
Physik für das Ingenieurstudium

Jürgen Eichler

Physik für das Ingenieurstudium

Prägnant mit vielen Kontrollfragen und
Beispielaufgaben

5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 223 Abbildungen und 48 Tabellen

 Springer Vieweg

Jürgen Eichler
FB II Mathematik, Physik, Chemie
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Berlin, Deutschland

ISBN 978-3-658-04625-5
DOI 10.1007/978-3-658-04626-2

ISBN 978-3-658-04626-2 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1993, 2004, 2007, 2011, 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

www.springer-vieweg.de

Vorwort

Durch die Einführung der Bachelor- und Masterstudiengänge wurde in den letzten Jahren in vielen technischen Studiengängen der Umfang der Physikvorlesungen gestrafft und gekürzt. Die gründliche Überarbeitung dieses Lehrbuches trägt dieser Entwicklung Rechnung. Insbesondere wurden die Übungsaufgaben durch zahlreiche kurze Fragen ergänzt. Damit wird auf das Wesentliche und auf technische Anwendungen hingewiesen. Das Selbststudium soll dadurch stärker angeregt und die Überprüfung des Wissens erleichtert werden. Weiterhin wurden an einigen Stellen Beispiele der Physik in Technik und Umwelt hinzugefügt. Eine weitere Neuigkeit ist das komplett neue Design des Buches, das der Übersichtlichkeit und der Verbreitung in digitaler Form dient. Das Buch ist hauptsächlich als Lehrbuch gedacht, jedoch übersteigt der Stofffülle in vielen Fällen den Umfang der Physikvorlesungen. Daher wurde versucht, dem Buch auch eine Systematik zu geben, damit es als Nachschlagewerk für den Ingenieur in der beruflichen Praxis dienen kann.

Das vorliegende Buch zeichnet sich durch seine kurze prägnante Darstellung aus, ohne dabei wesentliche Faktoren wegzulassen. Besonderer Wert wird auf die Anwendung der Physik in der modernen Technik gelegt.

Die Physik ist eine der wichtigen Grundlagen für die Tätigkeit eines Ingenieurs. In diesem Sinne wurde das Basiswissen der klassischen Physik in den Kapiteln der *Mechanik*, *Thermodynamik*, *Schwingungen und Wellen*, *Akustik*, *Elektromagnetismus* und *Optik* anschaulich dargestellt. Daneben dient die Physikvorlesung auch einer naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung, die zum Verstehen von Erscheinungen der Umwelt notwendig ist. Dies spiegelt sich in den moderneren Kapiteln der *Atom-*, *Festkörper-* und *Kernphysik* sowie der *Gravitation* wieder.

Das Buch entstand aus Vorlesungsunterlagen der Kurse „Physik“ für Hörer unterschiedlicher Fachrichtungen an der Beuth Hochschule für Technik, früher Technische Fachhochschule, Berlin.

Es wendet sich an Studierende an Fachhochschulen und Universitäten in den Fächern Mechatronik, Maschinenbau, Feinwerktechnik, Mikrosystemtechnik, Elektronik, Elektrotechnik, Energietechnik, Physikalische Technik, Mathematik, Chemie, Biotechnologie, Verfahrenstechnik, Umwelttechnik, Informatik, Patentwesen, Wirtschaftsingenieurwesen, u. a. Neben diesem Hörerkreis eignet es sich auch für Ingenieure in der Praxis als Nachschlagewerk.

Ich danke dem Verlag Springer Vieweg und dem Lektorat Maschinenbau für die sehr gute Zusammenarbeit bei der Realisierung und dem Druck der neuen Auflage. Die fachgerechten Hinweise von meinem Lektor Herrn Thomas Zipsner haben zu wichtigen Verbesserungen geführt, wofür ich ihm herzlich danke.

Ich widme dieses Buch Evelyn und Sascha.

Berlin, Frühjahr 2014

Jürgen Eichler

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Größen	1
1.1	Basisgrößen und -einheiten	1
1.1.1	SI-System	1
1.1.2	Naturkonstanten	3
2	Mechanik fester Körper	5
2.1	Kinematik (Lehre von der Bewegung)	5
2.1.1	Geradlinige Bewegung	5
2.1.2	Dreidimensionale Bewegung	17
2.1.3	Kreisbewegung	19
2.2	Dynamik (Lehre von den Kräften)	26
2.2.1	Kraft (Newton'sche Axiome)	26
2.2.2	Masse und Kraft	28
2.2.3	Bewegte Bezugssysteme, Trägheitskraft	31
2.2.4	Zentrifugal- und Corioliskraft	33
2.3	Arbeit, Energie und Leistung	36
2.3.1	Arbeit	36
2.3.2	Energie	37
2.3.3	Leistung	39
2.3.4	Energieerhaltung	40
2.4	Impuls	41
2.4.1	Impulserhaltung	41
2.4.2	Schwerpunkt	42
2.4.3	Stoßgesetze	43
2.5	Dynamik der Rotation	44
2.5.1	Energie und Trägheitsmoment	44
2.5.2	Drehmoment	48
2.5.3	Drehimpuls	51
2.5.4	Vergleich: geradlinige Bewegung und Drehbewegung	52
2.5.5	Vektorielle Formulierung	53
2.5.6	Kreisel	55

3	Mechanik deformierbarer Medien	59
3.1	Deformation fester Körper	59
3.1.1	Dehnung	59
3.1.2	Anwendungen, Belastung	62
3.2	Statik der Flüssigkeiten und Gase	63
3.2.1	Druck und Kompressibilität	63
3.2.2	Druck in Flüssigkeiten	65
3.2.3	Druck in Gasen	68
3.2.4	Auftrieb	71
3.3	Dynamik der Flüssigkeiten und Gase	73
3.3.1	Reibungsfreie Strömungen	73
3.3.2	Innere Reibung	79
3.3.3	Turbulenz	82
4	Gravitation	85
4.1	Klassische Gravitationstheorie	85
4.1.1	Gravitationsgesetz	85
4.1.2	Planetensystem	87
4.1.3	Potenzielle Energie	89
4.1.4	Satellitenbahnen	90
4.2	Relativitätstheorie	91
4.2.1	Spezielle Relativitätstheorie	92
4.2.2	Allgemeine Relativitätstheorie	95
5	Thermodynamik	97
5.1	Zustandsgleichungen von Gasen	97
5.1.1	Temperatur	97
5.1.2	Zustandsgleichung idealer Gase	102
5.1.3	Molare Größen	104
5.1.4	Reale Gase	107
5.1.5	Aggregatzustände	109
5.2	Kinetische Gastheorie	114
5.2.1	Gasdruck	114
5.2.2	Thermische Energie	115
5.2.3	Geschwindigkeitsverteilung	116
5.3	Hauptsätze der Thermodynamik	117
5.3.1	Spezifische Wärmekapazität	117
5.3.2	Erster Hauptsatz der Wärmelehre	122
5.3.3	Zustandsänderungen	123
5.3.4	Kreisprozesse	126
5.3.5	Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre	128

5.4	Thermische Maschinen	130
5.4.1	Wärme­kraft­ma­schin­en	130
5.4.2	Wärmepumpe	132
5.5	Wärmetransport	134
5.5.1	Wärmeleitung	134
5.5.2	Konvektion	136
5.5.3	Wärmestrahlung	137
6	Schwingungen und Wellen	143
6.1	Schwingungen	143
6.1.1	Freie ungedämpfte Schwingung	144
6.1.2	Freie gedämpfte Schwingung	151
6.1.3	Erzwungene Schwingungen	153
6.1.4	Überlagerung von Schwingungen	155
6.1.5	Fourier-Analyse	160
6.1.6	Gekoppelte Schwingungen	161
6.2	Wellen	163
6.2.1	Wellengleichung	163
6.2.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	166
6.2.3	Überlagerung von Wellen	167
6.2.4	Doppler-Effekt	170
7	Akustik	173
7.1	Physiologische Akustik	173
7.1.1	Schallwellen	173
7.1.2	Schallempfindung	177
7.1.3	Musikalische Akustik	181
7.2	Technische Akustik	182
7.2.1	Messtechnik	182
7.2.2	Ultraschall	184
8	Elektromagnetismus	187
8.1	Elektrisches Feld	187
8.1.1	Elektrische Ladung	187
8.1.2	Elektrische Feldstärke	189
8.1.3	Spannung und Potenzial	191
8.1.4	Elektrische Influenz	194
8.1.5	Elektrische Polarisation	195
8.1.6	Kondensator	198
8.1.7	Elektrischer Fluss und Flussdichte	200
8.2	Magnetisches Feld	201
8.2.1	Magnetische Feldstärke	201

8.2.2	Magnetische Flussdichte und Fluss	204
8.2.3	Kräfte im Magnetfeld	207
8.2.4	Polarisation und Magnetisierung	211
8.2.5	Materie im Magnetfeld	212
8.3	Elektromagnetische Wechselfelder	216
8.3.1	Veränderliche Magnetfelder: Induktion	217
8.3.2	Veränderliche elektrische Felder	220
8.3.3	Maxwell'sche Gleichung	220
8.3.4	Elektromagnetische Wellen	222
8.4	Elektrische Ströme	226
8.4.1	Gleichstromkreise	226
8.4.2	Wechselstromkreise	230
8.4.3	Elektromagnetische Schwingungen	237
8.4.4	Ströme im Vakuum	239
8.4.5	Ströme in Gasen	242
8.4.6	Ströme in Flüssigkeiten	244
9	Optik	247
9.1	Geometrische Optik	247
9.1.1	Reflexion und Brechung	247
9.1.2	Hohlspiegel	252
9.1.3	Linsen	256
9.1.4	Auge	261
9.1.5	Fotoapparat	264
9.1.6	Projektor	266
9.1.7	Fernrohr	267
9.1.8	Mikroskop	270
9.2	Wellenoptik	273
9.2.1	Polarisation von Licht	274
9.2.2	Eigenschaften der Kohärenz	279
9.2.3	Erscheinungen der Interferenz	281
9.2.4	Beugung von Licht	285
9.2.5	Holografie	290
9.3	Quantenoptik	293
9.3.1	Emission und Absorption von Licht	293
9.3.2	Prinzipien des Lasers	297
9.3.3	Lasertypen	301
9.3.4	Nichtlineare Optik	302
9.4	Fotometrie	303
9.4.1	Farbmetrik	303
9.4.2	Grundbegriffe der Lichttechnik	305

10	Atomphysik	309
10.1	Bestandteile der Atome	309
10.1.1	Schematischer Aufbau der Atome	309
10.1.2	Lichtwellen und Photonen	311
10.1.3	Materiewellen und -strahlen	314
10.2	Aufbau der Atome	318
10.2.1	Wasserstoffatom	319
10.2.2	Quantenzahlen	323
10.2.3	Deutung des Periodensystems	327
10.3	Licht, Röntgenstrahlung und Spinresonanz	329
10.3.1	Röntgenstrahlung	331
10.3.2	Spinresonanz	336
10.3.3	Moleküle	339
11	Festkörper	343
11.1	Struktur der Festkörper	343
11.1.1	Bindung in Kristallen	343
11.1.2	Kristallstrukturen	345
11.1.3	Nichtkristalline Festkörper	347
11.1.4	Flüssigkristalle	348
11.2	Elektronen in Festkörpern	349
11.2.1	Energiebänder	349
11.2.2	Metallische Leitung	351
11.2.3	Supraleitung	354
11.2.4	Halbleiter	357
11.2.5	pn-Übergang	361
11.3	Halbleiterbauelemente	365
11.3.1	Transistoren	365
11.3.2	Integrierte Schaltungen	369
11.3.3	Optoelektronik	370
12	Kernphysik	377
12.1	Struktur der Atomkerne	377
12.1.1	Kernteilchen	377
12.1.2	Kernniveaus	380
12.2	Radioaktive Kernumwandlungen	381
12.2.1	α -, β - und γ -Strahlung	381
12.2.2	Radioaktives Zerfallsgesetz	385
12.2.3	Natürliche Radioaktivität	387
12.2.4	Künstliche Kernreaktionen	388
12.3	Kernspaltung und Kernfusion	390
12.3.1	Spaltung mit Neutronen	390

12.3.2 Kernreaktoren	393
12.3.3 Kernfusion	396
12.3.4 Fusionsreaktoren	399
12.4 Strahlenschutz	401
12.4.1 Wechselwirkung von Strahlung und Materie	401
12.4.2 Messung radioaktiver Strahlung	404
12.4.3 Dosimetrie	405
12.5 Elementarteilchen	410
Sachverzeichnis	413