

EINFÜHRUNG IN DIE ELEKTRIZITÄTSLEHRE

VON

R. W. POHL

Dr.-Ing. e. h.

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIK AN DER
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

VIERTE,
GROSSENTEILS NEU VERFASSTE AUFLAGE

MIT 497 ABBILDUNGEN,
DARUNTER 20 ENTLEHNTEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1935

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.

ISBN 978-3-662-35983-9 ISBN 978-3-662-36813-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-36813-8

COPYRIGHT 1935 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1935.
SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 4TH EDITION 1935

DIES BUCH HABE ICH
HERRN PROFESSOR LIC.
ADOLF METZ

(1846—1932)

GEWIDMET ALS ZEICHEN DER VEREHRUNG UND DER
DANKBAREN ERINNERUNG AN MEINE GYMNASIALZEIT
IM JOHANNEUM ZU HAMBURG

Vorwort zur vierten Auflage.

Dies Buch ist aus einer Niederschrift meiner Vorlesungen über Experimentalphysik in Göttingen entstanden. Es sollte ursprünglich den Hörern dieser Vorlesung zur Ergänzung dienen. Es hat dann zwei mir unerwartete, aber erfreuliche Wirkungen gehabt: Es hat von technischer Seite Beachtung gefunden und in Kreisen der Lehrerschaft eine Erörterung über die zweckmäßige Gestaltung des Elektrizitätsunterrichtes in der Schule ausgelöst. Für technische Zwecke war jedoch die Behandlung der magnetischen Vorgänge viel zu dürftig gewesen, und für die Unterrichtsfragen der Schule war der Aufbau der Elektrizitätslehre keineswegs systematisch genug durchgeführt worden. In der zweiten und dritten Auflage habe ich die größten der Mängel durch Änderungen und Ergänzungen zu beheben versucht. Diese Verbesserungen und Einschaltungen haben aber die Gliederung des Stoffes noch weiter beeinträchtigt, und als Schlimmstes erschien die Gefahr einer Umfangsvergrößerung, dieses nie trüglichen Zeichens für das Veralten eines Buches. — Zur Behebung dieser Übelstände habe ich das Buch diesmal in allen seinen wesentlichen Teilen vollständig neu angelegt und geschrieben. Dabei ist manche unnötige Weitschweifigkeit in Wegfall geraten und Platz für heute wichtige Dinge geschaffen worden. Der Stoff ist jetzt auf 16 statt bisher auf 11 Kapitel verteilt worden. Seine Gliederung ist nach wie vor in allen wesentlichen Punkten die der historischen Entwicklung geblieben. Es geht in diesem Buche in der Reihenfolge: Statisches elektrisches Feld, Verknüpfung von Magnetfeld und Strom, die beiden Formen des Induktionsversuches, die Untersuchung der Leitungsvorgänge, die elektrischen Wellen, das Relativitätsprinzip. Doch scheue ich mich nirgends vor den technischen Hilfsmitteln unserer Tage. Das ist nur eine zeitersparende Äußerlichkeit. Ich habe ja auch Gesänge Homers aus einem gedruckten Texte gelernt und nicht nach dem festlichen Vortrag eines Rhapsoden.

Die Untersuchungen der dielektrischen und magnetischen Materialwerte gehen stellenweise etwas über den Rahmen einer Einführung hinaus. Sie können von Anfängern ohne Schaden überschlagen werden. Ihre Kenntnis wird in den folgenden Kapiteln nicht vorausgesetzt, doch werden sie zur Ergänzung des Unterrichtes im Praktikum nützlich sein. Über die Grundlagen der magnetischen Materialuntersuchungen findet man ja nicht nur bei Anfängern Unklarheit.

Der schon früher geringe Aufwand an experimentellen Hilfsmitteln¹⁾ ist weiter verringert worden. Die neuen Bilder hat wieder Herr Mechanikermeister SPERBER angefertigt. Für die Durchsicht der Korrektur habe ich den Herren cand. phys. GÜNTHER GLASER und Dr. ERICH MOLLWO sehr zu danken.

Göttingen, im Oktober 1934,
I. Physikalisches Institut der Universität.

R. W. POHL.

¹⁾ Bezugsquelle Spindler & Hoyer, G.m.b.H., Göttingen.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Meßinstrumente für Strom und Spannung	1
<p style="margin-left: 2em;">Vorbemerkung S. 1. — Der elektrische Strom S. 1. — Technische Ausführung von Strommessern oder Amperemetern S. 5. — Die Eichung der Strommesser oder Amperemeter S. 7. — Die elektrische Spannung S. 7. — Technischer Aufbau statischer Spannungsmesser oder Voltmeter S. 7. — Die Eichung der Spannungsmesser oder Voltmeter S. 8. — Stromdurchflossene Spannungsmesser oder Voltmeter S. 9. — Einige Beispiele für Ströme und Spannungen verschiedener Größe S. 10. — Stromstöße und ihre Messung S. 12. — Schlußbemerkung S. 14.</p>	
II. Das elektrische Feld	15
<p style="margin-left: 2em;">Grundbeobachtungen. Elektrische Felder verschiedener Gestalt S. 15. — Das elektrische Feld im Vakuum S. 18. — Die elektrischen Ladungen oder Substanzen S. 19. — Feldzerfall durch Materie S. 20. — Beweglichkeit der Elektrizitätsatome in Leitern, Unbeweglichkeit in Isolatoren S. 20. — Influenz und ihre Deutung S. 21. — Sitz der ruhenden Ladungen auf der Leiteroberfläche S. 23. — Strom beim Feldzerfall S. 25. — Messung elektrischer Ladungen durch Stromstöße S. 25. — Die erste Maßgröße des elektrischen Feldes, die elektrische Feldstärke \mathcal{E} S. 27. — Proportionalität von Flächendichte der Ladung und elektrischer Feldstärke S. 28. — Die zweite Maßgröße des elektrischen Feldes, die Verschiebungsdichte \mathfrak{D} S. 30. — Das elektrische Feld der Erde. Raumladung und Feldgradient S. 30. — Kapazität von Kondensatoren und ihre Berechnung S. 31. — Kondensatoren verschiedener Bauart. Dielektrika und ihre Elektrisierung S. 33.</p>	
III. Kräfte und Energie im elektrischen Feld	36
<p style="margin-left: 2em;">Vorbemerkung S. 36. — Der Grundversuch S. 36. — Erste Anwendungen der Gleichung $K = \int q \cdot \mathcal{E}$ S. 38. — Druck auf die Oberfläche geladener Körper. Verkleinerung der Oberflächenspannung S. 40. — GUERICKE'S Schweberversuch (1672). Elektrische Elementarladung $e = 1,59 \cdot 10^{-19}$ Amperesekunden S. 41. — Energie des elektrischen Feldes S. 43. — Elektrische Niveaulächen und Potential S. 43. — Elektrischer Dipol, elektrisches Moment S. 44. — Herstellung elektrischer Momente S. 46.</p>	
IV. Kapazitive Stromquellen und einige Anwendungen elektrischer Felder	47
<p style="margin-left: 2em;">Vorbemerkung. Allgemeines über Stromquellen S. 47. — Influenzmaschinen S. 47. — Kapazitive Stromquellen für sehr hohe Spannungen S. 51. — Abschirmung elektrischer Felder; Käfigschutz S. 51. — Messung kleiner Zeiten mit Hilfe des Feldzerfalles S. 52. — Messung großer Widerstände mit Hilfe des Feldzerfalles S. 53. — Statische Voltmeter mit Hilfsfeld S. 53.</p>	
V. Materie im elektrischen Feld	55
<p style="margin-left: 2em;">Vorbemerkung S. 55. — Begriffsbildung S. 55. — Verfahren zur Messung dielektrischer Materialwerte. Zahlenbeispiele S. 56. — Entelektrisierung. Elektrische Felder in Hohlräumen eines Dielektrikums S. 57. — Messung dielektrischer Materialwerte an homogen elektrisierten Ellipsoiden S. 58. — Die molekulare elektrische Polarisierbarkeit p S. 59. — Die Deutung der molekularen elektrischen Polarisierbarkeit p S. 60.</p>	
VI. Das magnetische Feld	62
<p style="margin-left: 2em;">Herstellung verschieden gestalteter magnetischer Felder durch elektrische Ströme S. 62. — Die erste Maßgröße des magnetischen Feldes, die magnetische Feldstärke \mathfrak{H}. Das Magnetometer S. 65. — Erzeugung magnetischer Felder</p>	

durch mechanische Bewegung elektrischer Ladungen S. 67. — Auch die Magnetfelder permanenter Magnete entstehen durch Bewegung elektrischer Ladungen S. 68. — Zusammenfassung S. 70.

VII. Verknüpfung elektrischer und magnetischer Felder 71

Vorbemerkung S. 71. — Die Induktionserscheinungen S. 71. — Herleitung des Induktionsgesetzes mit einer ruhenden Induktionsspule S. 73. — Vertiefte Auffassung des Induktionsvorganges. II. MAXWELLSche Gleichung S. 74. — Die magnetische Spannung eines Leitungsstromes S. 76. — Verschiebungsstrom und I. MAXWELLSche Gleichung S. 80. — Zusammenfassung S. 82.

VIII. Kräfte im magnetischen Felde 84

Die zweite Maßgröße des magnetischen Feldes, die Kraftflußdichte \mathfrak{B} S. 84. — Die Induktion in bewegten Leitern S. 85. — Deutung der Induktion in bewegten Leitern S. 86. — Kräfte zwischen zwei parallelen Strömen, Die Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8$ m/sek S. 88. — Regel von LENZ. Wirbelströme S. 89. — Das Kriechgalvanometer. Der Kraftfluß bei verschiedenem Eisenschluß S. 91. — Das magnetische Moment G S. 92. — Lokalisierung des Kraftflusses und Magnetostatik S. 95.

IX. Materie im Magnetfeld 100

Vorbemerkung S. 100. — Begriffsbildung S. 100. — Verfahren zur Messung magnetischer Materialwerte S. 102. — Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus S. 102. — Eisenschluß und Entmagnetisierung. Elektromagnet S. 106. — Messung magnetischer Materialwerte an homogen magnetisierten Ellipsoiden S. 108. — Die atomistische Deutung der paramagnetischen Materialwerte, Magnetonen S. 109. — Zur atomistischen Deutung diamagnetischer Materialwerte. LARMOR-Präzession S. 111. — Zur atomistischen Deutung des Ferromagnetismus S. 112.

X. Anwendungen der Induktion, insbesondere induktive Stromquellen und Elektromotoren 114

Vorbemerkung S. 114. — Induktive Stromquellen S. 114. — Elektromotoren. Grundlagen S. 119. — Ausführung von Elektromotoren S. 122. — Drehfeldmotoren für Wechselstrom S. 122.

XI. Trägheit des Magnetfeldes und elektrische Schwingungen 125

Die Selbstinduktion und der Selbstinduktionskoeffizient L S. 125. — Die Trägheit des Magnetfeldes als Folge der Selbstinduktion S. 127. — Induktiver Widerstand S. 128. — Kapazitiver Widerstand S. 131. — Transformatoren und Induktoren S. 133. — Elektrische Schwingungen S. 136. — Einige Anwendungen elektrischer Schwingungen S. 139.

XII. Mechanismus der Leitungsströme 145

Der Mechanismus der Leitung im Modellversuch S. 145. — Zwei Grundtatsachen des Leitungsvorganges S. 147. — Unselbständige Leitung in Zimmerluft mit sichtbaren Elektrizitätsträgern. Zur Deutung des Ohmschen Gesetzes S. 147. — Unselbständige Leitung in Luft. Ionen als Elektrizitätsträger S. 150. — Unselbständige Ionenleitung in Zimmerluft. Ionenbeweglichkeit. Sättigungsstrom S. 152. — Unselbständige Elektrizitätsleitung im Hochvakuum S. 154. — Das Atomgewicht des Elektrons nach Beobachtungen an Kathodenstrahlen S. 156. — Anwendungen der unselbständigen Elektronenleitung des Hochvakuums S. 157. — Selbständige Leitung in Gasen und Dämpfen von niedrigem Druck S. 159. — Einige Anwendungen der selbständigen Leitung in Gasen von niedrigem Druck S. 162. — Selbständige Elektrizitätsleitung in Gasen von hohem Druck. (Spitzen-, Büschelstrom, Funken.) S. 166. — Der Lichtbogen S. 168. — Leitung in Flüssigkeiten. Allgemeines S. 170. — Elektrolytische oder Ionenleitung in wäßrigen Lösungen S. 171. — Ladung der Ionen. FARADAYS Äquivalentgesetz. LOSCHMIDTSche Zahl N S. 172. — Das Ohmsche Gesetz bei der elektrolytischen Leitung. Die Geschwindigkeit der Ionen S. 174. — Entstehung der Stromwärme S. 178. — Technische Anwendungen der Elektrolyse wäßriger Lösungen S. 179. — Ionenleitung in geschmolzenen Salzen und in unterkühlten Flüssigkeiten (Gläsern) S. 180. — Leitung in Flüssigkeiten von hohem spezifischem Widerstand S. 181. — Elektrizitätsleitung in Metallen. Erfahrungstatsachen S. 182. — Temperaturabhängigkeit der metallischen Leitung S. 184. — Die Supraleitung S. 186. — Zusammenhang von elektrischer Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit bei

Metallen S. 188. — Zur Deutung der metallischen Leitung S. 188. — Die Hallspannung S. 189. — Hallkonstante und Zahl der Elektronen. Ihre mittlere freie Weglänge S. 190. — Beschleunigung der Elektrizitätsträger in Metallen durch Trägheitskräfte S. 191. — Ionenleitung in Salzkristallen S. 192. — Elektronenleitung in Salzkristallen S. 193. — Weitere Untersuchungen über die Elektrizitätsleitung in festen Körpern S. 194. — Schlußwort zum Leitungsmechanismus S. 195.

XIII. Elektrische Felder in der Grenzschicht zweier Substanzen . . . 196

Vorbemerkung S. 196. — Die „Reibungselektrizität“ zwischen festen Körpern, Doppelschicht, Berührungsspannung S. 196. — Berührungsspannungen zwischen einem festen Körper und einer Flüssigkeit S. 197. — Nachweis der Berührungsspannung durch Leitungsvorgänge S. 197. — Die Berührungsspannung zwischen zwei Metallen S. 198. — Doppelschichten in der Grenze zwischen Gasen und Flüssigkeiten S. 199. — Die Arbeitskurve und die Abtrennarbeit der Elektrizitätsatome. Die Glühemission S. 200. — Änderung der Abtrennarbeit durch ein äußeres elektrisches Feld S. 201. — Übergangswiderstand zwischen zwei gleichen Metallen. Das Kohle-Mikrophon S. 202. — Zusammenhang von Berührungsspannung und Abtrennarbeit? S. 204. — Metalle als Leiter erster Klasse. Thermolemente. Lichtelemente S. 204. — Elektrolyte als Leiter zweiter Klasse. Chemische Stromquellen. Elemente S. 206. — Polarisation bei der elektrolytischen Leitung S. 207. — Akkumulatoren S. 208. — Unpolarisierbare Elektroden und Elemente. Normalelemente S. 209. — Doppelschicht und Oberflächenspannung. Das Kapillarmultimeter S. 210. — Wirkungsweise der Stromquellen, das Gewicht als ladungstrennende Kraft, Lösungsdruck S. 211.

XIV. Die Radioaktivität 214

Die radioaktiven Strahlen S. 214. — Beobachtung einzelner Elektronen und Ionen S. 216. — Unmittelbare Abzählung der universellen Konstante N , der Zahl der Moleküle im Mol S. 219. — Der Zerfall der radioaktiven Atome. Elektrizitätsatome als wesentliche Bausteine der Elemente S. 220. — Die Zertrümmerung von Atomen und die Entdeckung der Positronen und Neutronen S. 223. — Rückblick. Die Abhängigkeit der Elektronenmasse von der Geschwindigkeit S. 225.

XV. Elektrische Wellen 226

Vorbemerkungen S. 226. — Herstellung hochfrequenter Wechselströme durch ungedämpfte Schwingungen S. 226. — Erzwungene elektrische Schwingungen S. 230. — Der elektrische Dipol S. 231. — Stehende elektrische Drahtwellen zwischen zwei Paralleldrähten S. 235. — Die Bedeutung der stehenden elektrischen Drahtwellen. Ausbreitung elektrischer Felder mit Lichtgeschwindigkeit S. 236. — Direkte Messung der Geschwindigkeit fortschreitender Drahtwellen S. 238. — Der Verschiebungsstrom des Dipols. Die Ausstrahlung freier elektrischer Wellen S. 240. — Halbfreie elektrische Wellen. Wellentelegraphie S. 246. — Die Wesensgleichheit der elektrischen Wellen und der Lichtwellen. Das gesamte Spektrum elektrischer Wellen S. 248. — Eine historische Notiz S. 249.

XVI. Das Relativitätsprinzip als Erfahrungstatsache. 251

Gleichwertige und ausgezeichnete Bezugssysteme in der Mechanik und Akustik S. 251. — Einflußlosigkeit der Erdbahnbewegung auf mechanische Beobachtungen S. 253. — Elektrische Erscheinungen in bewegten Bezugssystemen S. 253. — Die LORENTZ-Umformungen S. 256.

Vergleichende Übersicht über Maße und Einheiten 259

Sachverzeichnis 260