

Band 1
Teil I Beobachtungsinstrumente und -methoden
1 Beobachtungen mit bloßem Auge 2 Atmosphäre der Erde 3 Optische Teleskope 4 Astrophotographie 5 Photometrie 6 Spektroskopie 7 Polarimetrie 8 Hochauflösende Astronomie 9 Radioastronomie 10 Ultraviolett- und Infrarotastronomie 11 Röntgen-, Gamma- und Neutrinoastronomie 12 Gravitationswellenastronomie 13 Virtuelles Observatorium 14 Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Band 2		
Teil II Astronomische Grundlagen	Teil III Unser Sonnensystem	Teil IV Aufbau und Entwicklung der Sterne
15 Strahlung und Helligkeit	23 Sonne	33 Aufbau der Sterne
16 Entfernungen im Weltall	24 Erdmond	34 Zustandsdiagramme
17 Koordinatensysteme	25 Planeten und ihre Monde	35 Entstehung der Sterne
18 Chronologie	26 Zwerg- und Kleinplaneten	36 Entwicklung der Sterne
19 Teilchenphysik	27 Kometen	37 Weiße Zwerge
20 Physik des Lichtes	28 Meteore und Meteoriten	38 Neutronensterne
21 Magnetismus	29 Planeten- und Kometenbahnen	39 Pulsare
22 Akkretion	30 Ephemeriden u. Bahnbestimmung	40 Schwarze Löcher
	31 Entstehung des Planetensystems	
	32 Exoplaneten und Astrobiologie	

Band 3		
Teil V Unser Milchstraßensystem	Teil VI Extragalaktischer Kosmos	Teil VII Anhang
41 Milchstraße 42 Interstellare Materie 43 Galaktische Nebel 44 Planetarische Nebel 45 Sternhaufen 46 Doppelsterne 47 Veränderliche Sterne 48 Super- und Hypernovae	49 Galaxien 50 Aktive Galaxien 51 Gravitationslinsen 52 Kosmologie	A Zeittafeln B Raumsonden C Energieressourcen der Erde D Polarimeter mit Wollaston-Prisma E Analoge Photographie F Infrarot-Landschaftsphotographie G Ausgleichsrechnung H Kataloge I Periodika J Glossar K Klassifikation veränderlicher Sterne L Parameter für DCRAW M Lösungen der Aufgaben N Literatur und Quellennachweis O Personenregister P Sachregister

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1	Beobachtungen mit bloßem Auge	37	Motivation 37 Hilfsmittel 38 Smartphone 40 Sternkarten 44 Sternbilder 52	Montierungen 131 Nachführfehler 134 Ausrichtung einer parallaktischen Montierung 135 Scheiner-Methode 136 Lüthen-Kahlhöfer-Methode 138 Stative 141 Tauschutz 143 Selbstbau 145 Zubehör 150 Kauftipps 151
2	Atmosphäre der Erde	55	Aufbau 55 Atmosphärische Fenster 57 Warum der Himmel blau ist? 58 Extinktion 59 Refraktion 62 Szintillationsrauschen 63 Himmelshelligkeit 64 Angaben zur Beobachtung 66 Wetter 68 Solar-terrestrische Beziehungen 74 Luftleuchten 75 Polarlichter 76 Nachtleuchtende Wolken 78 Haloerscheinungen 80 Grüner Strahl 84 Zodiakallicht 85 Dämmerung 87	4 Astrophotographie 155 Einleitung 155 Aufnahmeverfahren 156 Sternfeldaufnahmen 156 Fokalaufnahmen 159 Projektionsaufnahmen 163 Bildgröße 164 Belichtungszeit 164 Filter 168 Digitaltechnik 173 Kameraobjektiv 190 Aufnahmesoftware 192 Fokussierung 198 Hintergrund des Bildes 200 Nachbearbeitung am PC 214 Bildüberlagerung 216 Ebnen und Glätten 217 Kontrastverstärkung 223 Schärfung 225 PixInsight 230 Astrophotographie mit Smartphone 231 Lösungen für Probleme 245
3	Optische Teleskope	89	Fernrohrtypen 90 Remote-Teleskope 97 Optische Abbildungsfehler 99 Objektive 103 Okulare 114 Zusatzoptiken 118 Vergrößerung 120 Blickfeld 123 Lichtstärke 123 Auflösungsvermögen 125 Luftunruhe (Seeing) 129	

5	Photometrie	247	6	Spektroskopie	311
Einleitung	247		Spektrograph	311	
Photographische Photometrie	248		Spektrographen im Handel	318	
Visuelle Schätzung	250		Spaltlose Spektroskopie	320	
Schätzung mit künstl. Vergleichsquelle	252		Objektivgitter	329	
Interpolationsmethode nach Pickering	253		Aufnahmen von Spektren	338	
Stufenschätzmethode nach Argelander	254		Kalibrierung	344	
Digitalphotometrie	259		Spektrallinien	352	
Dateiformat und Sättigung	260		Energiesparlampe	360	
Punktspreizfunktion (PSF)	263		Themengebiete	362	
Farbphotometrie	264		Spektralklassifikation	364	
Messmethoden	265		Vermessung der Linien	375	
Umrechnungsfunktion	270		Äquivalentbreite	385	
Extinktion	275		Spektrumsphotometrie	391	
Genauigkeit	277		Jugend forscht	397	
JPEG und Sättigung	284				
Zeitangaben	288				
Photometrie am Tage	289				
Photometriesoftware	292				
Aufgabenbereiche	308				
Zusammenfassung und Ausblick	310				

Teil I

Beobachtungsinstrumente (Fortsetzung)

7	Polarimetrie	399	Meteore 507 Astropeiler Stockert 511 Sat-TV-Radioteleskop 511 Amateur-Radioteleskop ‚Spider 230‘ 517
8	Hochauflösende Astronomie	447	10 Ultravioletts- und Infrarotastronomie 523 UV-Satelliten 523 IR-Forschung 524 IR-Satelliten und -sonden 526 IR-Bänder 526 Kühlung 526 IR für Amateure 527 1- μ m-Amateurastronomie 528
9	Radioastronomie	467	11 Röntgen-, Gamma- und Neutrinoastronomie 537 Satelliten 537 Röntgenteleskope 538 Wolter-Teleskop 538 Gammadetektoren 539 Gammaspektrometer 539 Fluoreszenz-Teleskop 540 Tscherenkow-Teleskope 540 Neutrino-Observatorium 542
12	Gravitationswellenastronomie	545	Gravitationswellen 545 Detektoren für Gravitationswellen 546 Gravitationsstrahlung eines Binärsystems 557 Gravitationswellenobjekte 562

13	Virtuelles Observatorium	575	14	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	627
Einleitung	575		Überblick	627	
Data-Mining	576		ProAm-Kampagnen	629	
Kataloge	577		Amateure unter sich	630	
Bedienung	586		Einzelobjekte	632	
Werkzeuge	615		Beifang in Deep-Sky-Bildern	638	
Citizen-Science (Bürgerwissenschaft)	623		Veränderliche in der Nähe bekannter Deep-Sky-Objekte	641	
Zooniverse	624		Delta-Scuti-Stern bei M 27	652	
			Veränderliche bei M 33	658	
			Bedeckungsveränderlicher bei NGC 4490	673	
			W-Ursae-Majoris-Stern bei NGC 4565	680	

Teil II

Astronomische Grundlagen

15	Strahlung und Helligkeit	691	18	Chronologie	753
	Strahlungsintensität 691			Zeitmessung 753	
	Strahlungsstrom 691			Gregorianischer Kalender 761	
	Photometrische Systeme 692			Jahreslängen 762	
	Auge 698			Monatslängen 762	
	RGB-Systeme 699			Julianisches Datum 763	
	Referenzfeld M 67 705			Osterformel 766	
	Polsequenz 707				
	Farbindex 711		19	Teilchenphysik	767
	Bolometrische Korrektur 712			Elementarteilchen 767	
	Größenklassen 713			Wechselwirkung 770	
	Helligkeit der Sonne 714			Loop-Quantengravitation 774	
	Weber-Fechner-Gesetz 714			Vakuumfluktuation 776	
	Entfernungsmodul 715				
	Helligkeiten der Planeten 715		20	Physik des Lichtes	779
	Farbskalen 718			Strahlungsgesetze 779	
16	Entfernungen im Weltall	721		Welle-Teilchen-Dualismus 781	
	Einheiten 721			Lichtgeschwindigkeit 783	
	Methoden 722			Lichtablenkung 784	
	Parallaxe 724			Lichtbrechung 785	
	Dispersionsmaß 728			Reflexion und Vergütung 789	
	Leuchtkraftentfernung 730			Spektrum 790	
17	Koordinatensysteme	735		Doppler-Effekt 797	
	Himmelskoordinaten 735			Zeeman-Effekt 799	
	Umrechnung der Koordinaten 738			Tscherenkow-Strahlung 799	
	Präzession 740			Poynting-Robertson-Effekt 800	
	Umrechnung des Äquinoktiums 741			Jarkowski-Effekt 800	
	Referenzsystem 743			YORP-Effekt 800	
	Sichtbarkeit eines Gestirns 744				
	Bestimmung des geographischen Ortes 744				
	Koordinatennetze der Himmelskörper 747				

21 Magnetismus

- Einleitung 803
- Einheiten 804
- Entstehung 805
- Synchrotronstrahlung 806
- Messung 808
- Erdmagnetfeld 808
- Van-Allen-Gürtel 810
- Magnetische Stürme 811
- Sonne 812

803

22 Akkretion

- Einleitung 817
- Protostern 818
- Supernova 818
- Mikroquasar 819
- Quasar 819
- Akkretionsscheibe 820
- Gammaburster 825

817

Teil III

Unser Sonnensystem

23	Sonne	829	Merkur 920 Venus 923 Erde 930 Mars 933 Jupiter 939 Saturn 950 Uranus 960 Neptun 964
24	Erdmond	891	26 Zwerp- und Kleinplaneten 967 Übersicht 967 Kommensurabilitäten 970 Erdnahe Objekte 971 Kollisionsrisiko 972 Zwerpplaneten 974 Einzelobjekte 975 Interstellare Objekte 986 Beobachtung 988
25	Planeten und ihre Monde	913	27 Kometen 995 Einleitung 995 Kern und Staubkoma 995 Koma 997 Schweif 997 Chemische Zusammensetzung 999 Bahnen 999 Namensgebung 1000 Einzelobjekte 1001 Beobachtung 1010
28	Meteore und Meteorite	1019	Begriffe 1019 Übersicht 1020 Meteorströme 1021 Historische Einschläge 1024 Visuelle Beobachtung 1028 Radiobeobachtungen 1030

29	Planeten- und Kometenbahnen	1037	31	Entstehung des Planetensystems	1071
Kepler-Problem	1037		Historische Weltbilder	1071	
Kepler'sche Gesetze	1041		Entstehung der Planeten	1072	
Synodische Umlaufzeit	1042		Einzelphänomene	1078	
Librationspunkte	1044				
Hill-Sphäre	1044				
Bahnelemente und Koordinatensysteme	1045				
Bahnelemente der Planeten	1047				
30	Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung	1049	32	Exoplaneten und Astrobiologie	1083
Wahre Anomalie	1049		Exoplaneten	1083	
Ephemeridenrechnung	1053		Astrobiologie	1103	
Bahnbestimmung	1058				

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

33 Aufbau der Sterne	1117	36 Entwicklung der Sterne	1199
Einleitung 1117		Einleitung 1199	
Populationen 1118		Zeitskalen 1200	
Masse 1119		Entartung 1201	
Radius 1125		Schönberg-Chandrasekhar-Grenze 1202	
Dichte 1129		Kritische Masse 1203	
Temperatur 1129		Brenndauer bei massereichen Sternen 1204	
Schwerebeschleunigung 1133		Abzweigen von der Hauptreihe 1205	
Metallhäufigkeit 1134		Thermische Stabilität 1206	
Kalziumtriplett 1134		Übergang zum Heliumbrennen 1206	
Relationen 1139		Schalenbrennen um einen entarteten	
Rotation 1141		Kern 1208	
Energieprozesse 1142		Unterzwerge 1209	
Konvektionszone 1148		Zweischalenbrennen 1210	
Braune Zwerge 1150		Wiederbelebung Weiße Zwerge 1211	
Sternaufbaurechnungen 1153		Pulsation der Sterne 1211	
		Einzelobjekte 1214	
34 Zustandsdiagramme	1167	Entwicklung eines Binärsystems 1216	
Hertzsprung-Russell-Diagramm 1167		Wechselwirkende binäre Weiße	
Farben-Helligkeits-Diagramm 1171		Zwerge 1218	
Zwei-Farben-Diagramm 1176		Endstadium 1219	
		Massenverlust 1222	
35 Entstehung der Sterne	1181	37 Weiße Zwerge	1225
Einleitung 1181		Einleitung 1225	
Kritische Masse 1181		Zustandsgrößen 1225	
Gasfinger 1185		Stabilität 1231	
Mikroturbulenz 1185		Heliumblitz der zweiten Generation 1233	
Magnetfelder 1185		Spektralklassifikation 1237	
Molekülwolken 1185		Verschmelzung von zwei Weißen	
Bildung von Sternhaufen 1186		Zwergen 1238	
Drehimpulsproblem 1187		Planetarischer Nebel 1240	
Entstehung eines Sterns mit einer		ZZ-Ceti-Sterne 1240	
Sonnenmasse 1190			
Sternentstehungseffizienz 1191			
Lada-Klassen 1191			
IRDC 1192			
Rho Ophiuchi 1194			
MN Lupi 1194			
Epsilon Aurigae 1195			

38	Neutronensterne	1243	40	Schwarze Löcher	1269
Entstehung	1243		Einleitung	1269	
Magnetare	1246		Modelle	1270	
Thermische Röntgen-Neutronensterne	1247		Schwarzschild-Radius	1270	
Quasiperiodische Oszillatoren (QPO)	1248		Gravitationsradius	1271	
Quarksterne	1250		Kerr-Loch	1272	
Rotating Radio Transients (RRAT)	1251		Verschmelzung von Neutronensternen	1272	
Fast Radio Bursts (FRB)	1251		Exotische Alternativen	1273	
Einzelobjekte	1253		Beobachtung	1274	
39	Pulsare	1257	Einzelobjekte	1274	
Physik der Pulsare	1257		Globale Betrachtung	1279	
Einzelobjekte	1262		Hawking-Strahlung	1279	
			Primordiale Schwarze Löcher	1282	
			Intermediäre Schwarze Löcher	1283	
			Supermassereiche Schwarze Löcher	1284	

Teil V

Unser Milchstraßensystem

41	Milchstraße	1291	44	Planetarische Nebel	1359
Aufbau	1291		Allgemeines	1359	
Struktur	1293		Übersicht	1363	
Gaia	1295		Einzelobjekte	1363	
Sternströme und Hyperschnellläufer	1298				
Ausstoß von Wasserstoffwolken	1299				
Gasblasen	1300				
Galaktischer Kern	1300				
Begleiter	1302				
Kollisionen	1302				
42	Interstellare Materie	1305	45	Sternhaufen	1379
Allgemeines	1305		Offene Sternhaufen	1379	
Lokale Blase	1306		Kugelsternhaufen	1388	
Wasserstoffmoleküle H ₂	1307		Entwicklung eines Sternhaufens	1393	
Organische Moleküle	1308		Altersbestimmung	1394	
Interstellare Extinktion	1309				
Interstellare Polarisation	1309				
Farbexzess	1310				
Balmer-Dekrement	1312				
Beobachtung	1314				
43	Galaktische Nebel	1317	46	Doppelsterne	1403
Allgemeines	1317		Einleitung	1403	
Radius von HII-Regionen	1318		Visuelle Doppelsterne	1404	
Übersicht	1320		Astrometrische Doppelsterne	1404	
Beobachtung	1320		Spektroskopische Doppelsterne	1404	
Einzelobjekte	1321		Photometrische Doppelsterne	1404	
Objekte für Teleobjektive	1349		Kataklysmische Systeme	1406	
Herbig-Haro-Objekte	1357		Statistik	1407	
			Systemparameter	1408	
			Radiusbestimmung	1409	
			Massenbestimmung	1410	
			Massenaustausch bei Doppelsternen	1411	
			Beobachtungsobjekte	1414	
			Einzelobjekte	1421	
			Bestimmung von Abstand und		
			Positionswinkel	1433	
			Anwendungsbeispiele	1446	
			Ephemeridenrechnung	1456	

47 Veränderliche Sterne	1459	Systemparameter 1536 (B–R)-Diagramm 1536 Spezielle Objekte 1545 Gemeinschaftslichtkurve 1546 Veröffentlichung der Ergebnisse 1551
Klassifikation 1459		
Pulsationsveränderliche 1462		
Eruptionsveränderliche 1474		
Rotationsveränderliche 1476		
Röntgenveränderliche 1476		
Kataklysmische Veränderliche 1477		
Novae 1488		
Beobachtungsobjekte 1501		
Auswahl der Vergleichssterne 1503		
Lichtkurve 1509		
Bestimmung von Minimums- und Maximumszeitpunkten 1521		
Bestimmung von Minimum und Maximum 1526		
Fehler bei der Minimums- und Maximumsbestimmung 1535		
48 Super- und Hypernovae	1557	
Überblick 1557		
Ursache 1559		
Supernova Typ Ia 1561		
Supernova Typ II 1561		
Lichtkurven 1563		
Lichtecho 1565		
Fast Blue Optical Transients (FBOT) 1566		
Hypernova 1569		
Einzelobjekte 1572		
Supernovaüberreste 1583		

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

49	Galaxien	1593	50	Aktive Galaxien	1647
Einleitung	1593		Einleitung	1647	
Klassifikation	1594		Aktive Galaktische Kerne	1648	
Bildung der Galaxien	1601		Leuchtkraft	1651	
Entstehung der Spiralarme	1602		Eddington-Grenze	1652	
Rotation	1604		Maximalmasse	1653	
Dunkle Materie	1606		Entwicklung von Quasaren	1653	
Zwerggalaxien	1609		Binäre Schwarze Löcher	1655	
Wechselwirkende Galaxien	1611		Quasare	1656	
Starburstgalaxien	1616		Radiogalaxien	1658	
Galaxienhaufen	1617		BL-Lacertae-Objekte	1659	
Super(galaxien)haufen	1619		Blasare	1660	
Massen	1620		Seyfert-Galaxien	1660	
Walls und Voids	1621		N-Galaxien	1661	
Einstein-Straus-Vakuolen	1621		M 87 – Zentralgalaxie des Virgothaufens	1662	
Beobachtungsobjekte	1622				
Objekte für Teleobjektive	1635				
Flächenhelligkeit	1638				
			51	Gravitationslinsen	1665
			Einleitung	1665	
			Physik der Linsen	1665	
			Lichtzeitdifferenzen	1669	
			Kosmische Fäden	1671	
			Abell 1835 IR 1916	1671	
			Mikrolinseneffekt	1672	

52 Kosmologie

Einleitung 1673
Hubble-Gesetz 1674
Expansion 1677
Raumkrümmung 1677
Alter der Welt 1679
Zeitlicher Verlauf der Expansion 1682
Entfernungsmaß 1682
Berechnung d. Entfernung 1687
Evolution des Universums 1693
Temperatur 1694
Planck-Blase 1695
Planck-Ära (Urschaum) 1696

1673

Symmetriebrechung 1.Art
(X-Ära, GUT-Ära) 1697
Kosmische Fäden 1697
Inflation 1699
Symmetriebrechung 2.Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 1701
Symmetriebrechung 3.Art 1701
Hadronen-Ära 1702
Leptonen-Ära 1703
Photonen-Ära 1704
Materie-Ära 1704
Quasare 1708
Kosmische Hintergrundstrahlung 1708
Kosmologische Modelle 1710
Hierarchie im Weltraum 1721

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	1725	H	Kataloge	1779
B	Raumsonden	1733	I	Periodika	1783
C	Energieressourcen der Erde	1741	J	Glossar	1791
	Energieprozesse	1741			
	Reichweite der Vorkommen	1743			
D	Polarimeter mit Wollaston- Prisma	1745	K	Klassifikation veränderlicher Sterne	1795
	Einleitung	1745			
	Konstruktion	1745	L	Parameter für DCRAW	1801
	Dimensionierung der Optik	1746			
	Optomechanik	1747	M	Lösungen der Aufgaben	1803
	Justierung	1747			
	Beschaffung	1747	N	Literatur und Quellen- nachweis	1817
	Test	1748			
E	Analoge Photographie	1753		Bildernachweis	1817
	Einleitung	1753		Quellennachweis	1821
	Photometrie	1754		Literatur	1838
F	Landschaftsphotographie im Infraroten	1763		Jahrbücher	1840
	Einleitung	1763		Fachzeitschriften	1841
	Landschaften bei 807 nm	1765		Sternkataloge	1841
	Landschaften bei 642 nm	1766		PC-Software	1842
G	Ausgleichsrechnung	1773	O	Personenregister	1853
	Mittelwert	1773			
	Lineare Regression	1774	P	Sachregister	1867
	Quadratische Regression	1776			
	Gauß-Fit	1777			