

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Spezielle Relativitätstheorie</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einführung in die SRT</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Entwicklung und Grundprinzipien der SRT</b>	<b>4</b>
2.1	Äthertheorie . . . . .	4
2.2	Relativitätspostulat und Konstanz der Lichtgeschwindigkeit . . . . .	10
2.3	Raum-Zeit-Struktur der SRT . . . . .	12
2.4	Synchronisation von Uhren . . . . .	14
2.5	Konsequenzen aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit . . . . .	15
	2.5.1 Relativität der Gleichzeitigkeit . . . . .	15
	2.5.2 Relativität und Messung von Längen . . . . .	16
	Aufgaben . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Relativistische Kinematik</b>	<b>18</b>
3.1	Lorentz-Transformation . . . . .	18
	3.1.1 Affinität der Transformation . . . . .	19
	3.1.2 Standardkonfiguration . . . . .	21
	3.1.3 Lorentz-Transformation für Systeme in Standardkonfiguration . . . . .	22
	3.1.4 Eigentliche Lorentz-Transformation . . . . .	27
	3.1.5 Eigenschaften der Lorentz-Transformation . . . . .	28
	3.1.6 $c$ als Maximalgeschwindigkeit und Kausalitätsprinzip . . . . .	29
	3.1.7 Transformation von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen . . . . .	31
3.2	Lorentz-Kontraktion . . . . .	35
	3.2.1 Fotografische Momentaufnahmen schnell bewegter Körper . . . . .	37
3.3	Zeitdilatation . . . . .	42
	3.3.1 Theoretische Ableitung . . . . .	42
	3.3.2 Experimenteller Nachweis . . . . .	43
	3.3.3 Direkt beobachtbare Zeitveränderungen . . . . .	46
3.4	Minkowski-Diagramme . . . . .	47
	3.4.1 Lorentz-Kontraktion und Zeitdilatation . . . . .	48
	3.4.2 Lichtkegel, Vergangenheit und Zukunft . . . . .	49
3.5	Kinematische Paradoxa . . . . .	51
	3.5.1 Garagenparadoxon . . . . .	52
	3.5.2 Skifahrerparadoxon . . . . .	53
	3.5.3 Zwillingsparadoxon . . . . .	55

3.6	Vektoren und Tensoren in der vierdimensionalen Raum-Zeit . . . . .	60
3.6.1	Koordinatenabhängige Definition von Tensoren . . . . .	60
3.6.2	Metrik, Skalarprodukt, Heben und Senken von Indizes . . . . .	64
3.6.3	Sätze über Tensoren und Lorentz-Transformation . . . . .	67
	Exkurs 3.1: Zusammenhang zwischen koordinatenab- und unabhängiger Formulierung der Tensorrechnung . . . . .	70
	Aufgaben . . . . .	72
<b>4</b>	<b>Relativistische Mechanik</b>	<b>74</b>
4.1	Vorbetrachtungen . . . . .	74
4.1.1	Zur Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse . . . . .	74
4.1.2	Äquivalenz von Masse und Energie . . . . .	76
4.2	Vierervektoren der Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft . . . . .	76
4.3	Relativistische Bewegungsgleichung eines einzelnen Massenpunktes . . . . .	79
4.4	Relativistische Bewegungsgleichungen für Systeme von Massenpunkten	82
4.4.1	Zweierstöße . . . . .	83
4.4.2	Inelastische Stöße mit Teilchenerzeugung und -vernichtung . . . . .	86
4.5	Relativistische kinetische Energie und Energie-Masse-Äquivalenz . . . . .	88
4.6	Photonenmasse . . . . .	90
4.7	Äquivalenz von träger und schwerer Masse . . . . .	91
4.8	Tachyonen . . . . .	92
4.9	Energie-Impuls-Tensor . . . . .	93
4.9.1	Einzelner Massenpunkt . . . . .	93
4.9.2	System von Massenpunkten . . . . .	95
	Exkurs 4.1: Plädoyer für die bewegte Masse . . . . .	96
4.10	Lagrange- und Hamilton-Formulierung der Bewegungsgleichung . . . . .	97
4.10.1	Systemabhängige Formulierung . . . . .	97
4.10.2	Invariante Formulierung . . . . .	99
4.11	Spezielle Probleme . . . . .	103
4.11.1	Relativistische Weltraumfahrt . . . . .	103
4.11.2	Lösung der Gleichungen für den elastischen Stoß . . . . .	105
4.11.3	Schwellenenergie bei inelastischen Stößen . . . . .	112
4.12	Mechanik idealer Flüssigkeiten . . . . .	114
4.12.1	Druckfreie Flüssigkeiten . . . . .	114
4.12.2	Flüssigkeiten mit isotropem Druck . . . . .	116
	Aufgaben . . . . .	118
<b>5</b>	<b>Relativistische Formulierung der Elektrodynamik</b>	<b>120</b>
5.1	Kovariante Formulierung der Maxwell-Gleichungen . . . . .	120
5.2	Transformation der elektromagnetischen Feldgrößen . . . . .	123
5.2.1	Transformation von $\mathbf{E}$ , $\mathbf{B}$ , $\rho_{\text{el}}$ und $\mathbf{j}$ . . . . .	123
5.2.2	Transformationsinvarianten . . . . .	124
5.3	Maxwell-Gleichungen und Ohmsches Gesetz in Materie . . . . .	126
5.4	Kovariante Darstellung avancierter und retardierter Potentiale . . . . .	127
5.5	Potentiale und Felder einer beschleunigten Punktladung . . . . .	129
5.6	Teilchenbewegung im elektromagnetischen Feld . . . . .	132

5.7	Energie- und Impulserhaltung . . . . .	136
5.8	Elektromagnetische Theorie des Elektrons . . . . .	137
5.9	Doppler-Verschiebung und Aberration . . . . .	139
5.10	Strahlungsprobleme bei der Bewegung geladener Teilchen . . . . .	141
	5.10.1 Energie- und Impulsabgabe eines strahlenden Teilchens . . . . .	142
5.11	Lorentz-Dirac-Gleichung . . . . .	145
	5.11.1 Heuristische Ableitung . . . . .	145
	Exkurs 5.1: Skizze der Diracschen Ableitung . . . . .	147
	5.11.2 Eigenschaften der Lorentz-Dirac-Gleichung . . . . .	148
	5.11.3 Lösung mit Strahlung und ohne Strahlungsreaktion . . . . .	151
	Aufgaben . . . . .	154
<b>6</b>	<b>Beschleunigte Bezugssysteme in der SRT</b>	<b>156</b>
<b>II</b>	<b>Allgemeine Relativitätstheorie</b>	<b>159</b>
<b>7</b>	<b>Einführung in die ART</b>	<b>161</b>
	Aufgaben . . . . .	164
<b>8</b>	<b>Geometrische und physikalische Grundlagen der ART</b>	<b>165</b>
8.1	Geometrische Grundlagen . . . . .	165
	8.1.1 Gaußsche Geometrie gekrümmter Flächen . . . . .	166
	8.1.2 Riemannsche Geometrie . . . . .	169
	8.1.3 Finsler-Geometrie . . . . .	170
8.2	Geometrie und physikalische Raum-Zeit . . . . .	174
	8.2.1 Eigenschaften der Raum-Zeit . . . . .	174
	8.2.2 Realisierung räumlicher und zeitlicher Koordinaten . . . . .	175
8.3	Relativitätsprinzipien, Machsches Prinzip und Äquivalenzprinzip . . . . .	178
	8.3.1 Relativitätsprinzip der Newtonschen Theorie . . . . .	178
	8.3.2 Relativitätsprinzip der SRT . . . . .	179
	8.3.3 Machsches Prinzip . . . . .	179
	8.3.4 Äquivalenzprinzip . . . . .	182
8.4	Folgerungen aus dem Äquivalenzprinzip . . . . .	188
	8.4.1 Metrik der ART . . . . .	188
	8.4.2 Relativitätsprinzip der ART . . . . .	196
8.5	Grundlagen der Gravitationstheorie . . . . .	197
8.6	ART und Machsches Prinzip . . . . .	199
	Aufgaben . . . . .	199
<b>9</b>	<b>Mathematische Grundlagen der ART</b>	<b>200</b>
9.1	Koordinatenabhängige Definition von Vektoren und Tensoren . . . . .	200
9.2	Tensoralgebra . . . . .	203
	9.2.1 Invarianz von Symmetrien . . . . .	204
	9.2.2 Übertragung von Symmetrien . . . . .	204
	9.2.3 Quotientenkriterium . . . . .	204

9.2.4	Folgerungen aus dem Quotientenkriterium . . . . .	205
9.2.5	Spezielle Tensoren . . . . .	205
9.2.6	Heben und Senken von Indizes, Skalarprodukt . . . . .	206
9.2.7	Eigenschaften des metrischen Tensors $g_{\mu\nu}$ . . . . .	207
9.2.8	Orthogonale, zeitorthogonale und synchrone Koordinaten . . . . .	208
9.2.9	Skalare und tensorielle Dichten . . . . .	210
9.3	Tensoranalysis . . . . .	211
9.3.1	Kovariante Ableitung . . . . .	211
9.3.2	Parallelität im Kleinen und Paralleltransport . . . . .	215
9.3.3	Skalarprodukt und Paralleltransport . . . . .	216
9.3.4	Anschauliche Deutung der kovarianten Ableitung . . . . .	216
9.3.5	Zusammenhang zwischen $\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}$ und $g_{\mu\nu}$ . . . . .	217
9.3.6	Kovariante Rotation . . . . .	218
9.3.7	Kovariante Divergenz von Vektoren und Gaußscher Satz . . . . .	218
9.3.8	Kovariante Ableitung von Tensoren . . . . .	220
9.4	Geodätische Linien . . . . .	220
9.5	Krümmungstensor . . . . .	222
9.5.1	Paralleltransport auf geschlossenen Kurven . . . . .	224
9.5.2	Global pseudo-euklidischer Raum . . . . .	226
9.5.3	Eigenschaften des Krümmungstensors . . . . .	228
9.5.4	Ricci-Tensor und Krümmungsskalar . . . . .	229
9.6	Formulierung von Naturgesetzen mit Hilfe von Tensoren . . . . .	230
	Exkurs 9.1: Koordinatenunabhängige Einführung von Vektoren und Tensoren . . . . .	231
Aufgaben	. . . . .	239
<b>10</b>	<b>Physikalische Grundgesetze in der ART</b>	<b>241</b>
10.1	Messung von Zeiten und Längen in der ART . . . . .	241
10.1.1	Messung in Nichtinertialsystemen . . . . .	242
10.1.2	Endliche Eigenzeitintervalle . . . . .	250
10.2	Mechanik . . . . .	251
10.2.1	Bewegungsgleichung für Massenpunkte . . . . .	251
10.2.2	Physikalische Impulse und Geschwindigkeiten . . . . .	253
10.2.3	Newtonscher Grenzfall für Einzelteilchen im Schwerfeld . . . . .	254
10.2.4	Erhaltungssätze beim freien Fall . . . . .	255
10.2.5	Relativbewegung im inhomogenen Schwerfeld . . . . .	256
10.2.6	Mechanik idealer Flüssigkeiten . . . . .	258
10.3	Elektrodynamik . . . . .	258
10.3.1	Maxwell-Gleichungen der ART . . . . .	258
10.3.2	Ladungserhaltung . . . . .	260
10.4	Kopplung von Mechanik und Elektrodynamik . . . . .	261
10.5	Lorentz-Dirac-Gleichung der ART . . . . .	264
10.6	Einsteinsche Feldgleichungen im Vakuum . . . . .	266
10.7	Einsteinsche Feldgleichungen mit Materie . . . . .	267
10.7.1	Freiheiten bei der Lösung der Feldgleichungen . . . . .	271
10.8	Materietensor für ein System geladener Punktteilchen . . . . .	273

10.9	Hilbertsches Variationsprinzip . . . . .	274
10.10	Energie des Gravitationsfeldes in der Newton-Theorie . . . . .	276
	10.10.1 Reine Newton-Theorie . . . . .	277
	10.10.2 Speziellrelativistisch modifizierte Newton-Theorie . . . . .	277
10.11	Energie-Impuls-Komplex . . . . .	282
	10.11.1 Lokale und globale Erhaltungssätze . . . . .	285
	10.11.2 Definition von Massen und Feldenergien. . . . .	289
10.12	Symmetrie und Erhaltungssätze . . . . .	289
	Exkurs 10.1: Ungeladene Teilchen in inhomogenen Schwerfeldern* . . . . .	290
	Aufgaben . . . . .	291
<b>11</b>	<b>Einfache Anwendungen der ART</b>	<b>292</b>
11.1	Schwarzschild-Lösung . . . . .	292
	11.1.1 Allgemeine Metrik mit räumlicher Kugelsymmetrie . . . . .	292
	11.1.2 Christoffel-Symbole und Ricci-Tensor bei Kugelsymmetrie . . . . .	294
	11.1.3 Lösung der Vakuum-Feldgleichungen . . . . .	296
	11.1.4 Kruskal-Form der Schwarzschild-Metrik . . . . .	300
11.2	Bewegung eines Punktteilchens im Schwarzschild-Feld . . . . .	303
	11.2.1 Periheldrehung gebundener Bahnen . . . . .	305
	11.2.2 Eigenzeit in einem Satelliten . . . . .	307
	11.2.3 Freier Fall in radialer Richtung . . . . .	308
	11.2.4 Schwerebeschleunigung im Schwarzschild-Feld . . . . .	313
11.3	Ausbreitung von Licht im Schwarzschild-Feld . . . . .	314
	11.3.1 Grundgleichungen . . . . .	314
	11.3.2 Lichtablenkung . . . . .	316
	11.3.3 Gravitationslinsen . . . . .	319
	11.3.4 Einfang von Licht . . . . .	320
11.4	Rotverschiebung von Spektrallinien im Gravitationsfeld . . . . .	322
	11.4.1 Beobachtung von Unter- und Überlichtgeschwindigkeiten . . . . .	324
	Aufgaben . . . . .	325
<b>12</b>	<b>Linearisierte Feldgleichungen und Gravitationswellen</b>	<b>326</b>
12.1	Linearisierung der Feldgleichungen . . . . .	326
12.2	Lösung der inhomogenen Gravitationswellengleichung . . . . .	329
12.3	Ebene Gravitationswellen . . . . .	330
12.4	Zur Energie von Gravitationswellen . . . . .	331
12.5	Wirkung von Gravitationswellen auf Probeteilchen . . . . .	333
12.6	Experimente zum Nachweis von Gravitationswellen . . . . .	334
12.7	Existenz und indirekter Nachweis von Gravitationswellen . . . . .	335
	Aufgaben . . . . .	336
<b>13</b>	<b>Radialsymmetrische Lösungen der Feldgleichungen mit Materie</b>	<b>337</b>
13.1	Sternleichgewicht . . . . .	339
	13.1.1 Gleichungen für statisches Gleichgewicht . . . . .	339
	13.1.2 Gleichgewichtslösung für konstante Dichte . . . . .	342
	13.1.3 Massendefekt . . . . .	343

13.1.4	Energie-Komplex und Gravitationsfeldenergie des Sterns* . . . .	345
13.1.5	Neudefinition der Bestandteile des Energie-Impuls-Komplexes* . . . .	351
13.2	Kugelsymmetrischer Gravitationskollaps . . . . .	353
13.2.1	Übergang zu mitbewegten Koordinaten . . . . .	353
13.2.2	Feldgleichungen für den Kollaps eines druckfreien Gases konstanter Dichte . . . . .	354
13.2.3	Lösung der Feldgleichungen . . . . .	355
	Exkurs 13.1: Energiekomplex kollabierender Sterne und Energie des Gravitationsfeldes* . . . . .	360
13.3	Schwarze Löcher . . . . .	362
13.3.1	Hawking-Strahlung schwarzer Löcher . . . . .	365
	Aufgaben . . . . .	366

**III Einführung in die Kosmologie 367**

**14 Einführung 369**

14.1	Historischer Rückblick . . . . .	371
14.2	Zur empirischen Struktur des Universums . . . . .	378

**15 Newton- und SRT-Kosmologie 385**

15.1	Newtonsche und pseudo-Newtonsche Kosmologie . . . . .	385
15.1.1	Grundgleichungen und Hubblesches Expansionsgesetz . . . . .	385
15.1.2	Übergang zu mitbewegten Koordinaten . . . . .	389
15.1.3	Ableitung der kosmologischen Gleichungen in mitgeführten Koordinaten . . . . .	390
15.1.4	Interpretation und Gültigkeitsgrenzen . . . . .	391
15.1.5	Kosmologische Kraft . . . . .	392
15.1.6	Kosmologische Gleichungen mit kosmologischer Kraft . . . . .	394
15.1.7	Statische Lösung . . . . .	396
15.1.8	Stationäre Lösung . . . . .	397
15.1.9	Rein Newtonsche Lösungen mit Urknall . . . . .	398
15.2	SRT-Modell von Milne . . . . .	399
	Aufgaben . . . . .	402

**16 Mathematische Grundlagen der ART-Kosmologie 404**

16.1	Symmetrische Räume, Bewegungsgruppen und Killing-Vektoren . . . . .	404
16.2	Homogenität, Isotropie und maximale Symmetrie . . . . .	408
16.3	Metrik maximal symmetrischer Räume . . . . .	414
16.3.1	Raumartige Räume maximaler Symmetrie . . . . .	415
16.3.2	Maximal symmetrische Raum-Zeit . . . . .	416
16.3.3	Homogenität und Isotropie in einem Unterraum . . . . .	417
16.3.4	Räumlich homogene und isotrope Raum-Zeit . . . . .	418
16.4	Maximal forminvariante Tensoren in maximal symmetrischen Räumen . . . . .	421
	Aufgaben . . . . .	423

<b>17</b>	<b>Kosmographie</b>	<b>428</b>
17.1	Kosmologisches Prinzip und Robertson-Walker-Metrik . . . . .	428
17.2	Abstands- und Zeitmessung . . . . .	430
17.3	Expansion und Kontraktion des Weltalls . . . . .	432
17.4	Teilchen- und Ereignishorizont . . . . .	434
17.5	Bewegung von Teilchen . . . . .	438
17.6	Rotverschiebung . . . . .	439
	17.6.1 Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Ort bzw. Zeit der Lichtemission . . . . .	441
17.7	Zum Olbersschen Paradoxon . . . . .	445
	Aufgaben . . . . .	447
<b>18</b>	<b>Hydro-, Thermo- und Elektrodynamik des kosmischen Substrats</b>	<b>449</b>
18.1	Hydrodynamik des kosmischen Substrats . . . . .	449
18.2	Thermodynamik relativistischer Fluide . . . . .	453
	18.2.1 Zustandsgleichungen . . . . .	453
	18.2.2 Kosmische Hintergrundstrahlung . . . . .	455
	18.2.3 Entropie und Entropiesatz . . . . .	459
18.3	Skalenverhalten von Druck, Dichte und Temperatur . . . . .	460
	18.3.1 Entkoppelte Strahlung und Materie . . . . .	460
	18.3.2 Gekoppelte Strahlung und Materie . . . . .	461
18.4	Elektrische Ladung des Universums . . . . .	464
	Aufgaben . . . . .	465
<b>19</b>	<b>Grundgleichungen und Lösungsmannigfaltigkeit</b>	<b>468</b>
19.1	Feldgleichungen der Robertson-Walker-Metrik . . . . .	468
19.2	Erste Folgerungen . . . . .	473
	19.2.1 Urknall . . . . .	473
	19.2.2 Raumkrümmung und Krümmung der Raum-Zeit. . . . .	474
19.3	Druckfreie Lösungen der Friedmann-Lemaître-Gleichung . . . . .	474
	19.3.1 Umformung und Parameterabhängigkeit der Gleichung . . . . .	474
	19.3.2 Einsteins statische Lösung . . . . .	475
	19.3.3 Lösungen ohne Materie . . . . .	476
	19.3.4 Lösungen ohne kosmologische Kraft: Standardmodell . . . . .	477
	19.3.5 Lösungen mit Materie und kosmologischer Kraft . . . . .	479
19.4	Lösungen mit endlichem Druck und $\Lambda=0$ . . . . .	482
	19.4.1 Strahlungsuniversum . . . . .	482
	19.4.2 Entkoppelte Strahlung und Materie . . . . .	483
19.5	Stationäres Universum . . . . .	485
	Aufgaben . . . . .	487
<b>20</b>	<b>Auswahl realistischer Weltmodelle</b>	<b>489</b>
20.1	Komponenten des kosmischen Substrats . . . . .	489
20.2	Grundgleichung und relative Dichteparameter . . . . .	490
20.3	Separate Behandlung verschiedener Evolutionsphasen . . . . .	493
	20.3.1 Materie-Strahlung-Gleichgewicht . . . . .	494

20.3.2	Die ersten zweieinhalb Milliarden Jahre . . . . .	495
20.3.3	Von der Strahlungsentkopplung bis $t = \infty$ . . . . .	497
20.3.4	Einschränkungen des Parameterbereichs für $t \geq t_e$ . . . . .	499
20.4	Bestimmung von $H_0$ , $\Omega_{m0}$ und $\Omega_{A0}$ . . . . .	502
20.5	Favorisiertes Modell . . . . .	505
20.6	Probleme der Weltmodelle . . . . .	509
20.6.1	Durch Urknall gelöste und im Rahmen von Urknallmodellen lösbare Probleme . . . . .	509
20.6.2	Flachheitsproblem . . . . .	510
20.6.3	Problem der fehlenden Masse und dunkle Materie . . . . .	511
	Aufgaben . . . . .	513
<b>21</b>	<b>Frühes Universum und Umwandlungsprozesse im kosmischen Substrat</b> . . . . .	<b>517</b>
21.1	Problem der Anfangssingularität . . . . .	517
21.2	Einfluß von Quanteneffekten . . . . .	518
21.3	Evolutionsszenario . . . . .	520
21.3.1	Ära relativistischer Teilchen und der Strahlung . . . . .	520
21.3.2	Materiedominierte Ära . . . . .	524
21.3.3	Temperaturentwicklung . . . . .	526
	Aufgaben . . . . .	527
<b>22</b>	<b>Nicht expandierende Objekte</b> . . . . .	<b>528</b>
22.1	Einstein-Strauss-Vakuole . . . . .	528
22.2	Berücksichtigung dunkler Energie* . . . . .	531
22.2.1	Ursache von Nichtexpansion . . . . .	533
22.2.2	Zusammenwirken von Expansion und Nichtexpansion . . . . .	535
22.3	Grenzen der Nichtexpansion* . . . . .	535
<b>23</b>	<b>Kosmische Inflation</b> . . . . .	<b>537</b>
23.1	Urknall-Probleme . . . . .	537
23.1.1	Horizontproblem . . . . .	537
23.1.2	Problem der magnetischen Monopole . . . . .	539
23.1.3	Umformulierung des Flachheitsproblems . . . . .	539
23.2	Konzept der kosmischen Inflation . . . . .	539
23.2.1	Beschleunigung der Expansion . . . . .	540
23.2.2	Mindestmaß inflationärer Expansion . . . . .	544
23.2.3	Vermeidung größerer Dichteinhomogenitäten . . . . .	546
23.3	Problemlösungen durch inflationäre Expansion . . . . .	547
23.3.1	Lösung des Problems der Anfangsmasse . . . . .	547
23.3.2	Lösung des Flachheitsproblems . . . . .	548
23.3.3	Lösung des Monopol-Problems . . . . .	548
23.4	Inflation mit skalarem Quantenfeld . . . . .	549
23.4.1	Reines Inflatonfeld $\Phi$ . . . . .	551
23.4.2	Vollständige Inflationsszenarien . . . . .	560
23.5	Vorinflationäre Phase* . . . . .	561

23.5.1	Symmetrisches Universum . . . . .	561
23.5.2	Zeit und Volumen unsymmetrischer Universen* . . . . .	564
	Exkurs 23.1: Lösungen mit inflationärer Zwischenphase . . . . .	567
	Aufgaben . . . . .	571
<b>24</b>	<b>Kausale Struktur des Universums</b>	<b>572</b>
24.1	Urknalluniversen ohne Inflation* . . . . .	572
24.2	Urknalluniversen mit Inflation* . . . . .	576
24.3	Paralleluniversen in einem Multiversum und ewige Inflation . . . . .	578
	24.3.1 Spielzeugmodelle für Fluktuationen* . . . . .	580
	24.3.2 Konsequenzen, Spekulationen und Probleme . . . . .	582
24.4	Globale Energieerhaltung* . . . . .	585
24.5	Anthropisches Prinzip . . . . .	589
	Aufgaben . . . . .	590
	<b>Sachregister</b>	<b>591</b>
	<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>603</b>