

Eckehard W. Mielke

# **Sonne, Mond und ... Schwarze Löcher**

Ein Streifzug durch die moderne Astrophysik

FACETTEN



---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Himmelsbeobachtung</b>	<b>1</b>
1.1 Von Stonehenge bis zu den Mayas . . . . .	1
1.2 Die Wochentage . . . . .	5
1.3 Die klassischen Planeten . . . . .	5
1.4 Orientierung am Sternenhimmel . . . . .	7
1.5 Größenordnung im Universum . . . . .	8
1.6 Entfernung der Sterne am Beispiel Ursa Major . . . . .	11
1.7 Längen- und Breitenkreise auf der Erde . . . . .	13
1.8 Die Himmelskugel . . . . .	15
1.9 Der Lauf der Sonne . . . . .	17
1.10 Das Äquatorsystem . . . . .	19
1.11 Ekliptikalsystem und galaktische Koordinaten . . . . .	21
1.12 Die Erde als Kreisel: Zeitliche Änderung der Koordinaten . . . . .	22
1.13 Optische Teleskope . . . . .	25
1.14 Von der Photoplatte zu den CCDs . . . . .	27
1.15 Biegsame, geteilte und flüssige Spiegel . . . . .	28
1.16 Wahrer Sternort: Verfälschung durch Brechung und Aberration des Lichts . . . . .	29
1.17 Beugung und Speckle-Interferometrie . . . . .	31
1.18 Hubble-Weltraumteleskop . . . . .	35
1.19 Radioastronomie . . . . .	36
1.20 Der infrarote Himmel . . . . .	38
1.21 Durchleuchtung des Himmels im Röntgenbereich . . . . .	41
<b>2 Die Sonne</b>	<b>45</b>
2.1 Geschichte . . . . .	45
2.2 Sonnenflecken: Eine „Hautkrankheit“? . . . . .	47
2.3 Die Rotation der Sonne . . . . .	48
2.4 Der Sonnenfleckenzyklus . . . . .	49
2.5 „Ferndiagnose“ des solaren Magnetfeldes . . . . .	51
2.6 Magnetische Flußröhren im Sonnenplasma . . . . .	53
2.7 Der Sonnendynamo . . . . .	54

2.8	Sonnenobservatorien . . . . .	57
2.9	Das Spektrum der Sonnenscheibe . . . . .	59
2.10	Granulation der Photosphäre . . . . .	61
2.11	Die Chromosphäre . . . . .	63
2.12	Protuberanzen . . . . .	64
2.13	Flares: Magnetische Blitze . . . . .	65
2.14	Sonnenfinsternisse . . . . .	67
2.15	Die Korona . . . . .	70
2.16	Der Sonnenwind . . . . .	72
2.17	Anatomie der Sonne . . . . .	73
2.18	Kernfusion im Inneren der Sonne . . . . .	76
2.19	Die Proton-Proton-Kette . . . . .	77
2.20	Neutrino-Detektoren . . . . .	79
2.21	Solare Neutrinos – neue Ergebnisse von GALLEX . . . . .	81
2.22	Sonnenenergie „statt“ Kernkraft? . . . . .	85
<b>3</b>	<b>Der Mond</b>	<b>87</b>
3.1	Geschichte der Mondbeobachtung . . . . .	87
3.2	Die Mondphasen . . . . .	89
3.3	Mondfinsternis . . . . .	90
3.4	Gebundene Rotation . . . . .	91
3.5	Gezeiten . . . . .	92
3.6	Frühere Mondbewegung in Sedimenten „gespeichert“? . . . . .	95
3.7	Apollo-Raumflüge . . . . .	95
3.8	Mondkrater . . . . .	96
3.9	Die Maria . . . . .	98
3.10	Entstehung der Mondoberfläche . . . . .	99
3.11	Innerer Aufbau . . . . .	101
3.12	Die „Atmosphäre“ des Mondes . . . . .	103
3.13	Der Ursprung des Mondes? . . . . .	104
3.14	Astronomische Observatorien auf dem Mond? . . . . .	105
<b>4</b>	<b>Das Sonnensystem</b>	<b>107</b>
4.1	Rückläufige Bewegung der Planeten? . . . . .	107
4.2	Das Ptolemäische Weltbild . . . . .	108
4.3	Die Kopernikanische Revolution . . . . .	109
4.4	Die Keplerschen Gesetze . . . . .	112
4.5	Hat auch Kepler gemogelt? . . . . .	115
4.6	Übersicht über unser Sonnensystem . . . . .	116
4.7	Die Newtonschen Gesetze der Mechanik . . . . .	120

4.8	Das Newtonsche Gravitationsgesetz . . . . .	120
4.9	„Chaotische“ Planetenbahnen? . . . . .	123
4.10	Saturn: Herr der Ringe . . . . .	127
4.11	Entstehung und Stabilität der Ringe . . . . .	129
<b>5</b>	<b>Die Sterne</b>	<b>132</b>
5.1	Die Milchstraße . . . . .	132
5.2	„Hautfarbe“ der Sterne . . . . .	133
5.3	Sterne im „Prisma“ . . . . .	134
5.4	Wieviel Watt hat ein Sternreaktor? . . . . .	136
5.5	Entfernung der Sterne . . . . .	138
5.6	Hell, heller, am hellsten? . . . . .	139
5.7	Farben-Helligkeits-Diagramm . . . . .	143
5.8	Sternradius . . . . .	144
5.9	„Okkultismus“ bei Doppelsternen . . . . .	145
5.10	Mehr Masse, größere Ausstrahlung! . . . . .	147
5.11	Kernfusion mit Katalysator . . . . .	149
5.12	Sterne als Brutreaktoren . . . . .	152
5.13	Gravitationskollaps: Stellares „Notstrom-Aggregat“ . . . . .	155
5.14	Geburt der Sterne . . . . .	156
5.15	Entwicklungswege . . . . .	158
5.16	Riesenstadium . . . . .	160
5.17	Sternhaufen . . . . .	161
5.18	Cepheiden als pulsierende „Standardkerzen“ . . . . .	162
5.19	Pirouette mit Anhang? . . . . .	165
<b>6</b>	<b>Weißer Zwerge</b>	<b>166</b>
6.1	Der kleine Begleiter des Sirius . . . . .	166
6.2	Der Weg zum Zwerg – über eine „Schlankheitskur“ . . . . .	168
6.3	Entstehung der Sonne . . . . .	172
6.4	Von der Sonne zum Zwerg . . . . .	173
6.5	Novae: Wenn Zwerge „aus der Haut fahren“ . . . . .	174
6.6	Die Novae im Schwan . . . . .	176
<b>7</b>	<b>Supernovae</b>	<b>178</b>
7.1	Kandidatenauswahl . . . . .	178
7.2	Stern-Katastrophen . . . . .	179
7.3	Supernova-Typen . . . . .	182
7.4	Die Felszeichnungen im Navaho-Cañon und der Crabnebel . . . . .	183
7.5	Überreste der Explosionswolke . . . . .	184

7.6	Die Supernova von 1987 . . . . .	186
7.7	Extrasolare Neutrino-Astronomie . . . . .	188
7.8	Die Supernova 1987A – der aktuelle Stand . . . . .	190
7.9	Röntgenstrahlung und Radioringe von SN 1993J . . . . .	191
7.10	Supernovae als kosmische Leuchtfeuer? . . . . .	192
<b>8</b>	<b>Pulsare und Neutronensterne</b>	<b>195</b>
8.1	Der erste Radiopulsar: Signale von ET? . . . . .	195
8.2	Pulsare: „Leuchttürme“ im All . . . . .	195
8.3	Anatomie eines Neutronensterns . . . . .	196
8.4	Rotierende Neutronensterne . . . . .	200
8.5	Magnetfeld eines rotierenden Neutronensterns . . . . .	201
8.6	Der Crab-Pulsar . . . . .	204
8.7	Röntgen- und Gamma-Pulsare . . . . .	205
8.8	Die genaueste Pulsar-Uhr . . . . .	207
8.9	Der Doppelsternpulsar PSR 1913+16 . . . . .	209
8.10	Die „Keplerbahn“ des Doppelsternpulsars . . . . .	210
8.11	Effekte der Raumzeit-Krümmung . . . . .	212
8.12	Gravitationswellen: Ein neues „Fenster“ zum All? . . . . .	213
8.13	Einstein wäre begeistert . . . . .	218
<b>9</b>	<b>Schwarze Löcher</b>	<b>221</b>
9.1	Grenzdien im Universum . . . . .	221
9.2	Geschwindigkeitsbegrenzung im Kosmos . . . . .	223
9.3	Äquivalenzprinzip und Raumzeit-Krümmung . . . . .	228
9.4	Raumzeit eines kollabierenden Sterns . . . . .	230
9.5	Die Suche nach Schwarzen Löchern . . . . .	236
9.6	Die Schwarzen Löcher im Schwan . . . . .	238
9.7	Rotierende Schwarze Löcher . . . . .	239
9.8	Akkretionsscheiben um Schwarze Löcher . . . . .	242
9.9	Sagittarius A*: Ein „arbeitsloses“ Schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße? . . . . .	245
9.10	Energiequelle aktiver Galaxienkerne und Quasare? . . . . .	246
9.11	Schwarze Löcher als Gravitationslinsen? . . . . .	249
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>251</b>
	<b>Namen- und Sachwortverzeichnis</b>	<b>270</b>