

Über eine Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Flüssigkeiten

Autor(en): **Greinacher, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **21 (1948)**

Heft III-IV

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-111908>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über eine Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von Flüssigkeiten

von H. Greinacher (Bern).

(1. VI. 1948.)

I. Die Methode.

Sie knüpft an die QUINCKESCHE Steighöhenmethode zur Messung magnetischer Suszeptibilitäten an. Im Prinzip würde diese ohne weiteres auch auf die Messung der Dielektrizitätskonstanten von Flüssigkeiten anwendbar sein. Indessen gilt die bekannte Formel für die Steig- bzw. Druckhöhe Δp in einem Magnetfeld \mathfrak{H}

$$\Delta p = \frac{\kappa}{2} \mathfrak{H}^2 \quad (1)$$

nur für den Fall sehr kleiner Werte von κ , wie dies für para- und diamagnetische Substanzen zutrifft. Sie stellt eine Näherungsformel dar¹⁾, die keinesfalls auf den analogen Fall der Steighöhe eines flüssigen Dielektrikums in einem elektrischen Feld übertragen werden kann. Hier trifft, da die Elektrisierungskonstante grosse Werte annehmen kann, die Voraussetzung, dass das Feld in der Flüssigkeit gleich dem angelegten Felde sei, nicht zu. Nun liesse sich zwar diesem Umstande Rechnung tragen, da der Entelektrisierungsfaktor für einen (unendlich langen) zylindrischen Körper bekannt ist. Es wäre aber ausserdem noch der Einfluss des die Flüssigkeit enthaltenden Glasröhrchens auf die Feldverteilung zu berücksichtigen, ein Einfluss, der hier infolge der beträchtlichen D.K. von Glas besonders gross ist und zudem kaum zahlenmässig genau erfasst werden kann. Und selbst, wenn dies der Fall wäre, bestünde die Schwierigkeit, dass ein angelegtes Feld in der Flüssigkeit gar nicht zur Wirkung kommt, sobald diese auch nur in geringem Masse elektrisch leitet.

Da im Prinzip eine auf Kraftwirkung beruhende Methode zur Bestimmung der D.K. manche Vorteile versprach, wurde versucht, eine Anordnung zu treffen, die eine leichte mess- und berechenbare Bestimmung erlaubt. Nach einigen Zwischenlösungen wurde schliesslich folgende sehr einfache Methode gefunden. Man taucht

¹⁾ G. Joss, Lehrbuch der theoretischen Physik, 1932, S. 246.

direkt zwei Kondensatorplatten in die Flüssigkeit und beobachtet das Aufsteigen derselben bei einer gegebenen Spannungsdifferenz. Man vermeidet so jede Komplikation durch Luft- und Glasschichten und bis zu einem gewissen Grad auch diejenige durch die Leitfähigkeit. Wie ferner im folgenden gezeigt wird, lässt sich die D.K. dann nach einer für beliebige Grössenverhältnisse geltenden Formel exakt berechnen.

Die Steighöhe h einer (isolierenden) Flüssigkeit unter der Wirkung eines Feldes \mathcal{E} kann aus einer Energiebetrachtung gewonnen werden. Man denke sich die Kondensatorplatten zunächst ungeladen in die Flüssigkeit eingetaucht (Fig. 1a). Die Kapillarität lässt die Flüssigkeit etwas steigen. Die Höhenausdehnung des mit Luft und

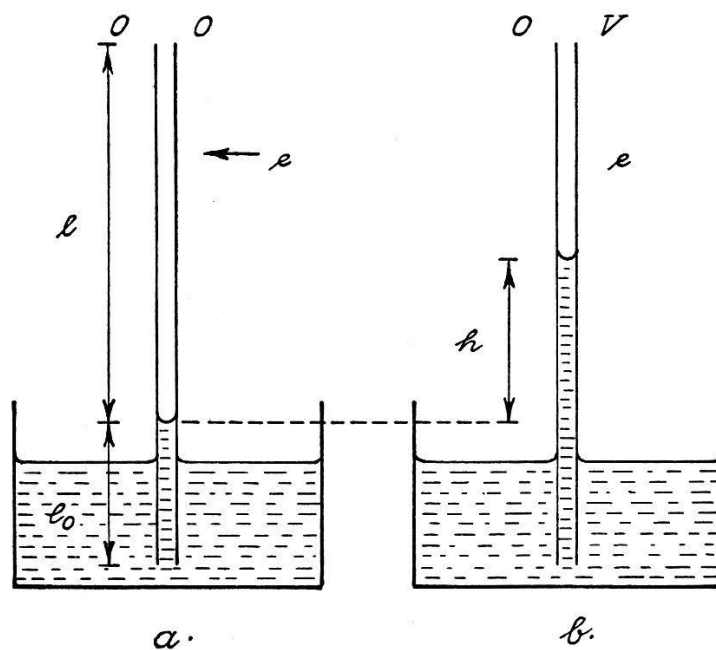


Fig. 1.

des mit Flüssigkeit erfüllten Raumes sei mit l und l_0 bezeichnet. Jetzt gibt man auf die eine Platte irgendeine elektrische Ladung e und hält die andere auf dem Potential 0. Damit fängt die Flüssigkeit an zu steigen, der Kondensator füllt sich immer weiter mit Flüssigkeit, und das Potential der geladenen Platte nimmt allmählich ab. Dieses betrage am Anfang V_0 , am Ende (nach Einstellung des Meniskus) V . Die Gesamtenergie des Systems ändert sich während des Steigens fortwährend. Gleichgewicht erhalten wir, wenn diese Energie einen Minimalwert angenommen hat.

Die Energiezunahme ΔE setzt sich aus zwei Teilen zusammen, aus einer mechanischen ΔE_m und einer elektrischen ΔE_e . Es ist ΔE_m für irgendeine Höhe h gleich dem gehobenen Flüssigkeitsgewicht

$\times (h/2)$, also, falls das äussere Niveau bei genügend grossem Querschnitt praktisch unverändert bleibt, in erg

$$\Delta E_m = q h \varrho g \cdot \frac{h}{2}. \quad (2)$$

$q =$ Flüssigkeitsquerschnitt $\varrho =$ Dichte

ΔE_e ist gleich der Differenz der elektrischen Energie im Falle Fig. 1b und 1a. Somit

$$\Delta E_e = \frac{\varepsilon \mathfrak{E}^2}{8\pi} q (h+l_0) + \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi} q (l-h) - \left[\frac{\varepsilon \mathfrak{E}_0^2}{8\pi} q l_0 + \frac{\mathfrak{E}_0^2}{8\pi} q l \right]. \quad (3)$$

Bevor die Minimumbedingung $dE/dh = 0$ berechnet werden kann, muss erst \mathfrak{E} noch durch h ausgedrückt werden. Es ist die elektrische Ladung im Falle Fig. 1a und 1b dieselbe. Also

$$e = CV = C_0 V_0 \quad \text{und somit} \quad \frac{V}{V_0} = \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{E}_0} = \frac{C_0}{C}.$$

Nun ist

$$C_0 \sim \varepsilon l_0 + l \quad \text{und} \quad C \sim \varepsilon (l_0 + h) + l - h$$

und daher

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_0 \frac{\varepsilon l_0 + l}{\varepsilon (l_0 + h) + l - h}. \quad (4)$$

Danach wird aus (3)

$$\Delta E_e = \frac{\mathfrak{E}_0^2}{8\pi} q (\varepsilon l_0 + l) \left(\frac{\varepsilon l_0 + l}{\varepsilon (l_0 + h) + l - h} - 1 \right). \quad (3a)$$

Wir erhalten jetzt

$$\frac{d \Delta E_e}{dh} = - \frac{\mathfrak{E}_0^2}{8\pi} q (\varepsilon l_0 + l)^2 \cdot \frac{\varepsilon - 1}{[\varepsilon (l_0 + h) + l - h]^2}$$

und unter Berücksichtigung von (4)

$$\frac{d \Delta E_e}{dh} = - q (\varepsilon - 1) \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi}.$$

Da

$$\frac{d E_m}{dh} = q h \varrho g = q \cdot \Delta p$$

so ergibt die Minimumbedingung

$$q \cdot \Delta p - q (\varepsilon - 1) \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi} = 0$$

oder

$$\Delta p = \frac{\varepsilon - 1}{8\pi} \mathfrak{E}^2. \quad (5)$$

Da $\varepsilon - 1/4\pi$ die Elektrisierungskonstante bedeutet, erhält man daher genau die zu (1) analoge Beziehung. Nur gilt sie jetzt *bei der hier angewandten Anordnung exakt und ohne Einschränkung für beliebige ε .*

II. Versuche.

Es sollen hier einige Versuche mitgeteilt werden, um die Brauchbarkeit der Methode und die Gültigkeit der Formel (5) zu erweisen. Die Anordnung bestand in folgendem. Zwei kurze verchromte Messingstäbe (Länge: 4 cm, \varnothing : 13 mm) wurden einander parallel in kleinem Abstand gegenübergestellt und einige Millimeter tief in die Flüssigkeit eingetaucht, die sich in einem würfelförmigen Glastrog (Kantenlänge 3 cm) befand. Die einander zugewandten Seiten der Stäbe waren auf einer Breite von 4 mm ebengeschliffen. Die eine Elektrode konnte mittels mikrometrischer Verschiebung in verschiedene Abstände von der andern gebracht werden. Es kamen naturgemäß nur kleine Plattenabstände in Frage, so dass immer eine gewisse kapillare Steighöhe vorhanden war und der Meniskus gut beobachtet werden konnte. Bei der mässigen Breite der Kondensatorfläche (4 mm) war der Meniskus in der Visierichtung genügend gekrümmt, so dass sich scharf auf den Sattelwert in der Mitte einstellen liess, besonders wenn man in der Beobachtungsrichtung diffus beleuchtete. Beobachtet wurde durch die Vorderwand des Glastroges mit einem Mikroskop 70facher Vergrösserung, das eine Okularteilung (50 Teile) mit einem Skalenwert von 0,0248 mm besass.

Prüfung auf Proportionalität zwischen Δp und \mathcal{E}^2 mit Gleich- und Wechselspannung.

Die Spannung wurde mit einem BRAUNschen Elektrometer (Messbereich 0—3500 V) gemessen, der Plattenabstand mittels der Okularskala durch Einstellen auf die vorderen Ränder der Kondensatorflächen. Die Parallelität wurde geprüft durch Ausmessen des Abstandes zwischen den Rändern auf der andern Seite. Die Abweichungen ergaben sich als gering und wurden im folgenden nicht berücksichtigt. Die Messungen wurden an Paraffinöl der Dichte $\rho = 0,88$ ausgeführt. Die Bewegung des Meniskus bei Anlegen der Spannung erfolgte rasch, doch wurde die definitive Einstellung infolge der Viskosität erst nach etwa einer Viertelminute erreicht. Die Resultate sind in Fig. 2 graphisch wiedergegeben. Man ersieht, dass die Messpunkte für alle vier gewählten Plattenabstände auf einer Geraden liegen, wenn man als Abszisse und Ordinate a bzw. V^2 aufträgt. Die Abweichungen liegen innerhalb der Messgenauigkeit bzw. der Eichfehler des Elektrometers. Aus den Messungen ist auch zu entnehmen, in wie weit für alle Plattenabstände bei gleicher Feldstärke V/a dieselbe Steighöhe vorhanden ist. Man

findet für die verschiedenen a der Reihe nach, dass für einen Ausschlag von 40 Okularteilen die Spannungsquadrate 37,5; 85,6; 154,5 und $258,0 \cdot 10^4$ betragen. Dies entspricht den Spannungen 610, 925, 1240 und 1605 Volt. Danach findet man

bei einem Abstand a : 19,8 30,0 39,3 49,3
 das Verhältnis V/a : 30,8 30,8 31,6 32,6

Das Abstandsgesetz bzw. die Voraussetzung, dass das Feld in der Mitte der Platten als homogen angenommen werden darf, ist also bis zu $a = 30$ gut erfüllt. Bei grösseren Abständen ist dann zu dem gemessenen a erst ein gewisser Korrekturbetrag zu addieren, wenn nach Formel (5) ein genauer Wert für ε erhalten werden soll.

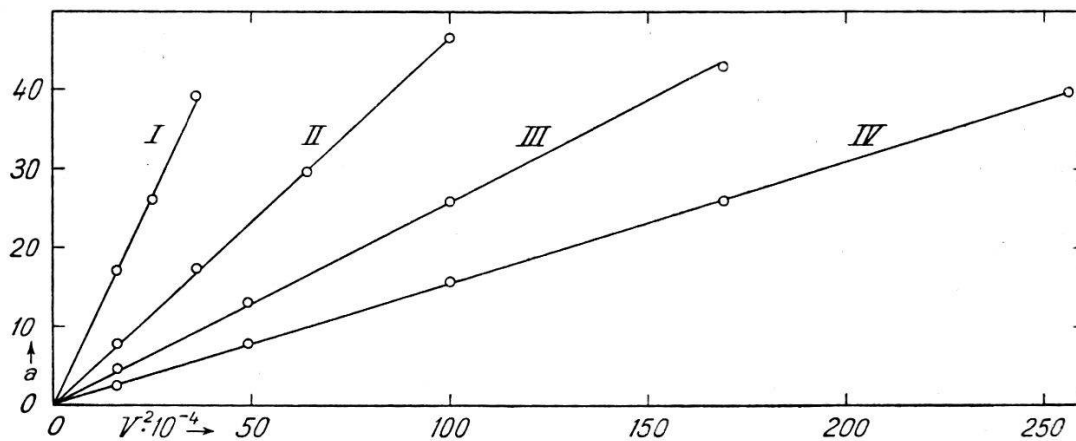


Fig. 2. Paraffinöl.

| bei | I | II | III | IV |
|----------------|------|------|------|------------|
| Plattenabstand | 19,8 | 30,0 | 39,3 | 49,3 Teile |

Da für die Kraftwirkung \mathcal{E}^2 massgebend ist, lassen sich die Messungen auch mit Wechselspannung ausführen. Wenn die Gleichspannung durch einen Effektivwert V_e derselben Grösse ersetzt wird, muss die Steighöhe dieselbe sein. In Fig. 3 sind zwei Messreihen (Kurven II und III) aufgetragen, bei denen abwechselungsweise Messpunkte mit Gleichspannung (o) und solche mit Wechselspannung (•) aufgenommen wurden. Die Punkte liegen, wie erwartet, auf ein und derselben Geraden. Man darf daher unbedenklich mit Wechselspannung messen, die vielfach einfacher zu beschaffen ist und einen besonderen Vorteil bietet bei der Messung von schlecht isolierenden oder gar leitenden Flüssigkeiten.

Um die D.K. zu berechnen wird man in Formel (5) die Zahlenwerte einsetzen und V in Volt ausdrücken. Wenn man ferner sowohl

die Steighöhe als den Plattenabstand in Okularteilen ausdrückt, so erhält man für die benützte Anordnung in Zahlen

$$\varepsilon - 1 = \frac{8\pi \cdot 981 \cdot 2,48^3 \cdot 10^{-9} \rho h a^2}{(V/300)^2} \quad \varepsilon - 1 = 33,85 \frac{\rho h a^2}{V^2}. \quad (5a)$$

Unter Benützung obgenannter Werte $h = 40$, $a = 19,8$ Teile und 610 Volt ergibt sich für das untersuchte Paraffinöl $\varepsilon = 2,26$. Eine besondere Genauigkeit des Resultates wurde hier, wie auch im folgenden, nicht erstrebt. Um eine solche zu erreichen, müsste der Okularwert (3. Potenz) und a (2. Potenz) besonders genau bestimmt werden.

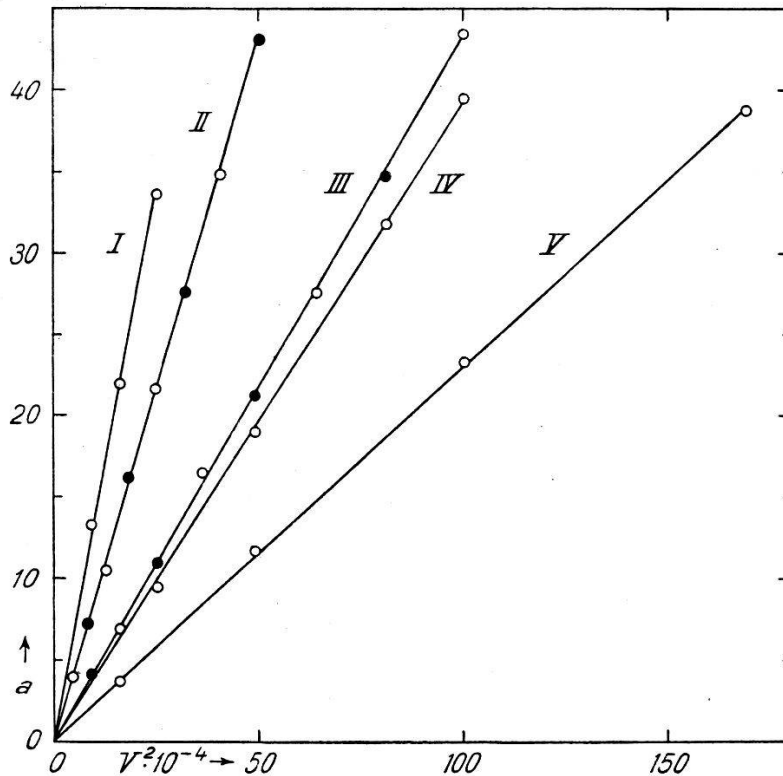


Fig. 3.

| | |
|--------------------------|------------|
| I. Amylacetat | $a = 32,0$ |
| II. Paraffinöl | $a = 31,2$ |
| III. Benzol | $a = 32,0$ |
| IV. Schwefelkohlenstoff | $a = 32,2$ |
| V. Tetrachlorkohlenstoff | $a = 32,1$ |

Bem. II in doppelter Steigung aufgetragen.

Messung der D.K.

a) *An Flüssigkeiten mit kleinem ε .* Fig. 3 gibt eine Zusammenstellung von Messreihen, wie sie mit verschiedenen Flüssigkeiten erhalten wurden. Die Messungen an CCl_4 , CS_2 , C_6H_6 und Amylacetat wurden praktisch bei demselben Plattenabstand ($a = 32,0$ bis $32,2$) ausgeführt. Bei der Messreihe für Paraffinöl betrug er indessen

$a = 31,2$. Da diese Kurve mit der für Benzol beinahe zusammenfallen würde, wurde sie in doppelter Steigung aufgetragen (Abszisse: $\frac{1}{2} V^2 \cdot 10^{-4}$). Man erhält in allen Fällen für die Kurven $h = f(V^2)$ Geraden. Soweit a dasselbe ist, gibt ihre Neigung ein Mass für $\epsilon - 1/\rho$. Bei den verdampfenden Flüssigkeiten (wie bei Benzol) sank die Nullstellung des Meniskus während des Messvorgangs langsam ab. Es wurde daher abwechselungsweise die Stellung ohne, dann mit und wieder ohne angelegte Spannung abgelesen und entsprechend gemittelt. Ausser bei Paraffinöl erfolgte übrigens die Einstellung des Meniskus fast momentan. Die Ablesung war in diesem Fall aber doch etwas erschwert, da der Meniskus infolge kleiner Bodenerschütterungen leicht zitterte. Es ist daher bei genauen Messungen wichtig, die Apparatur erschütterungsfrei aufzustellen.

In folgender Tabelle sind die für ϵ berechneten Werte zusammengestellt. Die eingeklammerten Zahlen sind KOHLRAUSCH, Praktische Physik, entnommen. Die systematischen kleinen Abweichungen von ϵ nach oben hängen möglicherweise mit der mässig genauen Bestimmung des Abstandes a und des Eichwertes des Mikrometers zusammen. Der letztere ist in der Tat auf die zweite Dezimale aufgerundet angegeben.

| | ϵ | (ϵ) | (ρ) |
|--|------------|----------------|------------|
| CCl ₄ | 2,30 | 2,2 | 1,596 |
| CS ₂ | 2,74 | 2,6 | 1,265 |
| C ₆ H ₆ | 2,33 | 2,28 | 0,881 |
| C ₇ H ₁₄ O | 5,19 | 4,8 | 0,88 |
| Paraffinöl | 2,26 | | |

b) *An Flüssigkeiten mit grossem ϵ .* Besonders musste die Bestimmung der D.K. für Wasser interessieren. Während bei den bekannten Kondensatormethoden die Leitfähigkeit sehr störend wirkt und daher besondere Hochfrequenzmethoden zur Kompensation oder Herabsetzung dieses Einflusses angewendet werden müssen, stört dieser Umstand im Prinzip bei der vorliegenden Methode gar nicht. Indessen ist der sekundäre Einfluss einer Elektrolyse nach Möglichkeit zu vermeiden. Das Entstehen von Gasbläschen stört sowohl durch die Änderung des Feldverlaufes und der Dichteverhältnisse als auch durch die hierdurch bedingte unruhige Bewegung des Meniskus. Hier erweist sich nun die Verwendung von Wechselspannung als von ausschlaggebender Bedeutung. Einmal wird eine durch einseitige Stromrichtung bewirkte Unsymmetrie in der elektrolytischen Abscheidung vermieden. Dann aber wird namentlich das Auf-

treten störender elektrolytischer Produkte überhaupt weitgehend unterdrückt. Auch ist der Ladungstransport durch Wechselstrom im Vergleich zu Gleichstrom kleiner, schon aus diesem Grunde ist die elektrolytische Abscheidung geringer. Das Verhältnis der transportierten Ladung ist nämlich für eine Halbperiode (wenn der Gleichstromwert gleich dem Effektivwert des Wechselstroms J_e angesetzt wird) $\frac{\int_0^{\tau/2} J^2 dt}{J_e \cdot \tau/2}$. Dieses ergibt für sinusförmigen Wechselstrom $2 \cdot \sqrt{2} / \pi = 0,900 \dots$. Schon hiernach ist also eine 10% kleinere elektrolytische Abscheidung zu erwarten. Nun zeigt sich aber ein noch viel wirksamerer Umstand. Infolge der raschen Aufeinanderfolge der Entladung von + - und - - Ionen an einer Elektrode wird die Elektrolyse während einer Halbperiode in weitgehendem Masse durch die der folgenden rückgängig gemacht. Demgemäss war denn auch die Gasentwicklung in Wasser und auch in den andern untersuchten Flüssigkeiten mit Leitfähigkeit so gering, dass die Messungen ohne Störung ausgeführt werden konnten. Nach Bedarf können aber die Versuchsbedingungen durch die Anwendung hochfrequenter Wechselströme noch weiter verbessert werden.

Leider zeigte sich bei der Messung an Wasser eine andere Schwierigkeit. Es muss durch besondere Massnahmen für eine gute Benetzung der Elektroden gesorgt werden. Diese erkennt man an der Gestalt des Meniskus, der sich mit dem Randwinkel 0 an die Flächen anlegen soll. Er muss ferner erschütterungsempfindlich sein und sich bei langsamem Heben des Gefässes stetig aufwärts bewegen. Eine vollkommene Benetzung der verchromten Flächen erwies sich nun nicht als möglich. Die Elektroden wurden daher versuchsweise durch entsprechende aus Antikorodal ersetzt. Nachdem diese (Al enthaltenden) Elektroden kurzzeitig in verdünnte KOH-Lösung eingetaucht waren, ergab sich eine gute Benetzung. Bei Anlegen der Wechselspannung stieg die Flüssigkeit normal, der Meniskus schaukelte jedoch auf und ab und die Steighöhe ging nach kurzer Zeit auf einen kleinen Wert zurück. Dasselbe trat auch mit Gleichspannung ein, und nur durch leichtes Schmirgeln der Elektroden konnte wieder ein Steigen erzielt werden. Offenbar bewirken schon geringe Ströme die Bildung einer dünnen, nicht leitenden Al_2O_3 -Schicht, welche das Feld in der leitenden Flüssigkeit abschirmt. Die geeignete Wahl des Elektrodenmaterials erwies sich also als wesentlich. Es muss daher von Interesse sein, die in Betracht fallenden Materialien (z. B. Edelmetalle) systematisch auf ihre Brauchbarkeit hin zu untersuchen. Die im folgenden mitgeteilten Versuche beschränken sich indessen auf die Anwendung von Messingelektroden, die ein norma-

les Verhalten zeigten. Es liessen sich einfach die erstbenützten Elektroden verwenden, nachdem der Chrombelag auf den Kondensatorflächen abgefeilt war. Nach kurzem Eintauchen der Elektroden in verdünnte HNO_3 -Lösung ergab sich eine gute Benetzung mit Wasser.

In Fig. 4 sind je eine Messungsreihe für Wasser und Alkohol wiedergegeben. Die Wechselspannung wurde zum Teil direkt dem Lichtnetz von 220 V entnommen und mittels einer Potentiometerschaltung auf die gewünschten Werte reduziert. Die Messpunkte liegen,

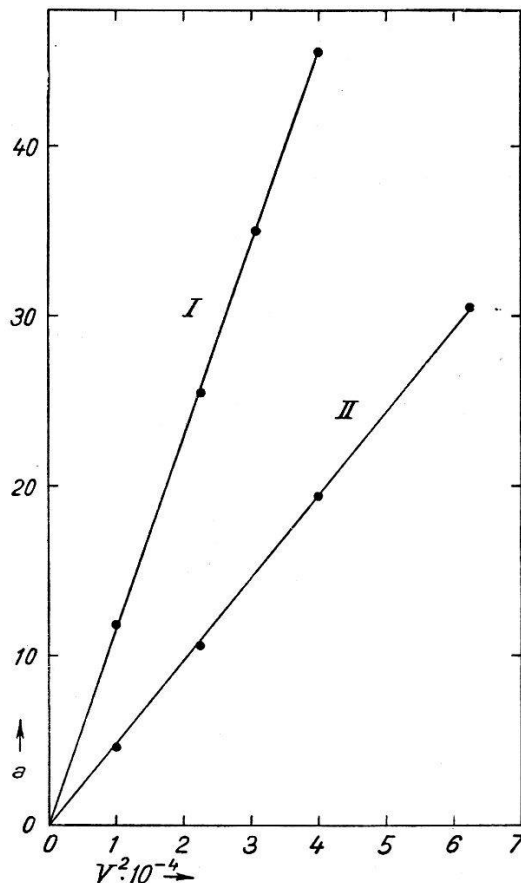


Fig. 4.

I. Wasser. II. Alkohol.

wie erwartet, auf einer Geraden. Es zeigte sich hier, wie allgemein bei Messungen mit Wasser, dass gelegentlich Punkte herausfielen (Unregelmässigkeiten bei der Benetzung?). Es ist daher empfehlenswert, nicht eine Einzelmessung auszuführen, sondern immer eine Spannungskurve aufzunehmen, ein Verfahren, das für alle Flüssigkeiten bei genauen Messungen angewendet werden sollte. Aus der Messreihe für Wasser wurde eine D.K. von 80,7 berechnet. Da der Plattenabstand indessen relativ gross war, wäre noch eine kleine Korrektur am gemessenen Wert für a (45,5 Teile) anzubringen, so dass der für ϵ berechnete Wert um einige Prozente grösser anzu-

setzen wäre. Dasselbe ist für die mit demselben Abstand ausgeführte Messung an Alkohol (käuflicher Feinsprit) zu sagen, für den sich eine D.K. von 27,9 berechnete. Um eine genaue *Absolutbestimmung* der D.K. für Flüssigkeiten auszuführen, wäre besondere Sorgfalt auf die Auswertung des Elektrodenabstandes und des Eichwertes der Skala, ferner auf die Konstanz und genaue Messung der Spannung, sowie Erschütterungsfreiheit der Aufstellung zu achten.

Diese Umständlichkeiten lassen sich zum Teil vermeiden, indem man *Relativmessungen* unter Benützung einer Eichsubstanz, die anderswie genau bekannt ist, ausführt. Wendet man Formel (5) auf eine bekannte (ϵ_0) und eine unbekanntes (ϵ) Flüssigkeit an, so erhält man

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon_0 - 1} = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{h}{h_0} \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^2, \quad (6)$$

eine Formel, die sich für Ablesungen bei $V = V_0$ noch weiter vereinfacht. Auf diese Weise wurde z. B. durch Vergleich der Messreihen in Fig. 4 unter der Annahme des für Wasser bekannten Wertes $\epsilon_0 = 81$ für Alkohol erhalten $\epsilon = 28,0$.

Messungen mit zylindrischen Elektroden.

Im folgenden sind noch einige relative ϵ -Bestimmungen aufgeführt. Die Elektroden konnten für diese Messungen in festem Abstand voneinander angebracht werden. Um eine gute Reinigung bei Auswechslung der Flüssigkeiten zu ermöglichen und eine weitere Vereinfachung zu erzielen, wurden zylindrische Elektroden verwendet. Zwei Messingstäbe ($\varnothing = 4$ mm) wurden durch ein Cibanitstück im festen Abstand von 1,02 mm voneinander gehalten. Jetzt konnte man auch einen noch kleineren Glastrog verwenden (Querschnitt $1,8 \cdot 2$ cm²) und damit mit sehr wenig Flüssigkeit (ca. 2 cm³) auskommen. Die Formel (5) lässt sich allerdings nicht direkt auf die Anordnung mit zylindrischen Elektroden übertragen. Jedoch war anzunehmen, dass sie mit veränderten Zahlenfaktoren auch Gültigkeit für die Mittelebene (den Meniskus in der Mitte) besitze. In diesem Fall musste auch hier die Steighöhe proportional zu V^2 anwachsen. In der Tat ergab sich bei allen Flüssigkeiten für $h = f(V^2)$ eine Gerade, die dann allerdings bei höheren Spannungen leicht nach oben umbiegt. Für die Berechnung der D.K. war daher die Richtung des untern Kurventeils massgebend.

Die ausgeführten Messungen sind in Fig. 5 zusammengestellt. Es wurden vornehmlich Flüssigkeiten mit grossem ϵ untersucht, für welche Spannungen unterhalb 500 V genügten. Die zum Teil er-

hebliche Leitfähigkeit (Aceton) störte nicht wesentlich. Jedoch musste, wie bei den Flüssigkeiten mit kleinem ϵ , infolge der langsamen Verdunstung die Nullstellung nach jeder Messung abgelesen werden. Zur Kontrolle wurde auch eine Messreihe mit dem gut isolierenden Benzol ausgeführt. Bei den hier erforderlichen wesentlich höheren Spannungen zeigte sich ein allmählich zunehmendes Unschärfwerden des Meniskus und eine schliessliche Aufspaltung desselben, indem stehende durch die Wechselfspannung unterhaltene Kräuselwellen entstanden. Es musste daher mit Gleichspannung gemessen werden. In folgender Tabelle sind die unter Verwendung der

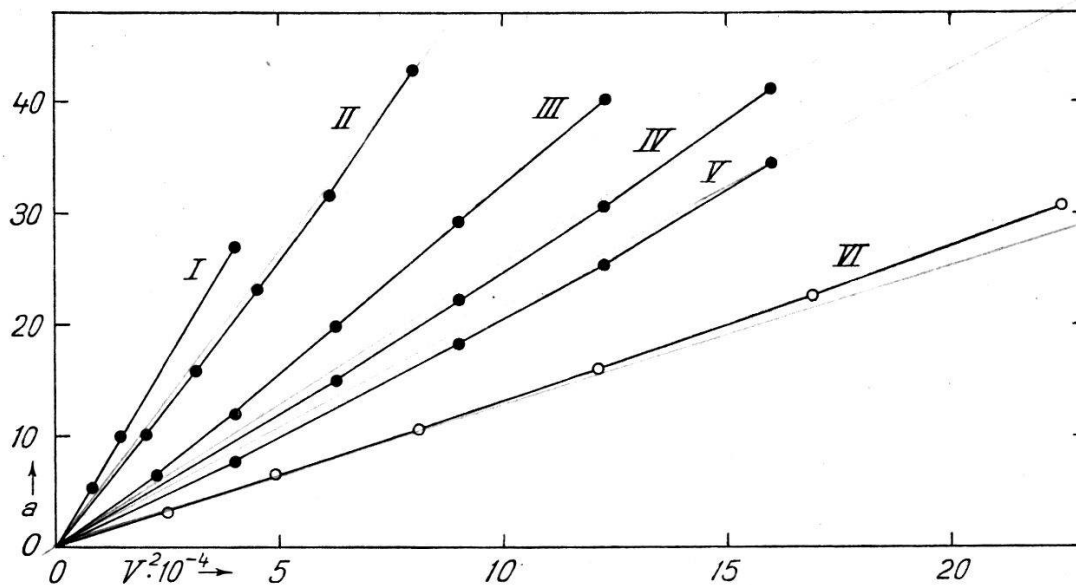


Fig. 5.

I. Wasser. II. Nitrobenzol. III. Alkohol. IV. Aceton. V. Butylalkohol. VI. Benzol.
Bem. II in doppelter Steigung aufgetragen.

bekanntem D.K. von Wasser (81) gefundenen ϵ -Werte zusammengestellt, wobei die in KOHLRAUSCH, Praktische Physik, angegebenen Zahlen in Klammern beigelegt sind.

| | ϵ | (ϵ) | (ρ) |
|------------------|------------|----------------|------------|
| Alkohol | 29,1 | 26 | 0,791 |
| Aceton | 23,5 | 21,5 | 0,794 |
| Butylalkohol . . | 19,35 | 20 | 0,804 |
| Nitrobenzol . . | 37,2 | 36,4 | 1,21 |
| Benzol | 2,37 | 2,28 | 0,881 |

Man ersieht hieraus, dass man auch mit der vereinfachten Anordnung bequem ϵ -Messungen ausführen kann. Es besteht durchaus

die Möglichkeit, unter Verwendung noch dünnerer Elektrodenstäbe, die evtl. auf der einander zugewandten Seite ebengeschliffen sein können, *Messungen an ausserordentlich kleinen Flüssigkeitsproben rasch und ohne Umstände* durchführen zu können. Die Anordnung ist ohne weiteres auch für eine instruktive Praktikumsaufgabe geeignet, sowie zur Demonstration der Dielektrizität von Flüssigkeiten. Die Vorführung des grossen ϵ -Wertes für Wasser, für welche zwei parallel gestellte Kupferdrähte und die Netzspannung von 220 V (unter Vorschaltung einer Glühlampe) genügen, gehört sogar in das Gebiet der Freihandversuche.

Physikalisches Institut der Universität Bern.
