

Auf einen Blick

Teil I

Beobachtungsinstrumente und -methoden

- 1 Beobachtungen
mit bloßem Auge
- 2 Atmosphäre der Erde
- 3 Optische Teleskope
- 4 Astrophotographie
- 5 Photometrie
- 6 Spektroskopie
- 7 Hochauflösende
Astronomie
- 8 Radioastronomie
- 9 Ultraviolett- und
Infrarotastronomie
- 10 Röntgen- und Gamma-
astronomie
- 11 Gravitationswellen-
astronomie

Teil II

Astronomische Grundlagen

- 12 Strahlung und Helligkeit
- 13 Entfernungen im Weltall
- 14 Himmelskoordinaten
- 15 Kalender und Zeit
- 16 Teilchenphysik
- 17 Physik des Lichtes
- 18 Magnetismus

Teil III

Unser Sonnensystem

- 19 Sonne
- 20 Erdmond
- 21 Planeten und ihre
Monde
- 22 Zwerg- u. Kleinplaneten
- 23 Kometen
- 24 Meteore und Meteoriten
- 25 Planeten- und Kometen-
bahnen
- 26 Ephemeridenrechnung
und Bahnbestimmung
- 27 Entstehung des
Planetensystems
- 28 Exoplaneten und
Astrobiologie

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

- 29 Aufbau der Sterne
- 30 Zustandsdiagramme
- 31 Entstehung der Sterne
- 32 Entwicklung der Sterne
- 33 Endstadium der Sterne
- 34 Weiße Zwerge
- 35 Neutronensterne
- 36 Pulsare
- 37 Schwarze Löcher

Teil V

Unser Milchstraßensystem

- 38 Milchstraße
- 39 Interstellare Materie
- 40 Galaktische Nebel
- 41 Planetarische Nebel
- 42 Sternhaufen
- 43 Doppelsterne
- 44 Veränderliche Sterne
- 45 Supernovae

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

- 46 Galaxien
- 47 Aktive Galaxien
- 48 Gravitationslinsen
- 49 Kosmologie

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1	Beobachtungen mit bloßem Auge	33	4	Astrofotographie	119
	Motivation 33			Aufnahmeverfahren 120	
	Hilfsmittel 33			Sternfeldaufnahmen 120	
	Sternkarten 34			Fokalaufnahmen 123	
				Projektionsaufnahmen 125	
				Bildgröße 126	
				Belichtungszeit 126	
2	Atmosphäre der Erde	43		Filter 130	
	Aufbau 43			Digitaltechnik 132	
	Atmosphärische Fenster 46			Aufnahmesoftware 141	
	Warum der Himmel blau ist? 46			Hintergrund des Bildes 145	
	Extinktion 47			Nachbearbeitung am PC 155	
	Refraktion 50			Image Stacking (Bildüberlagerung) 156	
	Szintillationsrauschen 51			Ebenen und Glätten 158	
	Angaben zu einer Beobachtung 52			Kontrastverstärkung 162	
	Taupunkt 54			Schärfung 164	
	Solar-terrestrische Beziehungen 55				
	Haloerscheinungen 57				
3	Optische Teleskope	61	5	Photometrie	169
	Fernrohrtypen 62			Zielsetzung 169	
	Optische Fehler 68			Dynamikbereich 170	
	Objektive 72			Datenformat und Sättigung 170	
	Okulare 81			Punktspreizfunktion (PSF) 173	
	Zusatzoptiken 84			Polsequenz 174	
	Vergrößerung 87			Spektralphotometrie 175	
	Blickfeld 89			Messmethoden 176	
	Lichtstärke 89			Umrechnungsfunktion 181	
	Auflösungsvermögen 92			Extinktion 185	
	Luftunruhe (Seeing) 96			Genauigkeit 187	
	Montierungen 97			JPEG und Sättigung 190	
	Nachführfehler 100			Zeitreferenz 193	
	Ausrichtung e. parallakt. Montierung 101			Aufgabenbereiche 194	
	Scheiner-Methode 102			Zusammenfassung und Ausblick 196	
	Lüthen-Kahlhöfer-Methode 104				
	Stative 107				
	Tauschutz 109				
	Selbstbau 111				
	Zubehör 113				
	Kauftipps 115				

6	Spektroskopie	197	9	Ultraviolett- und Infrarot- astronomie	273
	Spektrograph 197			UV-Satelliten 273	
	Aufnahmen von Spektren 207			IR-Forschung 274	
	Fraunhoferlinien 214			IR-Satelliten und -sonden 275	
	Energiesparlampe 216			IR-Bänder 275	
	Themengebiete 217			IR für Amateure 276	
	Spektralklassifikation 218			Kühlung 277	
	Vermessung der Linien 224				
	Äquivalentbreite 229		10	Röntgen- und Gamma- astronomie	279
	Spektrumsphotometrie 234			Satelliten 279	
	Jugend forscht 238			Röntgenteleskope 280	
7	Hochauflösende Astronomie	239		Wolterteleskop 280	
	Großteleskope 239			Gammadetektoren 281	
	Aktive Optik 240			Tscherenkow-Teleskop 281	
	Adaptive Optik 241			Fluoreszenzteleskop 282	
	Prinzip der Interferometrie 241			Gammaspektrometer 282	
	Radio-Interferometer 243		11	Gravitationswellen- astronomie	283
	Optisches Interferometer 244			Gravitationswellendetektoren 283	
	Speckle-Interferometrie 245			Gravitationswellensender 285	
	Doppler-Tomographie 255				
8	Radioastronomie	257			
	Radioteleskope 257				
	Lofar 259				
	Square Kilometre Array 259				
	Beobachtungstechniken 262				
	Radioquellen 263				
	Physik der Radiostrahlung 264				
	Beteigeuze (α Orionis) 265				
	Einfaches Radioteleskop für Amateure 269				

Teil II

Astronomische Grundlagen

12	Strahlung und Helligkeit	295	15	Kalender und Zeit	339
	Strahlungsintensität	295		Gregorianischer Kalender	339
	Strahlungsstrom	295		Jahreslängen	340
	Photometrische Systeme	296		Monatslängen	340
	Tycho- und Hipparcos-Katalog	300		Julianisches Datum	341
	Augen	301		Osterformel	343
	RGB-Systeme	302		Definition der Sekunde	343
	Referenzfeld M67	306		Definition der Zeit	344
	Polsequenz	307			
	Farbindex	308	16	Teilchenphysik	349
	Gesamthelligkeit	308		Elementarteilchen	349
	Helligkeit der Sonne	309		Quarks	351
	Weber-Fechner-Gleichung	309		Wechselwirkung	352
	Entfernungsmodul	310		Loop-Quantengravitation	356
	Helligkeiten der Planeten	311		Vakuumfluktuation	358
	Farbenskalen	312			
13	Entfernungen im Weltall	315	17	Physik des Lichtes	361
	Einheiten	315		Wellentheorie	361
	Methoden	316		Lichtgeschwindigkeit	363
	Parallaxe	318		Lichtbrechung	364
	Leuchtkraftentfernung	322		Spektrum	367
14	Himmelskoordinaten	327		Doppler-Effekt	373
	Horizontalsystem	327		Zeeman-Effekt	373
	Äquatorialsystem	328		Tscherenkow-Strahlung	374
	Ekliptikalsystem	329		Poynting-Robertson-Effekt	374
	Galaktisches System	330		Jarkowski-Effekt	374
	Supergalaktisches System	330		YORP-Effekt	375
	Umrechnung der Koordinaten	330	18	Magnetismus	377
	Präzession	332		Einleitung	377
	Umrechnung des Äquinoktiums	333		Einheiten	378
	Nutation	334		Entstehung	379
	Tagbogen	334		Messung	380
	Morgen- und Abendweite	334		Einzelobjekte	382
	Bestimmung des geographischen Ortes	336		Erdmagnetfeld	383
				Van-Allen-Gürtel	384

Teil III

Unser Sonnensystem

19 Sonne

Überblick 389
Innerer Aufbau 390
Rotation und Magnetfeld 392
Atmosphäre der Sonne 393
Beobachtung der Sonne 395
Photographie 406
Sonnenfinsternisse 408

20 Erdmond

Überblick 411
Libration 412
Sternbedeckung 413
Durchmesser eines Kraters 414
Zeichnen von Mondkratern 416
Höhe eines Mondberges 419
Mondfinsternisse 422
Lunar Transient Phenomena 424

21 Planeten und ihre Monde

Definition eines Planeten 425
Übersicht 426
Albedo 428
Temperatur 428
Definition Oberfläche bei Gasplaneten 429
Innerer Aufbau 429
Beobachtung 430
Planetographische Koordinaten 431
Merkur 435
Venus 438
Erde 445
Mars 446
Jupiter 450
Saturn 458
Uranus 466
Neptun 469

389

411

425

22 Zwerg- und Kleinplaneten

Entdeckung 471
Entstehung 472
Übersicht 472
Ceres 472
Vesta 473
Kommensurabilitäten 473
Erdnahe Objekte 474
Chiron 475
Sylvia 476
Kuiper-Gürtel 476
Haumea 476
Quaoar 477
Sedna 477
Eris 477
Pluto 477
Kandidaten für Zwergplaneten 479
Beobachtung 479

471

23 Kometen

Aufbau 484
Kern und Staubkoma 484
Koma 485
Schweif 486
Chemische Zusammensetzung 486
Bahnen 487
Namensgebung 488
Einzelobjekte 489
Beobachtung 495

483

24 Meteore und Meteorite

Begriffe 503
Übersicht 504
Meteorströme 504
Historische Einschläge 506
Beobachtung 507

503

25 Planeten- und Kometen- bahnen 509

Keplerproblem 509

Keplersche Gesetze 513

Lagrangepunkte 514

Hill-Sphäre 514

Bahnelemente und Koordinaten-
systeme 515

Bahnelemente der Planeten 517

26 Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung 519

Wahre Anomalie 519

Ephemeridenrechnung 524

Bahnbestimmung 529

27 Entstehung des Planeten- systems 541

Historische Weltbilder 541

Entstehung der Planeten 542

Einzelphänomene 547

Braune Zwerge 550

28 Exoplaneten und Astrobiologie 551

Exoplaneten 551

Astrobiologie 557

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

29 Aufbau der Sterne

565

Relationen 565
Masse 567
Radius 571
Dichte 574
Temperatur 574
Konvektionszone 578
Populationen 580
Energieprozesse 582
Sternaufbaurechnungen 588

30 Zustandsdiagramme

601

Hertzprung-Russel-Diagramm 601
Hayashi-Linie 603
Farben-Helligkeits-Diagramm 604
Zwei-Farben-Diagramm 608

31 Entstehung der Sterne

611

Kritische Masse 611
Gasfinger 615
Mikroturbulenz 615
Magnetfelder 615
Bildung von Sternhaufen 615
Sternentstehungseffizienz 616
Molekülwolken 616
Drehimpulsproblem 617
Entstehung eines Sterns mit einer Sonnen-
masse 618
Lada-Klassen 619
IRDC 620
MN Lupi 621
Epsilon Aurigae 622

32 Entwicklung der Sterne

625

Hydrostatische Zeitskala 625
Kelvin-Helmholtz-Zeitskala 625
Nukleare Zeitskala 626
Schönberg-Chandrasekhar-Grenze 628
Kritische Masse 629
Brenndauer bei massereichen Sternen 629
Abzweigen von der Hauptreihe 630
Thermische Stabilität 631
Übergang zum Heliumbrennen 632
Schalenbrennen um einen entarteten
Kern 633
Zweischalenbrennen 634
Wiederbelebung Weißer Zwerge 635
Pulsation der Sterne 635
Polarstern 638
Beteigeuze 639

33 Endstadium der Sterne

641

Abhängigkeit von der Urmasse 641
Massenverlust 643
Akkretionsscheibe 644

34 Weiße Zwerge

645

Zustandsgrößen 645
Stabilität 648
Helium-Flash der zweiten Generation 650
Spektralklassifikation 651
Planetarischer Nebel 652
ZZ-Ceti-Sterne 652

35 Neutronensterne

Entstehung 655
Abschätzung des Magnetfeldes 656
Abschätzung der Dichte 657
Magnetare 658
Quarksterne 663
RRATs 663

36 Pulsare

Physik der Pulsare 665
Einzelobjekte 670
Entfernungsbestimmung 675
Synchrotronstrahlung 675

655

37 Schwarze Löcher

677

Schwarzschildradius 677
Temperatur 678
Hawking-Effekt 678
Verschmelzung von Neutronensternen 680
Kerrsche Löcher 680
Holosterne und Gravasterne 681
Einzelobjekte 682

665

Teil V

Unser Milchstraßensystem

38 Milchstraße

Aufbau 687
Struktur 688
Sternströme und Schnellläufer 690
Ausstoß von Wasserstoffwolken 690
Gasblasen 690
Galaktischer Kern 691
Begleiter 692
Kollisionskurs 693

39 Interstellare Materie

Allgemeines 695
Lokale Blase 696
Wasserstoffmoleküle H_2 696
Organische Moleküle 697
Interstellare Extinktion 697
Farbexzess 698
Q-Methode 699
Balmerdekrement 700

40 Galaktische Nebel

Allgemeines 703
Radius von HII-Regionen 704
Übersicht 704
Beobachtung 706
Einzelobjekte 707
Herbig-Haro-Objekte 720

687

41 Planetarische Nebel

Allgemeines 723
Übersicht 724
Einzelobjekte 726

723

42 Sternhaufen

Offene Sternhaufen 735
Kugelsternhaufen 739
Entwicklung eines Sternhaufens 743
Altersbestimmung 744

735

43 Doppelsterne

Visuelle Doppelsterne 753
Astrometrische Doppelsterne 753
Spektroskopische Doppelsterne 754
Photometrische Doppelsterne 754
Kataklysmische Systeme 756
Statistik 757
Radiusbestimmung 758
Massenbestimmung 759
Massenaustausch bei Doppelsternen 759
Beobachtungsobjekte 763
Bestimmung von Abstand und Positionswinkel 767

753

695

703

44 Veränderliche Sterne

769

Klassifikation 769

Pulsationsveränderliche 771

Eruptionsveränderliche 778

Rotationsveränderliche 779

Röntgenveränderliche 780

Kataklysmische Veränderliche 780

Novae 783

Methoden der Photometrie 786

Lichtelektrische Photometrie 786

Photographische Photometrie 786

Visuelle Schätzung 788

Helligkeitsschätzung mit einer künstlichen
Vergleichsquelle 790

Interpolationsmethode nach Pickering 791

Stufenschätzmethode nach Argelander 793

Heliozentrische Zeit 800

Auswahl der Vergleichssterne 801

Lichtkurve 803

Bestimmung von Minimums- und Maximums-
zeitpunkten 809

Fehler bei der Minimums- und Maximums-
bestimmung 816

Systemparameter 816

(O-C)-Diagramm 817

Spezielle Objekte 824

Gemeinschaftslichtkurve 826

45 Supernovae

835

Überblick 835

Ursache 836

Supernova Typ Ia 837

Supernova Typ II 838

Lichtkurven 839

Lichtecho 841

Einzelobjekte 842

Supernovaüberreste 850

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

46 Galaxien

Klassifikation 860
Bildung der Galaxien 866
Entstehung der Spiralarme 868
Rotation 869
Dunkle Materie 871
Wechselwirkende Galaxien 874
Starburst-Galaxien 878
Galaxienhaufen 880
Superhaufen 881
Massen 882
Voids 882
Einstein-Straus-Vakuolen 882
Statistik 883
Projekt ›Galaxy Zoo‹ 883
Beobachtungsobjekte 884

47 Aktive Galaxien

Aktive Galaktische Kerne 895
Leuchtkraft 896
Eddington-Grenze 896
Entwicklung von Quasaren und AGN 898
Schwarzes Doppel-Loch 899
Quasare 899
Radiogalaxien 900
BL-Lacertae-Objekte 901
Blasare 902
Seyfert-Galaxien 902
N-Galaxien 903
M87 903

859

48 Gravitationslinsen

Physik der Linsen 907
Lichtzeitdifferenzen 909
Cosmic String 910
Abell 1835 IR 1916 911
Mikrolinseneffekt 911

907

49 Kosmologie

Hubble-Gesetz 913
Expansion 916
Raumkrümmung 916
Kritische Dichte 917
Alter der Welt 918
Zeitlicher Verlauf der Expansion 919
Entfernungsmaß 920
Evolution des Universums 924
Temperatur 926
Planckblase 926
Planckära (Urschaum) 928
Symmetriebrechung 1. Art
(X-Ära, GUT-Ära) 928
Cosmic Strings 929
Inflation 931
Symmetriebrechung 2. Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 933
Symmetriebrechung 3. Art 933
Hadronen-Ära 934
Leptonen-Ära 935
Photonen-Ära 935
Materie-Ära 936
Quasare 936
Kosmologische Modelle 936
Hierarchie im Weltraum 944

913

893

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	949	J	Kreuzworträtsel	985
B	Raumsonden	955	K	Lösungen der Aufgaben	989
C	Energieressourcen der Erde	961	L	Literatur und Quellen- nachweis	999
	Energieprozesse	961		Bildernachweis	999
	Reichweite der Vorkommen	962		Quellennachweis	1004
D	Ausgleichsrechnung	965		Literatur	1010
	Mittelwert	965		Sternkataloge	1013
	Lineare Regression	967		Fachzeitschriften	1013
	Quadratische Regression	969		Jahrbücher	1014
	Gaußfit	970		PC-Software	1015
E	Kataloge	973	M	Kontaktadressen	1019
F	Glossar	975		Astronomische Vereinigungen	1019
G	Parameter für DCRAW	979		Spezielle Kontakte für Beobachter	1021
H	Symbole	981		Spezielle Bezugsquellen für den Selbstbau	1022
I	Konstanten	983		Internet	1023
			N	Personenregister	1027
			O	Sachregister	1037
			P	Corrigenda	1069