

Joachim Grehn – Joachim Krause

Metzler Physik

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

Metzler

Inhaltsverzeichnis

Einleitung – Was ist Physik?	10		
1 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	1.2.8 Kräfte bei der Kreisbewegung	54
1.1.3 Die geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	18	1.2.9 Trägheitskräfte im beschleunigten Bezugssystem:	
1.1.4 Bewegungsgesetze und mathematische Methoden	22	Galilei-Transformation und Inertialsystem	56
Exkurs: Verhalten im Straßenverkehr	25	Exkurs: Vom 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 Energieerhaltungssatz	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 Trägheit	41	1.4.3 Der Drehimpuls und seine Erhaltung	74
Exkurs: Die Grundgröße Masse – Einheit und Messung	41	Exkurs: Fahrleistung des Autos	75
1.2.3 Impuls und Impulserhaltung	42	1.4.4 Drehbewegungsgrößen in Vektorform	76
1.2.4 Erstes und zweites Newton'sches Axiom;		Exkurs: Kreisel	76
Grundgleichung der Mechanik	46	Exkurs: Physik und Sport II	77
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“-Manöver	99
2.1.4 Anwendungen des Gravitationsgesetzes	86	Exkurs: Übergangsbahnen als Beispiel eines	
Exkurs: Aufbau des Erdkörpers	86	Hohmann-Transfers	99
		2.3.3 Rakete und Raketengleichung	100
2.2 Das Gravitationsfeld	89	Exkurs: 1969 – die ersten Menschen auf dem Mond	101
2.2.1 Feldbegriff und Feldstärke	89	Exkurs: Klassifikation von Satelliten	102
2.2.2 Potentielle Energie im Gravitationsfeld	91		
2.2.3 Schwere und träge Masse	93	2.4 Grundwissen Gravitation	103
Exkurs: Schweremessung und Gravimetrie	93	Exkurs: Geschichte der Mechanik und die klassi-	
		sche Physik; Kausalität und Determinismus	104

3	Mechanische Schwingungen und Wellen			
3.1	Schwingungen	106	3.3.2	Transversal- und Longitudinalwellen; Polarisation
3.1.1	Schwingungsvorgänge und -größen	106		Exkurs: Erdbebenwellen (seismische Wellen)
3.1.2	Die harmonische Schwingung	107	3.3.3	Zwei- und dreidimensionale Wellen
3.1.3	Gesetze der harmonischen Schwingung	109	3.3.4	Der Doppler-Effekt
3.1.4	Die gedämpfte harmonische Schwingung	111		Exkurs: Überschallknall
3.1.5	Beispiele harmonischer Schwingungen	112	3.3.5	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit; Dispersion
3.2	Überlagerung von Schwingungen	114	3.4	Wechselwirkungen von Wellen
3.2.1	Überlagerung zweier harmonischer Schwingungen	114	3.4.1	Interferenz zweier Kreiswellen
3.2.2	Fourier-Analyse; akustische Unschärfe	116	3.4.2	Das Huygens'sche Prinzip
3.2.3	Die Energie des harmonischen Oszillators	118	3.4.3	Reflexion und Brechung ebener Wellen
3.2.4	Erzwungene Schwingungen	119	3.4.4	Beugung von Wellen; Streuung
	Exkurs: Resonanzerscheinungen	121	3.4.5	Stehende Wellen; Eigenschwingungen
3.3	Entstehung und Ausbreitung von Wellen	122	3.4.6	Stehende Longitudinalwellen
3.3.1	Lineare Wellen; die Wellengleichung	122	3.4.7	Stehende Schallwellen
3.5			3.5	Grundwissen Schwingungen und Wellen
4	Wärmelehre			
4.1	Grundlagen	146	4.3.7	Der Viertaktmotor
4.1.1	Die Temperatur und die Gasgesetze	146	4.3.8	Kraftwerke
4.1.2	Der atomistische Aufbau der Stoffe	149	4.4	Die Strahlungsgesetze
4.2	Die kinetische Gastheorie	152		Exkurs: Der Treibhauseffekt und die Bewohnbarkeit von Planeten
4.2.1	Die Grundgleichung der kinetischen Gastheorie	152	4.5	Die Entropie
4.2.2	Kinetische Gastheorie und Molekülbewegung	154	4.5.1	Irreversible Vorgänge
4.3	Energieumwandlungen	156	4.5.2	Definition der Entropie
4.3.1	Wärmeenergie und innere Energie	156	4.5.3	Entropie, Irreversibilität und Energieentwertung
4.3.2	Der erste Hauptsatz der Wärmelehre	158		Exkurs: Entropie und Wahrscheinlichkeit
4.3.3	Energieumwandlung bei Volumenänderung	159	4.6	Grundwissen Wärmelehre
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
5.1.1	Trennung und Nachweis von Ladungen	178	5.3.1	Widerstände im Stromkreis
5.1.2	Zusammenhang von Ladung und Stromstärke	180	5.3.2	Kirchhoff'sche Gesetze
	Exkurs: Gesetzliche Ampere-Definition	181	5.3.3	Auf- und Entladung eines Kondensators
5.2	Das elektrische Feld	182	5.4	Bewegung geladener Teilchen im elektrischen Feld
5.2.1	Darstellung und Eigenschaften elektrischer Felder	182	5.4.1	Ionenleitung in Flüssigkeiten
5.2.2	Elektrische Feldstärke	184	5.4.2	Die Elementarladung
5.2.3	Energieumwandlung im elektrischen Feld	186	5.4.3	Elektronenleitung in Metallen
5.2.4	Elektrisches Potential und elektrische Spannung	188	5.4.4	Austritt von Elektronen aus Leiteroberflächen
	Exkurs: Reizleitung in Nervenzellen	191		Exkurs: Feldemissionsmikroskop
	Exkurs: Entstehung von Gewittern	192		Exkurs: Elektronenröhren
	Exkurs: Xerografie (Trockenkopie)	193	5.4.5	Freie Ladungsträger im Vakuum
5.2.5	Feldstärke und felderzeugende Ladung	194	5.4.6	Ablenkung eines Elektronenstrahls im elektrischen Feld
	Exkurs: Piezoelektrischer Effekt	195		Exkurs: Oszilloskop
5.2.6	Coulomb'sches Gesetz	196	5.4.7	Leitungsvorgänge in Gasen
5.2.7	Kapazität von Kondensatoren	198	5.5	Grundwissen Ladung und elektrisches Feld
	Exkurs: Bauformen von Kondensatoren	200		
5.2.8	Energie des elektrischen Feldes	201		

6 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 Fernsehöhre	236	6.3.5	Kopplung von elektrischem und magnetischem Feld	256
6.1.9	Das Elektronenmikroskop	236	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	7.3.2	Beugung und Interferenz am Doppelspalt	294
7.1.1	Erzeugung von Wechselspannung	260	7.3.3	Beugung und Interferenz am Gitter	296
	Exkurs: Von den Anfängen der Stromversorgung	261	7.3.4	Beugung und Interferenz am Spalt	298
7.1.2	Phasenbeziehungen im Wechselstromkreis	262		Exkurs: Subjektive Beobachtung von Beugung und Interferenz	299
7.1.3	Wechselstromwiderstände	264	7.3.5	Intensitätsverlauf bei Beugungsfiguren	300
	Exkurs: Spulen mit Eisenkern	265	7.3.6	Das Auflösungsvermögen optischer Instrumente	303
7.1.4	Die Leistung im Wechselstromkreis	266		Exkurs: Das Auflösungsvermögen großer Teleskope	305
7.1.5	Wechselstromschaltungen	268		Exkurs: „Synthetische“ Fernrohre – Tricks zur Vergrößerung der Öffnungen	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'sche 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			
	Exkurs: Historische Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit	293			

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	9.2.6	Minkowski-Diagramme	354
9.1.1	Absoluter Raum und absolute Zeit Exkurs: Navigation mit Satelliten: Das Global Positioning System (GPS)	342 343	9.2.7	Die Lorentz-Transformation	356
9.1.2	Das Michelson-Experiment	344	9.2.8	Die Addition der Geschwindigkeiten	357
9.1.3	Die Grundprinzipien der Relativitätstheorie	345	9.2.9	Der optische Dopplereffekt Exkurs: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft	358 359
9.2	Die Kinematik der speziellen Relativitätstheorie	346	9.3	Die Dynamik der speziellen Relativitätstheorie	360
9.2.1	Die relative Gleichzeitigkeit	346	9.3.1	Die relativistische Massenzunahme	360
9.2.2	Die Zeitdilatation	348	9.3.2	Die Trägheit der Energie	362
9.2.3	Myonen im Speicherring Exkurs: Atomuhren messen die Zeitdilatation: Das Hafele-Keating-Experiment	350 351	9.3.3	Die Raum-Zeit und die Impuls-Energie	364
9.2.4	Die Längenkontraktion	352	9.3.4	Eine Anwendung der Impuls-Energie Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie: Grundlagen der Theorie	366 367
9.2.5	Raum-Zeit-Diagramme	353	Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie: Experimentelle Tests	368	
			9.4	Grundwissen Relativitätstheorie	370

10 Einführung in die Quantenphysik

10.1	Grundlagen	372	10.3.1	De-Broglie-Wellen	386
10.1.1	Der lichtelektrische Effekt	372	10.3.2	Welleneigenschaften von Elektronen Exkurs: Interferenzen von Neutronen	388 389
10.1.2	Das Planck'sche Wirkungsquantum	374	Exkurs: Anwendung der Elektronen- interferenz: Der Quanten-T-Transistor	390	
10.1.3	Die Lichtquantenhypothese	376	10.4	Quantenphysik und klassische Physik	392
10.1.4	Umkehrung des lichtelektrischen Effekts mit Leuchtdioden	377	10.4.1	Das Unschärfeprinzip	392
10.1.5	Die kurzwellige Grenze der Röntgenstrahlung	378	10.4.2	Messung der Unschärfe bei Photonen Exkurs: Der Welle-Teilchen-Dualismus	394 395
10.1.6	Der Compton-Effekt	380	10.4.3	Die Wellenfunktion	396
10.2	Verteilung der Photonen	382	10.5	Grundwissen Quantenphysik Exkurs: Interpretationsprobleme der Quantenphysik	397 398
10.2.1	Die Photonverteilung hinter dem Doppelspalt	382			
10.2.2	Photonverteilung bei geringer Intensität	384			
10.2.3	Feldstärke und Wahrscheinlichkeit	385			
10.3	Ausbreitung von Elektronen	386			

11 Atomphysik

11.1	Energieaustausch mit Atomen	400	11.3.5	Analytische Lösung der Schrödinger-Gleichung für den linearen Potentialtopf	420
11.1.1	Die quantenhafte Absorption	400	11.3.6	Analytische Lösung für Wasserstoff	422
11.1.2	Die quantenhafte Emission	403	11.3.7	Die Winkelabhängigkeit der Antreffwahrscheinlichkeit im H-Atom	424
11.1.3	Die Resonanzabsorption	404	11.3.8	Quantenzahlen des Atoms	425
11.2	Entwicklung der Atommodelle	405	11.3.9	Das Periodensystem der Elemente	426
11.2.1	Erforschung des Atoms mit Streuversuchen	405	11.4	Leistungen der Atommodelle	428
11.2.2	Der Rutherford'sche Streuversuch	406	11.4.1	Die charakteristische Röntgenstrahlung und das Moseley'sche Gesetz	428
11.2.3	Das Atommodell von Rutherford	407	11.4.2	Absorption von Röntgenstrahlung	429
11.2.4	Das Bohr'sche Atommodell	408	11.4.3	Spektren im sichtbaren Bereich	430
11.2.5	Die Spektralserien des Wasserstoffatoms Exkurs: Messungen an gebundenen Systemen	410 411	11.4.4	Lumineszenz	431
11.2.6	Vom klassischen zum quantenphysikalischen Atommodell	412	11.4.5	Der Helium-Neon-Laser	432
11.3	Das Atommodell der Quantenphysik	414	11.4.6	Berechnung der Absorptionsspektren von Farbstoffmolekülen Exkurs: CD-R – die beschreibbare CD	434 435
11.3.1	Der lineare Potentialtopf	414	11.5	Grundwissen Atomphysik	436
11.3.2	Anwendungen des Potentialtopfmodells	416			
11.3.3	Die Schrödinger-Gleichung	418			
11.3.4	Numerische Lösung der Schrödinger-Gleichung	419			

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 Grundschaltungen	470
12.2.1 Zustände im Elektronengas	448	Exkurs: Schaltungsfamilien, Geschwindigkeit, 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 im Überblick	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 Der α-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		
		13.6 Nutzung der Kernenergie	518
13.2 Aufbau und Systematik der Atomkerne	494	13.6.1 Funktionsprinzipien von Reaktoren	518
13.2.1 Masse und Radius der Kerne	494	13.6.2 Reaktortypen	520
13.2.2 Proton und Neutron als Kernbausteine	495	Exkurs: Der Verbrauch fossiler Primärenergie und die Konsequenzen für die Atmosphäre	521
13.2.3 Ordnung der Kerne	496	13.6.3 Schwierigkeiten und Risiken bei der technischen Nutzung der Kernenergie	522
Exkurs: Massenspektroskopie	497	Exkurs: Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986	523
13.3 Kernumwandlung und radioaktive Strahlung	498	13.7 Kernfusion	524
13.3.1 Die natürlichen Zerfallsreihen	498	13.7.1 Grundlagen der Kernfusion	524
13.3.2 Gesetz des radioaktiven Zerfalls	500	13.7.2 Technische Probleme der Kernfusion	525
13.4 Energie der Atomkerne; Kernmodelle	502	13.8 Grundwissen Kernphysik	528
13.4.1 Massendefekt und Bindungsenergie	502		
13.4.2 Das Tröpfchenmodell des Atomkerns	503		
13.4.3 Das Potentialtopfmodell des Atomkerns	506		
13.4.4 Der β^- - und der β^+ -Zerfall	507		

14 Teilchenphysik

14.1 Vom Elektron zum Teilchenzoo	530	14.4 Das Standardmodell	536
		14.4.1 Die Urteilchen und ihre Wechselwirkungen	536
14.2 Wechselwirkungen und Austausch- teilchen; Quantenelektrodynamik	532	14.4.2 Die starke Kraft und die Farbladungen	536
		14.4.3 Teilchenprozesse im Standardmodell	538
14.3 Die Seltsamkeit, der „Achtfache Weg“ und die Quarks	534	14.4.4 Die Kernkraft	540
Exkurs: Resonanzen – die Grenzen der Teilchenvorstellung	535	14.4.5 Ungelöste Probleme	540
		Exkurs: Collider, Speicherringe und Mesendetektoren	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	Tabelle einiger Nuklide (Atommassen)	577
Physikalische Konstanten	575	Periodensystem der Elemente	578
Astronomische Daten	576	Ausschnitt aus der Nuklidkarte	579
Planetensystem	576		

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 SH, Aulis Verlag, Köln 1992: 317.4 – IBM Deutschland: 254.3C, 413.1, 469.3, 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. Fabian 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.