
tabulae summae

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1	Beobachtungen mit bloßem Auge	35			
	Motivation	35			
	Hilfsmittel	36			
	Smartphone	38			
	Sternkarten	41			
	Scheiner-Methode	130			
	Lüthen-Kahlhöfer-Methode	132			
	Stative	135			
	Tauschutz	137			
	Selbstbau	139			
	Zubehör	144			
	Kauf Tipps	145			
2	Atmosphäre der Erde	51	4	Astrofotographie 149	
	Aufbau	51		Einleitung	149
	Atmosphärische Fenster	53		Aufnahmeverfahren	150
	Warum der Himmel blau ist?	54		Sternfeldaufnahmen	150
	Extinktion	55		Fokalaufnahmen	153
	Refraktion	58		Projektionsaufnahmen	156
	Scintillationsrauschen	59		Bildgröße	157
	Angaben zur Beobachtung	60		Belichtungszeit	158
	Wetter	63		Filter	162
	Solar-terrestrische Beziehungen	69		Digitaltechnik	164
	Luftleuchten	70		Kameraobjektiv	178
	Polarlichter	71		Aufnahmesoftware	180
	Nachtleuchtende Wolken	73		Fokussierung	185
	Haloerscheinungen	75		Hintergrund des Bildes	188
	Grüner Strahl	79		Nachbearbeitung am PC	202
	Zodiakallicht	80		Bildüberlagerung	202
	Dämmerung	82		Ebenen und Glätten	205
				Kontrastverstärkung	210
				Schärfung	212
				Astrofotographie mit Smartphone	216
				Lösungen für Probleme	228
3	Optische Teleskope	85			
	Fernrohrtypen	86			
	Optische Abbildungsfehler	93			
	Objektive	97			
	Okulare	109			
	Zusatzoptiken	112			
	Vergrößerung	114			
	Blickfeld	117			
	Lichtstärke	117			
	Auflösungsvermögen	120			
	Luftunruhe (Seeing)	124			
	Montierungen	125			
	Nachführfehler	128			
	Ausrichtung einer parallaktischen Montierung	129			

5 Photometrie 229

- Lichtelektrische Photometrie 230
- Photographische Photometrie 230
- Visuelle Schätzung 232
- Schätzung mit künstl. Vergleichsquelle 234
- Interpolationsmethode nach Pickering 235
- Stufenschätzmethode nach Argelander 236
- Digitalphotometrie 241
- Datenformat und Sättigung 242
- Punktspreizfunktion (PSF) 245
- Polsequenz 246
- Spektralphotometrie 246
- Messmethoden 247
- Umrechnungsfunktion 252
- Extinktion 256
- Genauigkeit 258
- JPEG und Sättigung 262
- Photometriesoftware 268
- Aufgabenbereiche 278
- Zusammenfassung und Ausblick 280

6 Spektroskopie 281

- Spektrograph 281
- Spaltlose Spektroskopie 289
- Objektivgitter 297
- Aufnahmen von Spektren 306
- Kalibrierung 312
- Spektrallinien 320
- Energiesparlampe 323
- Themengebiete 325
- Spektralklassifikation 327
- Vermessung der Linien 333
- Äquivalentbreite 342
- Spektrumsphotometrie 349
- Jugend forscht 354



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 357

- Theorie der Polarisation 357
- Beobachtung 363
- Messverfahren 367
- Kometen 372
- Be-Sterne 373
- Wolf-Rayet-Sterne 376
- Sternhaufen 380
- Galaxien 384
- Polarisation und Farben der Mineralien beim Mond 386
- Software 392

8 Hochauflösende Astronomie 393

- Großteleskope 393
- Aktive Optik 395
- Adaptive Optik 396
- Prinzip der Interferometrie 396
- Radiointerferometer 398
- Optisches Interferometer 399
- Speckle-Interferometrie 400
- Doppler-Tomographie 410

9 Radioastronomie 411

- Radioteleskope 411
- Very Long Base Interferometer 413
- LOFAR 415
- MeerKAT 417
- Square Kilometre Array 417
- Beobachtungstechniken 420
- Radioquellen 421
- Physik der Radiostrahlung 422
- Beteigeuze (α Orionis) 425
- Radioastronomie für Amateure 428
- Astroteiler Stockert 439
- Sat-TV-Radioteleskop 439
- Amateur-Radioteleskop ›Spider 230‹ 445

10 Ultraviolett- und Infrarot-astronomie 451

- UV-Satelliten 451
- IR-Forschung 452
- IR-Satelliten und -sonden 453
- IR-Bänder 453
- IR für Amateure 453
- Kühlung 455

11 Röntgen- und Gamma-astronomie 457

- Satelliten 457
- Röntgenteleskope 458
- Wolter-Teleskop 458
- Gammadetektoren 459
- Tscherenkow-Teleskop 459
- Fluoreszenz-Teleskop 460

12 Gravitationswellen-astronomie 463

- Gravitationswellen 463
- Detektoren für Gravitationswellen 464
- Parameter eines Binärsystems 471
- Gravitationswellenobjekte 475

13 Virtuelles Observatorium 485

- Einleitung 485
- Data-Mining 486
- Kataloge 487
- Bedienung 496
- Werkzeuge 525
- Citizen-Science (Bürgerwissenschaft) 533
- Zooniverse 534

14 Interdisziplinäre Zusammenarbeit 537

- Überblick 537
- ProAm-Kampagnen 539
- Amateure unter sich 540
- Einzelobjekte 542
- Beifang in Deep-Sky-Bildern 548
- Veränderliche in der Nähe bekannter
Deep-Sky-Objekte 551
- Delta-Scuti-Stern bei M 27 563
- Veränderliche bei M 33 569
- Bedeckungsveränderlicher bei
NGC 4490 584
- W-Ursae-Majoris-Stern bei
NGC 4565 591



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 603

Strahlungsintensität 603
Strahlungsstrom 603
Photometrische Systeme 604
Auge 609
RGB-Systeme 611
Referenzfeld M 67 615
Polsequenz 616
Farbindex 617
Bolometrische Korrektur 618
Größenklassen 619
Helligkeit der Sonne 619
Weber-Fechner-Gesetz 620
Entfernungsmodul 621
Helligkeiten der Planeten 621
Farbskalen 624

16 Entfernungen im Weltall 627

Einheiten 627
Methoden 628
Parallaxe 630
Leuchtkraftentfernung 634

17 Koordinatensysteme 639

Himmelskoordinaten 639
Umrechnung der Koordinaten 642
Präzession 644
Umrechnung des Äquinoktiums 645
Referenzsystem 647
Sichtbarkeit eines Gestirns 648
Bestimmung des geographischen Ortes 648
Koordinatennetze der Himmelskörper 651

18 Chronologie 657

Zeitmessung 657
Gregorianischer Kalender 664
Jahreslängen 665
Monatslängen 665
Julianisches Datum 666
Osterformel 669

19 Teilchenphysik 671

Elementarteilchen 671
Wechselwirkung 674
Loop-Quantengravitation 678
Vakuumfluktuation 680

20 Physik des Lichtes 683

Strahlungsgesetze 683
Welle-Teilchen-Dualismus 685
Lichtgeschwindigkeit 687
Lichtablenkung 688
Lichtbrechung 689
Reflexion und Vergütung 693
Spektrum 694
Doppler-Effekt 701
Zeeman-Effekt 703
Tscherenkow-Strahlung 703
Poynting-Robertson-Effekt 703
Jarkowski-Effekt 704
YORP-Effekt 704

21 Magnetismus

707

Einleitung 707
Einheiten 708
Entstehung 709
Synchrotronstrahlung 710
Messung 712
Erdmagnetfeld 712
Van-Allen-Gürtel 714
Magnetische Stürme 715
Sonne 716

22 Akkretion

721

Einleitung 721
Protostern 722
Supernova 722
Mikroquasar 723
Quasar 723
Akkretionsscheibe 724
Gammaburster 729



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

Teil III

Unser Sonnensystem

23 Sonne 733

Überblick 733
Innerer Aufbau 734
Rotation und Magnetfeld 737
Oberfläche 738
Wilson-Effekt 742
Anwendungsbeispiel 747
Atmosphäre 761
Beobachtung 762
Photographie 765
Sonnenflecken 768
Schwankungen der Sonnenfleckenaktivität 771
Klassifizierung 774
Auswertemethoden 776
Software *SUNMAP* 782
Sonnenfinsternisse 791

24 Erdmond 795

Überblick 795
Formationen 796
Libration 797
Sternbedeckung 797
Durchmesser eines Kraters 800
Zeichnen von Mondkratern 801
Höhe eines Mondberges 806
Mondfinsternisse 809
Lunar Transient Phenomena 813
Ebbe und Flut 814

25 Planeten und ihre Monde 817

Einleitung 817
Definition eines Planeten 818
Übersicht 819
Temperatur 821
Definition der Oberfläche bei Gasplaneten 822
Innerer Aufbau 823
Beobachtung 823
Merkur 824

Venus 827
Erde 833
Mars 834
Jupiter 839
Saturn 848
Uranus 857
Neptun 860

26 Zwerg- und Kleinplaneten 863

Übersicht 863
Kommensurabilitäten 866
Erdnahe Objekte 867
Zwergplaneten 868
Einzelobjekte 869
Interstellare Objekte 878
Beobachtung 880

27 Kometen 885

Einleitung 885
Kern und Staubkoma 885
Koma 887
Schweif 887
Chemische Zusammensetzung 889
Bahnen 889
Namensgebung 891
Einzelobjekte 891
Beobachtung 900

28 Meteore und Meteorite 909

Begriffe 909
Übersicht 910
Meteorströme 911
Historische Einschläge 912
Beobachtung 915

29 Planeten- und Kometenbahnen 919

- Kepler-Problem 919
- Kepler'sche Gesetze 923
- Librationspunkte 924
- Hill-Sphäre 925
- Bahnelemente und Koordinatensysteme 926
- Bahnelemente der Planeten 928

30 Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung 929

- Wahre Anomalie 929
- Ephemeridenrechnung 933
- Bahnbestimmung 938

31 Entstehung des Planetensystems 951

- Historische Weltbilder 951
- Entstehung der Planeten 952
- Einzelphänomene 957

32 Exoplaneten und Astrobiologie 963

- Braune Zwerge 963
- Exoplaneten 965
- Astrobiologie 980



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

993

Einleitung 993
Populationen 994
Masse 995
Radius 999
Dichte 1003
Temperatur 1003
Relationen 1007
Rotation 1009
Energieprozesse 1010
Konvektionszone 1016
Sternaufbaurechnungen 1018

34 Zustandsdiagramme

1033

Hertzprung-Russell-Diagramm 1033
Farben-Helligkeits-Diagramm 1037
Zwei-Farben-Diagramm 1041

35 Entstehung der Sterne

1045

Einleitung 1045
Kritische Masse 1045
Gasfinger 1049
Mikroturbulenz 1049
Magnetfelder 1049
Molekülwolken 1049
Bildung von Sternhaufen 1050
Drehimpulsproblem 1051
Entstehung eines Sterns mit einer Sonnen-
masse 1053
Sternentstehungseffizienz 1054
Lada-Klassen 1054
IRDC 1055
TW Hydrae 1056
MN Lupi 1056
Rho Ophiuchi 1056
Epsilon Aurigae 1056

36 Entwicklung der Sterne

1061

Einleitung 1061
Hydrostatische Zeitskala 1062
Kelvin-Helmholtz-Zeitskala 1062
Nukleare Zeitskala 1062
Entartung 1063
Schönberg-Chandrasekhar-Grenze 1064
Kritische Masse 1065
Brenndauer bei massereichen Sternen 1066
Abzweigen von der Hauptreihe 1067
Thermische Stabilität 1067
Übergang zum Heliumbrennen 1068
Schalenbrennen um einen entarteten
Kern 1069
Zweischalenbrennen 1071
Wiederbelebung Weißer Zwerge 1071
Pulsation der Sterne 1071
Einzelobjekte 1075
Entwicklung eines Binärsystems 1076
Endstadium 1078
Massenverlust 1081

37 Weiße Zwerge

1083

Einleitung 1083
Zustandsgrößen 1083
Stabilität 1088
Heliumblitz der zweiten Generation 1090
Spektralklassifikation 1091
Verschmelzung von zwei Weißen
Zwergen 1092
Planetarischer Nebel 1093
ZZ-Ceti-Sterne 1093

38 Neutronensterne 1097

Entstehung 1097
Abschätzung des Magnetfeldes 1099
Abschätzung der Dichte 1099
Magnetare 1100
Thermische Röntgen-Neutronensterne 1101
Quasiperiodische Oszillatoren (QPO) 1102
Quarksterne 1104
RRATs 1105
Einzelobjekte 1105

39 Pulsare 1109

Physik der Pulsare 1109
Einzelobjekte 1114
Entfernungsbestimmung 1120

40 Schwarze Löcher 1121

Einleitung 1121
Modelle 1122
Schwarzschild-Radius 1122
Gravitationsradius 1123
Kerr-Loch 1124
Verschmelzung von Neutronensternen 1124
Exotische Alternativen 1125
Beobachtung 1126
Einzelobjekte 1126
Globale Betrachtung 1130
Hawking-Strahlung 1131
Primordiale Schwarze Löcher 1134
Intermediäre Schwarze Löcher 1135
Supermassereiche Schwarze Löcher 1135



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

Teil V

Unser Milchstraßensystem

41 Milchstraße 1143

Aufbau 1143
Struktur 1144
Gaia 1146
Sternströme und Hyperschnellläufer 1148
Ausstoß von Wasserstoffwolken 1148
Gasblasen 1149
Galaktischer Kern 1149
Begleiter 1150
Kollisionen 1151

42 Interstellare Materie 1153

Allgemeines 1153
Lokale Blase 1154
Wasserstoffmoleküle H_2 1155
Organische Moleküle 1156
Interstellare Extinktion 1156
Farbexzess 1157
Q-Methode 1158
Balmer-Dekrement 1159

43 Galaktische Nebel 1163

Allgemeines 1163
Radius von HII-Regionen 1164
Übersicht 1166
Beobachtung 1166
Einzelobjekte 1167
Objekte für Teleobjektive 1186
Herbig-Haro-Objekte 1192

44 Planetarische Nebel 1193

Allgemeines 1193
Übersicht 1197
Einzelobjekte 1197

45 Sternhaufen 1209

Offene Sternhaufen 1209
Kugelsternhaufen 1218
Entwicklung eines Sternhaufens 1223
Altersbestimmung 1224

46 Doppelsterne 1233

Einleitung 1233
Visuelle Doppelsterne 1234
Astrometrische Doppelsterne 1234
Spektroskopische Doppelsterne 1234
Photometrische Doppelsterne 1234
Kataklysmische Systeme 1236
Statistik 1237
Systemparameter 1238
Radiusbestimmung 1239
Massenbestimmung 1240
Massenaustausch bei Doppelsternen 1241
Beobachtungsobjekte 1244
Einzelobjekte 1251
Bestimmung von Abstand und Positionswinkel 1263
Anwendungsbeispiele 1276
Ephemeridenrechnung 1286

47 Veränderliche Sterne 1289

- Klassifikation 1289
- Pulsationsveränderliche 1291
- Eruptionsveränderliche 1302
- Rotationsveränderliche 1304
- Röntgenveränderliche 1304
- Kataklysmische Veränderliche 1304
- Novae 1314
- Beobachtungsobjekte 1325
- Auswahl der Vergleichssterne 1326
- Lichtkurve 1332
- Bestimmung von Minimums- und Maximumszeitpunkten 1344
- Bestimmung von Minimum und Maximum 1349
- Fehler bei der Minimums- und Maximumsbestimmung 1357

- Systemparameter 1358
- (B–R)-Diagramm 1358
- Spezielle Objekte 1367
- Gemeinschaftslichtkurve 1368
- Veröffentlichung der Ergebnisse 1373

48 Super- und Hypernovae 1379

- Überblick 1379
- Ursache 1380
- Supernova Typ Ia 1382
- Supernova Typ II 1383
- Lichtkurven 1384
- Lichtecho 1386
- Hypernova 1387
- Einzelobjekte 1390
- Supernovaüberreste 1400



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

1409

Einleitung 1409
Klassifikation 1410
Bildung der Galaxien 1417
Entstehung der Spiralarme 1418
Rotation 1420
Dunkle Materie 1422
Zwerggalaxien 1425
Wechselwirkende Galaxien 1427
Starburstgalaxien 1431
Galaxienhaufen 1433
Super(galaxien)haufen 1434
Massen 1436
Walls und Voids 1436
Einstein-Straus-Vakuolen 1436
Beobachtungsobjekte 1437
Objekte für Teleobjektive 1447
Flächenhelligkeit 1450

50 Aktive Galaxien

1459

Einleitung 1459
Aktive Galaktische Kerne 1460
Leuchtkraft 1462
Eddington-Grenze 1463
Maximalmasse 1464
Entwicklung von Quasaren und AGN 1464
Binäre Schwarze Löcher 1465
Quasare 1466
Radiogalaxien 1468
BL-Lacertae-Objekte 1468
Blasare 1469
Seyfert-Galaxien 1470
N-Galaxien 1471
M87 – Zentralgalaxie des Virgoaufens 1471

51 Gravitationslinsen

1475

Einleitung 1475
Physik der Linsen 1475
Lichtzeitdifferenzen 1478
Kosmische Fäden 1480
Abell 1835 IR 1916 1480
Mikrolinseneffekt 1481

52 Kosmologie

1483

Einleitung 1483
Hubble-Gesetz 1484
Expansion 1486
Raumkrümmung 1487
Alter der Welt 1488
Zeitlicher Verlauf der Expansion 1490
Entfernungsmaß 1491
Berechnung d. Entfernung 1496
Evolution des Universums 1502
Temperatur 1503
Planck-Blase 1504
Planck-Ära (Urschaum) 1505
Symmetriebrechung 1. Art
(X-Ära, GUT-Ära) 1506
Kosmische Fäden 1506
Inflation 1508
Symmetriebrechung 2. Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 1510
Symmetriebrechung 3. Art 1510
Hadronen-Ära 1511
Leptonen-Ära 1512
Photonen-Ära 1513
Materie-Ära 1513
Quasare 1517
Kosmische Hintergrundstrahlung 1517
Kosmologische Modelle 1519
Hierarchie im Weltraum 1530



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

Teil VII Anhang

A Zeittafeln	1533	I Glossar	1587
B Raumsonden	1541	J Parameter für DCRAW	1591
C Energieressourcen der Erde	1547	K Unterhaltsame Astronomie	1593
Energieprozesse	1547	Silbenrätsel, um die Ecke gedacht	1593
Reichweite der Vorkommen	1548	Kreuzworträtsel mit Bildern	1594
D Polarimeter mit Wollaston-Prisma	1551	Gitterrätsel ›Jupiters Monde‹	1596
Einleitung	1551	L Lösungen der Aufgaben	1597
Konstruktion	1551	M Literatur und Quellen- nachweis	1613
Dimensionierung der Optik	1552	Bildernachweis	1613
Optomechanik	1553	Quellennachweis	1617
Justierung	1553	Literatur	1630
Beschaffung	1553	Jahrbücher	1632
Test	1554	Fachzeitschriften	1633
E Analoge Photographie	1559	Sternkataloge	1633
Einleitung	1559	PC-Software	1634
Photometrie	1560	N Kontaktadressen	1643
F Ausgleichsrechnung	1569	Astronomische Vereinigungen	1643
Mittelwert	1569	Spezielle Kontakte für Beobachter	1645
Lineare Regression	1570	Spezielle Bezugsquellen für den Selbstbau	1646
Quadratische Regression	1572	Internet	1647
Gauß-Fit	1573	O Personenregister	1651
G Kataloge	1575	P Sachregister	1663
H Periodika	1579		



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.