

## 6. Ueber die Abhängigkeit der Capacität eines Condensators von der Frequenz der benutzen Wechselströme; von Julius Hanauer.

Für das Jahr 1894/1895 hatte die philosophische Facultät der Universität Würzburg die Preisaufgabe gestellt:

„Die Dielectricitätsconstante einiger Substanzen hat sich verschieden ergeben, je nach der Schwingungszahl der zur Bestimmung dieser Constante angewandten Wechselströme. Es ist durch Versuche festzustellen, ob diese Erscheinung als eine Dispersion electrischer Wellen aufzufassen ist oder nicht.“

Die im Folgenden mitgetheilten Versuche sollen einen Beitrag zur Lösung der Frage liefern.

### I. Methoden.

In der nebenstehenden Brückenordnung (Fig. 1) sei  $c_1$  ein Condensator mit einem beliebigen festen oder flüssigen Dielectricum,  $c_2$  ein Luftcondensator,  $w_3$  und  $w_4$  reine<sup>1)</sup> Widerstände; zwischen  $w_3$  und  $w_4$  befinde sich ein Messdraht mit Schleifcontact ( $s$ ). In der Brücke liege ein Telephon ( $T$ ); der Strom werde von einem Inductorium mit Wagner'schem Hammer geliefert.

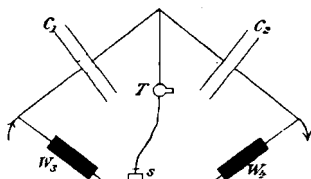


Fig. 1.

Dann erhält man im Telephon meist kein vollständiges Verschwinden des Tones: Die Minima von Grundton und Obertönen liegen nebeneinander auf dem Messdraht. Diese Erscheinung kann verursacht sein durch

1. eine thatsächliche Verschiedenheit der Dielectricitätsconstante mit der Schwingungszahl,
2. Energieverluste im Dielectricum; diese können ihren Grund haben in

---

1) Ohne Selbstinduction, Capacität und Polarisation.



- $\alpha$ ) Rückstandsbildung,
- $\beta$ ) der Wirkung der Polarisation,
- $\gamma$ ) dem Einfluss der Leitfähigkeit.

Arbeitet man aber anstatt mit einem beliebigen Wechselstrom, der eine Summe von Sinusströmen ist, mit einem einfachen Sinusstrom, so muss im Falle 1, wenn also eine Verschiedenheit der Dielectricitätsconstante mit der Schwingungszahl vorliegt, ein vollständiges Verschwinden des Stromes im Telephon eintreten, für wechselnde Tonhöhen ändert sich die Stelle auf dem Messdraht, an der das Telephon schweigt.

Findet jedoch ein Energieverlust irgend einer Art in dem Dielectricum statt (Fall 2), so erhält man auch bei sinusförmiger Schwingung an keiner Stelle des Messdrahtes ein Verstummen des Telephons, sondern nur ein Minimum des Tones.

Falls 1. und 2. gleichzeitig auftreten, erhält man nur Minima, für verschiedene Tonhöhen an immer anderen Stellen, wie oben bereits gesagt wurde.

Jedoch gelingt es, unter Anwendung eines einfachen Sinusstromes, stets ein völliges Verschwinden desselben in der Brücke zu

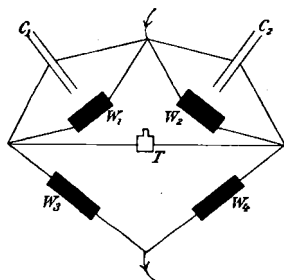


Fig. 2.

erreichen, indem man den Vergleichszweig 2 in passender Weise abändert.

I. Man kann nach Oberbeck<sup>1)</sup> einen reinen Widerstand  $w_2$  zum Luftcondensator  $c_2$  parallel schalten (Fig. 2). Für jede Schwingungszahl wird es einen reinen Condensator und parallel geschalteten reinen Widerstand geben, durch welche der zu untersuchende Condensator ersetzt werden kann. Diese „ersetzenden“ Grössen findet man bei dieser Schaltung direct, da  $c_2$  und  $w_2$  bekannt sind. Die Bedingungen für das Verschwinden des Brückenstromes lauten, wenn  $w_3 = w_4$  gemacht wird

$$(1) \quad c_1 = c_2, \quad w_1 = w_2.$$

Hierbei ist  $w_1$  als Maass für den Energieverlust zu betrachten, dessen Ursachen oben angegeben sind, und zwar ist

1) Oberbeck, Wied. Ann. 17. p. 827. 1882.



für den Strom  $i$  in  $w_2$  der Energieverlust  $i^2 w_2 = i^2 w_1$ ;  $w_1$  ist meist kein einfacher Widerstand, wie er beim Gleichstrom auftritt und wird deshalb „ersetzender“ oder „wirksamer“ („effectiver“) Widerstand genannt. Auch die Verschiedenheit des Werthes von  $c_1$  bei verschiedenen Tonhöhen kann mancherlei Ursachen haben; dies soll durch die Bezeichnung „wirksame Capacität“ angedeutet werden.

Diese Methode (1) diene bei den folgenden Versuchen zur Messung an merklich leitenden Flüssigkeiten; sie konnte aber nicht angewandt werden bei nach Megohm zählendem  $w_1$  wegen der Schwierigkeit, so grosse Widerstände genügend constant herzustellen.

II. Deshalb wurde nach einem Vorschlage von M. Wien<sup>1)</sup> in solchen Fällen  $w_3$  vor  $c_2$  (Fig. 3) geschaltet. Unter der Annahme, dass  $w_3 = w_4$  sein soll, ergeben sich die Beziehungen

$$\frac{c_1}{c_2} = 1 - \frac{w_2}{w_1},$$

$$n^2 c_1 c_2 w_1 w_3 = 1.$$

Hieraus

$$(2) \quad c_1 = \frac{c_2}{1 + n^2 c_2^2 w_2^2}, \quad w_1 = \frac{1 + n^2 c_2^2 w_2^2}{n^2 c_2^2 w_3}.$$

Unter  $n$  ist die mit  $2\pi$  multiplicirte Anzahl der electrischen Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$  verstanden.

Auf diese Weise können durch kleine Widerstände im Zweige 2 die sehr grossen Widerstände im Zweig 1 gemessen werden.

## II. Apparate.

Für die anzustellenden Versuche ist die Anwendung der gebräuchlichen bifilar gewickelten Rollen der Widerstandskasten, ihrer Capacität wegen, ausgeschlossen.

Daher waren zunächst „reine“ Widerstände zu beschaffen.

**Widerstände.** Ein Zickzackwiderstand aus platinirtem Glase von 3000 Ohm bei etwa 20 cm<sup>2</sup> Oberfläche zeigte sich nicht constant genug, um dem beabsichtigten Zwecke zu dienen.

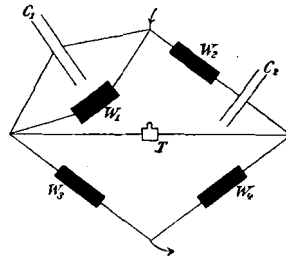


Fig. 3.

1) M. Wien, Wied. Ann. 44. p. 681. 1891.



Es lag nahe, die in der Technik als inductionsfreie Widerstände benutzten Glühlampenfäden zu verwenden; ich besorgte mir möglichst feine Kohlefäden, deren jeder bei etwa 15 cm Länge gegen 1000—1100 Ohm Widerstand besass.

Dieselben wurden in folgender Weise verarbeitet. An den Enden wurde electrolytisch etwas Kupfer niedergeschlagen dabei diente als Zuleitung eine Pincette, deren Zinken mehrfach mit Stanniol umwickelt waren. Die verkupferten Stellen wurden durch Eintauchen in Löthwasser und in geschmolzenes Loth verzinnt und an dünne Kupferdrähte angelöthet. Zum Schutze gegen Verletzungen wurden sie, auf Glasstreifen aufgelegt, in kurze Reagenscylinder eingeschoben. Uebrigens konnte das Verkupfern auch unterbleiben, es genügt, die Kohlefäden in verzinnte Kupferspiralen einzuführen und etwas Loth einfließen zu lassen, um eine gut leitende Verbindung herzustellen.

Auf die zuletzt angegebene Weise gelang es mir, verschiedene Widerstände von 1000 Ohm bis 100 Ohm herzustellen; die genaue Abgleichung geschah durch zugefügte Stückchen Neusilberdraht.

Kleinere Widerstände stellte ich aus Neusilberdraht von 0,11 mm Dicke (1 m hatte 38,7 Ohm Widerstand) nach Chaperon's Vorschrift zu 50, 20, 20 und 10 Ohm her.

Ausser den Kohlefäden kommen noch Glühlampen von etwa 900 Ohm Widerstand zur Verwendung.

Die Constanz der Widerstände wurde häufig geprüft, von den diesbezüglichen Beobachtungen führe ich diejenigen an, welche die grösste procentuale Differenz zeigen.

	Datum der Messung	Temperatur ° C.	Widerstand in Ohm
3 Glühlampen }	15./2. 1895	17,4	2632
hintereinander }	27./5. 1895	17,0	2641
2 Glühlampen }	15./2. 1895	17,4	1861
hintereinander }	27./5. 1895	17,0	1869
Selbstverfertiger }	15./2. 1895	17,4	204
Kohlewiderstand }	27./5. 1895	17,0	208

1) Chaperon, Compt. rend. 108. p. 799. 1889.



Die Verschiedenheit kann nicht etwa der Temperaturdifferenz zugeschrieben werden, denn  $1^\circ$  Temperaturerhöhung bewirkt eine Abnahme des Widerstandes um  $0,00037^1)$  seines Werthes bei gewöhnlicher Temperatur, wie sich als Mittel aus mehreren Bestimmungen ergab.

Für den vorliegenden Zweck ist die Constanz in der Zeit vollkommen ausreichend.

Durch Versuche wurde gezeigt, dass die Capacität von Kohlewiderständen geringer ist, als von Chaperonrollen und dass die Selbstinduction der ersteren geringer ist, als die von zickzackförmig ausgespannten Neusilberdrähten. Nun ist der Unterschied zwischen den letzteren und Chaperonrollen an sich gering, wie man sieht, wenn man sie in benachbarten Zweigen der Wheatstone'schen Brücke mit Wechselstrom untersucht.

Kohlefäden sind hiernach genügend reine Widerstände.

Es ist von Interesse, zu erwähnen, dass es gelang, bei grösseren Chaperonrollen die Capacität annähernd zu bestimmen: zwei aus Neusilberdraht<sup>2)</sup> mit einer Cartonschicht zwischen jeder Lage hergestellte Rollen zu 10 000 Ohm zeigten jede eine Capacität von ca.  $10^{-4}$  Mikrof., eine in etwas anderer Weise gewickelte Rolle zu 5000 Ohm ebenfalls ca.  $10^{-4}$  Mikrof.

Ein Rheostat von Hartmann und Braun mit bifilar gewickelten Rollen lieferte bei 256 Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$  folgende Capacitäten:<sup>3)</sup>

Rolle von 3000 Siemens etwa 0,0030 Mikrof.

„ „ 2000 „ „ 0,0028 „

„ „ 1000 „ „ 0,0016 „

Die Capacität der kleineren Rollen, bis zu 100 Siemens war nicht mehr zu messen, aber wohl bemerkbar.

**Capacitäten.** Zu den Messungen standen zwei bis auf die Plattenzahl ganz gleiche Luftcondensatoren<sup>4)</sup> aus Aluminiumplatten von  $(18 \text{ cm})^2$  Fläche und 2 mm Dicke zur Verfügung,

1) In Uebereinstimmung mit Beobachtungen von W. von Siemens, Wied. Ann. 10. p. 560. 1880; Borgmann, Wied. Ann. 11. p. 1041. 1880; Muraoka, Wied. Ann. 13. p. 307. 1881.

2) Vgl. p. 8.

3) Vgl. auch Brylinski, Lum. él. 30. p. 623. 1888; Heinke, Inaug.-Diss., München 1894 „Resultirende“ Capacität.

4) Die Beschreibung derselben wird von anderer Seite erfolgen.



welche von Hrn. Prof. Röntgen construirt waren. Der eine bestand aus zwei Messinggrundplatten und 40 Aluminiumplatten; seine Capacität ergab sich durch Vergleichung mit einem genau bekannten Selbstinductionscoefficienten zu 0,01004 Mikrof. Dieser Condensator diente als Vergleichsnormale und blieb während der Versuche unverändert. Die Isolation der beiden Plattensysteme, welche den Condensator bildeten, gegeneinander und gegen die Erde war sehr vollkommen, wie aus Versuchen hervorging, die mit einem Electroskop und mit statischer Ladung angestellt wurden.

Der andere Condensator, vollständig aus 2 + 60 Platten bestehend, wurde durch Wegnehmen von Platten stets etwas kleiner als die zu messende Capacität gemacht.

Ein dritter, continuirlich variabler Condensator, welcher als Zusatz zu den letztbeschriebenen diente, war folgendermaassen eingerichtet: Ein Messingrohr von 3,2 cm äusserem Durchmesser trug eine Centimetertheilung, welche durch die Zahlen 75—95 bezeichnet war, und konnte mittels Zahnrad und Trieb in einem Hohlcyliner von 3,4 cm innerem Durchmesser verschoben werden. Dieser stand isolirt auf drei Glasfüssen. Die Führung des beweglichen Cylinders in dem festen wurde gleichfalls durch aufge kittete Glasstückchen bewirkt. Jedem Centimeter der Theilung entsprach 0,0000099 Mikrof., wie wiederholt festgestellt wurde. Die bei den Beobachtungen angegebene Anzahl Centimeter bedeutet den am oberen Rande des äusseren Cylinders sichtbaren Scalentheil.

Alle drei Condensatoren wurden mit metallischen Schutzhüllen umgeben, die zur Erde abgeleitet waren; die beiden Aluminiumcondensatoren mit Zinkblechcylindern, der „Doppelcylindercondensator“ mit einem Drahtnetz.

*Brückeninstrumente.* Zur Messung wurden drei optische Telephone nach M. Wien benutzt, mit 128, 256 und 512 Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$ ; Platte und Spiegel des letzteren Instrumentes konnten mit den entsprechenden Theilen mit 64 Schwingungen vertauscht werden, wenn es nöthig war, noch eine vierte Schwingungszahl anzuwenden. Stets wurde nur der tiefere von den zwei Tönen benutzt, welche jedem Instrument eigenthümlich sind.



Auch war stets ein Hörtelephon für eine Einstellung bereit.

*Stromquellen, Unterbrecher.* Den Strom lieferte ein Inductorium, dessen primäre Rolle 0,27 Ohm und dessen secundäre Rolle 850 Ohm Widerstand hatte. In die primäre Rolle wurde, vermittelt eines Saitenunterbrechers, ein drei Daniell'schen Elementen entstammender intermittirender Strom geschickt. Zur Einstellung bei sehr hohen Schwingungen (schätzungsweise  $10000 \text{ sec}^{-1}$ ) diente das von Nernst<sup>1)</sup> beschriebene Inductorium und Hörtelephon. Diese Einstellungen sind in den angeführten Messungsreihen durch „N“ angedeutet, während die manchmal mit dem Hörtelephon ausgeführte Einstellung auf das Minimum der Obertöne der Saite „512“ mit „H 512“ bezeichnet ist.

Alle zur Untersuchung dienenden Apparate waren in dem Beobachtungszimmer in geeigneter Weise untergebracht, dabei wurde, wie sogleich beschrieben werden soll, alles vermieden, was die Zuverlässigkeit der Beobachtung hätte beeinträchtigen können.

### III. Fehlerquellen.

*Akustische Einwirkungen.* Die Aufstellung der Unterbrecher im Beobachtungsraume bietet den Vorthail, dass man die Saite bequem auf den richtigen Ton bringen kann, doch findet dann leicht eine durch die Luft vermittelte akustische Wirkung auf das optische Telephon statt. Auch das durch die wechselnden Ladungen hervorgebrachte schwache Tönen des Plattencondensators kann kleine Fehler verursachen. Beide Fehler wurden aber stets sorgfältig vermieden.

*Isolation.* Die Ableitung irgend eines Punktes der Brücken-anordnung zur Erde brachte eine Aenderung der Einstellung hervor durch scheinbare Vergrößerung der Capacität. Aus dieser Beobachtung ergiebt sich die Nothwendigkeit, das ganze System der benutzten Apparate sorgfältig, durch Porzellan, Paraffin, Glas etc., von der Erde zu isoliren und sich nicht mit der Isolation allein der Condensatoren zu begnügen, welche schon durch deren Construction gegeben war, — eine Vor-sichtsmaassregel, deren Nothwendigkeit sich bereits bei einer

---

1) Nernst, Zeitschr. f. physik. Chem. 14. p. 629. 1894.



früher im hiesigen Institut von anderer Seite ausgeführten Arbeit herausgestellt hatte.

Absichtlich zur Erde abgeleitet waren die Schutzhüllen, wie bereits oben erwähnt wurde.

Man thut gut, sich nicht auf die Güte der Isolation der käuflichen Leitungsdrähte zu verlassen, sondern blanke Drähte, durch Porzellanknöpfe isolirt, durch die Luft zu ziehen.

Lange, parallel geführte Drähte wurden wegen ihrer Capacität in der Brückenordnung vermieden; ferner, wie bereits erwähnt, Rheostaten der gewöhnlichen Construction.

Auch die Telephone können durch ihre Capacität störend wirken, wenn nicht durch eine möglichst symmetrische Anordnung dieser Fehler vermieden wird.

#### IV. Versuchsanordnung.

Die Aufstellung der Apparate ist aus der schematischen

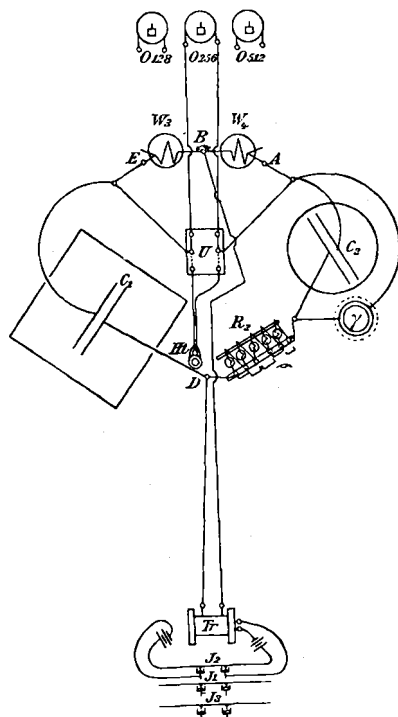


Fig. 4.

Zeichnung (Fig. 4) zu ersehen. Es ist  $C_1$  der, in einer zur Erde abgeleiteten metallischen Schutzhülle untergebrachte, zu prüfende Condensator,  $R_2$  ein Glühlampenrheostat, bei der Methode (1)<sup>1)</sup> parallel-, bei (2) vorgeschaltet dem Luftcondensator mit veränderlicher Aluminiumplattenzahl  $C_2$ ;  $\gamma$  der Zusatzcondensator (Doppelcylindercondensator);  $w_3$  und  $w_4$  sind zwei Glühlampen von genau gleichem Widerstand (930 Ohm) und gleichem Temperaturcoefficienten, welche gegenseitig vertauschbar waren.

Bei  $B$  und  $D$  mündet die Leitung vom Inductorium

1) Vgl. p. 790.



ein; von  $E$  und  $A$  führt je ein Draht zum Umschalter  $U$  und von da entweder zu einem der drei optischen Telephone  $O_{128}$ ,  $O_{256}$ ,  $O_{512}$  oder zum Hörtelefon  $Ht$ .

$J_1$ ,  $J_2$ ,  $J_3$  sind die entsprechenden Saitenunterbrecher,  $Tr$  das zugehörige Inductorium.

#### Va. Versuche an festen Körpern.

Zur Messung wurden die festen Dielectrica in Plattenform isolirt in einen grossen, zur Erde abgeleiteten Zinkblechkasten gebracht von  $(50 \text{ cm})^2$  Grundfläche und 30 cm Höhe, durch dessen Deckel die Zuführungen zu den Belegungen des zu untersuchenden Condensators gingen.

Die praktische Ausführung soll an einem Beispiele genau beschrieben werden; bei den übrigen Versuchen war sie genau entsprechend.

##### 1. Glas.

Eine Platte aus Salinglas, 1 mm dick und etwa  $440 \text{ cm}^2$  gross, wurde beiderseits nach dem Böttger'schen Verfahren versilbert, abgespült und getrocknet; dann wurden vom Rande dünne Streifen abgeschnitten. Nachdem dieser Condensator in den Schutzkasten gebracht war, wurde der Aluminiumcondensator so gross gemacht, dass die ganze, durch Vorversuche ungefähr bestimmte Aenderung der Capacität des Glascondensators mittels des zu  $C_2$  parallel geschalteten Condensators  $\gamma$  gemessen werden konnte. Dann wurde, ohne Rücksicht auf den Widerstand  $w_2$ , der Condensator  $\gamma$  solange verändert, bis der Ausschlag des Telephonspiegels ein Minimum war. Darauf wurde der kleinste Widerstand aufgesucht, der den Ausschlag zum Verschwinden brachte, zu welchem Zwecke auch  $\gamma$  noch um ein Geringes verändert werden musste, im vorliegenden Beispiel war dies  $w'_2 = 7350 \text{ Ohm}^1$ ); jetzt wurde  $\gamma$  nochmals möglichst genau eingestellt (82,0 cm, 82,0 cm). Dann wurde der grösste Widerstand aufgesucht, bei welchem noch einscharfes Spaltbild erhalten werden konnte ( $w''_2 = 7750 \text{ Ohm}$ ), und wieder  $\gamma$  zweimal eingestellt (82,2 cm, 82,5 cm).

1) Vgl. Tabelle p. 799.



Auf diese Beobachtung folgten die in gleicher Weise ausgeführten Messungen bei der Schwingungszahl 128 und 512. Dann kam eine Messung mit Anwendung des Hörtelephons statt des optischen Telephons bei 512 und eine solche, nachdem das Nernst'sche Inductorium als Stromquelle eingeschaltet war.

Den Schluss bildete stets die Wiederholung der Anfangsbeobachtung, also mit 256 Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$ .

Eine derartige Reihe war in nicht ganz einer Stunde vollendet.

Jetzt wurde statt des zu untersuchenden der constante Condensator mit 40 Aluminiumplatten ( $c'_1 = 0,01004$  Mikrof.) eingeschaltet, in den Zweig 4 der nöthige Widerstand ( $w'_4 = 930 + 2101$  Ohm) gebracht. Hieraus berechnet sich im vorliegenden Fall

$$c_2 = c'_1 \frac{w_3}{w_4} = 0,01004 \frac{930}{930 + 2101} = 0,003070 \text{ Mikrof.}$$

direct für die Einstellung bei 256 Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$ , der Condensator  $\gamma$  wurde bei dieser letzten Messung nicht verändert; von dem jetzt bekannten Werthe (0,003070 Mikrof.) ausgehend, wurden die den anderen Schwingungszahlen entsprechenden Werthe in einfacher Weise gefunden: der Werth, welcher 1 cm von  $\gamma$  besitzt, war von früheren Bestimmungen her bekannt.

Die Einstellungen von  $\gamma$  sind stets auf wenige Millimeter genau; die Genauigkeit der Messung berechnet sich hieraus für die kleinste untersuchte Capacität zu 1 pro mille. Bei den grösseren Capacitäten ist der Einstellungsfehler noch geringer.

Nach dem Gesagten ist die folgende Tabelle und mit ihr die übrigen verständlich, deren erster Theil die Angabe der benutzten Schwingungszahl und die beobachteten Grössen  $w_2$  in Ohm,  $\gamma$  in Centimetern,  $c_2$  in Mikrof. enthält.

In der Tabelle folgen dann die berechneten Grössen  $w_1$  in Megohm, der Werth des Ausdruckes  $n^2 c_2^2 w_2^2$  (vgl. die Formeln p. 791), darauf das Hauptresultat  $c_1$  in Mikrof. und die procentuale Differenz gegen den hoher Schwingungszahl ( $Ht$  oder  $N$ ) entsprechenden Werth von  $c_1$ .



Bei allen mitgetheilten Versuchen, ausser dem ersten, soll, der Uebersichtlichkeit halber, mit der höchsten Schwingungszahl begonnen und mit der niedrigsten aufgehört werden; aus demselben Grunde sind die Beobachtungen mit „256“ am Anfang und am Schluss der ganzen Messung in die Mitte der Columnne gesetzt.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Meg-ohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
256	7350}	82,0{	0,003072	5,55	0,0013	0,003068	1,7
256	7750} 7550	82,0}					
		82,2}					
		82,5}					
128	21000}	86,0	0,003110	7,81	0,0035	0,003101	3,0
128	23000} 22000	86,0					
512	2300}	78,8	0,003040	4,16	0,0006	0,003038	0,8
512	2700} 2500	79,0					
512 $Ht$		76,5	0,003015	1)		0,003015	0,0
256	7360}	82,0	0,003070	5,73	0,0013	0,003066	1,7
256	7750} 7555	82,0					

Wie aus der Tabelle hervorgeht, nimmt die Capacität zu, wenn die Schwingungsdauer zunimmt. Die Dielectricitäts-constante ergibt sich für Salinglas zu ca. 5,6. Auf die genaue Kenntniss des absoluten Werthes ist dabei, wie überhaupt bei dieser Untersuchung, kein Gewicht gelegt. Die Leitfähigkeit würde sich zu 4,2 bis 7,8.10<sup>-15</sup>, bezogen auf Quecksilber, ergeben; doch deutet die Verschiedenheit von  $w_1$  bei wechselnder Schwingungszahl darauf hin, dass hier keine wirkliche Leitfähigkeit vorliegt; aus diesem Grunde ist bei den folgenden festen Körpern von der Angabe der Leitfähigkeit abgesehen und nur der Widerstand  $w_1$  angegeben.

Eine nach zwei Tagen ohne Berührung der Platte vorgenommene Messung ergab:

1) Da die Schwingungszahl, auf deren Verschwinden eingestellt wird, nicht bekannt ist, so kann man auch  $w_1$  nicht angeben.



$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_1$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$		76,8	0,003018			0,003018	0,0
$H 512$		78,0	0,003030			0,003030	0,4
512	2000	80,1	0,003051	4,9	0,0006	0,003049	1,0
256	6540	6290	83,3}	6,9	0,0013	0,003079	2,0
256	6040						
128	18100	86,4	0,003114	9,3	0,0028	0,003104	2,8

Dieselbe Glasplatte wurde vorsichtig erwärmt und nach dem Abkühlen von neuem untersucht.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_1$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$		77,2	0,003022			0,003022	0,0
$H 512$		78,0	0,003030			0,003030	0,3
512	1570	81,1	0,003061	6,6	0,0002	0,003061	1,3
256	4490	4220	83,6}	10,1	0,0004	0,003086	2,1
256	3950						
128	10300	86,2	0,003112	16,6	0,0006	0,003110	3,0

Bei wenig verschiedenem  $c_1$  hat sich  $w_1$  nach der Erwärmung bedeutend vergrößert, als Grund für diese Aenderung kann man das Verschwinden der Feuchtigkeitsschicht von dem Rande der Glasplatte annehmen.

Die Art der Metallbelegung, sowie die Grösse und die Form der Platte üben keinen beträchtlichen Einfluss auf die procentuale Aenderung der Capacität mit veränderlicher Schwingungszahl aus, wie die folgenden Versuche lehren.

Die Versilberung wurde von der Platte entfernt und durch beiderseits aufgeklebtes Stanniol ersetzt. Dieses bedeckte nicht die ganze Oberfläche des Glases, daher der kleinere Werth für die Capacität.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$	120	86,1	0,002286			0,002286	0,0
1)							
256	4800	5000	89,1}	14,8	0,0003	0,002318	1,4
256	5200						
128	12000	91,5	0,002340	25,2	0,0005	0,002340	2,3

1) Hierbei mussten die Beobachtungen mit „512“ ausfallen, da das Instrument während dieses Versuches anderweitige Verwendung fand; auch für die Unvollständigkeit anderer Messreihen gilt dies als Erklärung.



Zwischen Quecksilber gelegt ergab dieselbe Platte folgende Werthe:

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
N	160	83,0	0,002621			0,002621	0,0
256	3900	86,0	0,002652	15,4	0,0002	0,002652	1,2
256	3400	86,0					
128	8000	87,5	0,002666	28,1	0,0003	0,002666	1,7

Einige andere dünne Scheiben desselben Glases zwischen Aluminiumplatten gelegt:

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
512	390	77,9	0,01010	2,4	0,0002	0,01010	0,0
256	1250	85,3	0,01016	3,1	0,0004	0,01016	0,6
256	1240	85,6					
128	3400	93,9	0,01025	4,5	0,0008	0,01024	1,4

Ein kleiner Condensator derselben Art:

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
N		77,5	0,004022			0,004022	0,0
512	1120	81,0	0,004063	5,2	0,0002	0,004063	1,0
256	3230	84,0	0,004091	7,5	0,0004	0,004091	1,7
256	3340	84,0					
128	8950	87,1	0,004120	10,8	0,0008	0,004117	2,5

Aus den mitgetheilten Versuchen geht ganz deutlich hervor, dass die Aenderung von  $c_1$  mit der Schwingungszahl dem untersuchten Glase eigenthümlich und nicht etwa durch die Art der Zusammensetzung des Condensators verursacht ist.

In derselben Art erhielt ich für



2. Glimmer,  
zwischen Metallplatten gelegt.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$	200	77	0,00352			0,00352	0,0
$H512$	500	80	0,00355			0,00355	0,9
512	2200	84	0,00359	3,4	0,0006	0,00359	2,0
256	6600	6200 $\left. \begin{smallmatrix} 89 \\ 88 \end{smallmatrix} \right\} 88,5$	0,00364	4,9	0,0010	0,00364	3,3
256	5800		0,00363			0,00363	3,0
128	17400	94	0,00370	7,0	0,0025	0,00369	4,7

3. Hartgummi.

Eine 1 mm starke Platte von 37,28 cm<sup>2</sup> wurde auf beiden Seiten mit Stanniol belegt und ergab folgende Werthe:

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$	90	86,8	0,003318			0,003318	0,0
256	2000	1930 $\left. \begin{smallmatrix} 89,5 \\ 89,5 \end{smallmatrix} \right\}$	0,003345	18,5	0,0001	0,003345	0,8
256	1860		0,003345				
128	4200	90,2	0,003352	32,2	0,0002	0,003352	1,0

Hieraus ergibt sich die Dielectricitätsconstante zu 2,6.  
Von den Beobachtungen an einem

4. Condensator mit Paraffinpapier

will ich nur anführen, dass sich die Capacitäten bei 128 und bei 512 Schwingungen sec<sup>-1</sup> um 5 Proc. verschieden ergaben, eine gegen die übrigen untersuchten Dielectrica sehr grosse Differenz. Der Energieverlust ist dementsprechend ebenfalls sehr gross.

Vb. Zusammenfassung der Ergebnisse für feste  
Körper. Theoretisches.

Alle untersuchten festen Dielectrica zeigen dasselbe Verhalten: die Capacität nimmt mit der Schwingungsdauer zu, und zwar wächst diese Zunahme schnell mit der Schwingungsdauer; gleichzeitig tritt überall eine, mit der Schwingungsdauer stark zunehmende, wirksame Leitfähigkeit auf. Dieselbe



ist — zum grössten Theil wenigstens — nicht einer schlechten Isolation des Dielectricums oder einem Nebenschluss zuzuschreiben, sondern sie bedeutet einen mit der Schwingungsdauer zunehmenden Energieverlust, welcher in der Natur des Dielectricums begründet ist. Ueber die Grösse des Energieverlustes mag folgende Tabelle ein Bild geben. Der Energieverlust ist in Watt angegeben und ist für eine Stromstärke von 1 Amp. und einen Condensator von 1 Mikrofarad berechnet. Daneben ist die Aenderung der Capacität in Procenten angegeben.

N	Glas <sup>1)</sup>		Glimmer		Hartgummi	
	E.-V.	$\Delta C$	E.-V.	$\Delta C$	E.-V.	$\Delta C$
128	32,1	3,0	64,3	4,7	14,1	1,0
256	13,0	2,1	22,5	3,2	6,5	0,8
512	4,8	1,3	7,9	2,0		

Offenbar gehen beide Erscheinungen Hand in Hand und dürfen auf dieselben Ursachen zurückgeführt werden.

Die untersuchten festen Körper sind dieselben, bei welchen electrische Rückstandsbildung auftritt. Die Vermuthung liegt nahe, dass beiden Erscheinungen dieselbe Ursache zu Grunde liegt. Maxwell<sup>2)</sup> erblickt die Ursache der Rückstandsbildung in einer *Inhomogenität* des Dielectricums. Als einfachstes Beispiel eines inhomogenen Dielectricums führt er die Rechnung für ein *geschichtetes* Dielectricum durch und zeigt, dass dabei Rückstand auftreten muss. Es ist zu beweisen, dass ein geschichtetes Dielectricum die oben beobachtete Erscheinung gleichfalls zeigen muss, d. h. dass die wirksame Capacität und der wirksame Widerstand abnehmen, wenn die Schwingungszahl zunimmt.

Der geschichtete Condensator bestehe aus einer nichtleitenden und einer leitenden Schicht, er kann ersetzt werden durch einen reinen Condensator mit der Capacität  $C$  und einem zweiten dahinter geschalteten Condensator mit der Capacität  $c$

1) Die Zahlen sind aus der Versuchsreihe berechnet, die nach vorheriger Erwärmung der Platte erhalten wurden (vgl. p. 16).

2) Maxwell, Electr. u. Magn. §§ 331 ff.



und dem parallel geschalteten Widerstand  $w_1$ . Der Widerstandsoperator des ganzen Zweiges ist demnach für einen Wechselstrom mit der Schwingungszahl  $n$  in  $2\pi$  sec

$$\frac{1}{inC} + \frac{w_1}{1 + in c_1 w_1}.$$

Gemäss unserer Versuchsanordnung wird dieser Operator verglichen mit einem anderen, welcher einem Condensator  $c_2$  mit vorgeschaltetem Widerstand  $w_2$  entspricht.

Die Brücke ist im Gleichgewicht, wenn

$$\frac{1}{inC} + \frac{n_1}{1 + in c_1 w_1} = w_2 + \frac{1}{in c_2} \quad \text{oder}$$

$$c_2 = C \frac{1 + n^2 c_1^2 w_1^2}{1 + n^2 w_1^2 c_1 (c_1 + C)}, \quad w_2 = \frac{w_1}{1 + n^2 w_1^2 c_1^2}.$$

Die Gleichung für  $c_2$  ergibt, dass die wirksame Capacität eines Condensators mit geschichtetem Dielectricum abnehmen muss, wenn die Schwingungszahl zunimmt. Die Gleichung für  $w_2$  ergibt, dass bei einem geschichtetem Dielectricum, obgleich es einen constanten Strom nicht leitet, für Wechselstrom eine wirksame Leitfähigkeit auftreten muss, welche abnimmt, wenn die Schwingungszahl abnimmt.

Darnach ist die Ursache der beobachteten Erscheinung ebenso wie die der Rückstandsbildung wahrscheinlich in einer Inhomogenität des Dielectricums zu suchen.

#### VI a. Versuche an Flüssigkeiten.

Folgende Flüssigkeiten wurden untersucht: Petroleum, Benzin, Gemische von Benzin und Aethylalkohol, Ricinusöl, Anilin und Wasser.

Zur Untersuchung aller Flüssigkeiten ausser Wasser diente ein parallelepipedischer Messingkasten, der durch Messingplatten in acht Abtheilungen getheilt war. Die Wände des Kastens und die Platten bildeten die eine Belegung des Condensators. Die andere bestand aus acht Zinkplatten, welche auf einer Axe befestigt waren und in die Abtheilungen des Kastens tauchten.



Das Gefäss war durch einen Deckel geschlossen und wurde bei den Versuchen in den zur Erde abgeleiteten grossen Zinkkasten gebracht.

Die Capacität des leeren Condensators betrug gegen  $1,9 \cdot 10^{-3}$  Mikrof.

Anordnung und Ausführung der Versuche war im Uebrigen genau dieselbe wie bei den festen Dielectricis.

### Resultate.

#### 1. Petroleum.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_2$ Mikrof.	Proc. Diff.
N	10	81,3	0,003650			0,003650	0,0
512	250	81,3	0,003650	28,1		0,003650	0,0
256	900	81,4	0,003650	29,0	0,00003	0,003650	0,0
256	1100	82,3					

$c_1$  ergibt sich als unabhängig von der Schwingungszahl, ebenso  $w_1$ ; die Leitfähigkeit berechnet sich zu  $10^{-21}$ , bezogen auf Quecksilber, Dielectricitätsconstante = 2,00.

#### 2. Benzin, käuflich.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
N		82,3	0,00355			0,00355	0,0
H 512		82,1	0,00355			0,00355	0,0
512	125	82,4	0,00355	53		0,00355	0,0
256	480	82,1	0,00355				
256	470	82,2	0,00355	50		0,00355	0,0
128	1890	82,0	0,00355	50	0,00002	0,00355	0,0

$c_1$  und  $w_1$  sind wieder merklich constant.

Dielectricitätsconstante = 1,92, Leitfähigkeit =  $5 \cdot 10^{-22}$ .

#### 3a. Mischung von 99 Proc. Benzin und 1 Proc. Aethylalkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
N		89,1	0,003605			0,003605	0,0
256	1230	89,1					
256	970	89,4	0,003607	27		0,003607	0,0
128	4100	89,2	0,003606	28,7	0,0001	0,003606	0,0

Dielectricitätsconstante = 1,97. Leitfähigkeit =  $10^{-21}$ .



## 3b. 97 Proc. Benzin und 3 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$		94,1	0,003730			0,003730	0,0
256	750	94,2	0,003732	38,7		0,003732	0,0
256	700	94,4					
128	3070	94,1	0,003729	36,4	0,0001	0,003729	0,0

Dielectricitätsconstante = 2,04. Leitfähigkeit =  $7,3 \cdot 10^{-22}$ .

## 3c. 96 Proc. Benzin und 4 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$	10	87,9	0,003780			0,00378	0,0
512	250	87,7	0,003778	26,2		0,00378	0,0
256	1030	87,5	0,003776	26,5		0,00378	0,0
256	920	87,8	0,003779				
128	4700	87,0	0,003771	29,0	0,0002	0,00378	0,0

Dielectricitätsconstante = 2,07. Leitfähigkeit =  $10^{-21}$ .

## 3d. 93 Proc. Benzin und 7 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$		84,9	0,004035			0,004035	0,0
$H$ 512		85,3	0,004039			0,004039	0,1
512	1400	85,1	0,004037	4,1	0,0003	0,004037	0,05
256	6140	86,8	0,004056	3,8	0,002	0,004041	0,15
256	6410	86,0	0,004048				
128	23100	88,7	0,004075	4,1	0,006	0,004046	0,27

Dielectricitätsconstante = 2,21 entsprechend dem höchsten  $n$ .

Leitfähigkeit =  $7 \cdot 10^{-21}$ .

## 3e. 92 Proc. Benzin und 8 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$H$ 512		85,5	0,004122			0,004122	0,0
512	2600	86,8	0,004135	2,12	0,0012	0,004125	0,07
256	10750	89,6	0,064162	2,12	0,0051	0,004141	0,5
256	11600	89,5					

Dielectricitätsconstante = 2,25. Leitfähigkeit =  $1,4 \cdot 10^{-20}$ .



## 3f. 91 Proc. Benzin und 9 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
512	5800	1)	0,00429	0,88	0,007	0,00426	
256	24500		0,00439	0,82	0,030	0,00426	0,0

Dielectricitätsconstante = 2,33. Leitfähigkeit =  $3,5 \cdot 10^{-20}$ .

Eine Einstellung mit dem Hörtelephon war nicht zu gewinnen. Für  $n/2\pi = 128$  hätten die vorhandenen Widerstände nicht ausgereicht.

## 3g. 90 Proc. Benzin und 10 Proc. Alkohol.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
512	11000	—	0,00453	0,41	0,027	0,00441	0,0
256	44000	—	0,00502	0,39	0,126	0,00446	1,2

Dielectricitätsconstante = 2,44 entsprechend dem höchsten  $n$ .  
Leitfähigkeit =  $7,7 \cdot 10^{-20}$ .

Hier wird die Aenderung von  $c_1$  mit der Schwingungszahl deutlich merkbar.

## 4. Ricinusöl.

Diese Substanz zeigte jeder Schwingungszahl gegenüber dasselbe Verhalten.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$w_1$ Megohm	$n^2 c_2^2 w_2^2$	$c_1$ Mikrof.	Proc. Diff.
$N$	0	85,0	0,008378	$\infty$	0	0,008378	0,0
$H512$	0	84,3	0,008371	$\infty$	0	0,008371	0,0
512	0	85,1	0,008379	$\infty$	0	0,008379	0,0
256	0	85,1	0,008379	$\infty$	0	0,008379	0,0
256	0	85,1	0,008379	$\infty$	0	0,008379	0,0
128	0	85,2	0,008380	$\infty$	0	0,008380	0,0

Dielectricitätsconstante = 4,53. Leitfähigkeit unmerklich.

1) Der Doppelcylindercondensator  $\gamma$  reichte bei 3f. zur Messung nicht aus, daher musste die Plattenzahl von  $C_2$  verändert werden; nach



## 5. Anilin.

Wegen der viel höheren Leitfähigkeit des Anilins wurde Methode 1 (vgl. p. 790) angewandt, wo der Widerstand im Vergleichszweige 2 der Capacität parallel geschaltet ist.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_2$ Ohm	$\gamma$ cm	$c_2$ Mikrof.	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Diff.
256	3012	80,7	0,01330	0,01330	
512	3005	75,0	0,01324	0,01324	0,0
256	3007	80,7	0,01330	0,01330	0,5
256	3031	(74) <sup>1)</sup>	0,01330	0,01330	
128	3026	95,3	0,01351	0,01351	2,0
256	3024	(74)	0,01330	0,01330	

Dielectricitätsconstante = 7,12 entsprechend der höchsten Schwingungszahl.

Leitfähigkeit =  $8 \cdot 10^{-15}$ .

$w_2$  ist merklich constant; bei  $c_1$  sind deutliche Aenderungen mit der Schwingungszahl vorhanden.

Eine Einstellung mit ( $N$ ) war wegen des schlechten Minimums nicht zu gewinnen. Da zur Messung der ganzen Differenz der Condensator  $\gamma$  nicht ausreichte, so musste die Plattenzahl des Aluminiumcondensators verändert werden. Deshalb sind die Beobachtungen in zwei Abtheilungen gegeben. Zum Vergleich diente die Versuchsreihe mit 256 Schwingungen  $\text{sec}^{-1}$ .

## 6. Wasser.

Ebenfalls nach Methode (1) wurde Wasser untersucht; dies geschah mit einem aus zwei vollständig von Wasser umgebenen Platinblechen bestehenden Condensator, welchen Hr. Heräus in Hanau dem hiesigen Institut zu leihen, die Freundlichkeit hatte. Das eine Platinblech war U-förmig gebogen und besass eine Grösse von ca. 200  $\text{cm}^2$ , dazwischen befand sich das andere Platinblech von ca. 100  $\text{cm}^2$ .

jedem Versuch wurde natürlich eine Vergleichung mit dem 40 plattigen Condensator ausgeführt. Die abgelesene Centimeterzahl von  $\gamma$  ist hier bedeutungslos und deswegen nicht angeführt.

1) Geschätzt, da ja die Scala nur bis 75 ging.



Zunächst wurden bei blanker Metalloberfläche folgende Capacitäten des mit destillirtem Wasser gefüllten Condensators ermittelt.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Diff. gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
512	1584	0,003547	7
256	1580	0,004265	28,6
128	1580	0,006815	114
64	1580	0,01504	353

Die Capacität des leeren Condensators konnte, ihrer Kleinheit wegen, nicht gemessen werden; der für die Berechnung der procentualen Differenzen als richtig angenommene Werth des von Wasser umgebenen Condensators,  $c_1 = 0,00332$  Mikrof., ergibt sich aus später angeführten Messungen mit hohen Schwingungszahlen und mit platinirten Electroden.

Die Leitfähigkeit berechnet sich aus demselben Werth  $c_1 = 0,00332$  Mikrof., wenn man die Dielectricitätsconstante des Wassers = 80 nimmt, folgendermaassen: die electrostatische Capacität ergibt sich hieraus zu

$$0,0000415 \text{ Mikrof.} = 0,0000415 \cdot 10^{-15} (\text{cm}^{-1} \text{ sec}^2)$$

im electromagnetischen System. Durch Multiplikation mit dem Quadrate von  $v$ , der kritischen Geschwindigkeit, erhält man für den Werth  $1/4\pi(F/a)$ , wo  $F$  die Oberfläche,  $a$  den Abstand der Platten bedeutet:

$$\frac{1}{4\pi} \frac{F}{a} = 0,0000415 \cdot 10^{-15} \cdot 3^2 \cdot 10^{20} = 9 \cdot 4,15.$$

Der Widerstand ist gefunden zu

$$1580 \text{ Ohm} = 1580 \cdot 10^9 (\text{cm sec}^{-1});$$

er berechnet sich, wenn  $\rho$  der specifische Widerstand des Wassers ist, gleich  $a/F \cdot \rho$ . Nun ist

$$\frac{a}{F} \text{ aus Obigem} = \frac{1}{9 \cdot 4,15 \cdot 4\pi}.$$



Durch Gleichsetzen der beiden Werthe ergibt sich  $\varrho = 7,88 \cdot 10^9$  bezogen auf Quecksilber, die Leitfähigkeit  $\lambda = 1/\varrho = 1,27 \cdot 10^{-10}$  bezogen auf Quecksilber.

Natürlich war es auch bei diesen Messungen nothwendig, die Plattenzahl des Vergleichscondensators  $C_2$  von einer Schwingungszahl zur anderen zu verändern; nach jeder einzelnen Bestimmung musste daher eine Vergleichung mit dem 40 plattigen Aluminiumcondensator erfolgen.

Die Leitfähigkeit wurde durch Zusatz einiger Tropfen einer verdünnten Salzlösung auf etwa das Doppelte erhöht:

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Differenz gegen den Werth 0,00332 Mikrof.
$N$	850	0,003403	2,4
512	820	0,003869	16,6
256	850	0,006275	89
128	835	0,01419	238

$$\text{Leitfähigkeit} = 2,37 \cdot 10^{-10}.$$

Die Oberflächen des Platincondensators wurden nun platinirt. Zu diesem Zweck wurde der Platincondensator in eine Lösung von  $H_2PtCl_6$  gebracht; 130 Milliamp. gingen 20 Min. in der einen, darauf 10 Minuten in der anderen Richtung hindurch, sodass eine gleiche Platinirung der Oberflächen entstand. Nach genügendem Auswaschen wurden neue Messungen mit destillirtem Wasser vorgenommen.

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Differenz gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
$N$	1810	0,003323	0,0
256	1750	0,003521	6
128	1750	0,004003	18
64	1770	0,005597	70

$$\text{Leitfähigkeit} = 1,15 \cdot 10^{-10}.$$

Darauf, nachdem durch Zusatz von Salzlösung die Leitfähigkeit wiederum erhöht war:



$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Differenz gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
$N$	470	0,00346	4
256	470	0,00350	66
128	470	0,00390	201

$$\text{Leitfähigkeit} = 4,27 \cdot 10^{-10}.$$

Schliesslich wurde jetzt mit derselben Stromstärke, jedoch die dreifache Zeit hindurch, platinirt. Dann ergab sich für drei verschiedene Leitfähigkeiten:

$$\text{Für } \lambda = 1,24 \cdot 10^{-10}.$$

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Diff. gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
$N$	1620	0,003325	0
256	1620	0,003504	5
128	1640	0,003755	13

$$\text{Für } \lambda = 2,24 \cdot 10^{-10}.$$

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Diff. gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
$N$	990	0,003325	0
256	990	0,003531	6
128	1010	0,003961	18

$$\text{Für } \lambda = 3,24 \cdot 10^{-10}.$$

$\frac{n}{2\pi}$	$w_1 = w_2$ Ohm	$c_1 = c_2$ Mikrof.	Proc. Diff. gegen den Werth $c_1 = 0,00332$ Mikrof.
$N$	620	0,003325	0
256	620	0,003836	15
128	620	0,004752	43

#### Vib. Zusammenfassung der Ergebnisse für Flüssigkeiten; Theoretisches.

Von den untersuchten Flüssigkeiten zeigt Ricinusöl keine merkliche Leitfähigkeit und die Dielectricitätsconstante ist



constant: es verhält sich bei den angewandten Schwingungszahlen wie Luft. Alle übrigen untersuchten Flüssigkeiten leiten mehr oder weniger gut. Jedoch zeigen die schlecht leitenden Flüssigkeiten, Petroleum, Benzin, Mischungen von Benzin und Alkohol bis zu 7 Proc. ( $\lambda = 10^{-21}$ ,  $5 \cdot 10^{-22}$  bis  $3,5 \cdot 10^{-20}$ ) keine merkliche Aenderung der Dielectricitätsconstante und der Leitfähigkeit mit der Schwingungszahl. Sie verhalten sich also wie ein Condensator mit parallel geschaltetem Widerstand. Dadurch unterscheiden sie sich wesentlich von den oben untersuchten festen Dielectricis, gemäss der Homogenität und der geringeren Rückstandsbildung von Flüssigkeiten.

Bei den alkoholreicheren Mischungen ( $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-20}$  bis  $7,7 \cdot 10^{-20}$ ) wird zum ersten Male eine mit wachsender Leitfähigkeit steigende Aenderung der Dielectricitätsconstante mit der Schwingungszahl merklich. Stärker ist sie bei Anilin und am stärksten bei Wasser, wo sie für die Schwingungszahlen 128 und 64 bis weit über 100 Proc. ansteigt. Die wirksame Leitfähigkeit ändert sich dabei nicht.

Nach dem Platiniren der Electroden wurde die Aenderung wesentlich geringer. Dies beweist, dass das Ansteigen der wirksamen Capacität eine Folge von Polarisation ist. Die Versuche zeigen ferner, dass der durch Polarisation bewirkte Fehler um so kleiner ist, je höher die Schwingungszahl und je grösser der Widerstand und die Polarisationscapacität sind.

Es entspricht dies der von M. Wien<sup>1)</sup> kürzlich gegebenen Correctionsformel

$$c_2 = c_1 \left( 1 + \frac{1}{n^2 w_2^2 c_1 C} \right),$$

worin  $c_1$  die electrostatische Capacität,  $C$  die Polarisationscapacität des Flüssigkeitscondensators bedeutet, während  $w_1$  merklich  $= w_2$  bleibt.

Die Untersuchung der Gemische von Benzin und Aethylalkohol ergibt als Nebenresultat, dass die Dielectricitätsconstante keineswegs so stark zunimmt, wie man erwarten sollte.

Bezeichnet  $m$  die Volumtheile Aethylalkohol, demgemäss

---

1) M. Wien, Wied. Ann. 58. p. 67f. 1896.



(100 —  $m$ ) die Volumtheile Benzin, aus denen sich die Mischung zusammensetzt, so ist die Dielectricitätsconstante der Mischung, nach der bei solchen üblichen Regel<sup>1)</sup>, wenn man noch die Dielectricitätsconstante des Benzins = 1,92, die des Aethylalkohols = 26 setzt:

$$K = \frac{m \cdot 26 + (100 - m) 1,92}{100}.$$

Hiernach müsste beim letzten Gemisch die Capacität 0,00790 statt 0,00446 Mikrof. betragen.<sup>2)</sup>

Auch der Widerstand ändert sich nicht der Erwartung entsprechend, wie ein Blick auf die Tabellen lehrt, sondern ist beispielsweise bei dem 4proc. Gemisch gerade so gross wie bei dem 1procentigen.

Ein derartiger Gang, wie ihn die Tabellen aufweisen, wurde an zwei verschiedenen Beobachtungsreihen festgestellt und ist nicht etwa durch Versuchsfehler veranlasst.

## VII. Schluss.

Das kurz zusammengefasste Resultat der vorstehenden Untersuchung ist folgendes:

Sowohl bei den festen, als auch bei den besser leitenden flüssigen Dielectricis zeigt sich eine Aenderung der Capacität mit der Schwingungszahl des benutzten Wechselstromes.

1. Bei den *festen* Dielectricis tritt gleichzeitig ein Energieverlust auf, der mit der Schwingungsdauer wächst und um so grösser ist, je grösser die Aenderung der Capacität mit der Schwingungszahl ist. Diese Erscheinungen treten bei denselben Substanzen auf, die eine starke Rückstandsbildung zeigen. — Die Rechnung ergibt, dass die Capacität eines mit einem geschichteten Dielectricum gefüllten Condensators, sowie der darin stattfindende Energieverlust in ähnlicher Weise von der Schwingungszahl abhängig sind. Es ist daher möglich, dass eine Inhomogenität der Dielectrica die Ursache der beobachteten Erscheinung ist.

2. Bei Flüssigkeiten wurde die beobachtete Aenderung der

1) Vgl. Silberstein, Wied. Ann. 56. p. 672. 1895.

2) Bouty, Compt. rend. 114. p. 1421. 1892 fand, dass Aethylalkohol mit der Dielectricitätsconstante = 8 in solche Mischungen eingeht.



Capacität mit der Schwingungszahl kleiner nach dem Platiniren des Platincondensators. Die Rechnung ergiebt, dass die Polarisatio-  
n eine ähnliche Wirkung, wie die beobachtete, auf die Capacität eines Flüssigkeitscondensators ausüben muss. Es ist daher anzunehmen, dass die galvanische Polarisatio-  
n der Hauptgrund der beobachteten Aenderung der Capacität ist.

Würzburg, Physik. Institut d. Univers.

(Eingegangen 22. Juni 1898.)

---