
tabulae summae

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1	Beobachtungen mit bloßem Auge	35	Ausrichtung einer parallaktischen Montierung 131 Scheiner-Methode 132 Lüthen-Kahlhöfer-Methode 134 Stative 137 Tauschutz 139 Selbstbau 141 Zubehör 146 Kauftipps 147
2	Atmosphäre der Erde	53	Aufbau 53 Atmosphärische Fenster 55 Warum der Himmel blau ist? 56 Extinktion 57 Refraktion 60 Szintillationsrauschen 61 Himmelshelligkeit 62 Angaben zur Beobachtung 64 Wetter 66 Solar-terrestrische Beziehungen 72 Luftleuchten 73 Polarlichter 74 Nachtleuchtende Wolken 76 Haloerscheinungen 78 Grüner Strahl 82 Zodiakallicht 83 Dämmerung 85
3	Optische Teleskope	87	Fernrohrtypen 88 Optische Abbildungsfehler 95 Objektive 99 Okulare 111 Zusatzoptiken 114 Vergrößerung 116 Blickfeld 119 Lichtstärke 119 Auflösungsvermögen 122 Luftunruhe (Seeing) 126 Montierungen 127 Nachführfehler 130
4	Astrophotographie	151	Einleitung 151 Aufnahmeverfahren 152 Sternfeldaufnahmen 152 Fokalaufnahmen 155 Projektionsaufnahmen 158 Bildgröße 159 Belichtungszeit 160 Filter 164 Digitaltechnik 169 Kameraobjektiv 185 Aufnahmesoftware 187 Fokussierung 193 Hintergrund des Bildes 195 Nachbearbeitung am PC 209 Bildüberlagerung 211 Ebnen und Glätten 212 Kontrastverstärkung 218 Schärfung 220 Astrophotographie mit Smartphone 224 Lösungen für Probleme 238

5	Photometrie	239	6	Spektroskopie	301
Einleitung	239		Spektrograph	301	
Photographische Photometrie	240		Spektrographen im Handel	308	
Visuelle Schätzung	242		Spaltlose Spektroskopie	310	
Schätzung mit künstl. Vergleichsquelle	244		Objektivgitter	319	
Interpolationsmethode nach Pickering	245		Aufnahmen von Spektren	328	
Stufenschätzmethode nach Argelander	246		Kalibrierung	334	
Digitalphotometrie	251		Spektrallinien	342	
Dateiformat und Sättigung	252		Energiesparlampe	350	
Punktspreizfunktion (PSF)	255		Themengebiete	352	
Farbphotometrie	256		Spektralklassifikation	354	
Messmethoden	257		Vermessung der Linien	365	
Umrechnungsfunktion	262		Äquivalentbreite	375	
Extinktion	267		Spektrumsphotometrie	381	
Genauigkeit	269		Jugend forscht	387	
JPEG und Sättigung	276				
Zeitangaben	280				
Photometrie am Tage	281				
Photometriesoftware	284				
Aufgabenbereiche	298				
Zusammenfassung und Ausblick	300				



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	389	Meteore 489 Astropeiler Stockert 493 Sat-TV-Radioteleskop 493 Amateur-Radioteleskop 'Spider 230c 499
8	Hochauflösende Astronomie	429	UV-Satelliten 505 IR-Forschung 506 IR-Satelliten und -sonden 508 IR-Bänder 508 Kühlung 508 IR für Amateure 509 1- μ m-Amateurastronomie 510
9	Radioastronomie	449	Röntgen-, Gamma- und Neutrinoastronomie 519
			Satelliten 519 Röntgenteleskope 520 Wolter-Teleskop 520 Gammadetektoren 521 Gammaspektrometer 521 Fluoreszenz-Teleskop 522 Tscherenkow-Teleskope 522 Neutrino-Observatorium 524
10	Ultraviolett- und Infrarotastronomie	505	Gravitationswellen- astronomie 527
11	Röntgen-, Gamma- und Neutrinoastronomie	519	Detektoren für Gravitationswellen 528 Gravitationsstrahlung eines Binär- systems 539 Gravitationswellenobjekte 543
12	Gravitationswellen- astronomie	527	

13	Virtuelles Observatorium	555
Einleitung	555	
Data-Mining	556	
Kataloge	557	
Bedienung	566	
Werkzeuge	595	
Citizen-Science (Bürgerwissenschaft)	603	
Zooniverse	604	

14	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	607
Überblick	607	
ProAm-Kampagnen	609	
Amateure unter sich	610	
Einzelobjekte	612	
Beifang in		
Deep-Sky-Bildern	618	
Veränderliche in der Nähe bekannter		
Deep-Sky-Objekte	621	
Delta-Scuti-Stern bei M 27	632	
Veränderliche bei M 33	638	
Bedeckungsveränderlicher bei		
NGC 4490	653	
W-Ursae-Majoris-Stern bei		
NGC 4565	660	



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	671	18	Chronologie	727
Strahlungsintensität	671	Zeitmessung	727		
Strahlungsstrom	671	Gregorianischer Kalender	735		
Photometrische Systeme	672	Jahreslängen	736		
Auge	678	Monatslängen	736		
RGB-Systeme	679	Julianisches Datum	737		
Referenzfeld M	679	Osterformel	740		
Polsequenz	685				
Farbindex	686				
Bolometrische Korrektur	687				
Größenklassen	688				
Helligkeit der Sonne	689				
Weber-Fechner-Gesetz	689				
Entfernungsmodul	690				
Helligkeiten der Planeten	690				
Farbskalen	693				
16	Entfernungen im Weltall	695	19	Teilchenphysik	741
Einheiten	695	Elementarteilchen	741		
Methoden	696	Wechselwirkung	744		
Parallaxe	698	Loop-Quantengravitation	748		
Dispersionsmaß	702	Vakuumfluktuation	750		
Leuchtkraftentfernung	704				
17	Koordinatensysteme	709	20	Physik des Lichtes	753
Himmelskoordinaten	709	Strahlungsgesetze	753		
Umrechnung der Koordinaten	712	Welle-Teilchen-Dualismus	755		
Präzession	714	Lichtgeschwindigkeit	757		
Umrechnung des Äquinoktiums	715	Lichtablenkung	758		
Referenzsystem	717	Lichtbrechung	759		
Sichtbarkeit eines Gestirns	718	Reflexion und Vergütung	763		
Bestimmung des geographischen Ortes	718	Spektrum	764		
Koordinatennetze der Himmelskörper	721	Doppler-Effekt	771		
		Zeeman-Effekt	773		
		Tscherenkov-Strahlung	773		
		Poynting-Robertson-Effekt	774		
		Jarkowski-Effekt	774		
		YORP-Effekt	774		

21 Magnetismus

777

- Einleitung 777
- Einheiten 778
- Entstehung 779
- Synchrotronstrahlung 780
- Messung 782
- Erdmagnetfeld 782
- Van-Allen-Gürtel 784
- Magnetische Stürme 785
- Sonne 786

22 Akkretion

791

- Einleitung 791
- Protostern 792
- Supernova 792
- Mikroquasar 793
- Quasar 793
- Akkretionsscheibe 794
- Gammaburster 799



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

23	Sonne	803	Merkur 896 Venus 899 Erde 906 Mars 909 Jupiter 915 Saturn 926 Uranus 935 Neptun 939
24	Erdmond	865	Überblick 865 Oberflächenstrukturen 866 Libration 868 Sternbedeckung 869 Durchmesser eines Kraters 871 Zeichnen von Mondkratern 873 Höhe eines Mondberges 878 Mondfinsternisse 881 Lunar Transient Phenomena 885 Ebbe und Flut 886
25	Planeten und ihre Monde	889	Übersicht 889 Definition eines Planeten 890 Übersicht 891 Temperatur 894 Definition der Oberfläche bei Gas- und Eisplaneten 895 Innerer Aufbau 895 Beobachtung 895
26	Zwerg- und Kleinplaneten	941	Übersicht 941 Kommensurabilitäten 944 Erdnahe Objekte 945 Zwergplaneten 946 Einzelobjekte 947 Interstellare Objekte 956 Beobachtung 958
27	Kometen	965	Einleitung 965 Kern und Staubkoma 965 Koma 967 Schweif 967 Chemische Zusammensetzung 970 Bahnen 970 Namensgebung 971 Einzelobjekte 972 Beobachtung 981
28	Meteore und Meteorite	991	Begriffe 991 Übersicht 992 Meteorströme 993 Historische Einschläge 996 Visuelle Beobachtung 1000 Radiobeobachtungen 1002

29	Planeten- und Kometen-		
	bahnen		
		1009	
	Kepler-Problem	1009	
	Kepler'sche Gesetze	1013	
	Synodische Umlaufzeit	1014	
	Librationspunkte	1016	
	Hill-Sphäre	1016	
	Bahnelemente und Koordinaten-		
	systeme	1017	
	Bahnelemente der Planeten	1019	
30	Ephemeridenrechnung und		
	Bahnbestimmung		
		1021	
	Wahre Anomalie	1021	
	Ephemeridenrechnung	1025	
	Bahnbestimmung	1030	
31	Entstehung des Planeten-		
	systems		
		1043	
	Historische Weltbilder	1043	
	Entstehung der Planeten	1044	
	Einzelphänomene	1050	
32	Exoplaneten und Astro-		
	biologie		
		1055	
	Exoplaneten	1055	
	Astrobiologie	1075	



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

33	Aufbau der Sterne	1089	36	Entwicklung der Sterne	1167
Einleitung	1089		Einleitung	1167	
Populationen	1090		Zeitskalen	1168	
Masse	1091		Entartung	1169	
Radius	1097		Schönberg-Chandrasekhar-Grenze	1170	
Dichte	1101		Kritische Masse	1171	
Temperatur	1101		Brenndauer bei massereichen Sternen	1172	
Schwerebeschleunigung	1105		Abzweigen von der Hauptreihe	1173	
Metallhäufigkeit	1106		Thermische Stabilität	1174	
Kalziumtriplett	1106		Übergang zum Heliumbrennen	1174	
Relationen	1111		Schalenbrennen um einen entarteten		
Rotation	1113		Kern	1176	
Energieprozesse	1114		Zweischalenbrennen	1177	
Konvektionszone	1120		Wiederbelebung Weißer Zwerge	1178	
Braune Zwerge	1122		Pulsation der Sterne	1178	
Sternaufbaurechnungen	1125		Einzelobjekte	1182	
			Entwicklung eines Binärsystems	1184	
			Wechselwirkende binäre Weiße		
			Zwerge	1186	
			Endstadium	1187	
			Massenverlust	1190	
34	Zustandsdiagramme	1139	37	Weiße Zwerge	1193
Hertzsprung-Russell-Diagramm	1139		Einleitung	1193	
Farben-Helligkeits-Diagramm	1143		Zustandsgrößen	1193	
Zwei-Farben-Diagramm	1147		Stabilität	1198	
			Heliumblitz der zweiten Generation	1200	
			Spektralklassifikation	1201	
			Verschmelzung von zwei Weißen		
			Zwergen	1202	
			Planetarischer Nebel	1204	
			ZZ-Ceti-Sterne	1205	
35	Entstehung der Sterne	1151			
Einleitung	1151				
Kritische Masse	1151				
Gasfinger	1155				
Mikroturbulenz	1155				
Magnetfelder	1155				
Molekülwolken	1155				
Bildung von Sternhaufen	1156				
Drehimpulsproblem	1157				
Entstehung eines Sterns mit einer Sonnenmasse	1159				
Sternentstehungseffizienz	1160				
Lada-Klassen	1160				
IRDC	1161				
Rho Ophiuchi	1162				
MN Lupi	1163				
Epsilon Aurigae	1163				

38	Neutronensterne	1207	40	Schwarze Löcher	1233
Entstehung	1207		Einleitung	1233	
Magnetare	1210		Modelle	1234	
Thermische Röntgen-Neutronensterne	1211		Schwarzschild-Radius	1234	
Quasiperiodische Oszillatoren (QPO)	1212		Gravitationsradius	1235	
Quarksterne	1214		Kerr-Loch	1236	
Rotating Radio Transients (RRAT)	1215		Verschmelzung von Neutronensternen	1236	
Fast Radio Bursts (FRB)	1215		Exotische Alternativen	1237	
Einzelobjekte	1216		Beobachtung	1238	
			Einzelobjekte	1238	
39	Pulsare	1221	Globale Betrachtung	1243	
Physik der Pulsare	1221		Hawking-Strahlung	1243	
Einzelobjekte	1226		Primordiale Schwarze Löcher	1246	
			Intermediäre Schwarze Löcher	1247	
			Supermassereiche Schwarze Löcher	1248	



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

Teil V

Unser Milchstraßensystem

41 Milchstraße

- Aufbau 1255
Struktur 1257
Gaia 1259
Sternströme und Hyperschnellläufer 1262
Ausstoß von Wasserstoffwolken 1263
Gasblasen 1264
Galaktischer Kern 1264
Begleiter 1266
Kollisionen 1266

1255

42 Interstellare Materie

- Allgemeines 1269
Lokale Blase 1270
Wasserstoffmoleküle H_2 1271
Organische Moleküle 1272
Interstellare Extinktion 1272
Farbexzess 1273
Balmer-Dekrement 1275

1269

43 Galaktische Nebel

- Allgemeines 1279
Radius von HII-Regionen 1280
Übersicht 1282
Beobachtung 1282
Einzelobjekte 1283
Objekte für Teleobjektive 1302
Herbig-Haro-Objekte 1310

1279

44 Planetarische Nebel

- Allgemeines 1311
Übersicht 1315
Einzelobjekte 1315

1311

45 Sternhaufen

- Offene Sternhaufen 1329
Kugelsternhaufen 1338
Entwicklung eines Sternhaufens 1343
Altersbestimmung 1344

1329

46 Doppelsterne

- Einleitung 1353
Visuelle Doppelsterne 1354
Astrometrische Doppelsterne 1354
Spektroskopische Doppelsterne 1354
Photometrische Doppelsterne 1354
Kataklysmische Systeme 1356
Statistik 1357
Systemparameter 1358
Radiusbestimmung 1359
Massenbestimmung 1360
Massenaustausch bei Doppelsternen 1361
Beobachtungsobjekte 1364
Einzelobjekte 1371
Bestimmung von Abstand und
Positionswinkel 1383
Anwendungsbeispiele 1396
Ephemeridenrechnung 1406

1353

47 Veränderliche Sterne

- Klassifikation 1409
Pulsationsveränderliche 1411
Eruptionsveränderliche 1422
Rotationsveränderliche 1425
Röntgenveränderliche 1425
Kataklysmische Veränderliche 1426
Novae 1437
Beobachtungsobjekte 1449
Auswahl der Vergleichssterne 1451
Lichtkurve 1457
Bestimmung von Minimums- und Maximumszeitpunkten 1469
Bestimmung von Minimum und Maximum 1474
Fehler bei der Minimums- und Maximumsbestimmung 1482

1409

- Systemparameter 1483
(B–R)-Diagramm 1483
Spezielle Objekte 1493
Gemeinschaftslichtkurve 1494
Veröffentlichung der Ergebnisse 1499

48 Super- und Hypernovae 1505

- Überblick 1505
Ursache 1507
Supernova Typ Ia 1509
Supernova Typ II 1509
Lichtkurven 1511
Lichtecho 1513
Fast Blue Optical Transients (FBOT) 1514
Hypernova 1517
Einzelobjekte 1520
Supernovaüberreste 1531



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	
	Einleitung	1541
	Klassifikation	1542
	Bildung der Galaxien	1549
	Entstehung der Spiralarme	1550
	Rotation	1552
	Dunkle Materie	1554
	Zwerggalaxien	1557
	Wechselwirkende Galaxien	1559
	Starburstgalaxien	1564
	Galaxienhaufen	1565
	Super(galaxien)haufen	1567
	Massen	1568
	Walls und Voids	1569
	Einstein-Straus-Vakuolen	1569
	Beobachtungsobjekte	1570
	Objekte für Teleobjektive	1580
	Flächenhelligkeit	1583

50	Aktive Galaxien	1593
-----------	-----------------	------

	Einleitung	1593
	Aktive Galaktische Kerne	1594
	Leuchtkraft	1597
	Eddington-Grenze	1598
	Maximalmasse	1599
	Entwicklung von Quasaren	1599
	Binäre Schwarze Löcher	1601
	Quasare	1602
	Radiogalaxien	1604
	BL-Lacertae-Objekte	1605
	Blasare	1606
	Seyfert-Galaxien	1606
	N-Galaxien	1607
	M 87 – Zentralgalaxie des Virgothaufens	1608

51	Gravitationslinsen	1611
-----------	--------------------	------

	Einleitung	1611
	Physik der Linsen	1611
	Lichtzeitdifferenzen	1614
	Kosmische Fäden	1616
	Abell 1835 IR 1916	1616
	Mikrolinseneffekt	1617



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

52 Kosmologie

Einleitung 1619
Hubble-Gesetz 1620
Expansion 1623
Raumkrümmung 1623
Alter der Welt 1625
Zeitlicher Verlauf der Expansion 1628
Entfernungsmaß 1628
Berechnung der Entfernung 1633
Evolution des Universums 1640
Temperatur 1641
Planck-Blase 1642
Planck-Ära (Urschaum) 1643

1619

Symmetriebrechung 1.Art
(X-Ära, GUT-Ära) 1644
Kosmische Fäden 1644
Inflation 1646
Symmetriebrechung 2.Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 1648
Symmetriebrechung 3.Art 1649
Hadronen-Ära 1649
Leptonen-Ära 1650
Photonen-Ära 1651
Materie-Ära 1651
Quasare 1655
Kosmische Hintergrundstrahlung 1655
Kosmologische Modelle 1657
Hierarchie im Weltraum 1668



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

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	1671	G	Ausgleichsrechnung	1719
B	Raumsonden	1679		Mittelwert 1719	
C	Energieressourcen der Erde	1687		Lineare Regression 1720	
	Energieprozesse	1687		Quadratische Regression 1722	
	Reichweite der Vorkommen	1688		Gauß-Fit 1723	
D	Polarimeter mit Wollaston-Prisma	1691	H	Kataloge	1725
	Einleitung	1691	I	Periodika	1729
	Konstruktion	1691	J	Glossar	1737
	Dimensionierung der Optik	1692	K	Klassifikation veränderlicher Sterne	1741
	Optomechanik	1693			
	Justierung	1693	L	Parameter für DCRAW	1747
	Beschaffung	1693	M	Unterhaltsame Astronomie	1749
	Test	1694		Silbenrätsel, um die Ecke gedacht	1749
E	Analoge Photographie	1699		Kreuzworträtsel mit Bildern	1750
	Einleitung	1699		Gitterrätsel „Jupiters Monde“	1752
	Photometrie	1700	N	Lösungen der Aufgaben	1753
F	Landschaftsphotographie im Infraroten	1709			
	Einleitung	1709			
	Landschaften bei 807 nm	1711			
	Landschaften bei 642 nm	1712			

O	Literatur und Quellen-nachweis	1769	
	Bildernachweis	1769	
	Quellennachweis	1773	
	Literatur	1790	
	Jahrbücher	1792	
	Fachzeitschriften	1793	
	Sternkataloge	1793	
	PC-Software	1794	
P	Kontaktadressen		1805
	Astronomische Vereinigungen	1805	
	Spezielle Kontakte für Beobachter	1807	
	Spezielle Bezugsquellen für den		
	Selbstbau	1808	
	Internet	1809	
Q	Personenregister		1813
R	Sachregister		1827



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.



Das große Beamten-Wohnhaus liegt inmitten des idyllischen Teleskoparks.