
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 Polarimetrie
- 8 Hochauflösende
Astronomie
- 9 Radioastronomie
- 10 Ultraviolett- und
Infrarotastronomie
- 11 Röntgen- und Gamma-
astronomie
- 12 Gravitationswellen-
astronomie
- 13 Virtuelles Observa-
torium
- 14 Interdisziplinäre
Zusammenarbeit

Teil II

Astronomische Grundlagen

- 15 Strahlung und Helligkeit
- 16 Entfernungen im Weltall
- 17 Koordinatensysteme
- 18 Chronologie
- 19 Teilchenphysik
- 20 Physik des Lichtes
- 21 Magnetismus

Teil III

Unser Sonnensystem

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

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

- 32 Aufbau der Sterne
- 33 Zustandsdiagramme
- 34 Entstehung der Sterne
- 35 Entwicklung der Sterne
- 36 Endstadium der Sterne
- 37 Weiße Zwerge
- 38 Neutronensterne
- 39 Pulsare
- 40 Schwarze Löcher

Teil V

Unser Milchstraßensystem

- 41 Milchstraße
- 42 Interstellare Materie
- 43 Galaktische Nebel
- 44 Planetarische Nebel
- 45 Sternhaufen
- 46 Doppelsterne
- 47 Veränderliche Sterne
- 48 Supernovae

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

- 49 Galaxien
- 50 Aktive Galaxien
- 51 Gravitationslinsen
- 52 Kosmologie

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1 Beobachtungen mit bloßem Auge

37

Motivation 37
Hilfsmittel 38
Sternkarten 39

2 Atmosphäre der Erde

49

Aufbau 49
Atmosphärische Fenster 51
Warum der Himmel blau ist? 52
Extinktion 52
Refraktion 55
Szintillationsrauschen 56
Angaben zur Beobachtung 57
Taupunkt 59
Solar-terrestrische Beziehungen 60
Luftleuchten 62
Polarlichter 63
Nachtleuchtende Wolken 64
Haloerscheinungen 67
Grüner Strahl 69
Zodiakallicht 71
Dämmerung 72

3 Optische Teleskope

75

Fernrohrtypen 76
Optische Fehler 82
Objektive 86
Okulare 97
Zusatzoptiken 100
Vergrößerung 103
Blickfeld 105
Lichtstärke 106
Auflösungsvermögen 108

Luftunruhe (Seeing) 112
Montierungen 113
Nachführfehler 116
Ausrichtung einer parallaktischen
Montierung 118
Scheiner-Methode 118
Lüthen-Kahlhöfer-Methode 120
Stative 124
Tauschutz 125
Selbstbau 127
Zubehör 132
Kauftipps 134

4 Astrophotographie

137

Aufnahmeverfahren 138
Sternfeldaufnahmen 138
Fokalaufnahmen 141
Projektionsaufnahmen 144
Bildgröße 144
Belichtungszeit 145
Filter 149
Digitaltechnik 151
Kameraobjektiv 163
Aufnahmesoftware 165
Hintergrund des Bildes 171
Nachbearbeitung am PC 185
Bildüberlagerung 186
Ebenen und Glätten 188
Kontrastverstärkung 193
Schärfung 195

5	Photometrie	201	6	Spektroskopie	247
	Lichtelektrische Photometrie	202		Spektrograph	247
	Photographische Photometrie	202		Spaltlose Spektroskopie	254
	Visuelle Schätzung	204		Objektivgitter	263
	Schätzung mit künstl. Vergleichsquelle	206		Aufnahmen von Spektren	272
	Interpolationsmethode nach Pickering	207		Kalibrierung	278
	Stufenschätzmethode nach Argelander	208		Spektrallinien	286
	Digitalphotometrie	212		Energiesparlampe	289
	Datenformat und Sättigung	213		Themengebiete	291
	Punktspreizfunktion (PSF)	216		Spektralklassifikation	293
	Polsequenz	217		Vermessung der Linien	299
	Spektralphotometrie	218		Äquivalentbreite	308
	Messmethoden	219		Spektrumsphotometrie	315
	Umrechnungsfunktion	224		Jugend forscht	321
	Extinktion	228			
	Genauigkeit	230			
	JPEG und Sättigung	234			
	Photometriesoftware	239			
	Aufgabenbereiche	244			
	Zusammenfassung und Ausblick	246			



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.

Teil I

Beobachtungsinstrumente (Fortsetzung)

7 Polarimetrie 323

Theorie der Polarisation 323
Beobachtung 329
Messverfahren 332
Kometen 337
Be-Sterne 338
Wolf-Rayet-Sterne 341
Sternhaufen 345
Galaxien 349
Polarisation und Farben der Mineralien
beim Mond 351
Software 357

8 Hochauflösende Astronomie 359

Großteleskope 359
Aktive Optik 361
Adaptive Optik 362
Prinzip der Interferometrie 362
Radiointerferometer 363
Optisches Interferometer 364
Speckle-Interferometrie 365
Doppler-Tomographie 376

9 Radioastronomie 377

Radioteleskope 377
LOFAR 379
Square Kilometre Array 380
Beobachtungstechniken 383
Radioquellen 384
Physik der Radiostrahlung 385
Beteigeuze (α Orionis) 387
Einfaches Radioteleskop für Amateure 390
Amateur-Radioteleskop ›Spider 230‹ 394

10 Ultraviolett- und Infrarot- astronomie 399

UV-Satelliten 399
IR-Forschung 400
IR-Satelliten und -sonden 401
IR-Bänder 401
IR für Amateure 402
Kühlung 403

11 Röntgen- und Gamma- astronomie 405

Satelliten 405
Röntgenteleskope 406
Wolter-Teleskop 406
Gammadetektoren 407
Tscherenkow-Teleskop 407
Fluoreszenz-Teleskop 409
Gammaspektrometer 409

12 Gravitationswellen- astronomie 411

Gravitationswellen 411
Gravitationswellendetektoren 413
Parameter eines Binärsystems 419
Gravitationswellenobjekte 423

13 Virtuelles Observatorium 431

Einleitung 431
Data-Mining 432
Kataloge 433
Bedienung 442
Werkzeuge 462
Citizen-Science (Bürgerwissenschaft) 470
Zooniverse 471

14 Interdisziplinäre Zusammenarbeit 475

Überblick 475
ProAm-Kampagnen 477
Amateure unter sich 479
Einzelobjekte 480



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 II

Astronomische Grundlagen

15	Strahlung und Helligkeit	489	18	Chronologie	541
	Strahlungsintensität	489		Zeitmessung	541
	Strahlungsstrom	489		Gregorianischer Kalender	547
	Photometrische Systeme	490		Jahreslängen	548
	Auge	495		Monatslängen	549
	RGB-Systeme	496		Julianisches Datum	549
	Referenzfeld M 67	501		Osterformel	552
	Polsequenz	502			
	Farbindex	503	19	Teilchenphysik	553
	Bolometrische Korrektur	504		Elementarteilchen	553
	Größenklassen	505		Quarks	555
	Helligkeit der Sonne	505		Wechselwirkung	556
	Weber-Fechner-Gesetz	506		Loop-Quantengravitation	559
	Entfernungsmodul	506		Vakuumfluktuation	562
	Helligkeiten der Planeten	507			
	Farbskalen	509	20	Physik des Lichtes	563
16	Entfernungen im Weltall	511		Welle-Teilchen-Dualismus	563
	Einheiten	511		Lichtgeschwindigkeit	565
	Methoden	512		Lichtablenkung	565
	Parallaxe	514		Lichtbrechung	566
	Leuchtkraftentfernung	518		Reflexion und Vergütung	570
17	Koordinatensysteme	523		Spektrum	571
	Himmelskoordinaten	523		Doppler-Effekt	578
	Umrechnung der Koordinaten	526		Zeeman-Effekt	579
	Präzession	528		Tscherenkow-Strahlung	580
	Umrechnung des Äquinoktiums	529		Poynting-Robertson-Effekt	580
	Sichtbarkeit eines Gestirns	531		Jarkowski-Effekt	580
	Bestimmung des geographischen Ortes	531		YORP-Effekt	581
	Koordinatennetze der Himmelskörper	534			

21 Magnetismus 583

Einleitung 583
Einheiten 584
Entstehung 585
Synchrotronstrahlung 586
Messung 588
Sonne 588
Erdmagnetfeld 590
Magnetische Stürme 591
Van-Allen-Gürtel 591



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

Teil III

Unser Sonnensystem

22 Sonne

Überblick 595
Innerer Aufbau 596
Rotation und Magnetfeld 599
Oberfläche 600
Wilson-Effekt 604
Atmosphäre 608
Beobachtung 610
Photographie 613
Sonnenflecken 616
Schwankungen der Sonnenflecken-
aktivität 619
Klassifizierung 622
Auswertemethoden 624
Software *SUNMAP* 629
Sonnenfinsternisse 639

595

Merkur 672
Venus 674
Erde 681
Mars 682
Jupiter 686
Saturn 696
Uranus 704
Neptun 707

23 Erdmond

Überblick 643
Formationen 644
Libration 645
Sternbedeckung 645
Durchmesser eines Kraters 648
Zeichnen von Mondkratern 649
Höhe eines Mondberges 654
Mondfinsternisse 657
Lunar Transient Phenomena 661
Ebbe und Flut 662

643

24 Planeten und ihre Monde

Definition eines Planeten 665
Übersicht 667
Temperatur 669
Definition der Oberfläche bei
Gasplaneten 670
Innerer Aufbau 670
Beobachtung 671

665

25 Zwerg- und Kleinplaneten 709

Übersicht 709
Kommensurabilitäten 712
Erdnahe Objekte 713
Zwergplaneten 714
Einzelobjekte 715
Interstellare Objekte 724
Beobachtung 725

26 Kometen 729

Kern und Staubbkoma 731
Koma 732
Schweif 732
Chemische Zusammensetzung 733
Bahnen 733
Namensgebung 734
Einzelobjekte 735
Beobachtung 744

27 Meteore und Meteorite 753

Begriffe 753
Übersicht 754
Meteorströme 754
Historische Einschläge 756
Beobachtung 759

28 Planeten- und Kometen- bahnen 761

Kepler-Problem 761
Kepler'sche Gesetze 765
Librationspunkte 766
Hill-Sphäre 767
Bahnelemente und Koordinaten-
systeme 768
Bahnelemente der Planeten 770

29 Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung 771

Wahre Anomalie 771
Ephemeridenrechnung 775
Bahnbestimmung 780

30 Entstehung des Planeten- systems 791

Historische Weltbilder 791
Entstehung der Planeten 792
Einzelphänomene 797

31 Exoplaneten und Astro- biologie 803

Braune Zwerge 803
Exoplaneten 805
Astrobiologie 819



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

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

32 Aufbau der Sterne

Relationen 831
Masse 833
Radius 837
Dichte 841
Temperatur 841
Konvektionszone 845
Rotation 847
Populationen 848
Energieprozesse 849
Sternaufbaurechnungen 856

33 Zustandsdiagramme

Hertzsprung-Russell-Diagramm 869
Hayashi-Linie 871
Farben-Helligkeits-Diagramm 872
Zwei-Farben-Diagramm 876
Umrechnungen 878

34 Entstehung der Sterne

Kritische Masse 881
Gasfinger 885
Mikroturbulenz 885
Magnetfelder 885
Bildung von Sternhaufen 885
Sternentstehungseffizienz 886
Molekülwolken 886
Drehimpulsproblem 887
Entstehung eines Sterns mit einer
 Sonnenmasse 888
Lada-Klassen 889
IRDC 890
TW Hydrae 891
MN Lupi 891
Rho Ophiuchi 892
Epsilon Aurigae 893

35 Entwicklung der Sterne

Hydrostatische Zeitskala 897
Kelvin-Helmholtz-Zeitskala 897
Nukleare Zeitskala 898
Schönberg-Chandrasekhar-Grenze 900
Kritische Masse 901
Brenndauer bei massereichen Sternen 901
Abzweigen von der Hauptreihe 902
Thermische Stabilität 903
Übergang zum Heliumbrennen 904
Schalenbrennen um einen entarteten
 Kern 905
Zweischalenbrennen 906
Wiederbelebung Weißer Zwerge 907
Pulsation der Sterne 907
Einzelobjekte 910

36 Endstadium der Sterne

Urmasse 913
Massenverlust 916
Akkretionsscheibe 917



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

37 Weiße Zwerge	919	39 Pulsare	943
Zustandsgrößen	919	Physik der Pulsare	943
Stabilität	924	Einzelobjekte	948
Heliumblitz der zweiten Generation	926	Entfernungsbestimmung	954
Spektralklassifikation	927		
Planetarischer Nebel	928		
ZZ-Ceti-Sterne	928		
38 Neutronensterne	931	40 Schwarze Löcher	955
Entstehung	931	Schwarzschild-Radius	955
Abschätzung des Magnetfeldes	933	Hawking-Strahlung	956
Abschätzung der Dichte	933	Modelle	958
Magnetare	934	Kerr'sche Löcher	959
Thermische Röntgen-Neutronensterne	936	Verschmelzung von Neutronensternen	960
Quasiperiodische Oszillatoren (QPO)	936	Mikroquasar	960
Quarksterne	938	Holosterne und Gravasterne	961
RRATs	939	Einzelobjekte	962
Einzelobjekte	939		



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

Teil V

Unser Milchstraßensystem

41	Milchstraße	969	44	Planetarische Nebel	1019
	Aufbau	969		Allgemeines	1019
	Struktur	970		Übersicht	1023
	Gaia	972		Einzelobjekte	1023
	Sternströme und Hyperschnellläufer	973	45	Sternhaufen	1035
	Ausstoß von Wasserstoffwolken	974		Offene Sternhaufen	1035
	Gasblasen	974		Kugelsternhaufen	1044
	Galaktischer Kern	975		Entwicklung eines Sternhaufens	1049
	Begleiter	976		Altersbestimmung	1050
	Kollisionskurs	976	46	Doppelsterne	1059
42	Interstellare Materie	979		Visuelle Doppelsterne	1059
	Allgemeines	979		Astrometrische Doppelsterne	1059
	Lokale Blase	980		Spektroskopische Doppelsterne	1060
	Wasserstoffmoleküle H ₂	981		Photometrische Doppelsterne	1060
	Organische Moleküle	982		Kataklysmische Systeme	1062
	Interstellare Extinktion	982		Statistik	1063
	Farbexzess	983		Systemparameter	1064
	Q-Methode	984		Radiusbestimmung	1064
	Balmer-Dekrement	985		Massenbestimmung	1066
43	Galaktische Nebel	989		Massenaustausch bei Doppelsternen	1066
	Allgemeines	989		Beobachtungsobjekte	1070
	Radius von HII-Regionen	990		Einzelobjekte	1073
	Übersicht	992		Bestimmung von Abstand und Positionswinkel	1084
	Beobachtung	992		Ephemeridenrechnung	1096
	Einzelobjekte	993			
	Objekte für Teleobjektive	1012			
	Herbig-Haro-Objekte	1018			

47 Veränderliche Sterne

1099

Klassifikation 1099
Pulsationsveränderliche 1101
Eruptionsveränderliche 1110
Rotationsveränderliche 1111
Röntgenveränderliche 1111
Kataklysmische Veränderliche 1112
Novae 1122
Einzelobjekte 1133
Auswahl der Vergleichssterne 1134
Lichtkurve 1140
Bestimmung von Minimums- und
Maximumszeitpunkten 1147
Fehler bei der Minimums- und
Maximumsbestimmung 1153
Systemparameter 1154
(B–R)-Diagramm 1154
Spezielle Objekte 1162
Gemeinschaftslichtkurve 1163

48 Supernovae

1171

Überblick 1171
Ursache 1172
Supernova Typ Ia 1174
Supernova Typ II 1175
Lichtkurven 1176
Lichtecho 1178
Einzelobjekte 1179
Supernovaüberreste 1188



Werkstatt der Hamburger Sternwarte, in der Bernhard Schmidt in den 1930er-Jahren die nach ihm benannte lichtstarke komafreie Spiegelsystem erfunden hat (MiHam 7, 1938).

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

49 Galaxien

1197

Klassifikation 1198
Bildung der Galaxien 1204
Entstehung der Spiralarme 1206
Rotation 1207
Dunkle Materie 1210
Zwerggalaxien 1212
Wechselwirkende Galaxien 1214
Starburstgalaxien 1219
Galaxienhaufen 1220
Super(galaxien)haufen 1222
Massen 1223
Walls und Voids 1223
Einstein-Straus-Vakuolen 1224
Statistik 1224
Beobachtungsobjekte 1225
Objekte für Teleobjektive 1235

50 Aktive Galaxien

1239

Aktive Galaktische Kerne 1241
Leuchtkraft 1242
Eddington-Grenze 1243
Maximalmasse 1244
Entwicklung von Quasaren und AGN 1244
Binäre Schwarze Löcher 1245
Quasare 1246
Radiogalaxien 1247
BL-Lacertae-Objekte 1247
Blasare 1249
Seyfert-Galaxien 1249
N-Galaxien 1250
M87 – Zentralgalaxie des
Virgoaufens 1251

51 Gravitationslinsen

1253

Physik der Linsen 1253
Lichtzeitdifferenzen 1256
Kosmische Fäden 1258
Abell 1835 IR 1916 1258
Mikrolinseneffekt 1259

52 Kosmologie

1261

Hubble-Gesetz 1261
Expansion 1264
Raumkrümmung 1264
Alter der Welt 1266
Zeitlicher Verlauf der Expansion 1268
Entfernungsmaß 1269
Evolution des Universums 1275
Temperatur 1275
Planck-Blase 1276
Planck-Ära (Urschaum) 1278
Symmetriebrechung 1. Art
(X-Ära, GUT-Ära) 1278
Kosmische Fäden 1279
Inflation 1280
Symmetriebrechung 2. Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 1283
Symmetriebrechung 3. Art 1283
Hadronen-Ära 1284
Leptonen-Ära 1285
Photonen-Ära 1285
Materie-Ära 1286
Quasare 1289
Kosmische Hintergrundstrahlung 1290
Kosmologische Modelle 1292
Hierarchie im Weltraum 1301



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

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	1305	K	Literatur und Quellen- nachweis	1361
B	Raumsonden	1311		Bildernachweis 1361	
C	Energieressourcen der Erde	1317		Quellennachweis 1369	
	Energieprozesse	1317		Literatur 1379	
	Reichweite der Vorkommen	1318		Jahrbücher 1381	
D	Ausgleichsrechnung	1321		Fachzeitschriften 1382	
	Mittelwert	1321		Sternkataloge 1382	
	Lineare Regression	1322		PC-Software 1383	
	Quadratische Regression	1324	L	Kontaktadressen	1387
	Gauß-Fit	1325		Astronomische Vereinigungen	1387
E	Kataloge	1327		Spezielle Kontakte für Beobachter	1389
F	Periodika	1331		Spezielle Bezugsquellen für den Selbstbau	1390
G	Glossar	1339		Internet	1391
H	Parameter für DCRAW	1343	M	Personenregister	1395
I	Kreuzworträtsel	1345	N	Sachregister	1407
J	Lösungen der Aufgaben	1347	O	Corrigenda	1445
				Polarimeter mit Wollaston-Prisma	1445



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.