ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTE FOLGE. BAND 53.

1. *Die Dielektrizitätskonstante fester Körper bei verschiedenen Wellenlängen;* *von Robert Jaeger.*

(Auszug aus der Berliner Dissertation.)

Inhaltsverzeichnis. A. Einleitung. — B. Plan der Untersuchung. — C. Angaben über die untersuchten Dielektrika. — D. Theoretische und experimentelle Grundlagen der Messungen. — E. Beschreibung der Meßeinrichtungen und Methoden: I. Maxwellsche Methode. II. Der Thomsonsche Schwingungskreis. III. Lechersche Anordnung. IV. Absolute Messungen nach der Plattenverschiebungsmethode. — F. Versuchsergebnisse. — G. Zusammenstellung der Resultate und Vergleichung mit anderen Beobachtern. — H. Schluß und Zusammenfassung.

A. Einleitung.

Wie Hr. Rubens letzthin gezeigt hat¹⁾, verhalten sich im langwelligen Teil des ultraroten Spektrums feste Körper und Flüssigkeiten verschieden voneinander.

Aus den mit 19 festen Körpern und 6 Flüssigkeiten angestellten Versuchen ergibt sich folgendes:

Bei den meisten festen Körpern (Kristallen) nimmt das Reflexionsvermögen mit wachsender Wellenlänge zunächst ab, steigt dann schnell, fällt nach Überschreitung des Maximums erst rasch und schmiegt sich schließlich asymptotisch dem Grenzwert an. Bei den Flüssigkeiten ist die Kurve des Reflexionsvermögens im ganzen gestreckt. Bei dem untersuchten Rizinusöl verläuft sie zwischen 30 und 300 μ nahe horizontal, bei den anderen Flüssigkeiten steigt sie fast geradlinig an. Die Endwerte, denen sich die Reflexionskurven nähern, sind mit der Dielektrizitätskonstante durch die bekannte Relation verknüpft:

$$(1) \quad R = 100 \left(\frac{\sqrt{D} - 1}{\sqrt{D} + 1} \right)^2.$$

1) H. Rubens, Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1915. p. 4; Verh. d. D. Phys. Ges. 17. p. 315. 1915.

In der zitierten Arbeit sind nun die Dielektrizitätskonstanten für die untersuchten Stoffe mit schnellen Schwingungen ($\lambda = 10\text{--}30\text{ m}$) nach der Lecherschen Methode (vgl. unten) bestimmt worden. Aus den erhaltenen Zahlen D wurde das Reflexionsvermögen für praktisch unendlich lange Wellen (R_∞) berechnet und mit dem mittels Quecksilberdampfstrahlung (ca. $313\ \mu$) optisch gemessenen Reflexionsvermögen zusammengestellt.

Es zeigt sich, daß für die festen Körper die beiden Werte nahe oder vollkommen übereinstimmen. Der Theorie entsprechend sind die aus den Dielektrizitätskonstanten berechneten Werte R_∞ die kleineren (mit zwei Ausnahmen, die aber innerhalb der möglichen Fehlergrenzen liegen). Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß von dem betrachteten Spektralgebiet ($300\ \mu$) bis zu 10 m (ca. 15 Oktaven) wahrscheinlich keine anomale Dispersion vorhanden ist. Jedenfalls ist sie zur Befriedigung der Maxwellschen Gleichung nicht notwendig.

Im Gegensatz dazu lassen die Resultate, die mit den Flüssigkeiten erhalten wurden, anomale Dispersion im Gebiete der Hertzischen Wellen erwarten, wo sie auch tatsächlich beobachtet wurde.

Die Ursache der Dispersion wurde nach Drude¹⁾ durch die Vorstellung zu erklären versucht, daß in dem Dielektrikum schwingungsfähige Gebilde von hoher Eigenfrequenz und starker Dämpfung enthalten sind. Als solche Resonatoren können in das Dielektrikum eingebettete leitende Teilchen wirken.

Man gelangt durch diese Anschauung zu Formeln, welche die Dispersion im Gebiete Hertzscher Wellen in ausreichender Weise darstellen. Zum Unterschied gegen diese Hypothese, die zwischen festen Körpern und Flüssigkeiten keinen Unterschied macht und besonderer, im übrigen für Dielektrika nicht charakteristischer Annahmen bedarf, hat Debye²⁾ seine Theorie der molekularen Dipole aufgestellt. Diese macht über die Konstitution der Dielektrika keine besondere Annahme, ist jedoch im Gegensatz zur Drudeschen Theorie nur auf Flüssigkeiten anwendbar.

1) P. Drude, Wied. Ann. **60**, p. 500. 1897.

2) P. Debye, Ber. d. D. Physik. Ges. **15**, p. 777. 1913.

Nach Debyes Theorie übt die Drehung der Moleküle, die sich als elektrische Dipole mit ihren Axen in Richtung der Kraftlinien zu stellen suchen, den Haupteinfluß auf die Änderung der Dielektrizitätskonstanten aus. Die Einstellung der Dipole erfolgt nicht augenblicklich, sondern nach kurzer Zeit, die aber, wie Hr. Debye gezeigt hat, von der Größe ist, daß erst bei Einfluß Hertzscher Wellen eine stärkere Einwirkung der Dipole auf die Dielektrizitätskonstante resultiert.

Im Widerspruch mit dieser Theorie und im wesentlichen auch mit den letzten Messungen von Hrn. Rubens stehen verschiedene Arbeiten, die eine Änderung der Dielektrizitätskonstanten mancher festen Körper im Gebiete Hertzscher Wellen und bis zu Unterbrechungen von einigen Zehntelsekunden behaupten. Es scheint nach dem vorliegenden Beobachtungsmaterial nicht ausgeschlossen, daß die gefundenen Änderungen der Dielektrizitätskonstanten mit der Wellenlänge durch Nebenwirkungen vorgetäuscht wurden, die besonders bei langsam veränderlichen Feldern leicht auftreten können (Leitfähigkeit, dielektrische Nachwirkungserscheinungen).

Aus diesem Grunde wurden auf Veranlassung von Hrn. Rubens die folgenden Untersuchungen über Dielektrizitätskonstanten fester Körper bei verschiedenen Wellenlängen angestellt.

Die Arbeit wurde unter Leitung von Hrn. Geheimrat Rubens im Physikalischen Institut der Universität Berlin ausgeführt. Hrn. Geheimrat Rubens bin ich für die tatkräftige Unterstützung und Förderung der Arbeit zu großem Danke verpflichtet. Auch Hrn. Präsident Warburg möchte ich meinen Dank aussprechen für sein liebenswürdiges Entgegenkommen, welches mir ermöglichte, einen Teil der Arbeit mit den ausgezeichneten Hilfsmitteln der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg auszuführen.

Dr. Lindemann, der leider inzwischen verstorben ist, hat mich in dankenswerter Weise bei der Ausführung dieser Arbeiten in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt unterstützt.

Die Messungen von Dielektrizitätskonstanten fester Körper sind im ganzen noch spärlich, was wohl darauf zurückzu-

führen ist, daß die Methoden im allgemeinen nicht so günstig oder so bequem sind wie bei Flüssigkeiten. Durch einen Kunstgriff von Starke können allerdings feste Körper auch mit solchen Methoden gemessen werden, die sonst nur für Flüssigkeiten geeignet sind; jedoch ist wegen der Löslichkeit dieses Verfahren nicht für alle Materialien anwendbar.

Eine gute Übersicht über die vorliegenden Messungen findet sich in dem von L. Graetz herausgegebenen Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus¹⁾, so daß an dieser Stelle ein Hinweis auf dieselbe genügt. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Zahlen findet sich in der Dissertation (p. 10).

Bei der hohen Unsicherheit der Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten fester Körper, die aus dem vorliegenden Beobachtungsmaterial hervorgeht, können im Grunde nur diejenigen Bestimmungen der D.K.²⁾ bei verschiedenen Wellenlängen miteinander verglichen werden, die von demselben Beobachter an demselben Material ausgeführt wurden.

B. Plan der Untersuchungen.

Die Aufgabe bestand in erster Linie darin, zu untersuchen, ob die Dielektrizitätskonstante fester Körper bei verschiedenen Wellenlängen Unterschiede zeigt. Es genügt dazu eine relative Bestimmung, so daß also die Aufgabe im wesentlichen darauf hinausläuft, eine Kapazität bei verschiedenen Wellenlängen unter möglichst denselben äußeren Bedingungen zu messen. Außerdem ist es jedoch wünschenswert, die absolute Dielektrizitätskonstante zu erhalten, um die Resultate mit den Ergebnissen anderer Beobachter vergleichen zu können und um den Anschluß an die entsprechenden optischen Untersuchungen zu ermöglichen.

I. *Die relativen Messungen* wurden mit Plattenkondensatoren ausgeführt. Diese bestanden aus planparallelen Platten des betreffenden festen Dielektrikums, die auf beiden Seiten mit kreisförmigen metallischen Belegungen versehen waren.

Die Belegungen waren verschiedener Art; sie bestanden meist aus Stanniol, bei den Silbersalzen aus Platin- oder

1) L. Graetz, *Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus*. Leipzig 1914. J. A. Barth. Artikel von E. Schrödinger. Bd. I. p. 178.

2) Unter D.K. sei im folgenden stets „Dielektrizitätskonstante“ verstanden.

Silberfolie. Sie wurden entweder mit Wasser oder Öl von hoher Dielektrizitätskonstante aufgeklebt. Es ist nicht zu befürchten, daß das Öl zu dicke Schichten bildet und die D.K. wesentlich fälscht. Mit dem Zeiss'schen Dickenmesser, der tausendstel Millimeter zu messen gestattet, konnte die Dicke der Ölschicht nicht mehr wahrgenommen werden. Das Wasser andererseits wird durch Streichen herausgepreßt, so daß hauptsächlich der äußere Luftdruck die nur 0,01 mm starken Belegungen genügend andrückt.

Die Platten waren bei den Messungen in ein Gestell eingeklemmt, dessen Konstruktion aus der Fig. 1 ersichtlich ist.

Fig. 1.

Die in dem Holzgestell isoliert gelagerten Zuführungen *S* können auseinandergezogen werden und legen sich nach Einfügen der Platte mit leichtem Federdruck an dieselbe an. Die Kapazität des leeren Gestells mit Klemmen betrug ca. 2 cm.

II. Zur *Absolutmessung* der Dielektrizitätskonstanten bei schnellen Schwingungen wurde die Plattenverschiebungsmethode angewendet. Die Methoden selbst sind weiter unten näher erörtert.

Die Messungen wurden ausgeführt

I. Mit Kondensatoren

1. nach der Maxwellschen Methode ($\nu = 166$ bzw. 250);
2. im Thomsonschen Schwingungskreis mit Poulsen-lampe ($\nu = 10^5$) und Löschfunken ($\nu = 10^6$);
3. in der Lecherschen Anordnung ($\nu = 10^7$).

II. Mit der Plattenverschiebungsmethode

1. im Thomsonschen Schwingungskreis ($\nu = 10^5$);
2. im Lecherkreis ($\nu = 3 \cdot 10^7$).

C. Angaben über die untersuchten Dielektrika.

Zur Verfügung stand zunächst der größte Teil derselben Körper, deren optische und dielektrische Eigenschaften bereits Hr. Rubens in der erwähnten Abhandlung beschrieben hat. Dazu kamen neu hinzu amorpher Quarz, natürliches und synthetisches Gummi sowie eine Anzahl Gläser, darunter vier von derselben Schmelznummer (Schott, Jena), wie sie von Starke und Löwe benutzt worden sind. Da drei von diesen nur in Ersatzschmelzen verfügbar waren, so ist es möglich, daß die chemische Zusammensetzung doch nicht ganz die gleiche ist. Die benutzten Dielektrika sind mit ihren Dicken in der beigegebenen Tab. 1 zusammengestellt.

Tabelle 1.

Zusammenstellung der untersuchten Dielektrika.

Nr.	Material	Dicke in mm	Bemerkungen
1	Glas, violett	1,732	
2	Glas, weiß	2,241	
3	O. 118 (O. 2051 a) Gewöhnlicher Flint	2,000	$h_2^{1)}$
4	O. 118 (O. 2051 b) Gewöhnlicher Flint	2,000	2
5	O. 1266 (O. 1353 a) Baryt Leicht- flint	2,000	h_1
6	O. 1266 (O. 1353 b) Baryt Leicht- flint	2,000	h_1
7	O. 381 (O. 2074 a) Kron mit hoher Dispersion	1,995	h_5
8	O. 381 (O. 2074 b) Kron mit hoher Dispersion	1,995	h_5
9	O. 1209 (O. 1993) Schwerstes Barytkron	2,000	
12	Quarz, amorph	2,027	
13	„ „	1,909	
14	Quarz „	1,930	
15	„ „	2,003	} nicht genau senk- recht zur Achse
16	„ „	2,010	
17	Ebonit	3,920	
18	„	2,040	
19	Gummi, natürlich	1,754	
20	„ „	1,961	
21	Gummi, synthetisch	1,943	
22	„ „	1,863	

1) h_1 usw. bedeutet die hydrolytische Klasse nach dem Katalog von Schott u. Gen.

Tabelle 1 (Fortsetzung).

Nr.	Material	Dicke in mm	Bemerkungen
23	Chlorsilber	1,122	
24	Bromsilber	0,928	
25	Cyansilber	2,180	Gepreßtes Pulver
26	Thalliumchlorür	1,488	" "
27	Thalliumbromür	1,949	" "
29	Calomel	3,065	optische Achse $\perp$ Plattenoberfläche
30	Ammoniumchlorid	3,140	
31	Ammoniumbromid	2,840	
32	Bromkalium	2,580	Geschmolz. Salz
34	Flußspat	2,174	
35	Marmor	2,710	
36	Gips	2,638	Spaltstücke
37	Steinsalz	3,120	
38	Glas, schwarz II.	2,537	
39	Glas, weiß II.	2,465	
40	S. 461 Schwerstes Silikatflint . .	4,990	
41	S. 367 Phosphatkron	5,005	
42	O. 7185 Fluorkron	5,019	
43	U. V 3199 Uviolkron	1,800	

Die fehlenden Nummern 10 und 11 gehören kleinen Quarzscheibchen von ca. 4 cm Durchmesser an. Diese konnten wohl relativ gemessen werden und ergaben auch bei 3000 und 300 m Wellenlänge vollkommene Übereinstimmung, nämlich 5,8 bzw. 9,8 cm. Dagegen war es wegen des kleinen Durchmessers nicht möglich, den Absolutwert zu bestimmen.

Der Nummer 28 entsprach eine Platte von Thalliumjodür, die jedoch gesprungen war und deswegen nicht mehr einwandfrei gemessen werden konnte. Jodkalium (33) war von zahlreichen kleinen Löchern durchsetzt, in die das Öl bei der Messung eindrang und die Resultate dadurch fälschte. Deshalb wurde die betreffende Platte nicht mit angeführt.

Die ersten drei Gläser, deren Zusammensetzung uns unbekannt war, sind von Hrn. Geheimrat F. Mylius chemisch analysiert worden. Die Zusammensetzung einiger derselben ist in Tab. 2 angegeben.

Die durch die Färbung angedeutete Änderung im Oxydzustand des Mangans ist dabei nicht berücksichtigt.

Die Zusammensetzung der übrigen Gläser kann nur qualitativ angegeben werden. Tab. 3. (Vgl. H. Rubens, Berl. Ber. 1916. p. 1280.)

Tabelle 2.
Zusammensetzung der Gläser.

Glas weiß II		violett	schwarz II
Na ₂ O	11,5	10,6	9,4 Proz.
K ₂ O	—	11,3	4,0 „
CaO	15,0	11,0	7,2 „
As ₂ O ₃	1,2	0,6	2,6 „
Fe ₂ O ₃	Sp.	Sp.	Sp.
MnO	—	4,8	15,4 „
CoO	—	0,2	Sp.
NiO	—	Sp.	Sp.
CuO	—	Sp.	Sp.
SiO ₂	72,8	62,1	61,4 „
	100,0	100,6	100,0 Proz.

Tabelle 3.
Zusammensetzung der Gläser.

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		
	vorwiegend (über 10 Proz.)	in geringeren Mengen	in kleinen Mengen (unter 1 Proz.)
Fluorkron O. 7185	SiO ₂ , B ₂ O ₃ K ₂ O, F, Al ₂ O ₃	—	As ₂ O ₃
Phosphatkron S. 367	P ₂ O ₅ K ₂ O	Al ₂ O ₃ MgO B ₂ O ₃	As ₂ O ₃
Uviolcron U. V. 3199	SiO ₂ B ₂ O ₃ K ₂ O	ZnO	—
Kron mit hoher Dispersion O. 381 (O. 2074)	SiO ₂ Na ₂ O P ₂ O ₅	ZnO Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃
Schwerstes Barytkron O. 1209 (O. 1993)	BaO SiO ₂	ZnO B ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃
Baryt Leichtflint O. 1266 (O. 1353)	SiO ₂ PbO BaO	ZnO K ₂ O	Na ₂ O As ₂ O ₃ Mn ₂ O ₃
Gewöhnliches Flint O. 118 (O. 2051)	SiO ₂ PbO	K ₂ O Na ₂ O	As ₂ O ₃
Schwerstes Silikatflint S. 461	PbO SiO ₂	—	As ₂ O ₃

Für die gepreßten Pulver und geschmolzenen Salze ist die gefundene D.K. zu korrigieren nach einer Formel von H. A. Lorentz¹⁾:

$$(2) \quad \frac{D_1 - 1}{D_1 + 2} \frac{s}{s_1} = \frac{D - 1}{D + 2},$$

wo D_1 die scheinbare D.K., s_1 die beobachtete und s die normale Dichte bedeutet.

D. Theoretische und experimentelle Grundlagen der Messungen.

I. *Theoretische Grundlagen.* Um die Änderung der Dielektrizitätskonstanten mit der Wellenlänge aus den weiter unten mitgeteilten Versuchsergebnissen abzuleiten, bedarf es der in diesem Abschnitte enthaltenen Betrachtungen nicht. Dagegen sind sie von Nutzen, wenn es sich darum handelt, aus den gemessenen Kapazitäten und den Dimensionen des Kondensators die Dielektrizitätskonstante absolut zu berechnen. Wenn auch diese Berechnung aus verschiedenen Gründen keine sehr genaue sein kann, so habe ich doch nicht darauf verzichten wollen, weil die Ergebnisse dieser Rechnung eine sehr schätzbare Kontrolle und Ergänzung für die nach der Plattenverschiebungsmethode erhaltenen Werte liefern.

Die Untersuchungen sind mit Kondensatoren ausgeführt, die aus zwei gleichartigen, in einem gegenseitigen Abstand a befindlichen Kreisplatten von Metall bestehen. Denkt man sich ein solches System in eine leitende isolierte Hülle eingeschlossen, so setzt sich die Gesamtkapazität aus folgenden Teilkapazitäten zusammen (s. Fig. 2):

1. Aus der Teilkapazität der beiden leitenden Platten aufeinander, c_{12} oder c_{21} ; es ist stets $c_{12} = c_{21}$.

2. Aus der Teilkapazität c_1 der Platte 1 gegen die Hülle und

3. Der Teilkapazität der Platte 2 gegen die Hülle.

Im vorliegenden Falle ist $c_1 = c_2$. Die Teilkapazitäten c_1 und c_2 kann man sich als zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren vorstellen (vgl. Fig. 2).

Daher ist die Gesamtkapazität C des Systems

Fig. 2.

1) H. A. Lorentz, Wied. Ann. 9. p. 641. 1880; vgl. H. Rubens l. c. Tab. III. p. 16.

$$(3) \quad C = c_{12} + \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}.$$

Gilt diese Kapazität für den Fall, daß sich die Leiter im Vakuum befinden, so wird die Kapazität C' , die man erhält, wenn der ganze Raum von dem Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstante D erfüllt ist,

$$(4) \quad C' = D \cdot C.$$

Ist keine isolierte Hülle vorhanden, so stellen die Größen c_1 und c_2 die Teilkapazitäten der Platten gegen die umgebenden Leiter dar.¹⁾

Befinden sich alle Leiter in unendlicher Entfernung, so ist die Teilkapazität im Vakuum für jede Platte

$$(5) \quad c = c_1 = c_2 = R/\pi,$$

d. h. gleich der Hälfte der Kapazität einer unendlich dünnen, kreisförmigen Scheibe vom Radius R . In einem Dielektrikum von der Dielektrizitätskonstante D sind die Teilkapazitäten D mal so groß.

Wird eine der Platten geerdet, z. B. Platte 1, so ist c_1 unendlich groß und man erhält für die Kapazität in Vakuum

$$(6) \quad C_g = c_{12} + c = c_{12} + \frac{R}{\pi},$$

während wegen $c_1 = c_2$ im oben angegebenen Falle, daß keine Platte geerdet ist, folgt:

$$(7) \quad C = c_{12} + \frac{c}{2} = c_{12} + \frac{R}{2\pi}.$$

Für den Fall eines *Kreisplattenkondensators* ist die Kapazität von Kirchhoff unter Berücksichtigung der Randwirkung und der Plattendicke berechnet worden³⁾. Ohne Berücksichtigung dieser Korrekturen, d. h. also für Platten von sehr großem Durchmesser R und geringer Entfernung a ist die Kapazität im Vakuum

$$(8) \quad C = R^2/4a.$$

1) Es ist zu bemerken, daß diese Teilkapazitäten von den oben erwähnten der Größe nach verschieden sind.

2) Diese Formel kommt für die Maxwellsche Methode in Betracht.

3) G. Kirchhoff, Ges. Abh. p. 112; Sitzungsber. der Berl. Akad. 1877. p. 144; Vorl. über Elektr. u. Magn. (herausgeg. von Dr. M. P. lanck) Leipzig 1891. p. 109.

Für einen Kondensator, dessen eine Platte geerdet ist, berechnet sich nach Kirchhoff die Kapazität im Vakuum für die Plattendicke $d = 0$ zu

$$(9) \quad C_g = c_{12} + \frac{R}{\pi} = \frac{R^2}{4a} + \frac{R}{4\pi} \left\{ \ln \frac{16\pi R}{a} + 1 \right\}.$$

Die Teilkapazität c_{12} ist daher

$$(10) \quad c_{12} = \frac{R^2}{4a} + \frac{R}{4\pi} \left\{ \ln \frac{16\pi R}{a} - 3 \right\}.$$

Sind die Platten nicht geerdet, so lautet die Formel:

$$(11) \quad C = c_{12} + \frac{R}{2\pi} = \frac{R^2}{4a} + \frac{R}{4\pi} \left\{ \ln \frac{16\pi R}{a} - 1 \right\}.$$

Dabei ist angenommen, daß das Verhältnis a/R sehr klein ist.

Haben die Platten endliche Dicke d , die aber klein gegen den Abstand a ist, so tritt an die Stelle des Gliedes

$$\ln \frac{16\pi R}{a}$$

der Ausdruck

$$(12) \quad \ln \frac{16\pi(a+d)R}{a^2} + \frac{d}{a} \ln \frac{a+d}{d}.$$

Für einen Teil der vorliegenden Messungen sind die Kondensatoren in der Weise hergestellt worden, daß auf dem plattenförmigen Dielektrikum zu beiden Seiten dünne metallische Belegungen befestigt wurden. Diese waren kreisrund und so bemessen, daß das Dielektrikum überall mindestens einige Millimeter hervorstand. Die exakte Berechnung dieses Falles würde große Schwierigkeiten bereiten; doch kann man in erster Annäherung die Annahme machen, daß diejenigen Kraftlinien, welche der Teilkapazität c_{12} entsprechen, im Dielektrikum verlaufen, während sich die der Teilkapazität c entsprechenden in Luft befinden. Bestimmt man also die Dielektrizitätskonstante eines solchen festen Dielektrikums in der Weise, daß man die Kapazität derselben mit Belegungen mißt, und wird die sogenannte „Leerkapazität“, die den im selben Abstände a befindlichen Belegungen ohne Dielektrikum entsprechen würde, nach der Kirchhoffschen Formel berechnet, so wird man nur angenäherte Werte erhalten. Zur absoluten Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten ist daher diese Methode weniger geeignet.

Wird die Kapazität eines derartigen, in Luft befindlichen Kondensators gemessen, so muß man, je nachdem die eine Belegung geerdet ist oder nicht, die Teilkapazität c oder $c/2$ von dem beobachteten Werte abziehen, um die Teilkapazität c_{12} des mit dem Dielektrikum ausgefüllten Kondensators zu erhalten.

Die Leerkapazität ist dann nach der Formel zu berechnen:

$$(13) \quad C_0 = c_{12} = \frac{R^2}{4a} \left\{ 1 + \frac{a}{\pi \cdot R} \left[\ln \frac{16\pi(a+d)R}{a^2} + \frac{d}{a} \ln \frac{a+d}{d} - 3 \right] \right\}.$$

Bezeichnet man die mit dem Dielektrikum gemessene Kapazität, wenn die eine Belegung geerdet ist, mit C'_g , wenn sie nicht geerdet ist, mit C'_i , so erhält man also für die Dielektrizitätskonstante:

$$(14) \quad D = \frac{C'_g - \frac{R}{\pi}}{C_0}, \text{ bezw.}$$

$$(15) \quad D = \frac{C'_i - \frac{R}{2\pi}}{C_0}.$$

Hierbei ist aber zu beachten, daß wegen der Nähe der umgebenden Körper (Tisch, Wände u. a.) die Teilkapazität c im allgemeinen größer ist als R/π , so daß aus diesem Grunde die berechnete Dielektrizitätskonstante zu groß ausfallen kann (vgl. weiter unten).¹⁾

II. *Experimentelle Grundlagen.* Die Kirchhoffsche Formel ist schon mehrfach geprüft worden, so zunächst von Klemenčič²⁾ und Himstedt³⁾ welche die Lichtgeschwindigkeit nach der Kondensatormethode bestimmten, ferner von Cohn und Heerwagen⁴⁾. Sie maßen die Kapazität zweier großer Kondensatoren und berechneten sie nach der Kirchhoffschen Formel.

Doch sind wegen der Nähe der umgebenden Leiter, wie in der Arbeit erwähnt wird, die berechneten Werte kleiner als die beobachteten.

1) Vgl. auch E. Grüneisen u. E. Giebe, Verh. d. D. Physik. Ges. **14**, p. 921. 1912.

2) J. Klemenčič, Wiener Ber. **89**, p. 298. 1884.

3) F. Himstedt, Wied. Ann. **29**, p. 560. 1886.

4) E. Cohn und F. Heerwagen, Wied. Ann. **43**, p. 343. 1891.

Die erwähnten Messungen bestätigen im wesentlichen die Richtigkeit der Kirchhoffschen Formel.

In der vorliegenden Arbeit wurden zur weiteren Prüfung der Kirchhoffschen Formel zwei Plattenkondensatoren benutzt. Der eine derselben (*A*) hatte Platten vom Halbmesser 9,99 cm und einer Plattendicke von 0,427 cm. Der Abstand der Platten konnte durch dazwischen gelegte, verschieden hohe planparallele Glasstückchen variiert werden (vgl. Fig. 3). Der andere Kondensator von kleineren Abmessungen (*B*) war fest verschraubt und durch dazwischen gelegte Ebonitscheibchen in bestimmtem Abstand gehalten. Die Dimensionen der Kondensatoren sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt.

Tabelle 4.
Plattenkondensatoren.

Konden- sator	Durch- messer der Platten	Dicken der Platten	Ebonitstücke		Fläche der Ebonit- stücke (<i>f</i>)
			Durch- messer	Dicke	
<i>A</i>	19,98 cm	4,27 mm	—	—	—
<i>B</i>	10,0 „	2,04 ₅ „	9,2 mm	1,03 mm	1,995 cm ²

Bei der Berechnung der Kapazität sind die zwischen den Platten liegenden Glas- bzw. Ebonitstückchen zu berücksichtigen.

Ist *F* die Gesamtfläche einer Platte, *f* die Gesamtfläche des zwischen den Platten befindlichen Materials von der Dielektrizitätskonstante *D*, so ist für die Berechnung der Kapazität der Kondensatoren in Luft statt der Fläche *F* einzusetzen der Wert

$$(16) \quad F' = F + f(D - 1).$$

Die Teilkapazität *c*₁₂ ist also, da diese Korrektur klein ist, zu berechnen nach der Formel:

$$(17) \quad \left\{ C = c_{12} = \frac{R^2}{4a} \left\{ 1 + \frac{f}{F}(D - 1) + \frac{a}{R\pi} \left[\ln \frac{16\pi R(a+d)}{a^2} + \frac{d}{a} \ln \frac{a+d}{d} - 3 \right] \right\} \right\}.$$

Eine schematische Ansicht des Kondensators *A* zeigt Fig. 3.

Der Kondensator wird in horizontaler Lage benutzt, so daß die eigene Schwere der oberen Platte bei guter Reinigung der Innenflächen und Glasstücke einen exakten gegenseitigen Plattenabstand gewährleistet.

Fig. 3.

Meist sind drei Glasstücke benutzt worden. Eine Durchbiegung der massiven Platten ist nicht zu befürchten. Die untere Platte steht zur Isolation auf einer Glasschale. Die dünnen Zuführungsdrähtchen sind an kleinen Schrauben in der Mitte der Platte befestigt und gehören mit zu dem Kondensator. Die Zuführung der unteren Platte ist durch ein kleines Loch in der Glasschale nach außen geführt.

Der Plattenhalbmesser beträgt 9,99 cm, so daß

$$\frac{R}{\pi} = 318$$

ist. Die Dicke der Platten ist im Mittel 0,427 cm. Die Dielektrizitätskonstante der Glasstückchen ist zu 6 angenommen.

Die Kapazitätsmessung des Kondensators wurde mit Hilfe der Maxwell'schen Methode (vgl. später) für die in der Tabelle 5 p. 423 angegebenen Plattenabstände a bei 166 Aufladungen in der Sekunde vorgenommen.

Die in Farad erhaltenen Werte sind in Zentimeter umgerechnet unter Annahme einer Lichtgeschwindigkeit von $3 \cdot 10^{-8}$ m/sec. Die beobachteten Kapazitäten, abzüglich der Teilkapazität $c = R/\pi = 3,18$ cm sind in Spalte 4 der umstehenden Tab. 5 angegeben. Diese Werte wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate in Funktion des Plattenabstandes ausgeglichen. Hierzu mußten zunächst die Glas-korrekturen

$$\left\{ \frac{R^2}{4a} \cdot \frac{f}{F} (D - 1) \right\},$$

welche unregelmäßige Zuschläge ergeben, abgezogen werden. (Vgl. Spalte 11). Die ausgeglichenen Werte sind mit den nach der Kirchhoffschen Formel berechneten Kapazitäten (vgl. Spalte 10) zu vergleichen. Die Tabelle enthält außerdem in Spalte 2 die Abstände der Platten in Millimeter, die der Höhe der zwischengelegten Glasstücke entsprechen. Diese sind mit

Tabelle 5.

Großer Kreisplatten-Kondensator A (berechnet nach Formel (17) p. 421).

Nr.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Abstand a in mm	a R	Kapaz. beob. in cm $R - \pi$	R^2 in cm $4a$	Fläche der Glas- stücke f in cm ²	Glas- korrekt. in cm	Rand- u Dicken- korrekt. in cm	Zu- schlag für Luft in cm	Kapaz. ϵ_{12} berechn. in cm	Kapaz. beob. aus- geglichen in cm	Beob.- Rechn. in cm	Abweichung nach Abzug von 3,8 cm in cm in Proz.
1	0,524	0,005	492,0	476,1	0,57	4,5	7,28	0,3%	488,1	492,3	4,2	+0,4 +0,1
2	0,725	0,007	353,8	344,1	0,72	4,0	6,78	0,20	355,1	358,8	3,7	0 -0,1
3	0,900	0,009	295,4	277,2	0,72	3,5	6,46	0,20	287,35	290,9	3,6	-0,1 -0,2
4	1,082	0,011	245,7	231,0	0,30	1,4	6,19	0,15	238,75	241,8	3,0	-0,3 -0,8
5	1,25	0,012	211,9	199,6	0,27	1,0	5,97	0,15	206,7	210,2	3,5	-0,3 -0,15
6	1,47	0,015	182,5	169,7	1,08	2,8	5,74	0,10	178,35	181,9	3,5	-0,3 -0,15
7	2,915	0,029	94,6	85,7	0,63	0,9	4,77	0,05	91,45	95,25	3,8	0 0
8	3,42	0,034	82,6	72,95	0,88	1,1	4,55	0,05	78,65	82,7	4,0	+0,2 +0,25
9	4,52	0,045	63,9	55,2	1,10	1,1	4,18	0,05	60,55	64,8	4,2	+0,4 +0,6
10	5,82	0,058	52,8	42,85	2,37	1,3	3,85	0,05	48,05	52,6	4,5	+0,7 +1,3
										Mittel	3,8%	

dem Zeiss'schen Dickenmesser ermittelt worden, der noch $\frac{1}{1000}$ mm zu messen gestattet. Die Bedeutung der in den übrigen Spalten angegebenen Zahlen ist aus den Überschriften ersichtlich. Die Differenzen der in den Spalten 10 und 11 angeführten berechneten und beobachteten (ausgeglichenen) Werte befinden sich in Spalte 12. Es zeigt sich, daß die beobachteten Kapazitäten um eine konstante Differenz — im Mittel 3,80 cm — größer sind als die berechneten, worauf unten näher eingegangen werden soll. Zieht man diese konstante Differenz von den beobachteten Werten ab, so erhält man die übrigbleibenden Unterschiede zwischen Beobachtung und Rechnung, die in Spalte 13 in Zentimetern und in Prozenten zusammengestellt sind.

Die erwähnte konstante Differenz zwischen den beobachteten und berechneten Kapazitäten rührt zum Teil von den Drähten her, die am Kondensator befestigt sind und als zu diesem zugehörig angesehen werden. Der wesentliche Teil der Differenz jedoch ist auf den früher bereits besprochenen Umstand zurückzuführen, daß die Teilkapazität c der Platte gegen die Erde infolge der Nähe der umgebenden Körper größer ausfällt als der theoretische Wert R/π (vgl. p. 420). Zur Kontrolle wurden noch besondere Messungen mit den hier benutzten Kondensatorplatten angestellt, indem z. B. die Kapazität derselben gegen Erde in verschiedenen Lagen und unter verschiedenen Verhältnissen nach der Maxwell'schen Methode ermittelt wurde. Dabei gelangte man zu Ergebnissen, die obige Annahme bestätigen.¹⁾

Fig. 4.

Der kleine Kondensator B ist zur Prüfung der Kirchhoffschen Formel seiner Konstruktion wegen weniger geeignet. Den Querschnitt eines solchen Kondensators zeigt Fig. 4.

¹⁾ Vgl. Dissertation p. 27.

In bezug auf die Kapazitätsmessung kann auf Kondensator *A* verwiesen werden. Die Resultate zeigt die folgende Tabelle 6.

Tabelle 6.
Kapazität des kleinen Kondensators.

Konden- sator	Radius R	Abstand a	$\frac{R^2}{4a}$	$\frac{R}{\pi}$	Kapazität	
					berechnet	gemessen
B	5,0 cm	0,103 cm	60,85, cm	1,59 cm	65,8 cm	66,7 cm

In Anbetracht des Umstandes, daß die Teilkapazität *c* größer ist als der theoretische Wert R/π (vgl. p. 420), stimmt die Beobachtung und Rechnung auch bei dem Kondensator *B* befriedigend überein.

Da bei den späteren Messungen kleine Plattenkondensatoren, welche die zu untersuchende Substanz enthalten, in Parallelschaltung mit einem Drehkondensator benutzt wurden, schien es erwünscht, zu untersuchen, ob keine störende gegenseitige Beeinflussung der Kondensatoren stattfindet.

Bedeutet in Fig. 5 C_1 die Kapazität des Drehkondensators, C_2 diejenige des Plattenkondensators, so muß gelten:

$$C = C_1 + C_2.$$

Fig. 5.

Der Drehkondensator war ein kleiner Kondensator Modell „Liliput $\frac{1}{4}$ “ von Dr. C. Seibt mit einer Maximalkapazität von ca. 360 cm; dabei entsprach 1 Teilstrich ca. 2 cm. Die linke Klemme des Kondensators (bei aufrechter Skala) war mit der Hülle verbunden.

Die Messungen wurden mit Hilfe der Maxwellschen Methode vorgenommen, und zwar bei 250 Aufladungen in der Sekunde. Die mit der Hülle verbundene Klemme war bei den Messungen geerdet. Die Schaltungskapazität der Meßanordnung betrug 14,65 cm. Als Kapazität C_2 diente eine mit kreisförmigen Stanniolplatten belegte Ebonitscheibe. Sie wurde bei den Messungen in das auf p. 413 beschriebene Gestell eingeklemmt, dessen Kapazität ca. 2 cm betrug.

Die Ergebnisse dieser Messung sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt.

Tabelle 7.

Parallelschaltung von Kondensatoren	Kapazitäten
1. Drehkondensator (auf Teilstrich 157°) und leeres Gestell parallel	$C_1 = 324,36 \text{ cm}$
2. Ebonitplatte allein	$C_2 = 27,79 \text{ „}$
3. Drehkondensator und Ebonitplatte im Ge- stell parallel	$C = 352,23 \text{ „}$
Berechneter Wert	$C = C_1 + C_2 = 352,15 \text{ cm}$

Die Übereinstimmung zwischen dem beobachteten und dem berechneten Werte ist also auf 0,2 Prom. genau.

Mit demselben Ergebnis wurde die Prüfung mit dem großen Plattenkondensator *A* ausgeführt bei einem Plattenabstand von 5,82 mm.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der Unterschied zwischen berechneter und beobachteter Kapazitätssumme der parallelgeschalteten Kondensatoren nie 2 Prom. übersteigt, also für die vorliegenden Messungen nicht in Betracht kommt (vgl. auch p. 433).

Zu den Messungen stand zuerst ein Drehkondensator (Luftkondensator) der Telefunken-Gesellschaft mit einer Höchstkapazität von ca. 1000 cm zur Verfügung, der mir von Hrn. Prof. Wehnelt in liebenswürdiger Weise für diese Messungen überlassen worden war. Der Kondensator besitzt eine isolierte Hülle; er wurde nach der Maxwellschen Methode bei 250 Unterbrechungen in der Sekunde geeicht. Dabei war die eine Klemme geerdet. Die Teilung des Kondensators geht bis 180°; sie wurde bei den Messungen jedoch nur bis 50° benutzt. Die Kapazitäten zwischen 0° und 50° sind, um die Werte genauer entnehmen zu können, durch eine mittels Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate gefundenen Formel

$$(18) \quad C = 32,5 + 5,44 \alpha$$

dargestellt worden.

Für die Messungen wurden die nach der obigen Formel berechneten Werte benutzt.

Die späteren Messungen wurden mit dem bereits erwähnten (vgl. p. 425) Seibtschen Drehkondensator (Luft-

kondensator) „Liliput $\frac{1}{4}$ “ ausgeführt, bei dem besonders für kleine Kapazitäten eine größere Genauigkeit zu erzielen ist, da 1° ca. 2 cm entspricht, gegenüber 5,4 cm bei dem Telefunkenkondensator. Die linke Klemme ist, wie bereits erwähnt, mit der Hülle verbunden. Der Kondensator wurde nach der Maxwellschen Methode mit zwei verschiedenen Frequenzen (166 bzw. 250 pro Sekunde) gemessen, wobei die linke Klemme geerdet wurde. Die erhaltenen Werte und die daraus gebildeten Mittelwerte sind in der folgenden Zusammenstellung wiedergegeben.

Tabelle 8.

Kapazität des Drehkondensators „Liliput“.

Einstellung α	Kapazität		
	$n = 166$	$n = 250$	Mittel
0°	20,0 cm	20,2 cm	20,1 cm
5	19,6 „	20,0 „	19,8 „
10	20,2 „	20,2 „	20,2 „
15	—	23,9 „	23,9 „
20	33,0 „	33,2 „	33,1 „
30	—	53,5 „	53,5 „
50	—	95,8 „	95,8 „
60	116,6 „	—	116,6 „
70	—	138,8 „	138,8 „
90	—	180,6 „	180,6 „
110	—	224,2 „	224,2 „
120	245,5 „	245,5 „	245,5 „
130	—	266,8 „	266,8 „
150	—	307,9 „	307,9 „
160	328,3 „	328,1 „	328,2 „
170	347,8 „	348,1 „	347,9 „
175	—	357,7 „	357,7 „
180	362,3 „	362,9 „	362,6 „

Der Kondensator kann, wie aus der Tabelle 8 ersichtlich ist, erst von etwa 10° an benutzt werden.

E. Beschreibung der Meßeinrichtungen und Methoden.

I. *Maxwellsche Methode.* Die Maxwellsche Methode wurde in der Anordnung benutzt, wie sie von Hrn. Giebe eingehend beschrieben worden ist.¹⁾ Sowohl hinsichtlich der Apparatur wie Ausführung der Methode kann auf die zitierte Arbeit verwiesen werden. Hier sei beides nur kurz erläutert.

1) E. Giebe, Zeitschr. f. Instrumentenk. 29. p. 269, 301. 1909.

Die schematische Schaltung zeigt Fig. 6, in welcher C den Kondensator bedeutet. V ist eine Gleichstromquelle (meist 80 Volt), G ein Galvanometer, das mit Spiegelablesung als Nullinstrument benutzt wird.

Der Kondensator wird mit Hilfe eines rotierenden Unterbrechers U , der gleichfalls in der zitierten Abhandlung beschrieben ist, abwechselnd periodisch aufgeladen und kurzgeschlossen.

Die Widerstände der Brücke (w_1 , w_2 und w_3) sind so bemessen, daß w_1 sehr klein und w_2 sehr groß ist, während w_3 in der Mitte liegt.

Fig. 6.

Der den Kondensator enthaltende Brückenweig hat den Scheinwiderstand $1/nC$, wenn n die Anzahl der Aufladungen in der Sekunde bedeutet. Dann berechnet sich nach der Brückengleichung die Kapazität zu

$$(19) \quad C = \frac{1}{n} \cdot \frac{w_1}{w_2 \cdot w_3} \cdot 1)$$

Wenn die Widerstände in Ohm angegeben sind, erhält man die Kapazität in Farad.

Im folgenden ist zur Orientierung ein Meßbeispiel angegeben.

Meßbeispiel.

21. September 1916.

Dünne Ebonitplatte mit Stanniolbelegungen von 2,51₂ cm Radius im Gestell parallel zum Liliputkondensator, der auf 157° eingestellt ist.

Die linke Klemme des Kondensators ist geerdet.

Messung der Unterbrechungszahl n

1. Marke . . . — 0,49 sec
2. Marke . . . 71,74 sec

Zeitdauer für 10 Marken: $10x = 72,23$ sec, also

$$n = \frac{1800}{x} = \frac{1800}{7,22_2} = 249,2,$$

$$V = 80 \text{ Volt.} \quad w_1 = 10 \, \Omega$$

$$w_2 = 10000 \, \Omega.$$

1) Für größere Werte der Kapazität ist die nach der vorstehenden Formel berechnete Kapazität mit einem von Thomson angegebenen Korrektionsfaktor zu multiplizieren, der aber bei den hier in Betracht kommenden Kapazitäten zu vernachlässigen ist (vgl. Giebe l. c.).

Einstellung:

$$w_2 = 9844 \, \Omega$$

$$\text{kommutiert} = 9844 \, \Omega$$

$$\text{Mittel} = 9844 \, \Omega.$$

Hieraus folgt:

$$C = \frac{1}{n} \cdot \frac{w_1}{w_2 \cdot w_2} = 407,6_s \cdot 10^{-12} F$$

$$\left. \begin{aligned} &= 366,8_s \, \text{cm} \\ \text{Schaltungskapazität} &= 14,6_s \, \text{cm} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{Ergebnis } \underline{352,2_s \, \text{cm.}}$$

II. *Der Thomsonsche Schwingungskreis.* Ein Thomson-scher Schwingungskreis besteht aus einer Selbstinduktion L , die in Reihe mit der zu messenden Kapazität C (in diesem Falle also mit zwei parallelen Kondensatoren) geschaltet ist (vgl. Fig. 7).

Besitzt der Schwingungskreis noch einen Widerstand R so ist das logarithmische Dekrement des Schwingungskreises

$$A = \frac{R}{2L} T.$$

Bezeichne ν die Frequenz, ω die Kreisfrequenz, so ist

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi\nu}{\lambda},$$

wo v die Lichtgeschwindigkeit und λ die Wellenlänge bedeutet.

Es gilt dann im Falle der Resonanz im quasistationären Zustande die Gleichung

$$(20) \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} - \left(\frac{A\nu}{\lambda}\right)^2.$$

Bei den vorliegenden Messungen war der Widerstand des Schwingungskreises und infolgedessen das logarithmische Dekrement so klein, daß man an Stelle der obigen Gleichung die Thomsonsche Resonanzformel

$$(21) \quad \omega^2 LC = 1$$

setzen kann. Bei konstanter Wellenlänge ist also das Produkt LC konstant. Da die Selbstinduktion bei den Messungen stets ungeändert blieb, ergibt die Resonanzstellung stets den gleichen Gesamtwert der Kapazität. Es wurde nun in der Weise verfahren, daß zunächst die Resonanzeinstellung des Drehkondensators bei leerem Gestell, welche der Kapa-

zität C entsprach, ermittelt wurde; wenn nun der zu untersuchende Körper in das Gestell eingeführt wurde, ergab sich eine andere Einstellung des Drehkondensators für die Resonanz, aus der sich entsprechend eine Kapazität C_1 ermitteln ließ. Die Kapazität C_2 des zu messenden Kondensators war dann zu berechnen als (vgl. p. 425)

$$(22) \quad C_2 = C - C_1.$$

Die Erregung des Schwingungskreises geschah entweder durch die ungedämpften Schwingungen einer *Poulsenlampe* oder durch *Stoßerregung*, worauf weiter unten näher eingegangen wird.

Fig. 7.

Fig. 8.

Zur Feststellung der Resonanz diente ein aperiodisch gedämpfter Detektorkreis mit Gleichstromgalvanometer, der in Fig. 8 dargestellt ist. D bezeichnet einen durch eine Schraube regulierbaren Kontaktdetektor (Siliciumdetektor), der mit einem Blockkondensator B von $2 \mu F$ und der Kopplungsspule K in Reihe liegt. Parallel zu dem Blockkondensator liegt ein Zeigergalvanometer von Hartmann & Braun mit 40 Teilstrichen.

Die im folgenden näher beschriebenen beiden Methoden lassen im allgemeinen keine größere Genauigkeit als ca. 2 Proz. zu.

Erregerkreis mit Poulsenlampe. Die *Meßanordnung* zeigt Fig. 9. Der Lichtbogen der Poulsenlampe P brannte in einer Atmosphäre von Wasserstoff und wurde nach dem Vorgange von Hrn. Lindemann durch eine stromdurchflossene Spule in langsamer Rotation erhalten. Die Kupferelektrode der Lampe wurde durch zirkulierendes Wasser gekühlt. Als Gleichstromquelle V diente eine Spannung von 240 Volt.

In den Gleichstromkreis war eine Drosselspule $Dr.$ und ein Beruhigungswiderstand aus Nernstschen Eisendrähten im Vakuum (R) eingeschaltet.

Die Wechselstromseite des mit der Poulsenlampe gekoppelten Erregerkreises I bestand aus einem drehbaren Luftkondensator C , der Selbstinduktivität L und der Kopplungsspule K' , welche sich in großer Entfernung von dem Erregerkreis I und von dem Meßkreis II befand, um die Rückwirkung des Meßkreises II auf den Erregerkreis zu ver-

Fig. 9.

meiden. Da die Koppelung also sehr lose war, stand nicht zu befürchten, daß im Meßkreis zwei verschiedene Frequenzen auftreten würden, wie es bei fester Koppelung auch bei Resonanz der Fall ist.

Der Meßkreis II wurde gebildet aus den bereits erwähnten parallelgeschalteten Kapazitäten des beschriebenen Drehkondensators „Liliput“ C_1 und des Meßkondensators C_2 . Die Selbstinduktion bestand in einer Normalspule N von $6 \cdot 10^{-3}$ Henry und wurde gebildet durch Litzendraht, der auf einen Glaszylinder von großem Durchmesser aufgewickelt war.

Der Indikatorkreis III war der schon oben beschriebene Detektorkreis mit Gleichstromamperemeter G , dessen Kopplungsspule K dem Meßkreis so weit genähert wurde, daß das Amperemeter bei Resonanz einen größeren Ausschlag zeigte. Die genaue Resonanzeinstellung des Drehkondensators C_1 wurde durch Aufnahme einer Resonanzkurve ermittelt (vgl. das Beispiel weiter unten).

Vor den Messungen wurde zunächst der Meßkreis so eingestellt, daß die Nulleinstellung des Liliputkondensators ca. 150° — 160° betrug. Dies entspricht, unter Berücksichtigung der oben angegebenen Induktivität von $6 \cdot 10^{-3}$ Henry und der Kapazität von 308 bzw. 328 cm, einer Wellenlänge von 2710 bzw. 2780 m, die im folgenden rund zu 3000 m angegeben ist. Der Erregerkreis wurde mit Hilfe des variablen Kondensators *C* so abgestimmt, daß er sich in Resonanz mit dem Meßkreis befand.

Die Einstellungen wurden im Hin- und Rückgang abgelesen. Man mußte darauf achten, nach Einstellung des Kondensators sich etwas von demselben zu entfernen, weil sonst durch den Einfluß der Kapazität des eigenen Körpers die Einstellung merklich gefälscht wurde.

Der Detektor war nicht in Abhängigkeit von der Stromstärke geeicht, so daß die mitgeteilten Zahlen der Stromstärke nicht proportional sind. Im vorliegenden Falle kommt es aber auch nur darauf an, die Lage des Maximums der Kurve festzustellen.

Meßbeispiel (26. September 1916).

Tabelle 9.

Liliputkondensator mit leerem Gestell (Nullpunktskurve).

α Einstellung des Dreh- kondensators	Ausschlag des Galvanometers		
	Hingang	Rückgang	Mittel
147,5°	7,6°	7,5°	7,5°
148	10	10	10
148,5	13	15	14
149	20	21	20,5
149,5	27,5	29,5	28,5
150	38	38,5	38,2
150,5	37,8	36	36,9
151	27	26	26,5
152	14	12	13
153	7,5	—	7,5

Aus diesen Werten wurde die folgende Resonanzkurve konstruiert, aus der sich die Resonanzeinstellung zu $150,2^{\circ}$ bzw. 308,1 cm ergibt (vgl. Fig. 10, p. 427, Tab. 8).

Fig. 10.

Zur Untersuchung der Geltung des Summengesetzes bei zwei parallelgeschalteten Kondensatoren wurden der große Plattenkondensator *A* (bei verschiedenen Abständen) und der Liliputkondensator parallelgeschaltet. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle 10.

Tabelle 10.
Prüfung des Summengesetzes der Kapazitäten.

1	2	3	4	5
Abstand des Plattenkondensators	Einstellung des „Liliput“	Entsprechende Kapazität in cm	Kapazität	
			gemessen in cm	berechnet nach Kirchhoff in cm
0,9 mm	30,5°	54,7	288,0	289,0
1,47 „	81,4	162,5	180,2	180,0
4,52 „	136,3	279,0	63,7	62,1
Kondensat. allein (Nullpunkt)	167,1	342,7	—	—

Die Werte der Spalte 4 sind gebildet aus der Differenz der Kapazitäten des leeren Kondensators (vgl. unterste Zeile) und der in Spalte 3 angegebenen.

Spalte 5 zeigt die nach der Kirchhoffschen Formel berechneten Werte.

Die berechneten und gemessenen Zahlen sind in genügender Übereinstimmung.

Erregerkreis mit Löschfunken (Stoßerregung). Die bei der Erregung durch Löschfunken benutzte Anordnung zeigt Fig. 11. Als Stromquelle diente eine durch einen Elektromotor angetriebenen Wechselstrommaschine M von der Frequenz $\nu = 500$. Die Stromstärke der Erregung E dieser Maschine konnte vom Versuchsraum aus reguliert werden,

Fig. 11. Anordnung nach Dr. Lindemann.

so daß man auf diese Weise die günstigsten Bedingungen herstellen konnte. Die Maschine war unter Vorschaltung einer Drosselspule D mit der Primärseite eines Transformators T verbunden, dessen Sekundärspule durch die Löschfunkenstrecke F geschlossen wurde.

Parallel zur Löschfunkenstrecke lag der Schwingungskreis I, der gebildet wurde aus einem Kondensator C_1 in Form einer Leidnerflasche von ca. 10000 cm Kapazität in Reihe mit einer Selbstinduktionsspule L_1 .

Zwischen den Erregerkreis I und den Meßkreis III war noch ein Schwingungskreis II eingeschaltet.

Bei diesem wurde die Kapazität aus einer Leidnerflasche Pr (Preßgaskondensator) gebildet, zu der ein verstellbarer Plattenkondensator Pl parallelgeschaltet war.

Dieser war zusammengesetzt aus 5 im Durchmesser ca. 1 m großen Platten, deren Abstand durch eine scherenförmige Anordnung verändert werden konnte.¹⁾ Im übrigen wurde der Kreis durch eine große Schleife K aus dickem Kupferdraht geschlossen.

Die Dämpfung war bei dieser Anordnung durch besondere Maßregeln auf ein sehr geringes Maß herabgedrückt.

Der günstigste Kopplungsgrad der Spulen, bei dem der Löschfunken abreißt, wurde durch Versuche experimentell festgestellt.

Der Meßkreis III bestand wieder aus den beiden parallelgeschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 sowie einer Induktivität von geringer Dämpfung.

Kreis IV bezeichnet den bereits beschriebenen Detektorkreis, der zur Aufnahme der Resonanzkurven diente.

Die erhaltenen Resonanzkurven weisen wegen der sehr geringen Dämpfung der Anordnung eine große Schärfe auf.

Auch hier wurde das Summengesetz für Kapazitäten geprüft und bestätigt gefunden. Man kann also zusammenfassend sagen, daß bei dem Thomsonschen Schwingungskreis bis herab zu 300 m ($\nu = 10^6$) Wellenlänge eine Eichung des Drehkondensators mittels eines Plattenkondensators, wie zu erwarten stand, nicht nötig ist.

III. *Lechersche Anordnung.* Die hauptsächlich benutzte Lechersche Anordnung (Fig. 12) bestand aus einem von fünf Akkumulatoren betriebenen Induktorium J , das durch eine Funkenstrecke F von variablem Abstände geschlossen war. Die von der Funkenstrecke ausgehenden Drähte endigten in zwei Zinkplatten Z_1 (30×30 cm), die in ihrer Ebene verschoben werden konnten (vgl. H. Rubens l. c.).

Fig. 12.

1) Vgl. H. Diesselhorst, Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. 1 p. 262. 1907.

Diesen gegenüber standen zwei kleinere quadratische Platten Z_2 (10×10 cm), deren Abstand gegen die Primärplatten veränderlich war. Mittels der hierdurch gebildeten Kondensatoren war das Lechersystem elektrostatisch mit dem Erregerkreis gekoppelt. Zur Vergrößerung der Kapazität des primären Lecherkreises I konnte zwischen die Lecherschen Drähte D ein variabler Plattenkondensator (Luftkondensator) C' geschaltet werden. Die Lecherdrähte hatten eine Länge von 3,5 m und waren in einem gegenseitigen Abstand von 8 cm ausgespannt. Eine verschiebbare Brücke B teilte das System in zwei aufeinander abstimmbare Teile I und II. Am Ende des Systems befanden sich die beiden zueinander parallelgeschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 bzw. ein weiter unten beschriebener verschiebbarer Plattenkondensator, der zur absoluten Bestimmung der Dielektrizitätskonstante benutzt wurde (vgl. den Abschnitt „Plattenverschiebungsmethode“).

Als Indikatoren für die Resonanz dienten entweder eine Neonröhre oder ein Thermoelement mit Gleichstromgalvanometer.

Die Neonröhre war mit aufgeschobenen Außenelektroden versehen, von denen meist nur die eine in metallischer Berührung mit dem einen Lecherdraht stand. Dadurch wurde es erreicht, daß sich von der mit dem Drahte verbundenen Elektrode eine Lichterscheinung ausbreitete, die sich um so weiter in die Röhre erstreckte, je stärker die Amplitude der Schwingung war (vgl. Fig. 13a).

Fig. 13.

Auf diese Weise konnte die Resonanz durch maximale Länge des Lichtzeigers ermittelt werden. Für diesen Zweck eignen sich die Röhren, die in der Mitte nicht verjüngt sind, besser als die anderen (vgl. Fig. 13b).

Macht man eine genügend große Anzahl Einstellungen mit der Röhre hintereinander und mittelt diese, so erhält man ausreichend genaue Werte.

Eine genauere und dazu reproduzierbare Ermittlung der Resonanzstellung ist möglich durch Aufnahme einer Resonanz-

kurve mittels des oben erwähnten Thermoelementes *T*. Dieses bestand aus Cu-Konstantandrähten und war in ein Vakuumröhrchen eingeschlossen. Die Energie wurde von den Drähten kurz vor der Einmündung derselben in den Kondensator durch die Rubensschen Fläschchen *Fl* abgenommen. Das Thermo-
element befand sich direkt unterhalb der Flaschen. Als Galvanometer *G* wurde ein Drehspulinstrument mit objektiver Spiegelablesung benutzt. Die Wellenlänge, die nur der Größenordnung nach bekannt zu sein brauchte, wurde mit Hilfe eines Slabyschen Stabes in der Nähe der Funkenstrecke gemessen.

Die Messungen wurden so ausgeführt, daß das Induktorium vom Platze des Beobachters aus betätigt werden konnte. Die Zeitdauer des Stromschlusses wurde mittels eines Metronoms für jeden Punkt der entsprechenden Resonanzkurve gleich groß gewählt (meist 3 Sekunden). Der diesem Stromschluß entsprechende ballistische Ausschlag wurde an der Skala abgelesen und aus der graphisch aufgetragenen Resonanzkurve die Resonanzstellung des Drehkondensators ermittelt. Wegen der verhältnismäßig starken Dämpfung der Wellen sind die Kurven nicht so scharf ausgeprägt wie beim Thomsonschen Schwingungskreis.

Da man es bei dieser Anordnung mit nicht quasi-stationären Zuständen zu tun hat, so stellen auch die parallel geschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 einen Schwingungskreis dar, so daß man nicht mehr ohne weiteres aus der Einstellung des Drehkondensators mit Hilfe der Formel

$$C_2 = C - C_1$$

die zu messende Kapazität ermitteln kann. Es tritt folgendes ein:

Man betrachte das Kondensatorsystem am Ende der Lecherdrähte (Fig. 14).

Ist die Kapazität des Drehkondensators C_1 so groß, daß die Kapazität C_2 des zu messenden Körpers dagegen verschwindet, so schwingt hauptsächlich der Teil BC_1 als sekundäres System.

Fig. 14.

Hierin ist C groß gegen L . Dabei gilt für Resonanz die Gleichung $\omega\sqrt{LC} = 1$. Man kann sich nun vorstellen, daß wenn man etwa den Drehkondensator auf Null stellt, also aus dem System entfernt, die in C_2 zuzuschal-

tende Kapazität nicht der ausgeschalteten bei C_1 entspricht. Denn jetzt schwingt das System BC_2 mit größerer Selbstinduktion, folglich kleinerer Kapazität, da $\omega \sqrt{LC} = 1$ bestehen bleibt. Aus dieser Überlegung ergibt sich also, daß die bei C_2 eingeschaltete Kapazität, wenn sie einen größeren Betrag annimmt, zu groß gemessen wird. Man kann ferner ersehen, daß der Einfluß des Schwingungskreises C_1C_2 um so geringer werden wird, je weiter die Brücke nach dem primären Ende des Lechersystems gerückt ist und je kürzer die Verbindung zwischen den beiden Kondensatoren gewählt wird.

Daher kann wohl bei dem oben angegebenen Beispiel ohne weiteres die nach der Maxwellschen Methode ermittelte Kapazität des Kondensators eingesetzt werden; doch ist dies nicht mehr der Fall, wenn sich das zu messende Dielektrikum im Gestell befindet. Für diesen Fall müssen vielmehr die der Einstellung des Kondensators entsprechenden Kapazitäten durch eine besondere Eichung ermittelt werden. Zu dieser Eichung diente der früher erwähnte große Plattenkondensator A , bei dem der Plattenabstand durch zwischengelegte Glasstückchen verändert werden konnte. Auch hierbei wurden die Resonanzeinstellungen mit Hilfe der Resonanzkurven nach der oben angegebenen Weise ermittelt, aus denen mit Hilfe der oben erwähnten Eichkurven die wahren Kapazitätswerte abgeleitet wurden. Da aus verschiedenen Gründen die Messungen häufig für längere Zeit unterbrochen werden mußten, so war es notwendig, jedesmal eine neue Eichung vorzunehmen.

Die Eichkurven wurden teils so aufgetragen, daß man aus der Einstellung des Drehkondensators C_1 die eingeschaltete Kapazität des Kondensators C_2 direkt ablesen kann, teils so, daß sich aus der am Drehkondensator ausgeschalteten Kapazität die wirkliche zu messende Kapazität des Kondensators C_2 ergibt.

In welcher Weise die Lage der Resonanz auf dem Kondensator und ihre Güte (Höhe der Resonanz und Schärfe) von den verschiedenen Faktoren des Lecherschen Systems abhängt, wurde durch eine besondere Untersuchung festgestellt.

Es wurde geprüft:

Der Einfluß der Brückenstellung;

der Einfluß der Zusatzkapazität am primären Ende des Systems (Abstand der Kondensatorplatten);

der Einfluß der Funkenstrecke und
der Einfluß der Koppelung.

Die Resultate sind hier nicht mitgeteilt worden. Für Resonanzhöhe und Breite konnte ein gemeinsames Optimum festgestellt werden.

IV. *Absolute Messungen nach der Plattenverschiebungsmethode.* Außer mit den parallelgeschalteten Kondensatoren wurden mit der Lecherschen Anordnung (bei 10 m) und mit dem Poulsenkreis (bei 3000 m) Messungen mit einem verschiebbaren Plattenkondensator ausgeführt, der die absolute Dielektrizitätskonstante sicherer und bequemer zu messen gestattet, als es mit der Belegungsmethode möglich ist. Auch hierbei treten zahlreiche Fehlerquellen auf, über deren Größe und Sinn man nur schwer etwas aussagen kann. Nur soweit, als die Methode unabhängig von der Plattendicke richtige Werte für gewisse Normalsubstanzen liefert, deren Dielektrizitätskonstante auch nach anderen Methoden mit dem gleichen Ergebnis ermittelt worden ist, hat man sichere Anhaltspunkte für die Zuverlässigkeit der Messungen.

Das Prinzip der Plattenverschiebungsmethode besteht darin, daß einmal die Resonanzstellung ohne zwischengelegtes Dielektrikum, das andere Mal mit demselben festgestellt wird. Dazu ist eine bestimmte Verschiebung δ der Platten notwendig. Ist d die Dicke des zu messenden Dielektrikums, so berechnet sich die Dielektrizitätskonstante nach der Formel

$$(23) \quad D = \frac{d}{d - \delta} .$$

Der beschriebene Plattenkondensator ist bereits von Hrn. Rubens benutzt worden. Der Apparat besteht aus zwei horizontal gelagerten, auswechselbaren Platten, deren obere fest montiert ist, während die untere senkrecht zu ihrer Ebene mittels einer feinen Mikrometerschraube meßbar verschoben werden kann. Für zuverlässige Messungen muß der Apparat und besonders die Schlittenführung sehr sorgfältig gearbeitet sein. Ferner ist nach einer mündlichen Mitteilung von Hrn. Rubens folgende Vorsichtsmaßregel nötig, um einwandfreie Resultate zu erzielen. Liegt das Dielektrikum auf der unteren Platte des Kondensators auf, so wird durch den Druck desselben der horizontale Tragarm etwas durchgebogen und die Platte senkt sich um eine geringe Größe. Daher ist es not-

wendig, den Druck des Dielektrikums auf den Tragarm auch dann wirken zu lassen, wenn sich dasselbe nicht im Kondensator befindet. Dies kann dadurch erreicht werden, daß man entweder Gewichte anhängt, die der Schwere des Dielektrikums entsprechen, oder dieses selbst in eine kleine, an dem Tragarm hängende Tasche einlegt. Wendet man diese Vorsichtsmaßregel nicht an, so erhält man offenbar, besonders für schwere Platten, zu kleine Werte der Dielektrizitätskonstanten. Daraus erklären sich vielleicht die Angaben in der Mitteilung früherer Beobachter, daß diese Methode unbrauchbare und wesentlich zu kleine Werte liefert.

Um die Verhältnisse möglichst zu variieren, konnten verschieden große Platten (Durchmesser ca. 3,3, 4,5 und 5,0 cm) in den Apparat eingesetzt werden. Die meisten Beobachtungen wurden mit zwei verschieden großen Plattenpaaren angestellt (vgl. Versuchsergebnisse p. 450 u. 451).

Die Messungen selbst wurden in der folgenden Weise ausgeführt. Zunächst wurde die Brücke so eingestellt, daß man Resonanzeinstellung für möglichst geringen Plattenabstand erhielt, ohne daß Funken zwischen den Platten übersprangen; bei dieser Stellung der Brücke wurden verschiedene Messungen mit eingelegter Platte vorgenommen, darauf nach Einlegen der Platte in die Tasche doppelt soviel Einstellungen ohne Dielektrikum ausgeführt. Schließlich wurde die Platte wieder eingelegt und die erste Messung mit derselben Anzahl Einstellungen wiederholt. Auf diese Weise konnte man erkennen, ob sich bei den verschiedenen Manipulationen etwas an der Einstellung verändert hatte. Dasselbe Verfahren wurde für vier andere Brückenstellungen angewendet, bei denen sich die Kondensatorplatten in größerem Abstand befanden. Dadurch erhielt man Resonanz für verschiedene Stellen der Trommelteilung. Die erhaltenen Werte von δ wurden gemittelt.

In der folgenden Tab. 11 ist zur Erläuterung ein Meßbeispiel vollständig wiedergeben.

Messung von O. 118 (O. 2051) 10. Oktober 1916.

$\lambda = \text{ca. } 10 \text{ m.}$

Durchmesser der Kondensatorplatten = 5,0 cm.

Tabelle 11.

Meßbeispiel für die Plattenverschiebungsmethode.
Einstellungen mit (m.) und ohne (o.) Dielektrikum. Dicke $d = 2,000$ mm.

m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.
5,470	3,740	5,499	3,790	5,538	3,800	5,571	3,832	5,612	3,863
482	740	494	771	537	810	571	850	608	869
478	746	502	760	538	810	570	834	610	870
488	743	501	774	548	810	580	832	611	880
468	739	508	777	547	800	560	836	610	873
469	751	508	769	550	809	571	830	615	868
469	740	495	790	536	812	573	840	604	873
482	740	503	778	531	806	565	849	613	872
460	738	511	760	538	806	570	835	612	873
482	750	511	770	538	806	581	832	608	876
5,475	3,743	5,503	3,774	5,540	3,807	5,571	3,837	5,610	3,872
$\delta = m - o$	1,732	—	1,729	—	1,733	—	1,734	—	1,738
$d - \delta$	0,268	—	0,271	—	0,267	—	0,266	—	0,262
									Mittel 0,267

$$D = \frac{d}{d - \delta} = \frac{2,000}{0,267} = 7,49.$$

In der Tabelle sind für fünf Brückenstellungen die Resonanzeinstellungen der Trommel mit und ohne Platte (m. und o.) angegeben.¹⁾ In der Spalte m. entsprechen die über dem Strich befindlichen Zahlen den ersten Einstellungen mit Platte. Darauf sind die in der Spalte o. enthaltenen Zahlen aufgenommen, schließlich die unter dem Strich der Spalte m. stehenden.

Unter jeder Spalte sind die Mittelwerte und die daraus sich ergebenden Größen δ und $d - \delta$ angegeben. Aus d und dem Gesamtmittel von $d - \delta$ ist die Dielektrizitätskonstante D ermittelt worden.

Die Plattenverschiebungsmethode wurde außer bei $\nu = 3 \cdot 10^7$ im Lecherkreis auch bei $\nu = 3 \cdot 10^5$ im Poulsenkreis verwendet.

Von verschiedenen Glassorten der Firma Schott & Gen. waren mehrere Platten aus demselben Material vorhanden. Um zu sehen, ob es einen Unterschied gäbe, wenn man nur eine Glasplatte mißt oder deren mehrere im Plattenverschiebungsapparat aufeinanderschichtet, wurden einige Kontrollversuche angestellt, deren Ergebnisse im folgenden kurz zusammengestellt sind. Die Werte stimmen mit den übrigen innerhalb der Fehlergrenzen.

1) Die Trommeleinstellungen ergeben direkt Millimeter.

Tabelle 12.

Plattenverschiebungsmethode mit mehreren Platten.

Material	Dielektrizitätskonstante		
	mit 3 Platten	mit 2 Platten	mit 1 Platte
*O. 1266 (O. 1353)	—	7,64	7,86
O. 381 (O. 2074)	6,93	7,04	6,81
O. 118 (O. 2051)	7,37	7,44	7,46
O. 1209 (O. 1993)	—	8,30	8,41

Von den Gläsern wurden stets zwei identische Exemplare gemessen, deren Werte in der großen Tabelle gemittelt wurden. Um zu zeigen, wie die Einzelwerte miteinander übereinstimmen, wurden dieselben in der folgenden Tab. 13 zusammengestellt, in der auch die anderen Substanzen, von denen zwei Exemplare vorhanden waren, aufgeführt sind.

Tabelle 13.

Mittelwerte der Dielektrizitätskonstante.

Mittel		Mittel	
3.} O. 118	7,20 } 7,19	14. Quarz $\perp$	4,48 }
4.}	7,18 }	15. „ $\perp$	4,46 } 4,45
5.} O. 1266	7,64 } 7,60	16. „ $\perp$	4,42 }
6.}	7,57 }	17. Ebonit	3,04 }
7.} O. 381	6,84 } 6,76	18. „	3,00 }
8.}	6,68 }	19. Gummi, nat. I .	2,76 }
12.} Quarz, amorph .	3,66 } 3,66	20. „ „ II .	2,78 }
13.} .	3,67 }	21. „ synth. I	2,76 }
		22. „ „ II	2,76 }

Da die für das schwerste Silikatflint S. 461 nach der Plattenverschiebungsmethode ausgeführten Messungen auffallend hohe Werte ergaben (17,3 bzw. 17,5), wurden noch Kontrollmessungen mit Belegung vorgenommen, die für $\nu = 10^5$ und 10^6 den Wert 16,3 ergaben (vgl. p. 447, 448). Da die Plattenverschiebungsmethode für hohe Dielektrizitätskonstanten ungenau wird, wenn die Messung in Luft vorgenommen wird, wurden von Hrn. Rubens nach dieser Methode Messungen in Benzol statt in Luft ausgeführt. Das bietet den Vorteil, daß $d - \delta$ um die Größe der Dielektrizitätskonstanten von Benzol, also rund um das 2,3fache, vergrößert, somit hierbei eine größere Empfindlichkeit der Einstellung erzielt wird. Bei diesen Messungen wurde für das oben erwähnte Glas der

Wert 15,5 bei $\nu = 3 \cdot 10^7$ gefunden. Der Wert 16,3 kommt dem wahren Werte der Dielektrizitätskonstanten für die Glassorte S. 461 sicherlich nahe. In analoger Weise wurden auch bei einer Anzahl anderer Substanzen die Dielektrizitätskonstanten in Luft wie in Benzol, zum Teil von Hrn. Rubens, zum Teil von mir ermittelt. Über die Verwertung der auf die verschiedenen Weisen erhaltenen Zahlen vgl. Tabelle auf p. 452, 453.

F. Versuchsergebnisse.

Die aus den Beobachtungen abgeleiteten Ergebnisse (bei der Maxwellschen Methode unmittelbar die Kapazitäten, bei den anderen die Resonanzeinstellungen und die daraus abgeleiteten Kapazitäten) sind zusammen mit den berechneten Leerkapazitäten und den hieraus ermittelten Dielektrizitätskonstanten für die einzelnen Methoden im folgenden zusammengestellt. Die Zusammenstellung der erhaltenen Resultate folgt auf p. 452—454.

Die Tabellen 14—19 (p. 445—451) enthalten die Versuchsergebnisse für

- I. Maxwells Methode ($\lambda = 2 \cdot 10^6$ m)
- II. Poulsenkreis ($\lambda = 3000$ m)
- III. Löschfunktenskreis ($\lambda = 300$ m)
- IV. Lecheranordnung ($\lambda = 30\text{—}40$ m)
- V. Plattenverschiebungsmethode ($\lambda = 10$ m)
- VI. „ „ „ „ „ ($\lambda = 3000$ m)

Die Nummern der Materialien auf allen Tabellen entsprechen den auf p. 414—415 für diese Stoffe angegebenen Nummern. Die erste Spalte enthält das Material, die zweite die Dicke der Platten in Millimetern.

I. Maxwellsche Methode. In Spalte 3 der Tab. 14 ist der Radius der Belegung in Zentimetern angegeben, in Spalte 4 die nach Gleichung (13) p. 420 berechnete Leerkapazität ($C_0 = c_{12}$). Die Unterbrechungszahl n (vgl. p. 428 u. 429) befindet sich in Spalte 5, die gemessene Kapazität abzüglich der Größe $c = R/\pi$ in Spalte 6 und die daraus abgeleitete Dielektrizitätskonstante D in Spalte 7.

Ebonit (17 und 18) wurde mit zwei verschiedenen Belegungen ($R = 2,51_5$ und $1,49$ cm) gemessen. Die damit erhaltenen Werte der D.K. sind in guter Übereinstimmung.

Marmor und Gips sind mit verschiedenen Unterbrechungen ($n = 250$ und 160) untersucht und zeigen zwischen diesen auch keinen Unterschied.

Bei Glas O.1993 (9) ist zu bemerken, daß davon zwei schmale Stücke von gleicher Dicke zur Verfügung standen, die möglichst dicht aneinandergelegt und zwischen die Platten eines kleinen Luftkondensators von 5 cm Durchmesser gebracht wurden, weil eine Belegung mit Stanniolplatten dieser Größe technisch schwer ausführbar war. Um den Einfluß des zwischen den Glasplatten befindlichen Spaltes zu ermitteln, wurde dieser bei der einen Messung absichtlich verbreitert, wodurch aber nur eine geringe Änderung der D.K. auftrat (vgl. Tabelle). Rückte man die Platten nun wieder zusammen, so erhielt man genau den ursprünglichen Wert. Jedoch ergab sich die daraus berechnete D.K. als zu klein (5,5 gegen 8,3 bei der Plattenverschiebungsmethode bei $\nu = 10^5$ und $3 \cdot 10^7$). Eine Wiederholung der Kapazitätsmessung nach der Maxwellschen Methode ergab wieder den kleinen Wert, so daß also der Fehler an der Art des Aufliegens der Belegung usw. liegen mußte. Die Messung wurde deshalb mit einem einzigen Glasstück vorgenommen, das mit einer kleinen Stanniolbelegung von 3,25 cm Durchmesser versehen war, die mit Ricinusöl aufgeklebt wurde. Es ergab sich als D.K. in Übereinstimmung mit den Messungen nach der Plattenverschiebungsmethode $D = 8,23$. Der hohe Wert ist also tatsächlich der richtige. Dementsprechend sind auch die bei anderen Frequenzen erhaltenen Zahlen korrigiert worden. Die Durchführung der Messungen bei anderen Frequenzen mit kleiner Belegung mußte wegen Einberufung zum Heeresdienst unterbleiben. Aus den beschriebenen Messungen ist aber ersichtlich, daß man selbst für ziemlich kleine Belegungen noch einigermaßen brauchbare Werte für die D.K. erhalten kann.

Beim Gips (Nr. 36) waren die Belegungen zunächst mit Wasser aufgeklebt. Dabei erhielt man aber unzuverlässige Werte; es stellte sich heraus, daß das Material Spalten enthielt, in die das Wasser eindrang. Als dagegen die Belegungen mit Öl befestigt worden waren, erhielt man dieselbe Kapazität wie bei den anderen Frequenzen.

Die Gläser O.381 (Nr. 7 u. 8 der Tabelle) ließen auf Leitfähigkeit oder Oberflächenleitung schließen; denn das

Galvanometer kroch nach Abgleichung der Widerstände noch weiter. Diese Gläser zeigten bei der Maxwellschen Methode ($\nu = 250$) auffallend hohe Werte der D.K. Die Kapazität des Glases mit Belegung betrug bei der Maxwellschen Methode ca. 51 cm, während die anderen Methoden nur ca. 40 cm ergaben. Wenn Oberflächenleitung die Ursache dieser Erscheinung bildete, so war zu vermuten, daß diese Fehlerquelle durch Abkochen des Glases nach der Vorschrift von Hrn. Warburg beseitigt werden konnte. Das Verfahren wurde daher bei diesem Glase angewendet, worauf die Stanniolbelegungen mit Öl befestigt wurden; die Messung der Kapazität ergab dann 41,1 cm. Der Unterschied gegen die anderen Messungen liegt also schon innerhalb der Fehlergrenzen. Dieser

Tabelle 14.

I. Versuchsergebnisse bei Maxwellscher Methode (1 bis $2 \cdot 10^6$ m.)

	1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Material	Dicke mm	Radius der Beleg. cm	Leer- kapaz. cm	"	Kapaz. gemess. — R/π cm	D
3	O. 118 (O. 2051) a	2,00	2,50 ₇	8,528	250	60,17	7,06
4	O. 118 (O. 2051) b	2,00	2,50 ₇	8,528	250	60,77	7,15
5	O. 1266 (O. 1353) a	2,00	2,51 ₅	8,600	250	66,21	7,70
6	O. 1266 (O. 1353) b	2,00	2,52 ₅	8,664	250	65,71	7,59
7	O. 381 (O. 2074) a	1,99 ₅	2,04 ₅	5,769	250	(50,92)	(8,82) ¹⁾
8	O. 381 (O. 2074) b	1,99 ₅	2,05 ₀	5,97 ₉	250	(53,86)	(9,29) ¹⁾
9	O. 1209 (O. 1993)	2,00	2,48 ₀	8,704	250	48,93	(5,61)
	do. mit Spalt	2,00	2,40 ₅	8,704	250	48,63	(5,59)
	do. ohne Spalt	2,00	2,48 ₀	8,704	250	48,91	(5,61)
	do. ²⁾	2,00	1,62 ₅	3,39	250	27,9	8,23
12	Quarz amorph c	2,02 ₇	2,05 ₀	5,711	250	20,89	3,66
13	" " d	1,90 ₉	2,05 ₀	6,041	250	22,25	3,69
15	Quarz " b	2,00 ₃	2,05 ₀	5,775	250	24,89	4,32
16	" " c	2,01 ₀	2,05 ₀	5,755	250	25,53	4,43
17	Ebonit dick	3,92 ₀	2,51 ₅	4,591	250	14,27	3,11
	" "	3,92 ₀	1,49	3,07	250	9,57	3,12
18	Ebonit dünn	2,04 ₀	2,51 ₅	8,400	250	26,73	3,17
	" "	2,04 ₀	1,49	1,69	250	4,99	2,95
29	" Hg ₂ Cl ₂ "	3,06 ₅	2,51 ₅	5,77 ₄	250	54,40	9,42
35	Marmor	2,71 ₀	3,15 ₀	9,998	250	83,80	8,38
	" "	2,71 ₀	3,15 ₀	9,998	166	82,05	8,20
36	Gips	2,63 ₈	2,49 ₂	6,612	250	34,36	5,21
	" "	2,63 ₈	2,49 ₂	6,612	166	34,44	5,21

1) Werte des unabgekochten Glases (vgl. Bem. p. 444).

2) Mit einer Platte und Stanniolbelegung (vgl. p. 444).

letzte Wert ist in die endgültige Tabelle aufgenommen worden. Wahrscheinlich ist die Kapazität durch längeres Abkochen noch etwas herabzudrücken. Ferner ist aber auch zu bedenken, daß nach Herausnehmen des Glases aus dem Exsikkator bis zur Messung eine kleine Zeit verstreicht. Bei längerem Stehen an der Luft zeigte sich jedenfalls ein deutliches Ansteigen der scheinbaren Kapazität bzw. D.K., so daß nach genügend langer Zeit der alte Wert wieder erreicht wurde. Hieraus ergibt sich die Regel, daß man bei Anwendung von Schwingungen geringer Frequenz Gläser abkochen muß, falls man nicht eine scheinbare anomale Dispersion finden will. Diese Vermutung kann auch noch darin eine Stütze finden¹⁾, daß das Glas O. 381 im Katalog der Firma Schott & Gen. zur höchsten hydrolytischen Klasse gezählt und dementsprechend mit dem Zeichen h_5 versehen ist (p. 414).

Die anderen Gläser sind bei der Maxwellschen Methode nicht abgekocht worden; die Notwendigkeit dieses Verfahrens wurde erst gegen Schluß der Arbeit erkannt, und es blieb wegen Einberufung zum Heeresdienst keine Zeit mehr, die anderen Gläser auf dieselbe Weise zu behandeln. Es ist daher möglich, daß die betreffenden Werte noch etwas zu hoch sind.

II. *Poulsenkreis*. In Spalte 3 der Tab. 15 ist wieder der Radius der Belegung, in Spalte 4 die in derselben Weise berechnete Leerkapazität angegeben. Spalte 5 enthält die Einstellung des Drehkondensators in Verbindung mit dem Dielektrikum, Spalte 7 die unter Berücksichtigung des jeweiligen Nullpunkts (Spalte 6) ermittelte Kapazität, abzüglich der Erdkapazität $R/2\pi$. Spalte 8 zeigt die Dielektrizitätskonstante D . Die geschmolzenen Salze KBr und KJ (32 u. 33) ergaben keine zuverlässigen Einstellungen; vielmehr änderte sich diese etwas während des Stromdurchganges. Die Ursache dieser Erscheinungen ist auf den Umstand zurückzuführen, daß die Platten porös waren und daß Öl in die Poren eindrang. Ebenso ist AgBr unsicher. Für einige der Materialien sind Kontrollmessungen angestellt worden, die meist zu Mittelwerten vereinigt sind.

1) Vgl. H. Rubens, Über Reflexionsvermögen und Dielektrizitätskonstante einiger amorpher Körper. p. 1280. 1916.

III. *Löschfunkenkreis*. Die Tab. 16 ist genau so eingerichtet wie beim Poulsenkreis; auch hier wurden zum Teil Kontrollbeobachtungen angestellt, die meist zu Mittelwerten vereinigt wurden.

IV. *Lecherkreis mit parallelgeschalteten Kondensatoren*. Die Spalten 2, 3 und 4 der Tab. 17 entsprechen denen

Tabelle 15.

II. Versuchsergebnisse beim Poulsenkreis.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Nr.	Material	Dicke in mm	Radius d. Belegung cm	Leerkap. berechnet cm	Einst. mit Dielektr.	Einst. ohne Dielektr.	Kapaz. — $R/2\pi$ gemessen cm	D
1	Glas violett . .	1,73	2,51	9,848	135,2 ⁰	168,2 ⁰	67,0	6,81
2	Glas weiß . . .	2,24	2,51	7,729	140,6	168,2	56,2	7,28
3	O. 118 (O. 2051)	2,00	2,51	8,528	121,2	150,2	59,8	7,01
4	"	2,00	2,51	8,528	121,2	150,2	59,8	7,03
5	O. 1266 (O. 1315)	2,00	2,51	8,600	119,0	150,2	64,2	7,47
6	"	2,00	2,52	8,664	118,8	150,2	64,8	7,48
7	O. 381 (O. 2074)	1,99	2,04	5,769	131,3	150,2	38,8	6,72
8	"	1,99	2,05	5,797	131,3	150,2	38,8	6,69
9	O. 1209 (O. 1993)	2,00	2,48	8,704	127,7	150,2	46,4	5,33
12	Quarz amorph .	2,03	2,05	5,711	143,3	153,3	20,6	3,61
13	" "	1,91	2,05	6,041	142,5	153,3	22,4	3,71
14	Quarz II . . .	1,93	2,05	5,980	155,0	168,2	26,3	4,40
14	"	2,00	2,05	5,775	140,8	153,3	25,5	4,41
16	"	2,01	2,05	5,755	141,0	153,3	25,4	4,41
17	Ebonit	3,92	2,51	4,591	160,9	168,2	14,2	3,09
18	"	2,04	2,51	8,440	155,2	168,2	25,7	3,04
19	Gummi nat. I .	1,75	2,52	9,840	123,9	137,9	28,1	2,85
20	" " II . . .	1,96	2,51	8,760	156,1	168,2	24,1	2,75
21	Gummisynthet. I	1,94	2,51	8,836	155,8	168,2	24,5	2,77
22	" " II . . .	1,86	2,51	9,195	155,6	168,2	25,2	2,74
23	AgCl	1,12	2,76	17,892	66,0	168,2	213,9	11,90
24	AgBr	0,93	2,76	21,991	44,0	168,2	263,1	11,90
25	AgCN	2,18	2,76	9,502	143,8	168,2	49,3	5,19
26	TiCl	1,49	2,05	7,639	60,0	168,2	227,1	29,7
27	TiBr	1,95	2,05	5,925	92,0	168,2	159,4	26,9
29	Hg ₂ Cl ₂	3,06	2,51	5,774	127,2	153,3	53,6	9,30
					141,2	168,2	55,0	9,52
30	NH ₄ Cl	3,14	2,54	5,756	148,7	168,2	39,5	6,85
31	NH ₄ Br	2,84	2,52	6,225	145,1	168,2	46,7	7,50
32	KBr	2,58	3,01	9,601	146,5	168,2	43,7	4,55
33	KJ	2,86	3,59	12,288	141,0	168,2	55,1	4,48
34	Fluorit	2,17	2,25	6,432	147,1	168,2	42,3	6,58
35	Marmor	2,71	3,15	9,998	109,2	150,2	85,3	8,53
36	Gips	2,64	2,49	6,612	133,9	150,2	33,3	5,03
40	S. 461	4,99	2,00	2,164	120,3	137,8	35,4	16,3

Tabelle 16.
III. Versuchsergebnisse beim Löschfunkenkreis.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Nr.	Material	Dicke in mm	Radius d. Belegung cm	Leerkap. berechnet cm	Einst. mit Dielekt.	Einst. ohne Dielekt.	Kapaz. — $R/2\pi$ gemessen cm	D
1	Glas violett . .	1,73	2,51	9,848	121,4 ^o 121,7	153,4 153,4	66,4 66,1	6,75 6,71
2	Glas weiß . . .	2,24	2,51	7,729	126,9	153,4	54,6	7,07
3	O. 118 (O. 2051)	2,00	2,51	8,528	120,4	149,9	60,7	7,11
4	„	2,00	2,51	8,528	120,7	149,9	60,6	7,13
5	O. 1266 (O. 1315)	2,00	2,51	8,600	118,9	149,9	64,2	7,46
6	„	2,00	2,52	8,664	118,7	149,9	64,6	7,46
7	O. 381 (O. 2074)	1,99	2,04	5,769	130,9	149,9	39,2	6,79
8	„	1,99	2,05	5,797	131,2	149,9	38,3	6,61
9	O. 1209 (O. 1993)	2,00	2,48	8,704	124,9	149,9	50,3	5,78
12	Quarz amorph .	2,03	2,05	5,711	141,2	151,3	20,4	3,58
13	„ „	1,91	2,05	6,041	140,7	153,4	21,7	3,59
14	Quarz „	1,93	2,05	5,980	140,7	153,4	26,3	4,40
15	„	2,00	2,05	5,775	138,8	151,3	25,2	4,37
16	„	2,01	2,05	5,755	138,8	151,3	25,3	4,40
17	Ebonit	3,92	2,51	4,591	146,7	153,4	13,9	3,03
18	„	2,04	2,51	8,440	141,3	153,4	24,8	2,94
19	Gummi nat. I .	1,75	2,52	9,840	126,2	140,0	28,1	2,85
20	„ „ II .	1,96	2,51	8,760	141,6	153,4	24,5	2,80
21	Gummisynthet. I	1,94	2,51	8,836	141,6	153,4	24,5	2,77
22	„ „ II	1,86	2,51	9,195	141,3	153,4	25,0	2,72
23	AgCl	1,12	2,76	17,892	56,2	153,4	206,1	11,5
24	AgBr	0,93	2,76	21,991	26,7 20,8	153,4 149,9	267,7 262,5	12,3 11,9
25	AgCN	2,18	2,76	9,502	130,1	153,4	47,6	5,01
26	TiCl	1,49	2,05	7,639	53,4 45,5	153,4 151,3	211,7 223,8	29,35
27	TiBr	1,95	2,05	5,925	79,6 75,1	153,4 151,3	156,0 161,0	26,35 27,1
29	Hg ₂ Cl ₂	3,06	2,51	5,774	127,2 125,4	153,4 151,3	54,1 54,1	9,37 9,37
30	NH ₄ Cl	3,14	2,54	5,756	134,1 132,1	153,4 151,3	39,6 39,4	6,88 6,85
31	NH ₄ Br	2,84	2,52	6,225	131,2 129,9	153,4 151,3	45,8 44,1	7,36 7,09
32	KBr	2,58	3,01	9,601	127,8 132,7	149,9 153,4	45,3 42,6	7,29 4,44
33	KJ	2,86	3,59	12,288	130,2 128,3	151,3 153,4	43,0 51,2	4,48 4,16
34	Fluorit	2,17	2,25	6,432	127,9	151,3	47,9	4,42
35	Marmor	2,71	3,15	9,998	133,1	153,4	41,7	6,49
36	Gips	2,64	2,49	6,612	113,0	153,4	84,0	8,40
40	S. 461	2,64	2,49	6,612	137,0 133,1	153,4 149,9	33,8 34,2	5,11 5,17
		4,99	2,00	2,164	122,6	139,9	35,4	16,3

Tabelle 17.

IV. Versuchsergebnisse beim Lecherkreis (30—40 m).

Nr.	1 Material	2 Dicke mm	3 Radius d. Beleg. cm	4 Leerkap. berechnet cm	5 Einstellung		6 Kapaz. $R/2\pi$ cm	7 D
					leer	mit Platte		
1	Glas violett . .	1,73 ₂	—	18,92	89,3 ⁰	65,7 ⁰	126,6	6,83
2	Glas weiß . . .	2,24 ₁	—	18,92	89,3	65,8	128,6	6,95
3	„ O. 2051 a (O. 118)	2,00	2,50 ₇	8,52 ₈	147,0	117,8	60,6	7,11
4	„ O. 2051 b (O. 118)	2,00	2,50 ₇	8,52 ₈	144,5	117,6	60,6	7,14
5	„ O. 1353 a 1266	2,00	2,51 ₅	8,60 ₀	147,0	117,0	64,25	7,48
6	„ O. 1353 b 1266	2,00	2,52 ₅	8,66 ₄	144,5	115,5	65,1	7,51
7	„ O. 2074 a (O. 381)	1,99 ₅	2,04 ₅	5,76 ₉	144,5	127,8	38,5	6,68
8	„ O. 2074 b (O. 381)	1,99 ₅	2,05 ₆	5,79 ₇	144,5	128,5	38,0	6,61
9	„ O. 1993 (O. 1209)	2,00	2,48 ₀	8,70 ₄	144,5	121,3	48,2	5,54
12	Quarz amorph c	2,02 ₇	2,05 ₀	5,71 ₁	—	153,8	20,4	3,57
13	„ „ d	1,90 ₉	2,05 ₀	6,04 ₁	—	135,4	21,5	3,56
15	Quarz „ b . .	2,00 ₃	2,05 ₀	5,77 ₅	146,2	134,5	25,1	4,34
16	„ „ c . .	2,01 ₀	2,05 ₀	5,75 ₅	—	134	25,5	4,43
17	Ebonit dick . .	3,92 ₀	2,51 ₅	4,59 ₁	—	160,5	14,0	3,05
18	„ dünn . .	2,04 ₀	2,51 ₅	8,44 ₀	—	115	25,1	2,97 ₅
19	Gummi nat. I .	1,75 ₄	2,51 ₅	9,73 ₄	168	154,5	25,6	2,63
20	„ „ II	1,96 ₁	2,51 ₅	8,76 ₀	168	155	24,6	2,81
21	Gummi synthet. I	1,94 ₃	2,51 ₅	8,83 ₆	168	155	24,6	2,79
22	„ „ II	1,86 ₃	2,51 ₅	9,19 ₅	168	154,5	25,6	2,79
23	AgCl	1,12 ₂	2,76 ₁	17,89 ₂	—	68	204,5 ₆	11,42
24	AgBr	0,92 ₈	2,76 ₁	21,99 ₁	—	42,5	278,6	12,7
25	AgCN	2,18 ₀	2,76 ₁	9,50 ₂	—	110,5	48,7	5,1 ₁
26	TiCl	1,48 ₈	2,05 ₀	7,63 ₉	—	60,5	218,7	28,6
27	TiBr	1,94 ₉	2,05 ₀	5,92 ₅	—	94,5	151,7	25,6
29	Hg ₂ Cl ₂	3,06 ₅	2,51 ₅	5,77 ₄	—	120,5	54,2	9,3 ₈
30	NH ₄ Cl	3,14 ₀	2,54 ₂	5,75 ₆	—	149	38,8	6,74
						90,8	42,7	6,81
31	NH ₄ Br	2,84 ₀	2,52 ₃	6,22 ₅	—	92	48,7	7,14
34	Fluorit	2,17 ₄	2,25 ₅	6,43 ₂	—	147	42,15	6,57
						146		
35	Marmor	2,71 ₀	3,15 ₀	9,99 ₈	—	127	83,5	8,35
36	Gips	2,63 ₈	2,49 ₂	6,61 ₂	—	149,5	33,6	5,08

der früheren Tabellen. In Spalte 5 sind die Einstellungen des leeren Kondensators und desselben mit Platte nebeneinander angegeben. Aus diesen beiden Zahlen ergibt sich die mittels der Eichkurve (vgl. p. 438) ermittelte Kapazität (vgl. Spalte 6), von der noch der Wert $R/2\pi$ abgezogen ist. Spalte 7 enthält die Dielektrizitätskonstanten.

V. *Plattenverschiebung im Lecherkreis bei $\lambda = 10\text{ m}$ ($\nu = 3 \cdot 10^7$).*
Die Tab. 18 enthält direkt die Dielektrizitätskonstanten für die verschiedenen Plattengrößen (3,3, 4,5 und 5,0 cm) und die daraus gebildeten Mittelwerte. Um nochmals die Zuverlässigkeit der Anordnung zu prüfen, wurden zuerst einige bekannte Stoffe wie Fluorit, Marmor und Steinsalz gemessen. Das Glas weiß (Nr. 2) ist nicht dasselbe Stück wie bei den früheren Messungen, jedoch ist die Zusammensetzung die gleiche.

Die Genauigkeit der Messungen mag im Durchschnitt ca. 2 Proz. betragen.

Tabelle 18.

V. Versuchsergebnisse bei der Plattenverschiebungsmethode
(10 m) $\nu = 3 \cdot 10^7$.

Nr.	Material	d Dicke mm	D Durchmesser der Platte			D Mittel
			3,3 cm	4,5 cm	5,0 cm	
1	Glas violett . . .	1,73 ₃	6,85	6,94	—	6,89 ₅
2	Glas weiß . . .	2,24 ₁	—	7,13	7,23 ₅	7,18
3	O. 2051 a . . .	2,00	—	7,42 ₅	7,49	7,46
5	O. 1353 a . . .	2,00	—	7,75	7,97	7,86
7	O. 2074 a . . .	1,99 ₅	6,76	6,87	—	6,81 ₅
9	O. 1993 . . .	2,00	8,48	—	8,34	8,41
13	Quarz amorph d .	1,90 ₉	3,79 ₅	3,80	—	3,80
14	Quarz II a . . .	1,93 ₀	4,71	4,68	—	4,69 ₅
19	Gummi nat. I . .	1,75 ₄	2,73 ₅	2,74	—	2,74
20	„ „ II . .	1,96 ₁	—	2,76	2,79	2,77 ₅
21	Gummi synthet. I	1,94 ₃	—	2,73 ₅	2,73 ₅	2,73 ₅
22	„ „ II	1,86 ₃	2,79 ₅	2,82	—	2,81
34	Fluorit . . .	2,17 ₄	6,82	6,78	—	6,80
35	Marmor . . .	2,71 ₀	—	8,34	—	8,34
36	Steinsalz . . .	3,12	—	6,04	—	6,04
38	Glas schwarz II .	2,53 ₇	—	7,31	—	7,31
39	Glas weiß II . .	2,46 ₅	—	7,16	—	7,16
40	Silikatflint . . .	4,99	—	17,70	—	17,70
41	Phosphatkron . .	5,00 ₅	—	6,43	—	6,43
42	Fluorkron . . .	5,01 ₉	—	5,89	—	5,89
43	Uviolglas . . .	1,80	—	5,61	—	5,61

VI. *Plattenverschiebungsmethode im Thomsonkreis bei 3000 m* ($\nu = 10^5$). Ganz in derselben Weise wie unter V. wurden die Substanzen mit der Plattenverschiebungsmethode bei $\nu = 10^5$ gemessen, wobei der Plattenverschiebungsapparat parallel zum Drehkondensator in den Thomsonschen Schwingungskreis eingeschaltet wurde (vgl. Tab. 19).

Tabelle 19.
Versuchsergebnisse bei der Plattenverschiebungsmethode
($\lambda = 3000 \text{ m}$, $\nu = 10^5$).

Nr.	Material	Dicke der Platte d mm	D	Nr.	Material	Dicke der Platte d mm	D
1	Glas violett . .	1,732	6,85	29	Hg ₂ Cl ₂	3,06	9,14
3	O. 118 (O. 2051)	2,00	7,44	30	NH ₄ Cl	3,14	6,74
5	O. 1266 (O. 1353)	2,00	7,91	31	NH ₄ Br	2,84	6,95
7	O. 381 (O. 2074)	1,995	6,95	32	KBr	2,58	4,44
9	O. 1209 (O. 1993)	2,00	8,33	34	Flußspat	2,174	6,80
12	Quarz amorph.	1,909	3,72	35	Marmor	2,710	8,31
15	Quarz II	1,93	4,65	36	Gips	2,638	5,15
18	Ebonit	2,04	2,94	37	Steinsalz	3,12	5,795
19	Gummi nat. I.	1,754	2,75	38	Glas schwarz II	2,537	7,47
21	Gummi synth. I	1,943	2,77	39	Glas weiß II . .	2,465	7,16
23	AgCl	1,122	11,12	40	Silikatflint . .	4,99	17,46
24	AgBr	0,928	12,25	41	Phosphatkron .	5,005	6,40
25	AgCN	2,18	5,07	42	Uviolglas . . .	1,800	5,66
26	TiCl	1,488	28	43	Fluorkron . . .	5,019	5,84

G. Zusammenstellung der Resultate und Vergleichung mit anderen Beobachtern.

In der Tab. 20 sind die Kapazitäten für die verschiedenen Frequenzen zusammengestellt, bei denen die Substanzen mit Belegung gemessen wurden. Da die Größe der Belegung bei den angegebenen Wellenlängen nicht in allen Fällen genau dieselbe war, so sind die Zahlen nicht ohne weiteres vergleichbar. Der Vergleich ist erst möglich nach Berechnung der Dielektrizitätskonstanten, die in der darauffolgenden Tabelle 21 aufgeführt sind. Hier ist hinter dem Material zunächst die ungefähre Kapazität (Spalte 2) angegeben, die das Dielektrikum mit Belegung besaß. Aus der Größenordnung derselben läßt sich ein Schluß darauf ziehen, welche Genauigkeit man etwa erwarten darf. Die Genauigkeit ist

naturgemäß bei kleinen Werten prozentisch geringer als bei großen. Da in keinem einzigen Falle eine außerhalb der Fehlergrenze liegende Änderung der D.K. mit der Wellenlänge mit Sicherheit festgestellt werden konnte, so wurden die bei den verschiedenen Frequenzen nach der Belegungs-

Tabelle 20.
Zusammenstellung der gemessenen Kapazitäten in cm.

Nr.	Wellenlänge in m Schwingungszahl ν	$1,2 \cdot 10^6$ 250	3000 10^5	300 10^6	30—40 10^7
	Material				
1	Glas violett	—	67,0	66,4	—
2	Glas weiß	—	56,2	54,6	—
3	O. 118 (O. 2051) a . . .	60,17	59,8	60,7	60,6
4	O. 118 (O. 2051) b . . .	60,77	59,8	60,6	60,6
5	O. 1266 (O. 1353) a . . .	66,21	64,2	64,2	64,25
6	O. 1266 (O. 1353) b . . .	65,71	64,8	64,6	65,1
7	O. 381 (O. 2074) a . . .	41,10	38,8	39,2	38,5
8	O. 381 (O. 2074) b . . .	—	38,8	38,3	38,0
9	O. 1209 (O. 1993) . . .	27,9 ¹⁾	—	—	—
12	Quarz, amorph.	20,89	20,6	20,4	20,4
13	Quarz, amorph.	22,25	22,4	21,7	21,5
14	Quarz II	—	26,35	26,3	—
15	„ „	24,89	25,5	25,2	25,1
16	„ „	25,53	25,4	25,3	25,5
17	Ebonit	14,27	14,2	13,9	14,0
18	„	26,73	25,7	24,8	25,1
19	Gummi nat. I	—	28,1 ²⁾	28,1 ²⁾	25,6
20	„ „ II	—	24,1	24,5	24,6
21	Gummi synthet. I . . .	—	24,5	24,5	24,6
22	„ „ II	—	25,2	25,0	25,6
23	AgCl	—	213,9	206,15	204,5
24	AgBr	—	263,15	265,0	278,6
25	AgCN	—	49,35	47,65	48,7
26	TlCl ³⁾	—	227,1	223,8	218,7
27	TlBr ³⁾	—	159,4	158,0	151,7
29	Hg ₂ Cl ₂	54,4	55,0	54,1	54,2
30	NH ₄ Cl	—	39,5	39,6	40,0
31	NH ₄ Br	—	46,7	45,8	48,7
32	KBr	—	43,7	43,0	—
33	KJ ⁴⁾	—	55,1	51,2	—
34	Fluorit	—	42,3	41,75	42,15
35	Marmor	82,9	85,3	84,0	83,5
36	Gips	34,4	33,3	33,8	33,6
40	S. 461	—	35,4	35,4	—

1) Vgl. die Ausführungen p. 444.

2) Die Belegungen sind hier andere als bei $\nu = 10^7$.

3) Einfluß von Leitung.

4) Vgl. die Bemerkung über die Porösität der Platte.

Tabelle 21.
Endergebnisse.

Nr.	Wellenlänge in m Schwingungszahl ν	Material	Kap. rund in cm	Belegungsmethode				Plattenverschiebungsmethode				Gesamt- mittel a	Gesamtmittel b	
				1,2 · 10 ⁶	3000	300	30—40	Mittel	3000	10 ⁵	10		Auf nor- male Dichte reduz.	13
				250	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷				Mittel			
1	Glas violett . .		127	—	6,81	6,73	6,83	6,79	6,85	6,90	6,87	6,83	6,84	—
2	Glas weiß . . .		129	—	7,28	7,07	6,95	7,10	7,18	7,18	7,18	7,14	7,15	—
3, 4	O. 118 (O. 2051)		61	7,10	7,02	7,12	7,13	7,09	7,44	7,45	7,44	7,27	7,32	—
5, 6	O. 1266 (O. 1353)		64,5	7,65	7,48	7,46	7,50	7,50	7,91	7,80	7,85	7,67	7,73	—
7, 8	O. 381 (O. 2074)		38	7,10	6,71	6,70	6,65	6,73	6,95	6,81	6,85	6,79	6,81	—
9	O. 1209 (O. 1993)		28	8,33	—	—	—	8,33	8,33	8,41	8,37	8,35	8,34	—
12	Quarz amorph . .		20	3,66	3,61	3,58	3,57	3,60	3,72	3,80	3,76	3,68	3,71	—
13	„ „ . . .		22	3,69	3,71	3,59	3,56	3,64	—	3,80	3,80	3,72	3,75	—
14	Quarz . . .		26	—	4,40	4,40	—	4,40	—	4,65	4,65	4,52	4,57	—
15	„ „ . . .		25	4,32	4,41	4,37	4,34	4,36	4,65	4,65	—	4,50	4,55	—
16	„ „ . . .		25	4,43	4,41	4,40	4,43	4,42	—	—	—	—	—	—
17	Ebonit		14	3,11	3,09	3,03	3,05	3,07	—	2,94 _R	2,94	3,00	2,98	—
18	„ „		25	3,17	3,04	2,94	2,97	3,04	2,94	2,94	2,94	2,99	2,97	—
19	Gummi nat. I. . .		30	—	2,85	2,85	2,63	2,77	2,75	2,74	2,74	2,76	2,75	—
20	„ „ synthet. I . .		25	—	2,75	2,80	2,81	2,79	2,77	2,77	2,77	2,78	2,78	—
21	„ „ synthet. II . .		25	—	2,77	2,77	2,79	2,78	2,77	2,73	2,75	2,77	2,76	—
22	AgCl		25	—	2,74	2,72	2,79	2,75	—	2,81	2,81	2,78	2,79	—
23	„ „		206	—	11,90	11,50	11,42	11,60	11,12	10,9 _R	11,0	11,30	11,20	—
24	AgBr		265	—	11,90	12,18	12,70	12,20	12,25	12,1 _R	12,15	12,20	12,17	—

Tabelle 21 (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Wellenlänge in m		Belegungsmethode					Plattenverschiebungs- methode				Gesamtmittel <i>b</i>	
Nr.	Material	Kap. rund in cm	1,2 · 10 ⁶	3000	300	30—40	Mittel	3000	10	Gesamt- mittel <i>a</i>	5,07	Auf nor- male Dichte reduz.
			250	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷		10 ⁵	3 · 10 ⁷			
25	AgCN	48	—	5,19	5,01	5,12	5,11	5,07	5,02 _R	5,05	5,08	5,62
26	TiCl	224	—	29,7	29,35	28,60	29,20	ca. 28	—	—	29,20	46,9
27	TiBr	158	—	26,9	27,10	25,60	26,50	—	—	—	26,50	53,8
29	Hg ₂ Cl ₂	54	9,42	9,41	9,37	9,38	9,37	9,14	9,26 _R	9,20	9,28	9,36
30	NH ₄ Cl	40	—	6,85	6,86	6,81	6,83	6,74	6,62 _R	6,68	6,75	6,96
31	NH ₄ Br	45	—	7,50	7,30	7,14	7,31	6,95	6,98 _R	6,97	7,14	7,08
32	KBr	43	—	4,55	4,46	—	4,50	4,44	4,53 _R	4,48	4,49	4,61
33	KJ	50	—	4,48	4,42	—	4,45	4,26	4,21 _R	4,24	4,31	5,20
34	Fluorit	42	—	6,58	6,49	6,57	6,55	6,80	6,80	6,80	6,67	—
35	Marmor	84	8,29	8,53	8,40	8,35	8,39	8,31	8,30	8,31	8,35	—
36	Gips	34	5,21	5,03	5,14	5,08	5,11	5,15	5,05	5,10	5,11	—
37	Steinsalz	—	—	—	—	—	—	5,79 ₆	5,82 _R	5,81	5,81	—
38	Glas schwarz II	—	—	—	—	—	—	7,47	7,31	7,39	7,39	—
39	Glas weiß II	—	—	—	—	—	—	7,16	7,16	7,16	7,16	—
40	Silikatflint S. 461	—	—	—	—	—	—	17,7	17,7	17,58	16,48 ¹⁾	—
41	Phosphatkron S. 367	—	—	16,36	16,36	—	16,36	6,40	6,43	6,41	6,41	—
42	Fluorkorn O. 7185	—	—	—	—	—	—	5,84	5,89	5,87	5,87	—
43	Uviolglas	—	—	—	—	—	—	5,66	5,61	5,63	5,63	—

1) Bei der Mittelwertbildung wurde der bei Benzolfüllung beobachtete Wert 15,5 mit berücksichtigt.

methode erhaltenen Werte (vgl. Spalte 3, 4, 5, 6) in Spalte 7 zu einem Mittelwert vereinigt, ebenso die aus der Plattenverschiebungsmethode resultierenden Werte (Spalte 8, 9, 10). Aus den auf diese Weise gefundenen Mittelwerten ist ein Gesamtmittel (*a*) gebildet worden, das in Spalte 11 enthalten ist.

Die Vereinigung der nach beiden Methoden erhaltenen Dielektrizitätskonstanten ist insofern nicht unberechtigt, als keine erheblichen systematischen Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Methoden vorhanden sind. Im Durchschnitt ergeben sich die D.K. nach der Plattenverschiebungsmethode um ca. 1 Proz. größer als nach der Kondensatormethode; aber die Differenzen sind fast ebenso oft positiv wie negativ. Sie betragen durchschnittlich 3 Proz. Im allgemeinen sind, wie bereits oben bemerkt wurde, die nach der Plattenverschiebungsmethode gemessenen D.K. die genaueren. Sie sind von Hrn. Rubens ausschließlich zum Vergleich mit seinen optischen Messungen verwendet worden.

Die von Hrn. Rubens für die D.K. der Gläser angegebenen Werte sind mit denjenigen der Tab. 21 auf p. 453, Spalte 10, nicht vollkommen übereinstimmend, weil die von ihm ausgeführten Kontrollmessungen mit Benzolfüllung des Meßkondensators bei seinen Zahlen mit berücksichtigt worden sind. Die Abweichungen sind aber gegenüber den in Tab. 21 aufgeführten Werten nicht erheblich und bleiben meist unter 1 Proz.

Man wird jedoch auch den mit Hilfe der Kondensatormethode beobachteten Werten einen gewissen Einfluß auf das Endresultat einräumen dürfen. Ich habe deshalb in Spalte 12 der letzten Tab. 21 die nach beiden Methoden erhaltenen Werte zu einem zweiten Gesamtmittel (*b*) vereinigt, in welchem der Plattenverschiebungsmethode doppelt so großes Gewicht beigemessen ist als der Kondensatormethode. Diese Mittelwerte *b* unterscheiden sich von den Mittelwerten *a* nur wenig. *Sie gelten in dieser Arbeit als das Endresultat* und sind zum Vergleich mit den Ergebnissen anderer Beobachter herangezogen worden.

Nur die Werte für die aus Platten gepreßten Pulver, welche keine normale Dichte besitzen, mußten nach der Lorentz'schen Formel korrigiert werden (vgl. p. 417). Die Daten für

s und s_1 sind der Arbeit des Hrn. Rubens entnommen. Die betreffenden korrigierten Werte sind in Tab. 21, Spalte 13, aufgeführt und in Tab. 22 mit Sternchen * versehen.

Wegen des Glases O. 1993 (O. 1209) sei auf die Ausführungen p. 444 hingewiesen, ebenso wegen O. 2074 (O. 381) auf p. 444. Zwischen natürlichem und synthetischem Gummi, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach noch einen geringen Unterschied aufweisen, ist in der Dielektrizitätskonstante ein solcher nicht zu bemerken. Bei dem Silberchlorid hatte sich die Oberfläche der Platte verändert, vermutlich durch Ausscheidung von Silber; es ist daher nicht ausgeschlossen, daß das Resultat etwas gefälscht ist. Ferner kann bei den Kaliumsalzen das Eindringen von Öl in die porösen Platten von Einfluß gewesen sein.

Die D.K. für elektromagnetische Wellen von 300μ Länge sind aus den optischen Messungen des Hrn. Rubens für die langwellige Strahlung der Quecksilberlampe mit Hilfe der Fresnelschen Gleichung berechnet:

$$D = \left(\frac{10 + \sqrt{R}}{10 - \sqrt{R}} \right)^2,$$

worin R das Reflexionsvermögen in Prozenten der auffallenden Strahlung bedeutet.

Eine Zusammenstellung dieser Werte von D_{300} mit den hier erhaltenen D_∞ ist in der folgenden Tab. 22 enthalten. Die Werte von D_∞ stimmen mit den von Hrn. Rubens nach der Verschiebungsmethode gemessenen befriedigend überein.

Nur für die beiden Thalliumsalze wurden hier erheblich höhere Werte für D_∞ gefunden, was möglicherweise wiederum mit einem Eindringen des Öls in die Poren des gepreßten Pulvers zusammenhängt.

Die Werte von D_{300} bzw. D_∞ für Calomel und Gips beziehen sich auf verschiedene Kristallorientierung; daher ist der optische Wert nicht mit dem elektrischen vergleichbar.¹⁾ Die betreffende Dielektrizitätskonstante D_∞ ist aus diesem Grunde in Klammern gesetzt.

Das Gummi war schlecht politurfähig. Möglichenfalls ist deshalb das Reflexionsvermögen und auch die Dielektrizitätskonstante D_{300} zu klein ausgefallen.

1) Vgl. H. Rubens, Berl. Ber. 1913. p. 531 u. 1915. p. 18.

Tabelle 22.

Vergleichung der Ergebnisse für D_{∞} mit den optischen Daten für 300μ

Nr.	Material	Re- flexions- vermög. R für 300μ	Dielektrizitäts- konstante	
			D für 300μ	D_{∞}
1	Glas violett	19,6	6,72	6,84
2	Glas weiß	19,9	6,82	7,15
3, 4	O. 118 (O. 2051)	21,3	7,39	7,32
5, 6	O. 1266 (O. 1353)	22,4	7,82	7,73
7, 8	O. 381 (O. 2074)	19,6	6,72	6,81
9	O. 1209 (O. 1993)	23,4	8,28	8,34
38	Glas schwarz II	20,0	6,84	7,39
39	Glas weiß II	19,9	6,82	7,16
40	Schwerstes Silikatflint S. 461	35,5	15,65	16,48
41	Phosphatkron S. 367	18,1	6,17	6,41
42	Fluorkron O. 7185	16,3	5,55	5,87
43	Uviolkron U. V. 3199	15,8	5,40	5,63
12, 13	Quarz amorph	10,2	3,74	3,73
14, 15	Quarz II	13,6	4,71	4,56
17, 18	Gummi (Ebonit)	—	—	2,98
19, 20	Gummi nat.	5,53	2,60	2,76
21, 22	Gummi synthet.	5,34	2,57	2,78
23	AgCl	31,4	12,29	11,20
24	AgBr	35,6	15,70	12,17
25	AgCN	17,3	5,88	5,62*
26	TlCl	56,7	50,3	46,9*
27	TlBr	59,7	61,0	53,8*
29	Hg ₂ Cl ₂	33,5	14,05	(9,36)*
30	NH ₄ Cl	19,8	6,78	6,96*
31	NH ₄ Br	21,1	7,28	7,08*
32	KBr	14,9	5,09	4,61*
33	KJ	15,8	5,39	5,20*
34	Fluorit	19,9	6,80	6,72
35	Marmor	24,5	8,77	8,34
36	Gips.	22,1	7,69	(5,10)
37	Steinsalz	17,9	6,08	5,81

Größere Unterschiede zwischen den Werten von D_{300} und D_{∞} sind mit diesen Ausnahmen nur in solchen Fällen vorhanden, in welchen der betreffende Körper sehr langwellige Reststrahlengebiete besitzt, wie z. B. bei Bromsilber und Thalliumbromür. Im übrigen ist bezüglich der Diskussion der Zahlen auf die Arbeiten des Hrn. Rubens zu verweisen.

Zunächst war es beabsichtigt, dieselben Gläser, die von den Herren Löwe und Starke gemessen waren, auch hier zu benutzen. Die Firma Schott hatte jedoch mit Ausnahme eines Glases nur Ersatzschmelzen zur Verfügung. In der Tabelle der Materialien (Nr. 1 p. 414, 415) bedeutet die erste

Nummer die neue Schmelznummer des Katalogs; die eingeklammerte Zahl entspricht den alten Substanzen. Der chemischen Zusammensetzung nach sind die Gläser möglichst identisch. Wenn nun aber die hier erhaltenen Werte von den früher gefundenen teilweise erheblich abweichen, so könnte dies vielleicht zum Teil doch auf die andere chemische Zusammensetzung zurückgeführt werden. Indessen muß darauf hingewiesen werden, daß die auf p. 444 nachgewiesene Fehlerquelle, welche durch die Wasserhaut des Glases verursacht wird, unter Umständen eine erhebliche Rolle spielen kann. Jedenfalls würde eine solche Fehlerquelle in dem Sinne der hier beobachteten Differenz wirken. Die Platten aus amorphem Quarz (12 und 13) ergaben in dem untersuchten Intervall den Mittelwert 3,73. Thomson fand nach der Methode von Matteucci 3,78, F. A. Schulze nach der Schmidtschen Methode 3,2. Letzterer Wert ist wohl zu klein. Der Quarz 14 (ebenso 15 und 16) ist $\perp$ Achse geschnitten (die Stücke 15 und 16 nicht genau), so daß die Werte für die D.K. $\parallel$ Achse gelten. Der Mittelwert beträgt 4,57 in guter Übereinstimmung mit H. W. Schmidt (4,60). Für verschiedene Gummisorten wurden Werte zwischen 2,98 und 2,75 gefunden. Von Pellat-Sacerdote ist gemessen 2,97, von Winkelmann 2,72. Der für Steinsalz gefundene Wert 5,82 stimmt gut mit den Werten der Herren Rubens (5,82) und Curie (5,85), während Schmidt 5,50—5,60, Starke 6,29 und Pirani 6,12 angeben. Flußspat ergab den Wert 6,72, in ausreichender Übereinstimmung mit anderen Beobachtern (Rubens 6,82, Schmidt 6,70, Romisch und Nowak 6,72, Curie 6,80).

H. Schluß und Zusammenfassung.

Zunächst wurde die Kirchhoffsche Formel auf ihre Richtigkeit in verschiedener Weise experimentell geprüft und gezeigt, daß unter Berücksichtigung der Erdkapazität die Formel richtige Werte für die Kondensatoren liefert. Es ergab sich ferner, daß die hier verwendete Methode für die Messung von Dielektrizitätskonstanten mit Hilfe von Plattenkondensatoren bei sorgfältiger Messung und Berechnung angenähert richtige Resultate liefert und Werte ergibt, die auch mit den nach der Plattenverschiebungsmethode erhaltenen Zahlen ausreichend übereinstimmen.

Überblickt man das gesamte hier vorliegende Material, so kann man sagen, daß unter Berücksichtigung der Größe der Beobachtungsfehler (vgl. Tab. 21) kein Grund zur Annahme elektrischer Dispersion der untersuchten festen Körper in dem hier verwendeten Spektralbereich vorliegt.

Die vorstehenden Untersuchungen sollten ursprünglich auch auf das Bereich der kurzen Hertzischen Wellen ausgedehnt werden. Dies mußte jedoch aus Mangel an Zeit unterbleiben, da meine Einberufung zum Heeresdienste den sofortigen Abschluß der Arbeit notwendig machte. Aus dem gleichen Grunde mußte von der Ausführung mancher wünschenswerten Ergänzungs- und Kontrollmessungen Abstand genommen werden.¹⁾

Daß in der Lücke, die zwischen den von Herrn Rubens²⁾ verwendeten längsten Lichtwellen ($300\ \mu$) und den hier benutzten elektrischen Wellen (10 m) noch eine Dispersion vorhanden ist, wird nicht anzunehmen sein, zum mindesten ist eine solche zur Befriedigung der Maxwellschen Relation nicht notwendig.

Bedenkt man nun, daß die Debyesche Theorie der molikularen Dipole nur auf Flüssigkeiten anwendbar ist, feste Körper also tatsächlich keine Dispersion zeigen dürften, daß ferner unter festen Körpern in gleicher Weise die Kristalle wie die amorphen Körper zu verstehen sind, da für beide die innere Reibung im Verhältnis zu derjenigen bei Flüssigkeiten unendlich groß ist, so kann man sagen, daß das Ergebnis der Arbeit eine Stütze für die Debyesche Theorie bildet. Denn einen Repräsentanten der Klasse amorpher Körper bildet in erster Linie Glas, von dem eine größere Anzahl möglichst verschiedener Sorten hier untersucht wurde, ohne daß sich eine Dispersion feststellen ließ. Auf das Verhalten hygroskopischer Gläser und die dabei zu befolgenden Vorsichtsmaßregeln sei hier nochmals hingewiesen.

1) Unterdessen sind von Herrn Rubens Messungen mit Hertzischen Wellen von $\lambda = ia\ 5,7\text{ cm}$ an 5 Krystallen und 5 Gläsern der hier untersuchten Materialien ausgeführt worden. (Vgl. Ber. d. Berl. Akad. 1917, p. 556.) Sie ergaben ausreichende Übereinstimmung mit den Zahlen dieser Arbeit, sodaß damit auch innerhalb dieser Lücke den hier untersuchten Substanzen keine Dispersion zukommt.

2) H. Rubens, Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1917, p. 556.

Zum Schluß ist noch zu betonen, daß die Resultate der Arbeit zunächst nur soweit Geltung haben, als sie sich auf das bis jetzt untersuchte Material beziehen. Besonders ein Punkt bedarf noch der Erwähnung, der möglicherweise zu anderer Auffassung Anlaß geben könnte, als sie sich aus den vorliegenden Messungen ergibt. Das ist die dielektrische Nachwirkung, wie sie von Pellat, Maxwell, und neuerdings von K. W. Wagner¹⁾ und Ulfilas Meyer²⁾ behandelt wurde. Sie kann zu Änderungen der Dielektrizitätskonstante bei ganz langen Wellen Ursache geben. Sollte eine solche gefunden werden, so wäre es aber erst Sache einer präziseren Begriffsbestimmung, zu entscheiden, ob diese Erscheinung als Dispersion im gewöhnlichen Sinne anzusehen ist.

1) K. W. Wagner, Arch. f. Elektrotechnik. 2. p. 371. 1914.

2) Ulfilas Meyer, Verh. d. D. phys. Ges. 19. p. 139. 1917.

(Eingegangen 26. Oktober 1917.)