## Sechstes Kapitel.

# Dielektricitätskonstanten.

### § 1. Theoretische Einleitung.[1]

Neben der Leitfähigkeit, durch welche für jeden Stoff die bei gegebener Temperatur konstante Fähigkeit gemessen wird, die Elektricität zu leiten, die Elektricitätsmengen transportieren, kommt als zweite konstante Größe die Fähigkeit in Betracht, bei gegebener Potentialdifferenz die elektrostatische Anziehung und Abstoßung in die Ferne zu transportieren. Diese Fähigkeit ist für jeden Stoff (Dielektrikum) verschieden, aber für ein und denselben Stoff eine von der chemischen und physikalischen Natur desselben abhängige Konstante. Man bezeichnet dieselbe als die Dielektricitätskonstante und setzt die Dielektricitätskonstante der Luft gleich 1.

In Anbetracht der Bedeutung dieser Konstanten, der Fähigkeit, die elektrostatischen Wirkungen bei gegebener Potentialdifferenz zu transportieren, kann man diese Erscheinung in Analogie zu den gewöhnlichen Leitfähigkeitserscheinungen als dielektrische Leitfähigkeit bezeichnen.

Die Analogie zwischen galvanischer und dielektrischer Leitfähigkeit wird am anschaulichsten, wenn wir uns eine Substanz in einem prismatischen Troge vom Querschnitt $q$ und der Länge $l$ befindlich und die beiden Endseiten des Troges durch Elektroden gebildet denken; sei $E$ die Klemmspannung der Elektroden, so ist die Stromintensität durch den Ausdruck $E \cdot K \cdot \frac{q}{l}$, die elektrostatische Anziehung der Elektroden durch $E^2 D \frac{q}{l}$ gegeben, worin $K$ die galvanische, $D$ die dielektrische Leitfähigkeit bedeutet; wir werden, wie allgemein üblich, $K$ für Quecksilber, $D$ für Luft gleich Eins setzen.

Man kann nun $D$ identisch mit obiger Definition, auch als den Faktor definieren, der die Verminderung der elektrostatischen Anziehung zweier geladener Kugeln angiebt, wenn wir sie bei

[1] Nernst, Ztschr. f. phys. Chemie XIV, S. 622.

konstant erhaltenem Abstand und Ladungen in das betreffende, als absolut nichtleitend vorausgesetzte, dielektrische Medium bringen, oder auch, was für das Folgende wichtig ist, als das Verhältnis der Kapazitäten $\left(\frac{\text{Elektricitätsmenge}}{\text{Potential}}\right)$ eines mit der dielektrischen Substanz erfüllten Kondensators zu einem gleichen, mit der Normalsubstanz, der Luft, erfüllten Kondensator.

Die Dielektricitätskonstante, welche man kurz als *D. E.* bezeichnet, ist eine für die chemische Natur des betreffenden Dielektrikums sehr charakteristische Konstante. Da aus den einleitenden Worten hervorgeht, daß die Beziehungen für absolut nicht leitende Medien gelten, so ist es bei der dielektrischen Leitfähigkeit leitender Substanzen von großer Wichtigkeit, den Einfluß galvanischer Leitfähigkeit völlig auszuschließen.

Die Bestimmung der *D. E.* auch leitender Substanzen wird uach der von NERNST[1] angegebenen und ausgearbeiteten Methode ausgeführt.

## § 2. Die Methode der Messung.

### A. Prinzip der Methode.

Dasselbe beruht auf der WHEATSTONE'schen Brückenkombination. In der nebenstehenden Skizze (Fig. 101) seien $w_1$ und $w_2$ zwei kapazitätsfreie Widerstände, $c_1$ und $c_2$ zwei gut isolierende Kondensatoren. Dann liefert beim Schließen und Öffnen nur dann das Galvanomer keinen Ausschlag, wenn

$$w_1 : w_2 = c_2 : c_1$$

ist. Ersetzt man die konstante Säule und das Galvanometer durch Induktionsrolle und Telephon, so schweigt dasselbe nur dann, wenn obige Proportion erfüllt ist. Da nun die Kapazität eines Kondensators direkt proportional der *D. E.* des benutzten Isolators ist, so kann man auf diesem Wege die *D. E.* sehr gut isolierender Substanzen einfach und genau bestimmen.

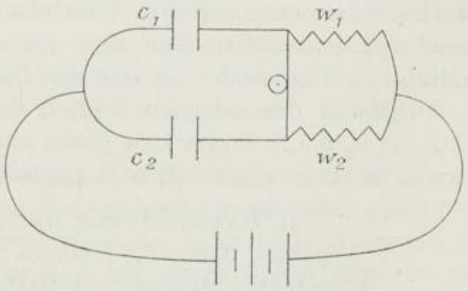

Fig. 101. Prinzip der Methode.

[1] A. a. O.

Sobald jedoch eine schlechte Isolierung seitens des Kondensators auch nur in geringem Maße die Wirkungen galvanischer Leitfähigkeit in Wirksamkeit läßt, liefert diese Methode unbrauchbare Resultate.

Durch einen ebenso einfachen, wie sinnreichen Kunstgriff hat Nernst diese Schwierigkeit umgangen. Er giebt in Fig. 101 dem zweiten Kondensator $c_2$, wenn $c_1$ schlecht isoliert, durch einen Nebenschluß ebenfalls eine geeignete galvanische Leitfähigkeit.

Wählt man, wie es auch für die praktische Anwendung am einfachsten ist, den Fall, daß $w_1 = w_2$ ist und bezeichnet den Widerstand des schlecht isolierenden Kondensators $c_1$ mit $w_3$, den des am Kondensator $c_2$ angelegten Nebenschlusses mit $w_4$, so muß das Telephon zum Schweigen kommen, wenn sowohl

$$c_1 = c_2$$

als auch

$$w_3 = w_4$$

ist.

Man beobachtet am Telephon sowohl bei der Veränderung von $c_2$ wie von $w_4$ ein Tonminimum, von denen dies erstere als Kapazitäts-, das letztere als Widerstandsminimum bezeichnet sei. Man erhält also durch direkte Messung sowohl Leitfähigkeit wie Kapazität des mit der dielektrischen Substanz beschickten Kondensators $c_1$, indem man diese Größen ja nur an der Kapazität des Meßkondensators $c_2$ und dem Widerstande des Nebenschlusses $w_4$, welcher kapazitätsfrei sein muß, abzulesen braucht. Das Verhältnis der Kapazitäten ist das der Dielektrizitätskonstanten.

Um von den relativen Werten derselben auf die absoluten *D. E.*, d. h. die *D. E.* der Luft gleich eins gesetzt, zu kommen, bedarf man einer weiter unten zu erörternden Anordnung.

### B. Beschreibung der Apparate.

Die Apparate, deren die Methode bedarf, sind die folgenden:

1. Induktionsapparat mit Batterie;
2. Verzweigungswiderstände ($w_1$ und $w_2$);
3. Meßkondensator ($c_2$);
4. Nebenschluß ($w_4$);
5. Dielektrischer Trog ($c_1$);
6. Telephon.

I. Induktionsapparate und Batterie. Der Widerstand der primären Wicklung mag 1 Ohm betragen, derjenige der sekundären muß aus vielen Windungen bestehen, um hinreichende

Spannungen zu ergeben (ca. 300—1000 Ohm). Besondere Sorgfalt muß auf möglichst geräuschloses Arbeiten des Apparates gewandt werden. NERNST schlägt als Unterbrecher eine kurze, 10—12 cm lange Saite zur Erreichung dieses Zweckes vor. Ein dünner Stahldraht erhält ein Mittelstück aus Platin, welch letzeres im Ruhezustand an einer verstellbaren Platinkante anliegt; man nimmt dazu ein umgebogenes dünnes Platinblech. Die Enden des Mittelstückes sind mit kleinen Wülsten aus dünnem Eisendraht versehen, die sich unmittelbar vor dem Eisenkern des Induktoriums befinden.

II. Verzweigungswiderstände ($w_1$ und $w_2$). Für die Untersuchung schlecht leitender Substanzen empfiehlt sich $w_1$ und $w_2$ groß zu nehmen, man wählt am besten einen elektrolytischen Widerstand, als welcher sich eine Lösung von 181 g Mannit (1 Molekül) und 62 g Borsäure (1 Mol.) in $1^1/_2$ l Wasser wegen ihres geringen Temperaturkoëffizienten am besten eignet. Denn die Verzweigungswiderstände müssen während des Versuches völlig unverändert bleiben. Das Leitvermögen einer solchen Lösung ist $0{\cdot}9 \times 10^{-7}$. Am besten bringt man den elektrolytischen Widerstand in zwei kleine Glasröhren (ca. 13 cm hoch, 0·5 cm breit) mit unten eingeschmolzenem und zu einem Ring gebogenen Platindrähten, die mit dem einen Pole des Induktoriums in Verbindung sind, während von oben die zweite Platinelektrode leicht verschiebbar angebracht wird. Man lötet sie zu dem Zweck an eine Messingschiene, deren oberes Ende mit Klemmschrauben und einem isolierenden Ebonitknopfe versehen ist. Die Schiene ist durch eine am oberen Ende der Glasröhre angebrachte Messingfassung bequem verschiebbar.

III. Meßkondensator ($c_2$). Der Meßkondensator besteht aus zwei starken Messingplatten, die durch ein Glasplättchen geschieden und durch Ebonitverschraubungen in konstantem Abstande gehalten werden. Dieselben sind auf einem Brette montiert und mit Klemmschrauben leitend verbunden. Die Kapazität dieses Kondensators wird durch Einschieben einer Glasplatte vergrößert. Wenn die Messingplatten genau parallel sind und die Glasplatte überall gleiche Dicke besitzt, so sind die an einem Maßstabe mittels Nonius abgelesenen Verschiebungen der Glasplatte den Änderungen der Kapazität proportional. Da diese Bedingungen natürlich nie ganz erfüllt sind, wird der Kondensator ein für alle Mal kalibriert, wie weiter unten auseinandergesetzt wird.

IV. Nebenschluß ($w_4$). Der Nebenschluß $w_4$, welcher wegen der in Frage kommenden, meist sehr schlecht leitenden Substanzen sehr groß gewählt werden muß, wird nach NERNST zweckmäßig in einer Form verwandt, die weiten Spielraum bezüglich des Wertes $w_4$ gewährt.

Man stellt sich, wie aus beistehender Fig. 102 ersichtlich, ein U-Rohr dar, dessen einer Schenkel aus einer geteilten Kapillare besteht von etwa 1 mm Lumen und ca. 12 cm Länge. Mittels eines übergreifenden und durch einen Hartgummiring festzuschraubenden Messingrohres kann ein Platindraht von oben hineingesenkt und gehoben werden und zwar durch einen Knopf mit Schraubengang, welcher in der Durchbohrung des Hartgummideckels läuft, innerhalb der nötigen beliebig kleinen Verschiebungen. Der linke Schenkel des Apparates, für geringere Widerstände bestimmt, ist genau dem ersten gleich eingerichtet, und hat nur ein Lumen von 0·5 cm. An Stelle des Platindrahtes verwendet man eine kleine Platinelektrode. An seinem unteren Ende trägt er die zweite Zuleitung in Form einer kleinen, durch das Glas geführten Platinelektrode. Je nach Bedürfnis wird das enge oder das weite Rohr angewandt. Man kann auch jede der beiden Anordnungen natürlich gesondert darstellen und schmilzt dann in die erste kapillare Röhre unten einen dünnen Platindraht ein. Der Apparat wird wieder mit der Mannitborsäurelösung gefüllt. Man montiert den Apparat fest auf ein Holzbrett, so daß durch das Festschrauben gleichzeitig der Kontakt mit der eingeschmolzenen Platinelektrode hergestellt wird.

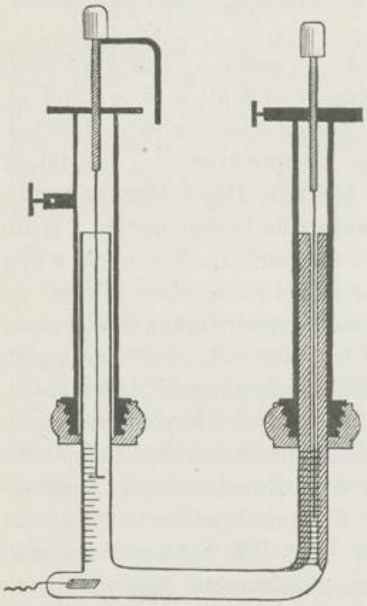

Fig. 102. Nebenschluß.

Der andere Kontakt wird durch die an den Messinghülsen befindlichen Klemmschrauben hergestellt.

Der Ebonitgriff der größeren Elektrode ist mit einem über

einer Trommelteilung spielenden Zeiger versehen, so daß man Verschiebungen der Elektrode von 0.005 mm noch sicher messen kann.

V. Der dielektrische Trog ($c_1$). Der in Fig. 103 gezeichnete Trog ist aus Nickel gefertigt und mit einem gut eingepaßten Ebonitdeckel versehen. Durch letzteren geht ein Rohr, an das die Kondensatorplatte befestigt ist. Durch ein in der Mitte befindliches, kleines Glasstückchen wird der Abstand zwischen Platte und Trog konstant gehalten. Die Beschickung mit Flüssigkeit erfolgt leicht und sicher durch ein kleines, im Deckel seitlich angebrachtes Loch mittels einer Kapillarpipette, während man dem Trog eine kleine Neigung giebt. Trog und Deckel sind sorgfältig geschliffen; bei Untersuchung ätzender Flüssigkeiten wird eine innere Vergoldung nützlich sein. Bei sorgfältigem Einsetzen der Platte und des Deckels bleibt die Kapazität des Troges völlig unverändert. Durch Anwendung von Glasplättchen geeigneter Dicke (Nernst benutzte ein solches von 1·1 mm) kann man leicht der letzteren für die Messung passende Werte erteilen. Man kittet zweckmäßig das Glasplättchen mittels einer Spur Syndetikon an der Kondensatorplatte fest. Zur Temperaturmessung dient ein kleines, in das Rohr der Kondensatorplatte eingestecktes Thermometer. Der Durchmesser des Troges beträgt etwa 3·6, seine Höhe ca. 2·7 cm. Ein wichtiger Vorteil dieses Modells besteht auch darin, daß die Kapazität sich nur wenig mit der Höhe der Füllung mehr ändert, wenn die Platte, welche aus diesem Grunde die gezeichnete, konische Form besitzt, bedeckt zu werden beginnt, und daß 1—2 ccm zur Füllung genügen.

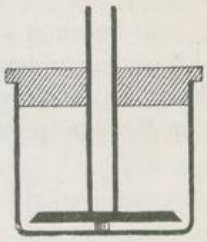

Fig. 103.
Dielektrischer Trog.

Bei Stoffen mit großer *D. E.* (über 10) ist die Kapazität des Troges bereits störend groß; dann empfiehlt sich die leicht anzufertigende Einrichtung, die aus einem Platintiegel, einem Ebonitdeckel und einer daran befestigten Platinelektrode besteht. Oder man setzt eine Platinelektrode mit kleinerem Durchmesser in den Deckel des zuerst beschriebenen Nickelkondensators mittels eines kleinen Korkes ein.

VI. Das Telephon. Ein mit äußerst dünnem Drahte bewickeltes Telephon ist am zweckmäßigsten. Man benutzt dasselbe, welches zu den Leitfähigkeitsbestimmungen empfohlen

wurde[1]; am besten die von Mix und Genest fabrizierten kleinen Dosentelephone (Widerstand ca. 130 Ohm), welche mit einer isolierenden Handhabe zu versehen sind.

Es ist bei allen Versuchen notwendig, die Elektroden der Verzweigungs- und Kompensationswiderstände nach der auf S. 164 beschriebenen Methode gut zu platinieren.

### C. Die Versuchsanordnung.

*J* bedeutet das Induktorium mit den beiden aufrechtstehenden Flüssigkeitswiderständen *a a*; sie sind mit den Punkten *o o* verbunden, die durch mit Klemmschrauben versehenen und neben den Meßkondensatoren auf gemeinschaftlicher Unterlage montierte Glassäulen gebildet werden. Zwei weitere Drähte führen von *o o* zu den hinteren Platten *b b* der Meßkondensatoren, zwischen denen die Glasplatten *c c* verschiebbar sind. Die vorderen, dem Beobachter zugewandten Platten sind untereinander und mit den unteren Enden der (liegend statt aufrecht gezeichneten) Kompensationswiderstände *d d* verbunden, während ihre oberen Enden mit den entsprechenden Punkten *o o* in leitender Verbindung stehen. Die Leitungsdrähte des Telephons (in der Zeichnung weggelassen) sind an *o o* geschraubt. Die beiden äußeren Platten der Meßkondensatoren sind mit dem anderen Pole der sekundären Induktionsrolle, sowie mit dem Kondensatortrog *C* leitend verbunden.

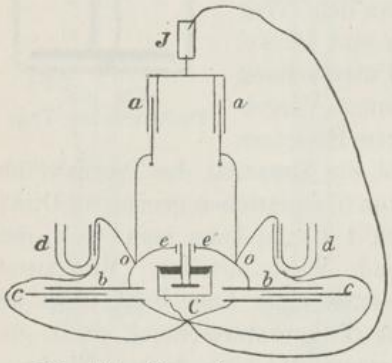

Fig. 104. Versuchsanordnung.

Die Widerstände *a a* werden durch Verschieben der Platinelektroden gleich gemacht; ein zwischen *a a* und *o o* geschalteter Kommutator darf beim Umlegen eine merkliche Verschiebung weder des Kapazitäts- noch des Widerstandsminimums veranlassen. Wenn die Widerstände *a a* einmal gleichgemacht sind, so bleiben sie es lange Zeit.

Die beiden Parallelleitungen *a o* werden am bequemsten durch eine Doppelschnur vollführt, wie man sie bei Telephonen anwendet; um sich von der Gleichheit von *a a* zu überzeugen,

[1] Siehe Seite 164.

vertauscht man dann einfach die an *o o* mündenden Enden, so daß die Anwendung eines Kommutators dadurch erspart wird. Erdleitungen, sowie überhaupt eine Berührung der leitenden Teile mit der Hand sind zu vermeiden.

### D. Die Messung.

Die eigentliche Messung besteht einfach darin, daß man die Platte des mit der zu untersuchenden Flüssigkeit beschickten Troges *C* (in der Figur liegend gezeichnet) einmal mit *e*, ein zweites Mal mit *e'* durch Verschiebung in Verbindung bringt; dadurch wird seine Kapazität einmal zu dem links, ein zweites Mal zu dem rechts befindlichen Kondensator addiert. In beiden Fällen ertönt das Telephon; durch Verschiebung der Glasplatte des rechts befindlichen Kondensators wird das Minimum in beiden Fällen wieder hergestellt. Falls die im Troge befindliche Substanz ein auch nur spurenweises Leitungsvermögen besitzt, bleibt das Minimum verwaschen, oder wird sogar ganz undeutlich; dann kann man, vorausgesetzt, daß die Substanz nicht gut leitet, durch passende Veränderung der Kompensationswiderstände *d d* das Minimum wieder so scharf erhalten, daß eine Einstellung bis auf 0·1 mm möglich wird.

Bei Untersuchung wenig oder gar nicht leitender Substanzen benutze man die beiden engeren Widerstandsgefäße (Fig. 102); es ist in jedem Falle bequem, auch bei Untersuchung völlig isolierender Substanzen diesen Nebenschluß anzuwenden, um sofort die schädliche Wirkung jener geringen Spuren von Leitung eliminieren zu können, die infolge der kleinsten Mengen äußerer Feuchtigkeit alle Kondensatoren zuweilen zeigen. Auch wird das Ohr durch abwechselnde oszillierende Verschiebungen um den Nullpunkt sowohl des Meßkondensators, wie des Kompensationswiderstandes rasch behufs sicherer Einstellung auf das Minimum geschärft.

Besitzt die Substanz größeres Leitungsvermögen, so daß man zur Kompensation die Widerstandssäule bis auf weniger als 20 mm verkürzen müßte, so schaltet man die beiden weiteren Widerstandsröhren dem Meßkondensator parallel. Das Kapazitätsminimum ist hier merklich abgeflachter, aber noch scharf genug zur sicheren Einstellung.

Beim Ausschalten des Troges achte man darauf, daß dies möglichst gleichmäßig geschieht, denn die Zuleitungsdrähte besitzen eine merkliche Kapazität, und eine Änderung letzterer während vergleichbarer Messungen bringt demgemäß Fehler.

Nernst schlägt folgende einfache Einrichtung vor:

Die Enden der Zuleitungsdrähte (Doppelschnur), die aus starkem Neusilberdraht bestehen, und in *o o* münden, werden rechteckig umgebogen, so daß sie gleichzeitig die Rolle der Punkte *ee'* spielen können (Fig. 104). Der Trog steht dazwischen auf einem umgestülpten Becherglas, das ein mit *C* dauernd verbundenes Stück Blech trägt. Dann braucht man zur Messung den Trog nur auf das Becherglas zu setzen, wodurch der Kontakt mit *C* hergestellt ist, und nach links oder rechts zu verschieben, wodurch der Kontakt mit *e* oder *e'* entsteht. Man überzeuge sich zur größeren Sicherheit von Zeit zu Zeit, daß der leere Trog stets die gleichen Zahlen giebt.

Aichung der Trogkapazität. Die Kapazität des Troges wird durch Aichung mittels einer Flüssigkeit von bekannter *D.E.* bestimmt; als solche empfiehlt sich für Tröge mit größerer Kapazität Benzol oder Äthyläther, für solche mit sehr kleiner Kapazität Alkohol von bekanntem spezifischen Gewicht, oder reines Wasser. Zur größeren Sicherheit wird man die Aichung, die nur wenige Minuten dauert, öfters wiederholen.

Die Berechnung der Versuche geschieht nach folgender Formel:

Wenn $D_0$ die *D.E.* für die Aichungsflüssigkeit bedeutet und die Verschiebung des Meßkondensators $s$ für den leeren, $s_0$ für den mit der Aichungsflüssigkeit gefüllten Trog betrug, so ergiebt sich für die *D.E.* einer anderen Substanz, die eine Verschiebung $S$ liefert:

$$D = (D_0 - 1)\frac{S - s}{s_0 - s} + 1.$$

Kalibrierung des Meßkondensators. Dieselbe geschieht sehr genau und verhältnismäßig schnell nach folgender Methode.

Der leere dielektrische Trog wird durch Anwendung eines Glasplättchens von geeigneter Dicke oder durch Unterlegen von Glimmerplättchen auf solche Kapazität gebracht, daß sein Hinzufügen an *e'* ein Herausziehen der Glasplatte des rechten Kondensators um nahe 1 cm veranlaßt. Man verstellt den linken Kondensator bis zur Minimumstellung, während der rechte auf 0 steht, schiebt hierauf den Trog an *e'* und mißt die entsprechende Verschiebung des rechten Kondensators genau. Sodann wird der Trog in die Mitte zwischen *e* und *e'* geschoben, der linke Kondensator eingestellt, während der rechte auf 1 steht, der Trog wieder addiert u. s. f. Würde der rechte Kondensator ohne

Kaliberfehler sein, so müßte der Addition des Troges stets die gleiche Verschiebung (nämlich nahe 1 cm) entsprechen; aus den Abweichungen ergeben sich sofort die Korrektionen für den Skalenwert. Der Skalenwert des linken Meßkondensators ist natürlich hiernach sehr leicht durch Vergleich mit dem rechten zu ermitteln. Man prüfe zur Sicherheit die Resultate der Kalibrierung, indem man eine größere Kapazität bei verschiedenen Nullpunktsstellungen hinzuschaltet; man findet je nach den letzteren wechselnde Verschiebungen der Glastafel, die oben nach Anbringung der Korrektion gleich werden müssen.

Beispielsweise betragen die Korrektionen für den von NERNST benutzten Kondensator:

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Skala: | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | cm |
| Korr.: | −1·5 | −0·8 | ±0 | +0·6 | +0·9 | +1·0 | +0·6 | +0·2 | ±0 | −0·2 | −0·2 | mm. |

Auf gleiche Füllung des Troges muß natürlich geachtet werden; den Nickelkondensator beschicke man mit 2 ccm, den Platinkondensator, je nach der Größe des Tiegels, mit 5—20 ccm. Auf eine genaue Pipettierung kommt es jedoch nicht allzusehr an.

Die äußerste Schärfe des Tonminimums ist nicht nur Vorbedingung der Genauigkeit, sondern auch der Zuverlässigkeit; man sehe keine Bestimmung als sicher an, bei der das Minimum verwaschen war, weil sicherlich in diesem Falle irgend etwas am Apparate nicht in Ordnung ist. Auf gute Kontakte ist sorgfältigst zu achten. Um die direkte Fernwirkung des Induktoriums auf das Telephon zu meiden, ist es notwendig und ausreichend, den Abstand zwischen beiden auf 0·5—1 m zu halten.

Etwaige Fehler, die durch Polarisation im dielektrischen Troge auftreten könnten, sind bei ganz scharfer Minimumeinstellung ausgeschlossen. Überhaupt können Kondensatoren aus Platin, bei denen der Abstand der Elektroden über 5 mm beträgt, für Flüssigkeiten, deren Leitfähigkeit unter $2 \times 10^{-10}$ liegt, als polarisationsfrei angesehen werden.

## § 3. Absolute Bestimmung von Dielektricitätskonstanten.

Bei absoluten Bestimmungen (bezogen auf *D.E.* der Luft = 1) muß die Kapazität des aus der Flüssigkeit herausragenden Teiles der Zuleitung zur Kondensatorplatte, sowie der etwaige Betrag berücksichtigt werden, den ein eingeschaltetes Glasplättchen (Fig. 103)

zu jener Größe liefert. Zur Ermittlung der gesuchten Werte dient die folgende Methode:

Der in der beistehenden Fig. 105 gezeichnete Kondensator besteht aus einem runden Messingtrog von 3 cm Höhe und 3·6 cm Breite, auf den ein übergreifender Hartgummideckel festschließend aufgesetzt werden kann. Durch den Deckel geht mit starker Reibung verschiebbar die Zuleitung zu der Kondensatorplatte, der so bequem verschiedene Abstände vom Boden des Troges gegeben werden können. Man mißt in der auf Seite 219 beschriebenen Weise bei einer bestimmten Stellung der Platte die Kapazität des leeren Kondensators, füllt mit einer Pipette durch ein im Deckel angebrachtes Loch hierauf vorsichtig, ohne die Kondensatorplatte zu verschieben, den Trog beinahe voll mit der zu untersuchenden Substanz und bestimmt die Kapazität aufs neue.

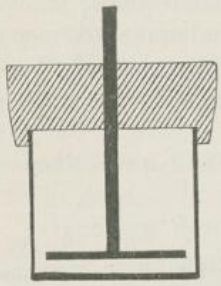

Fig. 105. Kondensator.

Diese Messung führt man genau in der gleichen Weise bei einer zweiten Stellung der Platte aus. Es sei $s_1$ die Kapazität des leeren, $S_1$ die des gefüllten Kondensators in der ersten Stellung, $s_2$ und $S_2$ die entsprechenden Größen in der zweiten Stellung; wenn nun $\alpha$ die Kapazität des aus der Flüssigkeit herausragenden Teiles des Stiftes bedeutet, so ergiebt sich die *D.E.* aus den Gleichungen:

$$D = \frac{S_1 - \alpha}{s_1 - \alpha} = \frac{S_2 - \alpha}{s_2 - \alpha},$$

woraus

$$D = \frac{S_2 - S_1}{s_2 - s_1}$$

sich ergiebt.

Um genaue Zahlen zu bekommen, muß man die Differenz $s_2 - s_1$ möglichst groß zu machen suchen, d. h. bei möglichst heruntergeschobener und möglichst weit herausgezogener Kondensatorplatte arbeiten; doch darf man die Platte nur so weit heben, daß ihr Abstand vom Boden immer noch klein gegen den vom Deckel ist.

## § 4. Bestimmung von Dielektricitätskonstanten unter Benutzung schneller elektrischer Schwingungen.

Die im vorhergehenden beschriebene Methode gestattet Flüssigkeiten bis zur Leitfähigkeit $2 \times 10^{-6}$ exakt zu untersuchen. Bei

erheblich größeren Leitfähigkeiten werden die Störungen infolge von Polarisation, wie auch die Schwierigkeiten einer hinreichend vollständigen Kompensation der Leitfähigkeit alsbald sehr groß. Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden, hat NERNST[1] eine Modifikation seiner Methode angegeben, welche er in folgender Weise beschreibt.

Da sowohl die Wirkung der Polarisationskapazität wie diejenige eines neben einen Kondensator geschalteten Widerstandes immer mehr zurücktritt, so bietet sich als nächststehendes Mittel, die erwähnten Hindernisse zu beseitigen, die Anwendung von Wechselströmen höherer Frequenz dar, wie man sie bekanntlich leicht durch oscillatorische Entladung eines Kondensators durch eine mit Selbstinduktion behaftete Leitung erhalten kann.

1. Zur Erregung der Schwingungen dient ein Kreis, gebildet aus einer Selbstinduktion, Kapazität und einer durch ein Induktorium erzeugten Funkenstrecke. Als letztere benutzt man ein während des Funkenspieles verstellbares und mit Zinkkugeln versehenes Funkenmikrometer. Als Indikator für die Nullstellung dient je nach Umständen eine Funkenstrecke oder eine Vakuumröhre.

2. Als Funkenindikator schlägt NERNST das beigezeichnete Modell vor (Fig. 106).

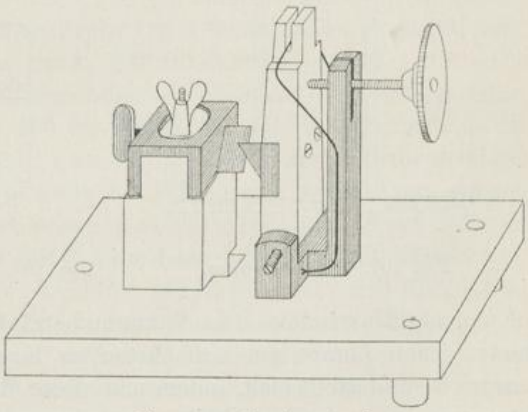

Fig. 106. Funkenstrecke.

Zwei dünne geschärfte Platinplatten stehen einander im rechten Winkel gegenüber; ihr Abstand kann durch Verstellen einer Schraube sehr fein reguliert werden, indem die eine (in der Figur rechte) Platte an einem um eine Axe beweglichen Träger befestigt ist. Dieser Träger ruht in Spitzenschrauben und wird durch eine schwache Feder an die Stellschraube gedrückt. Allmählich werden die Platinplatten durch die Fünkchen abgenutzt;

[1] Wied. Ann. **60**, 1897, S. 600.

man braucht aber nur die am festen Träger (in der Figur links) befindliche Platinplatte nach dem Lüften der seitlichen Flügelschraube zu verschieben, um zwei frische Stellen der Platinschneiden einander gegenüber zu bringen. Eine grobe Verschiebung des festen Trägers ist schließlich durch Lüften der auf ihm sitzenden Flügelschraube ermöglicht. Die schraffierten Teile sind aus Messing bezw. Platin, die anderen aus Hartgummi.

3. Als Vakuumröhren bewähren sich am besten solche, welche man selbst leicht herstellen kann und einfach aus einer beiderseitig zugeschmolzenen dünnwandigen Glasröhre von ca. 10 cm Länge und ca. 10 mm Lumen bestehen. In der Mitte ist das Rohr ein wenig ausgezogen; zwei außen aufgeklebte Stanniolringe

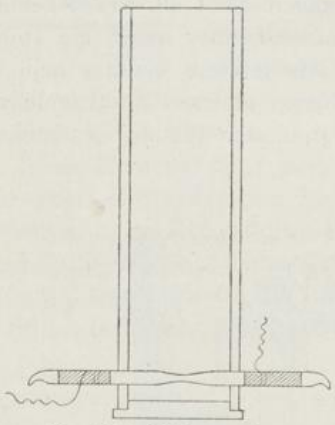

Fig. 107. Vakuumröhre.

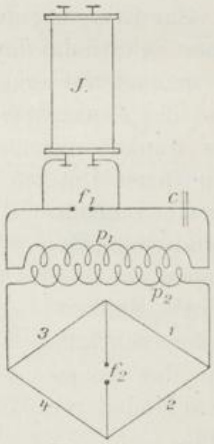


Fig. 108. Versuchsanordnung.

dienen als Elektroden. Das Vakuum beträgt einige Zehntel Millimeter; man pumpt am einfachsten so lange, bis das Rohr gut anspricht und stellt sich, indem man diese Manipulation mit einem längeren, an geeigneten Stellen ausgezogenem Glasrohr vornimmt, gleich 3 bis 5 Stück her. Man steckt ein solches Röhrchen passend in eine Hartgummiröhre von ca. 3 cm Lumen (Fig. 107), deren eines Ende geschlossen ist; drückt man das Auge an das andere offene Ende der Röhre, so ist jede Verdunkelung des Zimmers überflüssig. Ehe man das Minimum einstellt, bringe man immer die Vakuumröhre einige Augenblicke durch starkes Verschieben des Meßkondensators zum hellen Leuchten, was ihre Empfindlichkeit steigert.

Zur Bestimmung von Dielektricitätskonstanten ergiebt sich die in Fig. 108 skizzierte Versuchsanordnung. Die Schwingungen werden erzeugt, indem der von einem mittelgroßen Induktorium $J$ erregte Funken bei $f_1$ überspringt und dadurch die oszillatorische Entladung des Kondensators $c$ auslöst. Die Rolle $p_1$ induziert in $p_2$ Schwingungen, welche die Brücke speisen. Die Funkenstrecke $f_2$ dient als Indikator. Die Zweige 3 und 4 sind Kondensatoren variabler Kapazität mit oder ohne Nebenschluß; 1 und 2 enthalten zwei Widerstände, oder, was weit vorzuziehen ist, zwei Kondensatoren. In der Regel wird man natürlich vorteilhaft 1 und 2 einander sehr nahe gleich machen, was im folgenden stets angenommen sein soll.

Folgendes sind die Dimensionen der von Nernst benutzten Anordnung, in welchen die Funkenstrecke sich weit empfindlicher als die Vakuumröhre erwies.

$c$ ist eine Glastafel von ca. 0·7 mm Dicke mit Stanniolbelegungen von je 270 cm², Kapazität = 2430 cm. $p_1$ besteht aus 10 Windungen eines 3 mm dicken Kupferdrahtes, Selbstinduktion $= 1 \cdot 63 \times 10^3$; $p_2$ besteht aus 32 Windungen eines 0·8 mm dicken Drahtes, die über ein Ebonitrohr von 3·2 cm Lumen gewickelt sind, das über $p_1$ geschoben wird; Selbstinduktion $= 1 \cdot 36 \times 10^4$. Die Zweige 1 und 2 sind kleine Leidener Flaschen oder belegte Glastafeln von je 200 bis 400 cm Kapazität. Die Brücke, welche die Funkenstrecke $f_2$ enthält, wird durch einen Transformator gebildet, dessen innere primäre Rolle 36 Windungen eines 2 mm dicken Drahtes enthält, Selbstinduktion $= 5 \cdot 0 \times 10^3$; über diese paßt ein 12 cm langes Glasrohr von 3·3 cm Lumen, worauf 150 Windungen eines 0·6 mm dicken Drahtes gewickelt sind (Selbstinduktion $= 1 \cdot 55 \times 10^5$), dessen Enden zum Funkenindikator führen.

Die Zweige 3 und 4 sind von den beiden Meßkondensatoren gebildet, die aus Luftkondensatoren bestehen, zwischen denen Glasplatten verschiebbar sind. Die Dimensionen der Messingplatten sind $13 \cdot 7 \times 6 \cdot 8$ cm, die Dicke der Glasplatten, deren Stellung an einer feinen Metallteilung abgelesen werden kann, ist 3·5 mm. Die Kapazität eines solchen Kondensators ist durch Verschieben der Platte zwischen den Grenzen 50 bis 130 cm veränderlich.

Als Induktorium diente bei der Mehrzahl der Versuche ein mittelgroßes (4—6 cm Funkenlänge) mit Hammerunterbrechung; bei den Versuchen mit relativ gut leitenden Lösungen erwies sich ein größeres Induktorium (20 cm Funkenlänge) als vorteilhaft.

Man findet, daß stets, auch bei der Wahl noch so kleiner Funkenstrecken, ein mehr oder minder ausgedehntes Gebiet existiert, innerhalb dessen die Fünkchen völlig erloschen sind. Man kann die hierdurch für die dielektrischen Messungen bedingte Ungenauigkeit sehr stark vermindern, wenn man die beiden Stellungen des Meßkondensators bestimmt, bei denen die Fünkchen gerade verschwinden und als Nullpunkt das Mittel dieser beiden Ablesungen annimmt. Man vereinfacht diese Messung sehr, indem man sich zunächst dem Minimum durch Hineinschieben der Glastafel nähert und mit derselben gleichzeitig einen kleinen Hartgummicylinder vorschiebt, für den als Führung die beiden Schienen dienen, zwischen denen die Glastafel läuft; sobald die Fünkchen erlöschen, läßt man den Hartgummicylinder als Index liegen, geht mit der Glastafel tiefer hinein und stellt diese dann von der anderen Seite her auf das Verschwinden der Fünkchen ein. Man kann diese beiden Einstellungen sehr rasch hintereinander in völliger Dunkelheit ausführen und hinterher bei geeigneter Beleuchtung die gesuchten beiden Stellungen der Glasplatte ablesen, aus denen das Mittel zu nehmen ist.

Bei schlechter leitenden Flüssigkeiten dient als dielektrischer Trog der Platintiegel mit Hartgummideckel und einer kleinen Elektrode, welcher bereits S. 217 erwähnt worden ist.

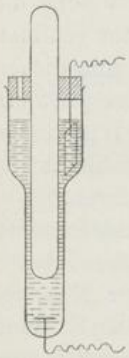

Fig. 109. Nebenschluß.

Bei Flüssigkeiten von erheblich größerem Leitvermögen ist eine Kompensation durch einen an den andern Meßkondensator gelegten Nebenschluß unerläßlich. Letzterer besteht bei den Versuchen von Nernst aus einem mit gut leitender Schwefelsäure gefüllten Röhrchen, in das unten eine Elektrode eingeschmolzen, oben eine zweite verschiebbare eingesetzt war; häufig wurde der Widerstand eines solchen Röhrchens durch Verschieben eines in dasselbe getauchten Glasstäbchens geändert, während die obere Elektrode in einer am oberen Ende befindlichen Erweiterung fest montiert war (Fig. 109). Es gelingt aber auch mittels dieses Nebenschlusses nicht vollständig, die Schwierigkeiten zu überwinden, welche sich den genauen Messungen der Dielektricitätskonstanten von gut leitenden Elektrolyten entgegenstellen.

## § 5. Einfluß von Temperatur und Druck auf die Dielektricitätskonstanten von Flüssigkeiten.[1]

Die NERNST'sche Methode der Bestimmung von Dielektricitätskonstanten läßt sich mit einigen unwesentlichen Modifikationen auf die Aufgabe übertragen, den Einfluß von Druck und Temperatur festzustellen.

Bei den von RATZ angestellten Versuchen kamen als Kondensatoren zum Teil Platin-, zum Teil Messingkondensatoren zur Verwendung. Sie bestanden entweder aus zwei gleich großen parallel gestellten Platten (Form *a*) oder aus einer kleineren Mittelplatte, die von einer größeren Außenplatte **U**-förmig umgeben war (Form *b*). Der Abstand der Platten wurde konstant gehalten durch Schmelzglasverbindungen, die bei Form *b* an angelöteten Platinstiftchen angebracht waren. Starke Platindrähte, die einerseits mit den Kondensatorplatten verlötet, andererseits in mit Quecksilber gefüllte Glasröhrchen eingeschmolzen waren, vermittelten die Leitung nach außen. Durch dünne Drähte, deren gegenseitige Lage mittels Glasröhren, in welche sie eingelegt waren, oder mittels Kautschukverklemmungen unverrückbar gemacht war, konnten die Flüssigkeitskondensatoren an den Meßkondensator geschaltet werden. Die Kapazität der Kondensatoren wurde der *D.E.* des betreffenden Körpers gemäß so gewählt, daß Ausschläge von ca. $^3/_4$ der Skala erhalten wurden. Die Beobachtungen geschahen nur durch Substitution, da es sich herausstellte, daß bisweilen die Nullpunktslage bei größeren Versuchsreihen infolge Temperaturänderungen der Umgebung wanderte. Aus demselben Grunde wurde auch abwechselnd die Ruhelage und die Kapazität der Flüssigkeitskondensatoren bestimmt.

Einfluß der Temperatur. Um das dielektrische Vermögen bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, wurden die zu prüfenden Flüssigkeiten, in welche man geeignete Kondensatoren einsenkte, durch Heizbäder auf die gewünschten Temperaturen gebracht und unmittelbar vor jeder Ablesung in allen ihren Schichten durch Rührer homogen gemacht. Die zu untersuchenden Flüssigkeiten befanden sich in cylindrischen Gefäßen oder großen Erlenmeyerkolben, deren Dimensionen rücksichtlich der Beteiligung der Glasumhüllung an der dielektrischen Leitung entsprechend gewählt wurden. Um diesen Einfluß bei Flüssigkeiten

[1] RATZ, Ztschr. f. phys. Chemie XIX. S. 96.

von großer *D.E.* möglichst zu eliminieren, ohne daß allzu voluminöse Gefäße und somit auch Flüssigkeitsquanta in Verwendung zu kommen brauchten, wurden in solchen Fällen Kondensatoren der Form *b* benutzt. Die Gefäße, in welchen sich die Flüssigkeiten befanden, waren mittels Kork oder Glas möglichst luftdicht geschlossen, um den Zutritt von Feuchtigkeit auszuschließen. In den Kork- oder Glasverschlüssen waren eingepaßt Thermometer, Kondensator und Rührer, letzterer in einem längeren, eng anschließenden Glasrohr beweglich. Als Badflüssigkeit wurden bei Nichtleitern Wasser bezw. Kältemischungen benutzt, während bei weniger schlecht leitenden Verbindungen ausschließlich Toluolbäder zur Verwendung kamen, da es sich herausstellte, daß bei gut leitenden Körpern durch Anwendung eines Wasserbades eine Verschiebung des Minimums verursacht wird.

Einfluß des Druckes. Die hierzu verwendeten Kondensatoren, von ähnlicher Konstruktion wie bei den Temperaturversuchen, wurden in Platinösen eingehängt, die in ein Glasrohr eingeschmolzen waren, und sonst gut isoliert, mit dem Meßapparate in leitende Verbindung gesetzt werden konnten. Das mit der jeweiligen Flüssigkeit gefüllte und mit Quecksilber abgesperrte Rohr wurde in den Kompressionscylinder einer Cailletet'schen Pumpe eingeschraubt. Als Kompressionsflüssigkeit diente Paraffinöl. Der Kompressionscylinder, welcher bei Flüssigkeiten mit großen Temperaturkoëffizienten in ein Wasserbad eingestellt war, wurde gewöhnlich mit reinem Quecksilber gefüllt, nur bei Wasser kam, um die störende Erdleitung zu vermeiden, Paraffinöl zur Verwendung. Mittels eines geeigneten Quecksilberverschlusses konnte jede Verunreinigung völlig vermieden werden.

Die Ergebnisse der Arbeit von Ratz sind kurz die, daß sowohl Einfluß der Temperatur wie der des Druckes auf die Dielektricitätskonstante sich nachweisen ließ.

Und zwar ist der Temperaturkoëffizient für alle untersuchten Flüssigkeiten (Benzol, Toluol, Schwefelkohlenstoff, Äther, Chloroform, Anilin, Amylalkohol, Äthylalkohol und Wasser) negativ und zeigt mit zunehmender Temperatur selbst eine geringe Abnahme.

Durch den Druck wird die Dielektricitätskonstante im allgemeinen wenig, stets jedoch in dem Sinne beeinflußt, daß eine Zunahme des Druckes auch eine Zunahme der Dielektricitätskonstanten bewirkt.

## § 6. Bestimmung der Dielektricitätskonstanten bei flüssigen Mischungen und verdünnten Lösungen.[1]

Da für verdünnte Lösungen die größte Genauigkeit wünschenswert ist, um sehr kleine Differenzen der Dielektricitätskonstante zu ermitteln, so benutzte PHILIP für seine Untersuchung eine Modifikation des NERNST'schen Nebenschlußverfahrens, welche dasselbe in ein Differentialverfahren umänderte. Das wesentlich neue in dieser Methode ist die Form des Meßkondensators. Die von ihm benutzte Anordnung ist die folgende (Fig. 110).

In den Zweigen 1 und 2 befinden sich zwei flüssige Vergleichswiderstände, welche mit der gewöhnlichen Mannitborsäurelösung (s. S. 215) beschickt sind. Dieselben wurden beim Anfang der Messungen ein für allemal gleich gemacht. In den Zweigen 3 und 4 sind $W$ und $W'$ flüssige Kompensationswiderstände (aus einer verdünnten Lösung von Mannit und Borsäure gebildet), $c$ und $c'$ variable Kapazitäten, $T$ der Meßkondensator. $c$ und $c'$ waren die im Nebenschlußverfahren üblichen variablen Kapazitäten, doch war in diesem Fall die Entfernung der zwei Metallplatten der Meßkondensatoren etwa dreimal so groß, und die dazwischen befindliche Glasplatte entsprechend dicker.

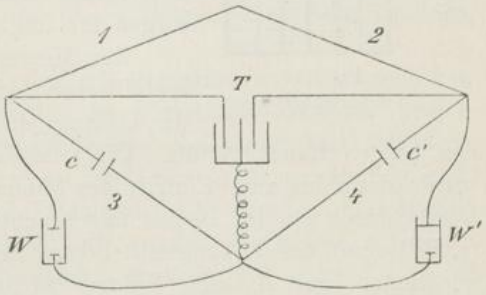

Fig. 110. Versuchsanordnung.

Derselben Kapazitätsänderung entsprach daher eine größere Verschiebung der Glasplatte, als bei der gewöhnlichen Einrichtung.

In dem zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeit dienenden Trog und den dazu gehörigen Platten sind die zwei anderen, oben erwähnten Kapazitäten vereinigt (Fig. 111).

Der Trog $T$ ist ein metallisches Gefäß von etwa 12 cm Tiefe, 7 cm Länge und 5 cm Breite. Dasselbe wird durch eine metallische Wand in zwei gleiche, abgeschlossene Hälften geteilt, deren jeder drei Messingplatten angehören; jede von den beiden Hälften ist etwa 12 cm tief, 7 cm lang und 2·5 cm breit. Die drei erwähnten

[1] JAMES C. PHILIP, Ztschr. f. phys. Chemie XXIV, S. 22.

viereckigen Messingplatten stehen in fester Verbindung mit einander und zwar so, daß die innere, etwas kleinere Platte von den zwei anderen durch kleine Glasstückchen abgetrennt wird, während diese zwei äußeren größeren Platten durch Schrauben fest zusammengehalten werden. Durch einen an dem Ende der isolierten inneren Platte angelöteten Draht wird Verbindung derselben mit den übrigen Teilen des Apparates hergestellt.

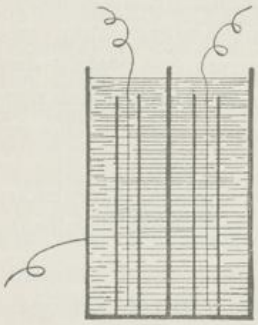

Fig. 111.
Dielektrischer Trog.

Das ganze System befindet sich während der Messungen in einem großen, mit Deckel versehenen Glasgefäße in getrockneter Luft. Durchbohrungen im Deckel sorgen für die nötigen Kommunikationen.

Zur Messung wurde jede Hälfte des metallischen Gefäßes mit demselben Volum des Lösungsmittels, und zwar bis nahe an den oberen Rand, gefüllt. Die Glasplatte des Meßkondensators wurde dann bis zum Eintritt des Minimums verschoben. Sodann wurde durch ein im Deckel angebrachtes Loch ein kleines Volum (z. B. 1 ccm) des Lösungsmittels aus der einen Hälfte *A* herausgenommen, und dasselbe Volum des zu lösenden Stoffes hereingebracht. Durch sorgfältiges Rühren muß man dafür sorgen, daß eine völlige Mischung der beiden Flüssigkeiten erfolgt. Infolge der mit der Einführung der neuen Substanz verbundenen Kapazitätsänderung mußte nun die Glasplatte des Meßkondensators verschoben werden. Gleichheit der in den Zweigen 1 und 2 befindlichen Widerstände vorausgesetzt, waren die Kapazitätsänderungen im Gefäß und im Meßkondensator nach erfolgter Einstellung einander gleich. Genau dasselbe geschah nun mit der anderen Hälfte *B* des Gefäßes, so daß schließlich das Minimum wieder in seiner ursprünglichen Lage war.

Dann wurde dasselbe kleine Volum der Lösung aus *A* herausgenommen und neue Flüssigkeit hereingebracht; indem dies immer abwechselnd mit *A* und *B* geschah, konnte man das Verfahren bis zu beliebigen Konzentrationen fortsetzen.

Die Dielektricitätskonstante der letzten in dieser Weise hergestellten Lösung wurde dann mit dem dielektrischen Apparat in seiner üblichen Form bestimmt; aus diesem Wert, aus der Dielektricitätskonstante des reinen Lösungsmittels und aus den

Verschiebungen der Glasplatte konnten nun die Dielektricitätskonstanten der zwischenliegenden Lösungen berechnet werden.

## § 7. Elektromotorische Messung von Dielektricitätskonstanten.[1]

Zur Bestimmung der Dielektricitätskonstanten dürfte die ausführlich beschriebene NERNST'sche Methode des Nebenschlußverfahrens heute die bequemste sein. Daneben bietet eine auf Veranlassung von NERNST durch SMALE[2] ausgeführte Modifikation einer elektromotorischen Methode häufig genügend Vorteile, um auch deren Besprechung als zweckmäßig erscheinen zu lassen.

Prinzip der Methode. Schwingt eine Nadel frei und isoliert in schräger Stellung zwischen zwei Elektroden, so wird sie bei Ladung der letzteren durch Influenz elektrisiert und von ihnen angezogen.

Sorgt man nun dafür, daß das Potential der Elektroden konstant gehalten wird, so werden die Ausschläge der Nadel proportional der Dielektriciätskonstante des Mediums. Das Verhältnis zwischen den Ausschlägen in zwei verschiedenen Medien giebt also die Verhältnisse der Dielektricitätskonstanten der Medien. Schaltet man zur Kontrolle ein zweites Elektrometer in den Stromkreis parallel dem ersten ein und füllt man die beiden Elektrometer erst mit derselben Flüssigkeit, später das eine mit einer zweiten Flüssigkeit und sei nun das Verhältnis der Ausschläge im ersten Falle $\frac{k}{k'}$, im zweiten Falle $\frac{k''}{k'''}$, dann ist das Verhältnis der Dielektricitätskonstanten der beiden Medien:

$$\frac{D}{D_1} = \frac{k}{k'} \cdot \frac{k'''}{k''} .$$

Beschreibung des Apparates. In der Fig. 112 ist das Elektrometer in halber natürlicher Größe gezeichnet; $AA'$ ist eine Platte Hartgummi, welche durch die Platindrähte $BB'$ die gebogenen Elektroden $E$ und $E'$ trägt. Die letzteren, von dünnem Platinblech, etwa 3 cm lang und 4 cm breit und gebogen, bilden eine Art von Ellipse, in welcher die lange Axe etwa 3 cm, die kurze Axe etwa 2 cm beträgt. In der kürzesten Entfernung sind die Elektroden etwa 0·5 cm von einander. Zwischen den Elektroden, aufgehängt in dem kleinen Häuschen $H$, schwingt frei und isoliert

[1] Wied. Ann., **57**, S. 215.

in der Ebene rechtwinkelig zu den Elektroden eine kleine Lamelle $L$ von Platin, welche als Nadel dient. Diese ist von sehr dünnem Platinblech gemacht und hat eine Länge von etwa 1 cm und eine Breite von 3 mm. Die Nadel ist an einen dünnen Platindraht geschmiedet und trägt auf seinem oberen Ende einen kleinen Spiegel $S$. Das Ganze ist durch einen sehr feinen Platindraht oder Quarzfaden an der Schraube $N$ aufgehängt. Eine Glasplatte bildet die Vorderseite des Häuschens; sonst ist es von Hartgummi. Unten befindet sich das Gefäß $MM'$, welches ganz leicht gesenkt und entfernt werden kann und die zu messende Flüssigkeit enthält.

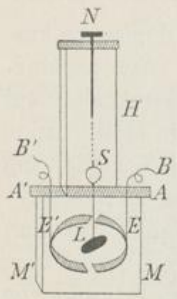

Fig. 112. Elektrometer.

Die kleine Nadel befindet sich, wie ersichtlich, in einer verhältnismäßig großen Menge des Dielektrikums und ist zudem fast völlig von den Elektroden umgeben.

Aufhängung der Nadel. Zur Aufhängung der Nadel eignet sich am besten ein ganz dünner Platindraht, ein sogenannter Wollastondraht von 0·002 mm Dicke. Kittet man den Draht an, so hat man darauf zu achten, ob die Dämpfe der Flüssigkeit auf den Kitt einwirken. Ist das der Fall, so wendet man besser Lötung des Fadens an.

Um nun einen Wechselstrom von konstanter Potentialdifferenz zu erhalten, benutzt man die Nernst'sche Reguliervorrichtung (s. Kap. I, S. 41) im Zusammenschluß mit einer kleinen Wechselstrommaschine, deren Kern mit guten, dünnen, seiden-umsponnenen Kupferdraht umwickelt in dem Felde eines Hufeisenmagnetes rotiert. Die Rotation wird zweckmäßig durch einen kleinen Heinrici-Heißluftmotor (Kolbendurchmesser 60 mm) hervorgebracht, welcher dem Anker eine Rotationsgeschwindigkeit von 50 Umdrehungen pro Sekunde erteilt.

Die Kalibrierung des Elektrometers. Die Nadel schwingt frei und isoliert in der Mitte der Ellipse, welche von den gebogenen Elektroden gebildet wird. Die Empfindlichkeit des Instrumentes ändert sich in hohem Grade mit Änderung des Winkels, welchen die Lage der Nadel mit der Verbindungslinie des Elektrometers bildet, und hat den Wert Null bei rechtwinkeliger Stellung, sowie auch, wenn die Nadel parallel den Elektroden liegt. Die Maximalempfindlichkeit ist bei einem Winkel von 45° erreicht.

Die Lage der größten Empfindlichkeit der Nadel auszufinden, ist eine mühsame Arbeit, denn bei jedem Versuch sind Spiegel und Nadel herauszunehmen, um den Winkel zwischen ihren Ebenen zu ändern. Der Unterschied in der Empfindlichkeit wird beobachtet, indem bei verschiedenen Stellungen der Nadel der Ausschlag gemessen wird.

Schließlich wird ein Punkt gefunden, wo bei Änderung der Lage der Nadel entsprechend 50 cm an der Skala kein bedeutender Unterschied des einen Elektrometers bei konstantem Ausschlag eines zweiten Elektrometers zu beobachten war. In der folgenden Tabelle sind die Kalibrierungsmessungen von zwei Elektrometern angegeben:

| Ruhelage | Ausschlag im Elektrometer I bei konstantem Ausschlag im Elektrometer II | Ausschlag im Elektrometer II bei konstantem Ausschlag im Elektrometer I |
|---|---|---|
| 0 cm | 56·8 mm | 53·1 mm |
| 10 „ | 55·6 „ | 53·2 „ |
| 20 „ | 57·0 „ | 52·9 „ |
| 30 „ | 57·1 „ | 53·0 „ |
| 40 „ | 57·0 „ | 53·1 „ |
| 50 „ | 58·0 „ | 53·0 „ |
| | Mittel 56·9 mm | Mittel 53·0 mm |

Es kann also bei Ausschlägen innerhalb 50 cm (bei 2 m Abstand der Skala vom Spiegel) die Empfindlichkeit als konstant angesehen werden, falls sich die Nadel in der Stelle maximaler Empfindlichkeit befindet.

## § 8. Bestimmung der Dielektricitätskonstanten von Salzlösungen.[1]

Um die im vorhergehenden beschriebene Methode bei Salzlösungen von nicht zu großer Leitfähigkeit benutzen zu können, ist es nötig, die Elektrometer, um die störenden Wirkungen der Polarisation auszuschließen, mit Wechselströmen von der Schwingungszahl $10^6$—$10^7$ zu laden. Smale giebt folgende Einzelheiten der von ihm benutzten Anordnung. Zur Suspension dienten Quarzfäden; die Zuleitung der sekundären Rolle (150 Windungen von 0·4 mm Draht) eines Tesla-Transformators geschah durch breite Kupferstreifen, um die Selbstinduktion zu verringern. Durch

[1] Smale, Wied. Ann. **60**, S. 625.

die primäre Rolle (80 Windungen von 1 mm-Draht) dieses Transformators wurden die Entladungen einer Leidener Flasche mittlerer Größe geschickt. Das benutzte Inductorium (Funkenlänge ca. 4 cm) war mit Deprez-Unterbrecher versehen und wurde durch 4 Cupron-Elemente getrieben. Die Länge der Funkenstrecke betrug etwa 1 mm. Um sicher zu sein, daß die beiden parallel geschalteten Elektrometer in jedem Augenblick gleiche Potentialdifferenz besitzen, wurde die Verbindung ihrer Pole durch breite Kupferstreifen hergestellt.

Von den beiden Elektrometern war das eine beständig mit reinem Wasser, das andere mit der zu untersuchenden Salzlösung beschickt; da die Ausschläge ziemlich konstant waren, so bot die abwechselnde Ablesung mit zwei Fernrohren keine Schwierigkeit.

Beim Schließen des Stromes stellt sich die Nadel bei Anwendung besser leitender Lösungen nicht sofort ein, sondern es findet eine allmähliche Zunahme des Ausschlages während ein bis zwei Minuten statt; nach Öffnen des Stromes kehrt die Nadel nicht sofort zum alten Nullpunkt zurück, sondern bleibt um ca. 1 cm verschoben — etwa den gleichen Betrag der eben erwähnten allmählichen Wanderung — um wiederum erst allmählich in die alte Ruhelage zurückzukehren. Am nächstliegenden scheint wohl die Annahme, daß lokale Erwärmungen die Ursache dieser Erscheinungen sind.

Bei den Messungen wurde, um die Fehler einer unsicheren Einstellung auszuschließen, in der Weise verfahren, daß die erste feste Einstellung der Nadel nach Schließen des Stromes notiert und als Ausschlag die Differenz dieser Einstellung gegen die anfängliche Ruhelage angenommen wurde.

Um den Elektrometerausschlägen eine passende Größe zu geben, war in der Leitung, welche die Elektrometer enthielt, ein verstellbarer Flüssigkeitswiderstand eingeschaltet.