
tabulae summae

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 Chronologie
- 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	
	Motivation	33	
	Hilfsmittel	33	
	Sternkarten	34	
			Stative 109
			Tauschutz 112
			Selbstbau 114
			Zubehör 116
			Kauftipps 118
2	Atmosphäre der Erde	43	4 Astrophotographie 121
	Aufbau	43	Aufnahmeverfahren 122
	Atmosphärische Fenster	45	Sternfeldaufnahmen 122
	Warum der Himmel blau ist?	46	Fokalaufnahmen 125
	Extinktion	46	Projektionsaufnahmen 127
	Refraktion	49	Bildgröße 128
	Scintillationsrauschen	50	Belichtungszeit 128
	Angaben zur Beobachtung	50	Filter 132
	Taupunkt	53	Digitaltechnik 134
	Solar-terrestrische Beziehungen	54	Kameraobjektiv 143
	Luftleuchten	56	Aufnahmesoftware 145
	Polarlichter	57	Hintergrund des Bildes 149
	Nachtleuchtende Wolken	58	Nachbearbeitung am PC 159
	Haloerscheinungen	60	Bildüberlagerung 160
	Zodiakallicht	63	Ebenen und Glätten 162
			Kontrastverstärkung 166
			Schärfung 168
3	Optische Teleskope	65	5 Photometrie 173
	Fernrohrtypen	66	Zielsetzung 173
	Optische Fehler	72	Dynamikbereich 174
	Objektive	76	Datenformat und Sättigung 174
	Okulare	84	Punktspreizfunktion 177
	Zusatzoptiken	87	Polsequenz 178
	Vergrößerung	90	Spektralphotometrie 179
	Blickfeld	92	Messmethoden 180
	Lichtstärke	92	Umrechnungsfunktion 185
	Auflösungsvermögen	95	Extinktion 189
	Luftunruhe (Seeing)	99	Genauigkeit 191
	Montierungen	100	JPEG und Sättigung 194
	Nachführfehler	103	Zeitreferenz 197
	Ausrichtung e. parallakt. Montierung	104	Aufgabenbereiche 198
	Scheiner-Methode	105	Zusammenfassung und Ausblick 200
	Lüthen-Kahlhöfer-Methode	107	

6	Spektroskopie	201	9	Ultraviolett- und Infrarot- astronomie	291
	Spektrograph	201		UV-Satelliten	291
	Spektroskopie ohne Spalt	208		IR-Forschung	292
	Aufnahmen von Spektren	215		IR-Satelliten und -sonden	293
	Spektrallinien	227		IR-Bänder	293
	Energiesparlampe	230		IR für Amateure	294
	Themengebiete	231		Kühlung	295
	Spektralklassifikation	232			
	Vermessung der Linien	238	10	Röntgen- und Gamma- astronomie	297
	Äquivalentbreite	245		Satelliten	297
	Spektrumsphotometrie	249		Röntgenteleskope	298
	Jugend forscht	254		Wolter-Teleskop	298
7	Hochauflösende Astronomie	255		Gammadetektoren	299
	Großteleskope	255		Tscherenkow-Teleskop	299
	Aktive Optik	256		Fluoreszenz-Teleskop	300
	Adaptive Optik	257		Gammaspektrometer	300
	Prinzip der Interferometrie	257	11	Gravitationswellen- astronomie	301
	Radiointerferometer	258		Gravitationswellendetektoren	301
	Optisches Interferometer	259		Gravitationswellensender	304
	Speckle-Interferometrie	261			
	Doppler-Tomographie	270			
8	Radioastronomie	271			
	Radioteleskope	271			
	LOFAR	273			
	Square Kilometre Array	274			
	Beobachtungstechniken	277			
	Radioquellen	278			
	Physik der Radiostrahlung	279			
	Beteigeuze (α Orionis)	280			
	Einfaches Radioteleskop für Amateure	283			
	Amateur-Radioteleskop »Spider 230«	286			

Teil II

Astronomische Grundlagen

12	Strahlung und Helligkeit	313	15	Chronologie	357
	Strahlungsintensität	313		Zeitmessung	357
	Strahlungsstrom	313		Gregorianischer Kalender	362
	Photometrische Systeme	314		Jahreslängen	364
	Tycho- und Hipparcos-Katalog	318		Monatslängen	364
	Auge	319		Julianisches Datum	365
	RGB-Systeme	320		Osterformel	367
	Referenzfeld M 67	324			
	Polsequenz	325	16	Teilchenphysik	369
	Farbindex	326		Elementarteilchen	369
	Bolometrische Korrektur	327		Quarks	371
	Größenklassen	328		Wechselwirkung	372
	Helligkeit der Sonne	328		Loop-Quantengravitation	375
	Weber-Fechner-Gesetz	329		Vakuumfluktuation	378
	Entfernungsmodul	329			
	Helligkeiten der Planeten	330	17	Physik des Lichtes	379
	Farbskalen	331		Welle-Teilchen-Dualismus	379
13	Entfernungen im Weltall	333		Lichtgeschwindigkeit	381
	Einheiten	333		Lichtbrechung	382
	Methoden	334		Spektrum	386
	Parallaxe	336		Doppler-Effekt	391
	Leuchtkraftentfernung	340		Zeeman-Effekt	392
14	Himmelskoordinaten	345		Tscherenkow-Strahlung	392
	Horizontalsystem	345		Poynting-Robertson-Effekt	392
	Äquatorialsystem	346		Jarkowski-Effekt	392
	Ekliptikalsystem	347		YORP-Effekt	393
	Galaktisches System	347	18	Magnetismus	395
	Supergalaktisches System	347		Einleitung	395
	Umrechnung der Koordinaten	348		Einheiten	396
	Präzession	350		Entstehung	397
	Umrechnung des Äquinoktiums	351		Messung	398
	Nutation	352		Einzelobjekte	401
	Tagbogen	352		Erdmagnetfeld	402
	Morgen- und Abendweite	352		Magnetische Stürme	403
	Bestimmung des geographischen Ortes	354		Van-Allen-Gürtel	403



Hauptdienstgebäude der Hamburger Sternwarte von der Rückseite mit Blick auf die historische Bibliothek, die unter anderem die ›Astronomia Instauratae Mechanica‹ von Tycho Brahe aus dem Jahre 1602 und die ›Tabulae Rudolphinae‹ von Johannes Keplers aus dem Jahre 1627 enthält.



Kuppelgebäude des historischen 1-Meter-Spiegels. Es war bei seiner Inbetriebnahme im Jahre 1911 das viertgrößte Teleskop der Welt. Nach seinem Umbau besitzt es eine Brennweite von 15 m. Seit 2011 befindet sich das Besucherzentrum der Sternwarte und das sehr elegante Café ›Raum und Zeit‹ in dem Gebäude.

Teil III

Unser Sonnensystem

19 Sonne

Überblick 407
Innerer Aufbau 408
Rotation und Magnetfeld 410
Oberfläche 411
Atmosphäre 413
Beobachtung der Sonne 414
Photographie 425
Sonnenfinsternisse 426

20 Erdmond

Überblick 429
Formationen 430
Libration 430
Sternbedeckung 431
Durchmesser eines Kraters 433
Zeichnen von Mondkratern 434
Höhe eines Mondberges 438
Mondfinsternisse 441
Lunar Transient Phenomena 444

21 Planeten und ihre Monde

Definition eines Planeten 445
Übersicht 446
Albedo 449
Temperatur 449
Definition der Oberfläche bei
Gasplaneten 450
Innerer Aufbau 450
Planetographische Koordinaten 450
Beobachtung 454
Merkur 455
Venus 457
Erde 464
Mars 465
Jupiter 470
Saturn 479
Uranus 487
Neptun 490

22 Zwerg- und Kleinplaneten 493

Entdeckung 493
Entstehung 494
Übersicht 494
Ceres 494
Vesta 495
Kommensurabilitäten 496
Erdnahe Objekte 497
Chiron 498
Sylvia 499
Kuiper-Gürtel 499
Haumea 499
Quaoar 500
Sedna 500
Eris 500
Pluto 500
Kandidaten für Zwergplaneten 502
Beobachtung 503

23 Kometen 507

Aufbau 508
Kern und Staubbkoma 508
Koma 509
Schweif 510
Chemische Zusammensetzung 510
Bahnen 511
Namensgebung 512
Einzelobjekte 513
Beobachtung 520

24 Meteore und Meteorite 529

Begriffe 529
Übersicht 530
Meteorströme 530
Historische Einschläge 532
Beobachtung 535

25 Planeten- und Kometen- bahnen 537

Kepler-Problem 537
Kepler'sche Gesetze 541
Librationspunkte 542
Hill-Sphäre 542
Bahnelemente und Koordinaten-
systeme 543
Bahnelemente der Planeten 546

26 Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung 547

Wahre Anomalie 547
Ephemeridenrechnung 551
Bahnbestimmung 556

27 Entstehung des Planeten- systems 567

Historische Weltbilder 567
Entstehung der Planeten 568
Einzelphänomene 573

28 Exoplaneten und Astrobiologie 577

Braune Zwerge 577
Exoplaneten 578
Astrobiologie 589



Kuppelgebäude des Großen Refraktors mit 60 cm Öffnung und 15 m Brennweite. Der Kuppelraum besitzt eine Hebebühne zum bequemen visuellen Beobachten.

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

29 Aufbau der Sterne

Relationen 595
Masse 597
Radius 601
Dichte 604
Temperatur 604
Konvektionszone 608
Populationen 611
Energieprozesse 612
Sternaufbaurechnungen 618

30 Zustandsdiagramme

Hertzprung-Russell-Diagramm 631
Hayashi-Linie 633
Farben-Helligkeits-Diagramm 634
Zwei-Farben-Diagramm 638

31 Entstehung der Sterne

Kritische Masse 641
Gasfinger 645
Mikroturbulenz 645
Magnetfelder 645
Bildung von Sternhaufen 645
Sternentstehungseffizienz 646
Molekülwolken 646
Drehimpulsproblem 647
Entstehung eines Sterns mit einer
 Sonnenmasse 648
Lada-Klassen 649
IRDC 650
MN Lupi 651
Rho Ophiuchi 651
Epsilon Aurigae 653

595

32 Entwicklung der Sterne

655

Hydrostatische Zeitskala 655
Kelvin-Helmholtz-Zeitskala 655
Nukleare Zeitskala 656
Schönberg-Chandrasekhar-Grenze 658
Kritische Masse 659
Brenndauer bei massereichen Sternen 659
Abzweigen von der Hauptreihe 660
Thermische Stabilität 661
Übergang zum Heliumbrennen 662
Schalenbrennen um einen entarteten
 Kern 663
Zweischalenbrennen 664
Wiederbelebung Weißer Zwerge 665
Pulsation der Sterne 665
Einzelobjekte 668

33 Endstadium der Sterne

671

Abhängigkeit von der Urmasse 671
Massenverlust 673
Akkretionsscheibe 674

34 Weiße Zwerge

675

Zustandsgrößen 675
Stabilität 678
Heliumblitz der zweiten Generation 680
Spektralklassifikation 681
Planetarischer Nebel 682
ZZ-Ceti-Sterne 682

35 Neutronensterne

685

Entstehung 685
Abschätzung des Magnetfeldes 686
Abschätzung der Dichte 687
Magnetare 688
Thermische Röntgen-Neutronensterne 689
Quasiperiodische Oszillatoren 690
Quarksterne 692
RRATs 692
Einzelobjekte 693

36 Pulsare

697

Physik der Pulsare 697
Einzelobjekte 702
Entfernungsbestimmung 707
Synchrotronstrahlung 707

37 Schwarze Löcher

709

Schwarzschild-Radius 709
Hawking-Strahlung 710
Modelle 712
Kerr'sche Löcher 713
Verschmelzung von Neutronensternen 714
Mikroquasar 714
Holosterne und Gravasterne 715
Einzelobjekte 716



Kuppelgebäude des ehemaligen Lippert-Astrographen, das heute ein Spiegelteleskop nach Cassegrain mit 60 cm Öffnung und 9 m Brennweite beheimatet.

Teil V

Unser Milchstraßensystem

38 Milchstraße 721

Aufbau 721
Struktur 722
Gaia 724
Sternströme und Hyperschnellläufer 725
Ausstoß von Wasserstoffwolken 725
Gasblasen 725
Galaktischer Kern 726
Begleiter 727
Kollisionskurs 727

39 Interstellare Materie 729

Allgemeines 729
Lokale Blase 730
Wasserstoffmoleküle H_2 730
Organische Moleküle 731
Interstellare Extinktion 732
Farbexzess 732
Q-Methode 733
Balmer-Dekrement 734

40 Galaktische Nebel 737

Allgemeines 737
Radius von HII-Regionen 738
Übersicht 740
Beobachtung 740
Einzelobjekte 741
Objekte für Teleobjektive 757
Herbig-Haro-Objekte 760

41 Planetarische Nebel 761

Allgemeines 761
Übersicht 764
Einzelobjekte 764

42 Sternhaufen 775

Offene Sternhaufen 775
Kugelsternhaufen 781
Entwicklung eines Sternhaufens 786
Altersbestimmung 787

43 Doppelsterne 795

Visuelle Doppelsterne 795
Astrometrische Doppelsterne 795
Spektroskopische Doppelsterne 796
Photometrische Doppelsterne 796
Kataklysmische Systeme 798
Statistik 799
Systemparameter 800
Radiusbestimmung 800
Massenbestimmung 801
Massenaustausch bei Doppelsternen 802
Beobachtungsobjekte 806
Einzelobjekte 809
Bestimmung von Abstand und Positionswinkel 820
Ephemeridenrechnung 831



Kuppelgebäude des Äquatorials, einem Refraktor mit 26 cm Öffnung und 3 m Brennweite.

44 Veränderliche Sterne

835

Klassifikation 835
Pulsationsveränderliche 837
Eruptionsveränderliche 845
Rotationsveränderliche 846
Röntgenveränderliche 847
Kataklysmische Veränderliche 847
Novae 851
Einzelobjekte 861
Methoden der Photometrie 862
Lichtelektrische Photometrie 862
Photographische Photometrie 863
Visuelle Schätzung 864
Helligkeitsschätzung mit einer künstlichen Vergleichsquelle 866
Interpolationsmethode nach Pickering 868
Stufenschätzmethode nach Argelander 869
Heliozentrische Zeit 876
Auswahl der Vergleichssterne 877

Lichtkurve 879
Bestimmung von Minimums- und Maximumszeitpunkten 885
Fehler bei der Minimums- und Maximumsbestimmung 891
Systemparameter 892
(B–R)-Diagramm 893
Spezielle Objekte 900
Gemeinschaftslichtkurve 902

45 Supernovae

911

Überblick 911
Ursache 912
Supernova Typ Ia 913
Supernova Typ II 914
Lichtkurven 915
Lichtecho 917
Einzelobjekte 918
Supernovaüberreste 926



Schutzbau des historischen Repsold-Meridiankreises, der sich zurzeit im Depot des Deutschen Museums in München befindet.

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

46 Galaxien

Klassifikation 936
Bildung der Galaxien 942
Entstehung der Spiralarme 944
Rotation 945
Dunkle Materie 948
Wechselwirkende Galaxien 950
Starburstgalaxien 954
Galaxienhaufen 956
Superhaufen 957
Massen 958
Walls und Voids 959
Einstein-Straus-Vakuolen 959
Statistik 960
Projekt ›Galaxy Zoo‹ 960
Beobachtungsobjekte 961
Objekte für Teleskope 970

47 Aktive Galaxien

Aktive Galaktische Kerne 975
Leuchtkraft 976
Eddington-Grenze 977
Entwicklung von Quasaren und AGN 978
Binäre Schwarze Löcher 979
Quasare 980
Radiogalaxien 981
BL-Lacertae-Objekte 981
Blasare 982
Seyfert-Galaxien 983
N-Galaxien 983
M87 – Zentralgalaxie des Virgoaufens 984

935

48 Gravitationslinsen

Physik der Linsen 987
Lichtzeitdifferenzen 990
Kosmische Fäden 990
Abell 1835 IR 1916 991
Mikrolinseneffekt 992

987

49 Kosmologie

Hubble-Gesetz 993
Expansion 996
Raumkrümmung 996
Alter der Welt 998
Zeitlicher Verlauf der Expansion 999
Entfernungsmaß 1001
Evolution des Universums 1005
Temperatur 1006
Planck-Blase 1007
Planck-Ära (Urschaum) 1008
Symmetriebrechung 1. Art
(X-Ära, GUT-Ära) 1009
Kosmische Fäden 1009
Inflation 1011
Symmetriebrechung 2. Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 1013
Symmetriebrechung 3. Art 1013
Hadronen-Ära 1014
Leptonen-Ära 1015
Photonen-Ära 1016
Materie-Ära 1016
Quasare 1016
Kosmologische Modelle 1017
Hierarchie im Weltraum 1025

993



Kuppelgebäude des Oskar-Lühning-Teleskops in Ritchey-Chrétien-Bauweise mit 1.2 m Öffnung und 15.6 m Brennweite.

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	1029	K	Lösungen der Aufgaben	1067
B	Raumsonden	1035	L	Literatur und Quellen- nachweis	1079
C	Energieressourcen der Erde	1041		Bildernachweis	1079
	Energieprozesse	1041		Quellennachweis	1085
	Reichweite der Vorkommen	1042		Literatur	1092
D	Ausgleichsrechnung	1045		Jahrbücher	1094
	Mittelwert	1045		Fachzeitschriften	1095
	Lineare Regression	1047		Sternkataloge	1095
	Quadratische Regression	1049		PC-Software	1095
	Gauß-Fit	1050	M	Kontaktadressen	1099
E	Kataloge	1053		Astronomische Vereinigungen	1099
F	Glossar	1055		Spezielle Kontakte für Beobachter	1101
G	Parameter für DCRAW	1059		Spezielle Bezugsquellen für den Selbstbau	1102
H	Symbole	1061		Internet	1103
I	Konstanten	1063	N	Personenregister	1107
J	Kreuzworträtsel	1065	O	Sachregister	1117
			P	Corrigenda	1151



Das große Beamten-Wohnhaus liegt inmitten des idyllischen Teleskoparks.



Links der Schutzbau des Salvadorspiegels, bei dem es sich um ein Schmidt-Cassegrain-System mit 40 cm Öffnung und 8 m Brennweite handelt. Rechts der Schutzbau des ehemaligen Hamburger Robotischen Teleskops, das jetzt in Mexiko unter dem Namen TIGRE betrieben wird. Es besitzt eine Öffnung von 1.2 m bei 9.6 m Brennweite.