

Grundlagen der Astronomie

Inhalte

- Sonnensystem, Sterne, Sternsysteme
- Weltall
- Beobachtungen, Messungen
- Anwendungen
- offene Probleme
- astron. Rätsel der Geschichte
- philosophische Probleme

1. Einführung in die Astronomie

1.1 Astronomie und Weltall

a) Bedeutung der Wissenschaft Astronomie

- Allumfassende Wissenschaft (Ch, Ph, Bio, Geo, Ma, Rel, Phil,...)
- Geschichte vor Ge, vor Bio, vor Geo, vor der Zeit
- Zukunft nach der Menschheit, nach der Erde, nach dem Universum
- vom Kleinsten (Quarks) bis zum Größten (Metagalaxis)
- von -unendlich bis +unendlich, bis zu höheren Dimensionen und neuen Welten
- die Biologie, das Leben, die Energie ... im Weltall
- die Gefahren und der Zufall des Lebens auf der Erde ([Katastrophen](#))

b) Gesell. Ursachen für die Entstehung und Entwicklung der Astronomie sind praktische Bedürfnisse in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand:

- period. Nilüberschwemmungen, Kalender, Orientierung, Landkarten, Uhrzeit
- Wetter, TV, LW, Sicherheit (Flug, See), Industrie (Kristalle, Vakuum), Bodenschätze, Militär, Medizin, wiss. Forschung, Weltanschauung, Vermessung, NaVi, Archäologie, Freizeit, Kommun.

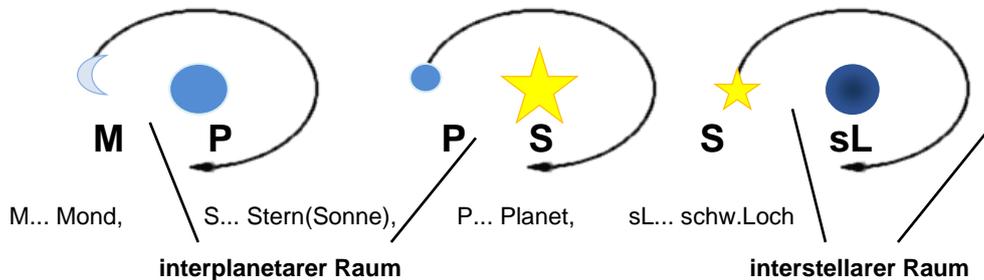
c) **Astronomie**

Wissenschaft von den Eigenschaften, dem Aufbau, der Bewegung, der Entstehung und Entwicklung kosmischer Objekte sowie des gesamten Weltalls.

Astrologie

Irrlehre v. angeblichen Zushg. zw. Vorgängen am Sternenhimmel u. dem Charakter (Sternbild) und Verhalten (Horoskop) d. Menschen.

d) Aufbau des Weltalls



Alle Sterne senden Strahlen und Wellen aus.

1 Sonnenjahr = 365,2422d = 365:05:48:46d

1 Mondjahr = 354,3671d = 354:08:48:36d (12 Monate) od. = 383,8977d = 383:21:32:39d (13 Monate)

1.2 Orientierung am Sternenhimmel

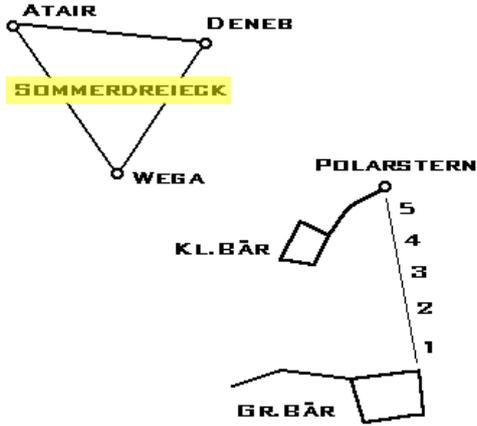
1.2.1 Sternbildarten

Bsp.:

- zirkumpolare : Gr. Bär
- Frühlingssternbilder : Bootes
- Sommersternbilder : Leier
- Herbststernbilder : Perseus
- Wintersternbilder : Orion
- Tierkreissternbilder : Skorpion

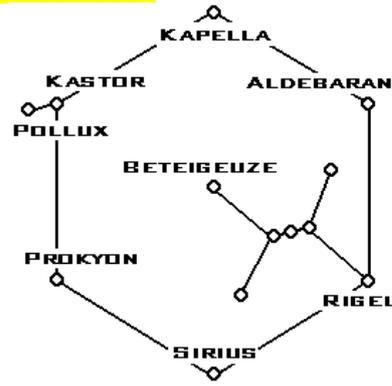
1.2.2 Orientierungshilfen

a) zirkumpolar u. Sommerhimmel



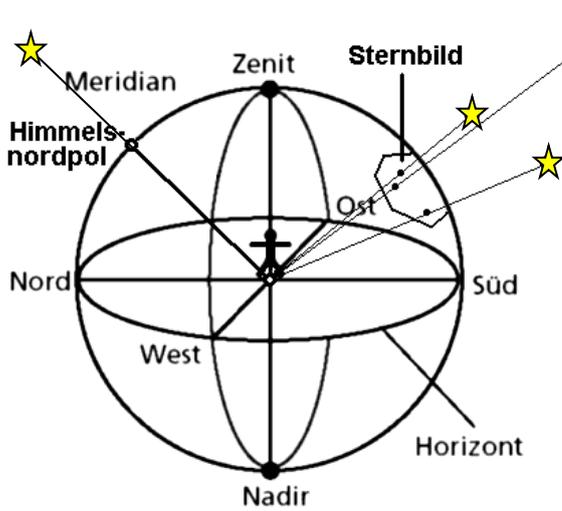
b) Winterhimmel

1. Orion-Sternbild
2. Wintersechseck



1.2.3 Die scheinbare Himmelskugel

... ist eine gedachte Kugeloberfläche um den Beobachter, auf der wir die Sterne projiziert sehen.



Sternbilder ...

sind Gruppen von Sternen an der scheinbaren Himmelskugel unabh. von ihrer Entfernung

Zenit ...

Punkt \perp über dem Beobachter

Horizont ...

gedachte Kreislinie, die den Himmel abschließt

Himmelsnordpol ... (-südpol)

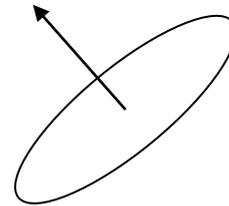
Projektion des Erdnordpols an die scheinbare Himmelskugel \approx Polarstern = HNP

Meridian ...

Linie durch HNP - Zenit - Himmels-südpol = Mittagslinie

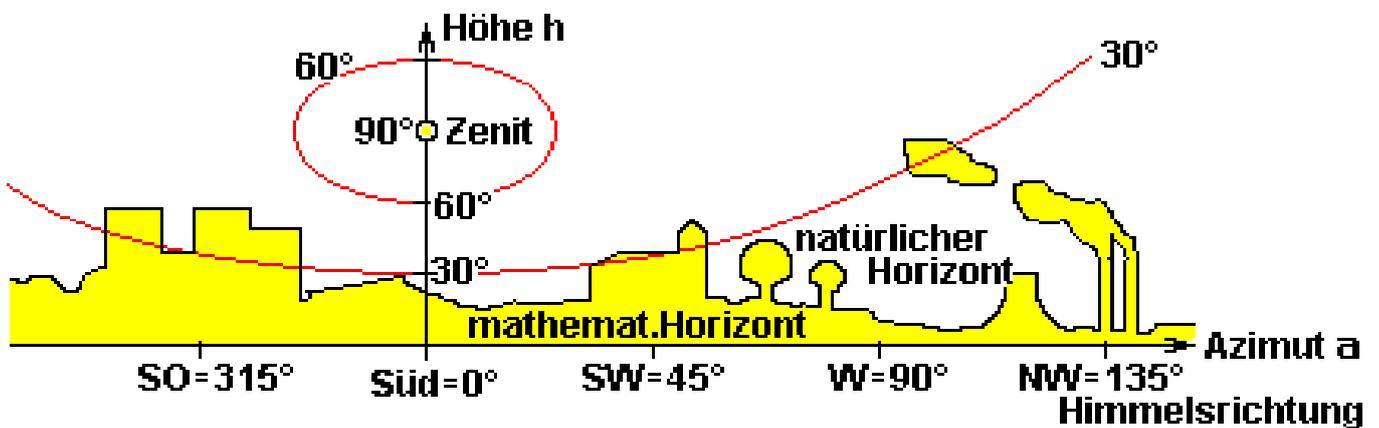
Himmelsäquator ...

Erdäquatorprojektion an die scheinbare Himmelskugel, \perp zur Nordrichtung (s. Abb.)

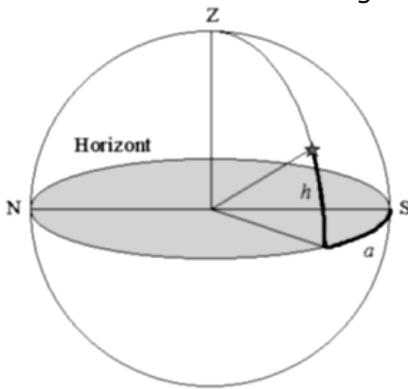


1.3 Astronomische Koordinaten

1.3.1 Horizontsystem



mit scheinbarer Himmelskugel:



Übung 1) geg.: Wega(Leier) am 10.10.

t	19 Uhr	20 Uhr	21 Uhr
a	60°		
h	70°		

Übung 2) geg.: Arktur(Bootes) am 10.09.

	Zeit t	Azimet a	Höhe h
Aufgang A	7:23Uhr	240°	0°
Kulmination K			
Untergang U			

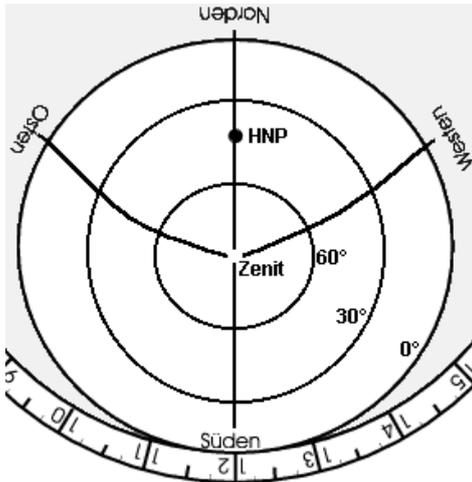
Bem.: **Drehrichtung im Uhrzeigersinn**

Übung 3) ges.: Stern am 10.09. um 11.45Uhr
mit $a=120^\circ$, $h=38$

Der sichtbare Himmelsausschnitt ist das klar durchsichtige Oval der Schülersternkarte.
Azimet- u. Höhenlinien sind in 30°-Abständen.

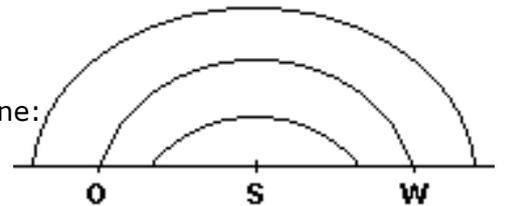
Berechnungen zur Sonnenposition:

Die scheinbare Sonnenbahn (Ekliptik, Tierkreiszone) ist durch eine gelbe Kreislinie gekennzeichnet, wobei die Monatsbeginne durch kleine Punkte markiert sind. Die anderen Positionen können a) durch Verlängerung zum äußeren Datumskreis od. b) aus einer Verhältnisrechnung ermittelt werden. Ist die Position der Sonne auf der Ekliptik bestimmt, werden a, h, A, K, U wie bei einem normalen Stern bestimmt.



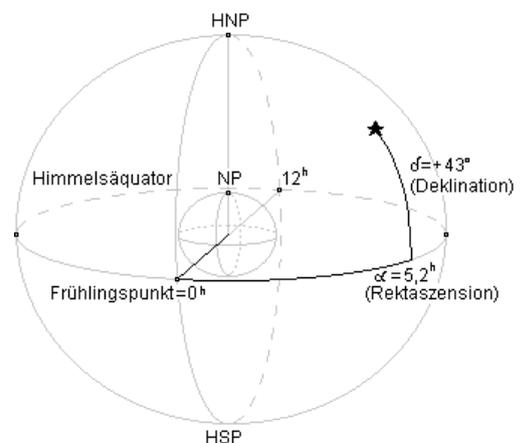
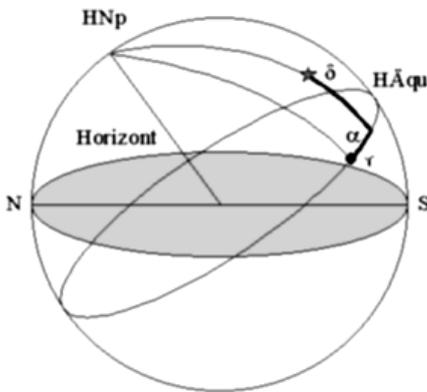
- Bsp.1: 1.11. A: ; K: ; U:
 Bsp.2: 1.06. 16.00Uhr;
 Bsp.3: An welchem Tag geht die Sonne genau im Osten auf?
 Bsp.4: An welchem Tag steht die Sonne am höchsten?
 Bsp.5: Um wie viel Grad schwankt der Sonnenaufgang von Winter bis Sommer?

Tagbögen der Sonne:



1.4.2 (rotierendes) Äquatorsystem

- orts- und zeitunabhängig
- das Erdgradnetz wird auf die scheinbare Himmelskugel projiziert
- Zeitpunkt für "Schnappschuss": Frühlingspunkt (Schnittpunkt des Himmelsäquators mit der Ekliptik, wenn die Sonne von Süden kommt)
- alle 25 Jahre neuer Sternatlas mit Äquatorkoordinaten
- die Koordinaten sind direkt aus dem unteren Himmelsausschnitt ablesbar



Bsp.:	Aldebaran	Stier	$\alpha = 4,6^h$	$\delta = 17^\circ$
	Atair	Adler		
	Arktur	Bootes		
	Antares	Skorpion		

Wdlg. Polhöhe: Die Höhe des Polarsterns entspricht dem Breitengrad φ .
Wie hoch steht der Polarstern am Äquator (Nordpol)?

1.4.3 Astron. Größen

Info: Unsere Adresse im All

Sachsen	Bundesland		300 km
Erde	Planet	$\cdot 40$	$1,3 \cdot 10^4$ km
Sonne	Stern	$\cdot 10000$	1AE
unser Sonnensystem	Sonnensystem		10^{10} km
Proxima-Centauri	nächster Stern		$4\text{ly} = 4 \cdot 10^{13}$ km
Milchstraße	Galaxie		10^5 ly
Lokale Gruppe	Galaxiengruppe		$2 \cdot 10^6$ ly
Virgohaufen	Galaxienhaufen		$2 \cdot 10^7$ ly
Virgo-Superhaufen	Superhaufen		10^9 ly
Metagalaxis	Universum		$1,4 \cdot 10^{10}$ ly

- danach Grenze für Zeit, Geschwindigkeit, Sichtbarkeit
- Ausdehnung mit c
- mögliche Enden: Ausdehnung bis ∞ , Stillstand, wieder ein Punkt, Auflösung in anderer Welt /Dimension
- Lösungen: Parallelwelten – Antiwelt in einem „Schweizer Käse“

Alter [·10]

vor 10a	Schulanfang	vor 10^7 a	Hebung der Alpen
vor 100a	Ballonfahrt, Panzer	vor 10^8 a	Amphibien
vor 1000a	Romanik / Otto I	vor 10^9 a	1. Lebensspuren
vor 10^4 a	mittl. Steinzeit	vor 10^{10} a	Sonne und Erde nicht vorhanden
vor 10^5 a	Neandertaler	vor 10^{11} a	Weltall nicht vorhanden
vor 10^6 a	Eiszeitbeginn		

2. Das Sonnensystem

2.1 Geschichtlich Entwicklung der Vorstellungen über das Planetensystem

Astronom. Epoche, Weltbild	Inhalte
1. frühes Altertum babylon. Weltbild	- Erde als Scheibe, falsche Deutungen, Aberglaube - Zeit, Kalender, Orientierung
2. Antike geozentrisches Weltbild (Aristoteles, Ptolemäus)	- Erde als Zentrum der Welt - Modell der scheinbaren Planetenbewegungen
arabische Astronomie	- Fortsetzung der antiken Lehren
3. Mittelalter heliozentr. Weltbild	- Erde u. Planeten bewegen sich auf Kreisbahnen um die Sonne (Theorie)
a) N. Kopernikus (1500)	- Erde ist ein Punkt im All
b) G. Bruno (1590)	- alle Himmelskörper haben eine Geschichte - alle Sterne sind Sonnensysteme
c) G. Galilei (1600)	- Fernrohrbeobachtungen - Venusphasen, Jupitermonde (direkter Beweis)
d) J. Keppler (1600)	- Planetengesetze (astr. Fernr.) (mathem. Beweis)
e) I. Newton (1700)	- Gravitationsgesetz (physikal. Beweis)
Z) Auffinden des Neptun aus Bahnstörungen 1846	- Zusammenhang Mathe-Physik-Astronomie (prakt. Anwendung)

Durch die astron. Forschung entw. sich ein wiss. Weltbild, welches mystische, abergläubische u. orthodoxe Auffassungen widerlegte. Dabei war die Durchsetzung des helioz. Weltbildes sehr schwierig und führte zum Konflikt mit der religiösen, philos. und gesell. Macht.

2.2. Aufbau des Sonnensystems

Objekte	Anzahl	Bahn	Gesamtmasse im m_{\oplus}	Objektdurchmesser in km
Sonne	1	/	330 000	1 400 000
Planeten	8	elliptisch um Sonne	400	5 000 - 140 000
Zwergplaneten	100 000	elliptisch um Sonne	0,1	1 - 2000
Satelliten (Monde)	≈ 180	elliptisch um Planet /ZwergP.	0,12	10 - 5300
Trojaner	≈ 120	ell. um S, P, ... auf Fremdbahn	0,1	1 - 2000
Kometen	$10^7 - 10^{10}$	stark ellipt. um Sonne	0,1	Kern: 1 - 100 Schweif >1Mio.
Meteorite	$\approx 10^8$ /Tag	regellos	$\approx 0,000 001$	meist 1 - 10mm größter 60t Namib
Gas, Staub, Felder (χ -, M-, Strahlungsfelder)	/	/	0,003 $\bar{\rho} = 1\text{g/VE}$	Teilchengröße

Vergleich

Sonne – Jupiter – **Erde** – Merkur Masse: 330.000 : 320 : **1** : 0,06

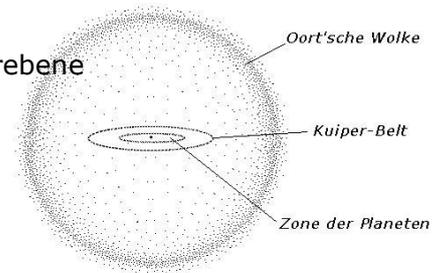
Radius: 109 : 11 : **1** : 0,4 ges.: $A_0, V, \bar{\rho}$ // als Verhältnis

Ordnung im Sonnensystem

1. Innere Planeten Me V E Ma
2. Asteroidengürtel Ceres, ...
3. Äußere Planeten J S U N
4. Transnept. Obj. Plutinos, Kuipergürtel, Sedna
5. Oortsche Wolke Kometen

auf Sonnenäquatorebene

3D - zirkumsolar



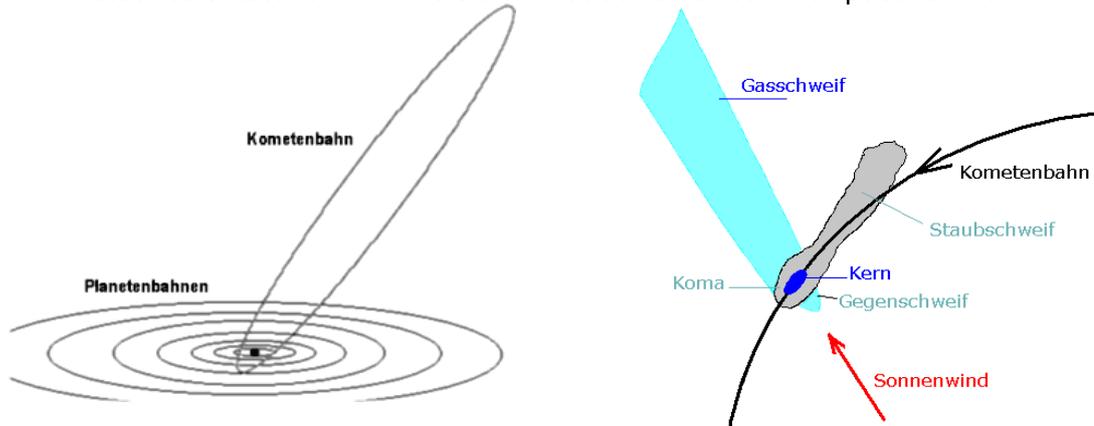
Titus – Bodesche – Reihe

$$r = [0,4 + 0,3 \cdot 2^x] \text{ AE}$$

x	$-\infty$	0	1	2	3	4	5	6		7	8
r (theor.)	0,4	0,7	1,0								
Name	Merkur	Venus	Erde	Mars	Planetoiden	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto	
r (real)	0,39	0,72	1,0	1,52	2,9	5,2	9,55	19,2	30,1	39,5	

Kometen

In Auflösung befindliche Himmelskörper aus der Frühzeit unseres Sonnensystems (Planetisimale) in dessen Folge Gas, Staub und Meteorite entstehen und die sich meist auf einer stark elliptischen Bahn um die Sonne bewegen.



Namen

alt : nach Entdecker → Entdeckungsjahr mit Klein-Bu-Reihenfolge , z.B.: 1987a1
→ Jahr mit Periheldurchgangs-Nr. → Shoemaker1 1985 XV

neu:

a) kurzperiodige: 1 - 175 durchnummeriert + P/Entdecker P...kurzperiodisch
Bsp.: 1P/ Halley (Halleyscher Komet) $T_U = 76,1a$ Perihel: 0,59AE Aphel: 17,9AE
2P/ Encke (Enckescher Komet) 3,3a 0,34AE 2,2AE

b) andere: Bu1/Entd.-Jahr + Bu2 + Zi +(Entdecker)
Bu1: C ... langperiodisch elliptisch, X ... nicht ellipt., D ... nicht mehr vorhanden
Bu2: A - Y (ohne I) für Halbmonat + Zi für Nr. im Halbmonat, d.h. F2 ist der 2. in 2.Märzhälfte
Zi nach Namen bedeutet z.B.: 9.von Shoemaker und Levy gemeinsam entdeckter
Bsp.: D/1993 F2 (Shoemaker-Levy 9) 11,7a 4,8 AE 5,5AE
C/1965 S1 (Ikeya-Seki) 876 a 0,008AE 183 AE
C/1996 B2 (Hyakutake) 40.000 a 0,23AE 1165 AE
C/1975 V1 (West) >500.000a 0,20AE -

Bahnen:	Umlaufzeit T_U	Anteil	Aphel	Quelle
kurzperiod. Ellipsen	<200a	17%	< 40 000AE	Kuipergürtel (scheibenförmig)
langperiod. Ellipsen	>200a	25%	< 100 000AE = 0,5ly	
langperiod. Hyperbeln	<10 ⁸ a od.	15%	≈ 1ly	Oortsche Wolke (kugelförmig)
langperiod. Parabeln	nicht periodisch	43%	1 - 1,5ly	

Der Anteil der registrierten langperiodischen Kometen beträgt nur 3%.

idealisierte Hyperbel- bzw. Parabelbahnen



Arten:

- Typ I ... mit 1 Schweif (Gasschweif)
- Typ II ... mit 2 Schweife (Gasschweif/Ionenschweif [+ e⁻] + Staubschweif/Silikate)
- Typ III ... mit 3 Schweife (+ Gegenschweif)

Meteorite

Durch Meteorite täglicher Masse Gewinn 120t
 ges.: % der Erdmasse im Jahr

$$m_E = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

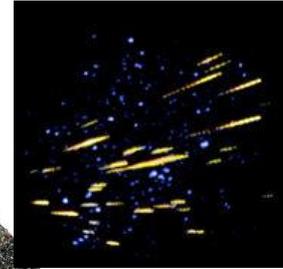
- Meteorit Allen Hills 84001 ist vor 15 Mio. Jahren vom Mars 11.000 v.Ch. in die Antarktis gefallen, wo er 1984 gefunden wurde. Er enthält fossile Mikroorganismen. öffentl. Mitteilung 1996
- Mundrabilla-Meteorit (Austral., Stücke ab 1911) 4,57 Mrd.a off. ältester Meteorit, merkw. Strukturen
- Hypatia-Stein (Ägypten, 1996) antimagnetisch, älter als das Sonnensystem od. außerhalb
- Murchinson-Meteorit (Austral., 28.9.68) mit org. Stoffen älter als das Sonnensystem od. außerhalb
 These: Meteoriten brachten das Leben auf die Erde. (Panspermth.)

Meteorite - Meteore

- Gesteinsbrocken, d. d. Erdoberfläche erreichen
 meist kleine Gesteinsbrocken → Teilchen
- meist 4,5 – 5 Mrd. a
- Frühzeit des SoSys (z.T. älter), Kometenreste, Supernovaereste, Einschlagsreste (Marsmeteorit), Teile aus Asteroidengürtel
- tägl. Schwankungen (2-3 mal mehr morgens durch Erdachsenneigung)
- jährliche Schwankungen (bes. im Herbst, ungleiche Verteilung auf der Erdbahn/
 Meteorströme: Quadrantiden, Geminiden, Perseiden, Leoniden)

Leuchterscheinung, die beim Eintritt in die Atmosphäre entsteht (Verglühen/ Sternschnuppe)

Meteorstrom



Murchinsonmeteorit

Arten:

1. **Steinmeteorite** 94% : Elemente in %: 36 O, 23 Fe, 18 Si, 14 Mg, S, Ca, Ni, Cr, Na, Al, K, C, Co, P, Th...

$$\bar{\rho} = 4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \text{größter: China 1,8t}$$

- 1.1 Chondrite 86% aller, mit Silikateinschlüssen
- 1.1.1 Kohlige Chondrite mit 3% C, H₂O, organ. Molekülen, Aminosäuren: Murchinson 28.9.68 mit Fullerenen, Mikrofossilien und Mikroben



2. **Eisenmeteorit** 6% : 90% Fe, 9% Ni, Co, P, C, S, Cu, ...

$$\bar{\rho} = 8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \text{größter: Namib 60t (3m·3m·1m)}$$

Meteoritenkrater:

Name	Staat	Zeit	Kraterdurchmesser	Masse in t	Größe
Vredefort-Krater ¹⁾	RSA	2,02 Mrd. a	180 - 300 km	5·10 ¹²	15 km
Chicxulub-Krater/ Yucatán ²⁾	MEX	65 Mio. a	180 km	10 ¹²	10 km
Nördl. Ries-Kessel	D	14,8 Mio. a	25 km	2 Mrd.t	1 km
Arizona-Cañon Diabolo = Barringer-Krater	USA	50.000 v.Chr.	1,6 km	0,3 Mio. t	41 m

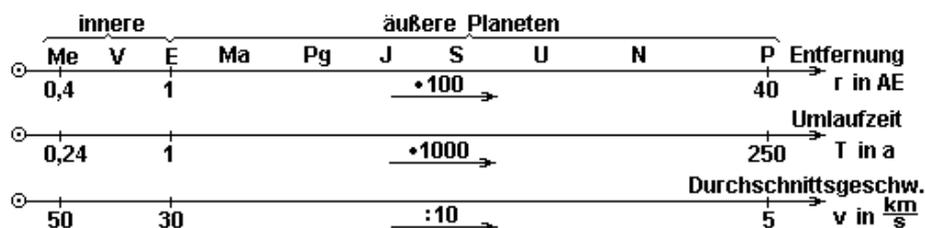
¹⁾ ≙ 10¹⁸t TNT ²⁾ ≙ 10¹⁷t TNT, Hirosh. ≙ 10⁷t TNT, Zarenb. ≙ 5·10¹⁰t TNT

Besonderheit: galaktischer Asteroid

Oumuamua
 (14.10.2017 Perihel)



2.3 Planetengesetze

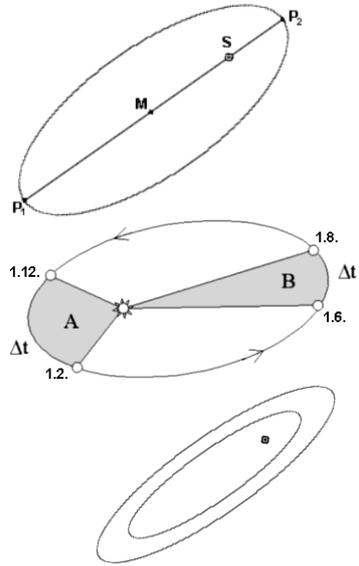


1AE ... astronomische Einheit ≈ 150 Mio.km

Keplersche Gesetze

1. Keplersches Gesetz:

Alle Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen um die Sonne.
 mittlerer Abstand $\overline{P_1M} = \overline{P_2M}$
 kleinster Abstand $\overline{P_2S}$ (Sonnennähe, Perihel)
 größter Abstand $\overline{P_1S}$ (Sonnenferne, Aphel)



2. Keplersches Gesetz:

In Sonnennähe ist die Bahngeschwindigkeit eines Planeten größer als in Sonnenferne.
 $\Delta t_1 = \Delta t_2, \quad v_1 < v_2, \quad A = B$

3. Keplersches Gesetz:

Sonnennähere Planeten bewegen sich schneller als sonnenfernere.

$$\frac{r^3}{T^2} = \text{konstant}$$

Übung: geg.: $r_{\text{Erde}} = 1\text{AE}$ ges.: T_{Jup} Lös.: $\frac{r_{\text{E}}^3}{T_{\text{E}}^2} = \frac{r_{\text{J}}^3}{T_{\text{J}}^2}$ $T_{\text{J}} =$
 $r_{\text{Jup}} = 5,2\text{AE}$
 HA : $T_{\text{M}} = 1,88\text{a}$ ges.: r_{M}

2.4 Gravitationsgesetz (Massenanziehungskraft)

$$F_{\chi} = \chi \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad F_{\chi} \sim m_1, F_{\chi} \sim m_2$$

$$F_{\chi} \sim \frac{1}{r^2}$$

Ü1: ges.: F_{χ} zwischen Erde und Mond

Lös.: $F_{\chi} = 6,67 \cdot 5,979 \cdot 7,35 : 3,844^2 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{24} \cdot 10^{22} : 10^{10} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{kg} : \text{m}^2$

Ü2: Berechnung von F_{χ} zwischen Person (50kg) und Erde.
 Abstand beider Massen = Erdradius (6371km)
 Ergebnis:

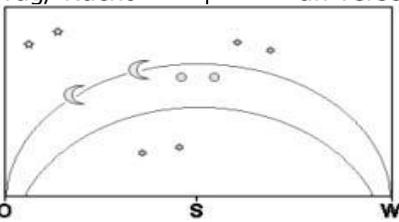
⇒ Die Gravitationskraft auf der Erdoberfläche heißt Gewichtskraft.

2.5 Scheinbare Bewegungen und Sichtbarkeit der Planeten

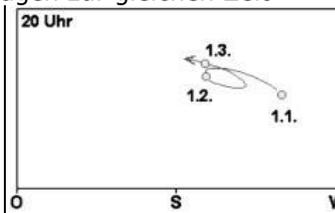
am Himmel:

am gleichen Tag/ Nacht

an verschiedenen Tagen zur gleichen Zeit

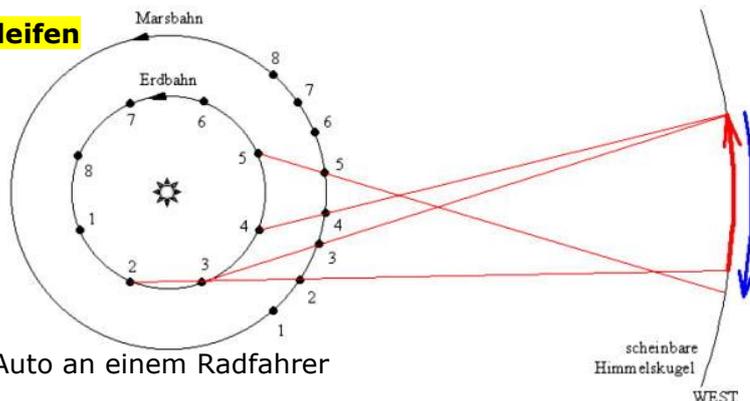


Bewegung von O → S → W
 Planeten, Mond, Sterne, ☉
 Urs.: Erdrotation



Planetenschleifen
 Planeten
 Überholvorgänge

Erklärung der Planetenschleifen



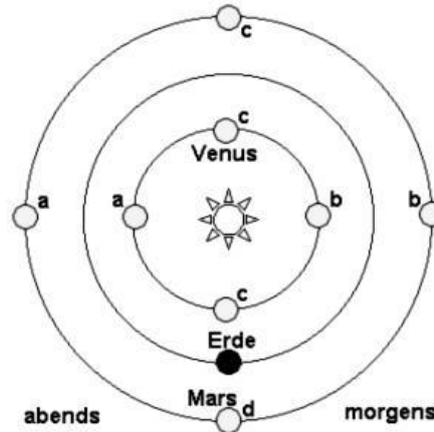
vergleichendes Beispiel:
 Vorbeifahren mit einem Auto an einem Radfahrer

Erkennen von Planeten

1. Koordinaten bekannt
2. Planetenschleifen
3. liegen etwa auf Ekliptik
4. vergrößert werden es Scheiben
5. Phasen (wie Mond)
6. Jupiter hat 4 mit Fernglas sichtbare Monde
7. Mars erscheint rot
8. große Planeten haben Ringe
9. Venus = Morgen- und Abendstern

Sichtbarkeit:

Stellung relativ zur Sonne	sichtbar	
	Wann ?	Wo ?
a östlich	abends	W- Himmel
b westlich	morgens	O- Himmel
c gleiche Richtung	—	
d gegenüber	ganze Nacht	O → S → W



2.6 Physik der Planeten

Planetengruppe	erdähnliche/innere	jupiterähnliche/äußere/Gasriesen
Planeten:	E, Me, Ma, V	J, S, U, N
r	klein	groß
m	klein	groß
ρ	groß	klein
v_{Rot}	klein	groß
Abplattung	klein	groß
A_0	fest	flüss. - gasförmig
Mondanzahl	0 bis 2	> 15

Voraussetzungen für eine Gashülle:

- a) große Masse → gr. F_x → dichte Gashülle
- b) kl. Sonnenabstand → gr. Temperatur → gr. Teilchenbewegung → gr. Gasverluste → dünne Gashülle
- c) hohe Temperatur → gr. Gasbildung → dichte Gashülle ⚡

- Mars: dünne CO₂-Atmosphäre $\rho = 0,01$ von der Erde, an den Polen Wasser, Durchschnittstemperatur -15°C, O - u. Fe-haltige Gesteinskruste von ca. 100km Dicke
- Venus: sehr dichte und ätzende CO₂-, N₂-, H₂SO₄-, HCl-Atmosphäre mit 500°C, $A_0 = 680^\circ\text{C}$, extreme Stürme
- Merkur: kaum Atmosphäre, -170°C bis 430°C
- Jupiterähnliche: extreme Stürme, dichte Atmosphäre (H, He, NH₃) von -150°C bis 500°C (A_0), flüssig bis zum festen Eisenkern >20000°C

2.7 Bedingungen für höheres Leben BfhG

a) allgemein: I geeign. Temperaturbereich (für CHO-Lebewesen 0 - 40°C)

II Wasser

III lebensfreundliche Zusammensetzung der Atmosphäre

b) phys. Folgerungen (I) ⊗ nicht zu groß → Gezeiten → Beben → Klima

⊗ nicht zu klein → geringe Rotation → Tag/Nacht

fast kreisförmige Bahn → geringe ΔT

⊗ Stern II Generation (sonst nur H und He)

(II) Planet abgekühlt (Abstand, Größe)

(III) Planet zu klein → geringe Atmosphäre

Planet zu gr. → schädli. Anteile in Atmosphäre

c) Lebensentstehungstheorien:

- St. Miller: Methan, NH₃, H₂ + Blitze → org. Verbindungen

- Oparin, Wilhelm Reich (C in Organbehälter)

- Statistik 1:10⁴⁰⁰⁰⁰ leben

d) Greenbank- = Drake - Formel: $N = R \cdot fp \cdot n \cdot fl \cdot fz \cdot fw \cdot L$

Kann die Erde von anderen Außerirdischen besiedelt werden – können wir umsiedeln? **NEIN**

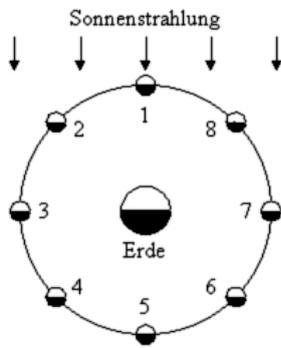
Keine 2 Planeten im Universum sind identisch: Anpassung unmöglich (F_x , Biorhythmus, Bakterien- und Virenanpassung, p-, Strahlungs-, chem. Anpassung, BfhL, ...)

Lösungen: isolierte Räume, Terraforming, genet. „Verbesserungen“ angepasster Lebensformen (Mensch?)

2.8 Satelliten: Der Erdmond

- Satellit:** Nicht selbst leuchtender fester Himmelskörper, der sich auf einer elliptischen Bahn um einen Planeten bewegt.
- Erdmond:** $T_U = 27,322d$ (Drehung um 360°);
 Mondphasenwechsel = $29,5 d$ (Erdmitteldrehung);
 $T_{rot} = T_U \rightarrow$ - stets gleiche Seite sichtbar (gebundene Rotation, wie Phobos)
 - dichtere Seite in Erdrichtung ... mit Erde verbunden?
- mittlere Entfernung: $3,844 \cdot 10^5 km = 30,2 \cdot d_E$
 scheinbare Bewegung: $O \rightarrow S \rightarrow W$ (Erdrotation)
 wirkliche Bewegung: $W \rightarrow S \rightarrow O$ (an versch. Tagen z. gl. Z.)

Mondphasen:



Neumond	1	
zunehmender Mond	2,3,4	
Vollmond	5	
abnehmender Mond	6,7,8	

- Finsternisse:** Sonnenfinsternis: S-M-E Eintritt: Neumond
 Mondfinsternis: S-E-M Eintritt: Vollmond

Warum ist nicht jeden Monat Sonnen- bzw. Mondfinsternis?

- Größenverhältnisse
- Mondbahn ist nicht parallel zur Erdumlaufbahn
- kleiner Mond kann oft nur partiell die Sonne verdunkeln
- Umlaufbahnen von Mond und Erde sind elliptisch (M muss näher sein)
- T_u nicht synchron

Ermittlung der Fallbeschleunigung auf dem Mond:

geg.: Mondradius = $\frac{1}{4}$ des Erdradius
 Mondmasse = $\frac{1}{80}$ der Erdmasse

$$F_\chi = F_G$$

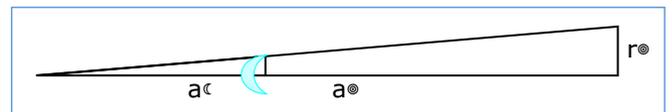
$$\chi \frac{m_M}{r_M^2} = g_{M,m}$$

$$g_M =$$

$$\dots \underline{g_M = 1/5 g_E} \quad (\text{real } 1/6 g_E)$$

Ü: Wie groß muss der Mondradius sein, damit eine SoFi möglich ist. Entnehmen Sie die Werte aus dem TW.

L.: $r_\odot = 6,96 \cdot 10^8 m$, $a_\odot = 1,496 \cdot 10^{11} m$, $a_\chi = 3,844 \cdot 10^8 m$,
 $r_\chi = 1,788 \cdot 10^6 m$ TW: $1,738 \cdot 10^6 m \pm 2,8\%$



keine Atmosphäre bedeutet:

- schädliche Strahlung
- Einschläge
- kein Wetter
- kein Streulicht
- kein Schall
- Temperaturschwankungen (Tag/Nacht: $130^\circ C / -160^\circ C$)
- kein Schweredruck, Vakuum
- kein Leben

Gravitationswirkungen des Mondes auf dichtere Stoffe der Erde

- Gezeiten (5/9 Vgl. Sonne, bis 19m, Spring-(+Sonne), Sturmflut)
- Spannungen in der Erdkruste: Erdbeben (bes. bei Sonnenfinsternissen)
- stabilisiert Erdachse

Die Oberfläche des Mondes

Tiefenbenen "Mare", "Meere" ... Lavaüberflutungen mit gleicher Tiefe
 Hochländer ... Schollen
 Ringgebirge ... tektonisch
 Krater mit gleicher Tiefe ... Meteoriteneinschläge
 Die Rückseite ist strukturarm: viele kleine Einschlagskrater

Rätsel: Abkühlung - F_χ ; Bahnstabilität (inn. Kreisel?); Alter: $\geq 4,53 \text{ Mrd. a}$ (S: $4,57 | E: 4,6$ ⚡); Kratertiefen und Form zur Tagseite; Wiederhall; Schwerpunkt E-M; verschied. A_0 -Material (zur Erde); merkwürdige Strukturen, ...

3. Raumfahrt im Planetensystem

3.1 Forschungsbereiche

Erdnaher Raum	Magnetosphäre, Umweltdaten
Interplanetarer Raum	Teilchen, Felder und Strahlungen
Planeten und andere Himmelskörper	direkte Erforschung von Atmosphäre, Oberfläche und physik. Eigenschaften
astronomische Beobachtung	ohne Behinderung der Atmosphäre

3.2 Praktische Anwendungen

Nachrichtentechnik, Wetter, Geologie, Grundlagenforschung, Zukunftsforschung, Land- und Forstwirtschaft, Militär, Fischwirtschaft, Überwachung, Navigation (GPS), TV, Telekommunikation, Seenotdienst, Medizin, Biotechnik, Vakuumtechnik, Kommunikation, ...

3.3 Entweichgeschwindigkeiten / Kosmische Geschwindigkeiten

I. kosm. Geschwindigkeit

$$7,9 \text{ km/s} < v_1 < 11,2 \text{ km/s} \rightarrow \text{Erdumlaufbahn}$$

Ermittlung:

$$F_x = F_r$$

$$\chi \frac{m m_E}{r_E^2} = m \frac{v^2}{r_E}$$

$$v =$$

II. kosm. Geschwindigkeit

$$11,2 \text{ km/s} < v_2 < 16,7 \text{ km/s} \rightarrow \text{Sonnenumlaufbahn}$$

III. kosm. Geschwindigkeit

$$16,7 \text{ km/s} < v_3 < \dots \rightarrow \text{Galaxis} \rightarrow \text{All}$$

geostationärer Satellit:

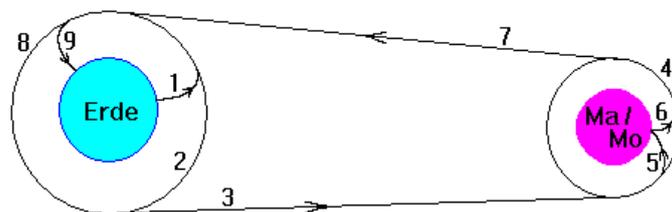
T = 24h, Kreisbahn über dem Äquator: ASTRA, Copernikus, ...

Raumfahrtorganisationen:

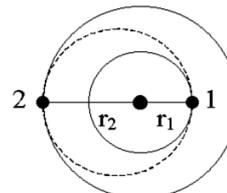
NASA (USA), ESA (EU), FSA (RF), CNSA (CN), DLR (D), JAXA (Jap), DASA (D),...

Flugbahnen zum Mond oder Mars:

1. Start
2. Erdumlauf
3. zum Mond
4. Mondumlauf
5. Landung der Fähre
6. Start zur Raumstation, 4.
7. zur Erde
8. Erdumlauf
9. Landung



--- Bahn der Raumsonde



- 1 Startplanet (Erde)
- 2 Zielplanet (z. B. Mars)

Die Bahnen 3 und 7 sind nicht gradlinig.

Zum Mars ist es eine ellip. Bahn (s.re.).

Beim Flug zu anderen Planeten wird auch der **Swing-by-Effekt** genutzt, d.h. es wird von Planet zu Planet geflogen, indem man jeweils die Anziehungskraft zum Schwungholen nutzt.

Etappen der Raumfahrt:

1042	Raketen	China
15 Jh.	Leuchtraketen	Italien
1805	S.W. Congreve	Engl.
1903	K. Ziolkowski	Rußl.
1926	R. Goddard	USA
1928	H. Oberth	D
1942	Aggregat4(A4/V2)D	
54	R-7	SU
1957	Sputnik I	SU
57	Sputnik II	SU
1958	Explorer I	USA
58	Vanguard I	USA
1959	Luna II	SU
59	Luna III	SU
1960	Tiros I	USA
60	Echo I	USA

(mit Schießpulverantrieb)

1.europ.Raketen

1.Raketenwaffe(1,8km; 2,7kg)

wissenschaftl. Grundlagen d. Raketentechnik, Kosmismus

- " - + 1.Flüssigkeitsraketen

- " - + versch. Varianten

1.Weltraumrakete [W.v.Braun / 180km hoch]

1. Interkontinentalrakete (5,5t Nutzlast)

1.künl. Erdsatellit [S.Koroljow/t=92d/84kg]

1.Biosatellit (Hündin Laika / 508kg)

entdeckt Strahlungsgürtel der Erde (14kg)

1.Langzeitsatellit(>100a;1,47kg)

1.Mondaufschlag

1.Satellit, d. Mondrückseite fotografierte

1.Wettersatellit

1.Nachrichtensatellit

1961	Wostok I	SU	1.bemannter Raumflug [J.Gagarin/4,7t/108min]
61	Mercury 7	USA	2.bemannter Raumflug [A.Shepard/1,35t/15min/Parabelflug]
1962	Telstar I	USA	1.TV-Satellit
1963	Wostok 6	SU	1.Frau im All [V.Tereschkowa]
63	Poljot 1	SU	1.manövrierfähiges Raumschiff
1964	Mariner 4	USA	1.Marsvorbeiflug
64	SERT 1	USA	1.Rakete mit Ionenantrieb
64	Woschod I	SU	1.Gruppenflug
1965	Woschod II	SU	1.Ausstieg [A.Leonow]
65	Venus 3	SU	1.Venuslandung
1966	Luna 9	SU	1.weiche Mondlandung
1967	Kosmos 186/188	SU	1.Kopplung zweier Satelliten
67	Zond 5	SU	1.Mondumlauf mit erfolgr. Erdlandung
67	Venus 4	SU	1.weiche Venuslandung
1968	Apollo 8	USA	1.bemannter Mondumlauf
1969	Sojus 4+5	SU	1.Umstieg in anderes Raumschiff
69	Apollo 11	USA	1.Mensch auf Mond [N.Armstrong, E.Aldrin]
1970	Luna 16	SU	1.autom. Mondlandung mit Rückflug
70	Lunochod 1	SU	1.autom.Mondauto (ca.1 Jahr tätig)
70	Venus 7	SU	1.weiche Venuslandung
1971	Salut 1	SU	1.Raumstation
71	Apollo 15	USA	1.Mondauto "Rover"
71	OSO 7	USA	1.Sonnensatellit
71	Mariner 9	USA	1.Marsumlaufbahn
71	Mars 3	SU	1.Geräteteil landet auf dem Mars
1972	Apollo 17	USA	"letzte" von bisher 6 bem. Mondlandungen
1973	Skylab 2	USA	1.bem.Raumstation (90 t)
73	Mariner 10	USA	1.Merkurvorbeflug
73	Pioneer 10	USA	1.Jupitervorbeflug (3.12., Start 10.3.72)
1974	Kosmos 637	SU	1.geostationärer Satellit
1975	Sojus-Apollo	USA/SU	gemeins. Weltraumlabor
1976	Viking 1+2	USA	1.weiche Marslandung
1978	Sojus 31	SU/DDR	1.Deutscher im All [S.Jähn]
1980	Voyager 1	USA	1.Saturnvorbeflug (12.11., Start 20.8.77)
1981	Columbia	USA	1.Raumfähre (Space Shuttle)
1984	Challenger	USA	1.Freiflug ohne Leine [B.McCandless]
84	Pioneer 10	USA	1.Raumschiff außerhalb des Sonnensystems
1985	ASAT	USA	1.scharfer Schuss auf künstl. Satelliten
1986	Voyager 2	USA	1.Uranusvorbeflug (24.1.,Start 5.9.77)
86	MIR	SU	1.Langzeitraumstation (15a)
86	Sakigake+Suisei Japan		1.Kometenvorbeflug 7,6 / 0,15 Mill.km
86	Wega 1+2/Giotto	SU/ESA	Kometenvorbeflug 8000 / 600 km
1988	Buran	SU	1.autom. Raumfähre
88	Sojus TM4	SU	1.Mensch länger 1 Jahr im All [W.Titow]
1989	Voyager 2	USA	1.Neptunvorbeflug
1990	Hubble/Discovery	ESA/USA	1.Weltraumteleskop
1992	Gaspra	ESA	1.Planetoidenvorbeflug
1997	Pathfinder	USA	1.Mars-Rover: Sojourner
1998	ISS	ESA/RU/US u.a.	Baubeginn
2003	Shenzou 5	Ch	3. eigenständige bemannte RF-Nation
2005	Schrottcrash	Ch/US	1.Crash 2er Weltraumschrottteile
2014	Rosetta	ESA	1.weiche Kometenldg. mit Landefähre Philae https://de.wikipedia.org/wiki/Rosetta_(Sonde)

Geschichte: <https://astrokramkiste.de/geschichte-der-raumfahrt>

erfolgr. RF-Missionen bis 2016 ca. 5100 (92%): SU/RU >2500 (163), USA >2000(168)

tote Raumfahrer: 4 SU, 18 USA Startexplosionen: > 200

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_bemannten_Raumfl%C3%BCge

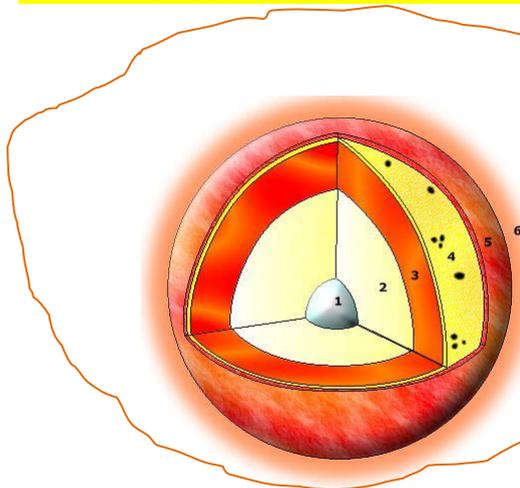
4. Sterne, Sternsysteme, Metagalaxis

4.1 Die Sonne unser Stern

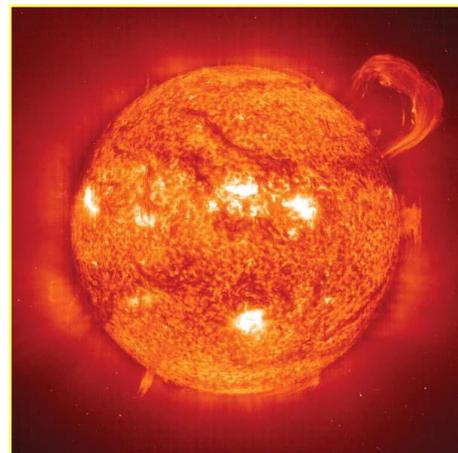
Die Sonne ist ein Stern, d.h. eine selbstleuchtende Gaskugel großer Masse und hoher Temperatur.
Sie ist das Zentrum unseres Planetensystems und Stern II. Generation.

mittlere Entfernung S-E:	1 AE	=	150 Mio. km
Sonnenradius		=	109·Erdradius
S-Oberfläche		≈	12000·Erdoberfläche
S-Volumen		≈	1,3 Mio.·Erdvolumen
Sonnenmasse		≈	330000·Erdmasse
Photosphärentemperatur		=	6000 K
Fallbeschleunigung		=	28 ·g _E (in 1s 137m)
mittlere Dichte		=	1/4·ρ _E

4.1.2 Aufbau der Sonne



- 1 Zentralgebiet $T_{\max} \approx 15 \text{ Mio. K}$
 $\rho_{\max} \approx 10^{11} \text{ at}$
 $\text{H} \rightarrow \text{He} + \text{Energie (Kernfusion)}$
 $7 \cdot 10^{11} \text{ kg/s} = 1\% \text{ in } 10^9 \text{ Jahren}$
- 2 Strahlungszone
Energietransport durch Strahlung
- 3 Konvektionszone
Energietransport durch Austausch
- 4 Photosphäre = Sonnenoberfläche,
dünn, scharfe Abgrenzung
- 5 Chromosphäre
Aktivitätszone mit $T \uparrow$
- 6 Korona
stark veränd. Sonnenkranz,
bis doppelten Durchmesser



Chem. Zusammensetzung : H = 73% , He = 25%

- differentielle Rotation:** $T_{\text{Pol}} = 25 \text{ d}$, $T_{\text{Äqu}} = 30 \text{ d}$ Folgen:
- Magnetfeldverdrehung mit 11 jähriger Umpolung
 - Sonnenaktivitäten mit 11 jährigem Maximum

4.1.3 Sonnenaktivitäten

Aktivität	Ort	Erscheinung/Ursache	Skizze
Sonnenflecken	Photosphäre	niedr. Temperaturen, H wirkt metallischer, M-Feld	
Protuberanzen	Chromosphäre/ Korona	Gasausbrüche über S-Flecken als sichtbare Magnetfeldlinien	
Eruptionen (Flares: kleiner)	Chromosphäre	Strahlungsausbrüche(Plasmawolken) + Elementarteilchen, z.T. über Sonnenflecken	
Strahlenkranz	Korona	versch. Strahlungsarten (X-, γ -Teilchenstr., elektromagn. Spektrum), veränderlich	
Koronalöcher	Korona	Sonnenwind, abgesprengte Plasmawolken reißen Löcher	
Granulen	Photosphäre	stehende Wellen durch Materiezufuhr aus Konvektionszone bis zu Fackeln	
Fackeln	Photosphäre	Antisonnenflecken	
Spiculen	Chromosphäre	Flussröhren heißen Gases durch Stoßwellen	
Flocculi	Photosphäre	Schaumflocken (Kalzium,...), Rissstruktur	
Coronaler Massenauswurf CMA	Korona	Ablösung von Protuberanzen	

4.1.4 Die Strahlung der Sonne

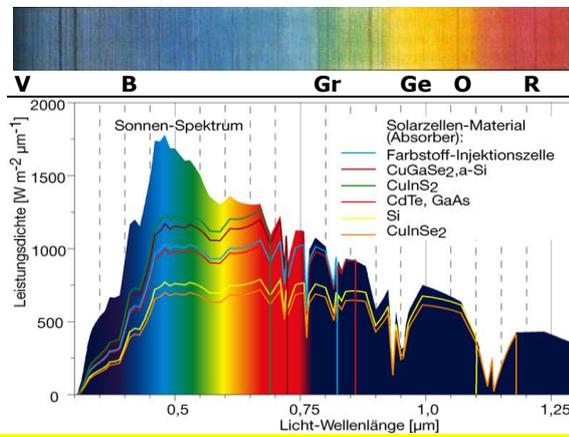
elektromagnetische Wellen = Sonnenspektrum	Teilchenstrahlung i.a. = Sonnenwind				
Hertzische Wellen IR-Licht Licht UV-Licht Röntgenstrahlen χ -Strahlen	Elektronen (+Ionen =Plasmawolken[PW , CMA]) Neutronen (kosm. Strahlung[kS]) α -Teilchen Photonen χ Neutrinos ν Ionen u.a.				
mit c [Lichtgeschwindigkeit] 8:20 min bis zur Erde	ν 2/3-1,5c 5,5'-12,5'	kS $4 \cdot 10^4 \text{ km/s}$ 50 min	PW 1500km/s 30 h	χ 600km/s 2:21 d	α 300km/s 5:19 d
	1c	←			300km/s

Das Lichtspektrum :

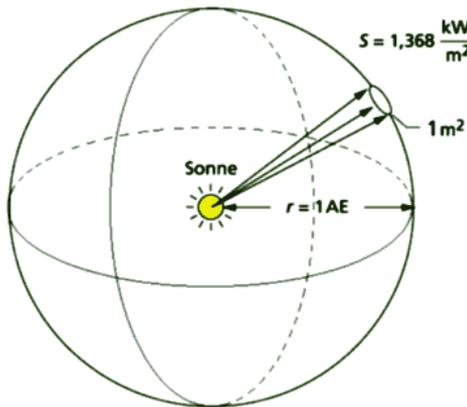
kontinuierliches Spektrum

Sonnen- u. Erdatmosphäre

Absorptionsspektrum
(es fehlen einige Frequenzen =
Fraunhofersche Linien)



4.1.5 Die Leuchtkraft der Sonne (Strahlungsleistung)



$$L = P_{\text{Str}} = \frac{E}{t} = \frac{\text{abgestr. Energie}}{\text{Zeit}}$$

$$S = P_{\text{Erde}} = 1,368 \text{ kW/m}^2 \quad (\text{Solarkonstante})$$

$$P_{\text{Str}} = P_{\text{Erde}} \cdot A_{\text{Kugel}} \quad // \quad E(A_{\text{O}\odot}) = E(A_{\text{O}\oplus})$$

$$= 1,368 \text{ kW/m}^2 \cdot 4\pi r^2$$

$$= 1,368 \text{ kW/m}^2 \cdot 4\pi (1,496 \cdot 10^{11})^2 \text{ m}^2$$

$$= 3,85 \cdot 10^{23} \text{ kW}$$

Einstein: $m = E/c^2$

$A_{\text{O}\odot}$: $E = 1,33 \cdot 10^{27} \text{ kg/a}$

$$= 6,7 \cdot 10^{-12} \% \cdot m_{\text{Sonne}}$$

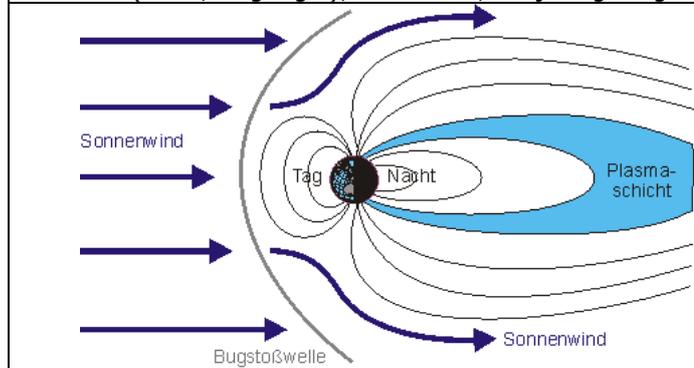
4.1.6 Solar-terrestrische Beziehungen

1. Gravitation : Sonnenumlauf, Gezeiten, Spannungen in der Erdkruste
2. Licht + Wärme: Wetter, Energie, Leben
3. Teilchenstrahlung der Sonne:

Polarlicht
Teilchenstr. der Sonne regt beim Eindringen in die Atmosphäre, vorw. in 75 - 500km Höhe und Polnähe, Ionen, Atome und Moleküle zum Leuchten an.



Magnetische Stürme
Veränderungen des Erdmagnetfeldes durch den Sonnenwind (+Plasmawolken). Folgen: Störungen im Radar, Verhalten der Tiere (Wale, Zugvögel), Menschen, 22-jährige Algenpest



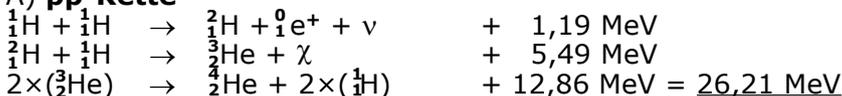
4.1.7. Gleichgewichtszustände in der Sonne

1. hydrostatische (innerer Gasdruck – Materie darüber)
2. energetisches (Massenerhaltung – $E=mc^2$ und thermisches Gleichgewicht)
3. Energietransport (Strahlungsgleichgewicht [$\Delta T, > \rho$]; Konvektives Glg. [$\Delta T, \Delta \rho$])
zum Energieittransport:
Strahlung(StrZ) → Plasmawellen(KoZ: Schallw. [$\Delta \rho$] + interne Schwerew. [Auftrieb, F_χ] + Alfvén Wellen [ΔB]) → Stoßwellen(Chp) → Dissipation(Zerfall) → Aufheizung(Ko)

4.1.8. Energie der Sonne

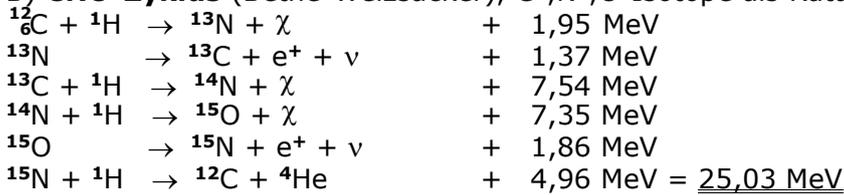
im Zentralgebiet: Kernfusion $H \rightarrow He$

A) pp-Kette



${}^0_1\text{e}^+$... β^+ -Strahlung
 ${}^0_1\text{e}^-$... β^- -Strg.
 ${}^4_2\text{He}$... α -Strg.
 $\nu = {}^0_0\text{e}$... Neutrinos
 χ ... radioakt. Strg.
 ${}^2_1\text{H}$... Deuterium

B) **CNO-Zyklus** (Bethe-Weizsäcker), C-,N-,O-Isotope als Katalysatoren

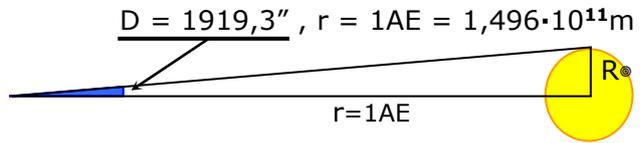


A+B:
 $4 \times ({}^1_1\text{H}) \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu + 25,6 \text{ MeV} \quad 9 \cdot 10^{37} \text{ Fusionen pro Sekunde}$

4.1.9. Ermittlung physik. Größen der Sonne

a) Radius $R_{\odot} = 1 \text{ AE} \cdot \sin(0,5D)$

$$\begin{aligned}
 &= 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} \cdot \sin(0,5 \cdot 0,533^\circ) \\
 &= 6,9601 \cdot 10^8 \text{ m}
 \end{aligned}$$



b) Masse aus $F_r = F_{\chi}$ folgt $m_E \cdot v^2/r = \chi \cdot \frac{m_S \cdot m_E}{r^2}$
 $v^2 = \chi \cdot m_S / r$ und aus $v = 2\pi r / T$ folgt

$$\chi = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$

$$m_{\odot} = \frac{4\pi^2 \cdot r^3}{\chi \cdot T^2} \approx 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$T = 365,242 \text{ d} = 3,1557 \cdot 10^7 \text{ s}$
 3. Kepl. Gesetz

c) Dichte $\bar{\rho}_{\odot} = \frac{3}{4} m_{\odot} \cdot \pi^{-1} \cdot R_{\odot}^{-3} = 1,409 \text{ g/cm}^3$

d) Temperatur(A_{\odot}) $T = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{\sigma \cdot 4\pi R_{\odot}^2}}$
 $= 5800 \text{ K}$

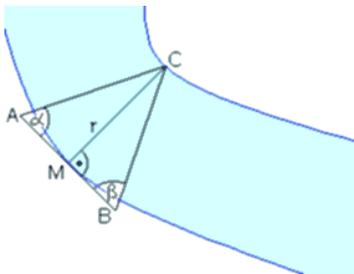
folgt aus Stefan-Boltzmann-Gesetz
 $\sigma \dots$ St.-Boltzmann-Konstante $= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

e) Sternradius nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz für „schwarze Kugeln“

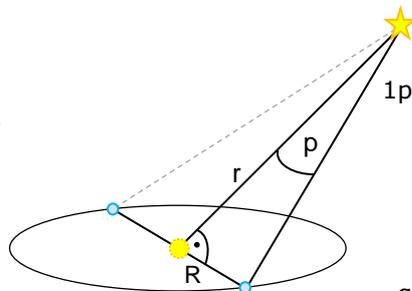
$$\begin{aligned}
 L_1 : L_{\odot} &= 4\pi R_1^2 \sigma T_1^4 : 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4 & T \dots \text{ aus Farbe und Intensität der Spektrallinien} \\
 R_1 &= R_{\odot} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{L_{\odot}}} \cdot (T_{\odot} : T_1)^2 & L \dots \text{ aus M bzw. HRD}
 \end{aligned}$$

4.2 Entfernung der Sterne

4.2.1 Trigonometrische Entfernungsmessung



$$\begin{aligned}
 \overline{AM} = \overline{MB} &\Rightarrow \tan \beta = \frac{r}{\overline{AM}} \\
 r &= \frac{\overline{AB}}{2} \cdot \tan \beta
 \end{aligned}$$



$r \dots$ Abstand Stern - Sonne in p

$1 \text{ pc} \hat{=} 1''$, p ... Parallaxe in " (Sekunden)

Parsek ... pro Sekunde des Winkels

$$r \sim \frac{1}{p} \quad \boxed{r = \frac{1}{p}}$$

günstige

Umrechnungseinheiten: $1 \text{ pc} = 3,262 \text{ ly} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$

Aldebaran (Stier) $p = 0,05''$
 $r = 1/p = 1/0,05'' = 20 \text{ pc} = 65 \text{ ly}$

max. Weitenmessung:
 100 pc ; $0,01''$
 od.
 $1 \text{ Ct. in } 5 \text{ km Entfernung}$

Übung: a) $p = 0,20''$ ges. $r[\text{km}]$ b) $r = 13,2 \text{ ly}$ $p[']$.

4.2.2 Fotometrische Entfernungsmessung

Ein Blick in den Himmel ist vergleichbar mit einem Blick in den Wald: gleiche Sterne werden immer schwächer sichtbar, je weiter sie entfernt sind, aus der Gesamtheit aller Sterne lässt sich wie im Wald ein System ableiten, bei Sternen: welche jünger, größer od. weiter entfernt sind.

Zwischen der absoluten Helligkeit, der scheinbaren Helligkeit und der Entfernung eines Sterns besteht die folgende Beziehung:

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg r \quad \text{bzw.} \quad r = 10^{0,2(m-M+5)} \text{ pc}$$

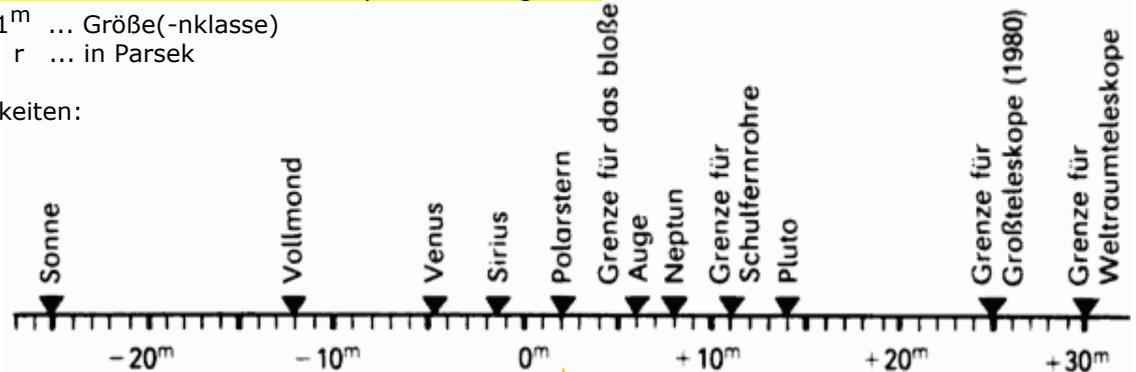
scheinbare Helligkeit: m ... wie hell ein Stern erscheint

absolute Helligkeit: M ... wie hell der Stern in 10pc Entfernung wäre

Einheit: 1^m ... Größe(-nklasse)

Entfernung des Sterns: r ... in Parsek

Skale scheinbarer Helligkeiten:



- Dabei steht die historische Größe 1 für die hellsten Sterne. Ein \star der Gr.2 ist nur noch 10% und Gr.3 1% so hell wie Gr.1. Bessere Messmethoden und Positionen führten zu negativen Sterngrößen.
- Bei bekannten Helligkeiten, die fotometrisch ermittelt werden können, lässt sich die Entfernung eines Sterns berechnen.
- Durch Vergleich und über Spektralanalyse (T-,V-, κ -Bestimmung) ist für fast alle optisch erfassbaren Sterne (unserer Galaxis) die Entfernungsbestimmung möglich.
- Entferntere Sternsysteme werden mit anderen Methoden bestimmt.

Übung: a) geg.: Deneb $m = 1,3^m$, $M = -5,2^m$ ges.: r
 b) geg.: $r = 1\text{kpc}$, $m = 4$ ges.: M
 HA: geg.: $M = -2$, $r = 500\text{pc}$ ges.: m, p $m=6,5$ $p=0,002''$
 geg.: $m = 2$, $M = -4$ ges.: r, p $r=158,4\text{pc}$ $p=0,006''$

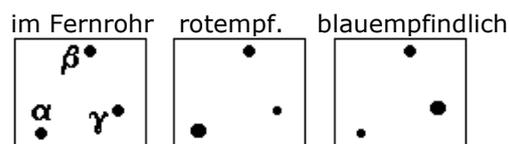
Stern	m	M	$m-M$	r in pc	in ly / km	p in "
Beteigeuze	$0,^m4$	$-5,^m6$	$6,^m0$	160		
Capella	$0,^m1$	$-0,6$	$0,7$	13		
Prokyon	$0,^m4$		$-2,3$			
Spika		$-3,6$		80		

4.3 Zustandsgrößen der Sterne

4.3.1 Zustandsgrößen und Messmethoden

- Zustandsgrößen: $T, L=P_{\text{Str}}, r, A_o, V, m, \rho$

- Meßmethoden : a) Farbe



Ergebnis: $\alpha = \text{rot}$, $\beta = \text{weiß}$, $\gamma = \text{blau}$

b) Temperatur aus dem Spektrum (4.1.4; LB 121):

UV - blauviolett - rot - IR
 50kK 25000K - 2800K 2,5kK

c) Leuchtkraft $L = P_{\text{Str}}$

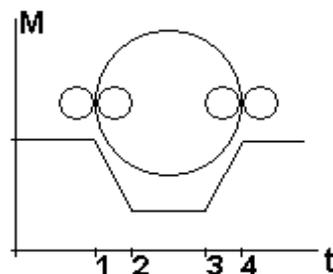
$10^{-5} \cdot L_{\text{sonne}}$ \longleftrightarrow $10^5 \cdot L_{\text{sonne}}$
 aus $P = 10^{2-0,4 \cdot M}$

d) Massebestimmung aus Doppelsternsystemen

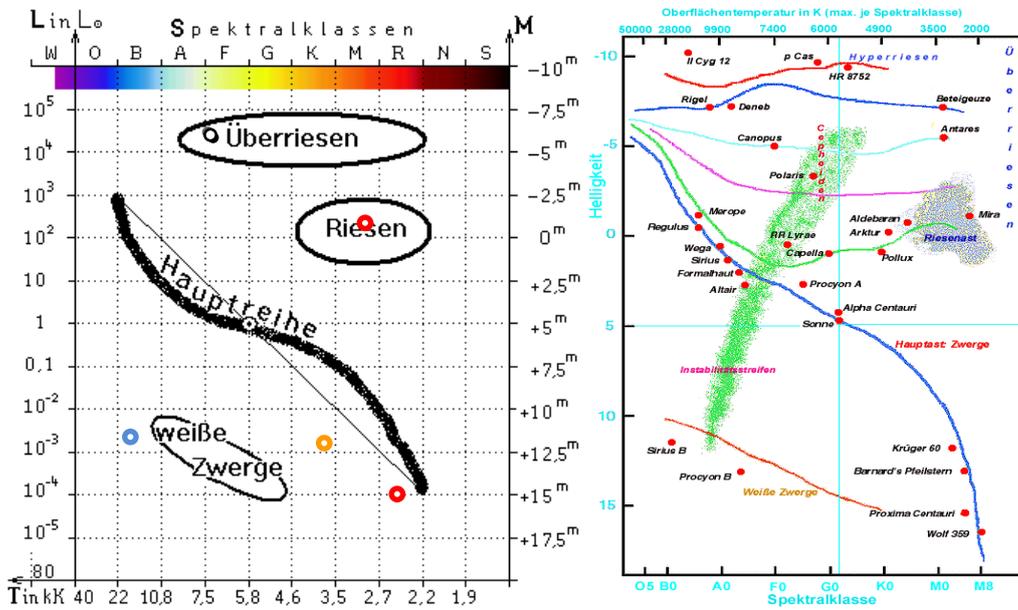
I $m_1 + m_2 = r^3 : T^2$ messbar
 II $m_1 : m_2 = r_2 : r_1$ messbar

e) Radiusbestimmung aus Doppelsternsystemen

I $v(t_4 - t_1) = D$
 II $v(t_3 - t_2) = D - 2d$



4.3.2 Das Hertzsprung-Russell-Diagramm



Umrechnung der Werte von L/P_{Str} zu M

$$M = 5 - 2,5 \cdot \lg P_{Str}$$

$$P = 10^{2-0,4M}$$

Ü1: $T = 4\text{kk}$, $L = 100L_{\odot}$ Ü2: $10,5\text{kk}$, $8 \cdot 10^4 L_{\odot}$ in Tafel-HRD
 Ermittlung aller Sternwerte von A – E (v.li.n.re.) in Hefter

Die Massen aller Sterne liegen zwischen $0,1$ bis $120m_{\odot}$.

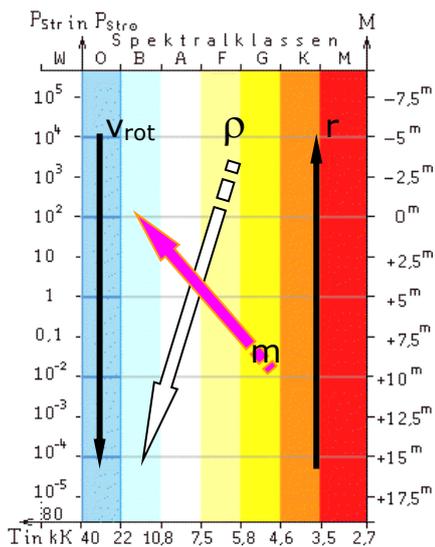
Für HR-Sterne gilt: $L \sim m^3$. ($L = P_{Str}$)

	HR-Sterne	Riesen	Überriesen	Weißer Zwerge
r in r_{\odot}	1/2 bis 8	3 - 40	20 - 750	0,01
ρ in g/cm^3	0,01 - 3	$10^{-5} - 0,01$	$10^{-7} - 10^{-5} = 0,1 \text{ g/m}^3$	$10^6 = 1 \text{ t/cm}^3$

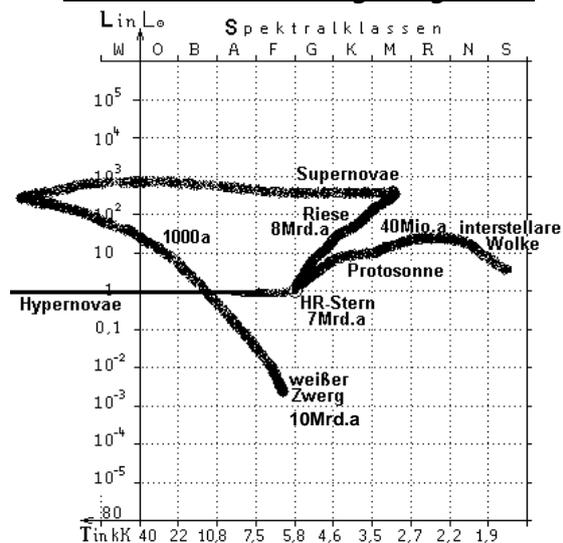
Ü3: Tragen Sie die Sterne in ein HRD ein und ermitteln Sie die fehlenden Werte:

★	Spek.kl.	T in kK	$P_{Str} = L$	abs.Hell. M	Besetzungsgebiet	Farbe
P	K3	4,2	0,7	6	HR	orange
Q	F8	6	0,007	11	wZ	gelb

Gesetze im HRD



HRD als Entwicklungsdiagramm



4.4 Entstehung und Entwicklung von Sternen und Planeten

1. Ausgangsstoff: interstellare Materie ($10^6 r_0, \bar{\rho} > 10^{-24} \text{g/cm}^3$, 99% Gas, Staub, ETs, Felder)

2. Ursache:

Gravitation (Massenanziehungskraft)

3. Vorgänge:

Kontraktion (Vereinigung, Atome)
 Konzentration (Verdichtung)
 Rotation (und Ordnung)

4. Wirkung:

Aufheizung

5. Erscheinung:

Kernreaktion (Hypernovae)

keine Kernreaktion

6.

Strahlung

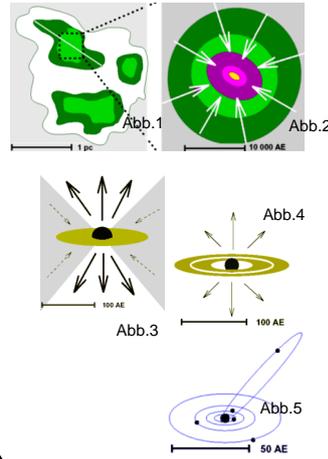


Abb. 1 Molekülwolkenkerne in Globule
 Abb. 2 Gravitationskollaps
 Abb. 3 Akkretionsscheibe mit Protostern
 Abb. 4 Vor-HR, Scheibentw.
 Abb. 5 HR-Stern mit Planetensystem

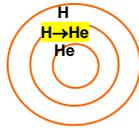
Sternentwicklung

1. Hauptreihenstadium
2. Riesen-/Überriesenstadium
3. Spätstadium

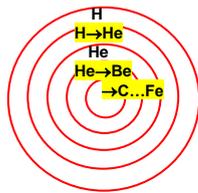
Braune Zwerge

Planetenenwicklung

zu 1. Kernfusion im Zentralgebiet (siehe Sonne) bis sich He konzentriert $\rightarrow p \uparrow + T \uparrow \rightarrow$ neue Kernfusion im Zentralgebiet, Schalenbrennen, Stern dehnt sich aus.



zu 2. Prozesse wiederholen sich und werden immer schneller mit Temp. bis 10^9K . Je nach Größe und damit T_{max} können chem. Elemente bis Fe dazukommen



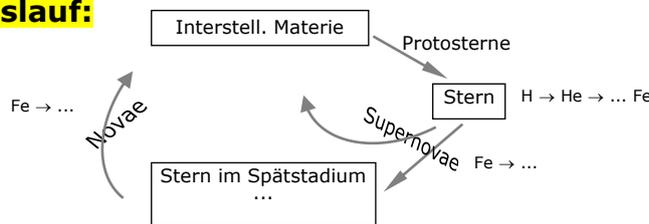
(in Akkretionsscheibe)
 Energie: - Kontraktion
 - Symmetriebrechung
 - Oxydationen
 - radioakt. Zerfall
 - elektr. Entladungen
 - Treibhauseffekt
 - Reibung, Einschläge ...
 Abkühlung: Weltall, Sternentfernung, Albedo, Vulkanismus, Einschläge mit ...

zu 3. bildet sich explosionsartig, wenn im Zentrum Prozesse stoppen \rightarrow Implosion \rightarrow Explosion (Supernovae), dabei werden die äußeren Hüllen abgesprengt und es bleibt ein Reststern:

- a) $m < 1,4 m_{\odot}$: weiße Zwerge
- b) $1,4 - 3 m_{\odot}$: Neutronensterne (Pulsare)
 $E_{\text{rot}} \rightarrow E_{\text{mech}} + E_{\text{el}} \rightarrow$ alle Strahlungsarten
 $T_{\text{rot}} < 1 \text{s}$ (Radiosterne), $d \approx 20 \text{km}$
- c) $m > 3 m_{\odot}$: schwarze Löcher
 F_{χ} so hoch, dass kein Licht den Stern verlässt, Superstern, der andere und Materie frisst, liegen meist im Zentrum von Galaxien

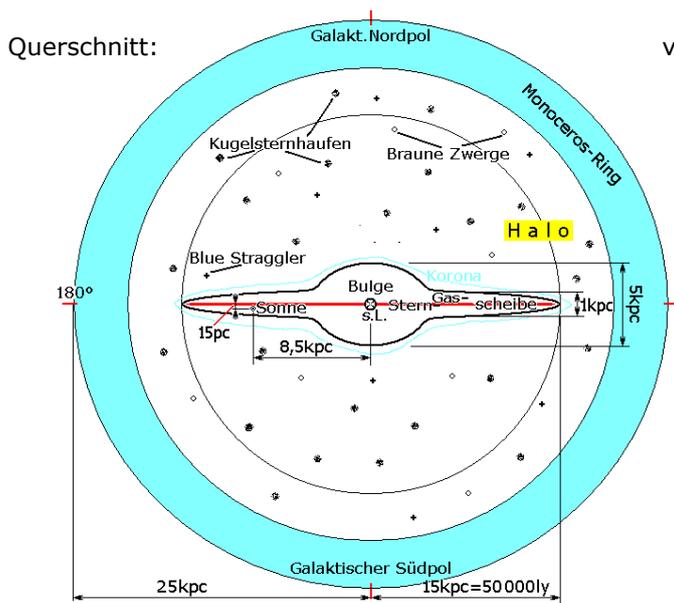
siehe HRD oben

Der Materiekreislauf:

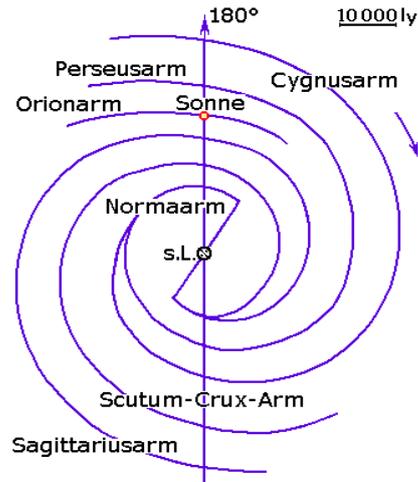


4.5 Die Milchstraße – unsere Galaxie

-Balkenspiralgalaxie vom Typ SBc mit $3 \cdot 10^{11}$ \star e und $m = 1,9 \cdot 10^{12} \cdot m_{\odot}$
 davon 50% dunkle Materie, 1% interstellare Materie, 50% Zentralgebiet,
 -Rotation um massives s.L. (Sagittarius A und B | Schütze),
 weitere über 10 000 s.L. kreisen darum mit $r < 70 \text{ ly}$

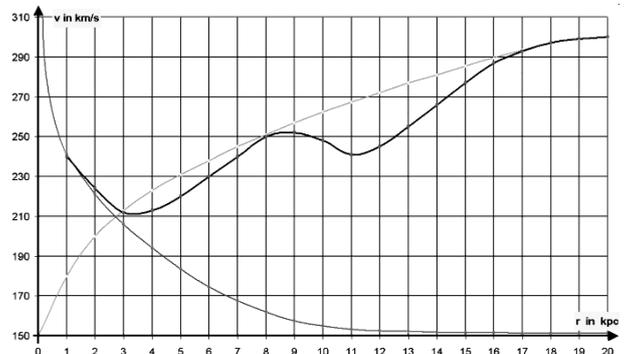


von oben:



Gruppierungen: Kugelsternhaufen (150/Halo) $\cdot 10^8$ Sterne
 Offene Sternhaufen (1800/ Scheibe) $\cdot 10^6$ Sterne
 Sternassoziationen (1000/ Zentralg.) $\cdot 10^5$ Sterne
 Einzelsterne $2 \cdot 10^{11}$ Sterne

Differentielle Rotation: anders als bei der Sonne auch keine monotone Geschwindigkeitsänderung



Ü: $t_0 = 2,4 \cdot 10^8 \text{ a}$

Lös.: $v = s/t = u/T$

$$\text{ges.: } v = \frac{8,5 \cdot 3,086 \cdot 10^{16} \text{ km} \cdot 2\pi}{2,4 \cdot 10^8 \cdot 365,2422 \cdot 24 \text{ h}} = 785\,000 \text{ km/h} = 220 \text{ km/s}$$

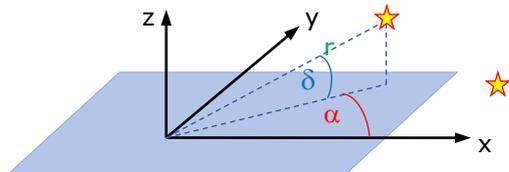
Bem.: Sonne pendelt um die galaktischen Ebene $\pm 15 \text{ pc}$, letzter Durchgang 21.12.2012

4.6 Entfernungsmessung zwischen 2 Sternen

Tab.4.2.2 + 1.4.2

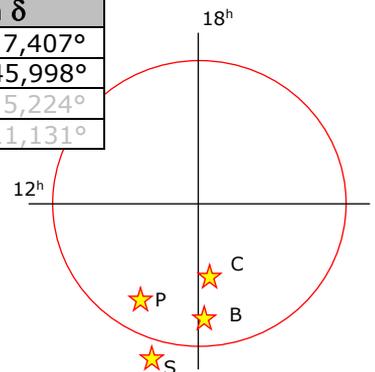
Stern	r in pc	Rektaszension α			Deklination δ	
Beteigeuze	160	$5^{\text{h}}55'10''$	$= 5,919^{\text{h}}$	$= 88,79^{\circ}$	$7^{\circ}24'24''$	$= 7,407^{\circ}$
Capella	13	$5^{\text{h}}16'41''$	$= 5,278^{\text{h}}$	$= 79,17^{\circ}$	$45^{\circ}59'51''$	$= 45,998^{\circ}$
Prokyon	3,5	$7^{\text{h}}39'18''$		$114,825^{\circ}$	$5^{\circ}13'28''$	$5,224^{\circ}$
Spika	80	$13^{\text{h}}15'11''$		$201,295^{\circ}$	$-11^{\circ}9'40''$	$-11,131^{\circ}$

ges.: \overline{BC} Polarkoordinaten $\Delta\alpha = 9,62^{\circ}$ $\Delta\delta = 38,59^{\circ}$ kartesische Koordinaten



$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos\delta \cdot \cos\alpha \\ y &= r \cdot \cos\delta \cdot \sin\alpha \\ z &= r \cdot \sin\delta \\ r &= \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(x,y,z) &= (3,3502 | 158,630 | 20,6252) \\ C &= (1,6968 | 8,8701 | 9,3510) \\ \overline{BC} &= 150,2 \text{ pc} \end{aligned}$$



5. Sterne und Sternsysteme

Sternpopulationen /-gruppen

1. Extreme Population I [O-, B-Sterne, δ -Cepheiden, Überriesen, offene Sternhaufen, int. Mat.]
2. ältere Population I [A-Sterne, Riesen, Sterne mit starken Metalllinien]
3. Scheibenpopulation [Novae, Planetare Nebel, helle rote Riesen, Zentrumssterne]
4. Zwischenpopulation II [Mirasterne, Schnellläufer (>30 km/s, \perp zur gal. Ebene)]
5. Halopopulation II [Kugelsternhaufen, RR-Lyrae-Sterne, Unterzwerge]

Gesetze von 1. bis 5. :

- zunehmende Abstände \uparrow
- geringere Häufigkeiten \downarrow
- zunehmendes Alter \uparrow (100 Mio. - 13 Mrd. a)
- von links nach rechts im HRD $\rightarrow \Rightarrow$ Farben, SPK
- vom Zentrum der Galaxie weg
- abnehmender Anteil schwerer Elemente \downarrow

Beachte: Die mittlere Dichte ist in den kaum leuchtenden Bereichen zwischen den Spiralarmen etwa gleich (dunkle Materie, Sternentwicklungsstadien).

Interstellare Materie (versch. Klassifizierungen)

1. Dunkelwolken (*Staubwolken*, $T \approx 10K$)
 - a) Absorptionsnebel [Pferdekopfnebel/ Staub, Elementarteilchen],
 - b) Molekülwolken (/ molekularer H, org. Moleküle)
2. Diffuse Nebel
 - a) Emissionsnebel [Orionnebel / selbstl. Gasnebel],
 - b) Reflexionsnebel [Antaresn./ Staub]
 - c) HII-Regionen [/ in Sternnähe]
3. Planetare Nebel [Helixnebel / expand. Gasschalen]
4. Teilchenstrahlung

Veränderliche Sterne

- a) Bedeckungs- und Rotationsveränderliche: Doppelsternsysteme [Algol; Chara]
- b) Pulsationsveränderliche Sterne: instabile Riesen mit $\Delta T = 500K$ vor Supernovae

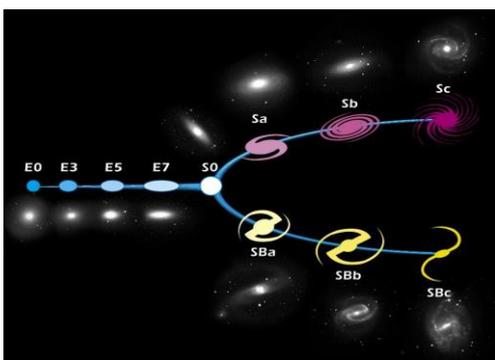
	1. RR-Lyrae-Sterne	2. Mira-Sterne	3. δ -Cepheiden
Δt	0,1 - 1,5d, kurzperiodisch	80 - 1000d, langperiodisch	1- 80d
Δm	0,5 ^m - 2 ^m	3 ^m - 5 ^m	0,1 ^m - 2 ^m
Δr	-	bis 50%	4-20%
SPK	A-F, weiß	K-R, rot	F-G, gelb
m in m_{\odot}	0,6	1	9
Alter	alte	Riesen	junge

Gesetze (3):

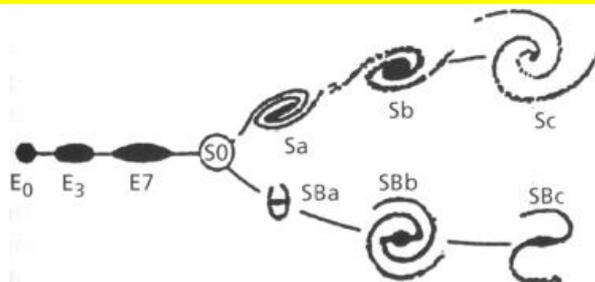
im HRD: 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2, Δt : 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2, m: 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3
 Alter: 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1, Galaxie: 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1, Δm : 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2,

c) Eruptivveränderliche

1. Flare-Sterne: kurze Strahlungsausbrüche bei roten Zwergsternen [UV Ceti], $\Delta m = 2^m$
2. Novae: Zwergstern in engem Doppelsternsystem zieht unregelmäßig Materie des aufblähenden Riesen [H_2] ab u. es kommt zu äußerer Kernfusion, $\Delta m = 11^m$
3. Supernovae: Gravitationskollaps nach dem Ende des Kernbrennens, im Zentralgeb.: Abkühlung \Rightarrow Implosion $\Rightarrow p \uparrow \Rightarrow T \uparrow$ [bis $10^{10}K$, Kernfusionen für Elemente nach Fe] \Rightarrow Explosion mit $\Delta m = 19^m$
4. Hypernovae: entstehende massereiche Sterne [m $\approx 100m_{\odot}$] senden kurzzeitig v.a. γ -Blitze mit $\Delta m = 20^m$ aus / Superjet



Galaxien



größte Galaxie: im Haufen Abell2029/Jungfrau, $r = 1,07 \cdot 10^9 ly$, $d = 5,6 \cdot 10^6 ly$

hellste Galaxie: IRAS F10214+4724, $r = 11,6 \cdot 10^9 \text{ ly}$, $3 \cdot 10^{14} L_{\odot}$
 entfernteste G.: 4C41.17(Radiog.), $r = 12,8 \cdot 10^9 \text{ ly}$

Arten:	Anteil	Einteilung	m in m_{\odot}	M	Bemerkungen
a) elliptische Galaxien	14,2 %	E0 - E7	$10^6 - 10^{13}$	$-22^m - -10^m$	geri.Rot., kaum int.Mat.
b) Übergangssysteme	13,2 %	SO			zw. E7 und Sa/SBa
c) Spiralgalaxien	58,5 %	Sa, Sb, Sc	$10^{10} - 10^{12}$	$-21^m - -18^m$	
d) Balkenspiralgalaxien	11,3 %	SBa, SBb, SBc			
e) Irreguläre Galaxien	2,8 %	Ir	$10^9 - 10^{11}$	$-19^m - -15^m$	viel int.Mat., wenig Sterne

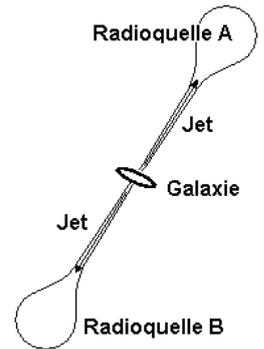
Bsp.: a)Fornax, Draco, Leo I, b)M102, NGC4459 c)Andromedanebel M31/weitestes sichtbares Objekt, Sombreronebel M104, Dreiecksnebel M33, d)Milchstraße, M109 e)Magellanische Wolken, NGC 6822, IC1613

Gesetze: abnehmendes Alter von a bis e, Häufigkeiten: c a b d e

aktive Galaxien (3)

... junge Galaxien, die Hertzsche Wellen und Materieströme/Jets aussenden

1.Radiogalaxien: extreme Radiostrahlung, ellip. Riesensysteme, Materieauswurf/Jet vom Zentrum \perp zur gallakt. Ebene, 2 symmetr. Radioquellen an den Jet-Enden/ Radioblasen, bis 20Mio.ly entfernt, [Cygnus A mit Radioquelle NGC 6251]



2.Quasare: sehr junge Galaxien mit gigantischen sL, irregul., entfernteste u. hellste Objekte, bis $10^9 m_{\odot}$, Jet mit $80000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, [3C273]
 hellster Quasar : [HS1946+7658/Antennengal.], $r=12,4 \cdot 10^9 \text{ ly}$, $1,5 \cdot 10^{15} L$

3.Seyfert-Galaxien: aktive irreguläre bis Spiralgalaxien, 1%, schwächere Quasare, [Circinusgalaxie]

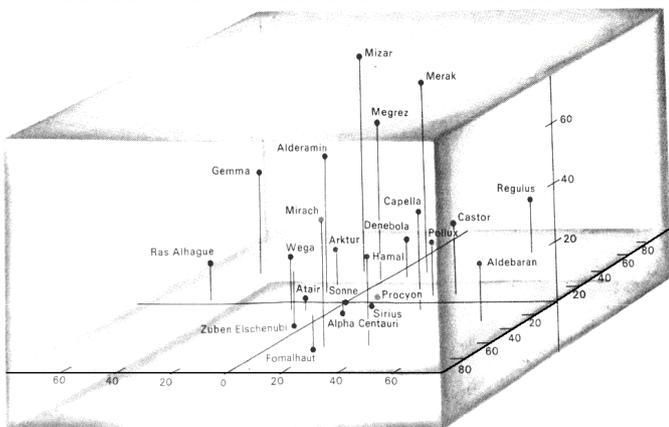
4.Lacertae-Galaxien aus Übergangstypen mit lichtschwachem Kern, kontinuierlichem Spektrum ohne Linien!, nach 2. am hellsten, starke nichtperiod. ΔL , [BL Lacertae]

5.Blazare: ellipt. Systeme, die aus Verschmelzung junger Spiralg. entstanden, senden v.a. χ -Strahlen von Materieblasen + Radiostrahlung aus aktivem, kompaktem Kern aus, strahlungsaktivste Objekte des Kosmos [Markarian501, sL: 3Mrd. m_{\odot}]

Alter: 1 4 3 5 2 (abnehmend)

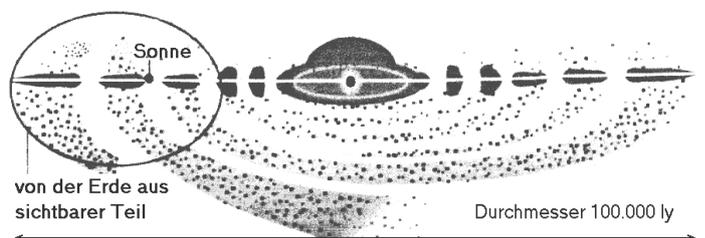
Großräumige Strukturen im Weltraum* nur zur Info

Sterne der Sonnenumgebung <100 ly



Galaktisches System (siehe Einführung)

unsere Milchstraße mit ca. 200 Mrd. Sternen



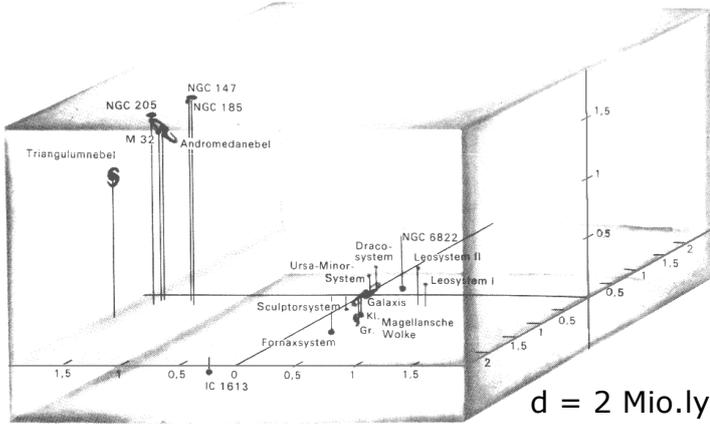
1. unsere lokale Gruppe

(Andromedasytem, 2 - 10 Galaxien, 0,1 - 1 Mio.ly)

LS: Große und Kleine Magellansche Wolke (ESO 56-115/NGC 292), Sagittarius-Zwerggalaxie, Sculptor-ZG, Canis-Major-ZG, Fornax-ZG, Draco-ZG, Carina-ZG, Phoenix-ZG, Ursa-Minor-ZG und die Zwerggalaxien Leo I, II und III (3)

2. Galaxiengruppe

(Lokale Gruppe; 3 – 100 Gal., 0,5 – 5 Mio.ly)



unsere Gruppe:

Milchstraßensystem, Andromedasystem, Dreiecksnebel, Barnards Galaxie, Pegasus-ZG, Wolf-Lundmark-Melotte, IC 10, IC 1613, NGC 3109, Sextans A und B, die Antlia-ZG

3. Galaxienhaufen

(Virgohaufen, 100 - 2000 Gal., 2 - 20 Mio.ly)

Galaxien im Virgohaufen heller als 10,5 Größenklassen:

NGC4192=M98, NGC4216, NGC4254=M99, NGC4303=M61, NGC4321=M100, NGC4365, NGC4374=M84, NGC4382=M85, NGC4406=M86, NGC4429, NGC4438, NGC4442, NGC4450, NGC4459, NGC4472=M49, NGC4473, NGC4477, NGC4486=M87, NGC4501=M88, NGC4526, NGC4535, NGC4548=M91, NGC4552=M89, NGC4569=M90, NGC4579=M58, NGC4596, NGC4621=M59, NGC4654=IC3708, NGC4649=M60, NGC4762

4. Superhaufen

(Virgo-Superhaufen[100], Große Mauer, 10 - 100 Haufen, 10 - 1000 Mio.ly)

Riesendisc, Wabenstruktur (Blasen, Filamente), auf Ebenen (Schalen), SH-Abstände 500-1000 Mio.ly

5. Metagalaxis

... überblickbarer Teil des Universums, Kugelradius $1,4 \cdot 10^{10}$ Lj, Alter $1,4 \cdot 10^{10}$ Jahre, 10^{11} Galaxien, $m = 10^{53}$ kg, $T = 2,725$ K = -270,425 °C

6. Astron. Zeitmessung: WOZ und Zeitgleichung

MEZ ... Mitteleuropäische Zeit (Görlitz: $\lambda = 15^\circ$ ö.L. = -15°)

MOZ ... mittlere Ortszeit ist die histor. Uhrzeit eines Ortes bezogen auf die Sonnenkulmination im Jahresdurchschnitt. Erst 1884 wurde die Erde in Zeitzonen eingeteilt, so dass jetzt die Uhrzeit korrigiert werden muss, um MOZ bezogen auf die geo. Länge zu ermitteln.

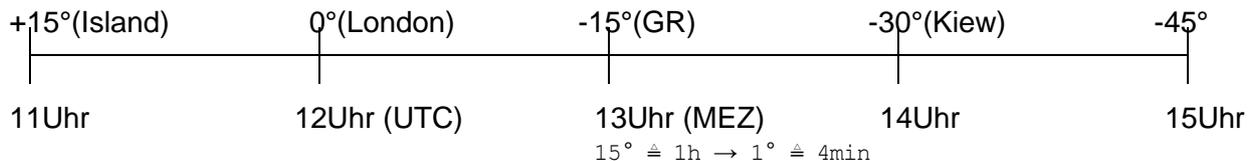
$$\text{MOZ} = \text{UTC} - t_\lambda = \text{MEZ} - 1\text{h} - t_\lambda, \quad t_\lambda = 1\text{h}/15^\circ \cdot \lambda$$

Bsp. HY: $\text{MEZ} = 17$ Uhr, $\lambda = -14,3^\circ$

Lös.: $t_\lambda = 1\text{h}/15^\circ \cdot (-14,3^\circ) = -0,953\text{h} = -57,2\text{min}$

UTC = 16 Uhr

MOZ = 16.00 Uhr - (- 0:57 h) = 16.57 Uhr



WOZ ... wahre Ortszeit

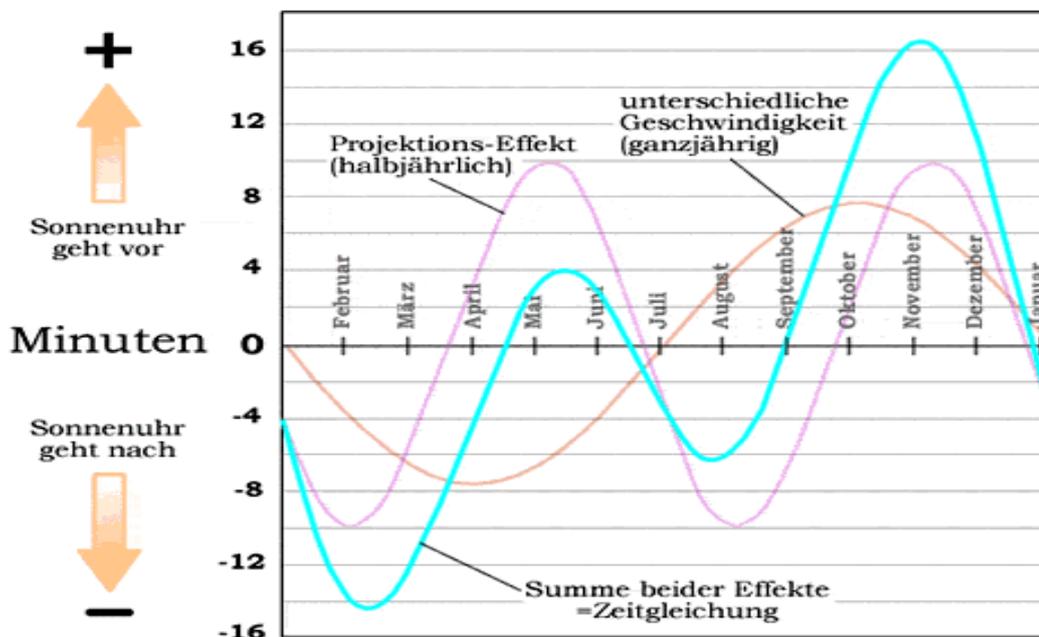
Die Tageslänge von 24h ist die Zeit von Sonnenkulmination zu Sonnenkulmination, wenn sich die Erde mit konstanter Bahngeschwindigkeit bewegt. Dies entspricht der MOZ. Da sich jedoch die Erde auf ihrer Bahn unterschiedlich schnell bewegt (2.Kepl.Gesetz) u. die Erdachse gegen die Ekliptik geneigt ist, ergeben sich im Laufe des Jahres Korrekturwerte für die Bestimmung der WOZ, dies wird in der **Zeitgleichung Δt** dargestellt:

$$\Delta t = \text{WOZ} - \text{MOZ}$$

umgestellt:

$$\text{WOZ} = \text{MOZ} + \Delta t = \text{UTC} - t_\lambda + \Delta t$$

Ist $\Delta t < 0$, so geht die wahre Sonne verspätet durch den Meridian, eine (einfache) Sonnenuhr geht nach, ist $\Delta t > 0$, so geht die wahre Sonne zu früh durch den Meridian, eine Sonnenuhr geht vor.



Ü1: ges.: WOZ am 1.Mai Erfurt ($\lambda = -11^\circ$) um 13.30Uhr MEZ
 Lös.: UTC = 12:30 Uhr, MOZ = MEZ - 4 · 4min = 13.14Uhr
 $\Delta t = 3\text{min}$, WOZ = MOZ + $\Delta t = \underline{13.17\text{Uhr}}$

Modellfunktion zu Δt * nur zur Info

$$\Delta t = a \sin\left(\frac{360^\circ}{365,25}(t-t_1)\right) + b \sin\left(2 \cdot \frac{360^\circ}{365,25}(t-t_2)\right) \text{ min}$$

mit $a = 8$, $b = 10$, $t_1 = 185$ (Aphel am 4.Juli), $t_2 = 79$ (Frühlingsanfang am 21.März)
 aus Ellipse aus Achsneigung

Bsp. 21.März $t = 79$

$$\begin{aligned} \Delta t = \text{WOZ} - \text{MOZ} &= 8 \cdot \sin(360^\circ \cdot -106:365,25) + 10 \cdot \sin(720^\circ \cdot 0:365,25) \\ &= 8 \cdot \sin(-104,48^\circ) + 0 \\ &= \underline{\underline{-7,746 \text{ min} = -7:44,8\text{min}}} \end{aligned}$$

Bsp. 1.Mai $t = 121$

$$\begin{aligned} \Delta t &= 8 \cdot \sin(360^\circ \cdot -64:365,25) + 10 \cdot \sin(720^\circ \cdot 42:365,25) \\ &= -8 \cdot \sin(63,06^\circ) + 10 \cdot \sin(82,79^\circ) \\ &= -8 \cdot 0,891 + 10 \cdot 0,992 \\ &= \underline{\underline{2,792 \text{ min} = 2:47,5\text{min}}} \end{aligned}$$

Sonnenaufgang/ -kulmination/ -untergang

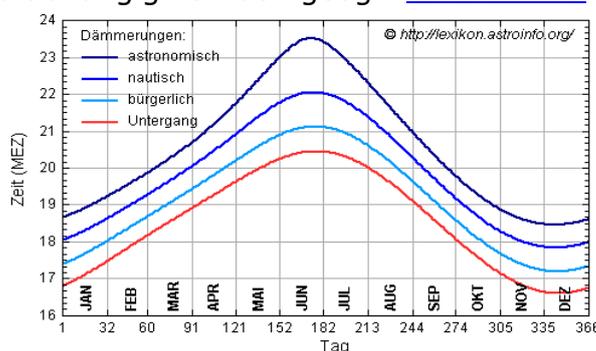
richten sich nach der WOZ, in unseren Breiten gilt:

Sonnenuntergang	SU	3'-4'		Horizont $a = 0^\circ$
bürgerl. Dämmerung	bD	$\approx 30'$		6°
nautische Dämmerung	nD	$\approx 60'$		12°
astron. Dämmerung	aD	$\approx 90'$		18°

Bsp. aus **Ü1** SU aus DSK : 19.10Uhr MEZ (20.10Uhr MESZ)

18.57Uhr WOZ; bD = 19.27Uhr; nD = 19.57Uhr; aD = 20.27Uhr

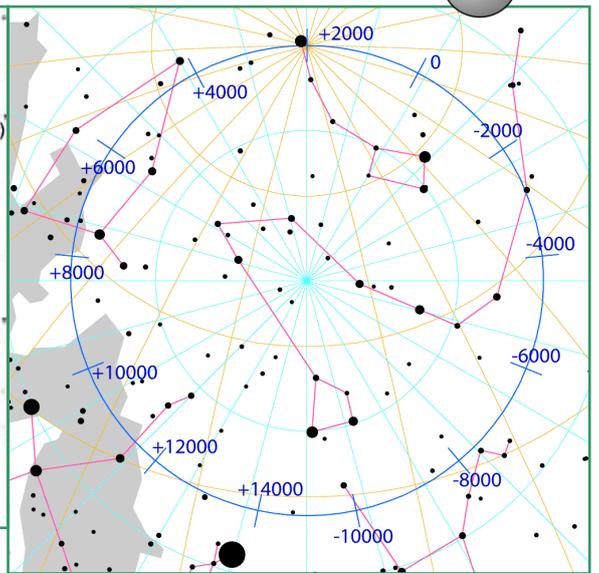
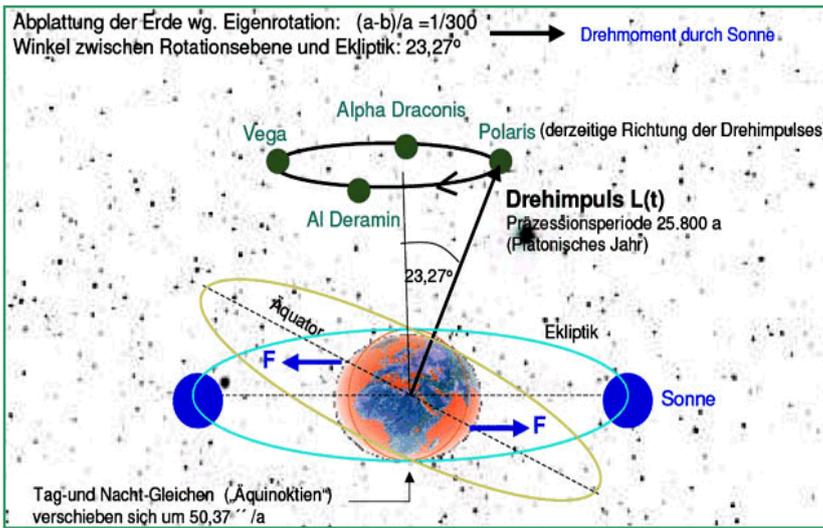
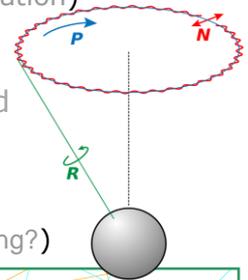
Die genauen Werte schwanken im Jahreslauf und sind abhängig von den geogr. [Koordinaten](#).



Warum ist in Afrika die Dämmerung wesentlich kürzer? Refraktion, Aberation, Szintillation ...?

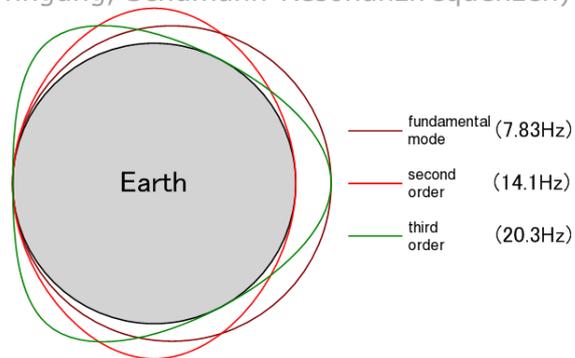
Die Pendelbewegungen der Erde nur zur Info

1. Ekliptikebene schneidet Äquatorebene zum Frühlings-/Herbstpunkt im Laufe eines Jahres, d.h. Erde ist 1/2 Jahr oberhalb und 1/2 Jahr unterhalb der Ekliptikebene (Klasse11).
2. **Nutation** ... period. Richtungsänderung der Erdachse durch Gezeitenkräfte von Sonne und Mond
3. **Die Präzession** ... Kreisbewegung der Erdachse um Pol der Ekliptik (+ Nutation)
 - aktuelle Richtung: zum Polarstern
 - ein Umlauf = Platonisches Jahr = 25 920a = 12 · 2160a
 - ca. alle 2160a verschiebt sich der Frühlingspunkt um 30° bzw. ein Sternbild aktuell seit 1n.Chr. Fischezeitalter → Wassermannzeitalter (Zeitalter des Löwen: Sphinx?)
 - Sumer: 1sar = 3600a = 2160a · $\frac{6}{10}$ (3600:2160 = 10:6; 10-6-Zahlensys.: 10-60-600-3600-...3600² = 12 960 000 Big Bang?)



4. Schwankungen der Abplattung

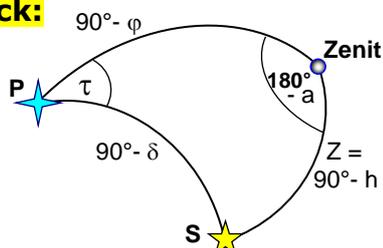
- durch Mond- und Sonnengravitation (schwankende Entfernungen, Addition von F_x)
- innere Kräfte (Erdschwingung, Schumann-Resonanzfrequenzen)



Die Sternzeit:

Sonnentag	$\alpha > 360^\circ \approx 24h (\pm 30s / 2.Kepl. Gesetz / Verschiebung \Delta t)$
mittl. Sonnentag d	$\alpha > 360^\circ = 24h$
Sterntag d_*	$\alpha = 360^\circ = 23h 56,1min$
Sonnenjahr (tropisches Jahr)	$a = 365,2422 d$
Sternenjahr (siderisches Jahr)	$a_s = 365,2564 d \dots gl. Position bzgl. Fixstern + Präzession$
	$= a_* = 366,2422 d_*$
Sternzeit	$t_* = d_* \cdot n \quad n \dots Tag des Jahres$

Nautisches Dreieck:



h ... Höhe des Sterns, a ... Azimut des Sterns,
 Z ... Zenitdistanz, P ... Polarstern,
 tau ... Stundenwinkel des Sterns,
 delta ... Deklination des Sterns,
 alpha ... Rektaszension des Sterns
 $t_* = \tau + \alpha$

Kosmologie

... Teil der Astrophysik, der sich mit der Gesamtheit des Kosmos befasst

Kosmologisches Prinzip: Aus bisherigen Erkenntnissen folgt, dass kein Pkt. im All in besonderer Weise ausgezeichnet ist (homogen) und der Kosmos in allen Richtungen gleich ist (isotrop).

weitere Eigenschaften: _____

1. In der Summe aller Galaxien u. außergal. Systeme bewegen sich diese auseinander. Die entferntesten bewegen sich am schnellsten voneinander weg. (Nachweis: Rotverschiebung)
 2. Rückrechnung ergibt 13,6 Mrd. Jahre: alles in einem Pkt. → Urknall
 3. Blick in die Vergangenheit des Universums durch Laufzeit des Lichtes;
Quasare/Blazare sind älteste Objekte
 4. Sichtbarkeitsgrenze = Welthorizont; - bei 13,6 Mrd. Lj entfernen sich die Objekte mit c ;
- bei 13,6 Mrd. Lj ist das Universum noch undurchsichtig
 5. Belege für Urknall-Theorie: kosm. Hintergrundstrahlung (3K-Strhlg.) aus der Frühzeit und H-Häufigkeit im All
 6. Expansion des Alls ohne bevorzugten Punkt; Modell: 4D-Welt auf Kugeloberfläche
 7. Es gilt: $v = H \cdot r$, v ... Fluchtgeschwindigkeit, H ... Hubble Konstante $74(\pm 3) \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$
 r ... Entfernung eines Objektes
- Ü1: Cygnus A geg.: $r = 5,6 \cdot 10^8 \text{ ly}$ (171,7 Mpc), $c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ km/s}$
 Ü2: $v = c$ Ü3: $v = 0,2 \cdot c$ Ü4: $r = 10^7 \text{ ly}$
 Ü5: Ein Sternsystem hat eine Rotverschiebung von $\Delta\lambda = 25 \text{ nm}$ der 100 nm-Linie des Wasserstoffs (UV-Licht). Wie weit ist er entfernt? ($v = 0,38 \cdot c$, ...)

Urknall „Big Bang“

1. Planck-Ära - zeitlos - 10^{95} g/cm^3 Dichte - 10^{-33} cm Radius - 10^{32} K - eine Urkraft 2. GUT-Ära - 10^{-43} s - Gravitation als eigene Grundkraft - $E \Leftrightarrow mc^2$ - Materieüberschuss 3. Inflationäres Universum - 10^{-36} s , 10^{27} K - starke Wechselwirkungskraft wird eigenständig - Universum $\approx 10 \text{ cm}$	4. Quark-Ära - 10^{-33} s , 10^{25} K - Quarks und Antiquarks 5. Grundkräfte - 10^{-12} s , 10^{16} K - Gravitation, Starke Wechselwirkung, Elektromagn. u. Schwache Wechselwg. 6. Hadronen-Ära - Hadronen (schwere Zwischeteilchen aus Quarks) → p^+ , p^- , n , n^- + Neutrinos - 10^{-6} s , 10^{13} K 7. Leptonen-Ära - 10^{-4} bis 1 s , 10^{12} bis 10^{10} K - e^+ , e^- entstehen - n^- u. e^+ werden vernichtet	8. Nukleosynthese - 10 s bis 5 min , 10^9 K - H-Plasmakerne 9. Strahlungs-Ära - 100.000 a , 10.000 K - Kernfusionen zu He, Li, Be - stabile Atomkerne 10. Materie-Ära - 400.000 a , 3.000 K - All wird durchsichtig - Sternentstehung - Hintergrundstrahlung entkoppelt 11. Strukturierung des Alls - 10^6 a - Galaxien und and. Großräumige Strukturen mit phys. Eigenschaften
12. Jetztzeitalter - $1,36 \cdot 10^{10} \text{ a}$, $2,73 \text{ K}$ - 3K-Hintergrundstrahlung	13. Zukunftsetappen - 10^{12} a , 1 K , ☆ e gehen aus - 10^{16} a , $0,01 \text{ K}$, Planeten fest → Auflösung - 10^{19} a , 10^{-5} K , Galaxien → Schwarze Löcher - 10^{20} a , Planeten → letzte ☆	- 10^{32} a , p-Zerfall in Strahlung - 10^{40} a , 10^{-15} K - 10^{65} a , sL verdampfen ... Friedmann'sche Weltmodelle

Friedmannsche Weltmodelle

Über die Zukunft des Universums, wenn

1. Gesamtmasse m_u , Dichte und E des Universums einen kritischen Wert X erreichen.
2. Dabei sind dunkle Materie, Neutrinos, sL, weiße Löcher, Felder, ... und
3. äußere „Kräfte“ (Parallel- und Antiwelten) entscheidend.
4. dynamische Universum gegen das statische von Einstein (nach der Relativitätstheorie)
 - Ausdehnung, wenn X nicht erreicht wird
 - Stillstand, wenn X genau erreicht wird
 - Konzentration, wenn X überschritten wird