

Springer-Lehrbuch

Ulrich Harten

Physik für Mediziner

15., überarbeitete Auflage

Mit 416 farbigen Abbildungen

 Springer

Ulrich Harten
Hochschule Mannheim
Mannheim, Deutschland
u.harten@hs-mannheim.de

ISSN 0937-7433
Springer-Lehrbuch
ISBN 978-3-662-54446-4 978-3-662-54447-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-54447-1

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

Springer
© Springer-Verlag GmbH Deutschland 1974, 1975, 1977, 1980, 1987, 1993, 1997, 1999, 2002, 2007, 2011, 2014, 2017

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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Fotonachweis Umschlag: © kotoffei, Fotolia

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature
Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Physik handelt von den Naturgesetzen und die galten schon, als die Erde noch wüst und leer war. Verstöße gegen die Naturgesetze werden nicht bestraft, sie sind gar nicht erst möglich. Das gilt auch für organisches Leben und ärztliche Kunst. Herz und Lunge, Magen und Darm, Auge, Ohr und das ganze Nervensystem, ob gesund, ob krank, agieren im Rahmen der Naturgesetze. Ärzte ebenso.

Deshalb muss sich ein Medizinstudent, auch wenn es nicht seine Leidenschaft ist, mit Physik befassen. Dieses Buch versucht, das Notwendige verständlich zu präsentieren, Hilfen für das Physikpraktikum zu geben und die medizinischen Anwendungen aufzuzeigen.

Das Buch erläutert weiterhin **alle** im Gegenstandskatalog aufgeführten Lerninhalte. Welche Sie davon in der Prüfung an Ihrer Universität tatsächlich brauchen, müssen Sie selbst herausfinden. Im zentralen 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (»1. ÄP«, »Physikum«) des IMPP wird keineswegs alles gebraucht. Im Inhaltsverzeichnis und an den Kapitelüberschriften habe ich die (in den letzten 6 Jahren) besonders prüfungsrelevanten Abschnitte für Sie (je nach Relevanz mit ! oder !!) markiert. Die Lerntabellen, die Verständnisfragen und die leichteren Übungsaufgaben orientieren sich ebenfalls an der 1. ÄP. Weitere Hinweise zur Prüfungsrelevanz finden sich auf der **Internetseite zum Buch** (www.physik.hs-mannheim.de/physikbuch.html). Dort finden Sie auch Hinweise auf Animationen, die manche Zusammenhänge besser verdeutlichen als die statischen Bilder im Buch.

Nachdem die 14. Auflage komplett neu gesetzt wurde, sind in dieser 15. Auflage neben Korrekturen Neufassungen in den Bereichen physikalische Größen, Wellenoptik (Kohärenz) und Radioaktivität vorgenommen worden.

Ich danke allen Lesern, die Fehlerhinweise gegeben haben. Die Betreuung dieses Buches beim Verlag lag in den Händen von Rose-Marie Doyon und Anja Goepfrich. Ihnen gilt mein besonderer Dank für die vielfältigen Hilfen.

Ulrich Harten, im Frühjahr 2017

Wichtige Zahlenwerte

π (Pi)	$\pi = 3,141592\dots$
e (Euler-Zahl)	$e = 2,718281\dots$
$\sqrt{2}$	$\sqrt{2} = 1,4142\dots$
$\ln 2$	$\ln 2 = 0,6931\dots$
Fallbeschleunigung	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)	$c = 299.792.458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Gaskonstante	$R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
Volumen eines Mol Gas (0° C, 10^5 Pa)	22,4 l/mol
Dichte von Wasser	$\rho_W = 1,0 \text{ kg/l}$
Spez. Wärmekapazität von Wasser	4,18 J/(g · K)
Schallgeschwindigkeit in Wasser	1480 m/s
Schallgeschwindigkeit in Luft	330 m/s
Elementarladung	$e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
Faraday-Konstante	$F = 96484 \text{ As/mol}$

■ Energieeinheiten

1 Joule = 1 Newtonmeter = 1 Wattsekunde = 1 J = 1 N · m = 1 W · s

Kilowattstunde = 1 kWh = $3,600 \cdot 10^6 \text{ J}$

Elektronvolt = 1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Kalorie = 1 cal = 4,184 J

■ Druckeinheiten

Pascal = 1 Pa = 1 N/m²; Luftdruck: $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} \approx 10 \text{ Meter H}_2\text{O}$

Bar = 1 bar = $1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

mm-Quecksilber = 1 mmHg = 133,3 Pa

mm-Wasser = 1 mmH₂O = 9,81 Pa

Atmosphäre = 1 atm = $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

■ Kernladungszahlen Z und molare Massen M einiger natürlicher Isotopengemische

Symbol	Element	Z	M [g/mol]	Symbol	Element	Z	M [g/mol]
H	Wasserstoff	1	1,0079	Na	Natrium	11	22,997
He	Helium	2	4,0026	Al	Aluminium	13	26,8915
Li	Lithium	3	6,939	Cl	Chlor	17	35,475
C	Kohlenstoff	6	12,0112	Ca	Kalzium	20	40,08
N	Stickstoff	7	14,0067	Ag	Silber	47	107,868
O	Sauerstoff	8	15,9994	Pb	Blei	82	207,19

Der Autor



Diplom-Physiker, Dr. rer. nat., geboren 1955, Studium der Physik in Göttingen und Stuttgart, 6-jährige Industrietätigkeit (BASF), seit 1993 Professor an der Hochschule Mannheim.

Physik für Mediziner: Das Layout

Einleitung:
Kurzer Einstieg ins Thema

Rechenbeispiele: Schritt für Schritt
physikalische Zusammenhänge und
Berechnungen nachvollziehen

68 Kapitel 2 · Mechanik starker Körper

2

Die Physik ist eine empirische und quantitative Wissenschaft; sie beruht auf Messung und Experiment. Daraus folgt eine intensive Nutzung mathematischer Überlegungen, denn Messungen ergeben Zahlenwerte und die Mathematik ist primär für den Umgang mit Zahlen erfunden worden. Die Natur ist damit einverstanden. Selbst rechnet sie zwar nicht, aber wenn der Mensch ihre Gesetzmäßigkeiten einfach und korrekt beschreiben will, dann tut er dies am besten mithilfe mathematischer Formeln und Kalküle.

2.2 Kraft, Drehmoment, Energie

2.2.1 Kräfte !

Der Mensch weiß aus Erfahrung, ob er sich einen Kartoffelsack aufladen kann oder ob er dies besser lässt; er hat ein recht zuverlässiges Gefühl für die **Kraft** seiner Muskeln. Hier verwendet der Sprachgebrauch des Alltags das Wort Kraft genau im Sinn der Physik.

An eine allgegenwärtige Kraft hat sich jedes irdische Leben anpassen müssen: an die Schwerkraft, die Kraft des Gewichts, die jeden materiellen Gegenstand nach unten zieht. Wer ein Buch vor sich in der Schwebe hält, um darin zu lesen, setzt die Muskelkraft seiner Arme gegen die Gewichtskraft des Buches ein. Beide Kräfte müssen sich genau kompensieren, wenn das Buch in der Schwebe bleiben, wenn es zu keinen Bewegungen kommen soll.

Jede Gewichtskraft zieht nach unten; eine sie kompensierende Gegenkraft muss mit gleichem Betrag nach oben gerichtet sein. Kräfte sind demnach Vektoren. Wie misst man ihre Beträge?

Merke

SI-Einheit der Energie:
Newtonmeter (Nm) = Joule (J) = Wattsekunde (Ws)

Weitere Einheiten:

Kilowattstunde	1 kWh	= 3.600.000 J
Elektronenvolt	1 eV	= $1,602 \cdot 10^{-19}$ J
Kalorie	1 cal	= 4,184 J

Besonders wichtige Inhalte sind durch ! hervorgehoben

Merke: das Wichtigste auf den Punkt gebracht

Rechenbeispiel 3.1: Mensch am Draht

Aufgabe. Welchen Durchmesser muss ein Kupferdraht mindestens haben, wenn er ohne plastische Verformung einen Menschen tragen soll? Beachte ▣ Abb. 3.4.

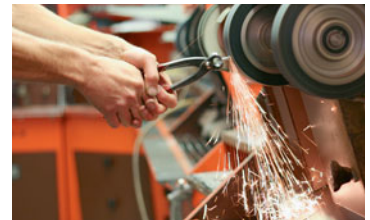
Lösung. Das Ende der Hooke'schen Geraden befindet sich etwa bei der Grenzspannung $\sigma_g = 13 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Hat der Mensch ein Gewicht von 690 N ($\triangleq 70 \text{ kg}$), so ergibt sich für die minimal erforderliche Querschnittsfläche:

$$A_{\min} = \frac{F_G}{\sigma_g} = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} d_{\min}^2.$$

Also ist der minimale Durchmesser $d_{\min} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 2,6 \text{ mm}$.

Halten macht auch Mühe

Reine Haltebetätigung leistet keine mechanische Arbeit; der Weg fehlt. Für sie Energie einzusetzen, ist Verschwendung, lässt sich aber manchmal nicht verhindern. Das gilt z. B. für Muskeln. Sie können sich unter Kraftentwicklung zusammenziehen und dabei mechanische Arbeit leisten, beim Klimmzug etwa oder beim Aufrichten aus der Kniebeuge. Ein Muskel muss aber auch dann Energie umsetzen, wenn er sich lediglich von einer äußeren Kraft nicht dehnen lassen will. Die Natur hat Mensch und Tier so konstruiert, dass im Allgemeinen nur wenig Muskelarbeit für reine Haltebetätigung eingesetzt werden muss. Wer aufrecht steht, den trägt im Wesentlichen sein Skelett. Wer aber in halber Kniebeuge verharrt, dem zittern bald die Knie.



▣ Abb. 2.52 Keine Kreisbewegung ohne Zentripetalkraft. Von einer Schleifscheibe tangential abfliegende Funken (© piconaut - Fotolia.com)

Klinik:
Von der Physik zum Menschen

Praktikum:
Grundlagen für typische Versuche

2.2 · Kraft, Drehmoment, Energie

Praktikum

Dichtebestimmung von Flüssigkeiten und Festkörpern

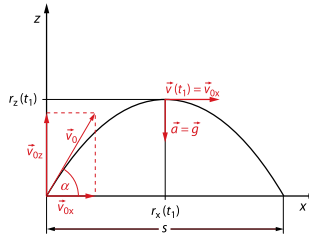
Zur Dichte siehe auch ▶ Abschn. 1.2.2, zum Hebelgesetz und Balkenwaage vgl. ▶ Abschn. 2.2.5 bis ▶ Abschn. 2.2.7.

Flüssigkeiten:

Eine beliebte Methode ist die **Mohr'sche Waage**. Das ist eine Balkenwaage, an deren einer Seite ein Glaskörper (Volumen V_K , Masse m_K) hängt, dessen Dichte ρ_K bekannt sein muss. Taucht man diesen Körper in die zu messende Flüssigkeit, so wirkt eine Auftriebskraft auf ihn, die proportional zur Dichte der Flüssigkeit ist. Diese wird mit der Waage ausgemessen. Das funktioniert genauso wie das in ▣ Abb. 3.16 dargestellte Aräometer, lässt sich nur genauer ablesen.

Ist $F_L = m_K \cdot g$ das Gewicht des Glaskörpers in Luft und F_{FI} sein Gewicht eingetaucht in der Flüssigkeit, so ist die Differenz die Auftriebskraft:

$$F_L - F_{FI} = V_K \cdot \rho_{FL} \cdot g.$$



▣ Abb. 2.10 **Komponentenzersetzung.** Die Wurfbewegung kann man sich aus einer horizontalen Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und einer vertikalen Bewegung mit konstanter Beschleunigung zusammengesetzt denken. Animation im Web

2.5 Fragen und Übungen

2.5.1 Verständnisfragen

2.1 Die mittlere und die momentane Geschwindigkeit sind meist verschieden. Für welche Bewegung sind sie gleich?

2.2 Kann ein Auto um die Kurve fahren, ohne beschleunigt zu sein?

2.5.2 Übungsaufgaben

(♦ leicht; ♦♦ mittel; ♦♦♦ schwer)

■ Beschleunigung

2.1 ♦ Ein Gegenstand bewegt sich mit einer negativen Beschleunigung von -1 m/s^2 . Seine Anfangsgeschwindigkeit ist 1 m/s . Nach welcher Zeit ist seine

Mehr als 400 farbige **Abbildungen** machen die Physik deutlich

Link zu einer Animation findet sich auf der Autorenhompage

Verständnisfragen zum Üben

Übungsaufgaben: nach Schwierigkeitsgrad geordnete Fragen mit Lösungen

Im Flaschenzug verteilt sich die Gewichtskraft F_G der Last gleichmäßig auf die n Teilstücke des Seiles. Die Gegenkraft F braucht deshalb nur die Teilkraft F_G/n zu kompensieren. Zum Heben der Last um Δh muss freilich jedes Teilstück des Seiles entsprechend verkürzt werden, das gesamte Seil also um $s = n \cdot \Delta h$.

2.7 In Kürze

Licht

Licht ist eine **elektromagnetische Welle**. Die Feldstärken stehen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung; die Welle ist damit transversal und kann mit einem Polarisationsfilter linear **polarisiert** werden. Reflexion und Streuung kann polarisationsabhängig sein.

Vakuumlichtgeschwindigkeit	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Sichtbares Licht	$\lambda = 0,4\text{--}0,8 \text{ }\mu\text{m}$	λ : Wellenlänge [m]

In Kürze: Formeln und Definitionen auf einen Blick

Exkurs:

Hintergründe und vertiefende Infos

Zusatzmaterial:

Finden Sie auf der Autorenhompage www.physik.hs-mannheim.de/physikbuch.html

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe	1
	<i>Ulrich Harten</i>	
1.1	Physikalische Größen und ihre Einheiten !	2
1.2	Mengenangaben	5
1.2.1	Masse und Stoffmenge	5
1.2.2	Dichten und Gehalte !	6
1.3	Statistik und Messunsicherheit	8
1.3.1	Messfehler.	8
1.3.2	Mittelwert und Streumaß !!	9
1.3.3	Messunsicherheit !!	11
1.3.4	Fehlerfortpflanzung.	12
1.4	Vektoren und Skalare	13
1.5	Wichtige Funktionen	16
1.5.1	Winkelfunktionen !	16
1.5.2	Exponentialfunktion und Logarithmus !	17
1.5.3	Potenzfunktionen	20
1.5.4	Algebraische Gleichungen.	20
1.6	In Kürze	21
1.7	Fragen und Übungen	23
1.7.1	Verständnisfragen	23
1.7.2	Übungsaufgaben	23
2	Mechanik starrer Körper	25
	<i>Ulrich Harten</i>	
2.1	Bewegung	26
2.1.1	Fahrstrecke und Geschwindigkeit !	26
2.1.2	Überlagerung von Geschwindigkeiten	28
2.1.3	Beschleunigung !	29
2.1.4	Kreisbewegung !	34
2.1.5	Bewegung von Gelenken	35
2.1.6	Relativ oder absolut?	36
2.2	Kraft, Drehmoment, Energie	37
2.2.1	Kräfte !	37
2.2.2	Gewichtskraft und Gravitation !	40
2.2.3	Reibung	40
2.2.4	Arbeit und Energie !!	41
2.2.5	Kinetische Energie !	45
2.2.6	Hebel und Drehmoment !	47
2.2.7	Grundgleichungen des Gleichgewichts.	50
2.2.8	Gleichgewichte	50
2.3	Kraft und Bewegung	53
2.3.1	Newton'sche Gesetze !	53
2.3.2	Impuls !	55
2.3.3	Trägheitskräfte	58

2.3.4	Drehbewegung	59
2.3.5	Trägheitsmoment und Drehimpuls	61
2.4	In Kürze	63
2.5	Fragen und Übungen	66
2.5.1	Verständnisfragen	66
2.5.2	Übungsaufgaben	66
3	Mechanik deformierbarer Körper	69
	<i>Ulrich Harten</i>	
3.1	Aggregatzustände	70
3.2	Festkörper	71
3.2.1	Struktur der Festkörper.	71
3.2.2	Verformung von Festkörpern !!.	72
3.2.3	Viskoelastizität	75
3.3	Druck	75
3.3.1	Stempeldruck.	75
3.3.2	Schweredruck !.	76
3.3.3	Auftrieb !.	79
3.3.4	Manometer	81
3.3.5	Pumpen	82
3.3.6	Kompressibilität	83
3.3.7	Blutdruckmessung	84
3.4	Grenzflächen	85
3.4.1	Kohäsion.	85
3.4.2	Adhäsion	89
3.5	Strömung.	90
3.5.1	Ideale Strömung !.	90
3.5.2	Zähigkeit (Viskosität) !.	93
3.5.3	Reale Strömung durch Rohre !!.	94
3.5.4	Umströmung von Hindernissen	98
3.6	In Kürze	99
3.7	Fragen und Übungen	101
3.7.1	Verständnisfragen	101
3.7.2	Übungsaufgaben	101
4	Mechanische Schwingungen und Wellen.	103
	<i>Ulrich Harten</i>	
4.1	Mechanische Schwingungen	104
4.1.1	Alles, was schwingt	104
4.1.2	Harmonische Schwingungen !.	104
4.1.3	Gedämpfte Schwingungen	107
4.1.4	Erzwungene Schwingungen	109
4.1.5	Überlagerung von Schwingungen.	109
4.2	Wellen	111
4.2.1	Wellenarten.	111
4.2.2	Harmonische Seilwellen !!.	113
4.2.3	Intensität und Energietransport !.	115
4.2.4	Stehende Wellen.	117

4.2.5	Schallwellen !	118
4.2.6	Schallwahrnehmung !!	120
4.2.7	Doppler-Effekt	123
4.3	In Kürze	126
4.4	Fragen und Übungen	128
4.4.1	Verständnisfragen	128
4.4.2	Übungsaufgaben	128
5	Wärmelehre	131
	<i>Ulrich Harten</i>	
5.1	Grundlegende Größen	133
5.1.1	Wärme !	133
5.1.2	Temperatur !	134
5.1.3	Temperaturmessung	135
5.1.4	Wahrscheinlichkeit und Ordnung	137
5.1.5	Entropie	137
5.1.6	Wärmekapazität !	138
5.2	Ideales Gas	142
5.2.1	Zustandsgleichung !!	142
5.2.2	Partialdruck !	144
5.2.3	Energie im Gas	144
5.3	Transportphänomene	145
5.3.1	Wärmeleitung	145
5.3.2	Konvektion	147
5.3.3	Wärmestrahlung	148
5.3.4	Diffusion	150
5.3.5	Osmose	152
5.4	Phasenumwandlungen	154
5.4.1	Umwandlungswärmen	154
5.4.2	Schmelzen oder Aufweichen?	155
5.4.3	Schmelzen und Gefrieren	156
5.4.4	Lösungs- und Solvatationswärme	158
5.4.5	Verdampfen und Kondensieren !	158
5.4.6	Luftfeuchtigkeit	160
5.4.7	Zustandsdiagramme	161
5.4.8	Absorption und Adsorption	163
5.5	Wärmenutzung	164
5.5.1	Wärmehaushalt des Menschen	164
5.5.2	Warum kostet Energie?	166
5.5.3	Wärme- und Entropiehaushalt der Erde	167
5.6	In Kürze	169
5.7	Fragen und Übungen	171
5.7.1	Verständnisfragen	171
5.7.2	Übungsaufgaben	171

6	Elektrizitätslehre	173
	<i>Ulrich Harten</i>	
6.1	Grundlagen	175
6.1.1	Ladung und Strom !	175
6.1.2	Kräfte zwischen Ladungen !	176
6.1.3	Elektrisches Feld	178
6.1.4	Feld und Spannung	180
6.1.5	Elektrisches Potenzial !	181
6.2	Materie im elektrischen Feld	183
6.2.1	Influenz und elektrische Abschirmung	183
6.2.2	Elektrischer Strom !	184
6.2.3	Leitfähigkeit und Resistivität !	186
6.2.4	Permittivität (Dielektrizitätskonstante)	187
6.2.5	Gasentladung	188
6.3	Stromkreis	189
6.3.1	Strom und Spannung messen.	189
6.3.2	Leistung und Energie !	190
6.3.3	Elektrischer Widerstand !	192
6.3.4	Wärme bei Stromdurchgang	193
6.3.5	Kondensator !!	194
6.3.6	Feld im Kondensator	195
6.3.7	Energie des geladenen Kondensators.	197
6.3.8	Energie des elektrischen Feldes	197
6.4	Wechselspannung	198
6.4.1	Effektivwerte	198
6.4.2	Kapazitiver Widerstand.	200
6.5	Elektrische Netzwerke	201
6.5.1	Widerstände in Reihe und parallel !	201
6.5.2	Spannungsteiler	203
6.5.3	Innenwiderstände	205
6.5.4	Hoch- und Tiefpass	207
6.5.5	Kondensatorentladung und e-Funktion !	207
6.6	Elektrochemie	209
6.6.1	Dissoziation.	209
6.6.2	Elektrolyte !.	211
6.7	Grenzflächen	213
6.7.1	Membranspannung.	213
6.7.2	Galvani-Spannung.	215
6.7.3	Thermospannung	216
6.8	Elektrophysiologie	217
6.8.1	Auswertung des EKG nach Einthoven.	217
6.8.2	Elektrische Unfälle.	219
6.8.3	Schutzmaßnahmen	220
6.9	Magnetische Felder	222
6.9.1	Einführung !	222
6.9.2	Kräfte im Magnetfeld !	225
6.9.3	Erzeugung von Magnetfeldern	226
6.10	Induktion	229

6.10.1	Einführung	229
6.10.2	Transformatoren	231
6.10.3	Selbstinduktion	232
6.10.4	Induktiver Widerstand	234
6.11	Elektrische Schwingungen	235
6.11.1	Schwingkreis !.	235
6.11.2	Geschlossene elektrische Feldlinien	239
6.11.3	Schwingender elektrischer Dipol.	239
6.12	In Kürze	241
6.13	Fragen und Übungen	245
6.13.1	Verständnisfragen	245
6.13.2	Übungsaufgaben	245
7	Optik	249
	<i>Ulrich Harten</i>	
7.1	Elektromagnetische Wellen	251
7.1.1	Strahlender Dipol	251
7.1.2	Spektralbereiche !!	253
7.1.3	Wellenausbreitung !	254
7.2	Geometrische Optik	256
7.2.1	Lichtbündel.	256
7.2.2	Spiegelung	258
7.2.3	Brechung !	260
7.2.4	Dispersion.	263
7.2.5	Linsen !	264
7.2.6	Abbildung mit Linsen !.	267
7.2.7	Abbildungsgleichungen !	269
7.2.8	Abbildung durch einfache Brechung	272
7.2.9	Auge	272
7.2.10	Fehlsichtigkeit und Brillen	274
7.2.11	Optische Instrumente !	276
7.3	Intensität und Farbe	280
7.3.1	Strahlungs- und Lichtmessgrößen	280
7.3.2	Optische Absorption !	281
7.3.3	Temperaturstrahlung	284
7.3.4	Farbsehen	285
7.4	Wellenoptik	289
7.4.1	Polarisiertes Licht	289
7.4.2	Interferenz !.	290
7.4.3	Kohärenz	292
7.4.4	Dünne Schichten und Beugungsgitter	294
7.4.5	Beugungsfiguren und Auflösungsvermögen !	296
7.5	Quantenoptik	298
7.5.1	Lichtquant.	298
7.5.2	Energiezustände und Spektren	300
7.5.3	Laser	302
7.5.4	Röntgenstrahlen !!	304
7.5.5	Compton-Effekt	308

7.5.6	Röntgendiagnostik	308
7.6	Elektronenoptik	310
7.6.1	Elektronenbeugung.	310
7.6.2	Elektronenmikroskope	311
7.6.3	Unschärferelation	312
7.7	In Kürze	313
7.8	Fragen und Übungen	316
7.8.1	Verständnisfragen	316
7.8.2	Übungsaufgaben	316
8	Atom- und Kernphysik	319
	<i>Ulrich Harten</i>	
8.1	Aufbau des Atoms	320
8.1.1	Bohr'sches Atommodell	320
8.1.2	Elektronenwolken	321
8.1.3	Pauli-Prinzip	322
8.1.4	Charakteristische Röntgenstrahlung	322
8.2	Aufbau des Atomkerns	323
8.2.1	Kernspinnresonanztomografie (MRT).	323
8.2.2	Nukleonen und Nuklide !!	325
8.2.3	Massendefekt.	326
8.2.4	Radioaktivität !!	327
8.2.5	Nachweis radioaktiver Strahlung.	328
8.2.6	Zerfallsgesetz !!	332
8.2.7	Kernspaltung und künstliche Radioaktivität.	334
8.2.8	Antimaterie !	335
8.3	In Kürze	336
8.4	Fragen und Übungen	337
8.4.1	Verständnisfragen	337
8.4.2	Übungsaufgaben	337
9	Ionisierende Strahlung	339
	<i>Ulrich Harten</i>	
9.1	Dosimetrie	340
9.1.1	Energie- und Äquivalentdosis !!	340
9.1.2	Ionendosis	341
9.1.3	Aktivität und Dosis !!	342
9.2	Strahlennutzen, Strahlenschaden	342
9.2.1	Radioaktive Tracer	342
9.2.2	Strahlentherapie.	343
9.2.3	Natürliche Exposition	344
9.2.4	Zivilisationsbedingte Exposition	345
9.2.5	Strahlenschutz	346
9.3	In Kürze	347
9.4	Übungen	348
9.4.1	Übungsaufgaben	348

10	Antworten und Lösungen	349
	<i>Ulrich Harten</i>	
10.1	Kapitel 1: Grundbegriffe	350
10.2	Kapitel 2: Mechanik des starren Körpers.	350
10.3	Kapitel 3: Mechanik deformierbarer Körper	352
10.4	Kapitel 4: Mechanische Schwingungen und Wellen	354
10.5	Kapitel 5: Wärmelehre.	355
10.6	Kapitel 6: Elektrizitätslehre	358
10.7	Kapitel 7: Optik	362
10.8	Kapitel 8: Atom- und Kernphysik.	364
10.9	Kapitel 9: Ionisierende Strahlung	364
	 Serviceteil	365
	Physikalische Formelsammlung	366
	Stichwortverzeichnis	373