

Joachim Grehn - Joachim Krause

Metzler Physik

Dr. Joachim Bolz, Joachim Grehn
Joachim Krause, Herwig Krüger
Dr. Herbert Kurt Schmidt, Dr. Heiner Schwarze

Schroedel

Inhaltsverzeichnis

Einleitung - Was ist Physik?	10		
Mechanik			
1.1 Kinematik	12	1.2.6 Drittes Newton'sches Axiom; Wechsel-	
1.1.1 Beschreibung einer Bewegung	12	wirkungskräfte	50
Exkurs: Die Grundgrößen Zeit und Länge	14	1.2.7 Reibungskräfte	52
1.1.2 Die geradlinige Bewegung mit konstanter		Exkurs: Antriebs- und Fahrtwiderstandskräfte	53
Geschwindigkeit	15	Kräfte bei der Kreisbewegung	54
1.1.3 Die geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	18	1.2.8 Trägheitskräfte im beschleunigten Bezugssystem;	
1.1.4 Bewegungsgesetze und mathematische Methoden	22	Galilei-Transformation und Inertialsystem	56
Exkurs: Verhalten im Straßenverkehr	25	Exkurs: Schwimmen und Fliegen	59
1.1.5 Der freie Fall	26		
Exkurs: GALILEI und die Fallgesetze	28	1.3 Energie und Energieerhaltung	60
Exkurs: Messprozess und Fehlerrechnung	29	1.3.1 Mechanische Energie	60
1.1.6 Der Wurf; Überlagerung von Bewegungen	30	1.3.2 Existenzformen der Energie	62
Exkurs: Die Wurfbewegung - ARISTOTELES und GALILEI	33	1.3.3 Der Energierhaltungssatz	65
1.1.7 Die gleichförmige Kreisbewegung	34	1.3.4 Stoßvorgänge und Erhaltungssätze	68
1.1.8 Vektorielle Darstellung von Bewegungen	36	Exkurs: Physik und Sport I	69
Exkurs: Segeln - Kursnehmen mit Geschwindigkeits-			
vektoren	36	1.4 Die Rotation starrer Körper	70
		1.4.1 Die gleichmäßig beschleunigte Drehbewegung;	
1.2 Dynamik; Impuls und Kraft	38	Drehmoment	70
1.2.1 Trägheitsprinzip	38	Exkurs: Drehmomente am fahrenden Auto	71
1.2.2 Masse und Impuls	40	1.4.2 Trägheitsmoment und Rotationsenergie	72
Exkurs: Beschleunigungssensor nutzt		1.4.3 Der Drehimpuls und seine Erhaltung	74
Trägheitsverhalten	41	Exkurs: Fahrleistung eines Autos	75
Exkurs: Die Grundgröße Masse - Einheit und Messung	41	1.4.4 Drehbewegungsgrößen in Vektorform	76
1.2.3 Impuls und Impulserhaltung	42	Exkurs: Kreisel	76
1.2.4 Erstes und zweites Newton'sches Axiom;		Exkurs: Physik und Sport II	77
Grundgleichung der Mechanik	46		
1.2.5 Dynamische und statische Kraftmessung	48	1.5 Grundwissen Mechanik	78
2 Gravitation			
2.1 Das Gravitationsgesetz	80	2.3 Bewegungen im Gravitationsfeld	94
2.1.1 Das Sonnensystem	80	2.3.1 Zentralkraft; Kepler'sche Gesetze	94
2.1.2 Die Erforschung von Gestalt und Größe der		2.3.2 Bahnform und Energie der Satelliten	97
Erde und der Planetenbewegung	81	Exkurs: Galileo-Mission als Beispiel für	
2.1.3 NEWTONS Gravitationsgesetz	84	Swing-by-Maneuver	99
2.1.4 Anwendungen des Gravitationsgesetzes	86	2.3.3 Rakete und Raketengleichung	100
Exkurs: Aufbau des Erdkörpers	86	Exkurs: 1969 - die ersten Menschen auf dem	
		Mond	101
2.2 Das Gravitationsfeld	89	Exkurs: Vielfalt der Satelliten	102
2.2.1 Feldbegriff und Feldstärke	89		
2.2.2 Potentielle Energie im Gravitationsfeld	91	2.4 Grundwissen Gravitation	103
2.2.3 Schwere und träge Masse	93	Exkurs: Geschichte der Mechanik und die klassi-	
Exkurs: Schwermessung und Gravimetrie	93	sehe Physik; Kausalität und Determinismus	104

3 Mechanische Schwingungen und Wellen

3.1	Schwingungen	106	3.3.2	Transversal- und Longitudinalwellen; Polarisation	124
3.1.1	Schwingungsvorgänge und -großen	106		Exkurs: Erdbebenwellen (seismische Wellen)	125
3.1.2	Die harmonische Schwingung	107	3.3.3	Zwei- und dreidimensionale Wellen	126
3.1.3	Gesetze der harmonischen Schwingung	109	3.3.4	Der Doppler-Effekt	128
3.1.4	Die gedämpfte harmonische Schwingung	111		Exkurs: Überschallknall	128
3.1.5	Beispiele harmonischer Schwingungen	112	3.3.5	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit; Dispersion	129
3.2	Überlagerung von Schwingungen	114	3.4	Wechselwirkungen von Wellen	131
3.2.1	Überlagerung zweier harmonischer Schwingungen	114	3.4.1	Interferenz zweier Kreiswellen	131
3.2.2	Fourier-Analyse; akustische Unschärfe	116	3.4.2	Das Huygens'sche Prinzip	134
3.2.3	Die Energie des harmonischen Oszillators	118	3.4.3	Reflexion und Brechung ebener Wellen	135
3.2.4	Erzwungene Schwingungen	119	3.4.4	Beugung von Wellen; Streuung	137
	Exkurs: Resonanzerscheinungen	121	3.4.5	Stehende Wellen; Eigenschwingungen	138
			3.4.6	Stehende Longitudinalwellen	141
			3.4.7	Stehende Schallwellen	142
3.3	Entstehung und Ausbreitung von Wellen	122	3.5	Grundwissen Schwingungen und Wellen	144
3.3.1	Linearer Wellen; die Wellengleichung	122			

4 Wärmelehre

4.1	Grundlagen	146	4.3.7	Der Viertakt-Motor	164
4.1.1	Die Temperatur und die Gasgesetze	146	4.3.8	Kraftwerke	166
4.1.2	Der atomistische Aufbau der Stoffe	149	4.4	Die Strahlungsgesetze	168
4.2	Die kinetische Gastheorie	152		Exkurs: Der Treibhauseffekt und die Bewohnbarkeit von Planeten	170
4.2.1	Die Grundgleichung der kinetischen Gastheorie	152	4.5	Die Entropie	172
4.2.2	Kinetische Gastheorie und Molekülbewegung	154	4.5.1	Irreversible Vorgänge	172
4.3	Energieumwandlungen	156	4.5.2	Definition der Entropie	173
4.3.1	Wärmeenergie und innere Energie	156	4.5.3	Entropie, Irreversibilität und Energieentwertung	175
4.3.2	Der erste Hauptsatz der Wärmelehre	158		Exkurs: Entropie und Wahrscheinlichkeit	176
4.3.3	Energieumwandlung bei Volumenänderung	159	4.6	Grundwissen Wärmelehre	177
4.3.4	Spezifische Wärmekapazität idealer Gase	160			
4.3.5	Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre	161			
4.3.6	Wärmekraftmaschine, Wärmepumpe und Kältemaschine	163			

5 Ladung und elektrisches Feld

5.1	Elektrische Ladung und elektrischer Strom	178	5.3	Elektrische Stromkreise	202
5.1.1	Trennung und Nachweis von Ladungen	178	5.3.1	Widerstände im Stromkreis	202
5.1.2	Zusammenhang von Ladung und Stromstärke	180	5.3.2	Kirchhoff'sche Gesetze	204
	Exkurs: Gesetzliche Ampere-Definition	181	5.3.3	Auf- und Entladung eines Kondensators	206
5.2	Das elektrische Feld	182	5.4	Bewegung geladener Teilchen im elektrischen Feld	208
5.2.1	Darstellung und Eigenschaften elektrischer Felder	182	5.4.1	Ionenleitung in Flüssigkeiten	208
5.2.2	Elektrische Feldstärke	184	5.4.2	Die Elementarladung	210
5.2.3	Energieumwandlung im elektrischen Feld	186	5.4.3	Elektronenleitung in Metallen	212
5.2.4	Elektrisches Potential und elektrische Spannung	188	5.4.4	Austritt von Elektronen aus Leiteroberflächen	214
	Exkurs: Reizleitung in Nervenzellen	191		Exkurs: Feldemissionsmikroskop	215
	Exkurs: Entstehung von Gewittern	192		Exkurs: Elektronenröhren	216
	Exkurs: Xerografie (Trockenkopie)	193	5.4.5	Freie Ladungsträger im Vakuum	217
5.2.5	Feldstärke und felderzeugende Ladung	194	5.4.6	Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld	218
	Exkurs: Piezoelektrischer Effekt	195		Exkurs: Oszilloskop	219
5.2.6	Coulomb'sches Gesetz	196	5.4.7	Leitungsvorgänge in Gasen	220
5.2.7	Kapazität von Kondensatoren	198	5.5	Grundwissen Ladung und elektrisches Feld	222
	Exkurs: Bauformen von Kondensatoren	200			
5.2.8	Energie des elektrischen Feldes	201			

Inhaltsverzeichnis

6 Bewegte Ladungsträger und magnetisches Feld

6.1	Kräfte im magnetischen Feld	224	6.2.1	Magnetfelder eines langen Leiters und einer langen Spule	240
6.1.1	Magnetfelder	224	6.2.2	Das Linienintegral der magnetischen Feldstärke	242
6.1.2	Magnetische Feldstärke	226	6.2.3	Materie im magnetischen Feld	244
6.1.3	Lorentz-Kraft	228		Exkurs: Magnet-Schnellbahn	245
	Exkurs: Blasen- und Funkenkammern weisen unsichtbare Teilchen nach	229	6.3	Elektromagnetische Induktion	246
6.1.4	Der Hall-Effekt	230	6.3.1	Das Induktionsgesetz	246
6.1.5	Teilchen auf Kreisbahnen	232	6.3.2	Energieerhaltung und das Vorzeichen im Induktionsgesetz	250
6.1.6	Massenspektroskop	233	6.3.3	Selbstinduktion	250
6.1.7	Teilchenbeschleuniger	234		Exkurs: Magnetisch gespeicherte Information	254
	Exkurs: Riesenwerkzeuge für kleinste Teilchen	235	6.3.4	Energie des magnetischen Feldes	255
6.1.8	Die Fernsehröhre	236	6.3.5	Kopplung von elektrischem und magnetischem Feld	256
6.1.9	Das Elektronenmikroskop	237	6.4	Grundwissen Bewegte Ladungsträger und magnetisches Feld	258
6.1.10	Magnetische Flasche	238			
	Exkurs: Polarlicht	239			
6.2	Ströme als Ursache von Magnetfeldern	240			

7 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

7.1	Wechselstromtechnik	260		Exkurs: Historische Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit	293
7.1.1	Erzeugung von Wechselspannung	260	7.3.2	Beugung und Interferenz am Doppelspalt	294
	Exkurs: Von den Anfängen der Stromversorgung	261	7.3.3	Beugung und Interferenz am Gitter	296
7.1.2	Phasenbeziehungen im Wechselstromkreis	262	7.3.4	Beugung und Interferenz am Spalt	298
7.1.3	Wechselstromwiderstände	264		Exkurs: Subjektive Beobachtung von Beugung und Interferenz	299
	Exkurs: Spulen mit Eisenkern	265	7.3.5	Intensitätsverlauf bei Beugungsfiguren	300
7.1.4	Die Leistung im Wechselstromkreis	266	7.3.6	Das Auflösungsvermögen optischer Instrumente	303
7.1.5	Wechselstromschaltungen	268		Exkurs: Das Auflösungsvermögen großer Teleskope	305
7.1.6	Der Transformator	270	7.3.7	Interferenzen an dünnen Schichten	306
	Exkurs: Die öffentliche Versorgung mit elektrischer Energie	272	7.3.8	Kohärenz	308
7.2	Elektrische Schwingungen und elektromagnetische Wellen	274	7.3.9	Holografie	310
7.2.1	Der elektrische Schwingkreis	274	7.3.10	Polarisiertes Licht	312
7.2.2	Elektrische Schwingungen	276		Exkurs: Polarisationsfolien - das Polaroid-Verfahren	312
7.2.3	Ungedämpfte elektrische Schwingungen	278	7.3.11	Doppelbrechung und optische Aktivität	315
7.2.4	Mikrowellen	280	7.3.12	Strahlenoptik	318
7.2.5	Elektromagnetische Wellen	282	7.3.13	Geschichte der Optik	321
	Exkurs: Nutzung von Mikrowellen	283	7.4	Das elektromagnetische Spektrum	322
7.2.6	MAXWELLS elektromagnetische Wellen	284	7.4.1	Überblick über das elektromagnetische Spektrum	322
7.2.7	Der Hertz' sehe Dipol	286	7.4.2	Das optische Spektrum	324
7.2.8	Rundfunktechnik	288	7.4.3	Röntgenstrahlen	326
	Exkurs: Resonanzkreise als elektronische Filter	290		Exkurs: Röntgenstrukturanalyse	329
7.3	Licht als klassische Welle	292	7.5	Grundwissen Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	330
7.3.1	Die Lichtgeschwindigkeit	292			

8 Chaotische Vorgänge

8.1	Das deterministische Chaos	332	8.3	Wege ins Chaos - Verhulst-Dynamik und Feigenbaum-Szenario	338
8.2	Ein einfaches System mit chaotischem Verhalten	334	8.4	Chaos und Fraktale	340
				Exkurs: Das gesunde Herz - die richtige Dosis Chaos	341

9 Relativitätstheorie			
9.1	Von der klassischen Physik zur Relativitätstheorie	342	
9.1.1	Absoluter Raum und absolute Zeit	342	
	Exkurs: Navigation mit Satelliten:		
	Das Global Positioning System (GPS)	343	
9.1.2	Das Michelson-Experiment	344	
9.1.3	Die Grundprinzipien der Relativitätstheorie	345	
9.2	Die Kinematik der speziellen Relativitätstheorie	346	
9.2.1	Die relative Gleichzeitigkeit	346	
9.2.2	Die Zeitdilatation	348	
9.2.3	Myonen im Speicherring	350	
	Exkurs: Atomuhren messen die Zeitdilatation:		
	Das Hafele-Keating-Experiment	351	
9.2.4	Die Längenkontraktion	352	
9.2.5	Raum-Zeit-Diagramme	353	
	9.2.6 Minkowski-Diagramme	354	
	9.2.7 Die Lorentz-Transformation	356	
	9.2.8 Die Addition der Geschwindigkeiten	357	
	9.2.9 Der optische Dopplereffekt	358	
	Exkurs: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	359	
9.3	Die Dynamik der speziellen Relativitätstheorie	360	
9.3.1	Die relativistische Massenzunahme	360	
9.3.2	Die Trägheit der Energie	362	
9.3.3	Die Raum-Zeit und die Impuls-Energie	364	
9.3.4	Eine Anwendung der Impuls-Energie	366	
	Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie:		
	Grundlagen der Theorie	367	
	Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie:		
	Experimentelle Tests	368	
9.4	Grundwissen Relativitätstheorie	370	
10 Einführung in die Quantenphysik			
10.1	Grundlagen	372	
10.1.1	Der lichtelektrische Effekt	372	
10.1.2	Das Planck'sehe Wirkungsquantum	374	
10.1.3	Die Lichtquantenhypothese	376	
10.1.4	Umkehrung des lichtelektrischen Effekts mit Leuchtdioden	377	
10.1.5	Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung	378	
10.1.6	Der Compton-Effekt	380	
10.2	Verteilung der Photonen	382	
10.2.1	Die Photonenverteilung hinter dem Doppelspalt	382	
10.2.2	Photonenverteilung bei geringer Intensität	384	
10.2.3	Feldstärke und Wahrscheinlichkeit	385	
10.3	Ausbreitung von Elektronen	386	
	10.3.1 De-Broglie-Wellen	386	
	10.3.2 Welleneigenschaften von Elektronen	388	
	Exkurs: Interferenzen von Neutronen	389	
	Exkurs: Anwendung der Elektroneninterferenz: Der Quanten-T-Transistor	390	
10.4	Quantenphysik und klassische Physik	392	
10.4.1	Das Unschärfeprinzip	392	
10.4.2	Messung der Unschärfe bei Photonen	394	
	Exkurs: Der Welle-Teilchen-Dualismus	395	
10.4.3	Die Wellenfunktion	396	
10.5	Grundwissen Quantenphysik	397	
	Exkurs: Interpretationsprobleme der Quantenphysik	398	
IP Atomphysik			
11.1	Energieaustausch mit Atomen	400	
11.1.1	Die quantenhafte Absorption	400	
11.1.2	Die quantenhafte Emission	403	
11.1.3	Die Resonanzabsorption	404	
11.2	Entwicklung der Atommodelle	405	
11.2.1	Erforschung des Atoms mit Streuversuchen	405	
11.2.2	Der Rutherford'sehe Streuversuch	406	
11.2.3	Das Atommodell von Rutherford	407	
11.2.4	Das Bohr'sehe Atommodell	408	
11.2.5	Die Spektralserien des Wasserstoffatoms	410	
	Exkurs: Messungen an gebundenen Systemen	411	
11.2.6	Vom klassischen zum quantenphysikalischen Atommodell	412	
; 11.3	Das Atommodell der Quantenphysik	414	
; 11.3.1	Der lineare Potentialtopf	414	
11.3.2	Anwendungen des Potentialtopfmodells	416	
? 11.3.3	Die Schrödinger-Gleichung	418	
g 11.3.4	Numerische Lösung der Schrödinger-Gleichung	419	
	11.3.5 Analytische Lösung der Schrödinger-Gleichung für den linearen Potentialtopf	420	
	11.3.6 Analytische Lösung für Wasserstoff	422	
	11.3.7 Die Winkelabhängigkeit der Antreffwahrscheinlichkeit im H-Atom	424	
	11.3.8 Quantenzahlen des Atoms	425	
	11.3.9 Das Periodensystem der Elemente	426	
11.4	Leistungen der Atommodelle	428	
11.4.1	Die charakteristische Röntgenstrahlung und das Moseley'sehe Gesetz	428	
11.4.2	Absorption von Röntgenstrahlung	429	
11.4.3	Spektren im sichtbaren Bereich	430	
11.4.4	Lumineszenz	431	
11.4.5	Der Helium-Neon-Laser	432	
11.4.6	Berechnung der Absorptionsspektren von Farbstoffmolekülen	434	
	Exkurs: CDR - die beschreibbare CD	435	
11.5	Grundwissen Atomphysik	436	

8 Inhaltsverzeichnis

12 Elektronik und Festkörperphysik

12.1	Halbleiterschaltungen	438	12.3	Analoge Signalverarbeitung	462
12.1.1	Ionen und Elektronen im Festkörper	438	12.3.1	Der Operationsverstärker	462
12.1.2	Halbleiter und Dotierung	440	12.3.2	Sensoren	464
12.1.3	p-n-Übergang und Dioden	442	12.3.3	AD- und DA-Wandler	466
12.1.4	Der bipolare Transistor	444			
12.1.5	Der Feldeffekttransistor	446	12.4	Digitalelektronik	468
			12.4.1	Computerbaugruppen	468
12.2	Das quantenphysikalische Modell des Festkörpers	448	12.4.2	Digitale Grundsaltungen	470
12.2.1	Zustände im Elektronengas	448		Exkurs: Schaltungsfamilien, Geschwindigkeit und Verlustleistung	471
12.2.2	Die Fermi-Energie	450	12.4.3	CPU- und Rechenschaltungen	472
12.2.3	Supraleitung	452	12.4.4	RAM und ROM	474
	Exkurs: Supraleitung Grundwissen	453		Exkurs: Laserdioden	476
12.2.4	Absorptionsverhalten von Festkörpern	454			
12.2.5	Leitfähigkeit von Halbleitern	455	12.5	Grundwissen Elektronik und Festkörperphysik	477
12.2.6	Energiebänder	456			
12.2.7	Elektronen und Löcher	458			
12.2.8	Kontaktspannung	461			

13 Kernphysik

13.1	Natürliche Radioaktivität	478	13.4.5	Deroc-Zerfall	507
13.1.1	Ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung	478			
	Exkurs: Die stochastische Schwankung der Zählraten	480	13.5	Künstliche Kernumwandlung und Kernspaltung	509
13.1.2	Strahlungsarten	481	13.5.1	Kernreaktionen	509
13.1.3	Eigenschaften der Strahlungen	482	13.5.2	Künstliche Radioaktivität	511
13.1.4	Strahlungsdetektoren	485	13.5.3	Anwendung von Radionukliden	513
13.1.5	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	488	13.5.4	Kernspaltung	514
	Exkurs: Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung	492	13.5.5	Bedingungen der Kettenreaktion	517
	Exkurs: Strahlenschutz	493			
13.2	Aufbau und Systematik der Atomkerne	494	13.6	Nutzung der Kernenergie	518
13.2.1	Masse und Radius der Kerne	494	13.6.1	Funktionsprinzipien von Reaktoren	518
13.2.2	Proton und Neutron als Kernbausteine	495	13.6.2	Reaktortypen	520
13.2.3	Ordnung der Kerne	496		Exkurs: Der Verbrauch fossiler Primärenergie und die Konsequenzen für die Atmosphäre	521
	Exkurs: Massenspektroskopie	497	13.6.3	Schwierigkeiten und Risiken bei der technischen Nutzung der Kernenergie	522
13.3	Kernumwandlung und radioaktive Strahlung	498		Exkurs: Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986	523
13.3.1	Die natürlichen Zerfallsreihen	498			
13.3.2	Gesetz des radioaktiven Zerfalls	500	13.7	Kernfusion	524
13.4	Energie der Atomkerne; Kernmodelle	502	13.7.1	Grundlagen der Kernfusion	524
13.4.1	Massendefekt und Bindungsenergie	502	13.7.2	Technische Probleme der Kernfusion	525
13.4.2	Das Tröpfchenmodell des Atomkerns	503			
13.4.3	Das Potentialtopfmodell des Atomkerns	506	13.8	Grundwissen Kernphysik	528
13.4.4	Der β^- - und der β^+ -Zerfall	507			

14 Teilchenphysik

14.1	Vom Elektron zum Teilchenzoo	530	14.4	Das Standardmodell	536
14.2	Wechselwirkungen und Austauschteilchen; Quantenelektrodynamik	532	14.4.1	Die Urteilchen und ihre Wechselwirkungen	536
14.3	Die Seltsamkeit, der „Achtfache Weg“ und die Quarks	534	14.4.2	Die starke Kraft und die Farbladungen	536
	Exkurs: Resonanzen - die Grenzen der Teilchenvorstellung	535	14.4.3	Teilchenprozesse im Standardmodell	538
			14.4.4	Die Kernkraft	540
			14.4.5	Ungelöste Probleme	540
				Exkurs: Collider, Speicherringe und Riesendetektoren	541

15 Astrophysik

15.1	Die Erforschung des Universums	542	15.2.2	Die scheinbare Helligkeit	552
15.1.1	Optische Astronomie heute	542	15.2.3	Die Masse der Sterne	553
15.1.2	Extraterrestrische Observatorien	544	15.2.4	Radius und Dichte der Sterne	554
	Exkurs: Quasare - rätselhafte Objekte im fernen Universum	545	15.2.5	Sterneigenschaften und Masse	555
15.1.3	Die Entfernung der Sterne und der Galaxien	546	15.2.6	Wolken aus interstellarer Materie	556
	Exkurs: Warum pulsieren die Cepheiden?	547	15.2.7	Die Sternentstehung	558
15.1.4	Die Expansion des Universums	548	15.2.8	Endstadien der Sternentwicklung	560
15.2	Die Sterne	550	15.3	Die Entwicklung des Universums	564
15.2.1	Leuchtkraft und Temperatur der Sterne	550			

16 Physik und Wissenschaftstheorie

16.1	Theorie; Hypothese; Gesetz; Modell	566	16.2	Philosophische Strömungen der Erkenntnisgewinnung	568
------	------------------------------------	-----	------	---	-----

17 Anhang

Sachverzeichnis	570	Spektraltafel	577
Namenverzeichnis	575	Atom- und Kernmassen	577
Physikalische Konstanten	575	Periodensystem	578
Astronomische Daten	576	Auszug aus der Nuklidkarte	579

! Bildquellenverzeichnis

C. Addams in „The New Yorker“ 12. Januar 1940: 398.2 - Astrofoto B. Koch, Leichlingen: 239.1, 239.2, 239.3 - Badenwerk AG, Karlsruhe: 519.1 - Dr. J. Bolz, Lohmar: 299.1, 331.4, 333.3, 340.1 - c't Magazin für Computertechnik, Verlag Hans Heise, Hannover: 254.2A, B, 254.3A, 435.2, 469.2B - CERN, Genf: 229.2, 229.3 - Close et al. „Spurensuche im Teilchenzoo“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford: 530.1, 531.1, 534.2 - Daimler Benz Aerospace AG, München: 100.2 - DESY, Hamburg: 235.1, 541.1, 541.2, 541.3 - Deutsche Lufthansa AG, Frankfurt: 13.4 - Deutsches Museum, München: 33.2 - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen: 102.1; Elwe Lehrsysteme, Cremlingen: 377.1A - Forschungszentrum Jülich: 390.1, 391.2 - Forschungszentrum Karlsruhe: 493.2, 513.1 - FRD Freier Redaktionsdienst, Berlin: 493.1 - Gerthsen/Vogel „Physik“, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 18. Auflage 1995: 237.2 - Handbuch der Experimentellen Physik SII, Aulis Verlag, Köln 1992: 317.4 - IBM Deutschland: 254.3C, 413.1, 469.1, 471.2, 473.3, 475.1, 475.2 - Intel Corporation, USA: 469.1, 469.2A; Informationskreis Kernenergie, Bonn: 519.1; Jet Propulsion Laboratory, Pasadena USA: 171.1, 171.2 - LEO Elektronenmikroskopie, Oberkochen: 237.3 - Leybold Didactic GmbH, Hürth: 76.2A, 215.2, 306.1, 307.1A, 326.1A, 401.1, 452.1B, 453.2 - J. Krause, Neumünster: 506.1 - Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching: 527.1, 527.2, 527.3 - National Geographic Vol. 184/Heft 1 aus 1993, National Geographic Society, Washington USA: 192.1, 192.2 - National Radio Astronomy Observatory (NRAO), Charlottesville USA: 305.1 - NewVision (nach Morfill, Scheingraber „Chaos ist überall“, Ullstein 1993): 341.1 - Paesler, Kiel: 13.3 - Physik in unserer Zeit 3/1996, Wiley-VCH Verlag, Weinheim: 453.3 - Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig: 14.1 - Phywe Systeme GmbH, Göttingen: 76.2B - Pressefoto Baumann, Ludwigsburg: 13.2 - Siemens AG KWU, Erlangen: 272.1A, 519.1 - Siemens AG, München: 326.2B - G. Schlierf (mit freundlicher Unterstützung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen): 99.2, 102.2; Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg: 333.1 (Heft 1/1994), 545.1 (Heft 1/1985) - Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg, Digest Astrophysik: 542.1, 543.1, 550.1, 556.1, 556.2, 557.1, 561.1, 562.1 - T. Ferries „Galaxien“, Birkhäuser Verlag AG, Basel: 545.2 - Thomson Tubes & Displays GmbH, Norderstedt: 236.1A - TIME, 18. Oktober 1971: 351.2 - Tipler „Physik“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1994: 121.3, 254.1B, 324.1D, 413.2, 453.4 - Uni Würzburg: 476.4

Alle weiteren Fotos sind dem Band „Metzler Physik“, 2. Auflage, Schroedel Verlag, Hannover 1991 entnommen, soweit es sich nicht um Bilder der Fotografen M. Frühsorge und H. Tegen handelt.

Es war nicht in allen Fällen möglich, die Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und um Abdruckgenehmigung zu bitten. Berechtigte Ansprüche werden selbstverständlich im Rahmen der üblichen Konditionen abgegolten.