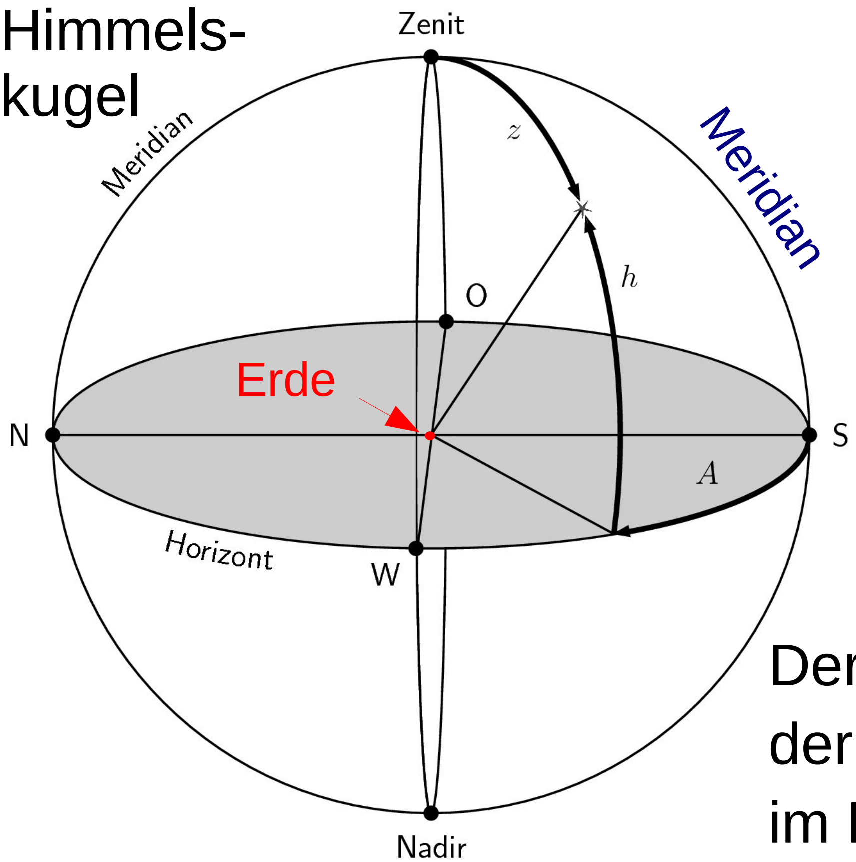
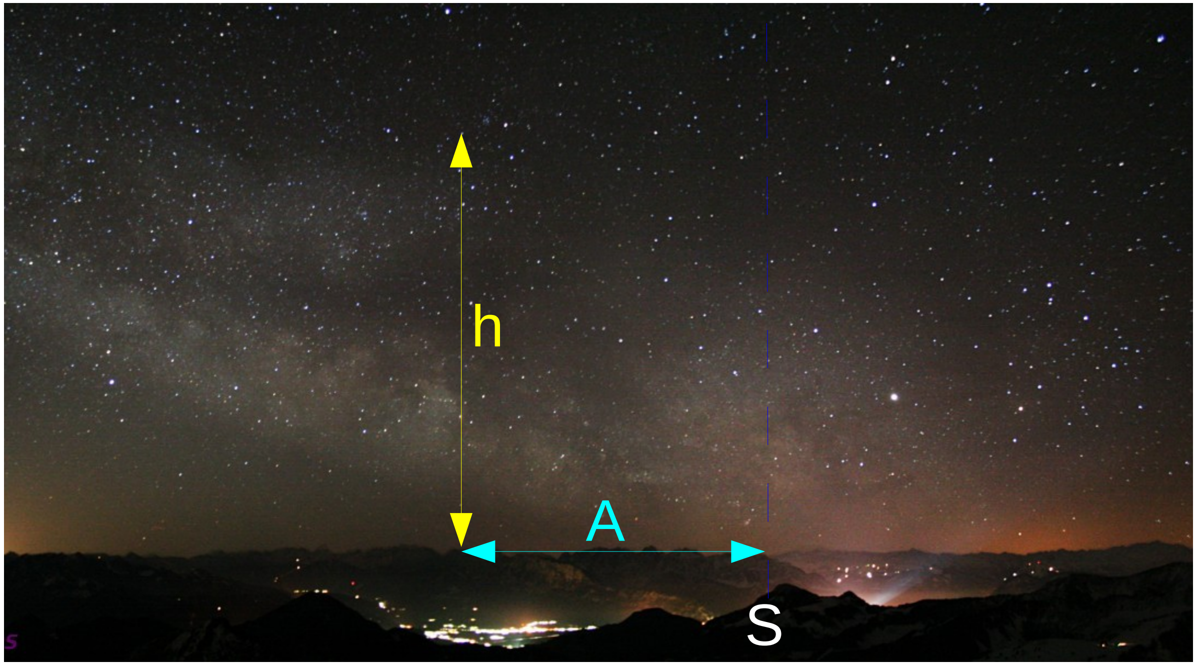
Physik des Universums

Kapitel 3: Unser Blick in den Himmel

Koordinatensysteme: Das Horizont System

Himmels-
kugel





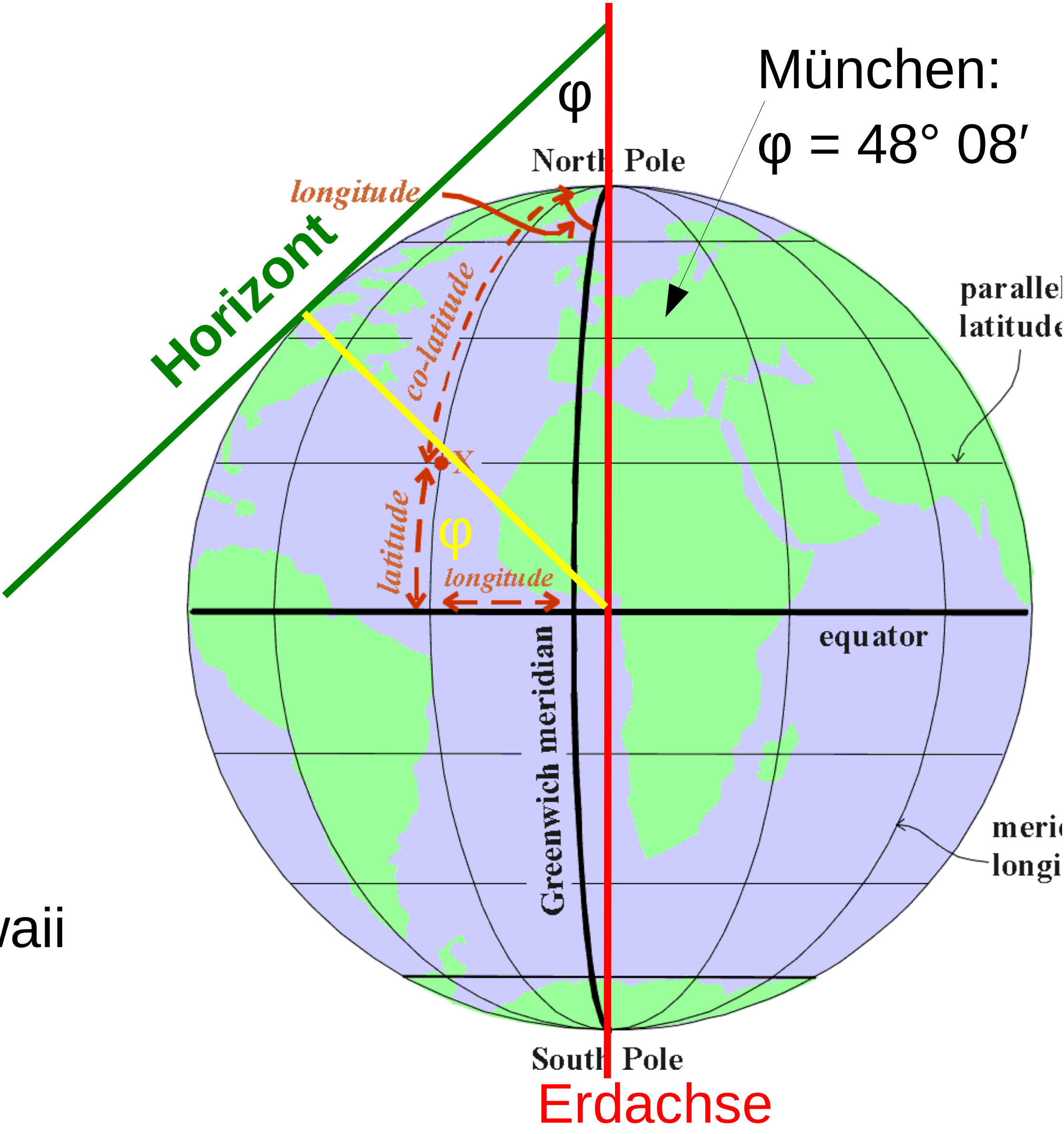
Der Meridian ist der Großkreis
der durch den Zenit geht und den Horizont
im Norden und Süden schneidet.

Jede Position im Himmel wird durch zwei
Koordinaten beschrieben:

h: Höhe, A: Azimuth

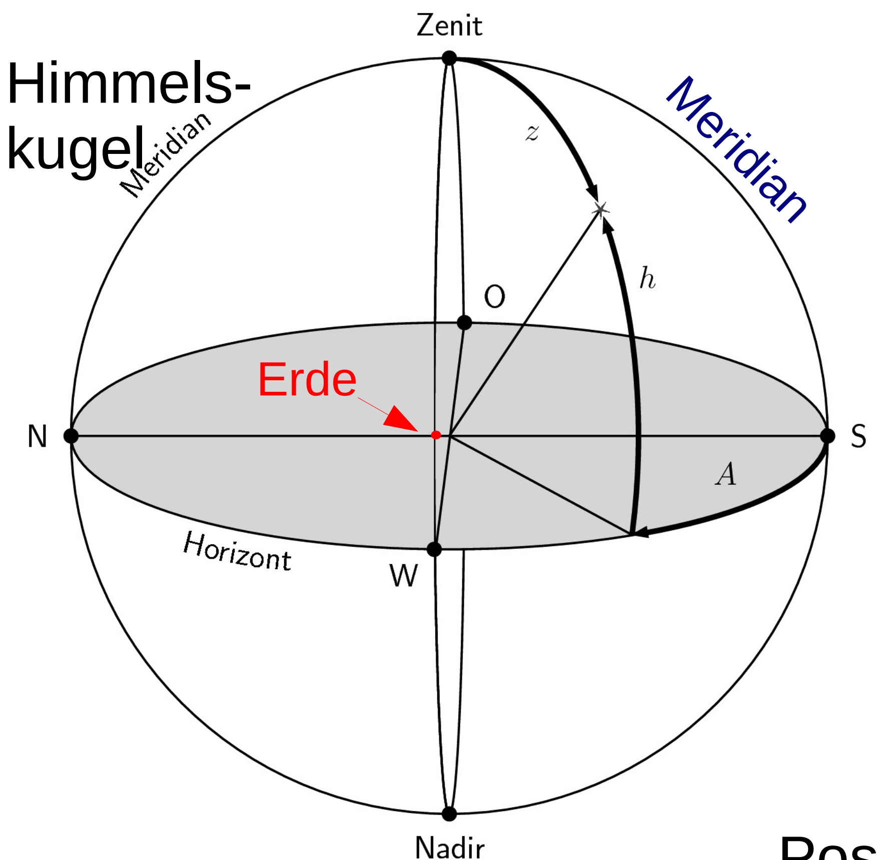
φ: Geographische Breite

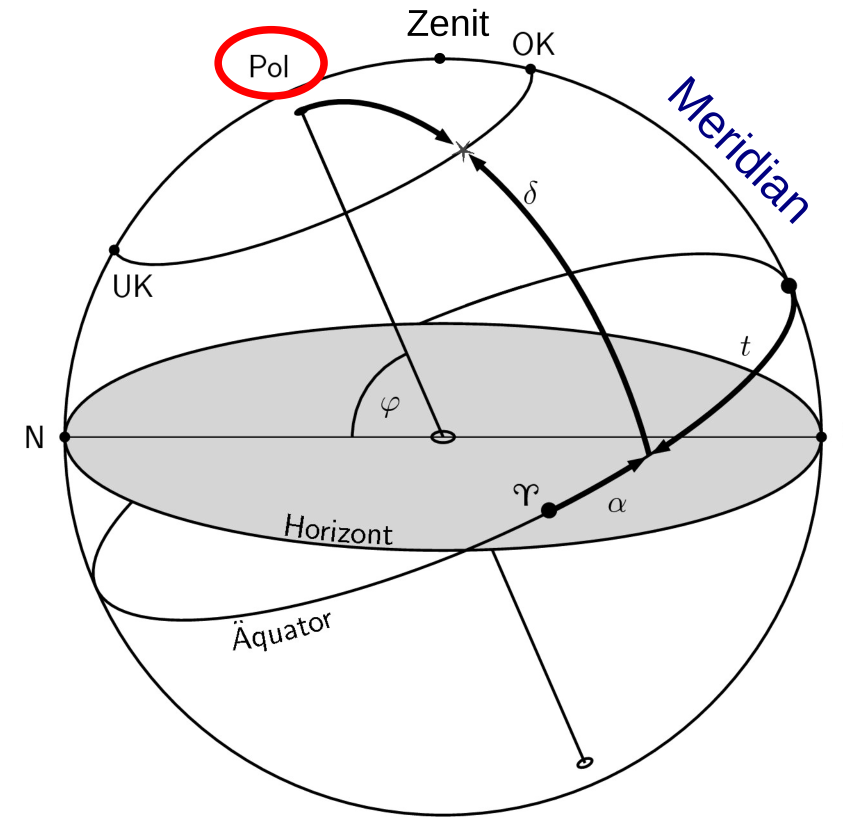
φ = 19° 49′ 34″ am Mauna Kea/Hawaii



Nachteil des Horizontsystems:
Koordinaten ändern sich während der Nacht
und hängen vom Standort des Beobachters ab.

Horizontsystem → **Äquatoriales System**





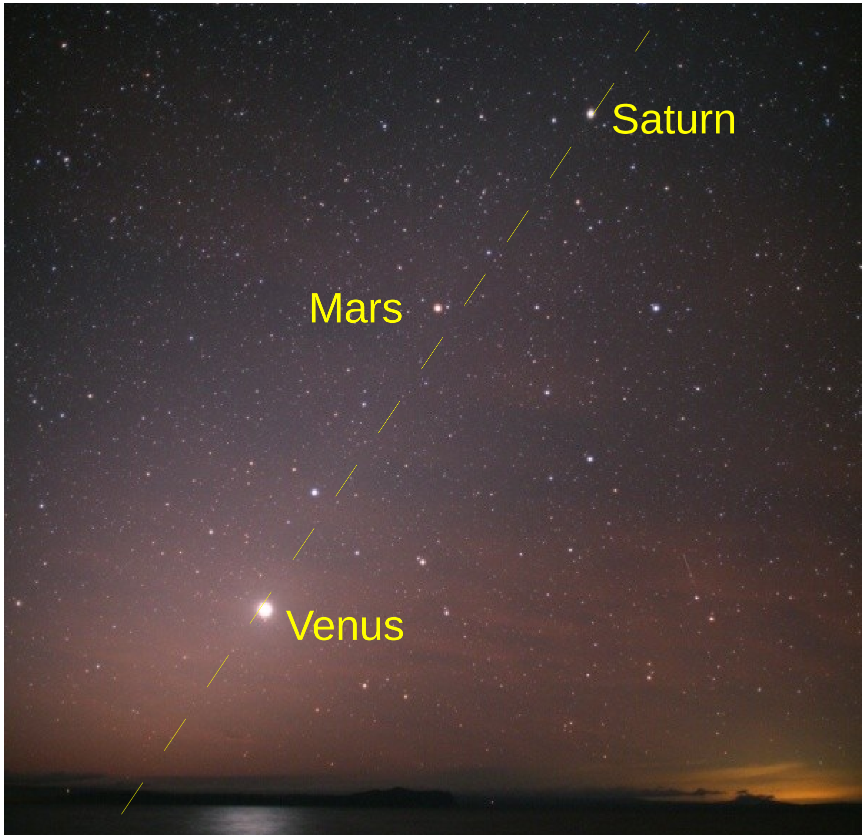
Position von Sternen auf der Himmelskugel ist gegeben durch:

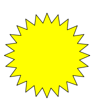
Rektaszension: α

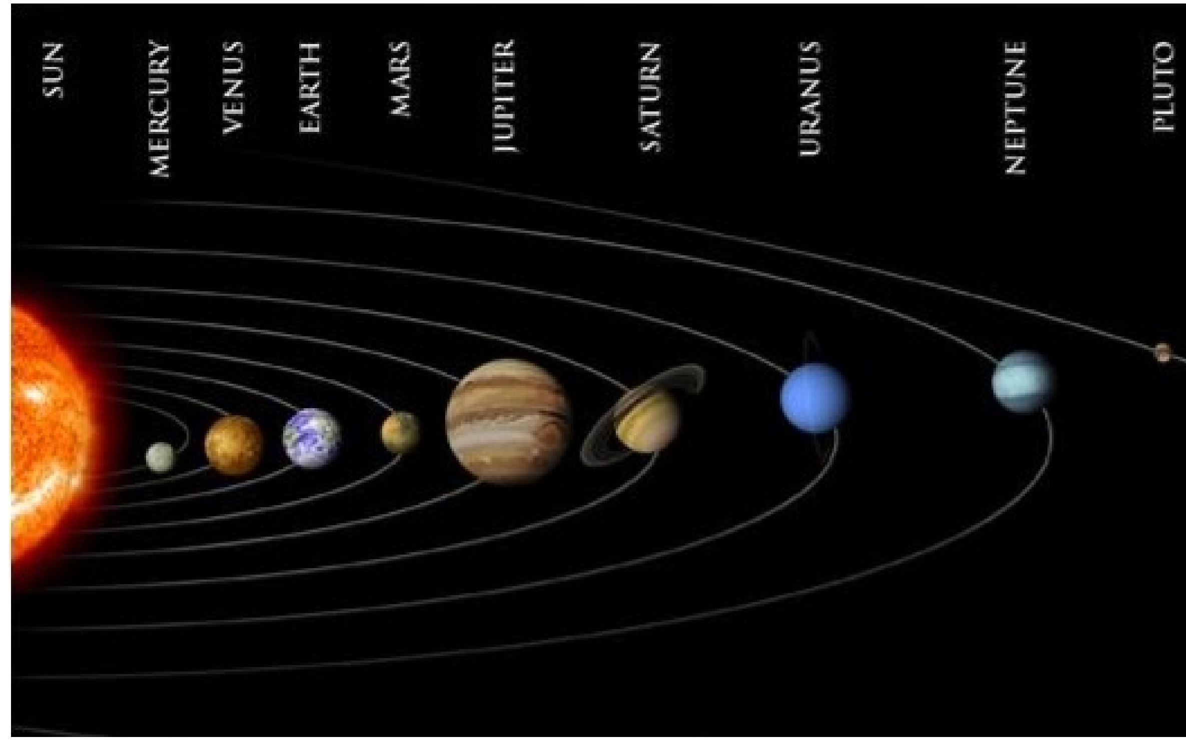
Deklination: δ

Rotation des Himmels: **Stundenwinkel: *t***

Ekliptik







Alle Planeten bewegen sich (näherungsweise, $\Delta i \leq 7^\circ$) *in einer Ebene*.

Die Bahnebene der Erde definiert die sog. ***Ekliptik***.

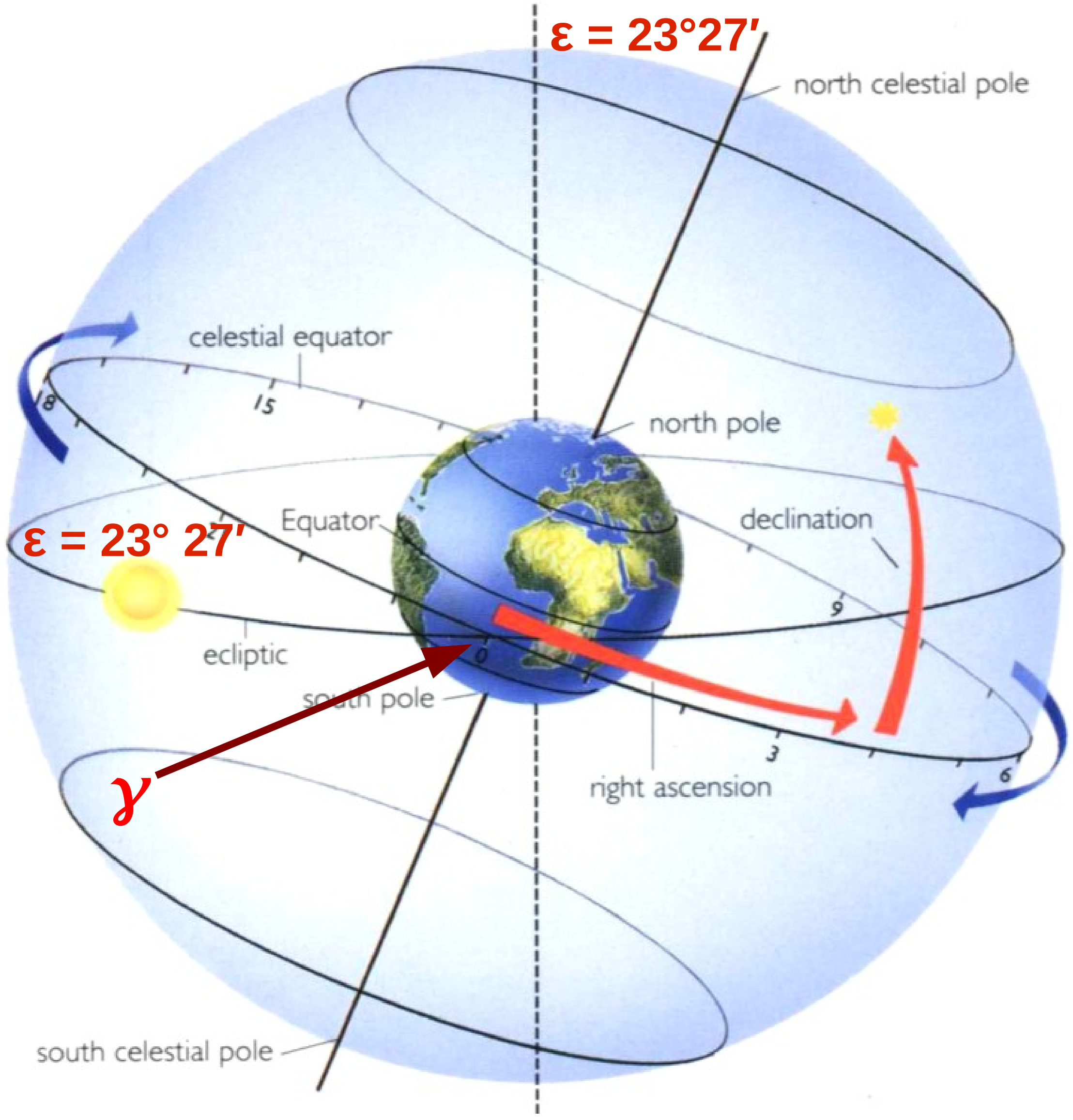
Ekliptik

= Ebene des Erdorbits,
ist gegenüber dem Himmelsäquator
um **ε = 23°27′ geneigt**

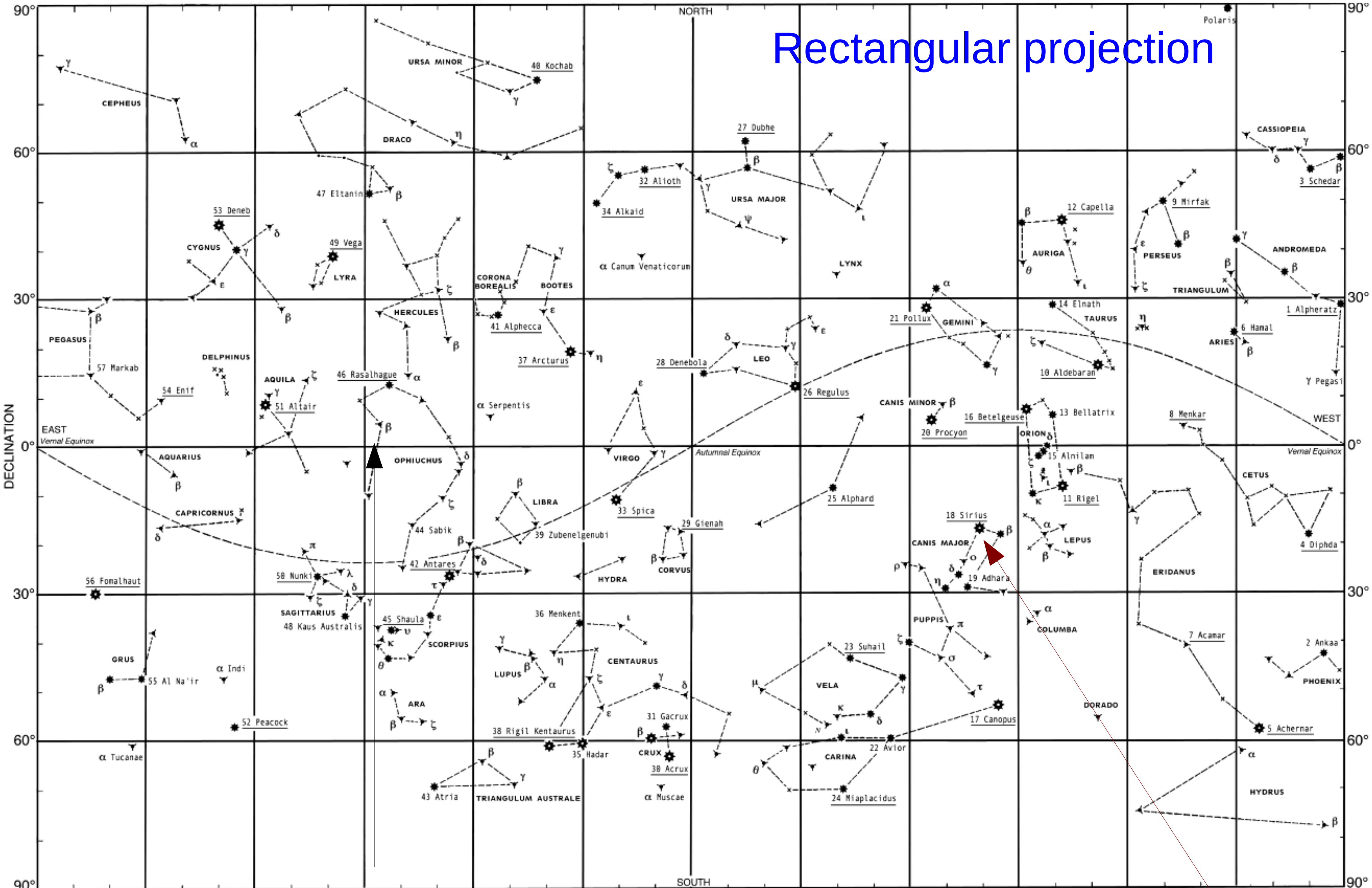
Der Schnittpunkt von Ekliptik
und Himmelsäquator definiert
den *Nullpunkt der Rektaszension*
= Frühlings-Äquinoktium γ
(“Frühlingspunkt”)

= Position der Sonne am
(19.) 20. (21.) März, wenn
Tag und Nacht gleich lang sind.

→ **$\alpha \equiv 0$**



Deklination:



$\alpha = 24^h$ $\alpha = 20^h$ $\alpha = 16^h$ $\alpha = 12^h$ $\alpha = 8^h$ $\alpha = 4^h$ $\alpha = 0$

Rektaszension:

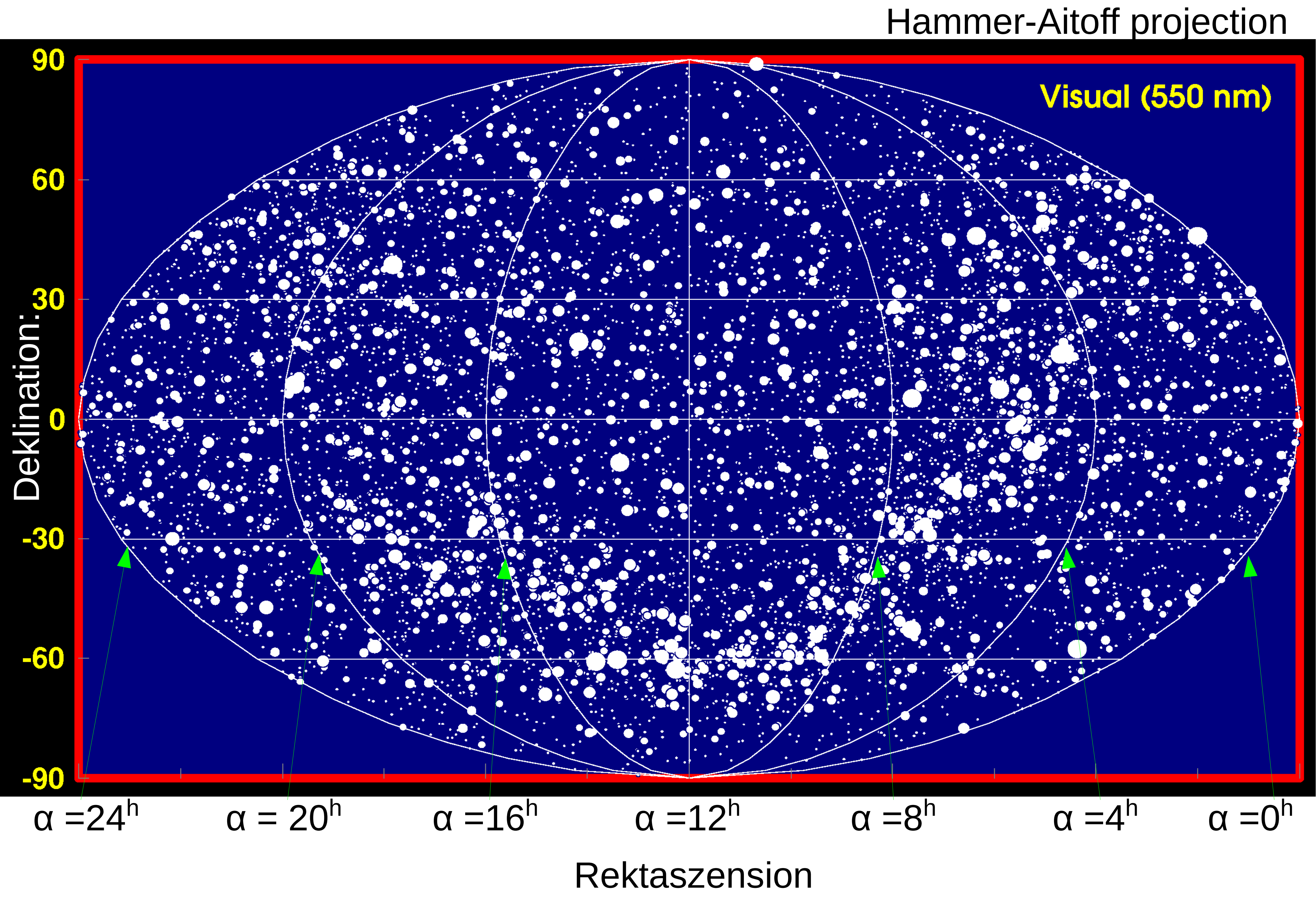
üblicherweise in Stunden, Minuten, Sekunden angegeben:

$24^h \hat{=} 360°$, $1^h \hat{=} 15°$, $4^m \hat{=} 1°$, $1^m \hat{=} 15'$, $1^s \hat{=} 15''$

Sirius:

$\alpha = 6^h\,45^m\,08.9^s$

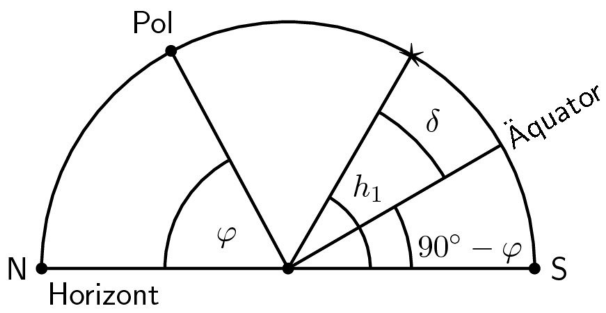
$\delta = -16°\,42'\,58''$



Hammer-Aitoff projection
Visual (550 nm)
90
60
30
0
-30
-60
-90
Deklination:
α =24h
α = 20h
α =16h
α =12h
α =8h
α =4h
α =0h
Rektaszension

Beobachtbarer Teil des Himmels hängt von Geographischer Breite φ des Standortes ab:

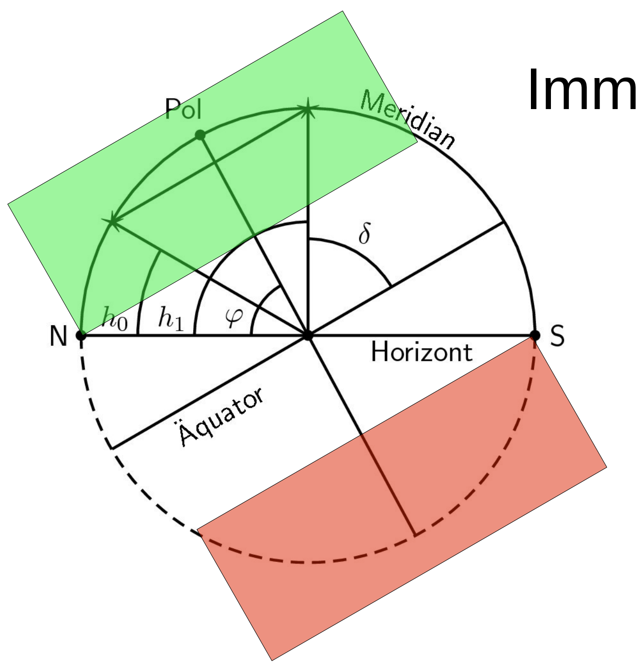
(φ ≈ 48° für München)



Maximale Höhe eines Sterns mit Deklination δ:

$$h_{max} = (90° - \varphi) + \delta \qquad (= 42° + \delta)$$

Stern geht durch den Zenit falls: $\delta = \varphi$

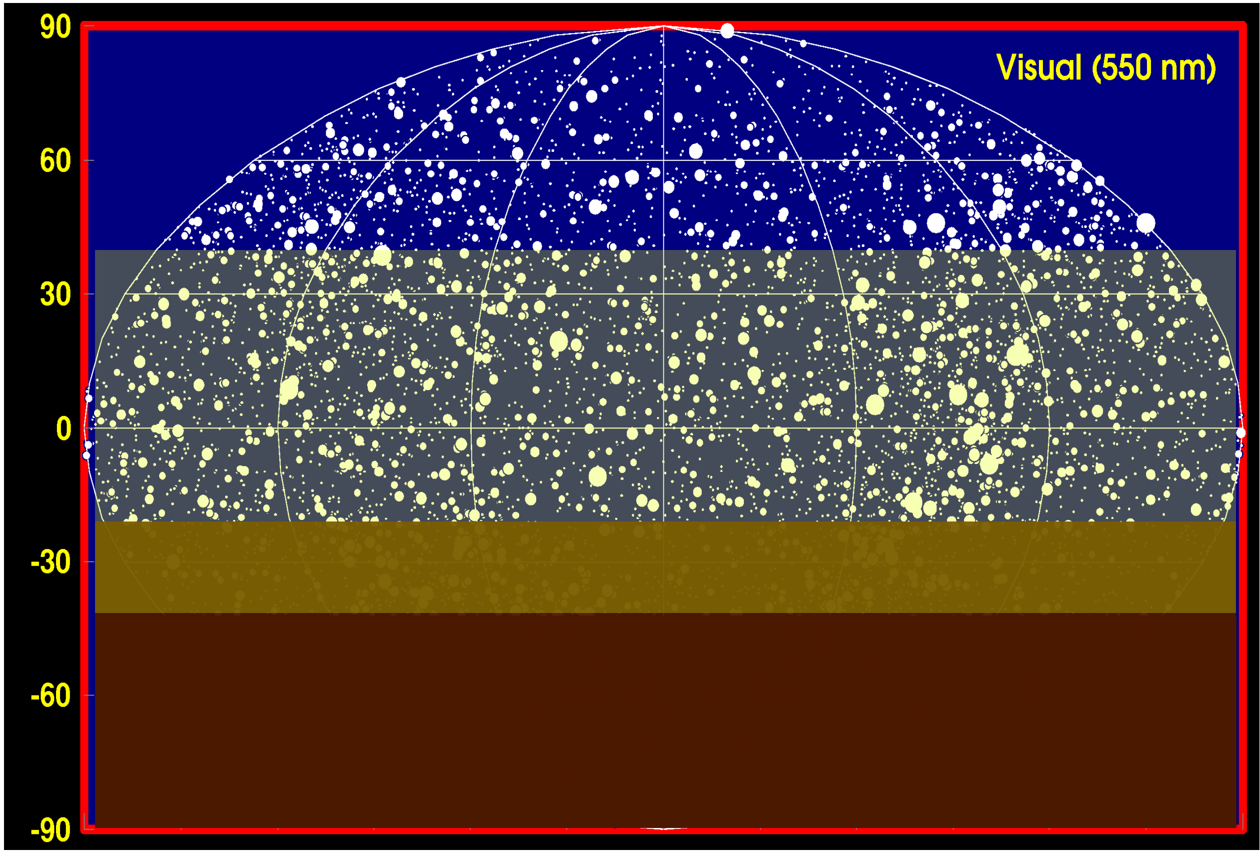


Immer sichtbar (zirkumpolar): $\delta > 90° - \varphi \qquad (\delta > 42°)$

Nie sichtbar: $\delta < \varphi - 90° \qquad (\delta < -42°)$

Von München aus sichtbarerer Teil des Himmels:

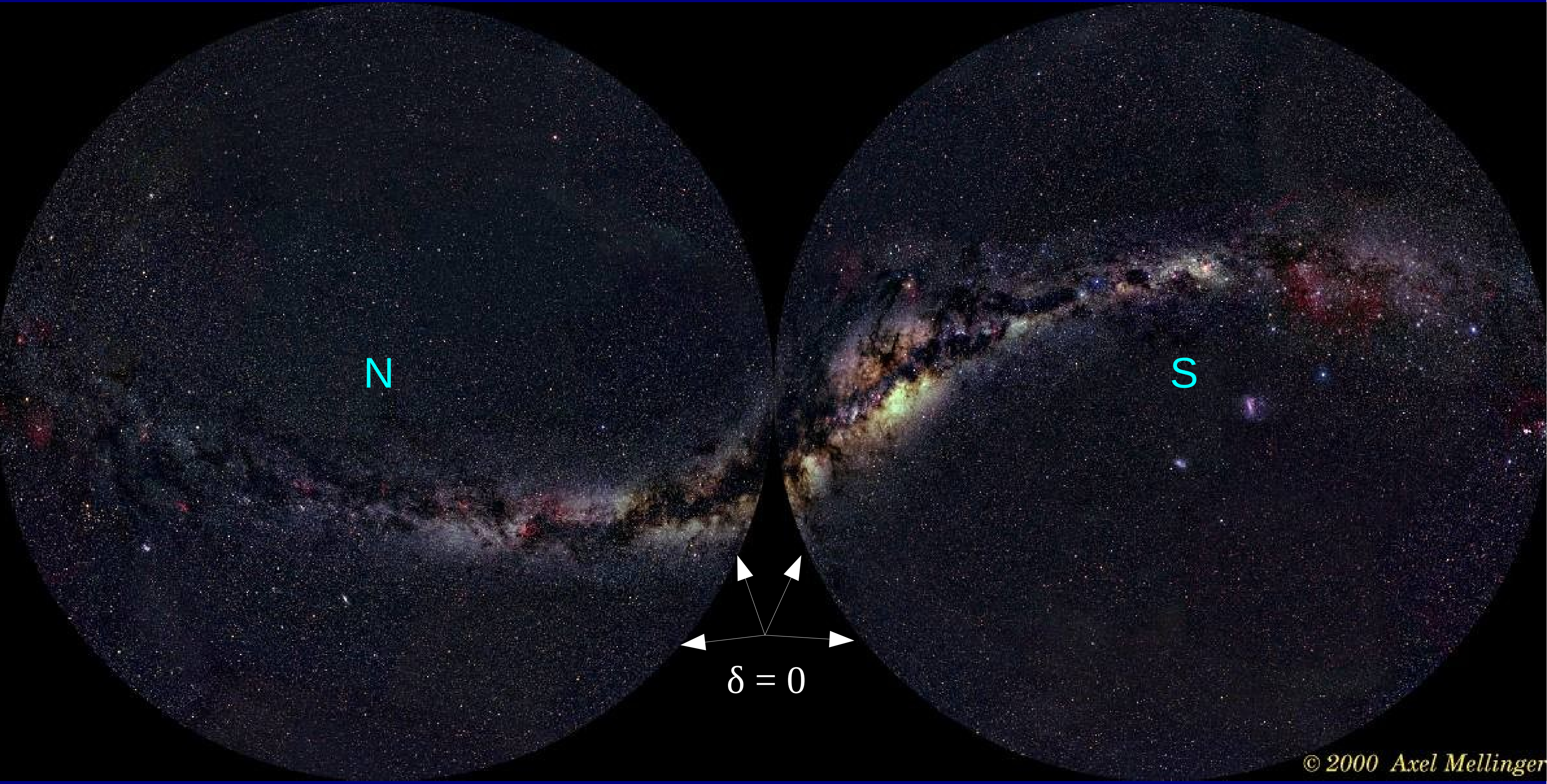
Zirkumpolar: $\delta > 42°$



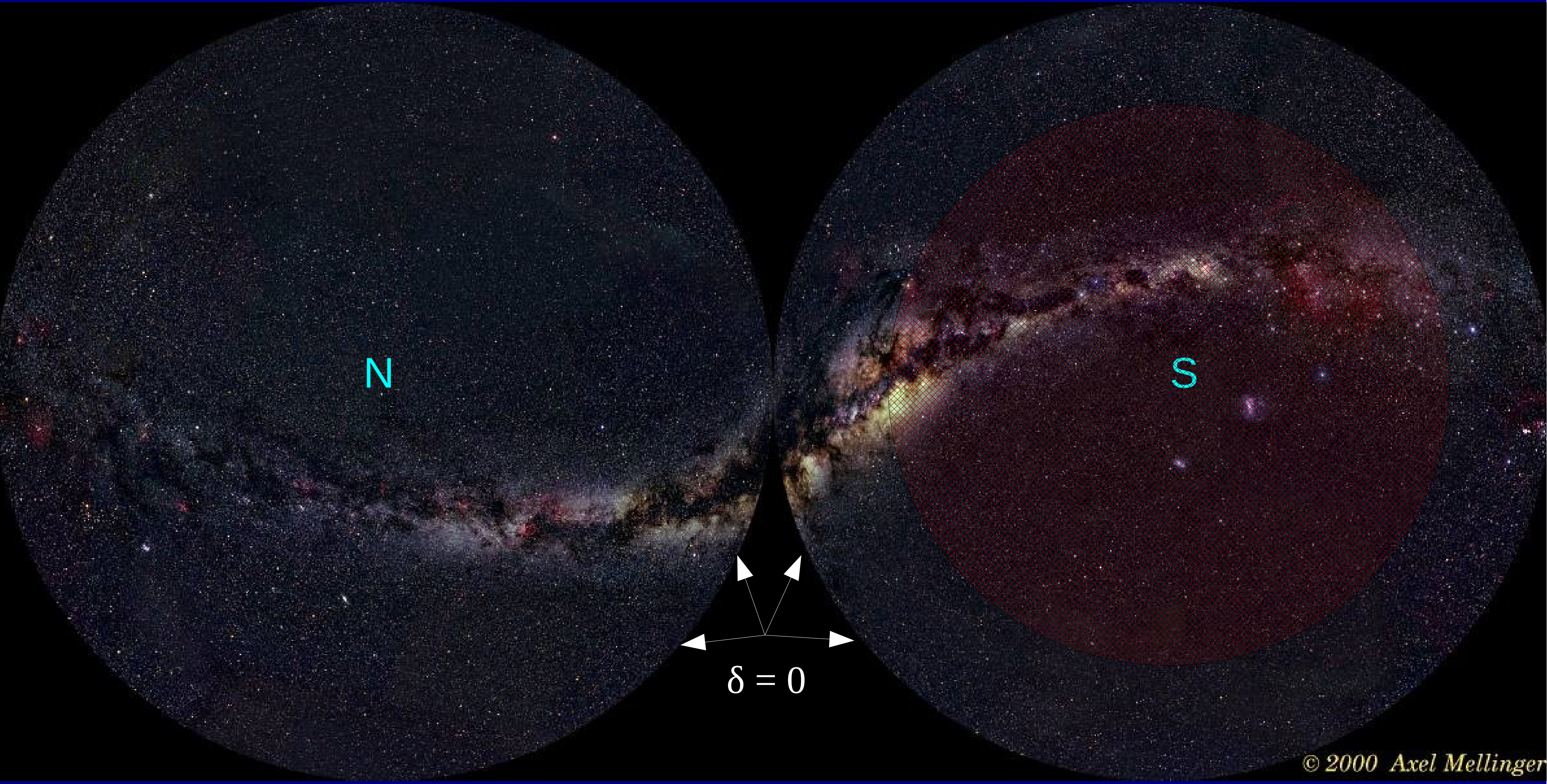
Praktisch Unbeobachtbar:
$\delta < -20°$

Unsichtbar: $\delta < -42°$

Nördliche und südliche Hemisphären



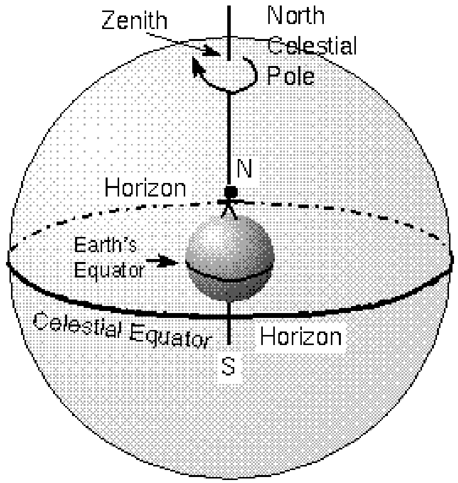
Nördliche und südliche Hemisphären



von München aus
unbeobachtbar

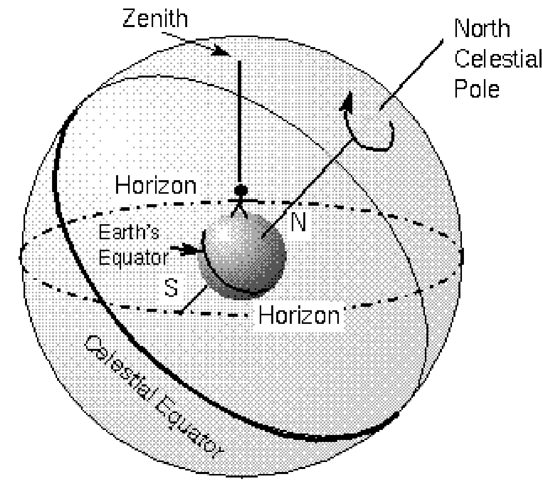
Scheinbarer Lauf der Sterne

φ = 90°



The celestial sphere for an observer at the North Pole. The NCP is straight overhead at the zenith and the celestial equator is on the horizon.

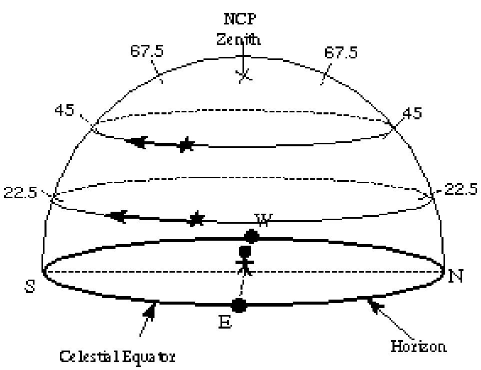
φ = 47° 37′



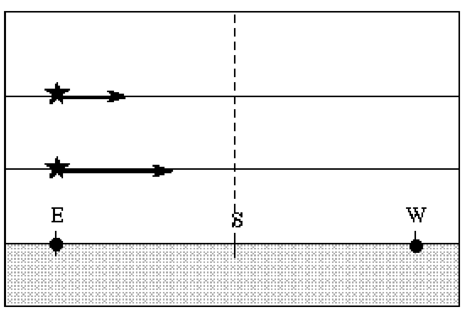
The celestial sphere for an observer in Seattle. The angle between the zenith and the NCP = the angle between the celestial equator and the horizon. That angle = 90° – observer's latitude.

Kulmination

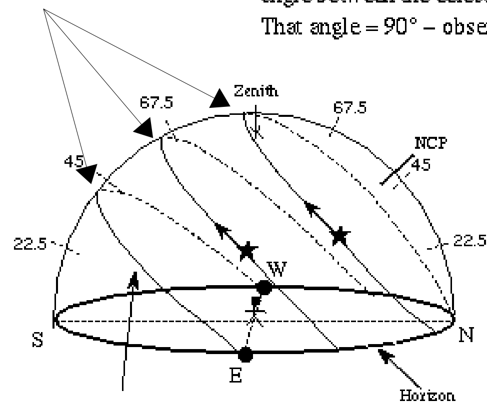
= höchster Punkt der scheinbaren Bahn



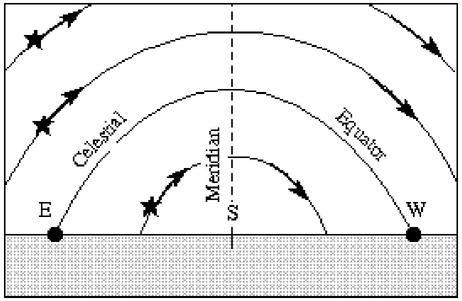
Stars motion at North Pole. Stars rotate parallel to the Celestial Equator, so they move parallel to the horizon here---they never set! Altitudes of 1/4, 1/2, and 3/4 the way to zenith are marked.



Your view from the North Pole. Stars move parallel to the horizon. The Celestial Equator is on the horizon.



Stars motion at Seattle. Stars rotate parallel to the Celestial Equator, so they move at an angle with respect to the horizon here. Altitudes of 1/4, 1/2, and 3/4 the way up to the zenith are marked.



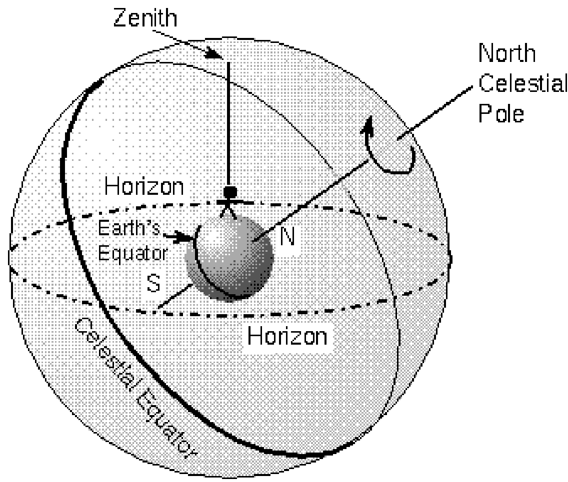
Your view from Seattle. Stars rise in the East half of the sky, reach maximum altitude when crossing the meridian (due South) and set in the West half of the sky. The Celestial Equator goes through due East and due West.

Interaktive Darstellung mit Planetariumsoftware, z.B.:

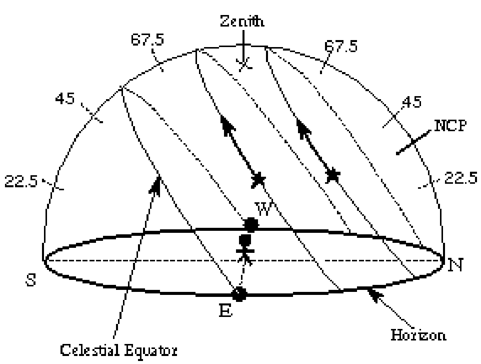
stellarium
latest version is 0.15.0

www.stellarium.org

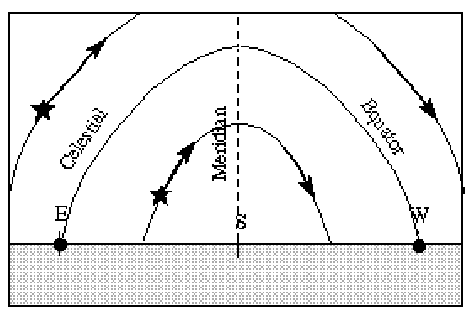
$\varphi = 34° 03'$



The celestial sphere for an observer in Los Angeles. The Earth's rotation axis pierces the celestial sphere at the north and south celestial poles.

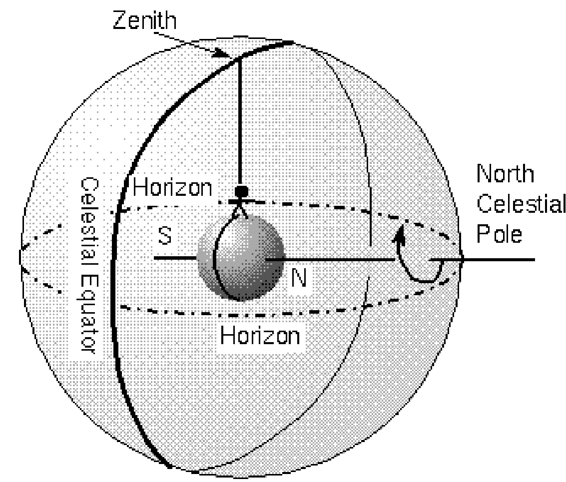


Stars motion at Los Angeles. Stars rotate parallel to the Celestial Equator, so they move at angle with respect to the horizon here. Altitudes of 1/4, 1/2, and 3/4 the way up to zenith are marked.

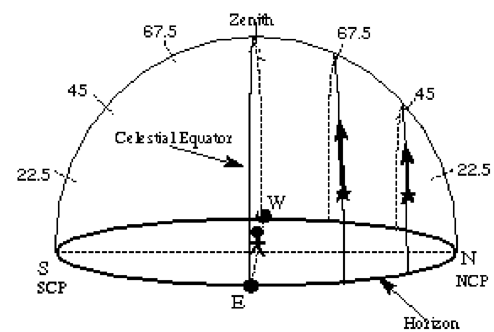


Your view from Los Angeles. Stars rise in the East half of the sky, reach maximum altitude when crossing the meridian (due South) and set in the West half of the sky. The Celestial Equator goes through due East and due West.

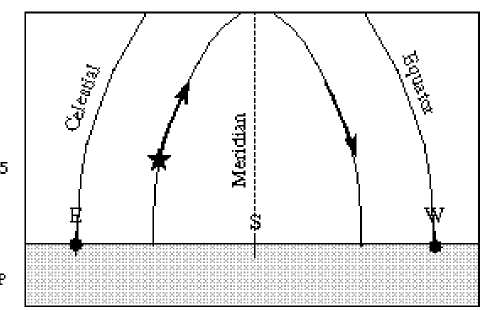
$\varphi = 0°$



The celestial sphere for an observer on the Equator. The angle between the NCP and the horizon = observer's latitude. The Celestial Equator goes through the zenith.



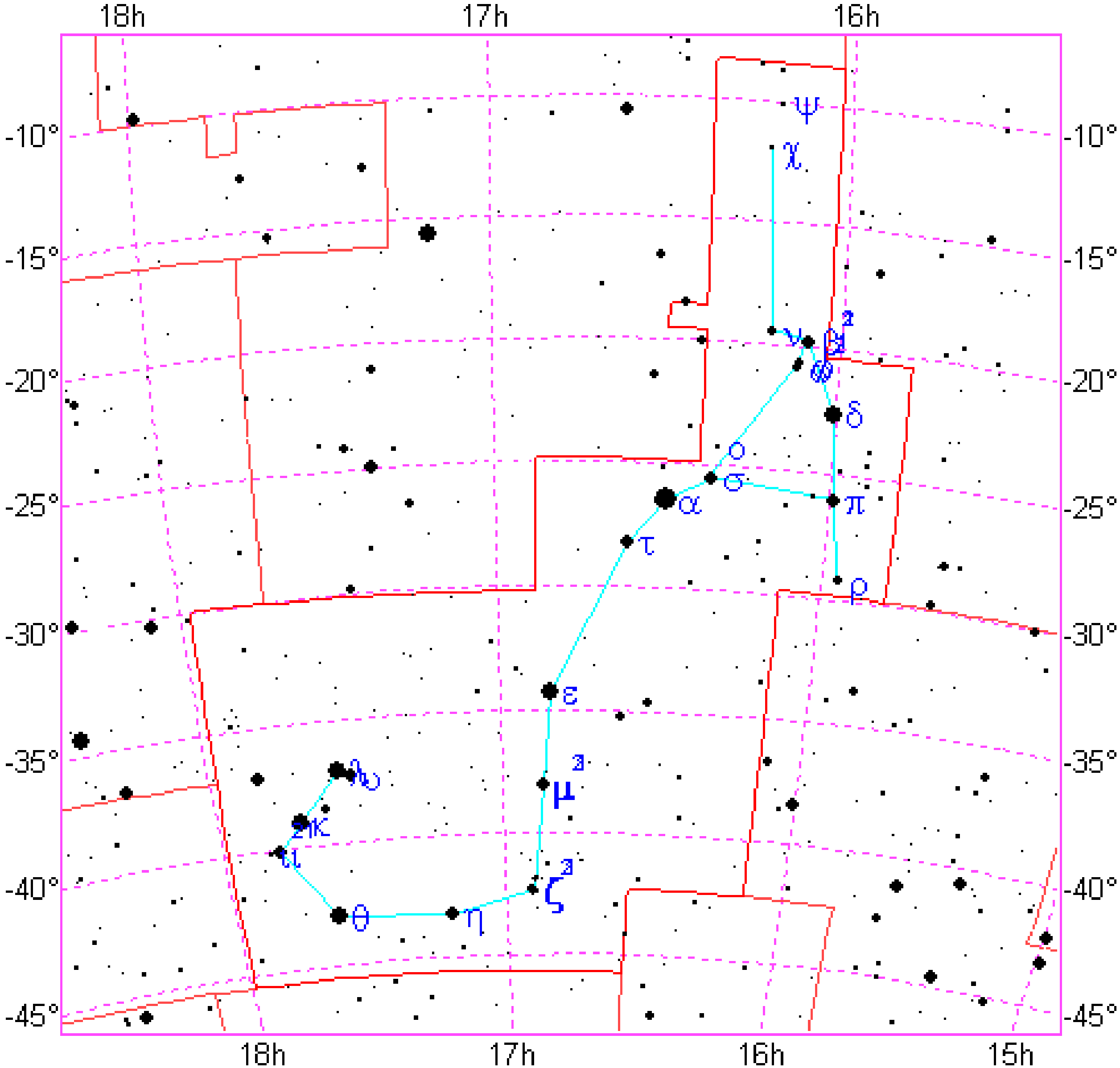
Stars motion at the Equator. Stars rotate parallel to the Celestial Equator, so they move perpendicular to the horizon here. All stars are visible for 12 hours. Both celestial poles are visible on the horizon.



Your view from the Equator. Stars rise and set perpendicular to the horizon (a star south of the Celestial Equator is shown here). The Celestial Equator reaches zenith and goes through due East and due West on the horizon.

Sternbilder

Sternbilder



Deklination

Rektaszension

88 moderne Sternbilder
mit geraden Grenzen im RA-Dec System definiert durch die Internationale Astronomische Union

Helle Sterne werden mit griechischen Buchstaben benannt:
α Sco, β Sco,
γ Sco, δ Sco,
ε Sco, …

Schwächere Sterne haben Nummern …

www.simbad.u-strasbg.fr

SIMBAD basic query result

other query modes : Identifier query | Coordinate query | Criteria query | Reference query | Basic query | Script submission | Output options | Help

Object query : gamma Ori

C.D.S. - SIMBAD4 rel 1.182 - 2011.10.19CEST15:45:51

Available data : Basic data • Identifiers • Plot & images • Bibliography • Measurements • External archives • Notes • Annotations

Basic data :

NAME BELLATRIX -- Variable Star

query around with radius 2 arcmin

Other object types:	* (*,AG,ALS,BD,CSI,FK5,GC,GCRV,GEN#,HD,HGAM,HIC,HIP,HR,JP11,MCW,N30,PLX,PMC,PPM,ROT,SAO,SKY#,TY [HFE83]) , **UV** (EUVE,TD1,[SC93b]) , ** (CCDM,IDS,WDS) , **V*** (CSV,NSV) , **IR** (IRC,2MASS) , **X** (1RXS)
ICRS coord. (ep=J2000) :	05 25 07.86325 +06 20 58.9318 (Optical) [4.41 3.07 0] A 2007A&A...474..653V
FK5 coord. (ep=J2000 eq=2000) :	05 25 07.863 +06 20 58.93 (Optical) [4.41 3.07 0] A 2007A&A...474..653V
FK4 coord. (ep=B1950 eq=1950) :	05 22 26.83 +06 18 21.9 (Optical) [25.39 17.77 0] A 2007A&A...474..653V
Gal coord. (ep=J2000) :	196.9278 -15.9532 (Optical) [4.41 3.07 0] A 2007A&A...474..653V
Proper motions *mas/yr* [error ellipse]:	-8.11 -12.88 [0.50 0.35 0] A 2007A&A...474..653V
Radial velocity / Redshift / cz :	V(km/s) 18.2 [0.9] / z(~) 0.000061 [0.000003] / cz 18.20 [0.90] (~) A 1953GCRV..C......0W
Parallaxes *mas*:	12.92 [0.52] A 2007A&A...474..653V
Spectral type:	B2III C ~
Fluxes (6) :	U 0.54 [~] D 2003AJ....125.2531R B 1.42 [~] C ~ V 1.64 [~] C ~ J 2.15 [0.28] D 2003yCat.2246....0C H 2.36 [0.17] D 2003yCat.2246....0C K 2.38 [0.26] D 2003yCat.2246....0C

Identifiers (44) :

NAME BELLATRIX	GC 6668	JP11 1071	SAO 112740
* gam Ori	GCRV 3252	2MASS J05250786+0620589	SKY# 8617
* 24 Ori	GEN# +1.00035438	MCW 308	SV* ZI 374
AG+06 574	GEN# +1.00035468	N30 1162	TD1 4558
ALS 14777	HD 35468	NSV 1972	TYC 113-1856-1
BD+06 919	HGAM 397	PLX 1229.00	UBV 5149
CCDM J05252+0620A	HIC 25336	PLX 1229	UBV M 10933
CSI+06 919 1	HIP 25336	PMC 90-93 144	uvby98 100035468
CSV 100483	HR 1790	PPM 148916	WDS J05251+0621A
EUVE J0525+06.3	IDS 05198+0615 A	ROT 793	[HFE83] 375
FK5 201	IRC +10084	1RXS J052507.7+062103	[SC93b] 179

Scheinbare Helligkeiten und Magnituden
Das Vega-System

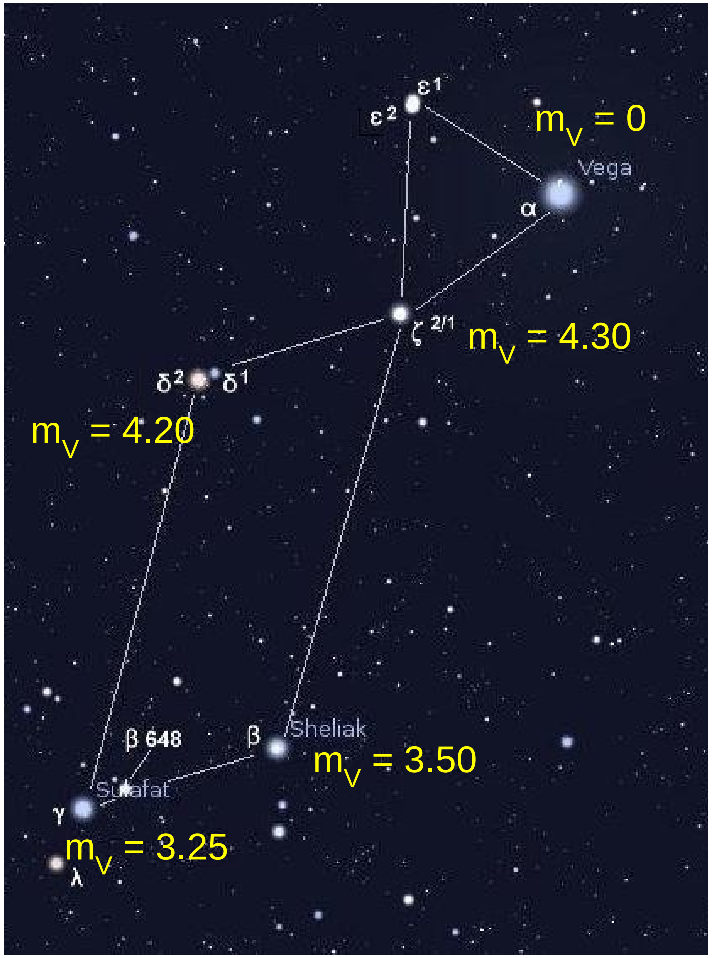
$$\boxed{m = -2.5 \log\left(\frac{F}{F_{\text{Vega}}}\right)}$$

Beobachteter Strahlungsfluss
(in bestimmten Wellenlängenbereich)
des Sterns Vega als Referenz

$$\rightarrow \quad m(\text{Vega}) = 0 \text{ mag}$$

Übliche Schreibweise
für die Pseudo-Einheit
Magnitude

1 Magnitude ≙ Flussverhältnis 1 : 2.512



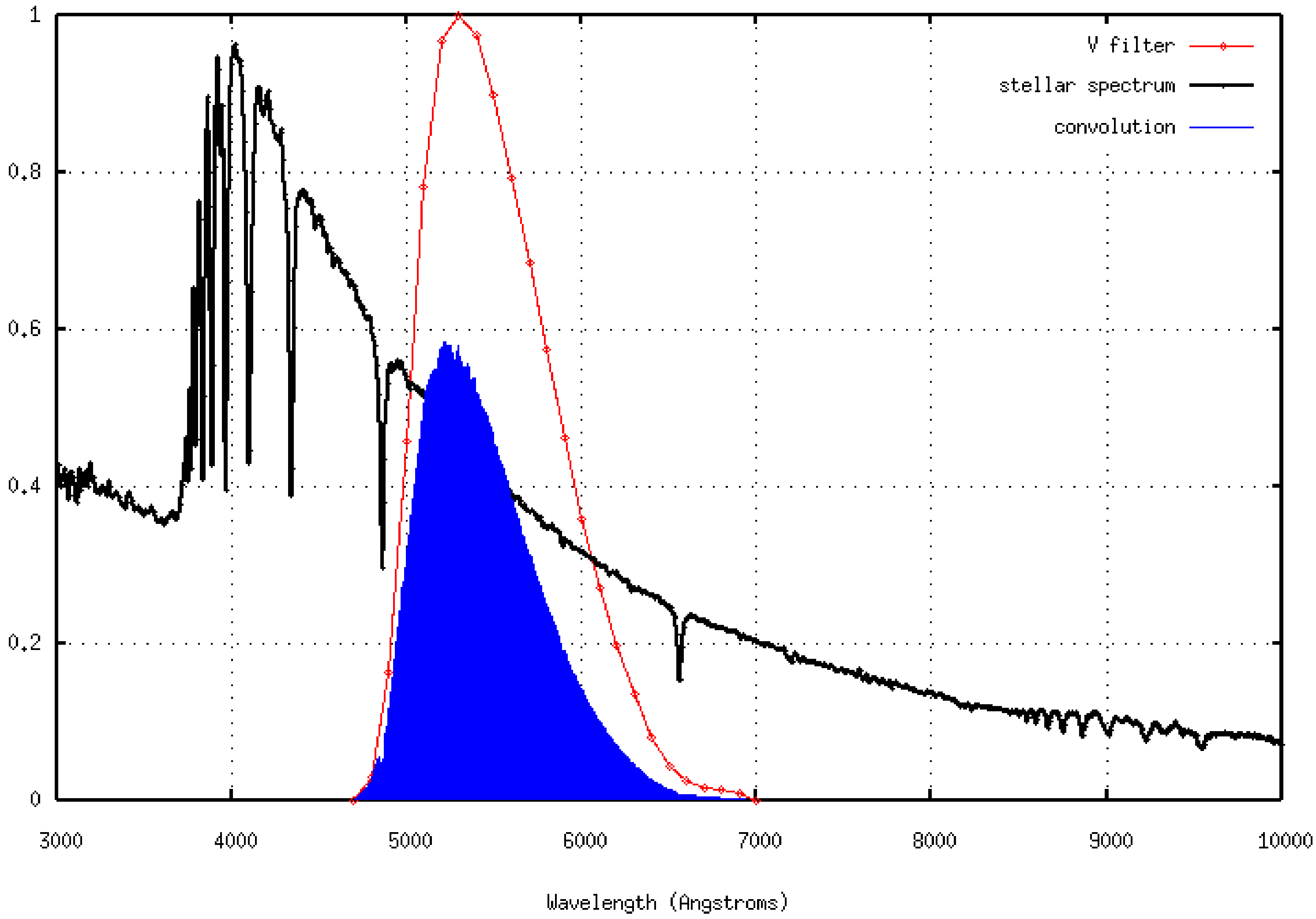
$m(\star 1) - m(\star 2)$ Magnituden-Differenz	$F_\lambda(\star 1) / F_\lambda(\star 2)$ Flussverhältnis
1	1 : 2.512
2.5	1 : 10
5	1 : 100
10	1 : 10 000

Genauere Definition: Magnitude im Wellenlängenbereich („Band“)

z.B.: V (=visuelles) Band
[~ 480–650 nm]

$$m_V = -2.5 \log\left(\frac{\int F_\lambda\, T_V(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda}{\int F_\lambda(\mathrm{Vega})\, T_V(\lambda)\, \mathrm{d}\lambda}\right)$$

T_V: Transmission im Band V



Zeit und Kalender

Physikalische Zeiteinheit:

Sekunde: = das 9 192 631 770 -fache der Periode eines Hyperfein-Übergangs des ^{133}Cs Atoms (Messgenauigkeit: $\delta t/t \sim 10^{-10}$)

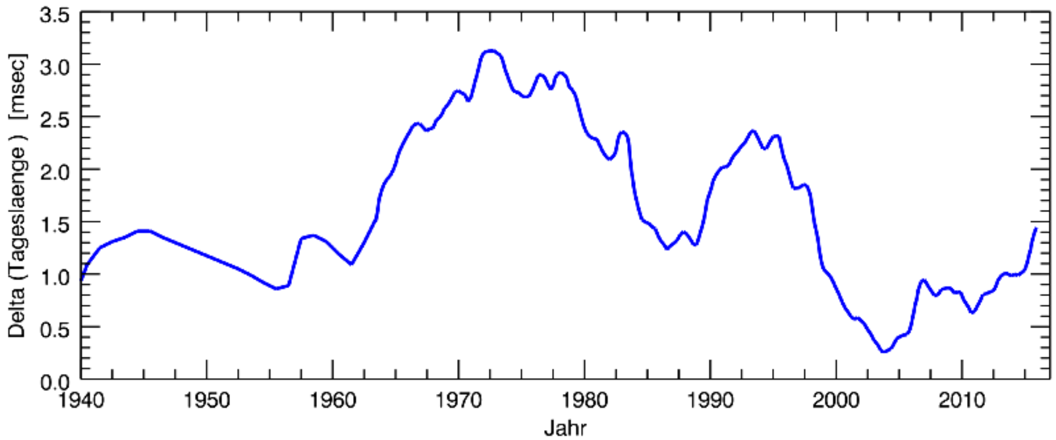
→ "**Coordinated Universal Time**" (UTC, $\delta t/t \sim 10^{-14}$)

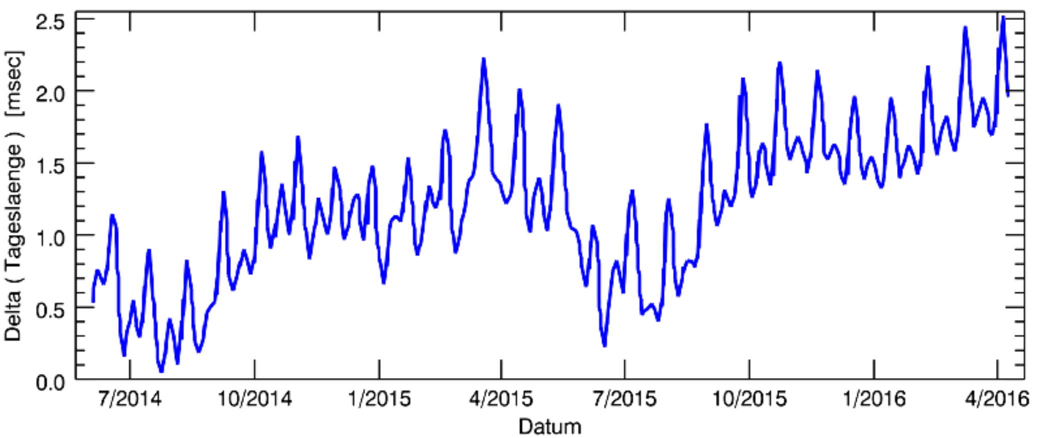
Tag: = 86 400 Sekunden

Wünschenswerte Eigenschaften des Zeitsystems:

Mittags soll es hell sein
Uhrzeit ≈ Sonnenzeit

Problem: Erdrotationsperiode ist irregulär variabel ($\delta t/t \sim 10^{-8}$) und verlangsamt sich





→ 1 Sonnentag (= Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen der Sonne)
dauert gegenwärtig
86 400.001 ... 86 400.003 sec

Lösung: **Schaltsekunden** werden bei Bedarf am 31.7. / 31.12. eingefügt, um UTC in der Nähe der mittleren Sonnenzeit zu halten.

→ **+ 36 Sekunden seit 1972**

Wünschenswerte Eigenschaften des Kalendersystems:

- Zahl der Tage pro Jahr soll eine ganze Zahl sein

- Nord-Sommer im Mai−August (Sommersonnwende Ende Juni)

Problem:

- Umlaufdauer der Erde:
1 Sonnenjahr (= Zeitraum zwischen zwei Sommersonnwenden)
= „tropisches Jahr“

= 365d 5h 48m 46s = 365.242189 Tage

Bis ins Mittelalter: *Julianischer Kalender* (jedes 4. Jahr = Schaltjahr → 365.25 Tage)
→ deutliche Verschiebung der Jahreszeiten

1582: Übergang zum *Gregorianischen Kalender* (365.2425 Tage)♣
Auf den 4. Oktober 1582 folgte gleich der 15. Oktober 1582

Zur Berechnung von Zeitdifferenzen benutzt man das ***Julianische Datum (JD)***:

Nullpunkt: JD ≡ 0 am 1. Januar 4713 v.Chr., 12:00 UTC

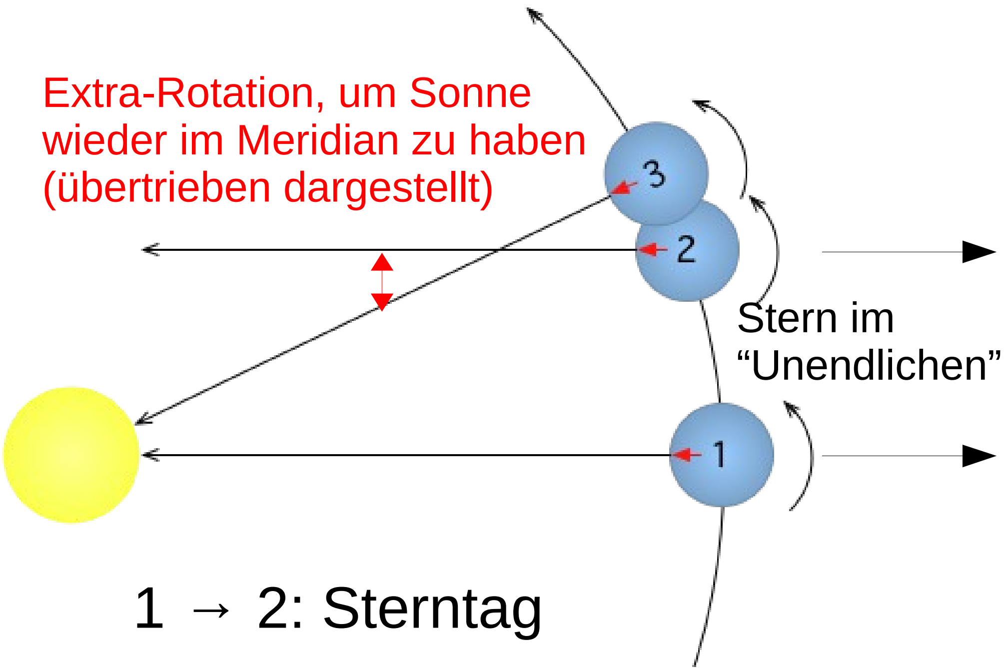
Jetzt: 3.11.2016, 15:00 MEZ: JD 2 457 696.08333

♣ Gregorianisches Jahr ist immer noch 26.74 Sek. länger als Sonnenjahr
→ Verschiebung der Jahreszeiten um 1 Tag nach ca. 3200 Jahren

Sternzeit

Erde bewegt sich 360°/365.2422 = 0.9856° ≃ 1° pro Tag auf ihrem Weg um die Sonne.

Um die Sonne wieder im Meridian zu sehen, muss die Erde nicht um 360° sondern um **≃361°** rotieren.



1 → 2: Sterntag

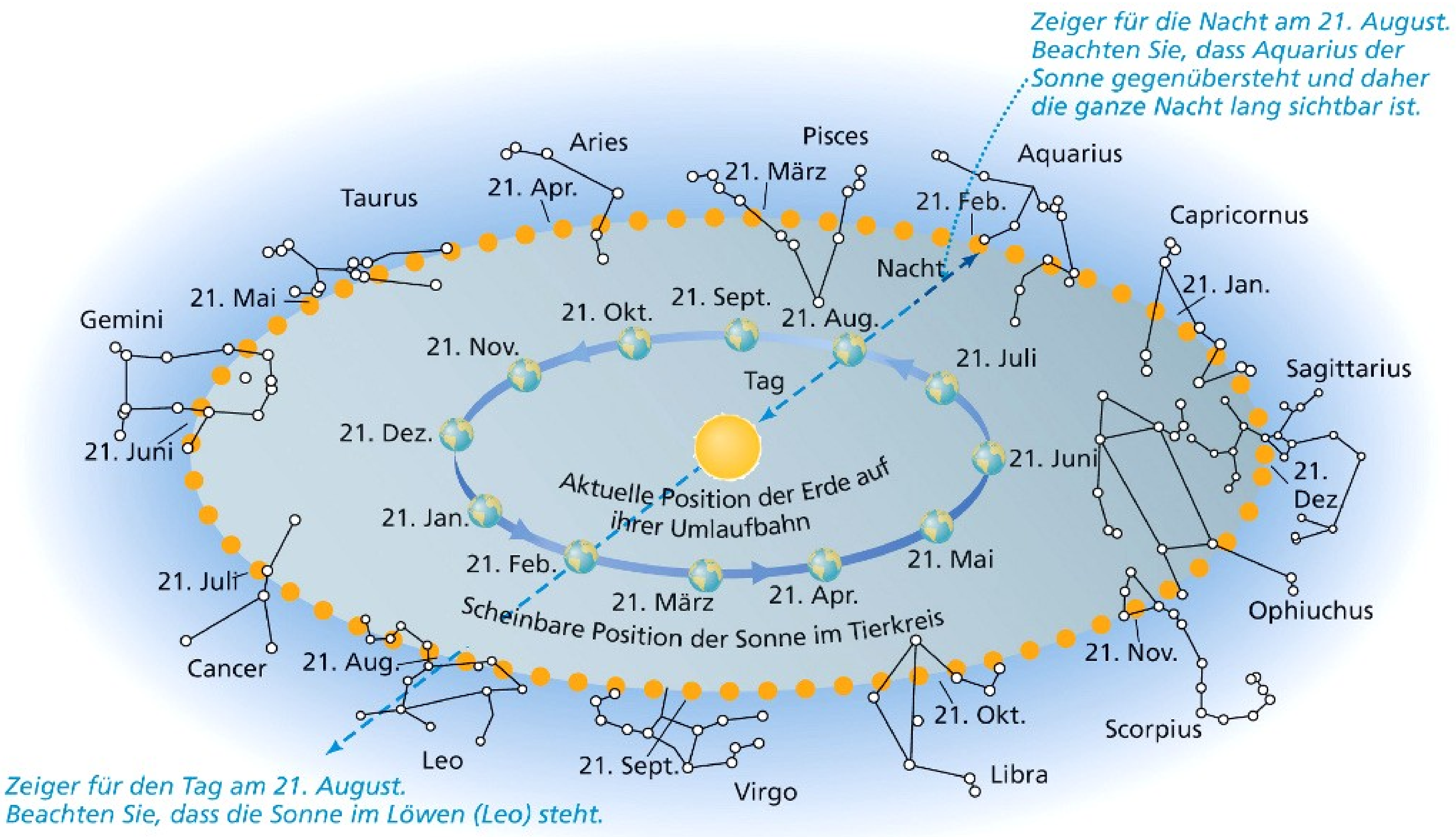
1 → 3: Sonnentag

Ein Sonnentag (Mittag – Mittag, = 24 Stunden = 86400 sec) ist um 235.91 sec = 3 min 55.91 sec ***länger*** als ein Sterntag.

→ **Die Sterne gehen jeden Tag ≈ 4 Minuten früher auf.**

Zahl der Sterntage/Jahr = Zahl der Sonnentage pro Jahr **+ 1**

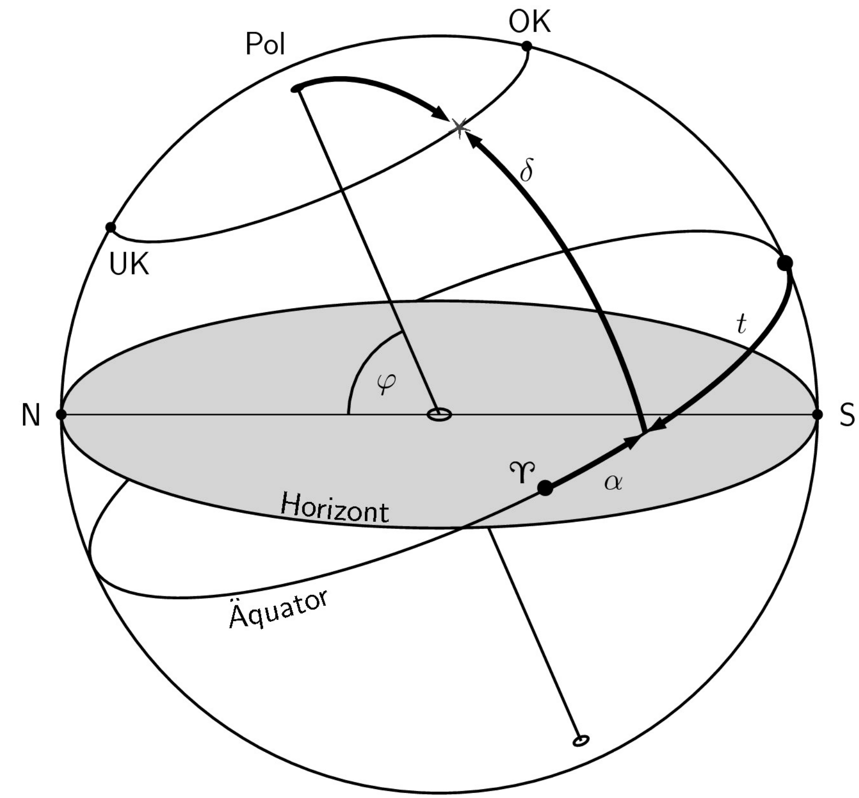
Der scheinbare Lauf der Sonne am Himmel



aus: Astronomie: Die kosmische Perspektive, Pearson Deutschland GmbH

Sternzeit (LST, local siderial time)

:= Stundenwinkel t des Frühlingspunktes γ



Stundenwinkel t eines Sterns mit Rektaszension α :

$$\boxed{t = \mathrm{LST} - \alpha}$$

LST = Rektaszension der Sterne,
die momentan im Meridian stehen
(also am höchsten Punkt Ihrer scheinbaren Bahn,
und somit am günstigsten zu beobachten sind)

LST läuft um ca. 4 Minuten pro Tag schneller als die Sonnenzeit.

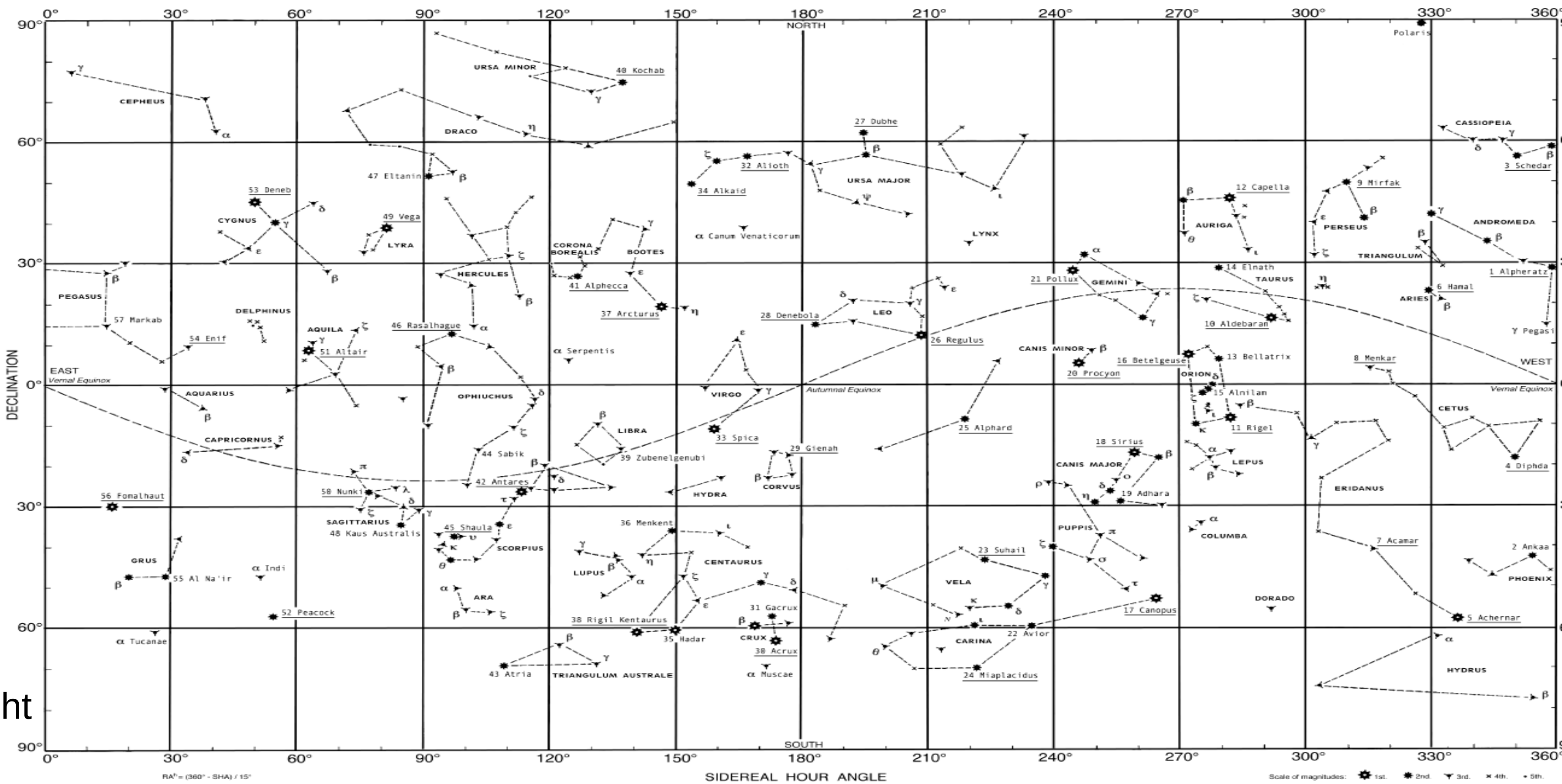
Beispiel: 3.11.2016 15:00 MEZ LST = 17h 40m

3.11.2016 21:00 MEZ LST = 23h 40m

4.11.2016 21:00 MEZ LST = 23h 44m ≈ +4 min pro Tag

4.12.2016 21:00 MEZ LST = 1h 43m ≈ +2 h pro Monat

München:
LON = 11.581981°
LAT = 48.135125°



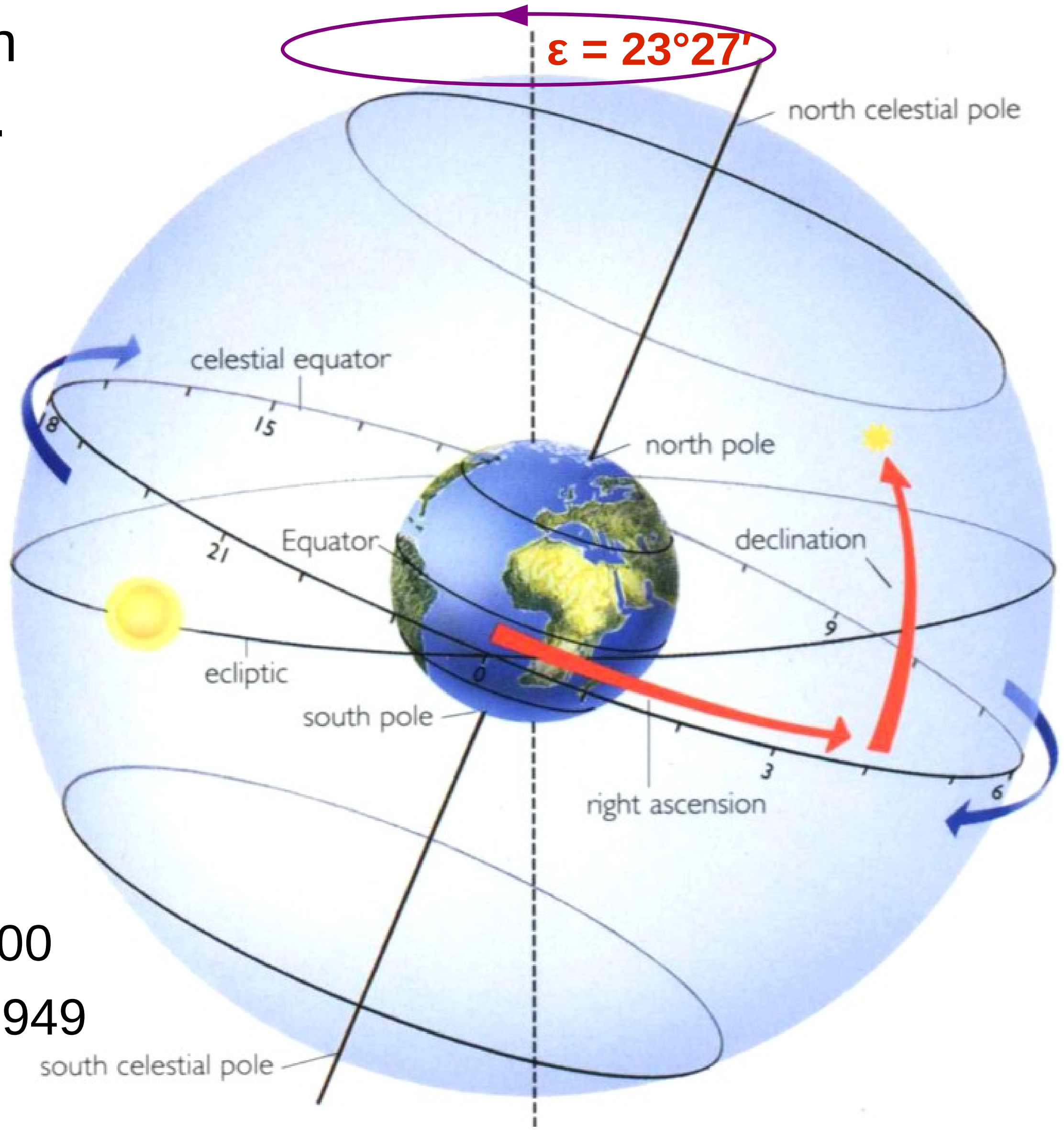
Meridian-
durchgang
=
Kulmination
um Mitternacht
am:

α =24^h	α = 20^h	α = 16^h	α = 12^h	α = 8^h	α = 4^h	α = 0
22. Sep	22. Jul	23. May	23. Mar	21. Jan	22. Nov	22. Sep

Präzession der Erdachse

Die Achse der Erde beschreibt einen Kegel; Umlaufdauer ≈ 25 700 Jahre.

Dadurch verschiebt sich der Ursprung des äquatorialen Koordinatensystems momentan um 50.25" pro Jahr.



Äquatoriale Koordinaten gelten immer nur zu einem bestimmten Zeitpunkt (EPOCHE)

Zur Zeit: J2000 =   12:00 UT 1 Jan 2000

Vorher: B1950 =   22:09 UT 31 Dec 1949

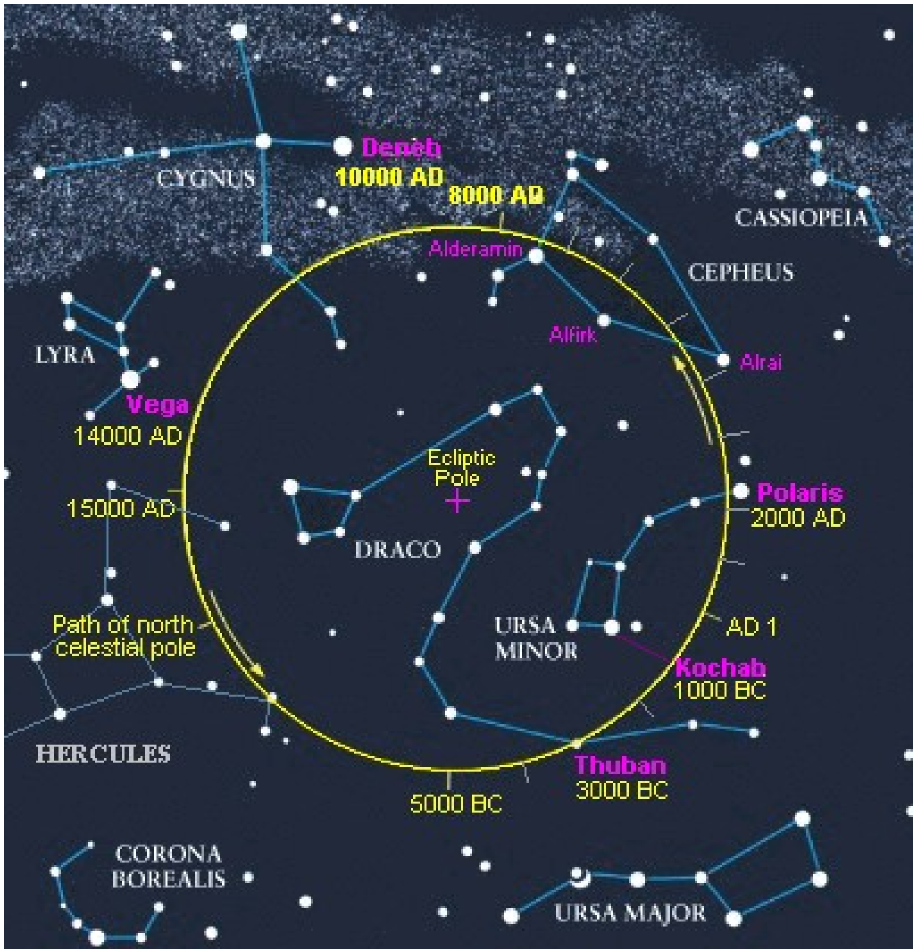
Beispiel: theta 1 C Orionis:

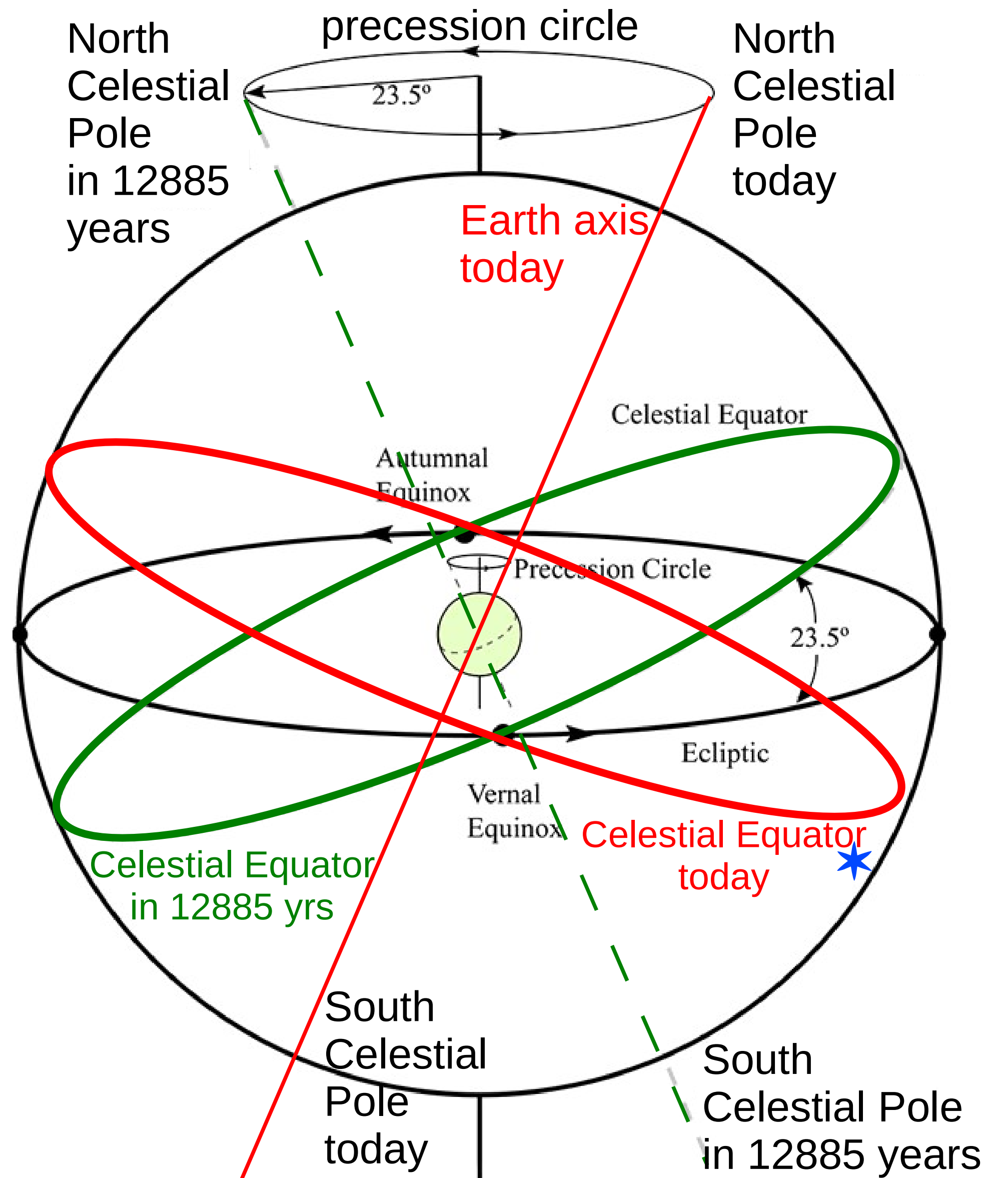
FK5 (ep=2000) : RA(J2000) = **05h 35m 16.46s**   Dec(J2000) **= −05° 23′ 23.2″**

FK4 (ep=1950) : RA(B1950) = **05h 32m 49.01s** Dec(B1950) **= −05° 25′ 16.5″**

Effekte der Präzession

1) Himmelspol verschiebt sich

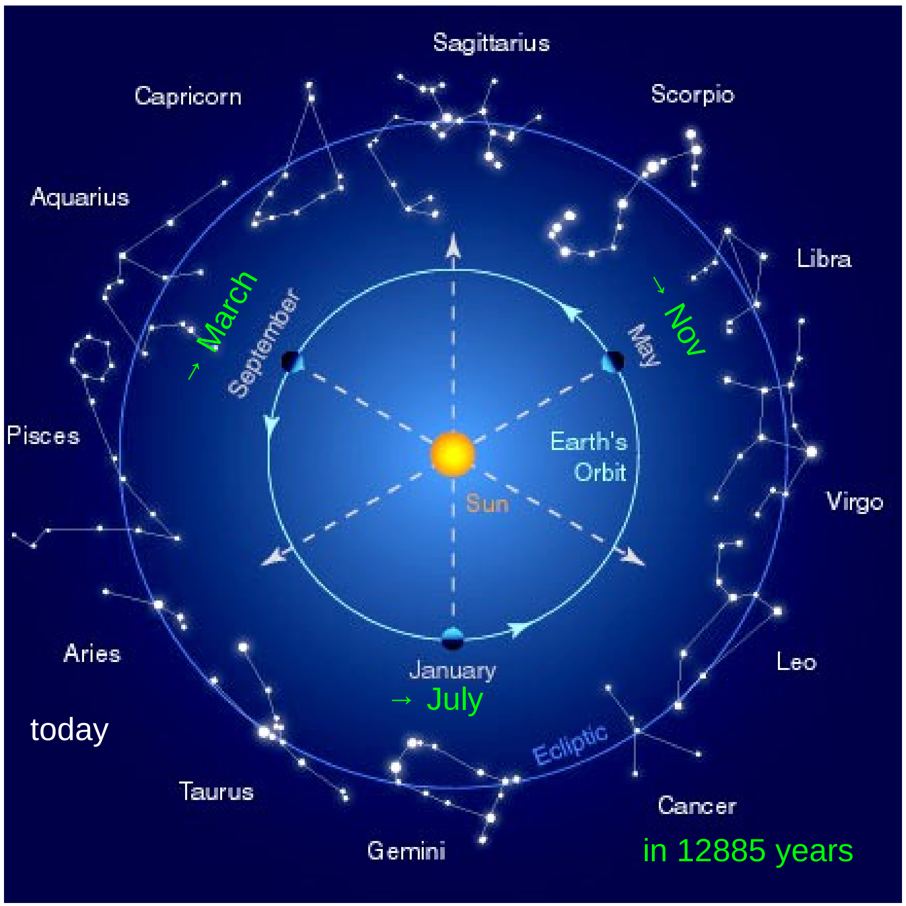




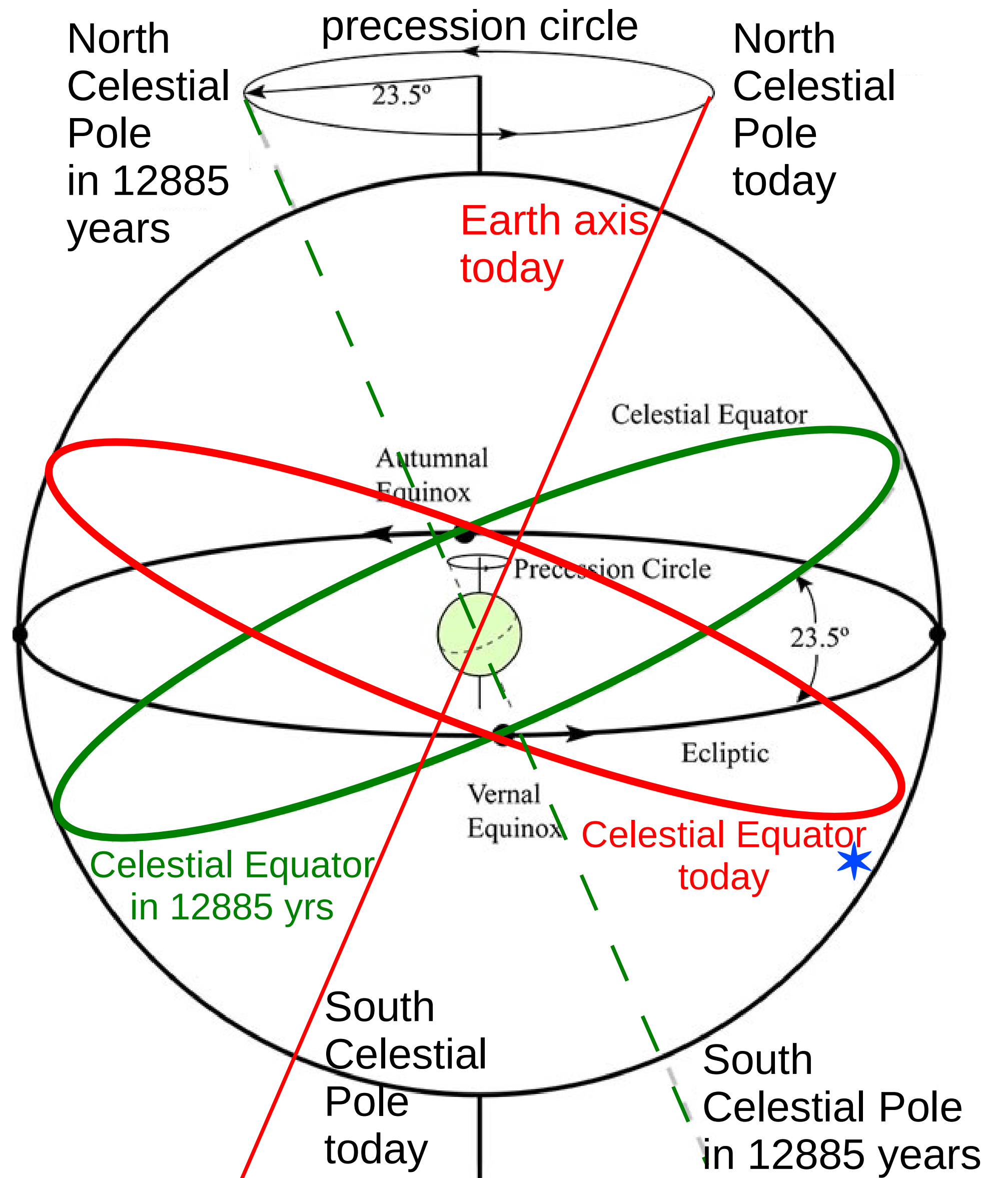
Von einem festem Ort aus sichtbarer Teil
des Himmels verändert sich

Effekte der Präzession

2) Zeitlicher Verlauf der Sonne durch die Sternbilder der Ekliptik (“Zodiac”) verschiebt sich.



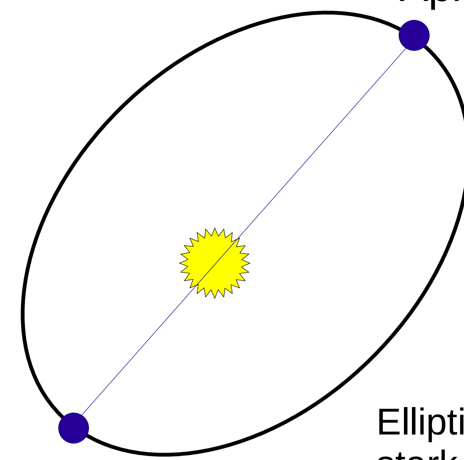
→ Orion wird Sommer-Sternbild



Die Jahreszeiten bleiben gleich (Sommer im Juli, Winter im Januar) da der Gregorianische Kalender auf dem Sonnenjahr (nicht dem Sternjahr) basiert.

Effekte der Präzession

3) Zeitpunkt von Perihel und Aphel verschiebt sich
im Jahresverlauf (um 1 Tag in ca. 58 Jahren)



D(Erde − Sonne):

4.7.2016 18:24 MESZ **Aphel**: 152 103 775 km

21.12.2016 10:44 MEZ: **Wintersonnwende**

4.1.2017 15:17 MEZ **Perihel:** 147 100 998 km

Solare Einstrahlung ist im Perihel um 6.9% stärker als im Aphel

momentan im Nordwinter Nordsommer

Im Jahr 1246 war Perihel am Tag der Wintersonnwende (21.12.)

Im Jahr 6430 ist das Perihel am Tag des Frühlings-Äquinoktiums (20.3.)

Im Jahr ~ 11 600: Perihel am 4. Juli, Aphel am 2. Januar

→ *Sommer auf Nordhalbkugel wärmer,*

Winter auf Nordhalbkugel kälter