

MECHANIK·AKUSTIK UND WÄRMELEHRE

VON

ROBERT WICHARD POHL

EM. PROFESSOR DER PHYSIK
AN DER UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

15. ERHEBLICH VERÄNDERTE AUFLAGE

MIT 591 ABBILDUNGEN
DARUNTER 15 ENTLEHNTEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1962

ISBN 978-3-662-23304-7 ISBN 978-3-662-25337-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-25337-3

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

Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages
ist es auch nicht gestattet, dieses Buch oder Teile daraus
auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen

Copyright 1930, 1931, 1942, 1947, 1953, 1955 and 1959 by Springer-Verlag oHG.
Berlin · Göttingen · Heidelberg

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1962

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag oHG., Berlin · Göttingen · Heidelberg 1962.
Softcover reprint of the hardcover 15th edition 1962

Library of Congress Catalog Card Number 62-19 571

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in
diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme,
daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung
als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften

MEINER LIEBEN FRAU

TUSSA POHL

GEB. MADELUNG

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage.

(1930)

Dies Buch enthält den ersten Teil meiner Vorlesung über Experimentalphysik. Die Darstellung befließigt sich großer Einfachheit. Diese Einfachheit soll das Buch außer für Studierende und Lehrer auch für weitere physikalisch interessierte Kreise brauchbar machen.

Die grundlegenden Experimente stehen im Vordergrund der Darstellung. Sie sollen vor allem der Klärung der Begriffe dienen und einen Überblick über die Größenordnungen vermitteln. Quantitative Einzelheiten treten zurück.

Eine ganze Reihe von Versuchen erfordert einen größeren Platz. Im Göttinger Hörsaal steht eine glatte Parkettfläche von $12 \times 5 \text{ m}^2$ zur Verfügung. Das lästige Hindernis in älteren Hörsälen, der große, unbeweglich eingebaute Experimentiertisch, ist schon seit Jahren beseitigt. Statt seiner werden je nach Bedarf kleine Tische aufgestellt, aber ebensowenig wie die Möbel eines Wohnraumes in den Fußboden eingemauert. Durch diese handlichen Tische gewinnt die Übersichtlichkeit und Zugänglichkeit der einzelnen Versuchsanordnungen erheblich. Die meisten Tische sind um ihre vertikale Achse schwenkbar und rasch in der Höhe verstellbar. Man kann so die störenden perspektivischen Überschneidungen verschiedener Anordnungen verhindern. Man kann die jeweils benutzte Anordnung hervorheben und sie durch Schwenken für jeden Hörer in bequemer Aufsicht sichtbar machen.

Die benutzten Apparate sind einfach und wenig zahlreich. Manche von ihnen werden hier zum ersten Male beschrieben. Sie können, ebenso wie die übrigen Hilfsmittel der Vorlesung, von der Firma Spindler & Hoyer, G.m.b.H. in Göttingen, bezogen werden.

Der Mehrzahl der Abbildungen liegen photographische Aufnahmen zugrunde. Viele Bilder sind als Schattenrisse gebracht. Diese Bildform eignet sich gut für den Buchdruck, ferner gibt sie meist Anhaltspunkte für die benutzten Abmessungen. Endlich erweist ein Schattenriß die Brauchbarkeit eines Versuches auch in großen Sälen. Denn diese verlangen in erster Linie klare Umrisse, nirgends unterbrochen durch nebensächliches Beiwerk, wie Stativmaterial u. dgl.

Vorwort zur fünfzehnten Auflage.

Das Buch ist 1953 für die 12. Auflage gründlich überarbeitet worden. Trotzdem mußte jetzt für die 15. Auflage neben manchen kleinen Verbesserungen an vielen Stellen neuer Text gebracht werden; so in den §§ 2, 6, 8, 21 a, 41 a, 66, 73 c, 73 d, 86 a, 97, 98, 99, 101 a, 108 a, 109, 111, 116, 118, 123 a, 128, 133, 141, 142, 143, 146, 150, 159, 192, 197 a, 198, 206 und 208.

Die 14. Auflage der Mechanik war praktisch zu gleicher Zeit vergriffen, wie die 10. der Optik. Dadurch wurde es möglich, jetzt hier etliche Teile aus der Optik umgearbeitet in den §§ 123, 125, 127 und 128 zu bringen und so die Wellenlehre einheitlicher darzustellen. — In der Schwingungslehre enthält der § 110 eine Seite, die sich bisher auch in der Elektrik befindet und dort erst in der 19. Auflage entfernt werden kann. — Im Interesse des Umfangs ist vor allem in der zweiten Hälfte des Buches manches gestrichen worden.

An der Grundtendenz des Buches ist festgehalten worden: Einfache Hilfsmittel und die wichtigsten Versuche mit überschaubarem, möglichst langsamem Ablauf. Wer einen solchen Ablauf (z. B. den in Abb. 100 oder 228 dargestellten) verstanden hat, dem wird später eine Steigerung der Geschwindigkeit keine Schwierigkeit bereiten. Er wird an den Taschenspieler denken: „Geschwindigkeit ist keine Hexerei“.

Nicht benutzt werden entbehrliche Fachausdrücke und Einheiten aus den Gebieten technischer Anwendungen. Es ist heute ja ein weitverbreitetes Streben, irgendwelche Arbeitsgebiete durch Schaffung einer neuen Nomenklatur als „Autonome Wissenschaft“ herauszustellen. Die großartigen technischen Anwendungen der Physik brauchen sich nicht in dieser Weise um Anerkennung zu bemühen.

Göttingen, Mai 1962.

R. W. Pohl.

Inhaltsverzeichnis.

A. Mechanik.

	Seite
Über die Schreibweise der Gleichungen	XII
I. Einführung, Längen- und Zeitmessung	1
Einführung S. 1. — Messung von Längen. Echte Längenmessung S. 2. — Die Längeneinheit Meter S. 3. — Unechte Längenmessung bei sehr großen Längen S. 4. — Winkelmessung S. 5. — Zeitmessung. Echte Zeitmessung. Registrierung S. 5. — Uhren, Registrierung S. 6. — Messung periodischer Folgen gleicher Zeiten und Längen S. 7. — Unechte Zeitmessung S. 9.	
II. Darstellung von Bewegungen, Kinematik	10
Definition von Bewegung. Bezugssystem S. 10. — Definition von Geschwindigkeit. Beispiel einer Geschwindigkeitsmessung S. 10. — Definition von Beschleunigung. Die beiden Grenzfälle S. 12. — Bahnbeschleunigung, gerade Bahn. S. 13. — Konstante Radialbeschleunigung, Kreisbahn S. 15. — Die Unterscheidung physikalischer Größen und ihrer Zahlenwerte S. 16. — Grundgrößen und abgeleitete Größen S. 17.	
III. Grundlagen der Dynamik	19
Übersicht. Kraft und Masse S. 19. — Meßverfahren für Kraft und Masse. Die Grundgleichung der Mechanik S. 21. — Einheiten von Kraft und Masse. Größengleichungen S. 23. — Körper und Menge S. 23. — Massendichte ρ , Anzahldichte N_v , spezifisches Volumen V_s und spezifische Molekülzahl N S. 24. — Zur Ausschaltung der äußeren Reibung, insbesondere für Modellatome S. 25.	
IV. Anwendungen der Grundgleichung	26
Anwendung der Grundgleichung auf konstante Beschleunigungen in gerader Bahn S. 26. — Anwendung der Grundgleichung auf die Kreisbahn. Radialkraft S. 28. — Das D'ALEMBERTSche Prinzip S. 31. — Sinusförmige Schwingungen. Schwerependel als Sonderfall S. 31. — Zentralbewegungen, Definition S. 34. — Ellipsenbahnen, elliptisch polarisierte Schwingungen S. 35. — LISSAJOUS-Bahnen S. 38. — Die KEPLER-Ellipse und das Gravitationsgesetz S. 39. — Die Konstante des Gravitationsgesetzes S. 40. — Grundsätzliches zur Messung der Masse S. 42. — Gravitationsgesetz und Himmelsmechanik S. 42.	
V. Hilfsbegriffe. Arbeit, Energie, Impuls	45
Vormerkung S. 45. — Arbeit und Leistung S. 45. — Energie und Energiesatz S. 47. — Erste Anwendungen des mechanischen Energiesatzes S. 49. — Kraftstoß und Impuls S. 49. — Der Impulssatz S. 50. — Erste Anwendungen des Impulssatzes S. 51. — Impuls und Energiesatz beim elastischen Zusammenstoß von Körpern S. 52. — Der Impulssatz beim unelastischen Zusammenstoß zweier Körper und das Stoßpendel S. 53. — Schiefer Stoß S. 54. — Das Stoßpendel als Urbild der ballistischen Meßinstrumente. Stoßgalvanometer, Messung einer Stoßdauer S. 54. — Bewegungen gegen energieverzehrende Widerstände S. 56. — Erzeugung von Kräften ohne und mit Leistungsaufwand S. 58. — Schlußbemerkung S. 59.	
VI. Drehbewegungen fester Körper	60
Vorbemerkung S. 60. — Drehmoment und Arbeit S. 60. — Herstellung bekannter Drehmomente. Die Winkelrichtgröße D^* . Die Winkelgeschwindigkeit ω als Vektor S. 62. — Trägheitsmoment, Drehschwingungen S. 63. — Das physikalische Pendel und die Balkenwaage S. 66. — Der Drehimpuls (Drall) S. 67. — Freie Achsen S. 70. — Freie Achsen bei Mensch und Tier S. 71. — Definition des Kreisels und seiner drei Achsen S. 72. — Die Nutation des kräftefreien Kreisels und sein raumfester Drehimpuls S. 73. — Kreisel unter Einwirkung von Drehmomenten; die Präzession der Drehimpulsachse S. 75. — Präzessionskegel mit	

Nutationen S. 78. — Kreisel mit nur zwei Freiheitsgraden S. 79. — Schlußbemerkung S. 81.

VII. Beschleunigte Bezugssysteme 82

Vorbemerkung. Trägheitskräfte S. 82. — Bezugssystem mit reiner Bahnbeschleunigung S. 83. — Bezugssystem mit reiner Radialbeschleunigung. Zentrifugal- und Corioliskraft S. 85. — Unsere Fahrzeuge als beschleunigte Bezugssysteme S. 90. — Das Schwebependel als Lot in beschleunigten Fahrzeugen S. 91. — Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Zentrifugalbeschleunigung ruhender Körper S. 92. — Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Coriolisbeschleunigung bewegter Körper S. 94. — Der Kreiselkompaß in Fahrzeugen und seine prinzipiell unvermeidliche Mißweisung S. 95.

VIII. Einige Eigenschaften fester Körper 96

Vorbemerkung S. 96. — Elastische Verformung, Fließen und Verfestigung. Hochpolymere Stoffe S. 97. — Hookesches Gesetz und Poissonsche Beziehung S. 99. — Schiebung und Schubgröße S. 100. — Normal-, Schub- und Hauptspannung S. 101. — Biegung und Drillung S. 103. — Zeitabhängigkeit der Verformung. Elastische Nachwirkung und Hysteresis S. 106. — Zerreißfestigkeit und spezifische Oberflächenarbeit fester Körper S. 107. — Haft- und Gleitreibung S. 109. — Adhäsion, Klebstoffe, Schleifen und Polieren S. 111. — Nutzen der Haftreibung und Verminderung der Gleitreibung S. 111. — Rollreibung S. 112. — Die Rolle der drei Reibungsarten beim Autofahren S. 113.

IX. Über ruhende Flüssigkeiten und Gase. 114

Die freie Verschieblichkeit der Flüssigkeitsmoleküle S. 114. — Druck in Flüssigkeiten, Manometer S. 116. — Allseitigkeit des Druckes und Anwendungen S. 117. — Druckverteilung im Schwerfeld und Auftrieb S. 119. — Der Zusammenhalt der Flüssigkeiten, ihre Zerreißfestigkeit, spezifische Oberflächenarbeit und Oberflächenspannung S. 120. — Gase und Dämpfe als Flüssigkeiten geringer Dichte ohne Oberfläche. BOYLE-MARIOTTESCHES Gesetz S. 126. — Modell eines Gases. Der Gasdruck als Folge der ungeordneten Bewegung („Wärmebewegung“) S. 127. — Grundgleichung der kinetischen Gastheorie. Geschwindigkeit der Gasmoleküle S. 128. — Die Lufthülle der Erde. Der Luftdruck in Schauversuchen S. 129. — Druckverteilung der Gase im Schwerfeld. Barometerformel S. 131. — Der statische Auftrieb in Gasen S. 132. — Gase und Flüssigkeiten in beschleunigten Bezugssystemen S. 134. — Rückblick. Was heißt Kraft? S. 136. — Sortierapparate (Diskriminatoren oder Spektralapparate) S. 137.

X. Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen 139

Erster Teil: Flüssigkeitsströmung mit und ohne Reibung S. 139. — Drei Vorbemerkungen S. 139. — Innere Reibung und Grenzschicht S. 139. — Schlichte, unter entscheidender Mitwirkung der Reibung entstehende Bewegung S. 141. — Die REYNOLDSsche Zahl S. 142. — Reibungsfreie Flüssigkeitsbewegung, BERNOULLISche Gleichung S. 144. — Ausweichströmung. Quellen und Senken, drehungsfreie oder Potentialströmung S. 147. — Drehungen von Flüssigkeiten und ihre Messung. Das drehungsfreie Wirbelfeld S. 149. — Wirbel und Trennungsf lächen in praktisch reibungsfreien Flüssigkeiten S. 152. — Widerstand und Stromlinienprofil S. 154. — Die dynamische Querkraft S. 156. — Zweiter Teil: Anwendungen der Querkraft S. 158. — Flügel als Tragflächen und Segel S. 158. — Mechanische Strömungsmaschinen mit rotierenden Flügel- oder Schaufelrädern S. 159.

B. Akustik.

XI. Schwingungslehre 160

Vorbemerkung S. 162. — Erster Teil: Allgemeines über Schwingungen S. 162. Schwingungen und Kippfolgen S. 162. — Darstellung nichtsinusförmiger periodischer Vorgänge und Strukturen mit Hilfe von Sinuskurven S. 165. — Spektraldarstellung verwickelter Schwingungs-Vorgänge S. 168. — Amplituden- und Phasenmodulation S. 170. — Allgemeines über elastische Eigenschwingungen von beliebig gestalteten festen Körpern S. 172. — Elastische Transversalschwingungen gespannter linearer fester Körper S. 173. — Elastische Longitudinal- und Torsionsschwingungen gespannter linearer fester Körper S. 175. — Elastische Schwingungen in Säulen von Flüssigkeiten und Gasen S. 177. — Eigenschwingungen starrer linearer

Körper. Biegeschwingungen S. 179. — Eigenschwingungen flächenhaft und räumlich ausgedehnter Gebilde. Wärmeschwingungen S. 180. — Erzwungene Schwingungen S. 181. — Durch Resonanz stimulierte Energieabgabe S. 185. — Erzeugung ungedämpfter Schwingungen S. 185. — Mit- und Gegenkopplung S. 187. — Regel- und Steuertechnik (Kybernetik) S. 188. — Zweiter Teil: Einige Anwendungen erzwungener Schwingungen S. 190. — Die Resonanz in ihrer Bedeutung für den Nachweis einzelner Sinusschwingungen. Spektralapparate S. 190. — Die Bedeutung erzwungener Schwingungen für die verzerrungsfreie Aufzeichnung nichtsinusförmiger Schwingungen. Registrierapparate S. 191. — Zwei gekoppelte Pendel und ihre erzwungenen Schwingungen S. 192. — Erzwungene Wackelschwingungen S. 194.

XII. Fortschreitende Wellen und Strahlung 195

Erster Teil: Wellenlehre S. 195. — Fortschreitende Wellen S. 195. — Dopplereffekt S. 197. — Interferenz S. 197. — Interferenz bei zwei etwas verschiedenen Senderfrequenzen S. 198. — Stehende Wellen S. 198. — Ausbreitung fortschreitender Wellen S. 200. — Reflexion und Brechung S. 202. — Abbildung S. 202. — Totalreflexion S. 203. — Keilwellen beim Überschreiten der Wellengeschwindigkeit S. 205. — Das HUYGHENSsche Prinzip S. 206. — Modellversuche zur Wellenausbreitung S. 206. — Quantitatives zur Beugung an einem Spalt S. 208. — FRESNELSche Zonenkonstruktion S. 210. — Verschärfung der Interferenzstreifen durch gitterförmige Anordnung der Wellenzentren S. 211. — Interferenz von Wellenzügen begrenzter Länge S. 213. — Entstehung von Longitudinalwellen. Ihre Geschwindigkeit S. 214. — Hochfrequente Longitudinalwellen in Luft. Schallabdruckverfahren S. 215. — Strahlungsdruck des Schalles. Schallradiometer S. 217. Typische Versuche mit räumlichen Wellen S. 218. — Die Entstehung von Wellen auf der Oberfläche von Flüssigkeiten S. 222. — Dispersion und Gruppengeschwindigkeit S. 225. — Die Umwandlung unperiodischer Vorgänge in Wellen S. 228. — Zweiter Teil: Etwas Akustik im engeren Sinne S. 230. — Energie des Schallfeldes. Schallwellenwiderstand S. 230. — Schallsender S. 232. — Unperiodische Schallsender und Überschallgeschwindigkeit S. 234. — Schallempfänger S. 235. — Vom Hören S. 236. — Phonometrie S. 238. — Das Ohr S. 240.

C. Wärmelehre.

XIII. Grundbegriffe 244

Vorbemerkungen. Definition des Wortes Stoffmenge S. 244. — Einige Begriffe aus den Grundlagen der Chemie S. 244. — Definition und Messung der Temperatur S. 246. — Definition des Wortes Wärme S. 248. — Spezifische Wärme c_p , einige Enthalpien und innere Energie U S. 250.

XIV. I. Hauptsatz und Zustandsgleichung idealer Gase 251

Ausdehnungsarbeit und technische Arbeit S. 251. — Thermische Zustandsgrößen S. 254. — Innere Energie U und erster Hauptsatz S. 255. — Die Zustandsgröße Enthalpie J S. 256. — Die beiden spezifischen Wärmen c_p und c_v S. 257. — Thermische Zustandsgleichung idealer Gase. Eine absolute Temperatur S. 260. — Addition der Partialdrucke S. 262. — Bestimmung des Molekulargewichtes (M) aus der Dampfdichte ρ S. 263. — Kalorische Zustandsgleichungen der idealen Gase. GAY-LUSSACScher Drosselversuch S. 264. — Zustandsänderungen idealer Gase S. 266. — Anwendungsbeispiele für polytrope und adiabatische Zustandsänderungen. Messungen von $\kappa = c_p/c_v$ S. 269. — Druckluftmotor und Gaskompressor S. 271.

XV. Reale Gase und Dämpfe 273

Zustandsänderungen realer Gase und Dämpfe S. 273. — Unterscheidung von Gas und Flüssigkeit S. 274. — Die VAN DER WAALSsche Zustandsgleichung realer Gase S. 276. — Der JOULE-THOMSONSche Drosselversuch S. 278. — Herstellung kleiner Temperaturen und Gasverflüssigung im Laboratorium S. 279. — Technische Verflüssigung und Entmischung von Gasen S. 280. — Dampfdruck und Temperatur. Tripelpunkt S. 282. — Behinderung des Phasenwechsels flüssig \rightarrow fest. Unterkühlte Flüssigkeiten S. 283. — Behinderung des Phasenwechsels flüssig \rightarrow dampfförmig. Zerreißfestigkeit der Flüssigkeiten S. 284.

XVI. Die Temperatur und der kinetische Anteil der inneren Energie 286

Die Temperatur und ungeordnete Bewegung („Wärmebewegung“) in idealen Gasen S. 286. — Rückstoß der Gasmoleküle bei der Reflexion. Radiometerkraft

S. 288. — Geschwindigkeitsverteilung und mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle S. 289. — Spezifische Wärmen im molekularen Bilde. Das Gleichverteilungsprinzip S. 290. — Osmose und osmotischer Druck S. 293. — Physikalische Moleküle. Experimentelle Bestimmung der BOLTZMANNschen Konstanten k und der spezifischen Molekülzahl N S. 296. — Bestimmung der BOLTZMANNschen Konstanten k aus der BROWNSchen Bewegung S. 298. — Wärmebewegung und Empfindlichkeitsgrenze von Meßinstrumenten S. 299. — Statistische Schwankungen und Individuenzahl S. 300. — Das BOLTZMANNsche Theorem S. 301.

XVII. Transportvorgänge, insbesondere Diffusion 303

Vorbemerkung S. 303. — Diffusion und Durchmischung S. 303. — I. FICKsches Gesetz und Diffusionskonstante S. 303. — Quasistationäre Diffusion S. 305. Nichtstationäre Diffusion S. 306. — Allgemeines über Wärmeleitung und Wärmetransport S. 307. — Stationäre Wärmeleitung S. 309. — Nichtstationäre Wärmeleitung S. 309. — Die Transportvorgänge in Gasen und ihre Unabhängigkeit vom Druck S. 310. — Bestimmung der mittleren freien Weglänge S. 312. — Wechselseitige Verknüpfung der Transportvorgänge in Gasen S. 313.

XVIII. Die Zustandsgröße Entropie 316

Reversible Vorgänge S. 316. — Irreversible Vorgänge S. 317. — Die Zustandsgröße Entropie S. Zweiter Hauptsatz S. 318. — Vergeudete Arbeit und Arbeitsfähigkeit S. 321. — Die Entropie im molekularen Bild S. 321. — Beispiele für die Berechnung von Entropien S. 323. — Anwendung der Entropie auf reversible Zustandsänderungen in abgeschlossenen Systemen S. 325. — Das J -S- oder MOLLIER-Diagramm nebst Anwendungen. Gasströmung mit Überschallgeschwindigkeit S. 326. — Verdichtungsstöße S. 329.

XIX. Umwandlung von innerer Energie in Arbeit 330

Fragestellung und Disposition S. 330. — Erster Teil: Wärmekraftmaschinen und Wärmepumpen S. 330. — Die ideale Wärmekraftmaschine S. 330. — CARNOTscher Kreisprozeß und Heißluftmotor S. 331. — Der Heißluftmotor S. 332. — Wärmepumpe (Kältemaschine) S. 333. — Die thermodynamische Definition der Temperatur S. 335. — Zweiter Teil: Isotherme Umwandlung von innerer Energie in Arbeit S. 335. — Druckluftmotor. Freie und gebundene Energie S. 335. — HELMHOLTZsche Gleichung S. 336. — Beispiele für die Anwendung der freien Energie S. 338. — Rückblick auf die Rolle der Entropie bei der Umwandlung von innerer Energie in Arbeit S. 340. — Die inneren Uhren S. 340. — Dritter Teil: Technische Wärmekraftmaschinen und Muskel als Motor S. 340. — Technische Wärmekraftmaschinen S. 340. — Der Mensch als isotherme Kraftmaschine S. 342.

Anhang: Dimensionen physikalischer Größen 342

Wichtige Konstanten 344

Längeneinheiten, Krafteinheiten, Druckeinheiten, Energieeinheiten 345

Sachverzeichnis 346

Über die Schreibweise der Gleichungen.

Alle Gleichungen der Mechanik sind als *Größengleichungen* für drei Grundgrößen geschrieben, die der Wärmelehre ebenso für vier Grundgrößen. — Für jeden Buchstaben sind also Zahlenwert *und* Einheit einzusetzen. Damit wird die früher notwendige Unterscheidung eines physikalischen und eines technischen Maßsystems gegenstandslos. Die Wahl der Einheiten steht frei. Die unter manchen Gleichungen genannten sind nur als Beispiele zu betrachten.

Bei der Anwendung von Größengleichungen wird nur noch die Einsicht erwartet, daß man z. B. Kilopondmeter und Kalorie ebensowenig addieren und in Zähler und Nenner eines Bruches gegeneinander wegheben kann, wie etwa Deutsche Mark und Dollar.

Viele physikalischen Größen sind ihrer Natur nach Vektoren. Der Vektorcharakter soll oft besonders betont werden: Dann wenden wir für die Größen sowohl in den Zeichnungen als auch in den Gleichungen Frakturbuchstaben an. Das geschieht z. B. immer bei der Kraft und bei den Feldvektoren der Elektrizitätslehre, gelegentlich bei Geschwindigkeit, Beschleunigung usw.

Trotz des häufigen Gebrauches von Frakturbuchstaben sollen die Gleichungen dieses Buches, und zwar aller drei Bände, normalerweise als Betragsgleichungen gelesen werden. Dabei sind nur zwei Punkte zu beachten: +- oder --Zeichen zwischen Frakturbuchstaben bedeuten die geometrische Summe gemäß S. 12; auf entgegengesetzte Richtungen von Vektoren wird auch in Betragsgleichungen durch --Zeichen verwiesen. Als Beispiel sei genannt die Gleichung für die zum Kreismittelpunkt hin gerichtete Radialbeschleunigung $b_r = -u^2/r$. Sie ist zur Einführung weniger bedenklich als die Vektorgleichung mit dem Betrage des Radius im Nenner und seinem Einheitsvektor im Zähler.

Manche Gleichungen werden auch den an die Vektorschreibweise gewöhnten fortgeschrittenen Leser zufriedenstellen. So ist z. B. das äußere Vektorprodukt stillschweigend durch ein schräges Kreuz eingeführt worden. Dadurch umfassen die Gleichungen mehr als nur die im Text behandelten Sonderfälle. Der mit der Vektorschreibweise noch nicht Vertraute wird das Kreuz nur als „Malzeichen“ lesen und nicht weiter beachten.

Jede das Gesamtgebiet der Physik umfassende Darstellung hat mit einer äußeren Schwierigkeit zu kämpfen, nämlich der geringen Zahl der verfügbaren Buchstaben. In den drei Bänden dieser Einführung ist der Bedeutungswechsel der einzelnen Buchstaben weitgehend eingeschränkt. Das ließ sich aber nur durch einen Verzicht erreichen: es konnte nicht der Betrag jedes Vektors einheitlich durch einen Antiquabuchstaben wiedergegeben werden. Doch ist das kein Unglück. Jede allzu weit getriebene Einheitlichkeit erschwert die Übersicht: man denke an die Anwendung eines Frakturbuchstabens für die Erdbeschleunigung oder die Winkelgeschwindigkeit.

Hinweise auf die beiden anderen Bände beziehen sich auf die 17. und 18. Auflage der „Elektrik“ und auf die 10. Auflage der „Optik und Atomphysik“.