

**13. Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn
Quincke¹⁾: Die Klebrigkeit isolirender Flüssig-
keiten im constanten electrischen Felde;
von W. Schaufelberger.**

Seit den Arbeiten des Hrn. Arnò u. a. wird ziemlich allgemein anerkannt, dass die dielectricischen Medien, wenn sie einer wechselnden Polarisirung unterworfen werden, die Erscheinungen der Hysteresis aufweisen, ähnlich wie die magnetischen Substanzen, und man spricht seither von dielectrischer Hysteresis.

Unter der Annahme, dass die dielectrische Polarisirung um eine kleine Zeit hinter der Kraft des Feldes zurückbleibe, gelang es mir, eine experimentell nachgewiesene Vergrösserung der Dämpfung, welche dielectrische Rotationsellipsoide bei ihrer Drehung im homogenen electrischen Felde erfahren, zu erklären, sowie die Grösse der Hysteresis für die Substanzen Hartgummi und Paraffin zu ermitteln.

Die Versuche, welche demnächst veröffentlicht werden, ergaben, dass die für das Umpolarisiren nöthige Arbeit für langsame Schwingungen ($T/2 = 2,8$ sec) einen ganz erheblichen Bruchtheil der Polarisationsenergie ausmachen, insbesondere bei nicht vollkommenen dielectrischen Medien. Diesem Resultat zufolge ist es nicht unwahrscheinlich, dass bei den Versuchen des Hrn. Quincke die dielectrische Hysteresis, wenn nicht ganz, so doch wohl zum grössten Theil die Ursache der erhöhten Dämpfungserscheinung ist.

Hr. Quincke hat Kugeln aus Crown Glas, Flintglas, Quarz und Kalkspath an einer Waage hängend zwischen die Platten eines Kondensators gebracht, die auf hohe Potentialunterschiede geladen waren. Als Dielectricum wurden Flüssigkeiten benutzt, wie Aether, Schwefelkohlenstoff, Terpentin etc. Er beobachtete, dass die Schwingungen der Waage nach der Ladung eine bedeutend stärkere Dämpfung zeigten und schloss daraus, dass

1) Quincke, Wied. Ann. 62. p. 1. 1897.

die betreffenden Flüssigkeiten im electrischen Felde eine erhöhte Klebrigkeit erhalten.

Bei Bewegungen der Kugeln senkrecht zu den Kraftlinien fand Hr. Quincke eine 1,5 bis 6 mal stärkere Beeinflussung als bei der Bewegung parallel zu den Kraftlinien.

Hr. Walter König¹⁾ konnte bei seinen Ausflussversuchen aus Capillarröhren keine Erhöhung der Klebrigkeit beobachten. Dieser Widerspruch kann aber gehoben werden durch eine etwas andere Deutung der Versuche des Hrn. Quincke.

Befindet sich eine dielectrische Kugel in einem ursprünglich homogenen electrischen Felde, so wird sie in der Richtung der Kraftlinien polarisirt und zwar gleichmässig durch ihr ganzes Innere als vollständige Fläche zweiten Grades. Je nachdem die Dielectricitätsconstante der Kugel grösser oder kleiner ist als die des Mediums im Felde, ladet sich die der positiv geladenen Condensatorplatte zugekehrte Halbkugel oberflächlich negativ oder auch positiv, die andere umgekehrt.

Diese Ladung verursacht nun, dass das die Kugel umgehende Feld nicht mehr homogen bleibt, sondern eine Störung erfährt, die sich dem ursprünglich homogenen Felde überlagert. Durch die Anwesenheit der Kugel hat sich also die Polarisirung des das Feld erfüllenden Mediums, in unserem Fall der Flüssigkeit, geändert.

Man erkennt nun sofort, dass, sobald wir die Kugel in der Flüssigkeit eine periodische Bewegung ausführen lassen, die einzelnen Massenelemente der die Kugel umgebenden Flüssigkeit periodische Schwankungen in ihrer Polarisirung erfahren. Da aber bei diesem Umpolarisiren Energie verzehrt wird, so müssen nothwendig electrische Kräfte auftreten, die einerseits die Kugel an ihrer Bewegung hindern und die andererseits die Flüssigkeit in Bewegung versetzen.

Ganz in gleicher Weise ergiebt sich eine dämpfende Wirkung, wenn man die Flüssigkeiten nicht als vollkommene Isolatoren auffasst. Alsdann treten in der Flüssigkeit electrische Ströme auf, die einen gewissen Energieverbrauch zur Folge haben, der sich als Dämpfung des Systems bemerkbar macht.

Nur wenn es sich um recht vollkommene feste Isolatoren

1) W. König, Wied. Ann. 25. p. 624. 1885.

handeln würde, wie Paraffin, Colophonium, Schwefel etc., so wäre wohl electriche Leitung ausgeschlossen. Wenn ich auch im weiteren nur die dielectriche Polarisirung berücksichtige, so soll doch die electriche Leitung als Dämpfungsursache nicht ausgeschlossen sein.

Hr. Quincke selbst macht auf diese Thatsache aufmerksam, indem er sagt: „Bei dem Einbringen der festen Kugeln in die Flüssigkeit des electricchen Feldes wird die electriche Feldstärke geändert, bei Kugeln aus verschiedenen Substanzen in verschiedener Weise, sieht man aber von diesen Aenderungen ab, so sollten Kugeln gleicher Grösse aus verschiedenen Substanzen in derselben Flüssigkeit bei gleichen Abständen und gleicher Potentialdifferenz der Condensatorplatten dieselbe Dämpfung zeigen.“ Nun ergaben meine Versuche mit einem bifilar aufgehängten Rotationsellipsoid aus Hartgummi im electricchen Feld eine Dämpfung, deren logarithmisches Decrement $\lambda - \lambda_0 = 0,120$ betrug. Hierbei war die Rotationsaxe senkrecht zu den Kraftlinien, die Feldstärke 1,36 C.G.S., die halbe Schwingungsdauer 2,76 sec, das Trägheitsmoment des ganzen Systems 42,4 C.G.S.-Einheiten und die Halbaxen des Ellipsoides $a = 1,5$ cm, $b = 1,5$ cm, $c = 4$ cm. Somit war die dämpfende Wirkung des electricchen Feldes auf schwingende feste Isolatoren von derselben Grössenordnung, wie sie Hr. Quincke für Flüssigkeiten beobachtet hat. Es lag deshalb nahe, die Dämpfung bei isolirenden Flüssigkeiten ebenfalls auf Hysteresis zurück zu führen.

Dass die Dämpfung ganz oder zum grössten Theil vom Felde, welches die Kugel erzeugt, bedingt ist, ergibt sich aus folgender Ueberlegung: Das Kraftfeld ist abhängig von der Grösse $D_k - D_f$ wo D_k und D_f die dielectricchen Constanten der Kugelsubstanz und der Flüssigkeit sind. Wenn nun die Wirkung dieses Feldes von Einfluss ist auf die Dämpfung, so muss sich die Grösse von $D_k - D_f$ auch in der Dämpfung $\lambda - \lambda_0$ bemerkbar machen. Ein solcher Zusammenhang lässt sich aber einigermaassen in der untenstehenden Tabelle erkennen.

Hr. Quincke giebt in seiner Arbeit die Werthe der dielectricchen Constanten seiner Flüssigkeiten an, nicht aber diejenigen der Kugelsubstanzen. Ich bin deshalb genöthigt,

die für die betreffenden Substanzen üblichsten Werthe einzuführen, statt der an den Kugeln selbst bestimmten Grössen. Hr. G. Wiedemann giebt im zweiten Band seiner „Lehre von der Electricität“ für

Crownglas (3,108)	$D_k = 3,11$	} p. 35
Flintglas (3,054—3,013)	$D_k = 3,03$	
Quarz	$D_k = 4,6$	} p. 44
Kalkspath; \perp zur Axe 7,7 zur Axe 7,5	$D_k = 7,6$	

Die Potentialdifferenz, bis zu welcher der Condensator geladen war, betrug 2000 V. der Plattenabstand 1,5 cm. Die Einführung der oben stehenden Constanten zeigt nun, dass im allgemeinen bei derselben Flüssigkeit einem grösseren Unterschied in den Dielectricitätsconstanten auch eine grössere Dämpfung entspricht. Allerdings kommen auch Ausnahmen vor, diese sind durch Klammern hervorgehoben.

Flüssigkeit des electrischen Feldes \rightarrow	Aether		Schwefel- kohlenstoff		1 V. Schwefel- kohlenstoff 1 V. Terpen- tinöl		Benzol		Schwefel- kohlenstoff ¹⁾ u. Terpentintöl (dickflüssig)	
Kugelsubst. \downarrow	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$
Crownglas	0,0398	1,21	0,0338	0,49	0,0231	0,61	0,0187	0,74	0,0998	0,80
Flintglas	0,0458	1,29	0,0206	0,41	(0,0248	0,53)	(0,0293	0,66)	0,0915	0,72
Quarz	0,0366	0,3	0,0388	2,0	0,0251	2,1	0,0245	2,2	—	—
Kalkspath	0,0538	3,3	(0,0304	5,0)	0,0291	5,1	(0,0152	5,2)	—	—

Die Abweichungen von der Regel rühren wohl davon her, dass, wie Hr. Quincke selbst bemerkt, „die Messungen mit verschiedenen Kugeln nicht genau vergleichbar sind, da die Kugeln mit den Laufgewichten der Mohr'schen Waage äquilibrirt wurden, also Gestalt und Trägheitsmoment des schwingenden Systems bei den einzelnen Messungen etwas verschieden war“.

1) Für das zweite Gemisch von Schwefelkohlenstoff und Terpentintöl habe ich die dielectricische Constante von Terpentintöl angenommen, weil das Terpentintöl überwiegend im Gemisch vertreten war, übrigens liegen beide Grössen nahe beisammen.

Die Tabelle zeigt keineswegs Proportionalität zwischen den Grössen $D_k - D_f$ und $\lambda - \lambda_0$. Das mag einerseits davon herrühren, dass, wie der Verfasser bemerkt, die von ihm früher untersuchte Rotation der Kugeln um die Axe der Aufhängung¹⁾ störend auf die Genauigkeit der Resultate einwirkte; oder aber davon, dass theilweise ein Umpolarisiren, theilweise auch eine Bewegung der Flüssigkeit verursacht wird, wobei das Verhältniss, nach welchem beide Erscheinungen auftreten, sehr wohl von der Stärke des überlagerten Feldes abhängen kann.

Wenn die Kugeln sich senkrecht zu den Kraftlinien bewegten, waren die Condensatorplatten quadratisch, hatten 5 cm Kantenlänge und befanden sich im Abstand von 1,5 cm; wenn die Bewegung parallel den Kraftlinien stattfand, hatten die Platten Kreisform und 3,5 cm Durchmesser, der Abstand betrug 3 cm.

Bei diesen letztgenannten Versuchen ergab sich wie früher für einen grösseren Werth von $D_k - D_f$ in der Regel auch ein grösserer Werth von $\lambda - \lambda_0$, wie folgende Tabelle zeigt.

Flüssigkeit →	Aether		Schwefelkohlenstoff		Benzol	
Kugelsubstanz ↓	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$	$\lambda - \lambda_0$	$D_k - D_f$
Crownglas	0,0127	1,21	0,0118	0,49	0,0028	0,74
Flintglas	(0,0063	1,29)	0,0112	0,41	0,0014	0,66

Es ist klar, dass die Störung des homogenen electrischen Feldes, die durch die Anwesenheit der Kugel auftritt, bei den vorliegenden Dimensionen und Abständen der Platten sich weiter als nur bis zu diesen letzteren bemerkbar machen würde, wenn das ursprünglich homogene Feld beliebig ausgedehnt gewesen wäre. Mit Rücksicht darauf, dass das Feld sich nicht vollständig ausbilden konnte, ist für Verschiebungen nach verschiedenen Richtungen auch eine verschiedene Dämpfung zu erwarten; ebenso aber auch aus dem Grunde, dass für verschiedene gerichtete Verschiebungen der Kugel dasselbe Flüssigkeitselement verschiedene Polarisationschwankungen erfährt.

Die Beobachtungen des Hrn. Quincke, dass Kugeln aus

1) W. Quincke, Wied. Ann. 59. p. 418. 1896.

isolirenden Substanzen, die in isolirenden Flüssigkeiten zwischen Condensatorplatten parallel und senkrecht zu den Kraftlinien schwingen, bei geladenem Condensator eine stärkere Dämpfung erfahren, als bei ungeladenem, deuten darauf hin, dass die betreffenden Flüssigkeiten (Aether, Schwefelkohlenstoff, Terpentinöl und Benzol) im wechselnden Felde entweder dielectricische Hysteresis, oder aber ein kleines electricisches Leitungsvermögen, eventuell beides besitzen.

Nachtrag. Es hat schon Heydweiller¹⁾ seinerzeit bemerkt, dass bei Annahme einer geringen Leitfähigkeit die von Hrn. Quincke in seiner ersten Arbeit über Rotation im electricischen Felde beschriebenen Erscheinungen auf Grund der Untersuchungen von Hertz²⁾, erklärt werden können. Nach Schweidler³⁾ stimmen die hiernach berechneten Rotationen nicht nur dem Sinne, sondern in günstigen Fällen auch der Ordnung nach mit den von Quincke beobachteten überein. In dem mir zur Zeit allein zur Verfügung stehenden Referat fehlen mir jedoch die Grundlagen zur Beurtheilung wie weit sich diese numerische Uebereinstimmung erstreckt. Dass in jenen Fällen die Hysteresis nicht zur Erklärung, herbeigezogen werden könne, weil diese nur Arbeit vernichte, hat Boltzmann⁴⁾ bereits bemerkt.

In dem vorliegenden Fall der Dämpfung, erscheint der Einfluss der Hysteresis nicht nur principiell, sondern auch der Grössenordnung nach mitwirkend.

Zürich, Allgem. Uebungslabor. des eidg. physikal. Inst.,
den 22. April 1898.

1) Heydweiller, Verhandl. d. physik. Gesellsch. zu Berlin 16. p. 32—36.

2) H. Hertz, Wied. Ann. 13. p. 266. 1881.

3) Schweidler, Sitzungsber. d. k. Gesellsch. d. Wissensch. zu Wien 106. p. 526—532.

4) Boltzmann, Wied. Ann. 60. p. 399. 1897.

(Eingegangen 24. April 1898.)
