Da dieselben beim Commutiren des angelegten Potentials ihre Richtung behalten und im übrigen genügende Constanz besitzen, so wird ihre Wirkung einfach eliminirt, indem man das Mittel der Ablenkungen für positive und negative Ladung nimmt. Es tritt aber dadurch eine kleine Verwickelung ein, dass auch die im Electrometer selbst auftretenden Contactpotentialdifferenzen, wenigstens bei grösseren Ansprüchen an die Genauigkeit der Messung, zu berücksichtigen sind. Führt man mit Hülfe der früher gegebenen

Formeln¹⁾ die Rechnung durch, so ergibt sich zunächst eine Messmethode, bei der sämtliche secundären Einflüsse, selbst wenn sie ziemlich erhebliche Beträge erreichen, soweit eliminiert werden, dass sie die Messung noch nicht bis auf ein Tausendtel beeinflussen. Dieselbe besteht darin, unter Commutiren des angelegten Potentials einseitige Ausschläge zu beobachten. Dabei darf aber, streng genommen, als Nullpunkt nicht die Einstellung gewählt werden, welche man bei directer Ableitung des Electrometers erhält, sondern diejenige, welche sich bei Verbindung mit dem zur Erde abgeleiteten Verstärker ergibt. Bei meinen Versuchen betrug die Abweichung zwischen beiden meist kaum 0,1 Scalentheile, war also dann zu vernachlässigen. Eine zweite Beobachtungsmethode besteht darin, das Vorzeichen des angelegten Potentials gleichzeitig mit den Quadrantenpaaren zu commutiren, wodurch Ausschläge nach entgegengesetzten Seiten gewonnen werden. Die Anwendung dieser Methode gibt aber bis auf ein Tausendtel genaue Resultate nur dann, wenn die Einstellung des mit dem abgeleiteten Verstärker verbundenen Electrometers sich bei Vertauschung der Quadranten nicht ändert. Auch kann hier, wie schon früher bemerkt worden ist²⁾, die Ungleichheit der Quadrantenpaare eventuell eine kleine Correction verlangen, wenn eine Genauigkeit bis auf ein Tausendtel gewünscht wird. Im allgemeinen dürfte diese Versuchsanordnung etwa bis zu 0,001 Volt Fehler ergeben.

Das Vorhandensein der erwähnten secundären electrischen Einflüsse macht es unmöglich, bei der gewöhnlichen Art, unter Benutzung einer ladenden Hülfs säule, Potentiale zu messen, die Empfindlichkeit dadurch noch weiter zu steigern, dass man das zu messende Potential mit Hülfe des Verstärkers auf einen höheren Werth erhebt. Die zu verstärkenden Potentiale sind dann nicht gross genug gegen die, welche infolge der secundären Vorgänge auftreten.

1) l. c. p. 5. III.

2) l. c. p. 17. VIII.

c) **Mechanischer Einfluss.** — Man beobachtete noch eine kleine Abhängigkeit der Einstellung von der Umlaufszahl des Verstärkers. Bei der Steigerung der letzteren auf das Zehnfache (von 0,5 auf 5,2) ergaben sich die Potentiale um $\frac{1}{2}$ Proc. verschieden. Der Ausschlag war für kleinere Umlaufszahl grösser, konnte also nicht von einem Mangel an Isolation herrühren; ausserdem war er gleich für positive und negative Ladung, kann also auch nicht einer Electricitätsentwicklung seinen Ursprung verdanken. Die Aenderungen der Einstellung folgten der Aenderung der Drehungszahl unmittelbar und in constanter Weise. Dieselben müssen also wohl einer kleinen Veränderung der Verstärkungszahl des Apparates zugeschrieben werden, welche durch eine Gestaltsänderung des Apparates infolge der Drehung bedingt wird. Man gewöhnte sich unwillkürlich daran, den Verstärker ziemlich gleichmässig etwa 2,6mal in der Secunde, zu drehen. Nachdem einmal die verschiedenen Nebeneinflüsse erkannt, und die Messungen demgemäss auf die oben erwähnte Weise ausgeführt wurden, habe ich bei der Bestimmung desselben, galvanometrisch festgelegten Potentials nie Unterschiede erhalten, welche 0,1 Proc. überstiegen. Es war dabei nicht nöthig, den Verstärker gleich von dem Moment an, wo das Potential angelegt wurde, mit der Normalgeschwindigkeit zu drehen, sondern dieselbe braucht erst 2—3 Secunden vor Beobachtung des ersten Umkehrpunktes einzutreten. Man war daher nicht gehindert, die Schwingungen durch geeignete Handhabung der Transmissionskurbel zu dämpfen. Das letztere geschieht, falls der Verstärker durch einen Motor getrieben wird, mittelst des Commutators, welcher die Quadranten zu vertauschen gestattet.

§ 6.

Eine Potentialdifferenz zwischen den aus gleichem Material bestehenden Platten eines Condensators, wie sie p. 308 erwähnt worden ist, und zeitliche Aenderungen derselben hat schon R. Kohlrausch¹⁾ beobachtet und mit dem Namen

1) R. Kohlrausch, Pogg. Ann. **75**. p. 96. 1848; **79**. p. 190. 1850; **82**. p. 9. 1851; **88**. p. 469. 1853 u. a. a. O.

der Parteilichkeit des Condensators belegt. Derselbe hat zwar schliesslich die Erscheinung durch Influenzwirkungen zu erklären gesucht, wies jedoch auch schon darauf hin, dass „ein Grund derselben in dem bei beiden Platten nicht gleichzeitig erfolgenden allmählichen Oxydiren“ läge.¹⁾ Auch von anderer Seite sind Influenzwirkungen als Ursache der Erscheinung aufgefasst worden. Indess verschwand letztere nicht, als man die Influenzwirkungen durch Einschliessung der Apparate in zur Erde abgeleitete metallische Hüllen ausschloss.²⁾ Es blieb daher nur übrig, die Parteilichkeit durch äusserlich nicht merkbare Veränderungen der Oberfläche zu erklären. Dass dieselben wirklich darin bestehen, ging auch bei meinen Versuchen daraus hervor, dass, je mehr man sich bestrebte, die Oberflächen der Platten durch gleiche Behandlung auf gleichen Zustand zu bringen, um so mehr die Potentialdifferenzen sanken. Dieselben hatten dabei eine ähnliche Grösse, wie bei den Versuchen von R. Kohlrausch, bei denen sie unter verschiedenen Verhältnissen bis zu etwa 0,04 Volt anstiegen.³⁾ Hr. Schulze-Berge fand für einen vergoldeten Messingcondensator 0,01 Daniell. Sind die Condensatorplatten frisch polirt, so treten rasch Schwankungen der Potentialdifferenz ein, die Platten laufen mit der Zeit eine Spur an, und die Potentialdifferenz wird constanter. Gelindes Erwärmen, sowie geringes Befeuchten der Oberfläche drückt das Potential der Platte herab, und zwar nicht nur vorübergehend, sondern dauernd. Durch eine chemische Aenderung der Oberflächen, welche ja im Laufe der Zeit auftreten und bei verschiedenen Platten nicht gleich verlaufen wird, kann also die Erscheinung sich erklären lassen. Indess ist es immerhin möglich, dass auch die Gasbedeckung der Oberfläche nebenher eine Rolle spielt, und die Aenderung der Potentialdifferenz, welche bei der Rotation des Verstärkers auftritt (s. p. 309), weist darauf hin.

Würzburg u. Leipzig 1886.

1) R. Kohlrausch, Pogg. Ann. 88. p. 469. 1853.

2) Schulze-Berge, Wied. Ann. 12. p. 293. 1881.

3) R. Kohlrausch, Pogg. Ann. 75. p. 96. 1848 u. 79. p. 190. 1850.