

Die physikalischen Grundlagen der elektrischen Festigkeitslehre

Von

N. Semenoff und **Alexander Walther**

Assistent-Direktor

Ingenieur

des Physikalisch-Technischen Laboratoriums
in Leningrad

Mit 116 Textabbildungen



Berlin

Verlag von Julius Springer

1928

ISBN-13:978-3-642-89478-7 e-ISBN-13:978-3-642-91334-1
DOI: 10.1007/978-3-642-91334-1

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1928
Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Vorwort.

Den glänzenden Aufschwung, den die Elektrotechnik in den letzten Jahrzehnten genommen hat, verdanken wir hauptsächlich dem engen Zusammenarbeiten von Technikern und Physikern auf diesem Gebiete. Welche Bedeutung man auf beiden Seiten diesem Zusammenarbeiten beimißt, sieht man u. a. schon daran, daß es Zeitschriften, wie z. B. das „Archiv für Elektrotechnik“ gibt, die sich die Aufgabe gestellt haben, ein Sammelpunkt für Arbeiten zu sein, die vorwiegend auf einem Gebiete liegen, in dem technische und physikalische Fragen ineinander übergehen. Auch wird mit jedem Jahr die Zahl der Arbeiten größer, in denen versucht wird, verschiedene für die Technik wichtige Probleme vom rein physikalischen Standpunkt zu lösen.

Eins der wichtigsten Probleme ist das der dielektrischen Festigkeit der für Isolatoren verwandten Stoffe bei Hochspannung. Da wir es bei dem Durchschlag der Isolatoren mit einem rein physikalischen Prozeß zu tun haben, so liegt es eigentlich nahe, die Lösung der damit verbundenen Probleme den Physikern anzuvertrauen. Und diese Tendenz kann man auch in allen Industriestaaten beobachten: sowohl an den Fabriken wie hauptsächlich an den Hochschulen sind besondere Laboratorien geschaffen worden, die sich mit der Untersuchung der Hochspannungserscheinungen beschäftigen.

Ein besonders großes Verdienst gebührt in dieser Hinsicht Deutschland. Hier sind von einer Reihe von Gelehrten, wie Wagner, Günther-Schulze, Rogowski, Schumann, die wichtigsten Probleme der elektrischen Festigkeitslehre aufgestellt, zum Teil auch theoretisch und experimentell gelöst worden. Während aber in Deutschland und in Amerika die Initiative hauptsächlich von den Elektrotechnikern ausgeht, sind in der U. d. S. S. R. diese Forschungen von einer Anzahl von Physikern unternommen worden, und zwar unter der Leitung von Prof. Joffé, der sich schon seit mehr als 20 Jahren mit dem eingehenden Studium der mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Dielektrika beschäftigt hat.

Im Jahre 1918 ist von der Regierung, nach dem Vorschlage von Prof. Joffé das Physikalisch-Technische Röntgeninstitut, im Jahre

1924 das Physikalisch-Technische Laboratorium des Oberen Volkswirtschaftsrats gegründet worden. Eine der Hauptaufgaben dieser Forschungsinstitute bestand gerade in dem Studium der elektrischen Eigenschaften der Dielektrika. Diese Untersuchungen werden teilweise persönlich von Prof. Joffé und seinen Mitarbeitern ausgeführt; einige spezielle Fragen sind jedoch der Elektrischen Abteilung des Physikalisch-Technischen Laboratoriums übertragen worden.

Das vorliegende Buch beabsichtigt keineswegs alle Probleme der elektrischen Festigkeitslehre zu behandeln; es besitzt vielmehr eher den Charakter einer Monographie. Ausführlich werden nur die Fragen besprochen, die in der Elektrischen Abteilung behandelt wurden. Die Arbeiten von Prof. Joffé selbst sind nur soweit angeführt, als sie für die Deutung der in dem Buch besprochenen Probleme von Wichtigkeit sind, und zwar deshalb, weil, wie wir hoffen, Prof. Joffé selbst in naher Zukunft einen ausführlichen Bericht über alle von ihm vollendeten Arbeiten veröffentlichen wird.

Das vorliegende Buch zerfällt in drei Teile:

1. Die experimentellen Methoden der Erforschung von elektrischen Feldern.

2. Das Vakuum als Isolator.

3. Der Durchschlag von festen Isolatoren.

Diese drei Teile entsprechen den Richtungen, in denen sich die Arbeit der Elektrischen Abteilung bewegte. Außerdem sind gerade diese Fragen in den deutschen Büchern, die uns bekannt waren (die Bücher von Günther-Schulze, Schwaiger, Schumann, Bültemann), verhältnismäßig wenig behandelt worden.

Der erste Teil enthält eine ausführliche Beschreibung der experimentellen Methoden, die erlauben, die elektrischen Felder genau auszumessen. Diese Methoden, die im Physikalisch-Technischen Laboratorium ausgearbeitet wurden, sind offenbar wenig bekannt, können aber unserer Ansicht nach dem Elektrotechniker bei der Berechnung von schwierigen elektrostatischen Problemen eine bedeutende Hilfe leisten.

Der zweite Teil, in dem die isolierende Fähigkeit des Vakuums besprochen wird, enthält nur wenige Originalarbeiten und hat eher den Charakter eines Referates. Doch kann nach unserer Meinung dies Gebiet von so großer Bedeutung für die zukünftige Entwicklung der Elektrotechnik werden, daß es nicht ohne Interesse sein dürfte, diese Erscheinungen eingehender zu besprechen, besonders da ein systematischer Überblick über diese Fragen, soweit uns bekannt ist, nicht existiert. Unsere eigenen Untersuchungen, bei denen wir das Hochvakuum als technisches Isoliermittel zu verwenden suchten, führten uns außerdem auf eine Reihe von Möglichkeiten, die von praktischer Bedeutung

werden könnten. Um auch dem in der Physik wenig bewanderten Leser die Möglichkeit zu geben, sich über die Erscheinungen der Entladung im Hochvakuum zu orientieren, haben wir diesem Teil des Buches einige Abschnitte vorausgeschickt, in denen die der Gasentladung zugrunde liegenden physikalischen Prozesse kurz besprochen werden.

Der dritte Teil des Buches ist dem Durchschlage von festen Isolatoren gewidmet. In dem ersten Kapitel werden die allgemeinen elektrischen Eigenschaften der Dielektrika (die „dielektrischen Anomalien“) besprochen, wie sie von Prof. Joffé und seinen Mitarbeitern vom physikalischen Standpunkt gedeutet werden. Im zweiten Kapitel wird die Wärmetheorie des Durchschlages behandelt und experimentell begründet, dabei wird gezeigt, daß sie dem Durchschlage von Isolatoren bei Zimmertemperaturen kaum zugrunde liegen kann. Darauf werden die „elektrischen“ Theorien besprochen, die die Gesetzmäßigkeiten, die der Durchschlag bei den niedrigen Temperaturen aufweist, einigermaßen zu deuten erlauben. Eine volle Klarheit in allen Fragen herrscht hier freilich noch nicht.

Ein bedeutender Teil der Untersuchung über die Methoden der Erforschung von elektrischen Feldern, sowie alle Messungen der Durchschlagsspannungen von festen Isolatoren, sind von den Autoren dieses Buches gemeinschaftlich mit Frl. Lydia Inge ausgeführt worden.

Außerdem müssen noch folgende Mitglieder des Physikalisch-Technischen Laboratoriums und Instituts erwähnt werden, deren Arbeiten in diesem Buch angeführt sind: Herr K. Sinjelnikow (Stromdurchgang durch feste Isolatoren, dielektrische Verluste, Ionisationstheorie des Durchschlages), Herr Kurtschatow (Ionisationstheorie des Durchschlages), Herr V. Fock (Wärmetheorie des Durchschlages), Herr Anton Walther (Messungen von elektrischen Feldern, dielektrische Verluste), Herr Horowitz (Spaltentheorie des Durchschlages), Herr Tomaschewski (Durchschlag des Vakuums), Herr Malyschew (elektrische Felder von Hochspannungskabeln).

Der Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin sind wir für freundliches Entgegenkommen bei der Drucklegung des Buches sehr dankbar.

Leningrad, Anfang 1928.

Die Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

I. Die experimentellen Methoden zur Erforschung von elektrischen Feldern.

	Seite
1. Die elektrischen Felder und ihre Bestimmung	1
2. Überblick über die experimentellen Methoden	3
3. Die gewöhnliche Sonden-Methode und ihre Abänderungen	6
4. Die elektrolytische Methode	8
5. Die Methode der Glühsonde	12
6. Die elektrischen Felder der Netze und Diaphragmen	15
7. Die Methode der Kapazitätssonde	24
8. Beispiele aus der Praxis	27
9. Einige spezielle Methoden zur Ermittlung der Spannungsverteilung bei Hochspannung	32

II. Das Vakuum als Isolator.¹⁾

1. Über den Zusammenstoß von Elektronen und Ionen mit Molekülen	35
2. Die Theorie von Townsend	36
3. Die Gasentladung bei niedrigen Drucken	41
4. Die Emission von Elektronen durch glühende Körper.	42
5. Die Theorie des Vakuumdurchschlages.	44
6. Experimentelle Untersuchungen der elektrischen Entladung im Hochvakuum	48
7. Die praktischen Anwendungen der isolierenden Fähigkeiten des Vakuums	56

III. Der Durchschlag von festen Isolatoren.

A. Der Elektrizitätsdurchgang durch feste Isolatoren und die dielektrischen Verluste	58
1. Der Durchgang des elektrischen Stromes durch feste Stoffe	58
2. Der Stromdurchgang durch feste Isolatoren bei hohen Temperaturen	60
3. Der Durchgang des Stromes durch feste Isolatoren bei niedrigen Temperaturen	67
4. Die dielektrischen Verluste	75
B. Über die Vorgänge, die dem Durchschlag von festen Isolatoren zugrunde liegen können	81
1. Die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des elektrischen Durchschlages	81
2. Die verschiedenen Theorien des elektrischen Durchschlages	88
C. Die Wärmetheorie des Durchschlages	93
1. Die elementare Theorie von Wagner	93
2. Die genaue Behandlung des eindimensionalen Problems	96
3. Experimentelle Untersuchungen im Wärmegebiet	111

	Seite
D. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen im elektrischen Gebiete	121
1. Der elektrische Durchschlag im homogenen und nichthomogenen elektrischen Felde	121
2. Die Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Schichtdicke	126
3. Die Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Frequenz und der Temperatur	131
E. Die Theorien des elektrischen Durchschlags.	138
1. Die Zerreißfestigkeit des idealen Kristallgitters	138
2. Die elektrische Zerreißfestigkeit der Realkristalle	145
3. Die Ionisationstheorie.	148
4. Die theoretische Deutung der experimentellen Gesetzmigkeiten im elektrischen Gebiet	153
5. Der wrmeelektrische Durchschlag	160
Schlußwort	163
Literaturverzeichnis	164
Anhang	167