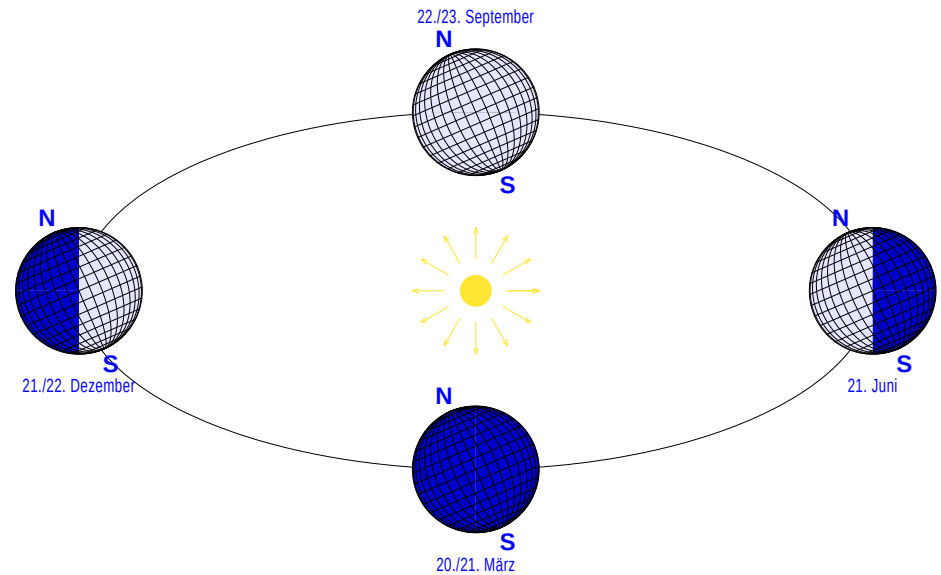


Bahn der Erde um die Sonne

- Bahnebene = "Ekliptik"
 - N-Pol im Sternbild "Drache" (zwischen Gr. und Kl. Wagen)
 - unterliegt ganz langsamer Präzession wg. Störung durch andere Planeten
- Lage des Perihels
 - Durchgang am 2. Januar

Die Entstehung des Jahreszeiten

... durch die Neigung der Äquator-Ebene gegen die Ekliptik

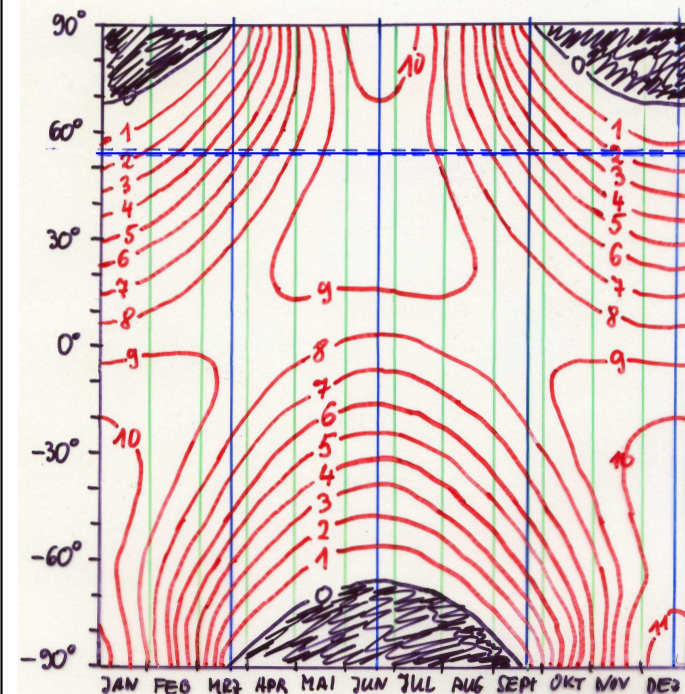


- Form der Bahn: Ellipse mit
 - gr. Halbachse $a = 1 \text{ A.U.}$ (Astronomical Unit)
 - $= 1.49598 \cdot 10^{13} \text{ cm}$
 - $\approx 150 \text{ Mill. km} \approx 500 \text{ Lichtsekunden}$

Exzentrizität $e = 0.0167$

d.h. Abstand Erde - Sonne schwankt um $\pm 1.7 \%$
 Einstrahlung der Sonne " " $\pm 3.4 \%$
 (ist im Winter stärker!)

Umlaufzeit: 1 siderisches Jahr
 $= 365.25636 \text{ Tage}$



Energie der täglichen Sonneneinstrahlung
Potsdam

als Funktion der Jahreszeit und der geographischen Breite, ohne Absorption durch die Atmosphäre;

Labels:
 $10^6 \text{ cal m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
 $= 48 \text{ W/m}^2$

aus: Cambridge Atlas of Astronomy

Wärmehaushalt der Erdatmosphäre

I.21-52

• "Effektivtemperatur"

Simple Abschätzung:

thermodynamisches Gleichgewicht,
Erde $\approx$ schwarzer Körper

(Vorgriff auf Kap. IV:)

- Strahlungsleistung ("Leuchtkraft") eines Schwarzen Körpers der Oberfläche $4\pi R^2$ und Temperatur T :

$$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$$

σ Stefan-Boltzmann-Konstante

Werte für die Sonne: $T_{\odot} = 5780 \text{ K}$, $R_{\odot} = 6.96 \cdot 10^{10} \text{ m}$

I-54

$$\Rightarrow T_{\oplus}^4 = R_{\odot}^2 T_{\odot}^4 \frac{1}{4a^2} (1-A)$$

$$T_{\oplus} = T_{\odot} \left(\frac{R_{\odot}}{2a} \right)^{\frac{1}{2}} (1-A)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5780 \text{ K} \cdot \left(\frac{6.96 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 1.5 \cdot 10^{13}} \right)^{\frac{1}{2}} (0.64)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5780 \text{ K} \cdot 0.0482 \cdot 0.894$$

$$T_{\oplus} = 250 \text{ K} \quad (\approx -23^\circ \text{C})$$



1-53

- Bruchteil von $L_{\odot}$, der auf die Erde trifft:

$$\frac{\pi R_{\oplus}^2}{4\pi a^2} \leftarrow \text{Querschnitt der Erde}$$

$$\leftarrow \text{Kugeloberfläche in Erdentfernung } a = 1 \text{ A.U.}$$

- Davon wird der Bruchteil $A = 0.36$ (mittlere Albedo!) reflektiert, also ist die absorbierte Leistung
 neuerer Messungen: 0.295

$$L_{\text{abs}} = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\odot}^4 \frac{\pi R_{\oplus}^2}{4\pi a^2} (1-A)$$

- Im Gleichgewicht muß dies gleich sein zur Emission der Erde

$$L_{\text{em}} = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4$$

$\Rightarrow$

Anmerkung:

1-55

Die "Erdwärme": etwa 0.05 Watt/m^2
ist für den Wärmehaushalt vernachlässigbar!

... aber zum Glück gibt's den

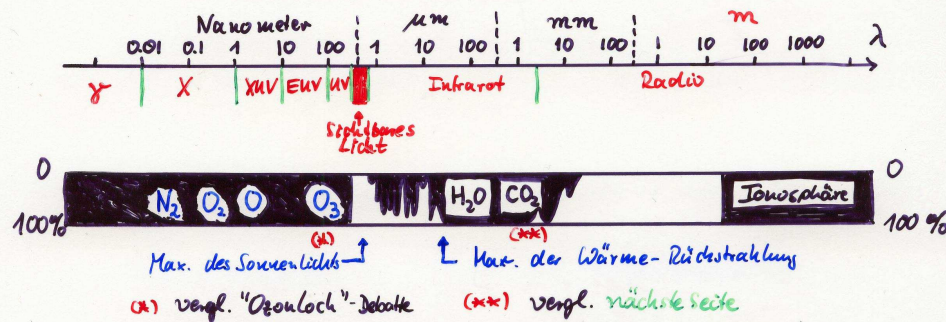
Treibhaus-Effekt!

Prinzip: Unterschiedliche Durchlässigkeit der Atmosphäre für Sonnenlicht bzw. Infrarot-Strahlung.

Genauer:

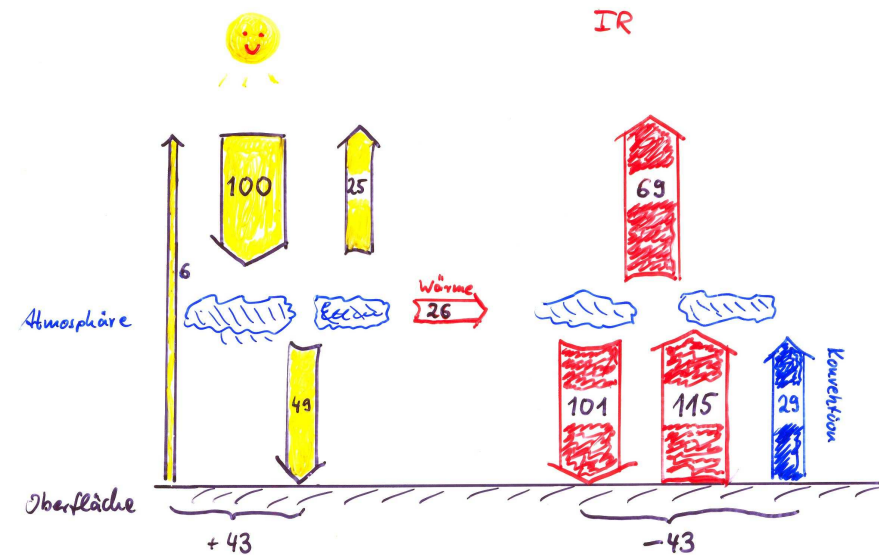
- Durchlässigkeit der Erdatmosphäre
(unbewölkt!) bei verschiedenen Wellenlängen

Elektromagnetisches Spektrum:



• Vertikaler Energie-transport in der Erdatmosphäre

nach: Cambridge Atlas of Astronomy, p. 96



→ "Beobachtungsfenster"

der erdgebundenen Astronomie:

- "sichtbares Licht" und. nahes UV, nahes IR
 $\lambda = 3000 - 10000 \text{ Å}$ $\text{Å} = \text{Ångström} = 10^{-8} \text{ cm}$
- ab 6000 Å durch H_2O -Banden beeinträchtigt
- Infrarot (IR)
 - bis $\approx 10 \mu$, starke Beeinträchtigung durch H_2O ,
einige "Fenster", "Bänder"
 - trockene Standorte in großer Höhe
 - Sub-mm ("Fenster")
- Radio
von 1 cm bis UKW

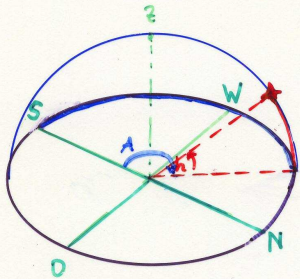
- "Treibhaus-Effekt": $\downarrow$ Licht, $\uparrow$ IR
- gemildert durch konvektive Kühlung der Erdoberfläche
- sehr starker IR-Austausch Atmosphäre - Erdoberfläche
- Gefahren:
 - Verminderung der Sonnen-Einstrahlung durch Staub in der Hochatmosphäre ("Nuklearer Winter")
 - Verminderung der IR-Abstrahlung durch erhöhten CO_2 -Gehalt ("Treibhaus-Effekt")

• Koordinatensysteme am Himmel

stets: sphärische Polar-Koordinaten • orthogonal

- Längengrade: Großkreise durch die Pole • Breitengrade $\parallel$ Grundkreis

• Horizont-System



Grundkreis: Horizont

Pole: Zenit, Nadir

Koordinaten:

Azimuth H von Süd über W, N, O

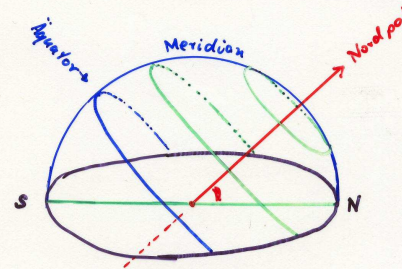
Höhe h über dem Horizont,

alternativ: $z = 90^\circ - h$ "Zenitdistanz"

• Äquator - System (fest)

Grundkreis: (Himmel-) Äquator

Polachse: Rotationsachse der Erde



"Polhöhe" $\approx$ geograph. Breite φ

Koordinaten:

- in Länge:

"Stundenwinkel" s

- Nullpunkt = Meridian,
- von Ost nach West zunehmend
- Angabe in Stunden, Minuten, Sekunden mit $360^\circ \hat{=} 24^h$
- z.B. $-3^h 12^m 25.6^s$

Def.: Meridian = Großkreis durch N, Zenit, S

- "natürliches" System des Beobachters
- mechanisch am einfachsten für die Montierung von Teleskopen
- Aufgrund der Erddrehung: komplizierte "tägliche Bewegung" $H(t)$, $z(t)$
- Bildrotation
- Verwendung bei Radio-Teleskopen und neuesten Groß-Teleskopen
z.B. ESO-NTT (New Technology Telescope)
ESO-VLT (Very Large Telescope)

- in Breite:

"Deklination" δ

= Winkel gegen Äquator

Nordpol: $\delta = +90^\circ$, Südpol: $\delta = -90^\circ$

- "tägliche Bewegung": $\delta = \text{constant}$, $s \propto \text{Zeit}$
- bevorzugtes System zur Aufstellung von Teleskopen:
"parallaktische Montierung"
- Umrechnung zwischen verschiedenen Polar-Koordinatensystemen:
sphärische Trigonometrie: "Nautisches Dreieck"
Formeln $(s, \delta) \leftrightarrow (H, z)$ siehe z.B. Vogt, S.5

• Äquator - System (beweglich)

I. 1-64

wie Äquator-System (fest), aber:

Längen- Nullpunkt macht tägliche Bewegung mit!

Def. des Längen- Nullpunkts:

"Frühlingspunkt" = "Aufsteigender Knoten"

(Schnittpunkt) des Äquators mit der Ekliptik

Koordinaten:

RA oder α : Rektaszension [engl. Right Ascension]

δ : Deklination

| Standard-Koordinatensystem der Astronomie! |

• Keine "tägliche Bewegung" in RA, δ !

1-65

• Leichte Umrechnung auf feste Äquator-Koordinaten mithilfe der Sternzeit [engl. Sidereal Time]

(örtliche) Sternzeit $\hat{=}$ Stundenwinkel des Frühlingspunktes

$\Rightarrow$ Stundenwinkel = Sternzeit - Rektaszension

• Problem: Erde nie raumfest: Präzession ($\rightarrow$ I. 11)

$\rightarrow \alpha, \delta$ stets mit Zeitangabe des "Äquinoktiums", z.B. 1950.0

$\rightarrow$ Umrechnung auf aktuelle Koordinaten (Teleskop!):

$$\Delta\alpha = m + n \tan \delta \sin \alpha \quad \text{mit } m = 46''.085 \text{ pro Jahr}$$

$$= 3''.0723 \text{ pro Jahr}$$

$$\Delta\delta = n \cos \alpha$$

$$n = 20''.047 \text{ pro Jahr}$$

$\approx$ kleine Korrekturen

• Positions - Astronomie

I. 21-66

genaue Vermessung von (Stern-) Orten am Himmel

• klassisch mit speziellen "Meridian - Kreisen"

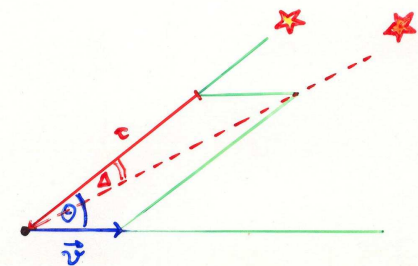
d.h. Fernrohre nur in δ beweglich, Stundenwinkel ≈ 0

$\rightarrow \alpha$ aus Zeitmessung des Meridian-Durchgangs

Stör-Effekte:

• Aberration

Bewegter Beobachter mit Geschwindigkeit v



Lichtgeschwindigkeit: $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$

1-67

$$\text{Sinussatz: } \frac{\sin \Delta}{v} = \frac{\sin (\theta - \Delta)}{c}$$

$\Rightarrow$ wegen $v/c \ll 1$

$$\Delta = \frac{v}{c} \sin \theta$$

Maximaler Beitrag von Bahngeschwindigkeit der Erde:

$$v = \frac{2\pi \cdot 1 \text{ A.U.}}{1 \text{ Jahr}} = \frac{2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km}}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}}$$

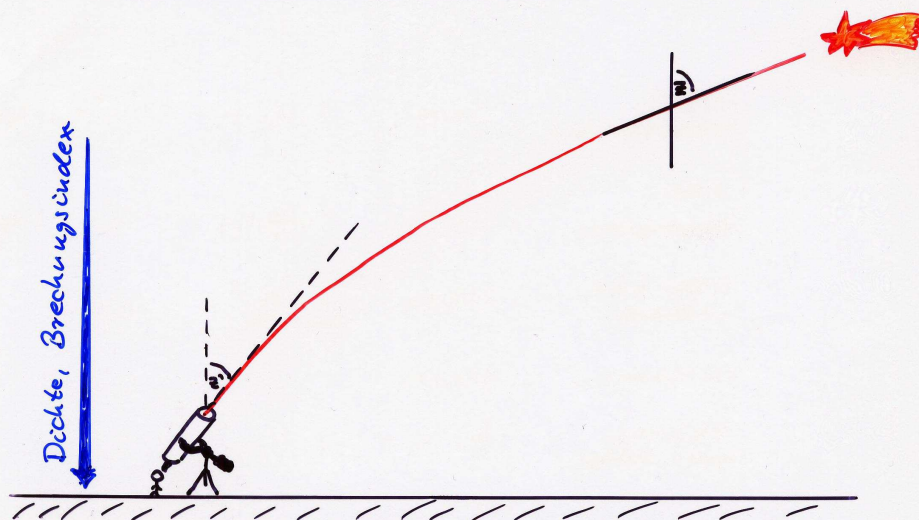
$$v \approx 30 \text{ km/s}$$

also $v/c \approx 10^{-4} \rightarrow$ in Bogenmaß: $\approx 21''$

"Aberrationskonstante"

• (Atmosphärische) Refraktion

1-68
T.35



• Zeit

T. 36 1-70

• Wahre örtliche Sonnenzeit

Definition: $= 12^h + \text{Stundenwinkel der "wahren" Sonne}$

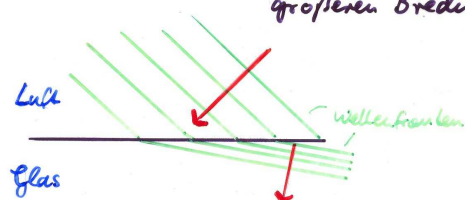
→ angezeigt von Sonnenuhren!

Nachteil: ungleichmäßig, da Bewegung der Sonne in Rektaszension nicht gleichförmig wegen

- Neigung der Ekliptik
- Exzentrizität der Erdbahn:
wahre Anomalie $\neq$ mittlere Anomalie
(vergl. I. 19 f.)

Prinzip: Brechung des Lichtes in Richtung auf den größeren Brechungsindex (kleineren Lichtgeschw.)

1-69



Resultat: Verringerung der Zenitdistanz z auf (scheinbar) z'

Nicht zu dicht am Horizont gilt ungefähr:

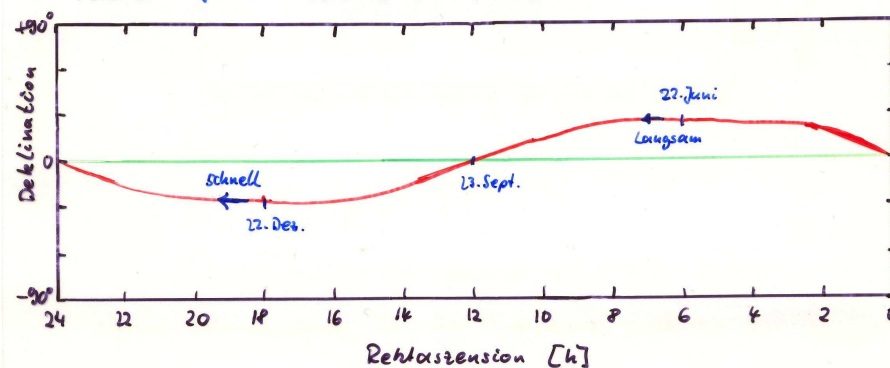
$$z' = z - 58''.2 \tan z$$

Extrem-Effekt am Horizont: ca. $35'$

(vergl. Durchmesser Sonne, Mond $\approx 30'$)

Mercator-Projektion Sonnenbahn (Ekliptik)

1-71



Effekt durch Neigung der Ekliptik:

schnell langsam schnell langsam

- Mittlere (örtliche) Sonnenzeit

I.37

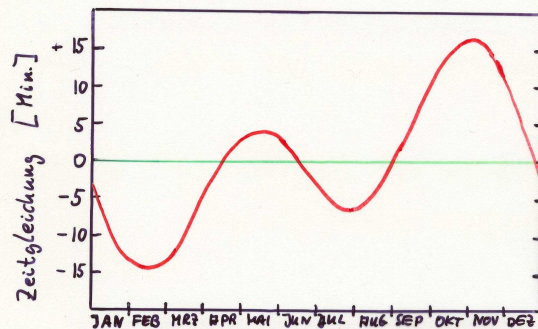
1-72

= 12^h + Stundenwinkel der "mittleren" Sonne

"Mittlere" Sonne : Bewegung in α gleichmäßig

"Zeitgleichung" [engl. Equation of Time]

$\text{:= wahre - mittlere Sonnenzeit}$



I.38

1-74

- Kalender

- Tropisches Jahr

= Umlauf der Sonne v. Frühlingspunkt $\rightarrow$ Frühlingspunkt

= 365.24220 Tage

kleiner als siderisches Jahr wg. Präzession!

Problem: Tropisches Jahr kein ganzzahliges Vielfaches des Tages!

$\rightarrow$ Näherungen:

1-73

- Universalzeit [engl. Universal Time, UT]

auch GMT (Greenwich Mean Time)

= mittlere Sonnenzeit für 0° geographische Länge

- Zonenzeiten = bürgerliche Zeit, gültig für bestimmte Regionen

= mittlere Sonnenzeit, bezogen auf geograph. Längen von

z.B.: $0^\circ \triangleq$ UT: WEZ (Westeuropäische Zeit)

15° östl. Länge: MEZ (Mitteleurop. Zeit)

30° östl. Länge: OEZ (Osteuropäische Zeit)

1-75

- Julianisches Jahr

Gaius Julius Caesar, 46 v. Chr.:

alle 4 Jahre ein Schalttag [engl. Leap day]

$\rightarrow$ 365.25 Tage

Fehler: um 0.0078 Tage zu groß

$\rightarrow$ Jahreszeiten rücken nach vorne

[bis 1582: 13 Tage Fehler]

$\rightarrow$ Gregorianische Kalenderreform [Papst Gregor XIII]:

4. Okt. 1582 $\rightarrow$ 15. Okt. 1582 (10 Tage übersprungen)

seitdem gilt das Gregorianische Jahr $\rightarrow$

• Gregorianisches Jahr

- alle 4 Jahre ein Schalttag
- volle 100 Jahre: kein Schalttag
- volle 400 Jahre: doch ein Schalttag

$$\Rightarrow 365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} = 365.2425 \text{ Tage}$$

Fehler zum Tropischen Jahr: 0.0003 Tage,
d.h. erst in 3000 Jahren 1 Tag

• Mondkalender

- Reste des römischen Mondkalenders in unseren Monaten
- Mondkalender z.T. in anderen Kulturen in Gebrauch
→ ebenfalls "Schaltmonate" notwendig

• Sterne = "Fixsterne" [→ Kap. VI]

- Punktförmige Lichtquellen am Himmel
(mit bloßem Auge: 2000, unter Idealbedingungen bis 10000)
auch mit Teleskopen nicht räumlich auflösen

- nahezu ortsfest

"Eigenbewegung" heller Sterne:

typisch 0."001 ... 0."01 pro Jahr

maximal: einige " pro Jahr

→ erst in Jahrtausenden merklich

• Julianisches Datum

[engl. Julian Date, JD]

= fortlaufende Tageszählung,

z.B. 1. Januar 1985 12^h UT $\hat{=}$ JD 2445067
← beginnt mittags!

kleine Computer-Programme zur

Konversion Datum $\rightleftharpoons$ JD:

siehe z.B. "Fundamental Astronomy", p. 40f

- zum "Fixsternhimmel" im weiteren Sinne gehören:

die Milchstraße [bandförmige Anordnung vieler schwacher Sterne],

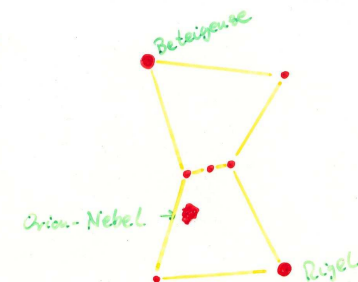
Nebel, Sternhaufen, Galaxien, Quasare ...

- Sternbilder [engl.: Constellations]

Zusammenfassung von Sternen in
anschauliche Bilder, z.T. mit mythischem Hintergrund

Beispiel:

Orion



Seit 1928: offizielle Einteilung des Himmels
in 88 Sternbilder

= rechtwinklig begrenzte Gebiete

[in RA, δ vom Äquinor 1875.0]

Benennung der Sterne

- Eigennamen (meist arabisch)

Sirius, Wega, Algol, ...

- Klassisch: griechischer Buchstabe und Sternbild

α And [Andromedae, Genitiv von Andromeda]

γ Per [Persei, " " Perseus]

β UMa [Ursae Majoris, " " Ursa Major]

δ Ori [Orionis, " " Orion]

...

- „Tierkreis“, Zodiakus

- 12 Sternbilder entlang der Ekliptik,
je 30° langen Abschnitten zugeordnet

- Astrologie:

Spekulative Assoziation von Bedeutungen
zu den Positionen im Tierkreis, bes.:

- der Sonne zum Zeitpunkt der Geburt
[i.a. nicht die tatsächliche Stellung, sondern
Zuordnung zum Datum wie vor 2500 Jahren,
d.h. ohne Präzession]
- ebenso Mond, Planeten, "Ascendent" = Aufgangspunkt
- des Frühlingspunktes
wegen Präzession: Wanderung in 2600 Jahren
durch den Tierkreis.

Widder $\approx$ Christi Geburt $\rightarrow$ Fische $\approx$ demnächst $\rightarrow$ Wassermann
= Aquarius

Vergl.: "Zeitalter des Wassermanns", "New Age" etc.

- Katalog - Nummer

- Bonner Durchmusterung [Argelander 1799-1875]

z.B.: BD + 28° 4711

→ Laufende Nr. in RA

Zone zwischen 28° und 29° Dekl.

enthält 320 000 Sterne $\delta > -2^\circ$

- Ergänzungen für den Südhimmel: CD ...

- Henry-Draper-Katalog:

z.B.: HD 128220

... und viele andere ...

www.simbad.u-strasbg.fr