

K. Lüders • R.O. Pohl (Hrsg.)

# Pohls Einführung in die Physik

Band 1:  
Mechanik, Akustik und Wärmelehre

20., neu bearbeitete  
und mit Kommentaren  
und Aufgaben versehene Auflage  
mit 497 Abbildungen •  
und 7A Videofilmen auf DVD

4y Springer

# Inhaltsverzeichnis

## A. Mechanik

	<b>Einführung, Längen- und Zeitmessung</b> . . . . .	1
	§ 1 Einführung . . . . .	1
	§ 2 Messung von Längen. Echte Längenmessung . . . . .	2
	§ 3 Die Längeneinheit.Meter . . . . .	3
	§ 4 Unechte Längenmessung bei sehr großen Längen . . . . .	4
	§ 5 Winkelmessung . . . . .	5
	§ 6 Zeitmessung. Echte Zeitmessung . . . . .	6
	§ 7 Uhren, graphische Aufzeichnung . . . . .	6
	§ 8 Messung periodischer Folgen gleicher Zeiten und Längen . . . . .	8
	§ 9 Unechte Zeitmessung . . . . .	9
Mt	<b>Darstellung von Bewegungen, Kinematik</b> . . . . . • • • •	11
	§ 10 Definition von Bewegung. Bezugssystem . . . . .	11
	§ 11 Definition der Geschwindigkeit. Beispiel einer Geschwindigkeitsmessung . . . . .	11
	§ 12 Definition der Beschleunigung. Die beiden Grenzfälle . . . . .	13
	§ 13 Bahnbeschleunigung, gerade Bahn . . . . .	15
	§ 14 Konstante Radialbeschleunigung, Kreisbahn . . . . .	17
	§ 15 Die Unterscheidung physikalischer Größen und ihrer Zahlenwerte....	19
	§ 16 Grundgrößen und abgeleitete Größen . . . . .	19
	<b>Grundlagen der Dynamik</b> . . . . .	21
	§ 17 Kraft und Masse . . . . .	21
	§ 18 Messverfahren für Kraft und Masse. Die Grundgleichung der Mechanik . . . . .	23
	§ 19 Einheiten von Kraft und Masse. Größengleichungen . . . . .	26
	§ 20 Dichte und spezifisches Volumen . . . . .	26
	<b>Anwendungen der Grundgleichung</b> . . . . .	27
	§ 21 Anwendung der Grundgleichung auf konstante Beschleunigungen in gerader Bahn . . . . .	27
	§ 22 Anwendung der Grundgleichung auf die Kreisbahn. Radialkraft . . . . .	29
	§ 23 Sinusförmige Schwingungen. Schwerependel als Sonderfall . . . . .	33
	§ 24 Zentralbewegungen . . . . .	37
	§ 25 Ellipsenbahnen, elliptisch polarisierte Schwingungen . . . . .	38
	§ 26 Lissajous-Bahnen . . . . .	39
	§ 27 Die KEPLER-Ellipse und das Gravitationsgesetz . . . . .	40
	§ 28 Die Konstante des Gravitationsgesetzes . . . . .	41
	§ 29 Gravitationsgesetz und Himmelsmechanik . . . . .	43

<b>Drei nützliche Begriffe: Arbeit, Energie, Impuls</b> . . . . .	46
§ 30 Vorbemerkung . . . . .	46
§ 31 Arbeit und Leistung . . . . .	46
§ 32 Energie und Energiesatz . . . . .	49
§ 33 Erste Anwendungen des mechanischen Energiesatzes . . . . .	50
§ 34 Kraftstoß und Impuls . . . . .	51
§ 35 Der Impulssatz . . . . .	52
§ 36 Erste Anwendungen des Impulssatzes . . . . .	53
§ 37 Impuls- und Energiesatz beim elastischen Zusammenstoß von Körpern	54
§ 38 Der Impulssatz beim unelastischen Zusammenstoß zweier Körper und das Stoßpendel . . . . .	55
§ 39 Nichtzentraler Stoß . . . . .	57
§ 40 Bewegungen gegen energieverzehrende Widerstände . . . . .	57
§ 41 Erzeugung von Kräften ohne und mit Leistungsaufwand . . . . .	60
§ 42 Schlussbemerkung . . . . .	61
<b>! vi. Drehbewegungen fester Körper</b> . . . . .	62
§ 43 Vorbemerkung . . . . .	62
§ 44 Definition des Drehmomentes . . . . .	62
§ 45 Herstellung bekannter Drehmomente. Die Winkelrichtgröße $D^*$ . Die Winkelgeschwindigkeit $\omega$ als Vektor. . . . .	64
§ 46 Trägheitsmoment, Grundgleichung für Drehbewegungen, Drehschwingungen . . . . .	66
§ 47 Das physikalische Pendel und die Balkenwaage . . . . .	70
§ 48 Der Drehimpuls . . . . .	71
§ 49 Freie Achsen . . . . .	74
§ 50 Freie Achsen bei Mensch und Tier . . . . .	76
§ 51 Definition des Kreisels und seiner drei Achsen . . . . .	77
§ 52 Die Nutation des kräftefreien Kreisels und sein raumfester Drehimpuls	79
§ 53 Kreisel unter Einwirkung von Drehmomenten; die Präzession der Drehimpulsachse. . . . .	80
§ 54 Präzessionskegel mit Nutationen . . . . .	84
§ 55 Kreisel mit nur zwei Freiheitsgraden . . . . .	85
<b>VII. Beschleunigte Bezugssysteme</b> . . . . .	88
§ 56 Vorbemerkung. Trägheitskräfte . . . . .	88
§ 57 Bezugssystem mit reiner Bahnbeschleunigung . . . . .	89
§ 58 Bezugssystem mit reiner Radialbeschleunigung. Zentrifugal- und Corioliskraft. . . . . ; . . . . .	91
§ 59 Fahrzeuge als beschleunigte Bezugssysteme . . . . .	97
§ 60 Das Schwerependel als Lot in beschleunigten Fahrzeugen . . . . .	99
§ 61 Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Zentrifugalbeschleunigung ruhender Körper. . . . .	100
§ 62 Die Erde als beschleunigtes Bezugssystem: Coriolisbeschleunigung bewegter Körper. . . . .	101

<b>VIII. Einige Eigenschaften fester Körper</b> .....	105
§ 63 Vorbemerkung .....	105
§ 64 Elastische Verformung, Fließen und Verfestigung .....	105
§ 65 Hooke'sches Gesetz und Poisson'sche Beziehung .....	106
§ 66 Scherung .....	107
§ 67 Normal-, Schub- und Hauptspannung .....	108
§ 68 Biegung und Verdrillung (Torsion) .....	110
§ 69 Zeitabhängigkeit der Verformung. Elastische Nachwirkung und Hysterese .....	114
§ 70 ZerreiBfestigkeit und spezifische Oberflächenarbeit fester Körper .....	116
§ 71 Haft- und Gleitreibung .....	118
§ 72 Rollreibung .....	120
<b>IX. Ruhende Flüssigkeiten und Gase</b> .....	121
§ 73 Die freie Verschiebbarkeit der Flüssigkeitsmoleküle .....	121
§ 74 Druck in Flüssigkeiten, Manometer .....	123
§ 75 Allseitigkeit des Druckes und Anwendungen .....	124
§ 76 Druckverteilung im Schwerfeld und Auftrieb .....	127,
§ 77 Der Zusammenhalt der Flüssigkeiten, ihre ZerreiBfestigkeit, spezifische Oberflächenarbeit und Oberflächenspannung .....	129
§ 78 Gase als Flüssigkeiten geringer Dichte ohne Oberfläche. Boyle-Mariotte'sches Gesetz .....	135
§ 79 Modell eines Gases. Der Gasdruck als Folge der ungeordneten Bewegung („Wärmebewegung“) .....	137
§ 80 Grundgleichung der kinetischen Gastheorie. Geschwindigkeit der Gasmoleküle .....	138
§ 81 Die Lufthülle der Erde. Der Luftdruck in Schauversuchen .....	139
§ 82 Druckverteilung der Gase im Schwerfeld. Barometrische Höhenformel .....	142
§ 83 Der statische Auftrieb in Gasen .....	144
§ 84 Gase und Flüssigkeiten in beschleunigten, Bezugssystemen .....	146
<b>Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen</b> .....	148
§ 85 Drei Vorbemerkungen .....	148
§ 86 Innere Reibung und Grenzschicht .....	148
§ 87 Laminare, unter entscheidender Mitwirkung der Reibung entstehende Flüssigkeitsbewegung .....	150
§ 88 Die REYNOLD'sche Zahl .....	153
§ 89 Reibungsfreie Flüssigkeitsbewegung, BERNOUlli'sche Gleichung .....	154
§ 90 Ausweichströmung. Quellen und Senken, drehungsfreie oder Potentialströmung .....	159
§ 91 Drehungen von Flüssigkeiten und ihre Messung. Das drehungsfreie Wirbelfeld .....	161
§ 92 Wirbel und Trennungsflächen in praktisch reibungsfreien Flüssigkeiten .....	164
§ 93 Widerstand und Stromlinienprofil .....	166
§ 94 Die dynamische Querkraft .....	167
§ 95 Anwendungen der Querkraft .....	171

## B. Akustik

<b>XI.</b>	<b>Schwingungslehre</b> .....	174
§ 96	Vorbemerkung .....	174
§ 97	Erzeugung ungedämpfter Schwingungen .....	174
§ 98	Darstellung nichtsinusförmiger periodischer Vorgänge und Strukturen mithilfe von Sinuskurven .....	177
§ 99	Spektraldarstellung komplizierter Schwingungsvorgänge .....	181
§ 100	Elastische Transversalschwingungen gespannter linearer fester Körper..	182
§ 101	Elastische Longitudinal- und Torsionsschwingungen gespannter linearer fester Körper .....	186
§ 102	Elastische Schwingungen in Säulen von Flüssigkeiten und Gasen . . .	188
§ 103	Eigenschwingungen starrer linearer Körper .....	191
§ 104	Eigenschwingungen flächenhaft und räumlich ausgedehnter Gebilde. Wärmeschwingungen .....	192
§ 105	Erzwungene Schwingungen .....	194
§ 106	Durch Resonanz stimulierte Energieabgabe .....	198
§ 107	Die Resonanz in ihrer Bedeutung für den Nachweis einzelner Sinusschwingungen. Spektralapparate .....	198
§ 108	Die Bedeutung erzwungener Schwingungen für die verzerrungsfreie Aufzeichnung nichtsinusförmiger Schwingungen .....	200
§ 109	Verstärkung von Schwingungen .....	201
§ 110	Zwei gekoppelte Pendel und ihre erzwungenen Schwingungen . . . .	201
§ 111	Gedämpfte und ungedämpfte Wackelschwingungen .....	204
§ 112	Relaxations- oder Kippschwingungen .....	205
<b>XII.</b>	<b>Fortschreitende Wellen und Strahlung</b> .....	207
§ 113	Fortschreitende Wellen .....	207
§ 114	Dopplereffekt .....	209
§ 115	Interferenz .....	210
§ 116	Interferenz bei zwei etwas verschiedenen Senderfrequenzen .....	210
§ 117	Stehende Wellen .....	211
§ 118	Ausbreitung fortschreitender Wellen .....	212
§ 119	Reflexion und Brechung .....	214
§ 120	Abbildung .....	215
§ 121	Totalreflexion .....	216
§ 122	Keilwellen beim Überschreiten der Wellengeschwindigkeit .....	218
§ 123	Das HUYGHENS'sche Prinzip .....	219
§ 124	Modellversuche zur Wellenausbreitung .....	220
§ 125	Quantitatives zur Beugung an einem Spalt .....	222
§ 126	FRESNEL'sche Zonenkonstruktion .....	224
§ 127	Verschärfung der Interferenzstreifen durch gitterförmige Anordnung der Wellenzentren .....	226
§ 128	Interferenz von Wellenzügen begrenzter Länge .....	228
§ 129	Entstehung von Longitudinalwellen. Ihre Geschwindigkeit .....	228
§ 130	Hochfrequente Longitudinalwellen in Luft. Schallabdruckverfahren ..	230
§ 131	Strahlungsdruck des Schalles. Schallradiometer .....	233

§ 132 Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz von räumlichen Wellen	234
§ 133 Die Entstehung von Wellen auf der Oberfläche von Flüssigkeiten	240
§ 134 Dispersion und Gruppengeschwindigkeit	244
§ 135 Die Umwandlung unperiodischer Vorgänge in Wellen	247
§ 136 Energie des Schallfeldes. Schallwellenwiderstand	249
§ 137 Schallsender	252
§ 138 Unperiodische Schallsender und Überschallgeschwindigkeit	254
§ 139 Schallempfänger	255
§ 140 Vom Hören	256
§ 141 Phono.metrie	259
§ 142 Das Ohr	260

### C. Wärmelehre

<b>XIII. Grundbegriffe</b>	263
§ 143 Vorbemerkungen. Definition des Begriffs Stoffmenge	263
§ 144 Definition und Messung der Temperatur	264
§ 145 Definition der Begriffe Wärme und Wärmekapazität	266
§ 146 Latente Wärme	268
<b>F XIV. Erster Hauptsatz und Zustandsgleichung idealer Gase</b>	271
§ 147 Ausdehnungsarbeit und technische Arbeit	271
§ 148 Thermische Zustandsgrößen	273
§ 149 Innere Energie $U$ und erster Hauptsatz	273
§ 150 Die Zustandsgröße Enthalpie $H$	274
§ 151 Die beiden spezifischen Wärmekapazitäten $c_p$ und $c_v$	276
§ 152 Thermische Zustandsgleichung idealer Gase. Die absolute Temperatur	278
§ 153 Addition der Partialdrücke	280
§ 154 Kalorische Zustandsgleichungen idealer Gase.	
GAY-LUSSAC'scher Drosselversuch	281
§ 155 Zustandsänderungen idealer Gase	283
§ 156 Anwendungsbeispiele für polytrope und adiabatische Zustandsänderungen. Messungen von $K = c_p/c_v$	288
§ 157 Druckluftmotor und Gaskompressor	290
<b>Reale Gase</b>	292
§ 158 Zustandsänderungen realer Gase	292
§ 159 Unterscheidung von Gas und Flüssigkeit	294
§ 160 Die VAN DER WAALS'sche Zustandsgleichung realer Gase	296
§ 161 Der JOULE-THOMSON'sche Drosselversuch	297
§ 162 Herstellung tiefer Temperaturen und Gasverflüssigung	299
§ 163 Technische Verflüssigung und Entmischung von Gasen	300
§ 164 Dampfdruck und Siedetemperatur. Tripelpunkt	302
§ 165 Behinderung des Phasenüberganges flüssig $\rightarrow$ fest. Unterkühlte Flüssigkeiten	304
§ 166 Behinderung des Phasenüberganges flüssig $\leftrightarrow$ gasförmig. Zerreißfestigkeit der Flüssigkeiten	304

<b>XVI. Wärme als ungeordnete Bewegung</b> . . . . .	306
§ 167 Die Temperatur im molekularen Bild . . . . .	306
§ 168 "Rückstoß der Gasmoleküle bei der Reflexion. Radiometerkraft . . . . .	309
§ 169 Geschwindigkeitsverteilung und mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle. . . . .	310
§ 170 Molare Wärmekapazitäten im molekularen Bild. Das Gleich Verteilungsprinzip.....	312
§ 171 Osmose und osmotischer Druck . . . . .	314
§ 172 Experimentelle Bestimmung der Boltzmann-Konstante $k$ aus der barometrischen Höhenformel . . . . .	318 <sup>^</sup>
§ 173 Statistische Schwankungen und Individuenzahl . . . . .	320
§ 174 Die Boltzmann-Verteilung . . . . .	321
<b>XVII. Transportvorgänge: Diffusion und Wärmeleitung</b> . . . . .	324
§ 175 Vorbemerkung . . . . .	324
§ 176 Diffusion und Durchmischung . . . . .	324
§ 177 Erstes Ficksches Gesetz und Diffusionskonstante . . . . .	324
§ 178 Quasistationäre Diffusion . . . . .	327
§ 179 Nichtstationäre Diffusion . . . . .	328
§ 180 Allgemeines über Wärmeleitung und Wärmetransport . . . . .	329
§ 181 Stationäre Wärmeleitung . . . . .	331
§ 182 Nichtstationäre Wärmeleitung . . . . .	331
§ 183 Transportvorgänge in Gasen und ihre Unabhängigkeit vom Druck. . . . .	332
§ 184 Bestimmung der mittleren freien Weglänge . . . . .	334
§ 185 Wechselseitige Verknüpfung der Transportvorgänge in Gasen . . . . .	336
<b>XVIII. Die Zustandsgröße Entropie</b> . . . . .	339
§ 186 Reversible Vorgänge . . . . .	339
§ 187 Irreversible Vorgänge . . . . .	340
§ 188 Messung der Irreversibilität mithilfe der Zustandsgröße Entropie . . . . .	342
§ 189 Die Entropie im molekularen Bild . . . . .	344
§ 190 Beispiele für die Berechnung von Entropien . . . . .	345
§ 191 Anwendung der Entropie auf reversible Zustandsänderungen in abgeschlossenen Systemen. . . . .	348
§ 192 Das $HS$ - oder Mollier-Diagramm mit Anwendungen. Gasströmung mit Überschallgeschwindigkeit. . . . .	349
<b>XIX. Umwandlung von Wärme in Arbeit, zweiter Hauptsatz</b> . . . . .	354
§ 193 Wärmekraftmaschinen und zweiter Hauptsatz . . . . .	354
§ 194 Carnot'scher Kreisprozess . . . . .	355
§ 195 Der Stirling-Motor . . . . .	356
§ 196 Technische Wärmekraftmaschinen . . . . .	357
§ 197 Wärmepumpe (Kältemaschine) . . . . .	358
§ 198 Die thermodynamische Definition der Temperatur . . . . .	361
§ 199 Druckluftmotor. Freie und gebundene Energie . . . . .	361

§ 200 Beispiele für die Anwendung der freien Energie . . . . .	362	
§ 201 Der Mensch als isotherme Kraftmaschine . . . . .	364	
<b>Aufgaben</b> . . . . .	366	
<b>Lösungen der Aufgaben</b> . . . . .	375	<b>1</b>
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	380	<b>ij</b>



## Videofilmverzeichnis

Lfd. Nr.	Titel, Seite
1	R. W POHL in der Vorlesung VII, 185, 187, 189, 195, 201

### II A. Mechanik

2	Freier Fall 15
3	Kraft = Gegenkraft 22
4	MAXWELLSche Scheibe 29
5	Dynamische Stabilität einer Fahrradkette 33
6	Zirkulare Schwingungen 39
7	Lissajous-Bahnen 40
8	Kugeltanz 51
9	Impulserhaltungssatz 53
10	Langsam ablaufender elastischer Stoß 54
11	Elastische Stöße 55
12	Bestimmung einer Geschwindigkeit 56
13	Nichtzentraler Stoß 57
14	Verdrillung eines Stabes 65,113
15	Trägheitsmomente 70
16	Drehstuhlexperimente zur Erhaltung des Drehimpulses 72
17	Zur Vektornatur des Drehimpulses 73
18	Zur Physik des Turnens mit Schwüngen 74
19	Rotation um freie Achsen 75
20	Schwankende Achse 31,75
21	Freie Rotation eines quaderförmigen Körpers 76
22	Die drei Kreiselachsen 78
23	Präzession eines rotierenden Kreisels 82
24	Präzession eines rotierenden Rades 82
25	Physik des Freihändigfahrens mit einem Fahrrad 83
26	Stabilisierung mithilfe eines Kreisels („Einschienebahn“) 86
27	Frei fallendes Bezugssystem 90
28	Pendelbewegung im rotierenden Bezugssystem 94
29	Kreiselkompass 96
30	Drehpendel auf einem Karussell 98
31	FOUCAULT'scher Pendelversuch 37,102
32	Elastische Verformung: Hooke'sches Gesetz 105
33	Biegung eines Stabes 111
34	Plastische Verformung und Reißfestigkeit 116
35	Verminderung der Gleitreibung 120
36	BROWNSche Bewegung 121
37	Kompressibilität von Wasser 126
38	Modellversuch zum Auftrieb 128

Lfd. Nr.	Titel, Seite
39	Zerreißfestigkeit von Wasser 130,305,307
40	Oberflächenarbeit 131
41	Vereinigung von Hg-Tropfen 134
42	Modellgas und barometrische Dichteverteilung 137,144
43	BEHNsches Rohr 145
44	Stromlinien-Modellversuche 152, 156, 169
45	Turbulenz eines Wasserstromes 153
46	Ausweichstrmungen 155, 159, 167, 168
47	Rauchringe 165
48	MAGNUS-Effekt 170

## B. Akustik

49	Schwingungen einer Stimmgabel 175
50	Transversale Eigenschwingungen eines Gummibandes 185
51	Transversale Schwingung einer Saite 185
52	Longitudinale Schwingung einer Spiralfeder 191
53	HELMHOURZ'sche Resonatoren 194
54	Freie und erzwungene Schwingungen eines Drehpendels (PoHL'sches Rad) 195
55	Erzwungene Schwingungen einer Taschenuhr 198
56	Gekoppelte Pendel, Kraftkopplung 202
57	Beschleunigungskopplung und chaotische Schwingungen 202
58	Gekoppelte Schwingungen mit Dämpfung 203
59	Schlingertank 204
60	Wackelschwingungen 204
61	Modell einer fortschreitenden Welle 208
62	Wasserwellenexperimente 208-217,243,244,247
63	Schallradiometer 234

## £ & Wärmelehre

64	Modellversuch zur thermischen Ausdehnung und Verdampfung 264
65	Adiabatische Zustandsänderung 286
66	Druckluftmotor 291
67	Suerstoffverflssigung 300
68	Flüssiger und fester Stickstoff 303
69	Festes Kohlendioxid (Trockeneis) 303
70	Modellversuche zu Diffusion und Osmose 308,316
71	Lichtmhle 309
72	Wirkungsweise eines STIRLING-Motors 356
73	Technische Ausführung eines STIRLING-Motors 357
74	Wrmpumpe/Kältemaschine 359

Klaus Lüders und Robert O. Pohl (Hrsg.)

# Pohls Einführung in die Physik

**Elektrizitätslehre und Optik**

22., neu bearbeitete Auflage  
mit historischer Filmdokumentation von Ekkehard Sieker  
und 24 Experimenten als Video auf DVD  
und 621 Abbildungen

*fyj* Springer

# Inhaltsverzeichnis.

## A. Elektrizitätslehre.

### Meßinstrumente für Strom und Spannung . . . .

§ 1	Vorbemerkung . . . . .	7
§ 2	Der elektrische Strom . . . . .	8
§ 3	Technische Ausführung von Strommessern oder Amperemetern . . . . .	9
§ 4	Die Eichung der Strommesser oder Amperemeter. . . . .	10
§ 5	Die elektrische Spannung . . . . .	8
§ 6	Technischer Aufbau statischer Spannungsmesser oder Voltmeter . . . . .	8
§ 7	Die Eichung der Spannungsmesser oder Voltmeter . . . . .	10
§ 8	Stromdurchflossene Spannungsmesser oder Voltmeter. Widerstand . . . . .	10
§ 9	Einige Beispiele für Ströme und Spannungen verschiedener Größe. . . . .	11
§ 10	Stromstöße und ihre Messung . . . . .	13
§ 11	Strom- und Spannungsmesser kleiner Einstellzeit. Die BRAUNsche Röhre . . . . .	15
§ 12	Elektrische Messung der Energie . . . . .	15

## II. Das elektrische Feld . . . . .

§ 13	Vorbemerkung . . . . .	
§ 14	Grundbeobachtungen. Elektrische Felder verschiedener Gestalt . . . . .	
§ 15	Das elektrische Feld im Vakuum . . . . .	
§ 16	Die elektrischen Ladungen . . . . .	
§ 17	Feldzerfall durch Materie . . . . .	
§ 18	In Leitern können Ladungen wandern . . . . .	
§ 19	Influenz und ihre Deutung . . . . .	
§ 20	Sitz der ruhenden Ladungen auf der Leiteroberfläche . . . . .	
§ 21	Stromquellen für sehr hohe Spannungen . . . . .	
§ 22	Strom beim Feldzerfall . . . . .	
§ 23	Messung elektrischer Ladungen durch Stromstöße. Zusammenhang von Ladung und Strom. . . . .	
§ 24	Das elektrische Feld. . . . .	
§ 25	Proportionalität von Flächendichte der Ladung und elektrischer Feldstärke. . . . .	
§ 26	Das elektrische Feld der Erde. Raumladung und Feldgefälle. — Erste MAXWELLSche Gleichung . . . . .	
§ 27	Kapazität von Kondensatoren und ihre Berechnung . . . . .	
§ 28	Aufladung und Entladung eines Kondensators . . . . .	
§ 29	Kondensatoren verschiedener Bauart. Dielektrika und ihre Polarisierung . . . . .	

	<b>III. Kräfte und Energie im elektrischen Feld</b>	45
	§ 30 Drei Vorbemerkungen	45
	§ 31 Der Grundversuch	45
	§ 32 Die allgemeine Definition des elektrischen Feldes $E$	47
	§ 33 Erste Anwendungen der Gleichung $F = QE$	47
	§ 34 Druck auf die Oberfläche geladener Körper. Verkleinerung der Oberflächenspannung	50
	§ 35 GUERICQUES Schweberversuch (1672). Elektrische Elementarladung $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Amperesekunden	51
	§ 36 Energie des elektrischen Feldes	54
	§ 37 Elektrisches Potential und Äquipotentialflächen	54
	§ 38 Elektrischer Dipol, elektrisches Dipolmoment	56
	§ 39 Influenzierte und permanente elektrische Dipolmomente. Pyro- und piezoelektrische Kristalle	57
	<b>IV. Das magnetische Feld</b>	60
	§ 40 Herstellung magnetischer Felder durch elektrische Ströme	60
	§ 41 Das magnetische Feld	63
	§ 42 Bewegung elektrischer Ladungen erzeugt ein Magnetfeld. RowLANDScher Versuch (1878)	65
	§ 43 Auch die Magnetfelder permanenter Magnete entstehen durch Bewegung elektrischer Ladungen	66
<b>pv.</b>	<b>Die Induktionserscheinungen</b>	69
<b>I</b>	§ 44 Vorbemerkung	69
	§ 45 Die Induktionserscheinungen (M. FARADAY, 1832)	69
	§ 46 Induktion in ruhenden Leitern	71
	§ 47 Definition und Messung des magnetischen Flusses ( $p$ und der magnetischen Flußdichte $B$ )	73
	§ 48 Induktion in bewegten Leitern	74
	§ 49 Allgemeine Form des Induktionsgesetzes	76
<b>VI.</b>	<b>Die Verknüpfung elektrischer und magnetischer Felder</b>	78
<b>1</b>	§ 50 Vertiefte Auffassung der Induktion. Die zweite MAXWELLSche Gleichung	78
<b>I</b>	§ 51 Der magnetische Spannungsmesser	80
<b>[j</b>	§ 52 Die magnetische Spannung des Leitungsstromes. Anwendungsbeispiele	81
<b> </b>	§ 53 Verschiebungsstrom und die dritte der MAXWELLSchen Gleichungen	84
<b>1</b>	§ 54 Die MAXWELLSchen Gleichungen im Vakuum	87
<b>I VII.</b>	<b>Die Abhängigkeit der Felder vom Bezugssystem</b>	88
<b>jl</b>	§ 55 Vorbemerkung	88
<b>p</b>	§ 56 Quantitative Auswertung des RowLANDSchen Versuches	88
<b>I</b>	§ 57 Deutung der Induktion in bewegten Leitern	89
<b>tj</b>	§ 58 Die Felder und das Relativitätsprinzip	90
<b>p</b>	§ 59 Zusammenfassung: Das elektromagnetische Feld	93

<b>VIII. Kräfte in magnetischen Feldern</b> . . . . .	94
§ 60 Zur Vorführung der auf bewegte Ladungen wirkenden Kraft . . . . .	94
§ 61 Kräfte zwischen zwei parallelen Strömen . . . . .	95
§ 62 Regel von LENZ. Wirbelströme . . . . .	97
§ 63 Dämpfung von Drehspulmeßgeräten. Kriechgalvanometer. Magnetischer Fluß bei verschiedenem Eisenschluß . . . . .	100
§ 64 Das magnetische Moment $m$ . . . . .	101
§ 65 Lokalisierung des magnetischen Flusses . . . . .	105
<b>IX. Anwendungen der Induktion, insbesondere Generatoren und Elektromotoren</b> . . . . .	110
§ 66 Vorbemerkung. Allgemeines über Stromquellen . . . . .	110
§ 67 Induktive Stromquellen. Generatoren . . . . .	111
§ 68 Elektromotoren . . . . .	115
§ 69 Drehfeldmotoren für Wechselstrom . . . . .	118
<b>X. Trägheit des Magnetfeldes. Wechselströme.</b> . . . . .	121
§ 70 Die Selbstinduktion und die Induktivität $L$ . . . . .	121
§ 71 Die Trägheit des Magnetfeldes als Folge der Selbstinduktion. . . . .	123
§ 72 Quantitatives über Wechselströme . . . . .	127
§ 73 Spule im Wechselstromkreis . . . . .	127
§ 74 Kondensator im Wechselstromkreis . . . . .	130
§ 75 Spule und Kondensator im Wechselstromkreis in Reihe geschaltet . . . . .	130
§ 76 Spule und Kondensator im Wechselstromkreis parallel geschaltet . . . . .	132
§ 77 Leistung des Wechselstromes . . . . .	133
§ 78 Transformatoren und Induktoren . . . . .	134
<b>XI. Elektrische Schwingungen</b> . . . . .	136
§ 79 Vorbemerkung . . . . .	136
§ 80 Freie elektrische Schwingungen . . . . .	136
§ 81 Hochfrequente Wechselströme als Hilfsmittel für Schauversuche. . . . .	138
§ 82 Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen durch Selbststeuerung (Rückkopplung) mit Trioden. . . . .	141
§ 83 Selbststeuerung (Rückkopplung) mit Dioden . . . . .	143
§ 84 Erzwungene elektrische Schwingungen . . . . .	144
§ 85 Quantitative Behandlung erzwungener Schwingungen eines aus Kondensator und Spule gebildeten Kreises. . . . .	145
<b>XII. Elektromagnetische Wellen</b> . . . . .	149
§ 86 Vorbemerkung . . . . .	149
§ 87 Ein einfacher elektrischer Schwingkreis . . . . .	150
§ 88 Der stabförmige elektrische Dipol . . . . .	150
§ 89 Stehende Wellen zwischen zwei parallelen Drähten, LECHER-System . . . . .	155
§ 90 Fortschreitende elektromagnetische Wellen zwischen zwei parallelen Drähten. Ihre Geschwindigkeit . . . . .	157
§ 91 Der Verschiebungsstrom des Dipols. Die Ausstrahlung freier elektromagnetischer Wellen. . . . .	158
§ 92 Wellenwiderstand . . . . .	164
§ 93 Wesensgleichheit der elektromagnetischen Wellen und der Lichtwellen . . . . .	165

	§ 94	Technische Bedeutung der elektromagnetischen Wellen . . . . .	166
	§ 95	Die Erzeugung ungedämpfter Wellen im Zentimetergebiet. Schaubersuche zur Wellenoptik . . . . .	166
	§ 96	Hohlleiter für kurze elektromagnetische Wellen (Mikrowellen) . . . . .	168
	<b>XIII.</b>	<b>Materie im elektrischen Feld . . . . .</b>	<b>173</b>
	§ 97	Einleitung. Die Dielektrizitätskonstante $\epsilon$ . . . . .	173
	§ 98	Messung der Dielektrizitätskonstante $\epsilon$ . . . . .	173
	§ 99	Zwei aus der Dielektrizitätskonstante $\epsilon$ abgeleitete Größen . . . . .	174
	§ 100	Unterscheidung von dielektrischen, parelektrischen und ferroelektrischen Stoffen. . . . .	174
	§ 101	Definition der elektrischen Feldgrößen $E$ und $D$ im Inneren der Materie. . . . .	176
	§ 102	Die Entelektrisierung . . . . .	178
	§ 103	Die Feldgrößen in einem Hohlraum . . . . .	179
	§ 104	Parelektrische und dielektrische Stoffe im inhomogenen elektrischen Feld . . . . .	180
	§ 105	Die molekulare elektrische Polarisierbarkeit. CLAUSIUS-MOSSOTTI-Gleichung . . . . .	181
	§ 106	Das permanente elektrische Dipolmoment polarer Moleküle . . . . .	182
	§ 107	Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante $\epsilon$ . . . . .	184
	<b>XIV.</b>	<b>Materie im magnetischen Feld . . . . .</b>	<b>186</b>
	§ 108	Einleitung. Die Permeabilität $\mu$ . . . . .	186
	§ 109	Zwei aus der Permeabilität abgeleitete Größen . . . . .	186
	§ 110	Messung der Permeabilität $\mu$ . . . . .	187
	§ 111	Unterscheidung diamagnetischer, paramagnetischer und ferromagnetischer Stoffe. . . . .	187
	§ 112	Definition der magnetischen Feldgrößen $H$ und $B$ im Inneren der Materie. Die MAXWELLSchen Gleichungen. . . . .	191
	§ 113	Die Entmagnetisierung . . . . .	193
;	§ 114	Die molekulare Magnetisierbarkeit . . . . .	195
	§ 115	Das permanente magnetische Moment $m_p$ paramagnetischer Moleküle. . . . .	196
	§ 116	Das elementare magnetische Moment oder Magneton. Gyromagnetisches Verhältnis. . . . .	197
ij	§ 117	Messung des gyromagnetischen Verhältnisses und des Spins eines Elektrons. . . . .	198
	§ 118	Zur atomistischen Deutung der diamagnetischen Polarisation. LARMOR-Rotation. . . . .	199
I			
ij		B. Optik.	
fl	<b>XV.</b>	<b>Einführung. Messung der Strahlungsleistung . . . . .</b>	<b>201</b>
j	§ 119	Einführung. . . . .	201
jj	§ 120	Das Auge als Strahlungsindikator. MACHSche Streifen. . . . .	201
[	§ 121	Physikalische Strahlungsindikatoren. Direkte Messung der Strahlungsleistung . . . . .	202
B	§ 122	Indirekte Messung der Strahlungsleistung . . . . .	203

<b>XVI. Die einfachsten optischen Beobachtungen</b> . . . . .	205
§ 123 Lichtbündel und Lichtstrahlen . . . . .	205
§ 124 Lichtquellen mit kleinem Durchmesser . . . . .	207
§ 125 Die Grundtatsachen der Reflexion und Brechung . . . . .	207
§ 126 Das Reflexionsgesetz als Grenzesetz. Streulicht . . . . .	210
§ 127 Die Totalreflexion . . . . .	210
§ 128 Prismen . . . . .	212
§ 129 Linsen und Hohlspiegel . . . . .	213
§ 130 Trennung von Parallellichtbündeln durch Abbildung . . . . .	217
§ 131 Darstellung der Lichtausbreitung durch fortschreitende Wellen . . . . .	218
§ 132 Strahlung verschiedener Wellenlängen. Dispersion . . . . .	219
§ 133 Einige technische Hilfsmittel. Winkelspiegel und Spiegelprismen . . . . .	224
<b>XVII. Abbildung und Lichtbündelbegrenzung</b> . . . . .	225
§ 134 Grundsätzliches zur Abbildung . . . . .	225
§ 135 Bildpunkte als Beugungsfiguren der Linsenfassung . . . . .	225
§ 136 Das Auflösungsvermögen der Linsen, insbesondere im Auge und im astronomischen Fernrohr . . . . .	228
<b>XVIII. Einzelheiten, auch technische, über Abbildung und Bündelbegrenzung.</b> . . . . .	231
§ 137 Vorbemerkung . . . . .	231
§ 138 Hauptebenen, Knotenpunkte . . . . .	231
§ 139 Pupillen und Lichtbündelbegrenzung . . . . .	233
§ 140 Sphärische Aberration . . . . .	237
§ 141 Astigmatismus und Bildflächenwölbung . . . . .	238
§ 142 Koma und Sinusbedingung . . . . .	240
§ 143 Die Verzeichnung . . . . .	242
§ 144 Die Farbfehler . . . . .	242
§ 145 Die Leistungen der Optotechnik. Der SCHMIDT-Spiegel . . . . .	243
§ 146 Vergrößerung des Seh winkels durch Lupe und Fernrohr . . . . .	244
§ 147 Vergrößerung des Seh winkels durch Projektionsapparat und Mikroskop . . . . .	246
§ 148 Auflösungsvermögen des Mikroskops. Die numerische Apertur . . . . .	246
§ 149 Teleskopische Systeme . . . . .	248
§ 150 Gesichtsfeld der optischen Instrumente . . . . .	251
§ 151 Abbildung räumlicher Gegenstände und Schärfentiefe . . . . .	253
§ 152 Perspektive . . . . .	254
<b>XLX. Energie der Strahlung und Bündelbegrenzung</b> . . . . .	258
§ 153 Vorbemerkung . . . . .	258
§ 154 Strahlung und Öffnungswinkel. Definitionen. LAMBERTSches Kosinusetz . . . . .	258
§ 155 Strahlung der Sonnenoberfläche . . . . .	261
§ 156 Strahlungsdichte $S^*$ und Bestrahlungsstärke $b$ bei der Abbildung . . . . .	262
§ 157 Sender mit richtungsunabhängiger Strahlungsstärke . . . . .	264
§ 158 Parallellichtbündel als nicht realisierbarer Grenzfall . . . . .	266



<b>XX.</b>	<b>Interferenz</b> . . . . .	267
	§ 159 Vorbemerkung . . . . .	267
	§ 160 Interferenz von Wellengruppen mit punktförmigen Wellenzentren . . .	267
o	§ 161 Ersatz punktförmiger Wellenzentren durch ausgedehnte.	
ij	• Kohärenzbedingung . . . . .	268
jj	§ 162' Allgemeines über Interferenz von Lichtwellen. . . . .	270
	§ 163 Räumliches Interferenzfeld mit zwei Öffnungen als Wellenzentren. Querbeobachtung . . . . .	271
	§ 164 Räumliches Interferenzfeld vor einer planparallelen Platte mit zwei Spiegelbildern als Wellenzentren. Längsbeobachtung . . . . .	272
	§ 165 Räumliches Interferenzfeld vor einer Keilplatte mit zwei Spiegelbildern als Wellenzentren. Schrägbeobachtung . . . . .	274
	§ 166 Der Interferenzversuch von A. FRESNEL (1816) . . . . .	274
	§ 167 Interferenzstreifen in der Brennebene einer Linse . . . . .	274
	§ 168 Verschärfung der Interferenzstreifen, Interferenzmikroskopie. MÜLLERsche Streifen . . . . .	276
	§ 169 Mit Keilplatte und Linse beobachtete Interferenzstreifen . . . . .	278
	§ 170 Die Länge der Wellengruppen . . . . .	280
	§ 171 Umlenkung der Strahlungsleistung durch Interferenz . . . . .	282
	§ 172 Interferenzfilter . . . . .	282
	§ 173 Stehende Lichtwellen . . . . .	284
	§ 174 Unter Mitwirkung lichtablenkender Teilchen entstehende Interferenz . . . . .	284
	§ 175 YOUNGS Interferenzversuch mit FRAUNHOFERscher Beobachtungsart . . . . .	286
	§ 176 Optische Interferometer . . . . .	287
<b>XXI.</b>	<b>Beugung</b> . . . . .	289
	§ 177 Schattenwurf . . . . .	289
	§ 178 Das BABINETsche Theorem . . . . .	290
	§ 179 Beugung an vielen, gleich großen, regellos angeordneten Öffnungen oder Teilchen . . . . .	293
	§ 180 Regenbogen . . . . .	294
	§ 181 Beugung an einer Stufe . . . . .	296
	§ 182 Beugende Gebilde mit Amplitudenstruktur . . . . .	297
	§ 183 Gitter mit Phasenstruktur . . . . .	298
	§ 184 Lochkamera und Ringgitter . . . . .	300
	§ 185 Ringgitter mit nur einer Brennweite . . . . .	302
	§ 186 Holographie . . . . .	303
	§ 187 Die sichtbare Abbildung unsichtbarer Dinge. Die Schlierenmethoden .	304
	§ 188 ERNST ABBES Darstellung der mikroskopischen Bilderzeugung . . . . .	305
	§ 189 Die Sichtbarmachung unsichtbarer Strukturen im Mikroskop . . . . .	307
	§ 190 Beugung von RÖNTGENlicht . . . . .	308

<b>XXII. Optische Spektralapparate</b> . . . . .	311
§ 191 Prismen-Spektralapparate und ihr Auflösungsvermögen . . . . .	311
§ 192 Gitter-Spektralapparate und ihr Auflösungsvermögen . . . . .	313
§ 193 Linienform und Halbwertsbreite von Spektrallinien . . . . .	315
§ 194 Spektralapparate und Glühlicht . . . . .	315
§ 195 Vergleich von Prisma und Gitter . . . . .	317
§ 196 Ausführungsformen von Strichgittern . . . . .	318
§ 197 Interferenz-Spektralapparate . . . . .	319
<b>XXIII. Geschwindigkeit des Lichtes und Licht in bewegten Bezugssystemen.</b> . . .	322
§ 198 Vorbemerkung . . . . .	322
§ 199 Beispiel einer Messung der Lichtgeschwindigkeit . . . . .	322
§ 200 Gruppengeschwindigkeit des Lichtes . . . . .	323
§ 201 Licht im bewegten Bezugssystem . . . . .	324
§ 202 Der DoppLER-Effekt des Lichtes . . . . .	326
<b>XXIV. Polarisiertes Licht</b> . . . . .	330
§ 203 Unterscheidung von Transversal- und Longitudinalwellen . . . . .	330
§ 204 Licht als Transversalwelle . . . . .	331
§ 205 Polarisatoren verschiedener Bauart . . . . .	332
§ 206 Doppelbrechung, insbesondere von Kalkspat und Quarz . . . . .	333
§ 207 Elliptisch polarisiertes Licht . . . . .	337
§ 208 Interferenz von parallel gebündeltem polarisiertem Licht . . . . .	341
§ 209 Interferenz mit divergentem polarisiertem Licht . . . . .	342
§ 210 Optisch aktive Stoffe, Drehung der Schwingungsebene . . . . .	344
§ 211 Spannungsdoppelbrechung . . . . .	346
<b>XXV. Zusammenhang von Absorption, Reflexion und Brechung des Lichtes.</b> . .	348
§ 212 Vorbemerkung . . . . .	348
§ 213 Extinktions- und Absorptionskonstante . . . . .	348
§ 214 Mittlere Reichweite $w$ der Strahlung. Extinktions- und Absorptionskoeffizient $k$ . . . . .	349
§ 215 BEERSches Gesetz. Wirkungsquerschnitt eines einzelnen Moleküls . . . .	350
§ 216 Die Unterscheidung schwach und stark absorbierender Stoffe . . . . .	351
§ 217 Lichtreflexion an ebenen spiegelnden Flächen . . . . .	352
§ 218 Phasenänderung bei der Lichtreflexion . . . . .	355
§ 219 Die FRESNELschen Formeln für schwach absorbierende Stoffe. Anwendungen . . . . .	355
§ 220 Näheres zur Totalreflexion . . . . .	358
§ 221 Mathematische Darstellung gedämpfter fortschreitender Wellen . . . .	359
§ 222 BEERSche Formel für die senkrechte Reflexion an stark absorbierenden Stoffen . . . . .	361
§ 223 Lichtabsorption in stark absorbierenden Stoffen bei schrägem Einfall. .	363
§ 224 Schlußbemerkung. In physikalischen Darstellungen benutzte Bilder. . .	365

<b>XXVI. Streuung</b> .....	367
§ 225 Inhaltsübersicht .....	367
§ 226 Grundgedanken für die quantitative Behandlung der Streuung .....	367
§ 227 Strahlung schwingender Dipole. PURCELLS Versuch .....	368
§ 228 Quantitatives zur Dipolstrahlung .....	370
§ 229 Abhängigkeit der RAYLEIGHschen Streuung von der Wellenlänge .....	370
§ 230 Extinktion von RÖNTGENÜcht und Streuung .....	373
§ 231 Die Anzahl streuender Elektronen in Atomen kleiner molarer Masse ..	374
§ 232 Die Streuung als Hilfsmittel für Herstellung und Nachweis von polarisiertem RÖNTGENlicht .....	375
§ 233 Streuung von sichtbarem Licht durch große schwach absorbierende Teilchen .....	376
§ 234 Streureflexion an matten Flächen .....	378
<b>XXVII. Dispersion und Absorption</b> .....	381
§ 235 Vorbemerkung und Inhaltsübersicht .....	381
§ 236 Abhängigkeit der Brechung und der Extinktion von der Wellenlänge ..	381
§ 237 Sonderstellung der Metalle .....	384
§ 238 Die metallisch genannte Reflexion .....	385
§ 239 Die Reichweiten des RÖNTGENÜchtes .....	386
§ 240 Rückführung der Brechung auf Streuung .....	387
§ 241 Qualitative Deutung der Dispersion .....	388
§ 242 Quantitative Behandlung der Dispersion .....	389
§ 243 Brechzahlen für RÖNTGENlicht .....	391
§ 244 Brechzahl und Dichte. Mitführung .....	392
§ 245 Krumme Lichtstrahlen .....	393
§ 246 Qualitative Deutung der Absorption .....	395
§ 247 Quantitative Behandlung der Absorption .....	396
§ 248 Die Gestalt der Absorptionsbanden .....	397
§ 249 Quantitative Absorptionsspektralanalyse .....	399
§ 250 Beschaffenheit optisch wirksamer Resonatoren .....	400
§ 251 Mechanismus der Lichtabsorption in Metallen .....	402
§ 252 Dispersion durch freie Elektronen bei schwacher Absorption (Plasma-Schwingungen) .....	403
§ 253 Totalreflexion elektromagnetischer Wellen durch freie Elektronen in der Atmosphäre .....	404
§ 254 Extinktion durch kleine Teilchen stark absorbierender Stoffe .....	405
§ 255 Extinktion durch große Metallkolloide. Künstlicher Dichroismus und künstliche Doppelbrechung .....	408
<b>XXVIII. Temperaturstrahlung</b> .....	411
§ 256 Vorbemerkung .....	411
§ 257 Die grundlegenden experimentellen Erfahrungen .....	411
§ 258 Der KIRCHHOFFsche Satz .....	412
§ 259 Der schwarze Körper und die Gesetze der schwarzen Strahlung .....	413
§ 260 Selektive thermische Strahlung .....	416
§ 261 Die thermischen Lichtquellen .....	416
§ 262 Optische Temperaturmessung. Schwarze Temperatur und Farbtemperatur .....	418

<b>XXIX. Lichtsinn und Photometrie</b> . . . . .	421
§ 263 Vorbemerkung. Notwendigkeit einer Photometrie. . . . .	421
§ 264 Experimentelle Hilfsmittel für die Änderung der Bestrahlungsstärke... . . . .	421
§ 265 Das Prinzip der Photometrie . . . . .	422
§ 266 Definition der Gleichheit zweier Beleuchtungsstärken . . . . .	423
§ 267 Spektrale Verteilung der Empfindlichkeit des Auges oder der Lichtausbeute. . . . .	426
§ 268 Ankling- und Summierungszeit des Auges. . . . .	427
§ 269 Helligkeit . . . . .	428
§ 270 Unbunte Farben, Entstehungsbedingungen . . . . .	430
§ 271 Bunte Farben, ihr Farbton und ihre Verhüllung . . . . .	431
§ 272 Farbfilter zur Herstellung unverhüllter Farben. . . . .	433
§ 273 Farbstoffe (Pigmente) . . . . .	435
§ 274 Entstehung des Glanzes . . . . .	436
§ 275 Schillerfarben . . . . .	436
<b>Periodensystem der Elemente. Wichtige Konstanten</b> . . . . .	438
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	440

## Videofilmverzeichnis.

Lfd. Nr. Titel, Seite

- **„Einfachheit ist das Zeichen des Wahren“**  
- Leben und Wirken des Robert Wichard Pohl - V, 142, 309
- 1 Bestimmung des elektrischen Erdfeldes 36
- 2 Kapazität einer Kugel 39
- 3 Elektrischer Wind 40
- 4 Kräfte im elektrischen Feld 12, 50
- 5 Seifenblasen im elektrischen Feld 52
- 6 Induktion in ruhenden Leitern 71,72,74
- 7 Induktion in bewegten Leitern 72, 75
- 8 Magnetischer Spannungsmesser 81-84
- 9 Wirbelstrombremse 98
- 10 Induktionsläufer 99
- 11 Elektromagnet 108,109,195
- 12 Zirkuläre Schwingungen 119,337
- 13 Magnetisches Drehfeld 129
- 14 Trägheit des Magnetfeldes 124,125
- 15 Paramagnetische Materie 189
- 16 Reflexionskegel 209
- 17 Auflösungsvermögen 229, 293
- 18 Sphärische Aberration 238
- 19 Astigmatismus 239
- 20 Chromatische Aberration 243
- 21 Perspektive 255
- 22 Interferenz 273
- 23 Polarisiertes Licht 205, 372, 332
- 24 Krummer Lichtstrahl 206, 207, 393