



Vorwort	7
Hinweise zur Benutzung	8
 Orientierung am Himmel	9
1 Überblick über typische astronomische Objekte	10
2 Überblick über astronomische Größenordnungen	13
2.1 Entfernungen	13
2.2 Zeiten	14
2.3 Massen	14
3 Tägliche Rotation der Erde	15
4 Jährliche Bewegung der Erde	17
4.1 Erdbahn	17
4.2 Jahreszeiten	19
4.3 Koordinatensysteme	19
4.3.1 Horizontsystem	19
4.3.2 Äquatorialsystem	20
4.3.3 Zusammenhang zwischen Horizont- und Äquatorialsystem	21
4.4 Präzession	22
4.5 Jahreszeitliche Veränderungen am Himmel	23
5 Bewegung und Größe der Planeten	25
5.1 Aspekte	25
5.2 Schleifenbahnen	26
5.3 Siderische und synodische Umlaufdauer	27
5.4 Planetenphasen	29
5.5 Planetendurchmesser	29
 Sonnensystem	31
6 Überblick	32
7 Planeten	33
7.1 Merkur	33
7.2 Venus	34
7.3 Erde	36
7.4 Mars	41
7.5 Jupiter	44
7.6 Saturn	47
7.7 Uranus	49
7.8 Neptun	49
8 Zwergplaneten und Plutoiden	51
8.1 Pluto	51
8.2 Weitere Zwergplaneten	51
9 Kleinkörper	52
9.1 Asteroiden	52
9.2 Kuipergürtel	52
9.3 Oort'sche Wolke	53
9.4 Kometen	53
9.5 Meteoride, Meteore und Meteorite	55
10 Bestimmung von Massen und Bahnparametern	57
10.1 Ellipsengeometrie	57
10.2 Keplergesetze	57
10.3 Gravitation	59
10.3.1 Bestimmung der Erdmasse	60
10.3.2 Bestimmung der Marsmasse	61
10.4 Allgemeine Form des 3. Keplergesetzes	62

11	Computersimulation von Keplerbahnen	64
12	Bewegungen im Gravitationsfeld	66
12.1	Potentielle Energie im Gravitationsfeld	66
12.2	Bewegung auf Kreis- und Ellipsenbahnen	66
12.3	Hohmannbahn	68
13	Entfernungen im Sonnensystem	70



Sonne	71
14 Vermessung der Sonne	72
15 Spektralanalyse	73
15.1 Wellennatur des Lichts	73
15.2 Elektromagnetisches Spektrum	73
15.3 Kontinuierliches Spektrum und Linienspektren	75
15.4 Emissions- und Absorptionsspektren	76
15.5 Deutung der Emissions- und Absorptionsspektren	77
15.6 Sonnenspektrum	79
16 Energieabstrahlung der Sonne	81
16.1 Solarkonstante	81
16.2 Leuchtkraft der Sonne	82
16.3 Strahlungsgesetze	83
16.4 Oberflächentemperatur der Sonne	87
17 Energieerzeugung im Inneren der Sonne	88
17.1 Die Sonne, ein riesiger Ofen?	88
17.2 Gravitationsenergie	88
17.3 Kernenergie	88
17.3.1 Massendefekt und Kernbindungsenergie	89
17.3.2 Massebilanz für die Sonne	90
17.3.3 Bedingungen für die Kernfusion	91
17.3.4 Zentraltemperatur der Sonne	91
17.3.5 Maxwellverteilung	92
17.3.6 Tunneleffekt	92
17.3.7 Fusionsprozesse	93
18 Aufbau der Sonne	95
18.1 Die ruhige Sonne	95
18.2 Beobachtung der Sonne	97
18.3 Die aktive Sonne	98
18.3.1 Sonnenflecken	98
18.3.2 Protuberanzen und Eruptionen	100
19 Terrestrische Wirkungen der Sonne	101



Sterne	103
20 Jährliche trigonometrische Parallaxe	104
21 Bewegung von Sternen	106
21.1 Eigenbewegung	106
21.2 Radialbewegung und Dopplereffekt	107
21.2.1 Einführung	107
21.2.2 Granulation der Sonnenoberfläche	109
21.2.3 Doppelsterne	109
21.2.4 Sonnenrotation	109
22 Extrasolare Planeten	111

23	Leben auf fremden Planeten	113
23.1	Entstehung des Lebens auf der Erde	113
23.2	Entstehung höherer Lebensformen	113
23.3	Kontakt mit ETI	114
24	Sternhelligkeiten	115
24.1	Scheinbare Helligkeit	115
24.2	Absolute Helligkeit	117
25	Spektralklassen	119
26	Hertzsprung-Russell-Diagramm	121
26.1	Einführung	121
26.2	Spektroskopische Entfernungsbestimmung	122
26.3	Bestimmung von Sternradien	123
27	Sternmassen	124
27.1	Doppelsterne	124
27.2	Massebestimmung für Doppelsterne	125
27.3	Masse-Leuchtkraft-Beziehung	127
27.4	Massebestimmung bei Einzelsternen	128
28	Sternentwicklung	129
28.1	Sternentstehung	129
28.2	Vom Infrarot- zum Hauptreihenstern	131
28.3	Hauptreihenstadium	131
28.4	Alter von Sternhaufen	132
28.5	Rote Riesen	134
28.6	Pulsationsveränderliche	135
28.7	Endzustände von Sternen	135
28.7.1	Weiße Zwerge	135
28.7.2	Neutronensterne (Pulsare)	136
28.7.3	Stellare Schwarze Löcher (Kollapsare)	138
29	Masseverlust von Sternen	140
29.1	Planetarische Nebel	140
29.2	Novae	141
29.3	Supernovae	141
29.3.1	Supernovae vom Typ II	142
29.3.2	Supernovae vom Typ Ia	143
29.3.3	Beobachtung von Supernovae	144
30	Überblick	145
30.1	Sternhaufen 007 – ein Sternhaufen aus dem Computer	145
30.2	Entwicklung von Sternen	146
30.3	Entwicklung der Sonne	147
	Großstrukturen im Weltall	149
31	Unser Milchstraßensystem	150
31.1	Milchstraße	150
31.2	Blick auf andere Galaxien	150
31.3	Spiralstruktur	151
31.4	Kugelsternhaufen	151
31.5	Entstehung der Galaxis	152
31.6	Ort der Sonne in der Galaxis.....	153
31.7	Ein supermassereiches Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxis	153
31.8	Aufbau des Milchstraßensystems	155
31.9	Rotation und Masse unseres Milchstraßensystems	155



32	Galaxien	156
32.1	Entfernungsmessung mit Cepheidensternen	156
32.2	Entfernungsmessung mit Supernovae	158
33	Galaxienflucht	159
34	Galaxienhaufen	161
35	Quasare	162
36	Entfernungen	163
37	Kosmologie	165
37.1	Expansion des Universums	165
37.2	Urknall	166
37.3	Alter des Universums	168
37.4	Voids, Filamente, Surveys und Simulationen	168
38	Dunkle Materie und Dunkle Energie	170



Aufgaben aus einem größeren Zusammenhang	172	
1	Musteraufgaben für das Abitur ab 2011	172
2	Weitere Aufgaben	176
2.1	Aufgaben zu den Kapiteln „Orientierung am Himmel“ und „Sonnensystem“	176
2.2	Aufgaben zum Kapitel „Sonne“	180
2.3	Aufgaben zum Kapitel „Sterne“	183
2.4	Aufgaben zum Kapitel „Großstrukturen im Weltall“	192



Anhang	194	
1	Zeitmessung	194
2	Drehbare Sternkarte	195
3	Teleskope	196
3.1	Refraktor	197
3.2	Reflektor	197
3.3	Auflösungsvermögen	197
3.4	Fernrohrmontierungen	198
4	Hinweise	199
5	Stichwortverzeichnis	200
6	Abbildungsverzeichnis	207