
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 Ultravioletts- und Infrarotastronomie
- 11 Röntgen- und Gammaastronomie
- 12 Gravitationswellenastronomie
- 13 Virtuelles Observatorium
- 14 Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Teil II

Astronomische Grundlagen

- 15 Strahlung und Helligkeit
- 16 Entfernung 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 Kometenbahnen
- 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	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
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
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 Ebnen 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	10	Ultraviolett- und Infrarotastronomie	399
	Theorie der Polarisation	323		UV-Satelliten	399
	Beobachtung	329		IR-Forschung	400
	Messverfahren	332		IR-Satelliten und -sonden	401
	Kometen	337		IR-Bänder	401
	Be-Sterne	338		IR für Amateure	402
	Wolf-Rayet-Sterne	341		Kühlung	403
	Sternhaufen	345			
	Galaxien	349			
	Polarisation und Farben der Mineralien				
	beim Mond	351			
	Software	357			
8	Hochauflösende Astronomie	359	11	Röntgen- und Gammaastronomie	405
	Großteleskope	359		Satelliten	405
	Aktive Optik	361		Röntgenteleskope	406
	Adaptive Optik	362		Wolter-Teleskop	406
	Prinzip der Interferometrie	362		Gammendetektoren	407
	Radiointerferometer	363		Tscherenkow-Teleskop	407
	Optisches Interferometer	364		Fluoreszenz-Teleskop	409
	Speckle-Interferometrie	365		Gammaspektrometer	409
	Doppler-Tomographie	376			
9	Radioastronomie	377	12	Gravitationswellenastronomie	411
	Radioteleskope	377		Gravitationswellen	411
	LOFAR	379		Gravitationswellendetektoren	413
	Square Kilometre Array	380		Parameter eines Binärsystems	419
	Beobachtungstechniken	383		Gravitationswellenobjekte	423
	Radioquellen	384			
	Physik der Radiostrahlung	385			
	Beteigeuze (α Orionis)	387			
	Einfaches Radioteleskop für Amateure	390			
	Amateur-Radioteleskop 'Spider 230'	394			

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 M67	501	Osterformel	552		
Polsequenz	502				
Farbindex	503				
Bolometrische Korrektur	504				
Größenklassen	505				
Helligkeit der Sonne	505				
Weber-Fechner-Gesetz	506				
Entfernungsmodul	506				
Helligkeiten der Planeten	507				
Farbskalen	509				
16	Entfernungen im Weltall	511	19	Teilchenphysik	553
Einheiten	511	Elementarteilchen	553		
Methoden	512	Quarks	555		
Parallaxe	514	Wechselwirkung	556		
Leuchtkraftentfernung	518	Loop-Quantengravitation	559		
		Vakuumfluktuation	562		
17	Koordinatensysteme	523	20	Physik des Lichtes	563
Himmelskoordinaten	523	Welle-Teilchen-Dualismus	563		
Umrechnung der Koordinaten	526	Lichtgeschwindigkeit	565		
Präzession	528	Lichtablenkung	565		
Umrechnung des Äquinoktiums	529	Lichtbrechung	566		
Sichtbarkeit eines Gestirns	531	Reflexion und Vergütung	570		
Bestimmung des geographischen Ortes	531	Spektrum	571		
Koordinatennetze der Himmelskörper	534	Doppler-Effekt	578		
		Zeeman-Effekt	579		
		Tscherenkow-Strahlung	580		
		Poynting-Robertson-Effekt	580		
		Jarkowski-Effekt	580		
		YORP-Effekt	581		

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	595	Merkur 672 Venus 674 Erde 681 Mars 682 Jupiter 686 Saturn 696 Uranus 704 Neptun 707
23	Erdmond	643	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
24	Planeten und ihre Monde	665	Definition eines Planeten 665 Übersicht 667 Temperatur 669 Definition der Oberfläche bei Gasplaneten 670 Innerer Aufbau 670 Beobachtung 671
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 Staubkoma 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 Kometenbahnen	761	30	Entstehung des Planetensystems	791
Kepler-Problem	761		Historische Weltbilder	791	
Kepler'sche Gesetze	765		Entstehung der Planeten	792	
Librationspunkte	766		Einzelphänomene	797	
Hill-Sphäre	767				
Bahnelemente und Koordinatensysteme	768				
Bahnelemente der Planeten	770				
29	Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung	771	31	Exoplaneten und Astrobiologie	803
Wahre Anomalie	771		Braune Zwerge	803	
Ephemeridenrechnung	775		Exoplaneten	805	
Bahnbestimmung	780		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

831

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

33 Zustandsdiagramme

869

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

34 Entstehung der Sterne

881

- 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

897

- 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

913

- Urmasse 913
- Massenverlust 916
- Akkretionssscheibe 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

- Aufbau 969
Struktur 970
Gaia 972
Sternströme und Hyperschnellläufer 973
Ausstoß von Wasserstoffwolken 974
Gasblasen 974
Galaktischer Kern 975
Begleiter 976
Kollisionskurs 976

969

42 Interstellare Materie

979

- Allgemeines 979
lokale Blase 980
Wasserstoffmoleküle H_2 981
Organische Moleküle 982
Interstellare Extinktion 982
Farbexzess 983
Q-Methode 984
Balmer-Dekrement 985

43 Galaktische Nebel

989

- Allgemeines 989
Radius von HII-Regionen 990
Übersicht 992
Beobachtung 992
Einzelobjekte 993
Objekte für Teleobjektive 1012
Herbig-Haro-Objekte 1018

44 Planetarische Nebel

1019

- Allgemeines 1019
Übersicht 1023
Einzelobjekte 1023

45 Sternhaufen

1035

- Offene Sternhaufen 1035
Kugelsternhaufen 1044
Entwicklung eines Sternhaufens 1049
Altersbestimmung 1050

46 Doppelsterne

1059

- Visuelle Doppelsterne 1059
Astrometrische Doppelsterne 1059
Spektroskopische Doppelsterne 1060
Photometrische Doppelsterne 1060
Kataklysmische Systeme 1062
Statistik 1063
Systemparameter 1064
Radiusbestimmung 1064
Massenbestimmung 1066
Massenaustausch bei Doppelsternen 1066
Beobachtungsobjekte 1070
Einzelobjekte 1073
Bestimmung von Abstand und
Positionswinkel 1084
Ephemeridenrechnung 1096

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	51	Gravitationslinsen	1253
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	52	Kosmologie	1261
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					
Virgohaufens 1251					
Physik der Linsen 1253					
Lichtzeitdifferenzen 1256					
Kosmische Fäden 1258					
Abell 1835 IR 1916 1258					
Mikrolinseneffekt 1259					
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	
				Fachzeitschriften 1382	
D	Ausgleichsrechnung	1321		Sternkataloge 1382	
	Mittelwert	1321		PC-Software 1383	
	Lineare Regression	1322	L	Kontaktadressen	1387
	Quadratische Regression	1324		Astronomische Vereinigungen 1387	
	Gauß-Fit	1325		Spezielle Kontakte für Beobachter 1389	
				Spezielle Bezugsquellen für den	
				Selbstbau 1390	
				Internet 1391	
E	Kataloge	1327	M	Personenregister	1395
F	Periodika	1331	N	Sachregister	1407
G	Glossar	1339	O	Corrigenda	1445
H	Parameter für DCRAW	1343		Polarimeter mit Wollaston-Prisma 1445	
I	Kreuzworträtsel	1345			
J	Lösungen der Aufgaben	1347			



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.