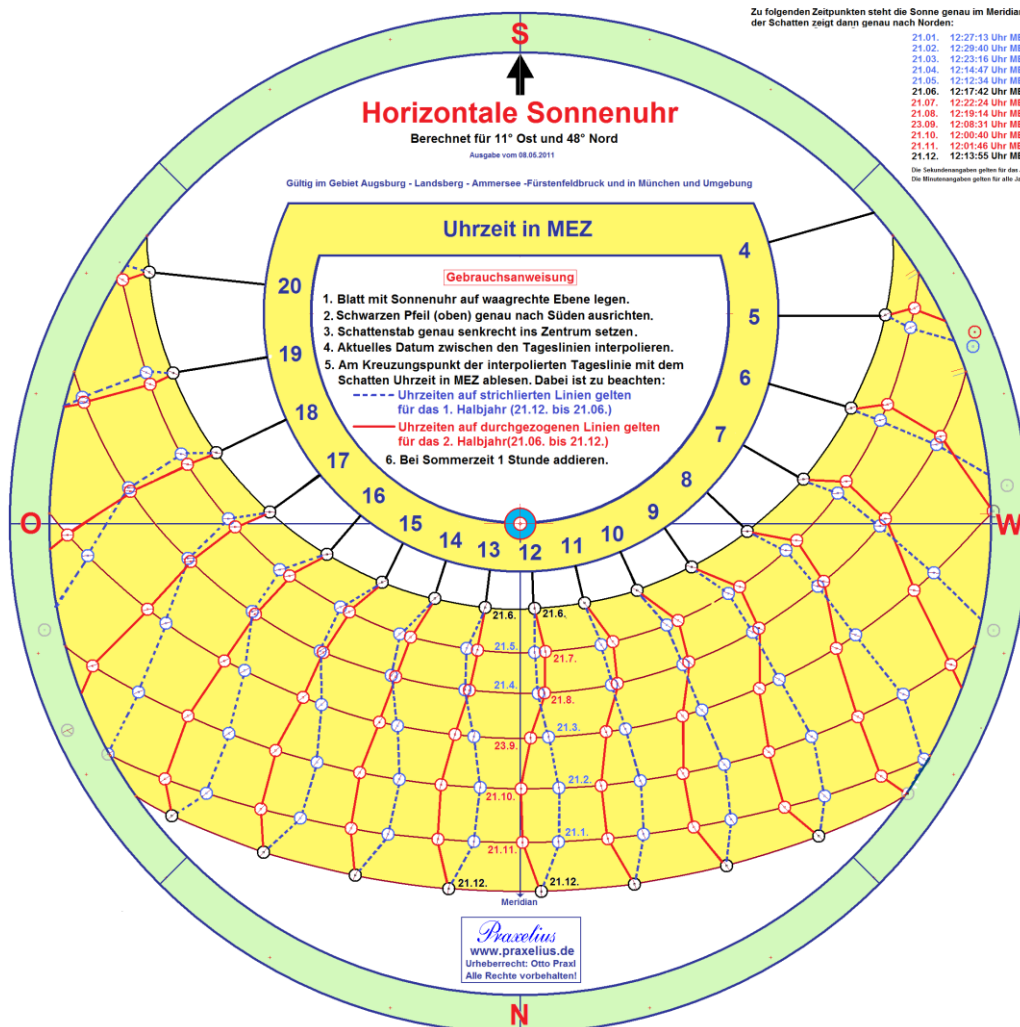


Otto Praxl

# Berechnungsgrundlagen für Amateurastronomen

## Himmelsmechanik für Anfänger

Zeitmessung, Zeitrechnung, Kalenderberechnung,  
Sonnenuhren, Planetenbahnen, Satellitenpeilung,  
Geometrie der Finsternisse,  
Daten und Formeln



## Impressum des Verfassers

### Verfasser:

*Otto Praxl.*

### Internetseite des Verfassers mit Kontaktdaten:

*<http://www.praxelius.de>*



Zusatzbeiträge und Ergänzungen sind auf der Internetseite zu finden. Dort nicht mehr vorhandene Beiträge können beim Verfasser angefordert werden.

### Urheberrecht:

Das Buch und seine Teile unterliegen dem deutschen Urheberrecht.

Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich zugelassenen Fälle bedarf einer vorherigen schriftlichen Vereinbarung mit dem Verfasser. Jede widerrechtliche Nutzung wäre ein Verstoß gegen das Urheberrechtsgesetz.

Alle Werknutzungsrechte liegen beim Verfasser. Alle Rechte vorbehalten!

### Layout und Gestaltung (mit Microsoft WORD™ 2007):

*Otto Praxl*

### Haftungsausschluss:

Im Text und in den Grafiken dieses Buches können auch Fehler enthalten sein. Für evtl. Fehler und daraus resultierende Nachteile übernimmt der Verfasser keine Haftung. Fehlermeldungen werden gerne entgegengenommen.

### Quellenangaben und Bildnachweise:

Alle im Buch verwendeten Formeln und Algorithmen sind allgemeines Grundlagenwissen der Astronomen, das in vielen astronomischen Büchern zu finden ist. Die verwendeten Quellen, aus denen im konkreten Fall Inhalte verwendet wurden, werden im Text genannt.

Alle Fotos und Zeichnungen stammen vom Verfasser.

Titelbild: Horizontale Sonnenuhr, siehe Bild 89 auf Seite 230

**Letztes Bearbeitungsdatum:** 12.02.2016

**Bearbeitungskennzeichen:** AA-625720-186\*

## Vorwort des Verfassers

Ein Amateurastronom ist jemand, der sich mit der Astronomie hobbymäßig befasst. Der Verfasser zählt sich zu den Amateurastronomen.

### *Vorkenntnisse*

Für die erfolgreiche Beschäftigung mit den Themen des Buches sind gute Kenntnisse in Mathematik und Physik erforderlich.

### *Zur Entstehung des Buches*

Der Verfasser beschäftigt sich seit mehr als 50 Jahren mit Astronomie. Beim Studium der Astronomiebücher hat er viele Randnotizen in diesen Büchern angebracht und auch eigene Aufzeichnungen gemacht, um bereits Verstandenes und Erarbeitetes nicht in Vergessenheit geraten zu lassen. Aus diesem Skriptum ist nach und nach ein kleines Nachschlagewerk entstanden, das nun zu diesem Buch zusammengefasst wurde.

### *Inhalt des Buches*

Hauptthema ist die Himmelsmechanik. Sie ist ein klassisches Teilgebiet der Astronomie, das die Bewegungen der Himmelskörper unter dem Einfluss der Gravitation beschreibt. Sie berechnet nach den physikalischen Gesetzen die Bewegungen der Planeten, des Mondes und anderer Himmelskörper (z. B. Satelliten). Daraus ergeben sich die Umlaufbahnen.

Außer der Himmelsmechanik werden noch andere Themen, wie Zeitrechnung, Zeitmessung, Kalenderberechnung, Sonnenuhren, Satellitenpeilung, Finsternisgeometrie und andere Grundlagen behandelt.

Der Rahmen dieses Buches umfasst nur die Phänomene des eigenen Sonnensystems. Astrophysik und Sternensysteme des tiefen Weltraums werden nicht behandelt. Innerhalb der behandelten Themen konnte aus Platzgründen nicht alles mit der gewünschten Ausführlichkeit behandelt werden. Beim Studium des Buches sollten deshalb astronomische Lehrbücher, vorzugsweise die angegebene Literatur, bereitliegen, um die Themen vertiefen zu können. Die zahlreichen Beispiele sollen die im Text beschriebenen Berechnungsvorgänge verdeutlichen.

Obwohl Astronomen ihre Probleme gerne mit komplizierten Gleichungen lösen, kommen wir im Buch mit einfacherer Mathematik aus. Im Einzelfall wird auf weiterführende Literatur hingewiesen, wo die genaue Theorie zu finden ist.

Dem Buch sind eine Kapitelübersicht und ein ausführliches Inhaltsverzeichnis vorangestellt. Im Anhang befinden sich die Verzeichnisse der Bilder, der Tabellen, der Formeln und der verwendeten Literatur. Ein alphabetisches Sachregister schließt das Buch ab.

Ergänzungsbeiträge und Fehlerberichtigungen zum Buch sind auf der Internetseite des Verfassers zu finden.

Unterschleißheim, im Februar 2016

*Otto Praxl*

## Kapitelübersicht

Impressum des Verfassers .....	2
Vorwort des Verfassers .....	3
Kapitelübersicht .....	4
Ausführliches Inhaltsverzeichnis .....	5
1. Einleitung .....	17
2. Die Zeitrechnung der Römer .....	24
3. Ortszeiten und Zeitzonen auf der Erde .....	36
4. Die Zeitgleichung (ZGL) .....	39
5. Definition der verschiedenen Zeitbasen .....	43
6. Zeitrechnung und Kalender .....	57
7. Die Sternzeit .....	84
8. Global Positioning System (GPS) .....	99
9. Optische Einflüsse bei Himmelsbeobachtungen .....	100
10. Gravitation und Keplersche Gesetze .....	110
11. Kreisförmige Umlaufbahnen .....	112
12. Elliptische Umlaufbahnen .....	118
13. Bahnstörungen .....	144
14. Krümmung der Erdoberfläche .....	147
15. Sichtweiten auf der Oberfläche der Erdkugel .....	153
16. Koordinatensysteme in der Astronomie .....	162
17. Koordinatentransformationen .....	181
18. Raumkoordinaten in der Zeit .....	187
19. Das sphärische Dreieck und der Großkreisbogen .....	188
20. Satellitenpeilung .....	193
21. Auf- und Untergänge von Himmelskörpern .....	206
22. Die Sonne und die Sonnenuhren .....	224
23. Bedeckung bei astronomischen Ereignissen .....	232
24. Die Geometrie der Finsternisse .....	235
25. Der Mond und die Mondphasen .....	252
26. Himmelsbeobachtungen .....	260
27. Astronomie mit dem Computer .....	268
28. Anhang .....	271

# Ausführliches Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum des Verfassers .....</b>	<b>2</b>
<b>Vorwort des Verfassers .....</b>	<b>3</b>
<b>Kapitelübersicht .....</b>	<b>4</b>
<b>Ausführliches Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>17</b>
1.1. Astronomie – eine alte Wissenschaft .....	17
1.2. Theoretische Grundlagen .....	17
1.3. Hilfsmittel für die Berechnung .....	18
1.4. Genauigkeit der Berechnungen .....	19
1.4.1. <i>Signifikante Stellen</i> .....	19
1.4.2. <i>Reelle Zahlen (Kommazahlen)</i> .....	19
1.4.3. <i>Ganze Zahlen (Integerzahlen)</i> .....	19
1.4.4. <i>Rundung der Zahlen</i> .....	19
1.5. Richtigkeit der Berechnungen .....	20
1.6. Notation und Maßeinheiten in der Astronomie .....	20
1.6.1. <i>Tabelle der Formelzeichen</i> .....	20
1.6.2. <i>Tabelle wichtiger Einheiten und Konstanten</i> .....	22
<b>2. Die Zeitrechnung der Römer .....</b>	<b>24</b>
2.1. Die römischen Zahlen .....	24
2.1.1. <i>Römischen Zahlzeichen</i> .....	24
2.1.2. <i>Aufbau des römischen Zahlensystems</i> .....	24
2.1.3. <i>Kommastellen und Brüche</i> .....	25
2.2. Rechnen mit römischen Zahlen .....	25
2.2.1. <i>Manuelles Rechnen</i> .....	25
2.2.2. <i>Das Rechenbrett (Abakus)</i> .....	25
2.2.3. <i>Prinzip des Abakus</i> .....	26
2.3. Der römische Tag .....	27
2.3.1. <i>Naturgegebene Tageszeiten</i> .....	27
2.3.2. <i>Tageslängen</i> .....	27
2.3.3. <i>Römische Tageseinteilung</i> .....	28
2.3.4. <i>Die römische Tag und die römische Stundenzählung</i> .....	29
2.3.5. <i>Die römische Nacht und die Nachtwachen</i> .....	29
2.3.6. <i>Tagesstunden und Nachtwachen in der Realität</i> .....	29
2.4. Zeitmessung und Uhren .....	30
2.4.1. <i>Natürliche Zeitmarken</i> .....	30
2.4.2. <i>Sonnenuhr</i> .....	30
2.4.3. <i>Wasseruhr</i> .....	30
2.4.3.1. <i>Prinzip der Wasseruhr</i> .....	30
2.4.3.2. <i>Einrichtung der Wasseruhr</i> .....	31
2.4.3.3. <i>Automatischer Betrieb der Wasseruhr</i> .....	31
2.4.4. <i>Sanduhr</i> .....	31
2.5. Der römische Kalender .....	32
2.5.1. <i>Römische Wochentage</i> .....	32
2.5.2. <i>Römische Monatsnamen</i> .....	32
2.5.3. <i>Römische Tageszählung (Monatstage)</i> .....	33
2.5.4. <i>Römische Bezeichnung des Schalttages</i> .....	33
2.5.5. <i>Der römische Jahreskalender</i> .....	34
2.5.6. <i>Umrechnung der Monatstage auf heutiges Datum</i> .....	35

2.6.	Römische Jahreszahlen.....	35
<b>3.</b>	<b>Ortszeiten und Zeitzonen auf der Erde.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Schreibweise der Uhrzeiten.....	36
3.2.	Moderne Zeiteinheiten .....	36
3.3.	Definitionen.....	36
3.3.1.	<i>Mittlere Sonne</i> .....	36
3.3.2.	<i>Wahre Sonne</i> .....	36
3.3.3.	<i>Weltzeit UT</i> .....	37
3.3.4.	<i>Zonenzeit</i> .....	37
3.3.5.	<i>Mitteleuropäische Zeit (MEZ)</i> .....	37
3.3.6.	<i>Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ)</i> .....	37
3.3.7.	<i>Vorteile und Nachteile der Sommerzeit</i> .....	38
3.3.8.	<i>Ortszeit</i> .....	38
<b>4.</b>	<b>Die Zeitgleichung (ZGL).....</b>	<b>39</b>
4.1.	Zusammenhang der ZGL mit der Ortszeit .....	39
4.2.	Die genauen ZGL-Werte .....	39
4.3.	Genauere ZGL-Werte für das Jahr 2011 .....	39
4.4.	Das ZGL-Diagramm.....	40
4.5.	Die Extrema und Nullstellen der Zeitgleichung.....	41
4.6.	Schwankungen der Werte in Laufe der Jahre.....	42
<b>5.</b>	<b>Definition der verschiedenen Zeitbasen .....</b>	<b>43</b>
5.1.	Zeitmesser .....	43
5.2.	Erdrotationsdauer als natürliche Zeitbasis .....	43
5.3.	Erdumlaufdauer als natürliche Zeitbasis .....	44
5.3.1.	<i>Julianisches Jahrhundert</i> .....	44
5.3.2.	<i>Mittlere Länge der Sonne</i> .....	45
5.3.3.	<i>Ephemeridenzeit (ET)</i> .....	45
5.3.4.	<i>Ephemeridensekunde</i> .....	46
5.3.5.	<i>Tropisches Jahr</i> .....	46
5.4.	Unabhängige Zeitbasen .....	46
5.4.1.	<i>Quarz-Zeitbasis</i> .....	46
5.4.2.	<i>Quarz-Zeitbasis für Amateure</i> .....	47
5.4.3.	<i>Atomschwingung als Zeitbasis</i> .....	48
5.4.4.	<i>Internationale Atomzeit (TAI)</i> .....	48
5.4.5.	<i>Atomuhren</i> .....	48
5.5.	SI-Sekunde .....	49
5.5.1.	<i>Terrestrische Dynamische Zeit TT</i> .....	49
5.6.	Beziehung zwischen Atomzeit (TAI) und Weltzeit (UT) .....	49
5.6.1.	<i>Abweichungen der Uhrzeit von der Atomzeit</i> .....	49
5.6.2.	<i>Verbesserte Weltzeit UT1</i> .....	49
5.7.	Koordinierte Weltzeit (UTC) .....	50
5.7.1.	<i>Der Korrekturwert <math>\Delta T</math></i> .....	50
5.7.2.	<i>Zeitdifferenz und Schaltsekunden</i> .....	51
5.8.	Der Zeitzeichensender DCF77 .....	52
5.8.1.	<i>Standort des Senders</i> .....	52
5.8.2.	<i>Modulation des DCF-Signals</i> .....	52
5.8.3.	<i>Codierung des DCF-Signals</i> .....	53
5.8.4.	<i>Erläuterungen zur DCF-Codierung</i> .....	54
5.9.	Funkuhren.....	55
5.9.1.	<i>Alte Technik</i> .....	55
5.9.2.	<i>Neue Technik</i> .....	56

<b>6.</b>	<b>Zeitrechnung und Kalender</b> .....	<b>57</b>
6.1.	Chronologie .....	57
6.2.	Astronomisches (tropisches) Jahr .....	57
6.3.	Julianische Kalenderreform.....	58
6.4.	Gregorianische Kalenderreform .....	58
6.4.1.	<i>Korrektur des Kalenders</i> .....	58
6.4.2.	<i>Monatskalender Okt. 1582 bis Jan. 1583</i> .....	59
6.4.3.	<i>Schaltjahrregel GK</i> .....	59
6.4.4.	<i>Vorschlag zur weiteren Korrektur ab dem Jahr 3200</i> .....	60
6.5.	Kalender-Umrechnungen und Datumsverschiebung.....	60
6.6.	Das Osterdatum .....	61
6.7.	Mathematische Jahreszahlen .....	62
6.8.	Fortlaufende Tageszählung .....	62
6.8.1.	<i>Das Julianische Datum (JD)</i> .....	62
6.8.2.	<i>Überprüfung geschichtlicher Ereignisse</i> .....	64
6.8.3.	<i>Der Stern von Bethlehem</i> .....	64
6.9.	Algorithmen zur Berechnung des Julianischen Datums.....	64
6.9.1.	<i>Algorithmus (1) für Berechnung des JD aus Kalenderdatum</i> .....	64
6.9.2.	<i>Algorithmus (2) für Berechnung des JD aus Kalenderdatum</i> .....	66
6.9.3.	<i>Einfache Berechnung des JD aus der Tagesdifferenz</i> .....	66
6.9.4.	<i>Algorithmus für Berechnung des Kalenderdatums aus JD</i> .....	67
6.9.5.	<i>Taschenrechnerprogramme für das JD</i> .....	67
6.9.6.	<i>Berechnung des Wochentags aus dem JD</i> .....	68
6.10.	Nummer der Kalenderwoche.....	69
6.10.1.	<i>Wochenbeginn</i> .....	69
6.10.2.	<i>Auszug aus der Norm</i> .....	69
6.10.3.	<i>Definition der Nummer der Kalenderwoche</i> .....	69
6.10.4.	<i>Berechnung der Kalenderwoche</i> .....	70
6.10.5.	<i>Algorithmus für die KW</i> .....	70
6.11.	Taschenrechnerprogramm KALND für Monatskalender.....	71
6.11.1.	<i>KAL = Monatskalender</i> .....	71
6.11.2.	<i>WOT = Wochentag</i> .....	72
6.11.3.	<i>KW = Kalenderwoche</i> .....	72
6.11.4.	<i>MON = Ausgabe der Monatsnamen</i> .....	72
6.11.5.	<i>Ausgabe des Monatskalenders</i> .....	72
6.12.	Wochentagsberechnung und Jahreskalender.....	72
6.12.1.	<i>Monatslängen</i> .....	72
6.12.2.	<i>Sonntagsbuchstaben (SB)</i> .....	73
6.12.3.	<i>Wochentagszahlen (WOTZ)</i> .....	73
6.12.4.	<i>Wochentagszahlen der Monatsersten eines Jahres</i> .....	73
6.12.5.	<i>Beispiele zur manuellen Berechnung der WOTZ</i> .....	74
6.12.6.	<i>Programm zur Berechnung der Wochentagszahlen eines Jahres</i> .....	75
6.12.7.	<i>Sonnenszirkel (SZ) oder Wochentagszirkel</i> .....	75
6.13.	Jahresreihen.....	77
6.13.1.	<i>Ungestörte Jahresreihen der Sonntagsbuchstaben</i> .....	77
6.13.2.	<i>Leitjahre</i> .....	77
6.13.3.	<i>Zuordnung des SZ zum Leitjahr der Jahresreihe</i> .....	77
6.13.4.	<i>Gesetzmäßigkeiten der Jahrhundertzahlen des GK</i> .....	78
6.13.5.	<i>Formel für den Sonnenszirkel SZ eines beliebigen Jahres</i> .....	78
6.13.6.	<i>Zusammenstellung der Jahresreihen mit Leitjahren</i> .....	79
6.13.7.	<i>Jahresreihen und die Lücken dazwischen</i> .....	80
6.14.	Dauerkalender für die Jahre von 1883 bis 2130.....	81

6.14.1.	<i>Tabelle der Wochentage der Monatsersten</i> .....	81
6.14.2.	<i>Tabelle der Wochentage innerhalb des Monats</i> .....	81
6.15.	Jahreskalender aus 12 Monatskalendern .....	82
6.16.	Weiterlaufen des Julianischen Kalenders (JK).....	83
<b>7.</b>	<b>Die Sternzeit</b> .....	<b>84</b>
7.1.	Einleitung .....	84
7.2.	Definitionen.....	84
7.2.1.	<i>Sonnentag</i> .....	84
7.2.2.	<i>Frühlingspunkt</i> .....	84
7.2.3.	<i>Sternzeit</i> .....	85
7.2.4.	<i>Sterntag</i> .....	86
7.2.5.	<i>Der Sterntag in der Physik</i> .....	87
7.2.6.	<i>Länge eines Sonnentags in Sterntagen</i> .....	87
7.3.	Näherungsberechnung der Sternzeit.....	87
7.3.1.	<i>Näherungsformel</i> .....	88
7.3.2.	<i>Erläuterungen zur Näherungsformel</i> .....	88
7.3.3.	<i>Beispiele</i> .....	89
7.3.4.	<i>Formel für Kopfrechnung</i> .....	90
7.3.4.1.	<i>Beispiel</i> .....	90
7.4.	Sternzeit mit der drehbaren Kosmos-Sternkarte .....	90
7.4.1.	<i>Vorgang</i> .....	90
7.4.2.	<i>Beispiele</i> .....	91
7.5.	Genauere Berechnung der Sternzeit .....	92
7.5.1.	<i>Sternzeitabweichungen</i> .....	92
7.5.2.	<i>Definition der mittleren Sternzeit in Greenwich für 0 Uhr UT</i> .....	93
7.5.2.1.	<i>Berechnung von T anhand der ganzzahligen Tagesdifferenz</i> .....	93
7.5.2.2.	<i>Berechnung von T anhand des JD</i> .....	94
7.5.2.3.	<i>Beispiele mit den verschiedenen Formeln</i> .....	94
7.5.3.	<i>Mittlere Ortssternzeit in Greenwich für beliebige Weltzeit UT</i> .....	94
7.6.	Theoretische Grundlagen der Sternzeitberechnung .....	94
7.6.1.	<i>Ermittlung der verschiedenen Terme der Formeln</i> .....	94
7.6.2.	<i>Vergleich der Terme</i> .....	95
7.6.3.	<i>Mittlere Sternzeit für beliebigen Ort und beliebige Uhrzeit UT</i> .....	96
7.6.4.	<i>Umrechnung von MEZ in mittlere Ortssternzeit</i> .....	96
7.6.5.	<i>Sternzeit in Greenwich in Grad für 12 Uhr UT</i> .....	97
7.6.6.	<i>Sternzeit für Standpunkt des Beobachters</i> .....	98
7.7.	Sternzeit und Navigation .....	98
7.7.1.	<i>Breitengrad</i> .....	98
7.7.2.	<i>Längengrad</i> .....	98
<b>8.</b>	<b>Global Positioning System (GPS)</b> .....	<b>99</b>
8.1.	Prinzip .....	99
8.2.	Bezugssystem (Referenzellipsoid) .....	99
8.3.	Geografische Koordinaten.....	99
<b>9.</b>	<b>Optische Einflüsse bei Himmelsbeobachtungen</b> .....	<b>100</b>
9.1.	Refraktion.....	100
9.1.1.	<i>Barometrische Höhenformel</i> .....	101
9.1.2.	<i>Anwendung der Formel</i> .....	101
9.1.3.	<i>Refraktionswert aus Höhenwinkel, Temperatur und Luftdruck</i> .....	102
9.1.4.	<i>Normalrefraktionswerte</i> .....	103
9.1.5.	<i>Refraktion in Abhängigkeit von Luftdruck und Temperatur</i> .....	103
9.1.6.	<i>Berücksichtigung der Refraktion</i> .....	103



9.2.	Extinktion .....	104
9.3.	Szintillation .....	104
9.4.	Aberration.....	105
9.5.	Lichtlaufzeit.....	106
9.5.1.	<i>Formeln</i> .....	107
9.5.2.	<i>Erläuterung</i> .....	108
9.5.3.	<i>Berechnungsgang</i> .....	108
9.6.	Parallaxe .....	108
9.7.	Krümmung der Erdoberfläche.....	109
9.8.	Beeinträchtigung durch Gerätefehler und falsche Handhabung.....	109
<b>10.</b>	<b>Gravitation und Keplersche Gesetze.....</b>	<b>110</b>
10.1.	Das Geheimnis der Anziehungskräfte .....	110
10.2.	Geschichtliches über die Gravitation .....	110
10.3.	Die Keplerschen Gesetze.....	110
10.4.	Das Gravitationsgesetz von Newton .....	111
10.5.	Gravitationskonstante .....	111
10.6.	„Gravitationskonstante“ doch nicht konstant? .....	111
<b>11.</b>	<b>Kreisförmige Umlaufbahnen .....</b>	<b>112</b>
11.1.	Einkörperproblem.....	112
11.1.1.	<i>Gaußsche Gravitationskonstante</i> .....	113
11.1.2.	<i>Siderisches Jahr</i> .....	113
11.1.3.	<i>Zahlenwerte der beiden Gravitationskonstanten</i> .....	113
11.1.4.	<i>Mittlere Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne</i> .....	114
11.2.	Zweikörperproblem .....	114
11.2.1.	<i>Gemeinsamer Schwerpunkt zweier Massen</i> .....	114
11.2.2.	<i>Kräfte beim Zweikörperproblem</i> .....	115
11.3.	Gültigkeit der Keplerschen Gesetze .....	116
11.4.	Mehrkörperproblem.....	116
11.5.	Gemeinsamer Schwerpunkt des Sonnensystems.....	117
<b>12.</b>	<b>Elliptische Umlaufbahnen .....</b>	<b>118</b>
12.1.	Formelzeichen .....	118
12.2.	Einleitung .....	118
12.2.1.	<i>Der exzentrische Kreis</i> .....	118
12.2.2.	<i>Der Epizykel</i> .....	119
12.2.3.	<i>Die Ellipse</i> .....	119
12.3.	Grundgleichungen von Kreis und Ellipse .....	120
12.3.1.	<i>Kreisgleichungen</i> .....	120
12.3.2.	<i>Ellipsengleichungen</i> .....	120
12.3.3.	<i>Ellipsenkonstruktion auf dem Papier</i> .....	121
12.3.4.	<i>Exzentrizität und Brennpunkte der Ellipse</i> .....	122
12.3.5.	<i>Fadenkonstruktion der Ellipse</i> .....	122
12.3.6.	<i>Polarkoordinaten für einen Brennpunkt der Ellipse</i> .....	123
12.3.7.	<i>Polarkoordinaten für das Zentrum der Ellipse</i> .....	124
12.4.	Die Ellipse als Planetenbahn .....	124
12.4.1.	<i>Dynamik des Planetenumlaufs</i> .....	124
12.4.2.	<i>Benennungen und Begriffe</i> .....	125
12.5.	Berechnung des Bahnortes über Anomalien .....	126
12.5.1.	<i>Berechnung der mittleren Anomalie M</i> .....	126
12.5.2.	<i>Berechnung der exzentrischen Anomalie E</i> .....	126
12.5.3.	<i>Berechnung der wahren Anomalie und des Radius</i> .....	127
12.5.3.1.	<i>Radius</i> .....	128

12.5.3.2.	<i>Wahre Anomalie</i> .....	128
12.5.3.3.	<i>Tangens des halben Winkels</i> .....	128
12.6.	Berechnung des Bahnortes mittels Fourier-Reihen.....	129
12.6.1.	<i>Mittelpunktsgleichung mit der mittleren Anomalie</i> .....	129
12.6.2.	<i>Entwicklung des Radius aus der mittleren Anomalie</i> .....	130
12.7.	Berechnungsbeispiel.....	131
12.7.1.	<i>Angaben für die Erdbahn</i> .....	131
12.7.2.	<i>Zeitangaben</i> .....	131
12.7.3.	<i>Beispiel für exzentrische Anomalie</i> .....	132
12.7.4.	<i>Beispiel für Mittelpunktsgleichung mit Fourier-Reihen</i> .....	133
12.7.5.	<i>Ergebnisvergleich der beiden Verfahren</i> .....	133
12.7.6.	<i>Radius aus Fourier-Reihen</i> .....	133
12.7.7.	<i>Bemerkungen zu den Taschenrechner-Ergebnissen</i> .....	134
12.8.	Lage der Bahnebene im Raum .....	134
12.8.1.	<i>Die Ekliptik</i> .....	134
12.8.2.	<i>Die Schiefe der Ekliptik</i> .....	135
12.8.3.	<i>Frühlingpunkt und Herbstpunkt</i> .....	135
12.9.	Die Jahreszeiten der Erde .....	136
12.9.1.	<i>Tagundnachtgleiche</i> .....	136
12.9.2.	<i>Wechsel zwischen Winter und Sommer</i> .....	136
12.9.3.	<i>Unterschiede zwischen Nord- und Südhalbkugel</i> .....	137
12.10.	Bahnelemente der Erde .....	137
12.11.	Bahnelemente für die elliptische Bahn.....	138
12.12.	Bemerkungen zu den Bahnelementen der Erde .....	139
12.12.1.	<i>Inklination</i> .....	139
12.12.2.	<i>Zeitpunkt des Periheldurchgangs</i> .....	139
12.12.3.	<i>Umlaufzeit</i> .....	140
12.12.4.	<i>Tabelle der Bahnelemente der Erde</i> .....	140
12.13.	Beispiel: Berechnung der wahren Anomalie und des Radius .....	141
12.13.1.	<i>Berechnungszeitpunkt</i> .....	141
12.13.2.	<i>Wahre Anomalie aus <math>E</math></i> .....	141
12.13.3.	<i>Mittelpunktsgleichung aus Fourier-Reihen</i> .....	142
12.13.4.	<i>Mittelpunktsgleichung aus mittlerer und wahrer Anomalie</i> .....	142
12.13.5.	<i>Abweichung der Ergebnisse beider Verfahren</i> .....	142
12.13.6.	<i>Radius aus Fourier-Reihe</i> .....	142
12.14.	Zusammenfassung .....	142
12.14.1.	<i>Berechnungsverfahren</i> .....	142
12.14.2.	<i>Bestimmung des Bahnortes</i> .....	142
12.14.3.	<i>Berechnung des Zeitpunktes für einen bestimmten Bahnort</i> .....	143
12.14.4.	<i>Bahnbestimmung</i> .....	143
<b>13.</b>	<b>Bahnstörungen</b> .....	<b>144</b>
13.1.	Genauigkeit der Ereigniszeitpunkte .....	144
13.2.	Störungen der Erdumlaufbahn.....	144
13.2.1.	<i>Präzession und Nutation</i> .....	144
13.2.2.	<i>Periheldrehung</i> .....	145
13.2.3.	<i>Die „großen Jahre“ der Erde</i> .....	145
13.2.4.	<i>Störungen durch Mehrkörperproblem</i> .....	146
13.2.5.	<i>Zeitliche Änderung der Bahnparameter</i> .....	146
13.2.6.	<i>Berechnungsfehler</i> .....	146
<b>14.</b>	<b>Krümmung der Erdoberfläche</b> .....	<b>147</b>
14.1.	Daten des Erdkörpers .....	147
14.2.	Rotationsellipsoid und Geoid .....	148

14.2.1.	<i>Geodäsie</i> .....	148
14.2.2.	<i>Geografische und geozentrische Breite</i> .....	148
14.2.3.	<i>Umrechnung der geografischen in die geozentrische Breite</i> .....	149
14.2.4.	<i>Anwendung der geozentrischen Breite</i> .....	150
14.2.5.	<i>Erdradius</i> .....	150
14.2.6.	<i>Berechnung des Erdradius</i> .....	150
14.2.7.	<i>Berücksichtigung der Höhe des Beobachters über NN</i> .....	151
14.2.8.	<i>Krümmung und Krümmungsradius</i> .....	151
<b>15.</b>	<b>Sichtweiten auf der Oberfläche der Erdkugel</b> .....	<b>153</b>
15.1.	Wahrer und scheinbarer Horizont .....	153
15.2.	Kimmtiefe und Horizontpunkt .....	153
15.3.	Großkreisbogen .....	153
15.4.	Geometrische Sichtweite.....	153
15.5.	Herleitung der Formeln .....	154
15.5.1.	<i>Sichtlinie</i> .....	154
15.5.2.	<i>Stichhöhe des Kugelsegments</i> .....	155
15.5.3.	<i>Kimmtiefe und Horizontabrückung</i> .....	155
15.6.	Anwendungen.....	155
15.7.	Refraktion in bodennahen Luftschichten .....	156
15.7.1.	<i>Krümmung der Sichtlinie durch Refraktion</i> .....	157
15.7.2.	<i>Berechnung der Refraktion</i> .....	157
15.7.3.	<i>Refraktionskoeffizient</i> .....	158
15.7.4.	<i>Refraktion in der Wirklichkeit</i> .....	158
15.7.5.	<i>Formeln für die Sichtweite</i> .....	158
15.7.6.	<i>Kimmtiefe bei Refraktion</i> .....	159
15.7.7.	<i>Refraktionswinkel</i> .....	160
15.8.	Berechnungsbeispiele.....	160
15.8.1.	<i>Beispiel für einfache Sichtweitenberechnung</i> .....	160
15.8.2.	<i>Beispiel für zusammengesetzte Sichtweite</i> .....	161
<b>16.</b>	<b>Koordinatensysteme in der Astronomie</b> .....	<b>162</b>
16.1.	Vorbemerkung.....	162
16.2.	Bezugszeitpunkte, Standardepochen und Besseljahr .....	162
16.3.	Orientierung im Raum durch Koordinaten.....	163
16.4.	Festlegung der Koordinatensysteme .....	164
16.5.	Rechtwinkliges Koordinatensystem (Grundsystem).....	164
16.5.1.	<i>Definition eines räumlichen orthogonalen Rechtssystems</i> .....	164
16.5.2.	<i>Kartesisches Koordinatensystem</i> .....	165
16.5.3.	<i>Polarkoordinatensystem</i> .....	165
16.5.4.	<i>Koordinatenumrechnung kartesisch in polar und umgekehrt</i> .....	166
16.5.5.	<i>Umrechnung von polar in kartesisch</i> .....	166
16.5.6.	<i>Umrechnung von kartesisch in polar</i> .....	166
16.6.	Topozentrisches horizontales Koordinatensystem (th) .....	167
16.6.1.	<i>Astrometrische und geometrische Koordinaten</i> .....	167
16.6.2.	<i>Umrechnung astrometrisch auf geometrisch</i> .....	167
16.6.3.	<i>Umrechnung von geometrisch auf astrometrisch</i> .....	168
16.6.4.	<i>Horizontsystem und topozentrische horizontale Koordinaten</i> .....	168
16.6.5.	<i>Praktische Anwendung</i> .....	169
16.7.	Geozentrisches äquatoriales Koordinatensystem (gä).....	170
16.7.1.	<i>Koordinatenursprung</i> .....	170
16.7.2.	<i>Bezugslinien für Winkel</i> .....	171
16.7.3.	<i>Rektaszension und Deklination</i> .....	171
16.7.4.	<i>Geozentrische äquatoriale Koordinaten</i> .....	172

16.8.	Topozentrisches äquatoriales Koordinatensystem (tä).....	173
16.8.1.	<i>Parallaxe</i> .....	173
16.8.1.1.	<i>Objekt in Meridianebene</i> .....	173
16.8.1.2.	<i>Objekt außerhalb der Meridianebene</i> .....	174
16.8.2.	<i>Topozentrische äquatoriale Koordinaten</i> .....	174
16.9.	Heliozentrisches ekliptikales Koordinatensystem (he) .....	175
16.9.1.	<i>Ursprung und Orientierung im Raum</i> .....	175
16.9.2.	<i>Heliozentrische Koordinaten in der Ekliptik</i> .....	175
16.9.3.	<i>Aufsteigende Knoten in Ekliptik und Planetenbahn</i> .....	176
16.10.	Geozentrisches ekliptikales Koordinatensystem (ge).....	176
16.10.1.	<i>Ursprung und Orientierung im Raum</i> .....	176
16.10.2.	<i>Geozentrische ekliptikale Koordinaten</i> .....	176
16.11.	Koordinatensystem der heliozentrischen Bahnebene (hb) .....	177
16.11.1.	<i>Lage der Bahnebene zur Ekliptik</i> .....	177
16.11.2.	<i>Koordinaten der Bahnebene</i> .....	178
16.12.	Tabellarische Zusammenstellung der Koordinatensysteme .....	179
16.13.	Ermittlung der geometrischen Koordinaten .....	179
16.13.1.	<i>Refraktion</i> .....	179
16.13.2.	<i>Aberration</i> .....	180
16.13.3.	<i>Lichtlaufzeit</i> .....	180
16.13.4.	<i>Zeitabhängige Einflüsse</i> .....	180
<b>17.</b>	<b>Koordinatentransformationen.....</b>	<b>181</b>
17.1.	Gleichungssysteme lösen .....	181
17.2.	Genauigkeitsanforderungen.....	181
17.3.	Transformationsketten.....	182
17.4.	Vereinfachungen der Transformationen.....	182
17.5.	Eigenschaften der Transformationspaarungen .....	183
17.5.1.	<i>Heliozentrische Bahnebene - heliozentrisch ekliptikal (hb-he)</i> .....	183
17.5.2.	<i>Heliozentrisch ekliptikal zu geozentrisch ekliptikal (he-ge)</i> .....	184
17.5.3.	<i>Geozentrisch ekliptikal zu geozentrisch äquatorial (ge-gä)</i> .....	184
17.5.4.	<i>Geozentrisch äquatorial - topozentrisch äquatorial (gä-tä)</i> .....	185
17.5.5.	<i>Geozentrisch äquatorial - topozentrisch horizontal (gä-th)</i> .....	186
<b>18.</b>	<b>Raumkoordinaten in der Zeit.....</b>	<b>187</b>
18.1.	Alles in Bewegung .....	187
18.2.	Transformationen in der Zeit.....	187
<b>19.</b>	<b>Das sphärische Dreieck und der Großkreisbogen .....</b>	<b>188</b>
19.1.	Einleitung .....	188
19.2.	Die Formeln für den Großkreisbogen .....	189
19.2.1.	<i>Begriffe und Bezeichnungen</i> .....	189
19.2.2.	<i>Erdradius für Großkreisbogen</i> .....	190
19.2.3.	<i>Formeln für das Poldreieck</i> .....	190
19.3.	Berechnungsbeispiele mit dem Taschenrechner .....	191
19.3.1.	<i>Bogenlänge und Kurswinkel</i> .....	191
<b>20.</b>	<b>Satellitenpeilung .....</b>	<b>193</b>
20.1.	Einführung.....	193
20.2.	Berechnung der Satellitenbahn.....	193
20.2.1.	<i>Wo befindet sich der Satellit?</i> .....	193
20.2.2.	<i>Umlaufzeit T</i> .....	193
20.2.3.	<i>Bahnradius R</i> .....	193
20.2.4.	<i>Position des Satelliten (Längengrad)</i> .....	194
20.3.	Ausrichtung der Satellitenantenne (Peilung).....	195

20.4.	Berechnung von Azimut und Elevation .....	195
20.4.1.	<i>Sphärisches Dreieck</i> .....	195
20.4.2.	<i>Die Variablen</i> .....	196
20.4.3.	<i>Formeln</i> .....	197
20.4.4.	<i>Das Azimut</i> .....	197
20.4.5.	<i>Die Elevation</i> .....	198
20.4.6.	<i>Wie weit ist der Satellit von der Antenne entfernt?</i> .....	198
20.5.	Berechnungsbeispiel.....	199
20.6.	Taschenrechnerprogramm SATPEIL.....	199
20.7.	Sichtbarkeit der Satelliten .....	200
20.7.1.	<i>Längengrad (Grenzwinkel)</i> .....	200
20.7.2.	<i>Breitengrad (Grenzwinkel)</i> .....	201
20.7.3.	<i>Gesamtsichtbarkeit (Strahlungskegel)</i> .....	201
20.8.	Empfangbarkeit von Satellitensignalen.....	202
20.9.	Wettersatelliten.....	202
20.10.	Hinweise zur Montage der Satellitenantenne.....	202
20.10.1.	<i>Mehrsatellitenempfang mit einer Antenne</i> .....	204
20.10.2.	<i>Literaturhinweise zum Satellitenempfang</i> .....	205
<b>21.</b>	<b>Auf- und Untergänge von Himmelskörpern .....</b>	<b>206</b>
21.1.	Definitionen.....	206
21.1.1.	<i>Aufgang</i> .....	206
21.1.2.	<i>Untergang</i> .....	206
21.1.3.	<i>Kulmination, Meridian</i> .....	206
21.1.4.	<i>Dämmerungen</i> .....	206
21.1.5.	<i>Zirkumpolare Objekte</i> .....	207
21.2.	Koordinaten der Sonne.....	208
21.2.1.	<i>Berechnungszeitpunkt</i> .....	208
21.2.2.	<i>Ekliptikschiefe</i> .....	208
21.2.3.	<i>Mittlere Länge der Sonne</i> .....	209
21.2.4.	<i>Mittlere Anomalie der Sonne</i> .....	209
21.2.5.	<i>Mittelpunktsgleichung der Sonne (Erdbahn)</i> .....	209
21.2.6.	<i>Wahre Anomalie der Sonne</i> .....	209
21.2.7.	<i>Radius Sonne-Erde</i> .....	209
21.2.8.	<i>Exzentrizität der Erdbahn</i> .....	209
21.2.9.	<i>Wahre Länge der Sonne</i> .....	209
21.2.10.	<i>Rektaszension und Deklination der Sonne</i> .....	209
21.2.11.	<i>Elevation (Sonnenstand) und Azimut zum Zeitpunkt t</i> .....	210
21.2.12.	<i>Zeitgleichung</i> .....	211
21.2.13.	<i>Kulminationszeitpunkt der Sonne in MEZ</i> .....	211
21.2.14.	<i>Tagbogen eines Himmelskörpers</i> .....	212
21.2.15.	<i>Herleitung der Formel für den halben geometrischen Tagbogen</i> .....	214
21.3.	Geometrische Auf- und Untergangspunkte am Horizont.....	215
21.3.1.	<i>Auf- und Untergangszeitpunkte für geometrischen Tagbogen</i> .....	215
21.3.2.	<i>Höhenwinkel bei Kulmination des Himmelskörpers</i> .....	215
21.3.3.	<i>Azimut der geometrischen Auf- und Untergangspunkte</i> .....	216
21.3.4.	<i>Stundenwinkel t und Höhenwinkel h eines Himmelskörpers</i> .....	217
21.4.	Berücksichtigung der Refraktion.....	217
21.5.	Berücksichtigung des Objektdurchmessers.....	217
21.6.	Zeitpunkte für Aufgang und Untergang.....	217
21.6.1.	<i>Genauere Zeitpunkte nur durch Iteration</i> .....	218
21.6.2.	<i>Kulminationszeitpunkt und Stundenwinkel</i> .....	219
21.6.3.	<i>Berücksichtigung von Refraktion und Objektradius</i> .....	219

21.6.4.	<i>Azimet der wirklichen Auf- und Untergangspunkte</i> .....	220
21.6.5.	<i>Dämmerungen</i> .....	220
21.7.	Höhe des Beobachters und Horizontabrückung .....	220
21.8.	Zusammenstellung der Formeln .....	222
21.9.	Zusammenfassung .....	223
<b>22.</b>	<b>Die Sonne und die Sonnenuhren</b> .....	<b>224</b>
22.1.	Sonnenuhren als Zeitmesser .....	224
22.1.1.	<i>Prinzip der Sonnenuhr</i> .....	224
22.1.2.	<i>Sonnenuhren im Altertum</i> .....	224
22.1.3.	<i>Sonnenuhren heute</i> .....	225
22.2.	Äquatoriale Ringsonnenuhr .....	225
22.2.1.1.	<i>Beschreibung</i> .....	225
22.2.1.2.	<i>Anwendung der Ringsonnenuhr</i> .....	227
22.3.	Berechnung von Sonnenuhren .....	227
22.3.1.	<i>Berechnung einer horizontalen Sonnenuhr</i> .....	227
22.3.1.1.	<i>Berechnungsmethode</i> .....	228
22.3.1.2.	<i>Aufbau der Grafik für die horizontale Sonnenuhr</i> .....	229
22.3.1.3.	<i>Sonnenuhr als begehbare Grafik</i> .....	230
22.3.1.4.	<i>Gebrauchsanweisung</i> .....	231
22.3.1.5.	<i>Feststellen der Südrichtung durch Kompass</i> .....	231
22.3.1.6.	<i>Feststellen der Südrichtung durch bekannte Uhrzeit</i> .....	231
22.3.2.	<i>Urheberrecht und Nutzung der Grafik</i> .....	231
<b>23.</b>	<b>Bedeckung bei astronomischen Ereignissen</b> .....	<b>232</b>
23.1.	Definition .....	232
23.2.	Fallunterscheidungen .....	232
23.3.	Durchschnitt zweier Kreise .....	233
23.3.1.	<i>Winkel</i> .....	233
23.3.2.	<i>Länge der gemeinsamen Sehne</i> .....	234
23.3.3.	<i>Stichhöhen der Segmente</i> .....	234
23.3.4.	<i>Segmentflächen und Durchschnitt</i> .....	234
23.3.5.	<i>Bedeckungen</i> .....	234
<b>24.</b>	<b>Die Geometrie der Finsternisse</b> .....	<b>235</b>
24.1.	Einleitung .....	235
24.2.	Daten des Mondes .....	236
24.3.	Formelzeichen .....	237
24.4.	Voraussetzungen für eine Sonnenfinsternis .....	238
24.5.	Formen einer zentralen Sonnenfinsternis .....	238
24.6.	Voraussetzungen für eine Mondfinsternis .....	239
24.7.	Kontakte .....	239
24.8.	Sonnenfinsternisse .....	239
24.8.1.	<i>Kernschattenkegel des Mondes</i> .....	239
24.8.2.	<i>Kernschatten - Halbschatten</i> .....	240
24.8.3.	<i>Herleitung der Formeln</i> .....	240
24.8.3.1.	<i>Kernschattenkegel</i> .....	241
24.8.3.2.	<i>Kernschattendurchmesser <math>k</math></i> .....	241
24.8.3.3.	<i>Halbschatten</i> .....	241
24.8.3.4.	<i>Gesamtschatten</i> .....	242
24.8.4.	<i>Extremkonstellationen</i> .....	242
24.8.4.1.	<i>Tabellenwerte für totale Sonnenfinsternisse</i> .....	243
24.8.4.2.	<i>Tabellenwerte für ringförmige Sonnenfinsternisse</i> .....	243
24.8.5.	<i>Verlauf einer Sonnenfinsternis</i> .....	244

24.9.	Mondfinsternisse .....	246
24.9.1.	<i>Kernschattenkegel der Erde</i> .....	246
24.9.2.	<i>Verlauf einer Mondfinsternis</i> .....	249
24.9.3.	<i>Finsternisdauern</i> .....	250
24.9.3.1.	<i>Längstmögliche Finsternis</i> .....	250
24.9.3.2.	<i>Kürzeste totale Mondfinsternis</i> .....	250
24.10.	Brauchbarkeit der Berechnungen .....	251
<b>25.</b>	<b>Der Mond und die Mondphasen.....</b>	<b>252</b>
25.1.	Grundsätzliche Betrachtungen zu den Mondphasen .....	252
25.2.	Himmelsrichtungen des Mondes und der Planeten .....	252
25.3.	Absolute und relative Bewegung des Mondes .....	253
25.4.	Mondbahn, Auf- und Untergangszeiten des Mondes .....	253
25.5.	Beschreibung der vier Mondphasen .....	253
25.5.1.	<i>Erstes Viertel</i> .....	254
25.5.2.	<i>Vollmond</i> .....	254
25.5.3.	<i>Drittes Viertel</i> .....	255
25.5.4.	<i>Neumond</i> .....	255
25.6.	Berechnung der Mondposition für ein bestimmtes Datum .....	256
25.6.1.	<i>Vereinfachungen</i> .....	256
25.6.2.	<i>Berechnungsgrundlagen</i> .....	256
25.6.3.	<i>Näherungsformel zur Berechnung der mittleren Mondposition</i> .....	257
25.6.4.	<i>Mondphase</i> .....	257
25.6.5.	<i>Fehlerabschätzung</i> .....	257
25.6.6.	<i>Berechnungsprogramm Mondposition aus Kalenderdatum</i> .....	258
25.6.7.	<i>Umkehrrechnung Kalenderdatum aus Mondposition</i> .....	258
25.6.8.	<i>Vergleich mit den genauen Werten</i> .....	258
<b>26.</b>	<b>Himmelsbeobachtungen.....</b>	<b>260</b>
26.1.	Das menschliche Auge .....	260
26.1.1.	<i>Fähigkeiten des Auges</i> .....	260
26.1.2.	<i>Augenfehler korrigieren lassen</i> .....	261
26.1.3.	<i>Überanstrengung und Gefährdung der Augen</i> .....	261
26.2.	Das Fernrohr .....	261
26.3.	Das Spiegelteleskop .....	262
26.3.1.	<i>Prinzip</i> .....	262
26.3.2.	<i>Katadioptrisches Spiegelteleskop</i> .....	262
26.3.3.	<i>Selbstbau von Spiegelteleskopen</i> .....	263
26.3.4.	<i>Fernrohrmontierung bei Himmelsbeobachtungen</i> .....	263
26.3.4.1.	<i>Azimutale Montierung</i> .....	263
26.3.4.2.	<i>Parallaktische Montierung</i> .....	263
26.4.	Himmelsfotografie.....	264
26.4.1.	<i>Grundsätzliches zur Fotografie am Teleskop</i> .....	265
26.4.1.1.	<i>Digitalkamera mit fest eingebautem Objektiv</i> .....	265
26.4.1.2.	<i>Spiegelreflex-Kamera (SLR) mit auswechselbaren Objektiven</i> .....	265
26.4.2.	<i>Versuche</i> .....	267
26.4.3.	<i>Literatur zu Himmelsaufnahmen</i> .....	267
<b>27.</b>	<b>Astronomie mit dem Computer.....</b>	<b>268</b>
27.1.	Berechnungen .....	268
27.2.	Astronomie auf dem Taschenrechner .....	268
27.2.1.	<i>Taschenrechnerprogramm von Heiko Arnemann</i> .....	268
27.2.2.	<i>Taschenrechnerprogramm von Otto Praxl</i> .....	269
27.2.3.	<i>Differenzen zwischen den verschiedenen Ergebnissen</i> .....	269

27.2.4.	<i>Programme anderer Autoren</i> .....	270
27.2.5.	<i>Bildbearbeitung mit dem Computer</i> .....	270
27.3.	Der Sternenhimmel auf dem Computerbildschirm .....	270
<b>28.</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>271</b>
28.1.	Literatur-Verzeichnis.....	271
28.2.	„Kosmos-Himmelsjahr“: Spezielle Monatsthemen.....	274
28.3.	Das griechische Alphabet.....	276
28.4.	Satellitenliste .....	277
28.5.	Bilderverzeichnis.....	278
28.6.	Formelverzeichnis .....	281
28.7.	Tabellenverzeichnis.....	285
28.8.	Alphabetisches Sachregister (Index).....	287