

Das flüssige Dielektrikum (Isolierende Flüssigkeiten)

Von

Dr.-Ing. A. Nikuradse

Privatdozent an der Technischen Hochschule
Berlin

Mit 82 Textabbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1934

ISBN 978-3-642-51935-2 ISBN 978-3-642-51997-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-51997-0

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1934

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1934

Vorwort.

Wenn ich mich entschlossen habe, eine Monographie über flüssige Dielektrika zu verfassen und sie der Öffentlichkeit zu übergeben, so geschah dies auf Grund der Anregung und der Wünsche einiger Fachkollegen und Studenten.

Die Grundlage des vorliegenden Buches bildete einen Teil meiner zweisemestrigen Vorlesung, die ich an der Technischen Hochschule München für Elektrotechniker hielt und die das Verhalten des Dielektrikums im elektrischen Felde und der Elektronen und Ionen in Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern behandelte.

Es soll in diesem Buch zum erstenmal der Versuch gemacht werden, alle Grunderscheinungen zusammenzustellen, die in einer dielektrischen Flüssigkeit unter dem Einfluß einer von außen wirkenden elektrischen Feldstärke auftreten. Dabei sind auch solche experimentellen und theoretischen Erfahrungen besprochen worden, die in Gasen und festen Körpern gewonnen wurden, aber auch für Flüssigkeiten von Bedeutung sind. Eine stärkere Überbrückung der einzelnen Gebiete, die in gesonderten Abschnitten behandelt werden, wäre wohl einerseits wünschenswert gewesen, hätte aber auch gewisse Nachteile mit sich gebracht, denn der Stoff hätte gewaltsam aneinandergereiht, die einzelnen Gebiete zwangsmäßig einander angepaßt werden müssen, um die Einheitlichkeit und den Zusammenhang der Darstellung zu gewährleisten. Dabei wäre es unvermeidlich gewesen, widersprechende Ergebnisse der einzelnen Kapitel zu unterdrücken. Vom Standpunkt der Forschung aus aber war es geradezu notwendig, diese Widersprüche besonders zu betonen und hervorzuheben, um die wahren Verhältnisse nicht zu verwischen.

Bei Ausarbeitung des Manuskriptes wurde deshalb Wert darauf gelegt, die in der Literatur vorhandenen Resultate möglichst getreu zu übermitteln, wenn auch meine persönliche Einstellung deswegen zurücktreten mußte. Dies geschah deswegen, weil das vorliegende Buch nicht nur für die in der Praxis stehenden Physiker und Ingenieure, sondern auch für die Forscher dieses Gebietes gedacht ist. Die Einstellung verschiedener Forscher zu ein und demselben Problem ist von diesem Standpunkt aus von großem Interesse. Aus denselben Gründen sind die Literaturangaben möglichst ausführlich gemacht worden. Man ist daher jederzeit in der Lage, für das eingehende Studium einzelner Fragen in die betreffende Literatur schnell Einblick zu gewinnen.

Es ist eine in mancher Hinsicht undankbare Aufgabe, ein Buch über dieses Gebiet für zwei verschiedene Leserkreise mit ganz verschiedenen Gesichtspunkten und verschiedenen gebräuchlichen Maßsystemen zu schreiben, denn dadurch entsteht ein unvermeidlicher Zwiespalt, den ich auch bei der Niederschrift dieser Monographie empfand, und der sich hoffentlich beseitigen läßt, wenn das Gebiet abgeschlossener ist als heute.

Wegen der sehr raschen Entwicklung sind während des Druckes eine ganze Reihe neuer wichtiger Arbeiten erschienen. Ich habe mich bemüht, die wichtigsten wenigstens in einer kurzen Inhaltsangabe wiederzugeben.

Es wäre von Interesse gewesen, in diesem Buch auch die Theorie der elektrolytischen Leitfähigkeit zu berücksichtigen und ihren Zusammenhang mit der Stromleitung in dielektrischen Flüssigkeiten (verunreinigte Flüssigkeiten) hervorzuheben. Das Buch wäre aber dadurch zu umfangreich geworden, und da in anderen Monographien dieses Gebiet bereits gut behandelt wurde, habe ich davon Abstand genommen.

Aus demselben Grund ist der Raman-Effekt nicht mit einbezogen worden.

Die besprochenen Erscheinungen haben mannigfaltige technische Bedeutung, so die dielektrischen Verluste und der Durchschlag in der Hochspannungstechnik, der Kerreffekt in der Kerrzelle (Lichtsteuerorgan in Tonfilm, Bildtelegraphie, Fernsehen, Relais usw.), die Elektrokinetik in der Elektrochemie usw.

Da das vorliegende Buch sowohl für Physiker als auch für Elektrotechniker gedacht ist, und beide in verschiedenen Maßsystemen rechnen, müssen die Formeln sowohl für das elektrostatische C. G. S., als auch für das praktische Maßsystem gelten.

Die Formeln des ersten Abschnittes sind so gewählt worden, daß sie für beide Maßsysteme angewandt werden können, bis auf diejenigen, bei denen im Text betont wird, daß sie im elektrostatischen C. G. S.-System angeschrieben werden.

Im praktischen Maßsystem bedeutet

$$f = 1 \text{ und } \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}}.$$

Im elektrostatischen C. G. S.-Maßsystem bedeutet

$$f = 4\pi \text{ und } \varepsilon_0 = 1.$$

Die Zusammenstellung einiger Formeln in beiden Maßsystemen am Ende des ersten Abschnittes beseitigt die Unannehmlichkeiten der Umschreibung der Formeln von einem Maßsystem in das andere. Für die anderen Abschnitte erübrigte sich eine derartige Darstellung der Formeln.

Das Literaturverzeichnis ist für jeden Abschnitt besonders zusammengestellt worden. Innerhalb der Abschnitte geschah die Zusammenstellung nicht nach irgendwelchen festen Gesichtspunkten, sondern sie ist ganz zufällig entstanden, wie es die Entwicklung des Manuskriptes mit sich brachte.

Allen den Herren Professoren, insbesondere Herrn Prof. Dr. W. O. Schumann, München, die mir mit freundlichen Ratschlägen geholfen haben, möchte ich bestens danken. Beim Durchlesen der Korrektur waren mir Frl. Dipl. Phys. Hertha Emde und Herr Dr. Ing. J. Müller behilflich, wofür ich ihnen meinen Dank ausspreche. Der Verlagsbuchhandlung danke ich für die freundliche Berücksichtigung meiner Wünsche und die schöne Ausstattung des Buches.

Berlin, im November 1933.

Alexander Nikuradse.

Inhaltsverzeichnis.

A. Theorie der Dielektrika. Dielektrische Anomalien. Dielektrische Verluste.

	Seite
1. Einleitung. Allgemeines über dielektrische Verschiebung und die Dielektrizitätskonstante	1
2. Clausius-Mosottisches Gesetz. Molekulare Polarisierung	4
3. Die Elektronen- und Dipoltheorie der Dielektrika	7
4. Dielektrizitätskonstante	10
a) Die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante	10
b) Änderung der Dielektrizitätskonstante bei Umwandlungspunkten	12
c) Die Dielektrizitätskonstante von Gemischen	13
d) Die Druckabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante	13
5. Assoziation in Dipolflüssigkeiten	15
6. Dielektrische Verluste	17
a) Einleitung	17
b) Theorie der dielektrischen Verluste	17
α) Theorie des inhomogenen Dielektrikums (Maxwell, Wagner)	20
β) Molekulartheoretische Deutung der dielektrischen Verluste	34
γ) Ionenleitung als Ursache der dielektrischen Anomalien.	37
c) Experimentelles über die Verluste	38
α) Die Abhängigkeit des Verlustwinkels von der Zeit	38
β) Die Abhängigkeit des Verlusts von der Frequenz	39
γ) Einfluß der Temperatur	40
δ) Einfluß der Spannung	44
d) Quellenangabe für die Meßmethoden der dielektrischen Verluste	45
e) Formelzusammenstellung	46

B. Dielektrikum im elektrischen Feld.

I. Elektrische Doppelbrechung (Kerr-Effekt).	48
Die Theorie des Kerr-Effekts	51
II. Elektrostriktion	55
III. Mechanische Strömungserscheinungen	56

C. Ionisierung. Elektrizitätsleitung.

I. Allgemeine Betrachtung über Ionisierung in Flüssigkeiten.	
1. Ionisation	59
2. Ionisierung von Molekülen	63
3. Beugungserscheinungen der Röntgen- und Elektronenstrahlen an Molekülen	65
4. Absorptionsspektrum der in Flüssigkeiten gelösten Substanzen und die Ionisation	69
5. Fluoreszenz und Phosphoreszenz	72
6. Elektronenaustritt aus dem kalten Metall unter der Wirkung der elektrischen Feldstärke	73
II. Elektrizitätsleitung bei niedrigen Feldstärken.	
1. Einleitung	83
2. Einfluß der Reinheit der Flüssigkeit auf die Leitfähigkeit	85

	Seite
3. Einfluß der Beschaffenheit der Elektrodenoberfläche auf die Leitfähigkeit	88
4. Leitfähigkeit von Suspensionen und Kolloidenlösungen.	89
5. Zeitliche Abhängigkeit der Stromstärke	89
6. Spontane Ionisation	91
7. Ionisation durch Strahlung	103
8. Photoelektrischer Effekt	107
9. Die Ionenkonstanten	109
10. Potentialverteilung	112
11. Polaritätseffekt.	116
12. Einfluß der Temperatur auf die Leitfähigkeit.	117
13. Einfluß des Druckes auf die Leitfähigkeit und auf die Ionenkonstanten	119
14. Hochfrequenzleitfähigkeit	119
15. Nachtrag zur Theorie der Elektrizitätsleitung im Dielektrikum . .	122
a) Stromleitung im Dielektrikum mit nur einer beweglichen Ionenart	122
α) Räumlich verteilte Ladung	122
β) Rückstrom bei Kurzschluß.	124
γ) Rückspannung	124
δ) Kommutierung der Spannung	124
ε) Ionenwolke befindet sich zwischen den Elektroden.	124
ζ) Einfluß der Anodenschicht auf den Rückstrom	125
b) Stromleitung im Dielektrikum, in dem die Ionen an den Elektroden erzeugt werden	125
c) Leitfähigkeit polarisierbarer Medien	127
α) Grund für diese Annahme.	127
β) Ergebnis	127
III. Elektrizitätsleitung bei hohen Feldern in dielektrischen Flüssigkeiten.	
1. Allgemeines	132
2. Einfluß von Suspensionen.	133
3. Die zeitliche Abhängigkeit der Stromstärke.	133
4. Über den Stromleitungsmechanismus bei hohen Feldern	134
5. Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Elektrodenflächengröße. .	152
6. Polaritätseffekt.	153
7. Einfluß der Temperatur	154
8. Einfluß des Druckes	155
9. Glimmerscheinung. Spitzenstrom.	156
10. Potentialverteilung bei hohen Feldern	157
D. Potentialsprung, Elektrokinetik. Dispersoidik.	
I. Potentialsprung, Elektrokinetik	157
II. Dispersoidik	161
E. Durchschlag.	
I. Allgemeines	163
II. Experimentelles.	165
1. Einfluß der Reinigung auf die Durchschlagspannung	165
a) Einfluß der Reinheit der Flüssigkeit	165
b) Einfluß der Reinheit der Elektroden	168
c) Einfluß der Feuchtigkeit.	170
2. Reproduzierbarkeit (Streuung) der Durchschlagspannung. Vorentladung	171
3. Frequenzabhängigkeit. Kurvenform. Stoßspannung. Verzögerungserscheinung	175
4. Die Abhängigkeit der Durchschlagspannung von dem Druck	180
5. Die Leitfähigkeit und die Durchschlagspannung.	185

Inhaltsverzeichnis.

VII

	Seite
6. Einfluß der Temperatur	186
7. Der Einfluß der Elektrodenform und -flächengröße auf die Durchschlagsspannung	189
8. Einfluß des Elektrodenmaterials	190
9. Polaritätseffekt.	192
10. Einfluß der Elektrodenentfernung auf die Durchschlagspannung	193
III. Die Theorien des Durchschlags.	199
1. Theorien, die die Natur des Durchschlags nicht in der Ionisierung der Flüssigkeit begündet sehen (mechanischer und Wärmedurchschlag.	199
2. Theorien, die den Durchschlag durch die Ionisierung eingeleitet betrachten.	204
IV. Elektrische Figuren.	207
Literaturverzeichnis.	209
Sachverzeichnis.	221