

# Inhalt

<b>1 Zielsetzung der Geodätischen Astronomie, Grundbegriffe</b> .....	1
1.1 Hauptaufgabe .....	1
1.2 Anwendungsbereiche .....	9
1.2.1 Überblick .....	9
1.2.2 Obsolete Aufgabenstellungen .....	10
1.2.3 Ablösung von Verfahren der Geodätischen Astronomie durch Satellitenverfahren und durch die Langbasis-Interferometrie .....	15
1.2.4 Anwendungsbereiche, in denen die Geodätische Astronomie Bedeutung gewonnen hat .....	17
1.3 Die Gaußsche Richtungskugel (Himmelskugel) .....	23
1.4 Grundformeln der Sphärischen Trigonometrie .....	26
1.4.1 Sammlung trigonometrischer Formeln .....	26
1.4.2 Interpolationsalgorithmen .....	35
<b>2 Die Bewegungen der Erde und der Gestirne sowie andere Effekte, die die scheinbaren Örter der Gestirne bestimmen</b> .....	40
2.1 Einführung .....	40
2.2 Aufbau des Universums .....	40
2.3 Die Drehung der Erde um ihre Achse, Nutation der Rotationsachse .....	42
2.3.1 Einführung .....	42
2.3.2 Grundbegriffe der Mechanik .....	43
2.3.3 Erdmodelle und ihre Dreheigenschaften .....	45
2.3.4 Reale Polbewegung .....	53
2.3.5 Ausrichtung und Winkelgeschwindigkeit der Erde .....	56
2.4 Umlauf der Erde um die Sonne .....	62
2.4.1 Die Keplerschen Gesetze .....	62
2.4.2 Isaak Newtons Gravitationsgesetz und das Zwei-Körper-Problem .....	72
2.4.3 Das n-Körperproblem .....	79
2.5 Präzession und astronomische Nutation .....	84
2.5.1 Einführung .....	84
2.5.2 Solare Präzession und Nutation .....	84
2.5.3 Lunisolarpräzession und lunisolare Nutation .....	88
2.5.4 Planetarische Präzession und Nutation, Allgemeine Präzession .....	91
2.6 Die Eigenbewegungen der Fixsterne .....	92
2.6.1 Die Rotation der Galaxis .....	92
2.6.2 Pekuliarbewegung der Sonne und der Fixsterne, Lokales Ruhesystem .....	95
2.6.3 Die Eigenbewegungen der Sterne im System eines Fundamentalkatalogs .....	96
2.7 Aberration und Dopplereffekt .....	97
2.7.1 Aberration des Lichtes .....	97
2.7.2 Dopplerverschiebung elektromagnetischer Wellen .....	99
2.8 Relativistische Lichtablenkung durch schwere Massen .....	101

2.9	Parallaxen	102
2.9.1	Prinzip der parallaktischen Entfernungsmessung	102
2.9.2	Sonnenparallaxe, Planetenparallaxen	106
2.9.3	Fixsternparallaxen	107
2.10	Astronomische Einheiten, Naturkonstanten	109
2.10.1	Astronomische Einheiten der Länge, der Zeit und der Masse	109
2.10.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	117
2.10.3	IAU(1976)-System der Astronomischen Konstanten	119
2.11	Refraktion	121
2.11.1	Der Brechungskoeffizient der Luft für Lichtwellen	121
2.11.2	Der Brechungskoeffizient der Luft für Mikrowellen	126
2.11.3	Strahlenbrechung und Strahlenkrümmung	128
2.11.4	Aufbau der Erdatmosphäre, Gasgesetze, Troposphären- und Ionosphärenmodelle	129
<b>3</b>	<b>Bezugssysteme und Bezugsrahmen</b>	<b>141</b>
3.1	Einführung, Cardansche und Eulersche Drehung	141
3.1.1	Cartesische Koordinaten und Polarkoordinaten	141
3.1.2	Räumliche Drehungen	144
3.2	Grundlegende Bezugssysteme	150
3.2.1	Vorbemerkung	150
3.2.2	Allgemeines erdfestes Beobachtungssystem	151
3.2.3	Allgemeines erdfestes Horizontsystem	153
3.2.4	Greenwich-Äquatorsystem	156
3.2.5	Frühlingspunkt-Äquatorsystem	159
3.2.6	Frühlingspunkt-Ekliptiksystem	162
3.2.7	Inertialsysteme, Quasi-Inertialsystem	163
3.3	Koordinatentransformationen	167
3.3.1	Allgemeines	167
3.3.2	Allgemeines Beobachtungssystem ↔ Allgemeines Horizontsystem	168
3.3.3	Allgemeines Horizontsystem ↔ Nordorientiertes Horizontsystem	171
3.3.4	Nordorientiertes Horizontsystem ↔ Greenwich-Äquatorsystem	173
3.3.5	Greenwich - Äquatorsystem ↔ Frühlingspunkt - Äquatorsystem	176
3.3.6	Frühlingspunkt-Äquatorsystem ↔ Frühlingspunkt-Ekliptiksystem	179
3.4	Transformation kinematischer Vorgänge	182
3.4.1	Allgemeines	182
3.4.2	Transformation veränderlicher Vektoren zwischen einem Inertialsystem und einem (rotierendem) erdfesten Bezugssystem	184
3.5	Zälestische und terrestrische Bezugsrahmen	191
3.5.1	Allgemeines	191
3.5.2	Der Zälestische Ephemeridenpol	192
3.5.3	Inertialsystem, Zälestische Bezugssysteme und Bezugsrahmen	196
3.5.4	Terrestrischer Bezugsrahmen	198

<b>4 Die scheinbaren Örter der Gestirne als Funktionen ihrer tatsächlichen Bewegungen und aufgrund anderer physikalischer Einflüsse, Reduktionen der Sternkoordinaten</b> .....	201
4.1 Einführung .....	201
4.2 Drehung der Erde um ihre eigene Achse .....	202
4.2.1 Die scheinbare Bewegung der Fixsterne als Folge der Erddrehung .....	202
4.2.2 Tägliche Aberration .....	208
4.3 Umlauf der Erde um die Sonne .....	211
4.3.1 Die scheinbare Bewegung der Sonne .....	211
4.3.2 Jährliche Aberration .....	213
4.3.3 Jährliche Parallaxe .....	222
4.4 Präzession und astronomische Nutation .....	225
4.4.1 Lunisolarpräzession .....	225
4.4.2 Planetarische Präzession .....	227
4.4.3 Allgemeine Präzession .....	227
4.4.4 Änderung der Sternkoordinaten als Folge der Allgemeinen Präzession .....	229
4.4.5 Astronomische Nutation (Nutation) .....	238
4.4.6 Änderung der Sternkoordinaten unter dem Einfluß der Nutation .....	245
4.4.7 Korrekturen des IAU(1980)-Nutationsmodells mit Hilfe von Erdorientierungsparametern .....	249
4.5 Eigenbewegung der Fixsterne .....	249
4.6 Polbewegung .....	254
4.6.1 Zusammenfassung der Grundlagen .....	254
4.6.2 Tagesperiodische Polbewegung (Oppolzer-Nutation) .....	256
4.6.3 Auswirkung der Polbewegung auf die Lotrichtung und auf Azimute .....	262
4.7 Atmosphärische Refraktion .....	266
4.7.1 Allgemeines .....	266
4.7.2 Strahlenbrechung .....	267
4.7.3 Laufzeitverzögerung .....	281
4.8 Zusammenfassung der Reduktionen und Transformationen .....	287
4.8.1 Vorbemerkung .....	287
4.8.2 Zusammenfassung der modellierbaren Anteile der Reduktionskette .....	287
4.8.3 Berücksichtigung der Erdorientierungsparameter .....	290
4.8.4 Parametrisierung der Erdrotation nach Richter .....	293
<b>5 Zeitsysteme</b> .....	297
5.1 Einführung .....	297
5.1.1 Allgemeines .....	297
5.1.2 Vorbemerkungen zu den verwendeten Formelzeichen .....	298
5.2 Uhren: Hilfsmittel der Zeitinterpolation und selbständige Zeitnormale .....	300
5.2.1 Rückblick .....	300
5.2.2 Die Anfänge der Uhrentechnik .....	301
5.2.3 Mechanische Uhren .....	302
5.2.4 Quarzuhren .....	303
5.2.5 Atomuhren .....	304
5.2.6 Pulsare .....	309

5.3	Auf die Erddrehung gestützte Zeitskalen	310
5.3.1	Sternzeit	310
5.3.2	Sonnenzeit	316
5.3.3	Umwandlung Sternzeit $\leftrightarrow$ Sonnenzeit	328
5.3.4	Varianten der Weltzeit	338
5.4	Auf die Bahnbewegungen der Körper des Sonnensystems gestützte Zeitskalen, relativistische Varianten der dynamischen Zeit	340
5.4.1	Ephemeridenzeit	340
5.4.2	Relativistisch begründete Zeitskalen	345
5.4.3	Der Ephemeridenmeridian	354
5.5	Auf atomphysikalische Vorgänge gestützte Zeitskalen	360
5.5.1	Sekundendefinition von 1967	360
5.5.2	Internationale Atomzeit	361
5.5.3	GPS-Zeit	363
5.6	Beziehungen zwischen der Internationalen Atomzeit, der Ephemeridenzeit und den relativistischen Zeitskalen	365
5.6.1	Vorbemerkung	365
5.6.2	Beziehungen zwischen Internationaler Atomzeit, Terrestrischer Zeit und der geozentrischen und baryzentrischen Koordinatenzeit	365
5.7	Koordinierte Weltzeit, Zonenzeiten	369
5.7.1	Koordinierte Weltzeit	369
5.7.2	Zonenzeiten	373
5.8	Länge des Jahres, Kalender, Zeitrechnung	379
5.8.1	Länge des Jahres und Jahresbeginn	379
5.8.2	Kalender, Zeitrechnung	381
5.8.3	Tageszählung nach Scaliger (Julianische Tageszahlen)	387
5.9	Die astronomisch-geodätischen Zeitskalen im Vergleich	392
5.9.1	»Erduhr«, »Ephemeridenuhr«, »Atomuhr«	392
5.9.2	Koordinierte Weltzeit und Stundenwinkel der Sterne	394
5.10	Zeitübertragung und Zeitverbreitung	397
5.10.1	Einführung	397
5.10.2	Zeitübertragung durch Uhrentransport	398
5.10.3	Zeitverbreitung durch Zeitzeichensender	399
5.10.4	Zeitverbreitung durch das Global Positioning System	401
5.10.5	Zeitübertragung mit dem Global Positioning System	402
5.10.6	Zeitübertragung über Kommunikationssatelliten	403
<b>6</b>	<b>Zeitdienste, IERS, IGS</b>	<b>405</b>
6.1	Zeitdienste	405
6.1.1	Rückblick	405
6.1.2	Generierung und Koordinierung der Internationalen Atomzeit	405
6.1.3	Zeitzeichensender	406
6.2	International Earth Rotation Service	407
6.2.1	Einführung	407
6.2.2	Laufende Beobachtung der Erdrotation	408
6.3	International GPS Service	410
6.3.1	Produkte des IGS	410
6.3.2	Permanentbeobachtung der Atmosphäre	410
<b>7</b>	<b>Sternkataloge, Jahrbücher, Bulletins, Himmelsgloben und Sternkarten</b>	<b>413</b>
7.1	Klassifikation der Sterne	413
7.1.1	Größenklassen (Magnituden), Spektren	413
7.1.2	Nomenklatur der Fixsterne	417

7.2	Sternverzeichnisse und Fundamentalkataloge	419
7.2.1	Allgemeines	419
7.2.2	Aufgaben und Methoden der Astrometrie	420
7.2.3	Alte Sternkataloge	422
7.2.4	Konstruktion eines Fundamentalkatalogs	423
7.2.5	Fundamentalkataloge	424
7.2.6	Die ESA-Kataloge »HIPPARCOS« und »TYCHO«	426
7.3	Astronomische Jahrbücher (Almanache) und Bulletins	427
7.3.1	Zweck von Jahrbüchern	427
7.3.2	The Astronomical Almanac	427
7.3.3	Apparent Places of Fundamental Stars	428
7.3.4	Star Almanac for Land Surveyors	429
7.3.5	Astronomisches Jahrbuch für die Truppenvermessung	429
7.3.6	Nautisches Jahrbuch oder Ephemeriden und Tafeln	429
7.3.7	Bulletins des IERS	430
7.4	Himmelsgloben und Sternkarten	431
7.4.1	Himmelsgloben	431
7.4.2	Sternkarten, Sternatlanten, Sternfinder	432
<b>8</b>	<b>Beobachtungsinstrumente und Beobachtungsmodi</b>	<b>446</b>
8.1	Grundlagen	446
8.1.1	Optisches und Radio-Beobachtungsfenster	446
8.1.2	Bauteile optisch-mechanischer Beobachtungsinstrumente: Fernrohre – Lotsensoren – Teilkreise – Ablenkprismen – CCD-Chips	448
8.2	Das klassische optisch-mechanische Instrumentarium	462
8.2.1	Einführung	462
8.2.2	Winkelmeßinstrumente und Meßmodi	463
8.3	Maßnahmen zur Entlastung des Beobachters	466
8.3.1	Halbautomatische Durchgangsbeobachtung	466
8.3.2	Halbautomatische Meß- und Auswertesysteme	466
8.4	Vollautomatische photoelektrische Durchgangsregistrierung	467
8.4.1	Modulation des Sternlichts durch ein Strich- oder Schlitzraster	467
8.4.2	Nachführung der Zielachse durch Stellmotor	468
8.4.3	Photographische und CCD-Momentaufnahmen von Sternpositionen	470
8.5	Zenitteleskope und Zenitkammern	471
8.5.1	Rückblick	471
8.5.2	Photographische Zenitkammer	472
8.5.3	CCD-Zenitkammern	474
8.6	Die HIPPARCOS-Sensoren	475
8.7	Interferometer	477
8.7.1	Interferometrisches Meßprinzip	477
8.7.2	Radioteleskope	478
8.7.3	Radiointerferometer	479
8.7.4	VLBI-Sensor	479
8.8	Zeiterfassung und Zeitregistrierung	482
8.8.1	Allgemeines zur astrogeodätischen Zeitmessung	482
8.8.2	Örtliche Uhren	483
8.9	Instrumente zur Bestimmung des Refraktionskoeffizienten der Atmosphäre	485
8.9.1	Vorbemerkung	485
8.9.2	Thermometer	486
8.9.3	Barometer	487
8.9.4	Haar-Hygrometer, Psychrometer,	487
8.9.5	Refraktometer	488
8.9.6	Wasserdampfadiometer	489

<b>9 Beobachtungsverfahren</b> .....	491
9.1 Astronomisches Grunddreieck, Beobachtungsgleichungen .....	491
9.1.1 Das Astronomische Grunddreieck .....	491
9.1.2 Beobachtungsgleichungen .....	493
9.1.3 Linearisierte Beobachtungsgleichungen .....	498
9.2 Lokale Zeithaltung .....	498
9.2.1 Aufgabenstellung .....	498
9.2.2 Zeitvergleich .....	499
9.3 Azimutbestimmung .....	500
9.3.1 Aufgabenstellung und Definitionen .....	500
9.3.2 Meßprinzip .....	503
9.3.3 Azimutbestimmung mit Hilfe polnaher Sterne (Polaris-Methode) .....	507
9.3.4 Azimutbestimmung mit Sternen in Elongation .....	510
9.4 Bestimmung der Geographischen Breite .....	511
9.4.1 Aufgabenstellung und Methodengruppen .....	511
9.4.2 Breitenbestimmung aus Zirkummeridian-Zenitdistanzen und Meridian Zenitdistanzen (Sterneck-Methode) .....	512
9.4.3 Breitenbestimmung aus Sterndurchgängen durch einen bestimmten Almukantarat (Zweihöhenproblem – Pewzow-Methode) .....	520
9.4.4 Breitenbestimmung aus Meridian-Zenitdistanzdifferenzen .....	523
9.4.5 Einsatz neuer Technologien zur Breitenbestimmung .....	524
9.5 Bestimmung der Geographischen Länge .....	526
9.5.1 Aufgabenstellung und Methodengruppen .....	526
9.5.2 Längenbestimmung aus Durchgängen von Sternen durch den Meridian oder durch einen meridiannahen Vertikal (Zirkummeridian-Methode) ....	529
9.5.3 Längenbestimmung aus Durchgängen von Sternpaaren im gleichen Almukantarat (Zinger-Methode) .....	536
9.6 Methoden der gleichzeitigen Längen- und Breitenbestimmung .....	539
9.6.1 Aufgabenstellung und Definitionen .....	539
9.6.2 Gleichzeitige Bestimmung von Längen- und Breiten durch Feststellung der Durchgangsepochen unter einem instrumentell vorgegebenen Almukantarat	540
9.6.3 Gleichzeitige Bestimmung von Längen und Breiten durch Feststellung der Durchgangsepochen unter bekannten (gemessenen) Zenitdistanzen ....	548
9.6.4 Gleichzeitige Bestimmung von Längen und Breiten durch Messung der Durchgangsepochen unter bekannten (gemessenen) Azimuten .....	550
9.7 Gleichzeitige Breiten- und Längenbestimmung mit einer Zenitkammer .....	552
9.7.1 Aufgabenstellung und Vorbemerkung .....	552
9.7.2 Zweilagennmessung zur Feststellung der Zenitrichtung .....	553
9.7.3 Reduktion von Zweilagenaufnahmen auf eine exakte Zenitaufnahme .....	557
9.7.4 Reduktionsmodelle .....	559
9.7.5 Modelle der Plattenreduktion .....	562
9.7.6 Automatisierte Sternidentifizierung .....	564
9.8 Breiten-, Längen- und Azimutbestimmung mit Hilfe der Sonne .....	564
9.8.1 Vorbemerkung zur Problematik von Sonnenbeobachtungen .....	564
9.8.2 Besonderheiten von Sonnenbeobachtungen .....	566
9.8.3 Stundenwinkel der Sonne .....	569
9.8.4 Breiten- Längen und Azimutbestimmung mit Hilfe der Sonne .....	570
9.9 Bestimmung von erdfesten Richtungen und Entfernungen mit Hilfe der Langbasis-Interferometrie (VLBI) .....	572
9.9.1 Vorbemerkung .....	572
9.9.2 Korrekturen gemessener Signallaufzeiten .....	573
9.9.3 Beobachtungsgleichungen des VLBI-Verfahrens .....	575

---

<b>10 Quellen</b> .....	577
10.1 Literatur .....	577
10.1.1 Monographien und Lehrbücher zur Geodätischen Astronomie .....	577
10.1.2 Einzelbeiträge .....	578
10.2 Sternkataloge, Jahrbücher, Sternatlanten .....	609
10.2.1 Historische Kataloge .....	609
10.2.2 Fundamentalkataloge und Sternverzeichnisse .....	610
10.2.3 Zonenkataloge und Durchmusterungen .....	610
10.2.4 Spezialkataloge .....	611
10.2.5 Jahrbücher .....	611
10.2.6 Sternatlanten und -karten, Sternfinder .....	611
10.3 Forscher und Erfinder .....	612
<b>11 Autoren und Sachwörter</b> .....	618
11.1 Autoren .....	618
11.2 Sachwörter .....	624