

## Astronomie, Himmelskörper

### Sonne, Stern, Zentralgestirn

Ein Stern ist ein kugelförmiger Körper, welcher aus Gas (H, He) besteht und in dessen Inneren durch Kernfusion Energie freigesetzt wird.

### Planet

Ein Planet ist ein kugelförmiger Himmelskörper, welcher sich entsprechend den Keplerschen Gesetzen auf einer elliptischen Bahn um ein Zentralgestirn, eine Sonne, bewegt.

### Mond, Trabant

Ein Mond ist ein im Allgemeinen kugelförmiger Himmelskörper, welcher sich um einen Planeten bewegt. Er reflektiert das Licht des Zentralgestirns.

### Sonnensystem, Planetensystem

Das Sonnensystem ist die Gesamtheit der Körper, welche sich um ein Zentralgestirn bewegen, also Planeten, Monde, Kometen, usw. Das Sonnensystem umfasst den Raumbereich, in welchem Körper der Anziehungskraft des zentralen Sterns unterliegen.

☉ Sonne	♈ Widder
☿ Merkur	♉ Stier
♀ Venus	♊ Zwillinge
♁ Erde	♋ Krebs
♂ Mars	♌ Löwe
♃ Jupiter	♍ Jungfrau
♄ Saturn	♎ Waage
♅ Uranus	♏ Skorpion
♆ Neptun	♐ Schütze
♇ Pluto	♑ Steinbock
★ Stern	♒ Wassermann
♋ Konjunktion	♓ Fische
☐ Quadratur	
♁ Opposition	
△ Trigon	
♋ Sextil	
♈ Frühlingspunkt	
♊ aufsteigender Knoten	
♏ absteigender Knoten	
⊘ Durchmesser	
● Neumond	
☾ Erstes Viertel	
☉ Vollmond	
☾ Letztes Viertel	

## Astronomische Symbole

Die Abbildung zeigt astronomische Symbole für Objekte des Sonnensystems, für die zwölf Tierkreiszeichen und für besondere Stellungen der Planeten.

## Umlaufzeiten siderisch

Siderisch bedeutet auf das System der Sterne bezogen; so ist z.B. die siderische Umlaufzeit eines Planeten gleich der Umlaufzeit in Bezug auf ein mit dem Fixsternsystem fest verbundenes Koordinatensystem

## synodisch

Synodisch heißt der Zeitraum, der beim Umlauf eines Planeten um die Sonne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Konjunktionen (Oppositionen) des Planeten mit der Sonne liegt. Analog bezüglich des Mondes zur Erde.

## Astronomische Maßeinheiten

Astronomische Einheit  $1 \text{ AE} = 149,59787 \cdot 10^6 \text{ km}$

(AE = Abk. für "Astronomische Einheit" ; AU = Abk. für "astronomical unit", = AE)

Die Astronomische Einheit ist eine Entfernungsangabe für Entfernungen innerhalb des Sonnensystems; eine Astronomische Einheit ist die mittlere Entfernung Erde - Sonne also etwa 149,6 Millionen Kilometer.

Parsec  $1 \text{ pc} = 30,86 \cdot 10^{12} \text{ km} = 206265 \text{ AE}$

Lichtjahr  $1 \text{ ly} = 9,461 \cdot 10^{12} \text{ km} = 0,3067 \text{ pc} = 63275 \text{ AE}$

Das Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr im Vakuum zurücklegt.

## Astronomische Einheit-Bestimmung

1672 gelang es Giovanni Cassini während der Marsopposition durch Messung vom Mars am Morgenhimmel und am Abend eines Tages eine Winkeländerung von ca. 1/4 einer Bogenminute gegenüber den Fixsternen feststellen. Damit gelang es ihm die Entfernung Erde-Mars zu bestimmen.

Diese Bemühungen, die Entfernung des Mars während einer Opposition zu bestimmen hatten das Ziel, über das 3.Keplersche Gesetz den Wert der Astronomischen Einheit zu ermitteln.

Zusammen mit Richer konnte deshalb Cassini deshalb als erster einen zuverlässigen Wert für die Astronomische Einheit angeben.

Da die Umlaufzeiten  $U_1$  und  $U_2$  beider Planeten bekannt waren, fehlte zum Berechnen des Sonnenabstandes der Erde  $a_1$  nur noch der des Mars  $a_2$ . Dieser kann jedoch durch  $a_1$  und dem Abstand  $x$  zwischen Erde und Mars ausgedrückt werden:

$$a_2 = a_1 + x ; U_1 = 1 \text{ Jahr} , U_2 = 1,881 \text{ Jahre}$$

Durch Einsetzen in das 3.Keplersche Gesetz wird  $\sqrt[3]{(U_2^2 / U_1^2)} = a_1 / (a_1 + x)$

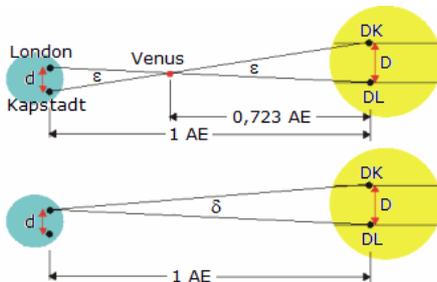
und mit den Umlaufzeiten von Mars und Erde  $1/1,52379 = a_1 / (a_1 + x) \dots a_1 = 1,9091525 x$

Die Astronomische Einheit ist also ca. das 1,91-fache der Entfernung Erde-Mars während einer Opposition.

Der von Cassini und Richer ermittelte Wert für eine Astronomische Einheit betrug 138,4 Millionen km. Die gemessene Entfernung  $x$  muss daher ca. 72,49 Millionen km betragen haben.

Genauere Ergebnisse ließen sich durch die Messung der Entfernung zur Venus erreichen, da ihr Abstand zur Erde geringer ist. 1769 wurde deshalb der Durchgang der Venus, auf Vorschlag Edmond Halleys, von 72 Stationen in drei Erdteilen beobachtet. Es ergab sich ein genauerer Wert für die astronomische Einheit 151,6 Millionen km.

Seit 1961 wird die Entfernung der Venus über die Zeit bestimmt, die ein Radarsignal von der Erde zur Venus und wieder zurück benötigt. Der 1961 für 1 AE gemessene Wert beträgt 149,5658 Millionen km. 1964 wurde die Astronomische Einheit von der International Astronomical Union (IAU) auf 149 600 000 km festgelegt.



### Venusdurchgang

Ein Venusdurchgang, d.h. das Vorbeilaufen der Venus vor der Sonne, ist ein seltenes und für die Astronomie wichtiges Ereignis. Halley schlug als erster vor, diesen Venusdurchgang zur Bestimmung der Länge der Astronomischen Einheit zu nutzen. Er ließ von zwei bekannten Orten - Kapstadt und London - auf der Erdoberfläche die Venusdurchgänge auf der Sonne genau bestimmen und wertete dann die entstandenen Messungen aus. Diese Messungen benötigten extrem genaue Zeitbestimmungen aus denen der Winkel  $\delta$  berechnet wird.

Dabei wusste Halley aus dem 3.Keplerschen Gesetz, dass die Entfernung der Venus von der Sonne 0,723 AE beträgt.

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ergibt sich

$$D : 0,723 \text{ AE} = d : 0,277 \text{ AE}$$

$$D = 0,723 \text{ AE} / 0,277 \text{ AE} \cdot d = 2,61 \cdot d$$

Mit der Entfernung Kapstadt-London  $d = 8500 \text{ km}$  wird damit auf der Sonne  $D = 22000 \text{ km}$ .

In einem zweiten Versuch bestimmte er den Winkel  $\delta$ , unter dem man die Distanz  $D$  der Venusdurchgänge von London aus sehen würde. Es ergibt sich ein Winkel  $\delta = 30''$ . Damit wird

$$\text{arc } \delta = D / 1 \text{ AE}, \quad 1 \text{ AE} = D / \text{arc } \delta$$

Damit erhält man  $1 \text{ AE} = 2,20 \cdot 10^7 \text{ m} / \text{arc } 30'' = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$

Allerdings waren verschiedene Messungen dieser Form bei den Venusdurchgängen 1761, 1769, 1874 und 1882 nicht befriedigend genau. Genauere Messungen ergaben sich 1930 mit dem Kleinplanet Eros, der 0,15 AE von der Erde entfernt war.

### Erde

dritter Planet des Sonnensystems

Mittlerer Sonnenabstand:  $1 \text{ AE} = 150000000 \text{ km}$

Durchmesser:  $12760 \text{ km}$ ; Äquator  $d = 12756 \text{ km}$

Masse:  $5,979 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Volumen:  $1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$

Dichte:  $5,518 \text{ g/cm}^3$

Mittlere Dichte nahe Oberfläche:  $2,6 \text{ g/cm}^3$

Oberflächentemperatur:  $-51$  bis  $48 \text{ }^\circ\text{C}$

Neigung der Erdachse (1970) =  $23^\circ 26' 35,5'' = 23,45^\circ$

(1980,0) =  $23^\circ 26' 30,8''$

Jährliche Abnahme =  $0,47''$

Fallbeschleunigung mittlere  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

am Äquator  $g = 9,78 \text{ m/s}^2$  am Pol  $g = 9,83 \text{ m/s}^2$

mittlerer Luftdruck in Meeresspiegelhöhe  $101,3 \text{ kPa}$

mittlere Geschwindigkeit in der Bahn  $29,785 \text{ km/s}$

Perihel am 4. Januar; Aphel am 4. Juli

Länge des Perihels  $102,83^\circ$

Bahnexzentrizität:  $0,016719$

Abplattung:  $0,003$

Albedo:  $0,36$

Entweichgeschwindigkeit  $11,18 \text{ km/s}$

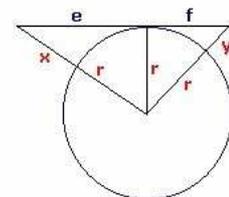
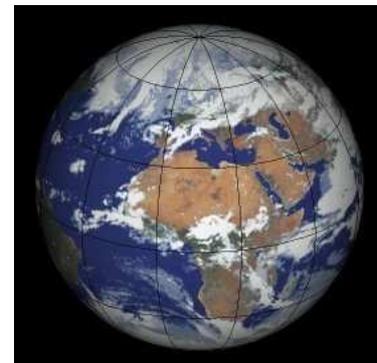
mittlere Oberflächentemperatur  $22 \text{ }^\circ\text{C}$

Solarkonstante  $S = 1,374 \text{ kW/m}^2$

Entweichgeschwindigkeit:  $11,18 \text{ km/s}$

Atmosphäre:  $\text{O}_2, \text{N}_2, \text{Ar}$

Siderische Rotationsdauer:  $23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$



### Sichtweite auf der Erde

Problem: Wie weit kann man von einem  $x$  Meter hohen Punkt einen  $y$  Meter hohen Punkt auf der Erdoberfläche noch sehen?

Aus der Skizze ergibt sich  $e^2 = (r + x)^2 - r^2$ ,  $e = \sqrt{2rx + x^2}$

Für den Erdradius von  $r = 6378 \text{ km}$  ist der Wert  $(x/1000)^2$  für Werte von  $x < 6000 \text{ m}$  vernachlässigbar. Damit ergibt sich

$$e \approx \sqrt{12756} \cdot \sqrt{(x / 1000)} \approx 113 \sqrt{(x / 1000)}$$

$$e + f \approx 113 (\sqrt{(x / 1000)} + \sqrt{(y / 1000)})$$

Von einem 250 m hohen Turm kann man damit einen anderen 40 m hohen Turm im ebenen Gelände etwa 79 km weit sehen.

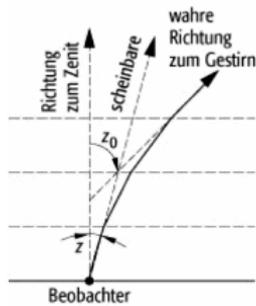
Für die exakte Länge des Kreisbogens ergibt sich

$$L = r (\arccos(r/(r+x)) + \arccos(r/(r+y)))$$

Sind die Objekte höchstens 6500 m hoch, so ist der Fehler der obigen Näherung immer kleiner als 0,1 %.

Polarlichter finden in Höhen von 100-150 km statt, mitunter auch 700 km über der Erde. Im Beispiel wird ein Polarlicht über Reykjavik in 450 km Höhe betrachtet. Mit der exakten Formel ergibt sich, dass diese Polarlichter noch in 2364 km zu sehen wären.

Da die Entfernung von Reykjavik nach Essen 2181 km beträgt, wäre dieses Schauspiel am Nachthimmel theoretisch auch in Essen sichtbar.



### Astronomische Refraktion

Durch die Erdatmosphäre verlaufende Lichtstrahlen werden durch die astronomische Refraktion in ihrem Weg gebrochen. Die Ursache besteht in der unterschiedlichen Dichte der unteren und höheren Luftschichten.

Die wahre Position der Sonne, der Planeten oder eines anderen Objektes am Sternhimmel wird angehoben.

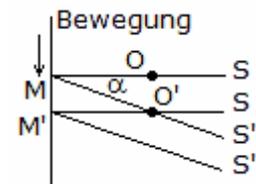
Ist  $z_b$  die beobachtete Zenitdistanz eines Objektes und  $n$  der Brechungsindex der Luft, so ergibt sich für die Refraktion  $R$

$$R = (n-1) \tan z_b$$

Für eine Zenitdistanz von  $10^\circ$  ist  $R = 0,18'$ , am Horizont ( $z_b = 90^\circ$ ) bereits  $R = 35'$ .

Da die scheinbaren Durchmesser von Mond und Sonne kleiner als  $35'$  sind, ist z.B. die Sonne in Wirklichkeit unter dem Horizont, wenn sie sichtbar gerade den Horizont berührt.

Die Refraktion ist Schwankungen unterworfen. Sie nimmt mit steigender Luftdichte zu, d.h. zum Beispiel bei abnehmender Temperatur.



### Aberration

Die Aberration ist eine durch die endliche Lichtgeschwindigkeit und die Bewegung der Erde hervorgerufene scheinbare Ortsveränderung der Sterne.

Das von einem Gestirn S auf das Objektiv O eines Fernrohres fallende Licht benötigt Zeit, um zu einem bestimmten Punkt, etwa dem Mittelpunkt M des Okulars zu gelangen.

Bewegt sich das Fernrohr infolge der Bewegung der Erde in einer Richtung, die

nicht mit der zum Licht zusammenfällt, so trifft das Licht nicht mehr den Punkt M, da dieser in der Laufzeit des Lichtes bis zum Punkt M' gewandert ist.

Soll jedoch immer der Mittelpunkt M getroffen werden, so muss sich das Licht längs der optischen Achse des Fernrohres bewegen. Um dies zu erreichen, muss das Fernrohr um den Winkel  $\alpha$  in Richtung auf die Bewegungsrichtung des Fernrohres gedreht werden, so dass das Objektiv des Fernrohres schon auf den Punkt O' zu liegen kommt, wenn der Mittelpunkt des Okulars noch in M ist. Das Sternlicht scheint daher nicht mehr von S, sondern aus der Richtung S' zu kommen, die um den Aberrationswinkel  $\alpha$  zu der Bewegungsrichtung des Fernrohres hin verschoben ist.

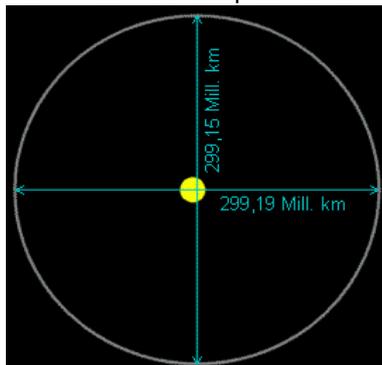
### Jährliche Aberration

Die jährliche Aberration wird durch den jährlichen Umlauf der Erde um die Sonne erzeugt. Der Aberrationswinkel schwankt im Laufe des Jahres zwischen einem Minimal- und Maximalwert. Der Mittelwert ist von der ekliptikalen Breite des Sterns abhängig. Für Sterne am Pol der Ekliptik ist der Wert konstant, gleich der

Aberrationskonstante =  $20,496''$

tägliche Aberration =  $0,32'' \cdot \cos \phi$ ,  $\phi$  ... geografische Breite

Für Sterne der Ekliptik entartet die Aberrationsellipse zu einer Geraden. Entdeckt wurde die jährliche Aberration 1728 von Bradley.



### Erdbahn

Die Bahn der Erde um die Sonne ist nach dem ersten Keplerschen Gesetz eine Ellipse. Sie ist jedoch fast kreisförmig. Aufrechterhalten wird die Bahn durch ein ständiges Gleichgewicht von Gravitation und Trägheit.

Die Erdbahn ist in der großen Achse nur 40000 km größer als in der kurzen. Im Bild ist die Größe der Sonne stark übertrieben; eigentlich dürfte sie nur 1,2 Pixel groß sein.

Mittlerer Abstand von Erde und Sonne  $149,6$  Millionen km  $\approx 12000 d_{\text{Erde}}$

Kleinster Abstand von Erde und Sonne 147,1 Millionen km, Anfang Januar  
 Größter Abstand von Erde und Sonne 152,1 Millionen km, Anfang Juli  
 Länge der Erdbahn über 940 Millionen km  
 Numerische Exzentrizität  $\varepsilon$  der Erdbahn 0,0167  
 Abstand der Sonne vom Mittelpunkt 2,5 Millionen km  
 Durchschnittliche Bahngeschwindigkeit der Erde 29,8 km/s  
 Durchschnittliche Gravitationskraft zwischen Erde und Sonne  $3,6 \cdot 10^{22}$  N (36 Trilliarden)

Die Jahreszeiten entstehen nicht durch unterschiedlichen Abstand zwischen Erde und Sonne!  
 Die Drehachse der Erde steht nicht senkrecht auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne. Sie ist um  $23,45^\circ$  geneigt.  
 Diese Neigung bleibt innerhalb von Jahrhunderten konstant, gleichgültig auf welchem Bahnabschnitt sich die Erde gerade befindet. Daher ist mitunter die Nord- und dann wieder die Südhalbkugel der Sonne zugeneigt.

### Nutation

Die Nutation wurde von dem britischen Astronomen James Bradley (1693-1762) entdeckt und stellt eine periodische Schwankung der Erdachse dar. Die Nutation wird hauptsächlich durch die Gravitations des Mondes erzeugt.  
 Zur Vereinfachung wird die Nutation in die Nutation in Länge  $\Delta\psi$  (parallel zur Ekliptik) und die Nutation in der Schiefe der Ekliptik  $\Delta\varepsilon$  (senkrecht zur Ekliptik) geteilt.  
 Ist JD der Julianische Tag, so wird für die Zeit T in Julianischen Jahrhunderten  

$$T = (\text{JD} - 2451545) / 36525$$
  
 Genügt für die Berechnung der Nutation eine Genauigkeit von  $0''.5$  in  $\Delta\psi$  und von  $0''.1$  in  $\Delta\varepsilon$ , so wird vereinfacht  

$$\Delta\psi = -17''.20 \sin \Omega - 1''.32 \sin (2L) - 0''.23 \sin (2L') + 0''.21 \sin (2\Omega)$$
  

$$\Delta\varepsilon = 9''.20 \cos \Omega + 0''.57 \cos (2L) + 0''.10 \cos (2L') - 0''.09 \cos (2\Omega)$$
  
 wobei gilt  

$$\Omega' = 125.04452^\circ - 1934.136261^\circ T$$
  

$$L = 280.4665^\circ + 36000.7698^\circ T$$
  

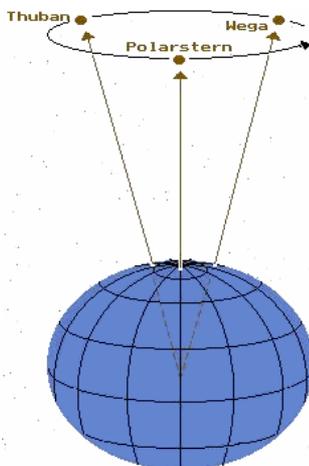
$$L' = 218.3165^\circ + 481267.8813^\circ T$$

### Schiefe der Ekliptik, Neigung der Erdachse

Die Schiefe der Ekliptik oder die Neigung der Rotationsachse der Erde ist der Winkel zwischen dem Himmelsäquator und der Ekliptik, der Bahnebene der Erde um die Sonne.  
 Es wird zwischen mittlerer und wahrer Schiefe der Ekliptik unterschieden. Die wahre Schiefe wird durch die Nutation der Erdachse wesentlich beeinflusst.

Durch Lasker wurde eine Berechnungsvorschrift für die historische mittlere Schiefe angegeben. Ist U die Zeit gemessen in Einheiten von 10000 Julianischen Jahren bezüglich der Epoche J2000.0, dann gilt für die mittlere Schiefe  $\varepsilon_0$ :  

$$\varepsilon_0 = 23^\circ 26' 21''.448 - 4680''.93 U - 1.55 U^2 + 1999.25 U^3 - 51.38 U^4 - 249.67 U^5 - 39.05 U^6 + 7.12 U^7 + 27.87 U^8 + 5.79 U^9 + 2.45 U^{10}$$
  
 Zu beachten ist, dass diese Gleichung nur für  $|U| < 1$ , d.h. für die Jahre von 8000 v.u.Z. bis 12000 gültige Werte liefert.  
 Im Jahre -7530 war die Erdachsenneigung mit  $24^\circ 14' 07''$  maximal und wird um 12030 ein Minimum mit  $22^\circ 36' 41''$  erreichen. Gegenwärtig verläuft die Änderung der Schiefe nahezu linear.



### Präzession der Erdachse

Unter der Präzession der Erdachse versteht man eine langperiodische Lageänderung der Erdachse, die durch die Anziehungskräfte von Sonne und Mond auf die Erde verursacht wird.

Dieses Trudeln der Erdachse beschreibt in rund 26000 Jahren einen Vollkreis. Da die Erdachse damit ihre Lage ändert, zeigt der Nordpol während einer Kreisbewegung zu unterschiedlichen Sternen. So war von 5000 Jahren Thuban der Nordstern und Wega wird in ungefähr 12000 Jahren der Polarstern der Erde sein.  
 Die erste exakte Bestimmung der Präzession wurde durch Hipparchos von Nikaia durchgeführt.  
 Es gibt Hinweise, dass die Präzession eine Ursache für das Entstehen der Eiszeiten auf der Erde ist.  
 Nach heutigen Forschungen (2011) dauert ein vollständiger Präzessionsumlauf zwischen 25700 und 25800 Jahren. Dieser Zeitraum wird Präzessionsjahr oder Platonisches Jahr genannt.

Das im Zusammenhang mit der Präzession stehende Große Jahr (=  $1/2$  Präzessionsjahr), das auf einer Konjunktion der klassischen Planeten gründet, und mit dem Konzept der ewigen Rückkehr aller Dinge oder einem katastrophalen Ende der Welt zusammenhängt, ist eine Erfindung der Numerologen.

Schon Al-Biruni schrieb dazu: "Der einzige Grund dieses Thema zu studieren ist, um in der Lage zu sein, den vernünftigen Menschen davor zu warnen."

### Morgenweite, Abendweite

Unter der Morgenweite versteht man den am Horizont gemessenen Winkelabstand zwischen dem Aufgangspunkt eines Gestirns und dem Ostpunkt. Er hängt vom Standort des Beobachters und der Deklination des Himmelskörpers ab.

Heute wird der Begriff Morgenweite fast nur noch bei Sonne und Mond verwendet. An den Tagen der Tagundnachtgleiche ist die Morgenweite der Sonne 0°, während sie im Sommer bzw. Winter in Mitteleuropa um bis zu 45° links oder rechts des Ostpunktes liegt.

Ist der Sonnenaufgang südlich des Ostpunktes, spricht man von südlicher Morgenweite, andernfalls von nördlicher Morgenweite.

Mittelalterlichen Seefahrern diente die Morgenweite zur Berechnung der magnetischen Nadelabweichung vom geografischen Nordpol.

Analog wird die Abendweite als Abweichung vom Westpunkt definiert.

### Häufigkeit der Elemente in der Erdhülle

Anteil in Erdkruste + Lithosphäre + Atmosphäre + Hydrosphäre + Biosphäre

	Elemente	Symbol	Massenanteil %	Anzahl der bekannten Minerale
1	Sauerstoff	O	49,4	1221
2	Silizium	Si	25,8	377
3	Aluminium	Al	7,57	268
4	Eisen	Fe	4,70	170
5	Calcium	Ca	3,39	194
6	Natrium	Na	2,64	100
7	Kalium	K	2,40	43
8	Magnesium	Mg	1,94	105
9	Wasserstoff	H	0,88	798
10	Titan	Ti	0,41	30
11	Chlor	Cl	0,19	67
12	Phosphor	P	0,09	
13	Kohlenstoff	C	0,087	194
14	Mangan	Mn	0,085	
15	Schwefel	S	0,048	
16	Stickstoff	N	0,03	

### Sonne

Die Sonne ist der nächste Stern. Die Sonne ist ein typischer Stern der Hauptreihe - seine Masse, Größe, Oberflächentemperatur und chemische Zusammensetzung liegen etwa auf halbem Weg der Extreme, welche andere Sterne zeigen.

Mittlerer Erdabstand 149597893 km  
 Größter Erdabstand 152103000 km  
 Kleinster Erdabstand 147104000 km  
 Mittlerer scheinbarer Radius  $R' = 16'1,2'' = 0,267^\circ$   
 Horizontalparallaxe = 8,794"  
 Radius  $R = 6,958 \cdot 10^5 \text{ km} = 109 R_E$   
 Volumen  $V = 1,410 \cdot 10^{18} \text{ km}^3 = 1303600 V_E$   
 Masse  $m = 1,985 \cdot 10^{30} \text{ kg} = 332946 m_E$   
 Mittlere Dichte  $\rho = 1410 \text{ kg/m}^3 = 0,26 \rho_E$   
 Fallbeschleunigung an der Oberfläche  $g_s = 274 \text{ m/s}^2 = 27,9 g$   
 Entweichgeschwindigkeit = 617,5 km/s  
 Mittlere scheinbare Helligkeit =  $-26,^m8$   
 Leuchtkraft  $L = 3,861 \cdot 10^{23} \text{ kW}$   
 Oberflächentemperatur  $T = 5700 \text{ K}$   
 absolute Helligkeit =  $+4,^m83$   
 Spektralklasse G2 (Hauptreihe)  
 Leuchtkraftklasse V  
 Alter 4,5 Milliarden Jahre  
 Entfernung zum nächsten Stern (Proxima Centauri) = 4,27 ly  
 Entfernung zum Galaxiszentrum = 25000 ly  
 Umlaufzeit um das Galaxiszentrum 225 Millionen Jahre  
 Umlaufgeschwindigkeit = 220 km/s  
 Geschwindigkeit zum Sonnenapex = 19,5 km/s



## Sonnenfinsternis

Je nach Lage der Mondbahnknoten können zwei bis vier Sonnenfinsternisse im Jahr eintreten. Der Mond ist gerade so weit von der Erde entfernt, dass sein scheinbarer Durchmesser in dem scheinbaren Durchmesser der Sonne entspricht.

Da die Mondbahn gegen die Ekliptikebene geneigt ist, verfehlt der Mondschaten bei Neumond normalerweise die Erde und es kommt zu keiner Finsternis. Ebenso zieht der Mond bei Vollmond meistens ober- oder unterhalb des Erdschattens vorbei, weshalb keine Mondfinsternis gibt.

Kreuzt der Mond bei Neu- oder Vollmond die Erdbahnebene, d.h. in einem der beiden Knotenpunkte seiner Bahn steht, kommt es zu Finsternissen.

Da die Mondbahn elliptisch ist, ist der scheinbare Mond Durchmesser etwas kleiner als der scheinbare Sonnendurchmesser ist, wenn der Mond sich im erdfernen Teil seiner Bahn befindet, und etwas größer, wenn der Mond der Erde nahe steht. Damit erreicht der Kernschatten des Mondes die Erde nur, wenn der Mond erdnah ist.

## Finsternistypen

### partielle Sonnenfinsternis

Der Mond verdeckt die Sonnenscheibe teilweise. Der Beobachter steht im Halbschatten des Mondes, das Sichtbarkeitsgebiet auf der Erde ist typischerweise einige tausend km groß. Von einem bestimmten Standpunkt auf der Erde aus kann man durchschnittlich alle paar Jahre eine partielle Sonnenfinsternis beobachten.

### totale Sonnenfinsternis

Der Mond verdeckt die Sonnenscheibe für wenige Minuten vollständig. Der Beobachter steht im Kernschatten des Mondes. Die Sichtbarkeit der Totalität beschränkt sich auf einen bis zu 270 km breiten Streifen auf der Erde, den sogenannten Totalitätsbereich. Für einen bestimmten Ort auf der Erde tritt eine totale Sonnenfinsternis nur extrem selten ein. Außerhalb der Totalitätszone erscheint die Finsternis partiell.

### ringförmige Sonnenfinsternis

Wenn der Mond im erdfernen Teil seiner Bahn steht, kann er die Sonne nicht mehr komplett abdecken. Der Kernschatten des Mondes reicht nicht bis auf die Erdoberfläche. Selbst während der maximalen Phase bleibt für einen Beobachter auf der Zentrallinie ein ringförmiger Teil der Sonnenscheibe sichtbar. Außerhalb der Zentrallinie erscheint die Finsternis partiell.



### Kontaktzeiten einer Sonnenfinsternis

Bei einer Sonnenfinsternis werden die vier möglichen Kontaktzeiten berechnet.

#### 1. Kontakt:

Zu Beginn der Sonnenfinsternis berührt der Mond die Sonnenscheibe von außen. Der äußere Rand des Halbschattens passiert den Beobachtungsstandort, die partielle Phase der Sonnenfinsternis beginnt. Sekunden später sieht man eine kleine Delle in der sonst noch runden Sonne.



#### 2. Kontakt:

Bei einer totalen Sonnenfinsternis verschwindet die Sonne ganz hinter dem Mond. Die Länge der folgenden totalen Phase hängt davon ab, um wieviel der Mond größer als die Sonne erscheint.



#### 3. Kontakt:

Bei einer totalen Sonnenfinsternis wird wieder ein kleiner Teil der Sonne hinter dem Mond sichtbar. Die totale Sonnenfinsternis endet, die zweite partielle Phase der Sonnenfinsternis

beginnt.

#### 4. Kontakt:

Der Beobachtungsstandort tritt aus dem Halbschatten des Mondes. Die Finsternis endet.

Zum Beispiel erhält man für den Beobachtungsort Chemnitz und die Sonnenfinsternis vom 11. August 1999 die Ergebnisse:

Geografische Breite: 50,81°, Geografische Länge: 12,9°, Zeitzone bzgl. WT: 1h

11. August 1999 13:04:21 SZ total

Partielle Finsternis mit  $M = 0,94$  (0,93), Maximum um 10:41: 9 UT

1. Kontakt: 11. 8.1999 9: 20: 59 UT (MEZ +1 Stunde, MESZ +2 Stunden)

4. Kontakt: 11. 8.1999 12: 2: 2 UT (MEZ +1 Stunde, MESZ +2 Stunden)



### Zentrale Sonnenfinsternisse in Europa im 20./21. Jahrhundert

#### Datum Verlauf der Zentrallinie

#### Charakter

28.05.1900	Spanien, Algerien	total
30.08.1905	Spanien, Algerien	total
17.04.1912	W-Frankreich, N-Deutschland	ringf.-total-ringf.
21.08.1914	Norwegen, Schweden, Russland	total
08.04.1921	N-England, Norwegen	ringförmig

29.06.1927	England, Skandinavien	total
19.06.1936	Griechenland, Türkei	total
09.07.1945	Skandinavien, UdSSR	total
30.06.1954	Norwegen, Schweden, UdSSR	total
15.02.1961	F, I, Griechenland, Schw. Meer, UdSSR	total
22.09.1968	UdSSR	total
29.04.1976	Griechenland, Türkei	ringförmig
11.08.1999	S-England, F, D, A, Ungarn, Rumänien	total
03.10.2005	Spanien	ringförmig
29.03.2006	Türkei	total
20.03.2015	Atlantik vor England, Norwegen	total
12.08.2026	Spanien	total
02.08.2027	Gibraltar, Nordafrika	total ...
03.09.2081	Nordschweiz, Süddeutschland	total

Abbildung: Totalitätszone der von Thales von Milet 585 v.u.Z. vorausgesagten Sonnenfinsternis  
 Erste Vorhersage: Thales von Milet am 25.Mai 585 v.u.Z.  
 erste verzeichnete Finsternis: 22.10.2136 v.u.Z. (chinesische Quellen)



### Vorhersage einer Sonnenfinsternis

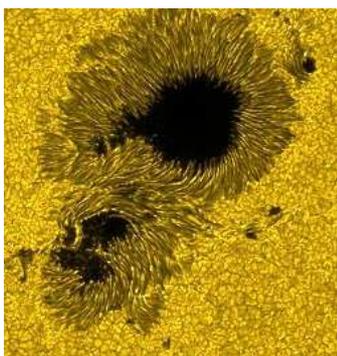
Schon im Altertum wurden zur Vorausbestimmung von Sonnenfinsternissen neben den Saros-Zyklus auch Methoden angewandt, welche sich auf die Theorien von Sonne und Mond und auf geometrische Betrachtungen stützten. Ptolemäus widmete dieser Aufgabe speziell sein Almagest. Er untersuchte die Bedingungen, unter welchen Finsternisse eintreten können, konstruierte Tafeln und wandte geometrische Methoden an. Jedoch gelang es erst Johann Kepler mit seiner "Projektionsmethode", die in den "Tabulae rudolphinae" (Ulm, 1627) beschrieben wird, ein befriedigendes Verfahren zu finden,

welches allerdings später, z.B. von John Flamsteed in seiner "Doctrine of the sphere" (London, 1680) noch wesentlich verbessert wurde.

Die Berechnung einer Sonnenfinsternis für einen bestimmten Ort erfolgte mit Hilfe astronomischer Tafeln, aus welchen die Positionen und Bewegungen von Sonne und Mond ermittelt werden konnten. Der zeitliche Verlauf und die Größe einer Finsternis für einen bestimmten Ort auf der Erde wurden dann grafisch bestimmt.

Tobias Mayer entwickelte ein umständliches Verfahren, das aber lange sehr beliebt war und sehr genaue Resultate lieferte. Sein Verfahren entsprach im Wesentlichen dem Verfahren von Johann Kepler.

Zur Voraussage der Sonnenfinsternis vom 25. Juli 1748 verwendete Moritz Lowitz die Sonnen- und Mondtafeln Eulers und entwarf zwei Tafeln, die er ihm widmete. In einer begleitenden Schrift erklärte er alle Details seiner Konstruktion.



### Sonnenflecken-Relativzahl

Die Häufigkeit der Sonnenflecken wird durch die Relativzahl (auch Wolfsche Relativzahl, nach Rudolf Wolf) erfasst.

Man zählt die Einzelflecken  $f$  und addiert das Zehnfache der Gruppenanzahl  $g$ , wobei auch Einzelflecken als Gruppe gelten. Diese Maßzahl der Sonnenaktivität

$$R = f + 10g$$

bewährt sich seit über 100 Jahren, ebenso wie die aufwendige Flächenmessung der Sonnenflecken.

Durch die einfache Berechnungsweise lässt sich  $R$  in die Vergangenheit zurück abschätzen. Bis 1979 wurden die Daten in der Eidgenössischen Sternwarte in Zürich, seitdem beim Royal Observatory von Belgien gesammelt.

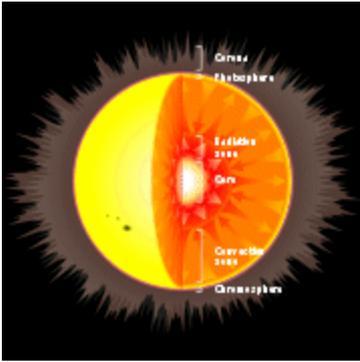
In einem Minimumsjahr liegt  $R$  im Mittel bei 5 bis 60, zur Zeit des Maximums bei 200 bis 400. Am 1. Juli 2015 wurde ein neues Zählverfahren eingeführt, dass im Vergleich mit älteren Daten zu größeren Werten führt. Durch Astronomen wird seit langem nachgewiesen, dass die Sonnenfleckenhäufigkeit unmittelbar Auswirkung auf die Temperatur der Erde hat.

Insbesondere während des Maunderminimums (1645–1715) hatte die Sonne eine Phase geringer Sonnenfleckenaktivität. Das Minimum fiel mit den kältesten Jahren der Kleinen Eiszeit zusammen, während der in Europa, Nordamerika und China viele sehr kalte Winter auftraten.

Ähnliches trat während des Dalton-Minimums (1790-1830) auf, bei der eine durchschnittliche Abkühlung um 2°C auftrat.

Erstaunlich ist, dass seit 2005 die Sonnenaktivität stark abnimmt, die Sonnenflecken-Relativzahl sinkt und es erneut zu einer Abnahme der durchschnittlichen Temperatur auf der Erde kommt.

Quelle: <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>



## Aufbau der Sonne

Die Sonne besteht aus verschiedenen schalenförmigen Zonen, wobei die Übergänge nicht streng voneinander abgegrenzt sind. Ihre Masse setzt sich zu 73,5 % aus Wasserstoff und zu 25 % aus Helium zusammen. Die restlichen 1½ Prozent der Sonnenmasse bestehen aus schwereren Elementen bis einschließlich Eisen, vor allem Sauerstoff und Kohlenstoff.

### Kern

Die freiwerdende Energie entsteht im Kern, dem Inneren der Sonne. Dieser Kern erstreckt sich bis zu einem Viertel des Radius der sichtbaren Sonnenoberfläche. Obwohl der Kern nur 1,6 % des Sonnenvolumens ausmacht, sind hier rund 50 % der Sonnenmasse konzentriert. Bei einer

Temperatur von 15,6 Millionen K liegt die Materie in Form eines Plasmas vor.

### Strahlungszone

Um den Kern liegt die Strahlungszone, die 70 % des Sonnenradius ausmacht. Im Inneren der Sonne herrscht eine hohe Dichte, so dass die Photonen mit den Teilchen des Plasmas zusammenstoßen, dabei absorbiert und wieder abgestrahlt werden. Sie bewegen sich auf einer völlig zufälligen Bahn und diffundieren dabei Richtung Sonnenoberfläche.

Statistisch benötigt ein Photon 10000 bis 170000 Jahre, um die Sonne zu verlassen. Bei jedem Zusammenstoß in der Strahlungszone nimmt die Strahlungsenergie des Photons ab und seine Wellenlänge zu. Die Gammastrahlung wird in Röntgenstrahlung umgewandelt. Anders als die Photonen gelangen die Neutrinos nahezu ungehindert durch die Schichten der Sonne, da sie kaum mit Materie in Wechselwirkung treten. Die Neutrinos erreichen bereits nach acht Minuten die Erde. In jeder Sekunde durchqueren etwa 70 Milliarden Neutrinos einen Quadratzentimeter der Erdoberfläche.

### Konvektionszone

An die Strahlungszone schließt sich die Konvektionszone an. Sie ist 140000 km dick. Am Grenzbereich zur Strahlungszone beträgt die Temperatur 2 Millionen Kelvin. Die Energie wird in dieser Zone durch eine Strömung (Konvektion) des Plasmas weiter nach außen transportiert. Dabei steigt heiße Materie nach außen, kühlt dort ab und sinkt wieder ins Sonneninnere hinab.

### Photosphäre

Oberhalb der Konvektionszone liegt die Photosphäre, die Quelle der Sonnenstrahlung. Sie ist nur 300 bis 400 km dick, deren Temperatur an der Oberfläche rund 5800 Kelvin. Die Photosphäre gibt die aufsteigende Energie als Strahlung ab – größtenteils im sichtbaren Licht.

### Chromosphäre

Über der Photosphäre erstreckt sich die Chromosphäre. Die Temperatur nimmt auf 10000 K zu, während die Gasdichte  $10^{-15}$  g/cm<sup>3</sup> abnimmt. Das Licht, das durch die Chromosphäre scheint, wird zu einem geringen Anteil absorbiert. Die Chromosphäre und der oberste Teil der Photosphäre sind für die charakteristischen dunklen Linien des Sonnenspektrums (Fraunhofersche Linien) verantwortlich.

### Korona

Die innere Korona erstreckt sich bis zwei Sonnenradien nach außen und ist eine Übergangszone zum interplanetaren Raum. Durch Sonnenstrahlung, Stoßwellen und andere Wechselwirkungen steigt die Temperatur auf 2 Millionen Kelvin. Die Korona geht in den Sonnenwind über. Dieser erstreckt sich bis zur Heliopause, wo er auf das interstellare Medium trifft.

### Mittlere Sonnenrotationsdauer

siderisch	25,380 Tage	synodisch	27,275 Tage
-----------	-------------	-----------	-------------

### Differentielle Rotation , heliograph.Breite - Rotationsdauer

0°	24.6 Tage	10°	24.9 Tage	20°	25.2 Tage	30°	25.8 Tage
40°	27.5 Tage	50°	29.2 Tage	60°	30.9 Tage	70°	32.4 Tage
480°	33.7 Tage	90°	34.0 Tage				

### Messung der Sonnenentfernung

	Jahr	Messung
Aristarch	270 v.Z.	4 800 000 km
Ptolemäus	150	8 000 000 km
Kopernikus	1543	3 200 000 km

Kepler	1618	22 500 000 km
Cassini	1672	138 370 000 km
Euler	1770	151 225 000 km
Lalande	1771	154 198 000 km
Delambre	1814	153 841 000 km
Encke	1823	153 303 000 km
Foucault	1862	147 549 000 km
Newcomb	1867	148 626 000 km
Leverrier	1872	148 459 000 km
Galle	1875	148 290 000 km
Airy	1877	150 152 000 km
Stone	1878	148 125 000 km
Pusieux	1881	146 475 000 km
Spencer Jones	1931	149 645 000 km
Radarmessungen	1976	149 597 000 km

### Sonnenentwicklung

Wenn in rund 5 Milliarden Jahren der Wasserstoffvorrat des Sonnenkerns (ca. 10% der Sonnenmasse) in Helium umgewandelt ist, schiebt sich die Zone des Wasserstoffbrennens weiter nach außen.

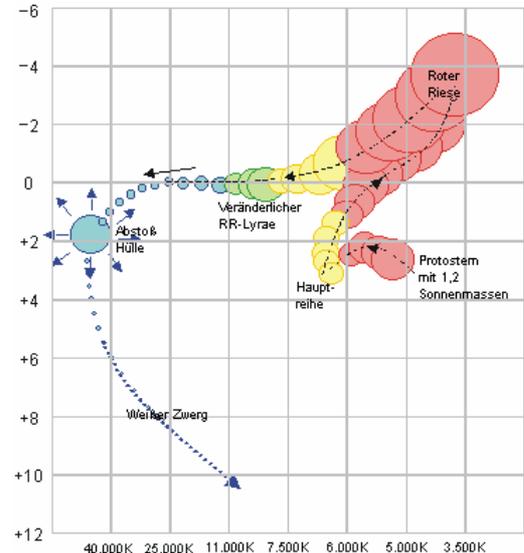
Die Außenschichten des Sterns werden aufgeheizt und blähen sich auf, wodurch die Oberfläche größer und kühler wird, obwohl die Gesamtstrahlung nicht geringer wird. Der Stern wird zum Roten Riesen, dessen Radius etwa 100 mal so groß ist wie der derzeitige Sonnenradius.

Gleichzeitig verdichtet sich der Kern immer mehr, da die geringere zentrale Fusionsrate einen geringeren Gasdruck zur Folge hat, der Gravitationsdruck aber nicht nachlässt.

Durch diese Kontraktion heizt sich der Kern auf 100 Millionen Kelvin auf. Bei diesen Temperaturen verschmilzt das Helium zu höheren Elementen, vor allem Kohlenstoff. Das Ende dieser Fusionskette ist beim Eisen erreicht.

Wegen der extrem hohen Zentraltemperaturen entsteht ein großer Strahlungsdruck auf die rot leuchtenden Außenschichten. Dabei entstehen instabile Phasen, in denen der Stern periodisch seine Größe und auch seine Leuchtkraft ändert (RR-Lyrae-Stadium). Zuletzt bläst der Stern die äußere Hülle weg. Diese radialsymmetrisch abgeblasene Materie bildet einen sogenannten planetarischen Nebel.

Der heiße, hochverdichtete Kern bleibt als kleiner Reststern übrig und kühlt langsam aus: Ein Weißer Zwerg von etwa Erdgröße entsteht.



### Sonne-Äquatorkoordinaten

Für die Berechnung der rotierenden Äquatorkoordinaten Rektaszension  $\alpha$  und Deklination  $\delta$  der Sonne gibt es eine einfache Näherung:

Es sei  $\text{frac}(x)$  die Funktion, welche die Nachkommastellen einer Zahl liefert, z.B.  $\text{frac}(7.21) = 0.21$ , aber  $\text{frac}(-1.2) = 0.8$ . T sei die Anzahl Jahrhunderte seit dem 1.1.2000.

Näherung:  $T = 0,01 \cdot (\text{Jahreszahl} - 2000 + (\text{Tagnummer}-1)/365,25)$

Die Tagnummer ist die fortlaufende Zählung der Tage im laufenden Jahr.

Für eine höhere Genauigkeit verwendet man das

$$\text{Julianische Datum (JD)} T = (\text{JD} - 2451545,0)/36525,0$$

Dann gilt:

$$M = 2\pi \cdot \text{frac}(0,993133 + 99,97361 \cdot T)$$

$$DL = 6893,0 \cdot \sin(M) + 72,0 \cdot \sin(M+M)$$

$$L = 2\pi \cdot \text{frac}(0,7859453 + M/(2\pi) + (6191,2 \cdot T + DL)/(1,296 \cdot 10^6))$$

$$X = \cos(L)$$

$$Y = 0,91748 \cdot \sin(L)$$

$$Z = 0,39778 \cdot \sin(L)$$

$$r = \sqrt{1,0 - Z \cdot Z}$$

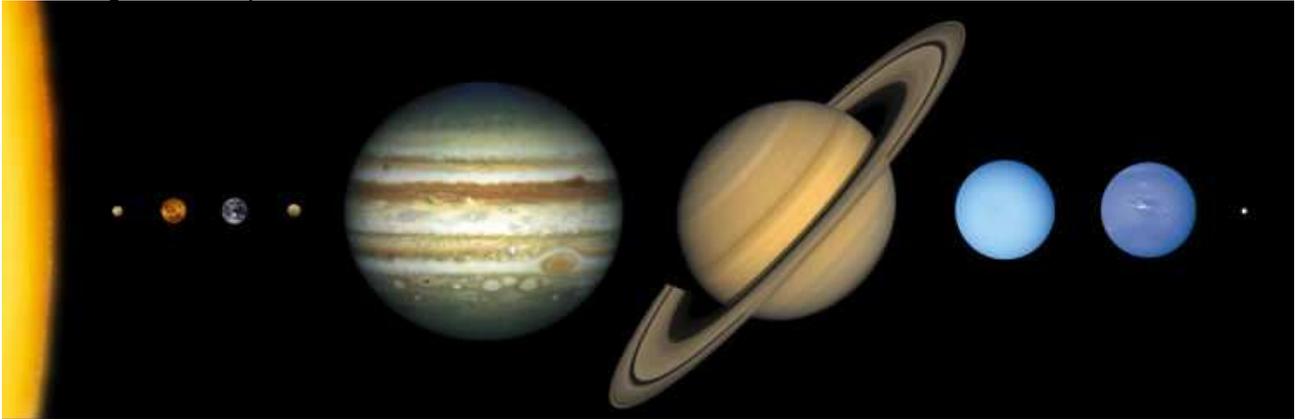
Deklination  $\delta = 360/(2\pi) \cdot \arctan(Z/r)$ , im Gradmaß

Rektaszension  $\alpha = 48,0/(2\pi) \cdot \arctan(Y/(X+r))$ , in Stunden, falls  $< 0$  müssen 24 Stunden addiert werden

Mit der Näherung für T ist die Position der Sonne auf ein Grad genau, mit dem Julianischen Datum auf eine Bogenminute, d.h. 60 mal genauer. Die errechneten Koordinaten beziehen sich auf das Äquinoktium des Datums

## Sonnensystem Objekte

Abbildung: Sonnensystem



## Sonnensystem Bahndaten

Die Tabelle enthält die Bahndaten der größten Objekte unseres Sonnensystems.

Name	T/d	i/°	Achse/°	Exzentr.	Rotat T/h	Geschw./km/s
Sonne	-	-	?	-	25-36	?
Merkur	87.969	7.004	0.00	0.20565	8.6462	47.87
Venus	224.701	3.394	177.36	0.0068	-243.0187	35.02
Erde	365.256	0.000	23.45	0.0167	0.99727	29.79
Mond	27.32166	18.3-28.6	6.68	0.05	27.32166	1.02
Mars	686.98	1.850	25.19	0.0934	1.025957	24.13
Jupiter	4332.71	1.308	3.13	0.0483	0.41354	13.06
Saturn	10759.50	2.488	25.33	0.0560	0.44401	9.66
Uranus	30685.00	0.774	97.86	0.0461	-0.71833	6.80
Neptun	60190.00	1.774	28.31	0.0097	0.67125	5.44
Pluto	90800	17.148	122.52	0.2482	-6.3872	4.74



### Albedo

Albedo (Latein albedo = Weißheit, albus = weiß) ist ein Maß für das Reflektionsvermögen eines nicht selbstleuchtenden Himmelskörpers, wie den Planeten und ihren Monden. Eine Albedo von 1,0 bedeutet eine 100-prozentige Reflexion, eine Albedo von 0 eine totale Absorption. Die Albedo ist wellenlängenabhängig. Die Albedo wird in verschiedener Weise definiert, wobei z.T. bestimmte Reflexionsgesetze als gültig vorausgesetzt werden.

### Sphärische Albedo

Die sphärische Albedo ist gleich dem Verhältnis der Lichtmenge, die von einer nichtspiegelnden Kugeloberfläche nach allen Richtungen zurückgeworfen wird.

### Werte der Albedo

#### von Himmelskörpern von Substanzen

Venus	0,76	Kreide	0,85
Erde	0,39	Wolken	0,70
Merkur	0,06	Granit	0,31
Mond	0,07	Vesuviasche	0,16
Callisto	0,15	Ätnalava	0,04

## Mond, Erdtrabant

Erde und Mond bilden ein Doppelplaneten-System. Der Mond ist der astronomische Körper, der am nächsten zur Erde liegt. Über ihn wissen wir mehr als über irgendein anderes Himmelsobjekt.

Viele Oberflächenmerkmale sind mit bloßem Auge sichtbar und ein Fernglas zeigt eine große Anzahl von Details. Ein schwaches Teleskop zeigt weite Lavaseen, große Bergketten und Hunderte von Kratern aller Größen.

Untersuchungen der über 300 kg Mondgesteins und -bodens, die von den Apollo-Missionen und den automatischen Luna-Sonden mitgebracht wurden, haben einen großen Einblick in die frühe Geschichte sowohl des Mondes als auch der Erde gegeben.



Die Menschen haben sich schon sehr früh mit dem Mond beschäftigt. Aufgrund der Aufzeichnung und Feststellung bestimmter Zyklen, in denen sich Ereignisse (Finsternisse) wiederholten, konnten schon früh

Finsternisse vorhergesagt werden. Der Mondlauf bestimmt auch die Kalender (Mondkalender) der Völker (Mohammedanisches Jahr, Babylonisches Jahr) und die Feste der Kirche. Ostern ist z.B. immer am ersten Sonntag nach dem Frühlingsvollmond.

### Entfernung von der Erde

mittlere Entfernung 384401 km ... entspricht 60,33 Erdradien  
 größte Entfernung 406740 km  
 kleinste Entfernung 356410 km  
 Mittlere Entfernung Erd-Mondoberfläche ... 376284 km

### Mondphysik

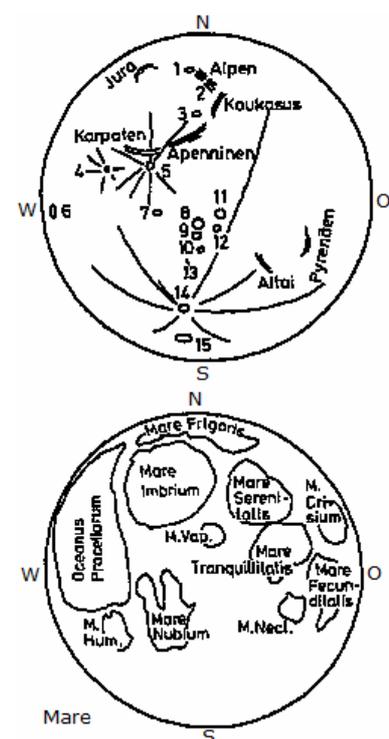


Abbildung: Mondphasen

Mittlere scheinbarer Radius/Durchmesser	$R' = 15'32,6'' = 0,259^\circ$	$D = 31'5,2''$
größter Wert $D = 33'30''$	kleinster Wert $D = 29'20''$	
Radius $R = 1738 \text{ km} = 0,2725 R_E$		
Abplattung $1 / 1700$		
Volumen $V = 2,199 \cdot 10^{10} \text{ km}^3 = 0,0203 V_E$		
Masse $m = 7,347 \cdot 10^{22} \text{ kg} = 0,0123 m_E = 1/81,3 m_E$		
Mittlere Dichte $\rho = 3341 \text{ kg/m}^3 = 0,606 \rho_E$		
Fallbeschleunigung an der Oberfläche $g_M = 1,62 \text{ m/s}^2 = 0,165 g$		
Entweichgeschwindigkeit $= 2,4 \text{ km/s}$		
Mittlere Bahnneigung gegen die Erdbahn $5^\circ 8'43'' = 5,1453^\circ$		
mittlere Bahnexzentrizität $0,0549$		
mittlere Umlaufgeschwindigkeit $1,02316 \text{ km/s}$		
Drehung der Apsidenlinie um $360^\circ$ $8,8479 \text{ Jahre}$		

### Mondoberfläche, Oberflächenstrukturen

- Oceanus Procellarum - Ozean der Stürme
- Mare Australe - Südliches Meer
- Mare Cognitum - Meer der Erkenntnis
- Mare Crisium - Meer der Gefahren
- Mare Foecunditatis - Meer der Fruchtbarkeit
- Mare Frigoris - Meer der Kälte
- Mare Humboldtianum - Humboldt-Meer
- Mare Humorurum - Meer der Feuchtigkeit
- Mare Imbrium - Regenmeer
- Mare Insularum - Inselmeer
- Mare Marginis - Randmeer
- Mare Nectaris - Honigmeer
- Mare Nubium - Wolkenmeer
- Mare Orientale - Östliches Meer
- Mare Serenitatis - Meer der Heiterkeit
- Mare Smythii - Smith-Meer
- Mare Spumans - Schäumendes Meer
- Mare Tranquillitatis - Meer der Ruhe



Mare Undarum - Wellenmeer ; Mare Vaporum - Meer der Dünste

Lacus Doloris - See des Schmerzens ; Lacus Excellentiae - See der Vortrefflichkeit ; Lacus Mortis - See des Todes ; Lacus Somniorum - See der Träume ; Lacus Spei - See der Hoffnung ; Lacus Temporis - See der Zeit ; Lacus Timoris - See der Furcht

Montes Alpes - Alpen ; Montes Apenninus - Apenninen ; Montes Carpatius - Karpaten ; Montes Caucasus - Kaukasus ; Montes Cordillera - Kordilleren ; Montes Jura - Jura-Gebirge ; Rupes Altai - Altai-Verwerfung ; Rupes Recta - Gerade Wand

Sinus Aestuum - Bucht der Fluten ; Sinus Amoris - Bucht der Liebe ; Sinus Asperitatis - Bucht der Rauheit ; Sinus Honoris - Bucht der Ehre

## Mondkrater

Die von der Erde aus sichtbare Mondoberfläche zeigt eine Unmenge von Kratern. Diese wurden nach bedeutenden Persönlichkeiten, darunter auch vielen Mathematikern benannt, z.B.

**Krater, Breite in°, Länge in °**

Abel, Niels Henrik	-34,5	87,3	Apollonius von Perga	4,5	61,1
Archimedes	29,7	-4,0	Aristarchus	23,7	-47,4
Aryabhata	6,2	35,1	Babbage	59,7	-57,1
Banachiewicz, Tadeusz	5,2	80,1	Bernoulli, Jakob	35,0	60,7
Bessel, Friedrich W.	21,8	17,9	Boethius	5,6	72,3
Boole, George	63,7	-87,4	Boscovich, Ruger	9,8	11,1
Brianchon, Charles	75,0	-86,2	Briggs, Henry	26,5	-69,1
Calippus	38,9	10,7	Cardano, Girolamo	13,2	0,0
Cassini, Giovanni	40,2	4,6	Cauchy, Augustin	9,6	38,6
Cavalieri, Buonaventura	5,1	-66,8	Celsius, Anders	-34,1	20,1
Clairaut, Alexis	-47,7	13,9	Copernicus, Nicolaus	9,7	-20,1
da Vinci, Leonardo	9,1	45,0	De Morgan, Augustus	3,3	14,9
Delambre, Jean-Baptiste	-1,9	17,5	Delaunay, Charles	-22,2	2,5
Demokritus	62,3	35,0	Desargues, Gerard	70,2	-73,3
Descartes, René	-11,7	15,7	Diophantus	27,6	-34,3
Einstein, Albert	16,3	-88,7	Eratosthenes	14,5	-11,3
Euklid	76,4	31,3	Eudoxus	44,3	16,3
Euler, Leonhard	23,3	-29,2	Faraday, Michael	-42,4	8,7
Fermat, Pierre de	-22,6	19,8	Foucault, Leon	50,4	-39,7
Fourier, Jean-Baptiste	-30,3	-53,0	Fraunhofer, Joseph	-39,5	59,1
Galilei, Galileo	10,5	-62,7	Galvani, Luigi	49,6	-84,6
Gassendi, Pierre	-17,6	-40,1	Gauß, Carl Friedrich	35,7	79,0
Gay-Lussac, Joseph	13,9	-20,8	Guericke, Otto von	-11,5	-14,1
Halley, Edmond	-8,0	5,7	Hamilton, William	-42,8	84,7
Helmholtz, Hermann von	-68,1	64,1	Hermite, Charles	86,0	-89,9
Herschel, William	-5,7	-2,1	Hevelius	2,2	-67,6
Hipparch	-5,1	5,2	Hooke, Robert	41,2	54,9
Hubble, Edwin	22,1	86,9	Hypatia	-4,3	22,6
Ibn-Rushd	-11,7	21,7	Jacobi, Karl	-56,7	11,4
Kant, Immanuel	-10,6	20,1	Keldysh, Mstislav	51,2	43,6
Kepler, Johannes	8,1	-38,0	Kirchhoff, Gustav	30,3	38,8
Kuiper, Gerard	-9,8	-22,7	Lacroix, Sylvestre	-37,9	-59,0
Lagrange, Joseph	-32,3	-72,8	Lambert, Johann H.	25,8	-21,0
Lamé, Gabriel	-14,7	64,5	Le Verrier, Urbain	40,3	-20,6
Lebesgue, Henri	-5,1	89,0	Legendre, Adrien	-28,9	70,2
Liouville, Joseph	2,6	73,5	Ljapunow, Alexander	26,3	89,3
MacLaurin, Colin	-1,9	68,0	Markow, Alexander	53,4	-62,7
Maupertuis, Pierre de	49,6	-27,3	Menelaus	16,3	16,0
Mercator	-29,3	-26,1	Mersenius, Marin	-21,5	-49,2
Messier, Charles	-1,9	47,6	Monge, Gaspard	-19,2	47,6
Neper, John	8,5	84,6	Newton, Isaac	-76,7	-16,9
Nunez, Pedro	-34,8	3,8	Oersted, Hans Chr.	43,1	47,2
Pascal, Blaise	74,6	-70,3	Philolaos	72,1	-32,4
Plato	51,6	-9,4	Poisson, Simeon	-30,4	10,6
Poncelet, Jean	75,8	-54,1	Proclus, Diadochos	16,1	46,8
Ptolemaeus	-9,3	-1,9	Peurbach, Georg von	-25,5	-2,3
Pythagoras	63,5	-63,0	Regiomontanus	-28,3	-1,0
Reaumur, René	-2,4	0,7	Ricci, Matteo	-36,9	26,5
Riemann, Georg	38,9	86,8	Römer, Ole	25,4	36,4
Runge, Carl	-2,5	86,7	Schiaparelli, Giovanni	23,4	-58,8

Schickard, Wilhelm	-44,3	-55,3	Snell, Willebrod van	-29,3	55,7
Stevin, Simon	-32,5	54,2	Stokes, George	52,5	-88,1
Sylvester, James	82,7	-79,6	Taylor, Brook	-5,3	16,7
Thales von Milet	61,8	50,3	Theaetetus	37,0	6,0
Theon von Smyrna	-0,8	15,4	Torricelli, Evangelista	-4,6	28,5
Tycho Brahe	-43,4	-11,1	Ulug Begh	32,7	-81,9

### Mondort und -parallaxe

Zeit (Epoche J 2000,0)  $T = (JD - 2451545,0) / 36525$

Ekliptikale Länge  $\lambda = 218,32 + 481267,883 T + 6,29 \sin(134,9 + 477198,85 T) + 0,66 \sin(235,7 + 890534,23 T) - 1,27 \sin(259,2 - 413335,38 T) + 0,21 \sin(269,9 + 954397,70 T) - 0,19 \sin(357,5 + 35999,05 T) - 0,11 \sin(186,6 + 966404,05 T)$

Ekliptikale Breite  $\beta = 5,13 \sin(93,3 + 483202,03 T) + 0,28 \sin(228,2 + 960400,87 T) - 0,28 \sin(318,3 + 6003,18 T) - 0,17 \sin(217,6 - 407332,20 T)$

Parallaxe  $\pi = 0,9508 + 0,0518 \cos(134,9 + 447198,85 T) + 0,0095 \cos(259,2 - 413335,38 T) + 0,0078 \cos(235,7 + 890534,23 T) + 0,0028 \cos(269,9 + 954397,70 T)$

scheinbarer Radius  $R = 0,2725 \pi$

Abstand r vom Erdmittelpunkt in Erdradien  $r = 1/\sin \pi$

Richtungskosinus  $l = \cos \beta \cos \lambda$

$m = 0,9175 \cos \beta \sin \lambda - 0,3987 \sin \beta$

$n = 0,3978 \cos \beta \sin \lambda + 0,9175 \sin \beta$

Rektaszension  $\alpha = \arctan m/l$

Deklination  $\delta = \arcsin n$

### Geozentrische rechtwinklige Mondkoordinaten

$x = r l = r \cos \delta \cos \alpha$        $y = r m = r \cos \delta \sin \alpha$        $z = r n = r \sin \delta$

Topozentrische rechtwinklige Mondkoordinaten für Beobachtungsort mit

L ... geografische Länge (Osten positiv) und  $\phi$  ... geografische Breite

$x' = x - \cos \phi \cos \delta$        $y' = y - \cos \phi \sin \delta$        $z' = z - \sin \phi$

Topozentrische Daten  $r' = \sqrt{(x')^2 + (y')^2 + (z')^2}$        $\delta' = \arcsin z'/r'$

$\alpha' = \arctan y'/x'$        $\pi' = \arcsin 1/r'$        $R' = 0,2725 \pi'$

### Maximale Deklination des Mondes

Die Bahnebene des Mondes bildet mit der Ekliptikebene einen Winkel von 5°. Daher bewegt sich der Mond am Himmel näherungsweise entlang der Ekliptik.

Während des 27tägigen Umlaufes erreicht er sein größte nördliche Deklination im Stier, den Zwillingen oder dem Orion und zwei Wochen später seine größte südliche Deklination im Schützen bzw. Schlangenträger.

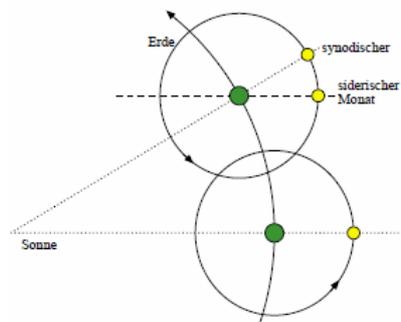
Mit der Schiefe der Ekliptik von 23° liegen die extremen Deklinationen zwischen 18° und 28°.

Liegt der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes, z.B. 1987, erreicht der Mond sogar 28,5° bzw. -28,5° Deklination.

### Knotendurchgänge des Mondes

Die Bahnebene des Mondes bildet mit der Ekliptikebene einen Winkel von 5°. Damit gibt es zwei Punkte, an denen der Mond auf seiner Bahn die Ekliptikebene durchschneidet.

Der Schnittpunkt der Mondbahnebene mit der Bezugsebene (Ekliptik), an dem die Breitenkoordinate anwächst (nach Norden) wird aufsteigender Knoten genannt. Der andere Schnittpunkt ist der absteigende Knoten.



### Mondumlauf

mittlere Bahngeschwindigkeit 1,023 km/s

#### siderischer Monat

Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vorrübergehungen an einem Stern (lat: sidus = Stern, sideris (Genitiv))

27 d 7 h 43 m 11,6 s

#### tropischer Monat

Zeit zwischen zwei Durchgängen durch den Stundenkreis des Frühlingspunktes (griech: τροπος, tropos = Drehung)

27 d 7 h 43 m 4,7 s

#### synodischer Monat

Zeit zwischen zwei Neumonden (griech: συνωδος, synodos =

29 d 12 h 44 m 2,9 s

Zusammenkunft)

#### anomalistischer Monat

Zeit zwischen zwei Durchgängen durch das Perigäum (lat: anomalia = Ausnahme)

27 d 13 h 18 m 33,1 s

## drakonitischer Monat

Zeit zwischen zwei Durchgängen durch den aufsteigenden Knoten der Mondbahn (lat: draco = Drache; die Knotenpunkte werden auch als Drachenpunkte bezeichnet)

27 d 5 h 5 m 35,9 s

## Mondrotation

Der Mond rotiert mit derselben mittleren Winkelgeschwindigkeit um seine eigene Achse, mit der er sich auch um die Erde bewegt. Es ist eine gebundene Rotation, so dass er uns immer dieselbe Seite zukehrt.

## Libration des Mondes

Die Libration ist ein scheinbares Kippen ("Nicken") des Mondes bei Betrachtung von der Erde aus. Durch die Libration in Länge kann zeitweilig über den West- oder den Osthorizont, durch die Libration in Breite zeitweilig über den Nord- oder den Südpol des Mondes geblickt werden, wodurch ca. 59 % seiner Oberfläche zu sehen sind.

## Bahn von Sonne und Mond

### Mittlere Länge der Sonne

nach Newcomb:  $L = 279,6966778 + 36000,768925 \cdot T + 0,0003025 \cdot T^2$   
(T bezogen auf 1900, Januar 0, 12.00 Uhr)

nach Ahnert:  $L = 279,204 + 36000,769 \cdot T + 0,00065 \cdot T^2$   
(T bezogen auf 1900, Januar 0, 00.00 Uhr)

### Mittlere Länge des Mondes

nach Newcomb:  $l = 270,434164 + 481267,883142 \cdot T - 0,001133 \cdot T^2$   
(T bezogen auf 1900, Januar 0, 12.00 Uhr)

nach Ahnert:  $l = 329,135 + 481267,887 \cdot T + 0,00343 \cdot T^2$   
(T bezogen auf 1800, Januar 0, 00.00 Uhr)

Lunisolarpräzession:  $z = 5038,3'' \cdot T - 1,1'' \cdot T^2$   $z = 1,399528^\circ \cdot T - 0,00031^\circ \cdot T^2$

Allgemeine Präzession in der Länge:

$z = 5026,87'' \cdot T + 1,11'' \cdot T^2$   $z = 1,39635 \cdot T + 0,0003083^\circ \cdot T^2$

Aus diesen Formeln können nun die Monats- und Jahreslängen abgeleitet werden, wobei die Formeln von Newcomb benutzt werden, nach dessen Berechnungen ja die Zeit definiert ist.:

tropisches Jahr:  $36525 \cdot 360 / 36000,768925 = 365,24219878173$  (Tage)

das sind 365d 5h 48m 45,9747s

tropischer Monat:  $36525 \cdot 360 / 481267,883142 = 27,32158214$  (Tage)

das sind 27d 7h 43m 4,7s

synodischer Monat:  $360 / (360 / 27,32158214 - 360 / 365,242198781) = 29,53058868$  (Tage)

das sind 29d 12h 44m 2,86s

Ein Julianisches Jahrhundert (36525 Tage) enthält 1236,853095 synodische Monate. Aus diesen Daten können auch die mittleren Bahngeschwindigkeiten von Sonne und Mond berechnet werden:

Sonne: 1 Grad gleich 1,014561663 Tage      1 Tag gleich 0,985647335 Grad

Mond: 1 Grad gleich 0,075893283 Tage      1 Tag gleich 13,17639653 Grad



## Mondphasen

Als Mondphasen bezeichnet man die wechselnden Lichtgestalten des Mondes durch die Lageänderung seiner Tag-Nacht-Grenze relativ zur Erde während seines Erdumlaufes.

Man unterscheidet vier Hauptphasen

Neumond (Mond vor der Sonne)

Erstes Viertel (rechte Mondhälfte beleuchtet)

Vollmond (Erde zwischen Mond und Sonne)

Letztes Viertel (linke Hälfte beleuchtet)

Die ganz schmalen Mondsicheln bezeichnet man als Neulicht und Altlicht. Mit dem ersten Neulicht beginnt im islamischen Kalender ein neuer Monat. Ein Blue Moon ist im englischen Sprachraum die Bezeichnung für einen seltenen, zweiten Vollmond innerhalb eines Monats.

## Blue Moon

Unter einem Blue Moon, engl. blauer Mond, versteht man meist einen zweiten Vollmond innerhalb eines Monats. Ursprünglich wurde jedoch damit der dritte Vollmond innerhalb einer Jahreszeit mit vier Vollmonden bezeichnet.

1528 wurde der Blue Moon erstmals in dem Werk "Rede Me and Be Not Wroth" erwähnt:

"Yf they say the mone is blewe

We must believe that it is true."

Ursprünglich wurden die Vollmonde eines Quartals als erster, zweiter und letzter Vollmond gezählt. Da der synodische Monat (rund 29,5 Tage) vom Kalendermonat abweicht, ist es möglich, dass in einer Jahreszeit vier Vollmonde auftreten. Im "Maine Farmers' Almanac" von 1819 wurde dieser 3.Vollmond als Blue Moon erwähnt.

siehe dazu

1946 gab der Astronom James Hugh Pruett (1886–1955) eine abweichende zweite Definition. Seit dieser Zeit wird der 2. Vollmond im Kalendermonat als Blue Moon bezeichnet.

In 100 Jahren tritt rund 41 Mal ein Blue Moon ein.

Interessant ist, dass 1999, 2018 und 2037 im Februar kein Vollmond eintritt, dafür sowohl im vorangehenden Januar als auch im nachfolgenden März ein Blue Moon zu verzeichnen ist.

### Schwarzer Mond

Unter einem Schwarzen Mond, engl. black Moon, versteht man meist einen zweiten Neumond innerhalb eines Monats. Der letzte Schwarze Mond trat im März 2014 auf und in der westlichen Hemisphäre wieder im Oktober 2016.

Ein Schwarzer Mond wird von Verschwörungstheoretikern und Esoterikern mit der Apokalypse in Verbindung stehen.

Die Quelle für diese Vorstellung ist die Bibel mit zahlreichen Verweisen auf den Mond, die Sonne und die Sterne, vor allem bei Lukas 21:25-26:

"Es werden Zeichen sichtbar werden an Sonne, Mond und Sternen" und "Die Menschen werden vor Angst vergehen in der Erwartung der Dinge, die über die Erde kommen".

Im gleichen Evangelium wird auch an anderer Stelle vorausgesagt, dass in der Endzeit das Leben der Menschen in seinen Grundzügen jenem zu Noahs Zeiten gleichen werde (Lukas 17:26):

"Nationen wenden sich gegen Nationen und Königreiche gegen Königreiche", Naturkatastrophen und Seuchen, Glaubens- und Sittenverfall, falsche Propheten würden auftauchen und Christen würden verfolgt werden (Lukas 21:10ff.). Darüber hinaus werde es angsteinflößende Zeichen am Himmel geben.

### Lunation

Eine Lunation ist die Zeitspanne eines vollen Umlaufs des Mondes um die Erde in Bezug zur Sonne, d.h. gleich der wahren synodischen Umlaufzeit des Mondes. Die mittlere Lunationsdauer entspricht einem synodischen Monat.

Der mittlere synodische Monat beträgt 2012: 29,530589 d = 29 Tage, 12 Stunden, 44 Minuten, 2,9 Sekunden.

Durch die elliptischen Bahnen von Erde und Mond und somit veränderlicher Bahngeschwindigkeiten schwankt die Länge einer Lunation. Die Berechnung der Lunationslängen gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Mondtheorie.

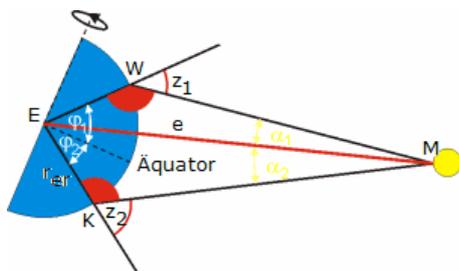
Die wahren Längen der Lunationen liegen zwischen 29,272 d und 29,833 d, d.h. 6 h 12 min kürzer bzw. 7 h 15 min länger als der mittlere synodische Monat.

### Lunationsnummer

Die Lunationen werden in der Astronomie (nach E.W.Brown) nummeriert.

Die Lunation 1 beginnt nach dem 1. Januar 1923 12:00 (JD 2423421,0); der Neumond der Lunation 1 fand am 17. Januar 1923 3:41 statt.

Mitunter wird die Lunationsnummer auf den 1. Januar 2000 12:00 (JD 2451545,0) bezogen. Der Neumond der Lunation 1 in dieser Zählung am 6. Januar 2000 19:14 statt.



### Entfernungsbestimmung Erde-Mond

Von zwei möglichst weit entfernten Punkten der Erdkugel (z.B. Wien mit der nördlichen geografischen Breite  $\phi_1 = 48^\circ 15'$  und Kapstadt mit der südlichen Breite  $\phi_2 = 33^\circ 58'$ ) die auf gleicher geographischer Länge liegen, wird ein bestimmter Punkt des Mondes angepeilt. Dabei misst man folgende Winkel zur Zenitrichtung:

Wien  $z_1 = 27^\circ 40'$  und Kapstadt  $z_2 = 55^\circ 43'$

Die Winkelsumme im Viereck EKMW ist  $360^\circ$ . Also gilt:

$$\phi_1 + \phi_2 + (180^\circ - z_1) + (180^\circ - z_2) + \alpha_1 + \alpha_2 = 360^\circ$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 = z_1 + z_2 - \phi_1 - \phi_2$$

Nach dem Sinussatz gilt im Dreieck EWM

$$\sin \alpha_1 / \sin (180^\circ - z_1) = r_{er} / e \quad \sin \alpha_1 = r_{er} / e \sin (180^\circ - z_1)$$

Da  $\sin (180^\circ - z_1) = \sin z_1$  ist und für kleine Winkel  $\alpha_1$  gilt  $\alpha_1 \approx \sin \alpha_1$ , folgt

$$\alpha_1 = r_{er} / e \sin z_1 \quad ; \quad \alpha_2 = r_{er} / e \sin z_2$$

Einsetzen ergibt

$$e = r_{er} (\sin z_1 + \sin z_2) / \text{rad}(z_1 + z_2 - \phi_1 - \phi_2)$$

Mit den Messwerten ergibt sich hier  $e = 63 r_{er}$

Mit der Radar-Echo-Methode kann die Entfernung Erde-Mond auf mehrere Meter genau bestimmt werden.

mittlere Entfernung Erde-Mond 384401 km

kleinste Entfernung Erde-Mond 356410 km

größte Entfernung Erde-Mond 406740 km

### Mondperigäum

Die mittlere Entfernung des Mondes zur Erde beträgt 384401 km. Durch die große Exzentrizität der Mondbahn schwankt die Entfernung zwischen der kleinsten von 356410 km und der größten von 406740 km. Zwischen 1500 und 2500 erreicht der Mond am 1. Januar 2257 das kleinste Perigäum mit 356371 km Entfernung. Weitere sehr geringe Perigäen sind

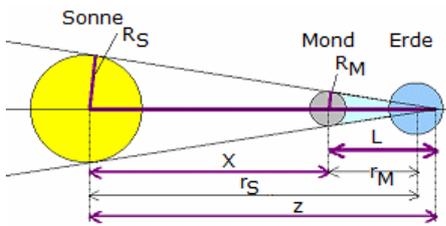
Datum	Entfernung in km	Datum	Entfernung in km
30.1.1771	356407	23.12.1893	356396
4.1.1912	356375	15.1.1930	356397
6.12.2052	356421	29.1.2116	356403
9.2.2134	356416	22.12.2238	356406

Die in der Tabelle angegebenen Entfernungen wurden mit Chapronts Theorie ELP-2000/82 sehr genau berechnet.

### Mondapogäum

Die mittlere Entfernung des Mondes zur Erde beträgt 384401 km. Durch die große Exzentrizität der Mondbahn schwankt die Entfernung zwischen der kleinsten von 356410 km und der größten von 406740 km. Zwischen 1500 und 2500 erreicht der Mond am 7. Januar 2266 das größte Apogäum mit 406720 km Entfernung. Weitere sehr große Apogäen sind

Datum	Entfernung in km	Datum	Entfernung in km
9.1.1921	406710	2.3.1984	406712
23.1.2107	406716	3.2.2125	406720
14.2.2143	406713	27.12.2247	406715
7.1.2266	406720	18.1.2284	406714



### Kernschatten des Mondes

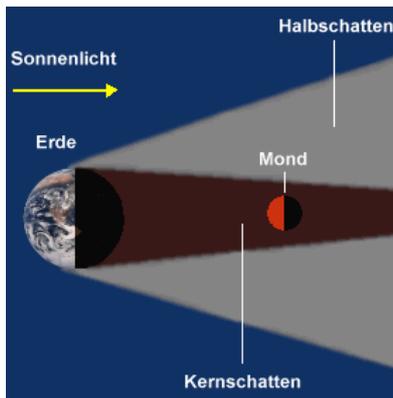
Gleichung zur Berechnung der Kernschattenlänge des Mondes geg.:  $R_M$  Radius des Mondes,  $R_S$  Radius der Sonne,  $r_S$  Abstand Erde-Sonne,  $r_M$  Abstand Erde-Mond,  $X$  Abstand des Mondes von der Sonne,  $Z$  Abstand der Spitze des Kernschattenkegels vom Sonnenmittelpunkt,  $L$  Länge (Höhe) des Kernschattenkegels  
Annahme: Sonne, Mond und Erde liegen genau auf einer Geraden, die durch die Mittelpunkte der drei Körper verläuft.

Herleitung:  $R_S / R_M = Z / L$   
 $L = X R_M / (R_S - R_M)$

Für die Sonnenfinsternis vom 11. August 1999 ergab sich damit eine Kernschattenlänge von 378590 km.

Weitere Größen:  $B$  Hälfte der Schattenbreite auf der Erdoberfläche  $B = R_M (L - r_M + R_E) / L$

Für den 11. August 1999 wird  $B = 52$  km, d.h. der Kernschattenkegel hatte einen Durchmesser von 104 km.



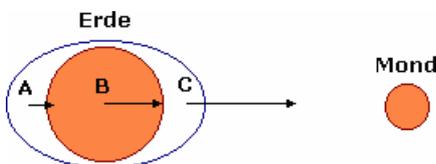
### Mondfinsternis

Eine Mondfinsternis entsteht, wenn der Mond in den Erdschatten eintritt. Schiebt sich der Mond zwischen Sonne und Erde, haben wir eine Sonnenfinsternis.

Die Mondbahn ist um etwa 5 Grad gegen die Ekliptik geneigt. Daher kommt es nicht bei jedem Mondumlauf zu einer Mond- und Sonnenfinsternis. Eine Sonnen- bzw. Mondfinsternis kann nur eintreten, wenn sich der Mond genau auf dem Schnittpunkt seiner Bahn mit der Ekliptik, dem sogenannten Knotenpunkt, befindet und dann gerade Voll- bzw. Neumond ist!

Taucht der Mond vollständig in den Kernschatten der Erde ein, ist die Finsternis total. Taucht er nur teilweise in den Kernschatten der Erde ein, entsteht eine partielle Finsternis.

Befindet sich der Mond ganz im Kernschatten der Erde, wird er nicht völlig unsichtbar, sondern erscheint in einer kupferroten Farbe. Der Kernschatten der Erde ist nicht völlig dunkel, sondern durch Streulicht, welches von der Erdatmosphäre in den Kernschatten gelenkt wird, etwas aufgehellt.



### Gezeiten

Unter vereinfachten Annahmen kann die Entstehung der Gezeiten durch die statische Theorie Newtons annähernd erklärt werden: Die Gravitationskraft des Mondes wirkt auf die Punkte A, B und C unterschiedlich stark, da deren Entfernung unterschiedlich ist. Die Gezeitenbeschleunigung ist nun die Differenz der

Gravitationsbeschleunigung durch die anziehende Kraft des Mondes am Erdmittelpunkt (B) und zum Beispiel dem Punkt C.

$$b_G = \gamma m / r^2 - \gamma m / (r + r_E)^2 \approx 2\gamma m r_E / r^3 \approx 10^{-7} g$$

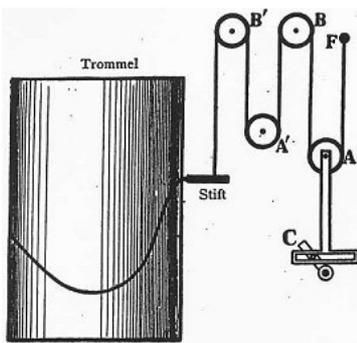
$m$  ... Mondmasse,  $r_R$  ... Erdradius

Da die Differenzbeschleunigung proportional  $1/r^3$  ist, wirkt sie sich stärker bei unterschiedlicher Entfernung aus. Deshalb sind die Gezeitenkräfte des Mondes stärker als die der Sonne, obwohl diese eine erheblich größere Masse hat.

"Hochwasserberge" und "Niedrigwasser-Gebiete" umlaufen die Erde ständig mit einer täglichen Verspätung von 51 min, da der scheinbare Mondtag gleich 24 h 51 min ist. Der Tidenhub erreicht bis zu 15 m. Auch die Erdkruste wird bis zu 30 cm gehoben und gesenkt.

Durch die Gezeitenreibung erfährt der Erdumlauf eine Veränderung von 2 Millisekunden je 100 Jahren. Über geologische Zeiträume hinweg, ist dies nicht unerheblich. Bekannt ist, dass der Erdtag z.B. im Jura wesentlich kürzer als heute war. Vor 370 Millionen Jahren war der Tag 10 % kürzer als heute.

Auch der Mond wird beeinflusst. Etwa 12 cm je Jahr vergrößert sich sein Abstand zur Erde. In ferner Zukunft werden Tag und Monat mit heutigen 56 Tagen gleich lang sein und der Mond eine Entfernung von etwa 600000 km haben. Totale Sonnenfinsternisse sind dann nicht mehr möglich.



### Gezeitenrechner

Den täglichen Eintritt von Hoch- und Niedrigwasser sowie die Wasserstände für ein ganzes Jahr im Voraus berechnen zu können, ist für die Schifffahrt von großer Bedeutung.

Dazu werden vor Ort die Tidekurven gemessen, die über längere Zeiten den Verlauf der Wasserstände wiedergeben. Zur Berechnung verwendet man mechanische Gezeitenrechner.

Eine in dem Punkt F befestigte Schnur wird um die Rollen A, B und A', B' zu einem Stift geführt. Während die Rolle B fest ist, kann sich die Rolle A vertikal bewegen. Wenn A sich vertikal um eine Strecke verschiebt, muss der Stift sich um die doppelte Strecke bewegen.

Der Stift berührt eine sich drehende und mit Papier bedeckte Trommel. Eine vertikale Bewegung der Rolle A wird auf der Trommel als einfache Wellenlinie abgebildet.

Analog der Wirkungsweise des Rollensystems A, B lässt sich mit dem Rollenpaar A', B' eine weitere harmonische Welle darstellen. Wie Rolle A vollführt auch die Rolle A' bei fester Rolle B' eine vertikale Bewegung, entsprechend einer weiteren Teilwelle. Auf diese Weise lassen sich die aus der harmonischen Analyse gewonnenen Teilwellen mechanisch wieder zu einer gesuchten Tidekurve zusammensetzen, aus der dann die gesuchten Eintrittszeiten und Höhen des Hoch- und Niedrigwassers abgelesen werden können.

Der erste deutsche Gezeitenrechner gestattete, 20 Teilwellen zu einer Tidekurve zu summieren. Innerhalb von acht Stunden zeichnete die Maschine die Gezeitenkurven eines Hafens für ein Jahr. Dieses mechanische Rechenggerät steht heute im Deutschen Schifffahrtsmuseum in Bremerhaven.



### Mondentstehung

Während der Bildung des Sonnensystems von 4,6 Milliarden Jahren entstand gleichzeitig mit der Urerde am Lagrange-Punkt  $L_4$  oder  $L_5$  ein weiterer Kleinplanet, der sehr oft Theia genannt wird.

Die Titanin Theia war in der griechischen Mythologie die Mutter der Mondgöttin Selene.

Normalerweise ist die Bahn eines kleinen Körpers an den beiden Lagrange-Punkten stabil. Da das Sonnensystem sich noch im Bildungsprozess befand, wuchs der Kleinplanet.

Als er etwa 15 % der Masse der Erde (90 % der heutigen Masse) erreicht hatte, wurde seine Bahn instabil.

In nur 10-50 Millionen Jahren näherte er sich der Erde, bis beide Körper etwas seitlich versetzt kollidierten.

Teile der Erdkruste und Theias wurden in den Weltraum geschleudert und bildeten in weniger als 1000 Jahren unseren heutigen Mond.

Der größere Teil Theias, vor allem der schwere Eisenkern, verschmolz mit der Erde.

Zum Zeitpunkt der Mondentstehung betrug der Abstand von Erde und Mond nur 3 bis 5 Erdradien. Durch die Gezeitenkräfte wurde im 4,5 Milliarden Jahren Rotationsenergie der Erde auf den Mond übertragen und der Abstand wuchs auf die heutigen 384000 km.

### Mondbahnveränderung

Die Gravitation des Mondes ruft auf der Erde die Gezeiten hervor.

Die durch die Gezeiten frei werdende Energie wird der Drehbewegung der Erde entnommen und der darin enthaltene Drehimpuls dem Bahndrehimpuls des Mondes zugeführt.

Dadurch verlängert sich gegenwärtig die Tageslänge um etwa 20 Mikrosekunden pro Jahr. In ferner Zukunft wird die Rotation an den Mondumlauf gebunden sein und die Erde wird dem Mond immer dieselbe Seite



zuwenden. Der Abstand zwischen Erde und Mond wird dann auf Grund des übertragenen Drehimpulses fast doppelt so groß sein wie heute.

Diese Veränderung kann durch Fossilien belegt werden. Moderne Nautilus (Perlboote) besitzen in jeder Kammer der Schale 30 Tageswachstumslinien, da ihr Wachstum an die Mondphasen gebunden ist. (obere Abbildung) Bekannt sind 420 Millionen Jahre alte Nautilus-Fossilien. Zu dieser Zeit war der Sonnentag nur 21 Stunden lang, ein Mondmonat sogar nur 9 Tage. Damit können diese Fossilien je Kammer nur 9 Wachstumslinien besitzen, was auch festgestellt wird.

Der Abstand Erde-Mond betrug damals nur 40% des heutigen Wertes, der scheinbare Durchmesser des Mondes war 2,5 mal so groß wie heute. Damit waren totale Sonnenfinsternisse häufiger als partielle. Die Gezeiten müssen mehr als 6 mal stärker gewesen sein als heute. Die Stärke der Bahnveränderung ist nicht konstant. U.a. hängt dies sehr stark von der Verteilung des Festlandes auf der Erde ab.



### Erde-Mond-Schwerpunkt

Erde und Mond rotieren um einen gemeinsamen Schwerpunkt, dessen Lage sich wie folgt berechnen lässt.

Ist  $s$  die Entfernung Erde-Mond,  $M$  und  $m$  die Massen beider Körper

und  $x$ ,  $y$  die Entfernungen von Erde und Mond zum Schwerpunkt, so wird

$$M x = m y$$

mit  $s = x + y$  ergibt sich  $M x = m (s - x)$   $x = m s / (M + m)$

und analog  $y = M s / (M + m)$

Mit den Massen der Erde  $M = 5,97 \cdot 10^{24}$  kg und des Mondes  $m = 7,35 \cdot 10^{22}$  kg sowie dem mittleren Abstand von 384400 km befindet sich der gemeinsame Schwerpunkt  $x = 4675$  km vom Erdmittelpunkt entfernt, d.h. noch im Inneren der Erde.

Für die Umlaufdauer  $T$  ergibt sich die siderische Umlaufzeit des Mondes

$$T = 2\pi / \sqrt{\gamma (M+m)/r^3} = 2358034,5 = 27,3 \text{ Tage}$$



### Luna 2

Startdatum: 1959-09-12

Startplatz: Tyuratam (Baikonur), UdSSR

Startrakete: Modifizierte SS-6 der 2.Generation mit 2.Stufe

Masse: 390.20 kg

... Luna 2 schlug am 14.September 1959 als erster vom Menschen geschaffener Körper im Osten des Mare Serenitatis nahe der Krater Aristides, Archimedes und Autolycus auf dem Mond auf. 30 Minuten nach der Sonde schlug die letzte Raketenstufe ebenso auf dem Mond auf.

### Luna 3

Startdatum: 1959-10-04 ; 02:24:00 UTC

Startrakete: Modifizierte SS-6 der 1.Generation mit 2.Stufe

Masse: 278.50 kg

... die Sonde fotografierte am 7.Oktober 1959 erstmals die Rückseite des Mondes und übermittelte die Fotos zur Erde. Die kürzeste Mondentfernung betrug dabei 6200 km. Gesendet wurden die Fotos als die Sonde am 18.Oktober wieder in Erdnähe kam.

### Luna 9

Startdatum: 1966-01-31 ; 11:45:00 UTC

Startrakete: Dreistufige SS-6

Masse: 1580.00 kg

... am 3.Februar 1966 landete erstmals eine Sonde (Abbildung) weich auf dem Mond.

Die Landestufe (99 kg) ging im Meer der Stürme nieder und übermittelte 8 Stunden und 45 Minuten Messdaten und Panoramafotos zur Erde. Der Radius des Aufnahmebereiches betrug 1,4 Kilometer.

## Planeten

Umlaufzeiten	siderisch (a)	synodisch (d)	Entfernungen 10 <sup>6</sup> km	Lichtzeit	AE
Merkur	0,241	115,9	57,9	3,2 min	0,387
Venus	0,615	583,9	108,2	6,0 min	0,723
Erde			149,6	8,3 min	1
Mars	1,881	779,9	227,9	12,7 min	1,524
Jupiter	11,867	398,9	778,3	43,2 min	5,204
Saturn	29,457	378,1	1427	1,3 h	9,578
Uranus	84,011	369,7	2870	2,7 h	19,260
Neptun	164,79	367,5	4496	4,2 h	30,094
Pluto	247,94	366,7	5900	5,5 h	39,830

Entfernungen	wahre (AE)	Titius-Bode-Reihe	Exzentrizität	Bahnneigung
Merkur	0,387	0,4 (- ∞) +3,35 % Fehler	0,2056	7,00
Venus	0,723	0,7 (0) -3,18 %	0,0068	3,39
Erde	1	1		
Mars	1,524	1,6 (2) +4,99 %	0,0934	1,85
Jupiter	5,203	5,2 (4) -0,08 %	0,0485	1,30
Saturn	9,583	10,0 (5) +4,41 %	0,0556	2,49
Uranus	19,201	19,6 (6) +1,76 %	0,0472	0,77
Neptun	30,047	38,8 (7) +28,93 %	0,0086	1,77
Pluto	39,482	77,2 (8) +93,82 %	0,2450	17,2

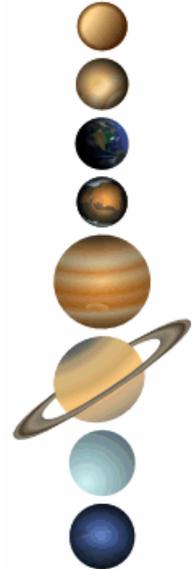
### Titius-Bode-Reihe

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$$

a ... Entfernung des Planeten in AE

n ... zugeordnete Nummer des Planeten

Hinweis: Am 24. August 2006 wurde durch die Internationale Astronomische Union (IAU) der Pluto als Zwergplanet eingestuft. Damit existieren im Sonnensystem noch 8 große Planeten.



### Planeten-Klassifikation

Die acht Planeten werden verschieden eingeteilt, nach der Zusammensetzung:

erdähnliche, terrestrische oder felsige Planeten : Merkur, Venus, die Erde und Mars

Die terrestrischen Planeten bestehen aus Felsen und Metallen, haben eine relativ hohe Dichte, geringere Rotationsgeschwindigkeiten, feste Oberflächen, keine Ringe und wenige Monde.

jupiterähnliche, jovianische oder Gasplaneten: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun

Die Gasplaneten setzen sich vorwiegend aus Wasserstoff und Helium zusammen, haben eine geringe Dichte, eine hohe Rotationsgeschwindigkeit, tiefe Atmosphären, Ringe und viele Monde.

nach der Größe:

kleine Planeten: Merkur, Venus, die Erde, Mars ; Durchmesser < 13000 km

große Planeten: Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun

nach der Position relativ zur Sonne:

innere Planeten: Merkur, Venus, die Erde und Mars

äußere Planeten: Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun

Der Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter bildet die Grenze zwischen dem inneren und äußeren Sonnensystem.

nach der Position relativ zur Erde

niedrigere Planeten: Merkur und Venus

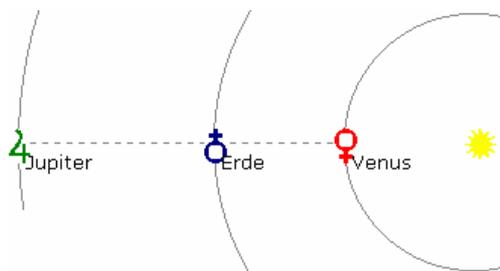
höhere Planeten: Mars bis Neptun

nach Geschichte:

klassische Planeten: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn

bekannt seit prähistorischer Zeit , mit bloßem Auge sichtbar

moderne Planeten: Uranus, Neptun ; in moderner Zeit entdeckt , sichtbar nur mit Teleskopen



### Planetenstellungen

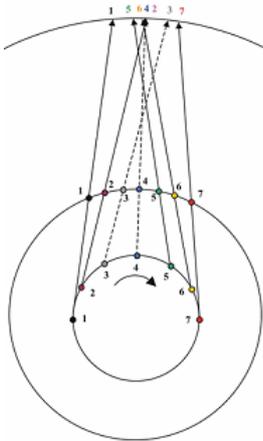
Während ihres Umlaufs um die Sonne nehmen die Planeten unterschiedlichste Positionen zur Erde ein und können damit unterschiedlich gut; unter Umständen auch gar nicht, beobachtet werden.

Besondere Stellungen:

- untere Konjunktion der Venus oder eines inneren Planeten, d.h. die Venus steht vor der Sonne
- obere Konjunktion des Venus oder eines inneren Planeten,

d.h. die Venus steht hinter der Sonne

- Konjunktion des Jupiters oder eines äußeren Planeten, d.h. der Planet steht hinter der Sonne
- Opposition des Jupiters oder eines äußeren Planeten, d.h. der Planet steht bzgl. der Erde auf der anderen Seite als die Sonne



### Planetenschleife

Als Planetenschleife bezeichnet man die Erscheinung, dass jeder Planet in regelmäßigen Zeitabständen am Sternhimmel scheinbar zurückwandert, um später seine rechtläufige Bahn wieder fortzusetzen.

Die Ursache liegt in den unterschiedlichen Winkelgeschwindigkeiten der Planeten. Überholt die Erde auf ihrer Bahn einen äußeren Planeten während seiner Opposition, scheint der Planet stillzustehen und seine Bewegungsrichtung umzukehren.

Für die zwei unteren Planeten, Merkur und Venus, tritt die Planetenschleife auf, wenn sich die Planeten in ihrer unteren Konjunktion befinden, d.h. die Erde überholen.

Da die Bahnebenen der Planeten nicht exakt in der Ekliptik liegen, steht der Planet nur in ekliptikaler Länge still. Durch Änderungen der ekliptikalen Breite entsteht die eigentliche Schleifenform.

Sind zwei Planeten in der Zeit ihrer Opposition bzw. unteren Konjunktion dicht nebeneinander, kann es vorkommen, dass sich ihre Schleifen überlagern und sie sich nicht nur einmal, sondern dreimal begegnen. Diese Erscheinung heißt dreifache Konjunktion.

Die seltene dreifache Konjunktion von Jupiter und Saturn im Jahr 7 v.u.Z. wird immer wieder als Beschreibung des Sterns von Bethlehem angesehen. Ernsthaftige Untersuchungen widerlegen allerdings diese mystischen Spekulationen.

### Apsis

Als Apsis (Mehrzahl: Apsiden) bezeichnet man die beiden Hauptscheitel auf der elliptischen Umlaufbahn eines Himmelskörpers. Apoapsis ist dabei der Punkt mit der größten Entfernung zum Hauptkörper und Periapsis der mit der geringsten.

Apsis ist das griechische Wort für "Wölbung, Bogen" und leitet sich vom Begriff Apsis der Architektur ab, apo- und peri- sind die Vorsilben "fern" und "nah".

Für die Hauptkörper Sonne, Erde, Mond und Sterne haben die Apsiden eigene Namen, die aus den entsprechenden griechischen abgeleitet sind:

- hel zu helios "Sonne" -gäum zu ge oder gaia "Erde"
- selenium zu selene "Mond" -astron "Stern"
- galaktikum zu galaxis "Milchstraße" -jovum "Jupiter"

Perigäum und Apogäum sind der erdnächste bzw. der erdfernste Punkt. Die Verbindungslinie der beiden Apsiden ist die Apsidenlinie. Der Zusammenhang zwischen numerischer Exzentrizität und den Apsisdistanzen ist

$$\text{Exzentrizität} = (\text{Apoapsisdistanz} - \text{Periapsisdistanz}) / (\text{Apoapsisdistanz} + \text{Periapsisdistanz})$$

### Abplattung

Die Abplattung ist die Abweichung der Gestalt eines Himmelskörpers von der Kugel, ausgedrückt durch die Differenz Äquator- (a) minus Poldurchmesser (p) dividiert durch den Äquatordurchmesser.

$$\text{Abplattung} = (a - b) / a$$

### Beispiel

Abplattung der Erde	= 0,0034	Abplattung des Mars	= 0,005
Abplattung des Jupiter	= 0,06	Abplattung des Saturn	= 0,1
Abplattung der Mondes	= 0,0005	Abplattung der Sonne	~ 0

### Keplersche Gesetze

1. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. (Astronomia nova 1609)

2. Der von der Sonne zum Planeten gezeichnete Leitstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.  
Folgerung: In Sonnennähe bewegt sich ein Planet schneller als in Sonnenferne. (Astronomia nova 1609)

3. Die Quadrate der siderischen Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen zur Sonne. (Harmonices mundi 1619)



Abbildung: Die Münze wurde 1971 in der DDR zur 500.Jahrfeier Keplers ausgegeben.

## Näherung Kreisbahn

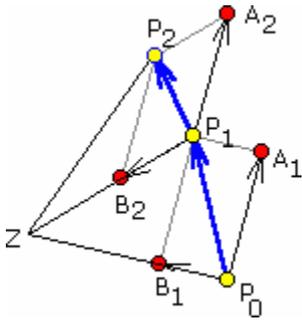
Näherung elliptische Bahn

2.Keplersches Gesetz

$$T^2/r^3 = 4\pi^2/[\gamma (m_s + m_p)]$$

$$(1 + m_p/m_s) T^2 = 4\pi^2/(\gamma m_s) a^3$$

$$\Delta A/\Delta t = \text{konstant}$$



## Keplersches Gesetz, Herleitung

Im Punkt  $P_0$  besitze der Planet die Geschwindigkeit  $v_1$ . Auf Grund des Trägheitsgesetzes würde er sich in der Zeit  $\Delta t$  um  $v_1 \cdot \Delta t$  nach  $A_1$  bewegen. Da auf den Planet eine Zentralkraft von  $Z$  aus wirkt, wird er in der gleichen Zeit mit  $a_1$  beschleunigt und "fällt" auf  $Z$  mit  $1/2 a_1 (\Delta t)^2$  zu. Insgesamt bewegt er sich damit nach  $P_1$ .

Im Punkt  $P_1$  bewegt er sich auf Grund der Trägheit in  $\Delta t$  nach  $A_2$  und "fällt" in Richtung  $Z$  nach  $B_2$ , so dass er insgesamt  $P_2$  erreicht.

Nach dem Trägheitsgesetz ist  $P_0P_1 = P_1A_2$ .

Die beiden Dreiecke  $ZP_0P_1$  und  $ZP_1P_2$  sind flächengleich, da  $ZP_1$  gemeinsame

Grundlinie ist und  $P_0$  und  $P_2$  den gleichen Abstand von der Grundlinie besitzen. Dies ergibt sich aus  $P_0P_1 = P_1A_2$  und  $A_2P_2 \parallel ZP_1$ .

## Folgerung: Flächensatz, 2.Keplersches Gesetz

Bewegt sich ein Körper unter dem Einfluss einer Zentralkraft, so überstreicht der von ihm ausgehende Radiusvektor in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

## Zweites Keplersches Gesetz

Aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz wird

$$F \rightarrow (r \rightarrow) = k M m / r^3 r \rightarrow = m (r \rightarrow)''$$

wobei  $M$  die Sonnemasse,  $r \rightarrow$  der Radiusvektor und  $(r \rightarrow)''$  die 2.Ableitung nach der Zeit, also die Beschleunigung sind. Für das Kreuzprodukt wird

$$r \rightarrow \times (r \rightarrow)'' = -kM/r^3 r \rightarrow \times r \rightarrow = 0 \rightarrow$$

Weiterhin ist

$$(r \rightarrow \times r \rightarrow)' = (r') \rightarrow \times (r') \rightarrow + r \rightarrow \times (r'') \rightarrow = 0 \rightarrow, \text{ d.h.}$$

$$r \rightarrow \times (r') \rightarrow = A \rightarrow, \text{ ein konstanter Vektor}$$

Mit dem Ansatz  $r \rightarrow = r i \rightarrow$  und  $r(\phi(t))$  wird

$$i \rightarrow = \begin{pmatrix} \cos \phi \\ \sin \phi \end{pmatrix} \text{ und } (i \rightarrow)' = \begin{pmatrix} -\sin \phi \\ \cos \phi \end{pmatrix} \phi' = i^* \phi'$$

$$(-\cos \phi \ -\sin \phi) \phi' + (-\sin \phi \ \cos \phi) \phi'' = -i \rightarrow \phi' + i^* \phi''$$

und somit

$$(r \rightarrow)' = (r i \rightarrow)' = r' i \rightarrow + r (i \rightarrow)' = r' i \rightarrow + r i^* \phi'$$

$$(r \rightarrow)'' = r'' i \rightarrow + r' (i \rightarrow)' + r' i^* \phi' - r i \rightarrow (\phi')^2 + r i^* \phi'' = (r'' - r(\phi')^2) i \rightarrow + (2r\phi' + r\phi'') i^*$$

Mit dem Gravitationsgesetz wird

$$r'' - r(\phi')^2 = -kM/r^2 \quad \text{und} \quad 2r' \phi' + r\phi'' = 0$$

Aus der zweiten Gleichung folgt

$$2r' \phi' + r\phi'' = 0 \Leftrightarrow 2 dr/dt / r + d\phi'/dt / \phi' = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2 d(\ln r) / dt + d(\ln \phi') / dt = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2 \ln(r) + \ln(\phi') = \text{konst} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow r^2 \phi' = A$$

In einem Dreieck mit dem Innenwinkel  $\phi' = d\phi/dt$  und zwei anliegenden Seiten  $r$  ist die Fläche gleich  $1/2 \phi' r^2$ . Die Konstante  $A$  ist das Doppelte dieser Fläche. Damit ist das zweite Keplersche Gesetz aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz hergeleitet.

Quelle: <http://ga.randers-hf-vuc.dk/matlex/kepler.html>

## Erstes Keplersches Gesetz

Ausgehend von den Gleichungen

$$r'' - r(\phi')^2 = -kM/r^2 \quad ; \quad 2r' \phi' + r\phi'' = 0 \quad ; \quad r^2 \phi' = A$$

der Herleitung auf der vorhergehenden Seite, wird:

$$r'' = A^2/r^3 - kM/r^2 \quad (*)$$

Mittels Kettenregel wird für  $r'$

$$r' = dr/d\phi d\phi/dt = dr/d\phi A/r^2 = -A d(1/r)/d\phi$$

$$r'' = d/d\phi (-A d(1/r)/d\phi) d\phi/dt = d/d\phi (-A d(1/r)/d\phi) A/r^2 = -A^2/r^2 d^2(1/r)/d\phi^2$$

und mit (\*)

$$A^2/r^2 d^2(1/r)/d\phi^2 = kM/r^2 - A^2/r^3$$

$$d^2(1/r)/d\phi^2 = kM/A^2 - 1/r$$

Mit  $f = 1/r$  ergibt sich für  $f''(x) = k - f(x)$  die Lösung  $f(x) = c \cos(x) + k$  und weiter

$$1/r = c \cos \phi + kM/A^2$$

$$r = 1/(c \cos \phi + kM/A^2) = A^2/kM / (1 + C \cos \phi)$$

Dies ist die Polargleichung eines Kegelschnittes mit der Exzentrizität  $\varepsilon = C$ .

Für verschiedene  $\varepsilon$  wird

$$0 < \varepsilon < 1 \quad \text{Ellipse mit } a(1 - \varepsilon^2) = A^2/kM$$

$$\varepsilon = 1 \quad \text{Parabel mit } p = A^2/kM$$

$\varepsilon > 1$  Hyperbel mit  $a(\varepsilon^2 - 1) = A^2/kM$

Im elliptischen Fall ergibt sich

$$r(\phi) = a(1 - \varepsilon^2) / (1 + \varepsilon \cos \phi)$$

mit  $A^2/kM = a(1 - \varepsilon^2)$  und  $C = \varepsilon$ .

Damit ist die Bahn eines Himmelskörpers ein Kegelschnitt, im Falle der Planeten eine Ellipse, und das erste Keplersche Gesetz ist gezeigt.

Quelle: <http://ga.randers-hf-vuc.dk/matlex/kepler.html>



### Drittes Keplersches Gesetz

Unter der vereinfachenden Annahme einer Kreisbahn der Planeten um den Mittelpunkt der Sonne kann das Dritte Keplersche Gesetz hergeleitet werden. Hat der Planet die Entfernung  $r$  zur Sonne, die Masse  $m$ , die Umlaufzeit  $T$ , die Bahngeschwindigkeit  $v$  und die Sonne die Masse  $M$ , so bildet die Gravitationkraft  $F_G$  die Radialkraft  $F_R$  auf den Planeten:

$$F_G = F_R$$

$$\gamma m M / r^2 = m v^2 / r = m (2\pi r)^2 / T^2 / r = m 4 \pi^2 r / T^2$$

$$T^2 / r^3 = 4 \pi^2 / (\gamma M)$$

Da die Sonnenmasse  $M$  (annähernd) konstant ist und die anderen Größen der rechten Seite ebenfalls, wird mit  $r \approx a$  (große Halbachse) in guter Näherung

$$T^2 / a^3 = \text{konstant}$$

Für zwei Planeten mit den Umlaufzeiten  $T_1, T_2$  und den großen Halbachsen  $a_1, a_2$  also

$$T_1^2 / a_1^3 = T_2^2 / a_2^3$$

d.h., das dritte Keplersche Gesetz.

Zur einfachen Berechnung setzt man als 2. Planeten die Erde mit  $T_2 = 1$  a und  $a = 1$  AE ein. Damit gilt für einen Planeten der Umlaufzeit  $T$  und Halbachse  $a$  ohne(!) Berücksichtigung der Maßeinheiten Jahr a und Astronomische Einheit AE:  $T = \sqrt{a^3}$   $a = \sqrt[3]{T^2}$

Zum Beispiel ergibt sich für den Saturn mit der siderischen Umlaufzeit  $T$  von 29,46 a eine große Halbachse  $a$  von 9,54 AE.

### Bahnparameter

$a$  ... große Halbachse,  $e$  ... Exzentrizität

Perihel  $r_{\min} = a(1 - \varepsilon)$

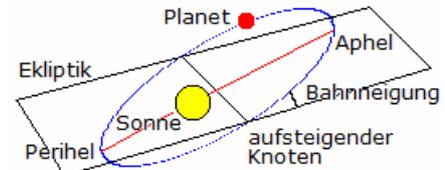
Aphel  $r_{\max} = a(1 + \varepsilon)$

Bahnexzentrizität  $\varepsilon = e / a$

Bahngeschwindigkeit  $v(r) = \sqrt{\gamma M (2/r - 1/a)}$

Bahngeschwindigkeit im Perihel  $v_p$  und Aphel  $v_a$

Mittlere Geschwindigkeit  $(v_a + v_p) / 2$



$$v_p / v_a = (1 + \varepsilon) / (1 - \varepsilon)$$

### Umlaufzeiten

$T$  ... siderisch,  $T_{\text{syn}}$  ... synodisch,  $T_E$  ... Umlaufzeit der Erde

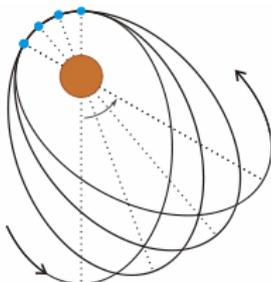
für untere Planeten  $1/T_{\text{syn}} = 1/T - 1/T_E$

für obere Planeten  $1/T_{\text{syn}} = 1/T_E - 1/T$

### Bahngeschwindigkeiten

Geschwindigkeit eines Satelliten  $v = \sqrt{[2g \cdot r_E^2 \cdot (1/r - 1/(2a))]}$

mittlerer Erdradius  $r_E$ , große Halbachse  $a$ , Abstand  $r$  vom Erdmittelpunkt



### Periheldrehung, Apsidendrehung

Unter der Apsidendrehung einer elliptischen Umlaufbahn eines Planeten versteht man eine Drehung der Bahn in der Bahnebene, wobei die Form der Bahn und deren Lage im Raum erhalten bleibt. Insbesondere betrachtet man die Periheldrehung, d.h. die Verschiebung des Perihels.

Hauptursachen sind gravitative Einflüsse anderer Planeten auf die Bahn sowie die Abweichung der Sonne von einer idealen Kugelform.

Für den Merkur ergeben sich 530 Bogensekunden Periheldrehung je Jahrhundert.

Allerdings misst man 571,91" je Jahrhundert. Der Überschuss kann nur mit der

Allgemeinen Relativitätstheorie erklärt werden und folgt aus der gravitativen Krümmung der Raumzeit.

Sind  $G$  die Newtonsche Gravitationskonstante,  $M_s$  die Sonnenmasse,  $T$  die Umlaufzeit des Planeten,  $a$  die große Bahnhalbachse,  $e$  die Bahnexzentrizität und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit, so gilt für die relativistische Periheldrehung  $\omega$  je Jahr

$$\omega = 6\pi GM_s / (Ta(1 - e^2)c)$$

Einsetzen der Konstanten ergibt als Näherungslösung für " je Jahrhundert

$$\omega = 9,91294 / (a^{1,5} (1 - e^2))$$

Mit den Merkurdaten  $a = 0,387099$  AE und  $e = 0,205630$  ergibt sich die relativistische Periheldrehung von 42,98" je 100 Jahren.

### Kreisbahngeschwindigkeit

Die Kreisbahngeschwindigkeit oder 1.kosmische Geschwindigkeit  $v$  ist diejenige Geschwindigkeit, die ein Körper haben müsste, wenn er sich auf einer Kreisbahn im Abstand  $r_{\text{Planet}}$  vom Planetenmittelpunkt befände. Das ist die Geschwindigkeit, bei der ein waagrecht geworfener Körper gerade nicht mehr auf den Planeten fällt.

1.kosmische Geschwindigkeit  $v = \sqrt{\gamma m/r}$

Bedingung: Radialkraft = Gravitationskraft

$$m v^2 / r_{\text{Planet}} = \gamma m m_{\text{Planet}} / r_{\text{Planet}}^2$$

### Parabelbahngeschwindigkeit, Fluchtgeschwindigkeit

Als Fluchtgeschwindigkeit oder Entweichgeschwindigkeit wird die Geschwindigkeit eines Raumflugkörpers bezeichnet, um das Gravitationsfeld des Himmelskörpers bzw. des kosmischen Systems zu verlassen.

Die Parabelbahngeschwindigkeit ist um den Faktor  $\sqrt{2} = 1,414\dots$  größer als die Kreisbahngeschwindigkeit eines Raumflugkörpers in einer bestimmten Bahnhöhe über der Erdoberfläche.

2.kosmische Geschwindigkeit  $v = \sqrt{2\gamma m/r}$

Damit ein Körper aus dem Anziehungsbereich eines Planeten gelangt, muss er soviel kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  erhalten, dass diese die Differenz zwischen Endenergie und Anfangsenergie übersteigt.

$$E_{\text{kin}} = 1/2 m v^2 = \gamma m m_{\text{Planet}} / r_{\text{Planet}}$$

Hinweis: Unter der 3.kosmischen Geschwindigkeit (Hyperbelbahngeschwindigkeit) versteht man die Fluchtgeschwindigkeit um aus dem Gravitationsfeld der Sonne zu entfliehen. Diese beträgt etwa 16,7 km/s in Richtung der Bewegung der Erde.

### Allgemeine Bahngeschwindigkeit

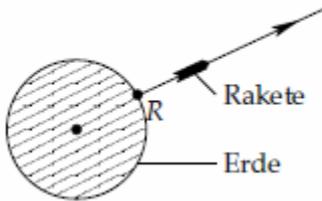
Standardgravitations-Parameter  $\mu$ , Abstand  $r$  zwischen Zentralkörper und sich bewegenden Körper, spezifische Potentialenergie  $\epsilon$ , große Halbachse  $a$

allgemein  $v = \sqrt{2(\mu/r + \epsilon)}$

elliptische Bahn  $v = \sqrt{\mu(2/r - 1/a)}$

parabolische Bahn  $v = \sqrt{\mu(2/r)}$

hyperbolische Bahn  $v = \sqrt{\mu(2/r + 1/a)}$



### Herleitung der Fluchtgeschwindigkeit

Die radiale Bewegung  $r = r(t)$  einer Rakete im Gravitationsfeld der Erde mit dem Radius  $R$  wird durch die Newtonsche Bewegungsgleichung

$$m r'' = -G M m / r^2$$

mit  $r(0) = R$ ,  $r'(0) = v$  und der Masse  $m$  der Rakete, der Masse  $M$  der Erde und der Gravitationskonstanten  $G$  beschrieben.

Der Energiesatz ergibt

$$r'^2 = 2GM/r + \text{konst.}$$

Unter Berücksichtigung der Anfangsbedingung wird weiterhin

$$r'^2 = 2GM/r + (v^2 - 2GM/R)$$

Ist die Startgeschwindigkeit  $v$  der Rakete gesucht, für die die Rakete nicht zur Erde zurückkehrt, d.h.  $r'(t) > 0$  für alle Zeiten  $t$ , ergibt sich der kleinste derartige Wert für  $v$ , wenn

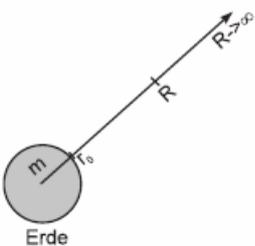
$$v^2 - 2GM/R = 0$$

ist, d.h.  $v = \sqrt{2GM/R}$

Für die Erde beträgt damit die Fluchtgeschwindigkeit rund 11,2 km/s.

Für diese Startgeschwindigkeit  $v$  ergibt sich als  $r$ - $t$ -Gesetz der Raketenbewegung

$$r(t) = (R^{3/2} + 3/2 \sqrt{2GM} t)^{2/3}$$



### Herleitung der Fluchtgeschwindigkeit und Fluchtarbeit

Im Gravitationsfeld der Erde soll eine Masse  $m$  aus der Entfernung  $r_0$  ins Unendliche gebracht werden. Welche Arbeit  $W$  ist dazu aufzuwenden und welche Geschwindigkeit (= Fluchtgeschwindigkeit) benötigt die Masse dazu?

Die Arbeit  $W_R$ , die aufgebracht werden muss, um die Masse von  $r = r_0$  nach  $r = R$  zu bringen, ist über das Gravitationsgesetz  $F(r) = G m M / r^2$  gegeben durch

$$W_R = \int_{r_0}^R F(r) dr = \int_{r_0}^R G M m / r^2 dr = G m M \int_{r_0}^R 1/r^2 dr$$

$$= G m M [-1/r]_{r_0}^R = G m M (1/r_0 - 1/R)$$

Dabei ist  $G$  die Gravitationskonstante und  $M$  die Masse der Erde. Für  $R \rightarrow \infty$  gilt dann

$$W_{\infty} = \lim_{R \rightarrow \infty} W_R = G m M / R_0$$

Dies ist gleich der kinetischen Energie  $m/2 v^2$ , welche die Masse zu Beginn besitzen muss; also ist die Fluchtgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2GM/R_0}$$

### Dritte kosmische Geschwindigkeit

Die dritte kosmische Geschwindigkeit ist die Fluchtgeschwindigkeit von der Sonne, berechnet von der Erdbahn aus.

Setzt man die Sonnenmasse und den Abstand Erde-Sonne in die Gleichung der 2.kosmischen Geschwindigkeit ein, ergibt sich

$$v_3 = 42,1 \text{ km/s.}$$

Diese Fluchtgeschwindigkeit gilt nur für einen Körper, der sich im Abstand der Erde von der Sonne wegbewegt. Soll die Rakete von der Erde starten und das Sonnensystem verlassen, muss sie das gemeinsame Gravitationsfeld von Erde und Sonne überwinden. Für den Start von der Erde wird die Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne genutzt.

Da diese 29,8 km/s beträgt, ergibt sich bei Abschuss tangential zur Erdbahn eine Geschwindigkeit

$$\Delta v = 42,1 \text{ km/s} - 29,8 \text{ km/s} = 12,3 \text{ km/s}$$

relativ zur Erde.

Allerdings wird die Fluchtgeschwindigkeit von der Erde zusätzlich benötigt, d.h.

$$v_3 = \sqrt{(\Delta v)^2 + v_2^2} = 16,5 \text{ km/s}$$

Die Rotationsgeschwindigkeit der Erde kann ebenso noch genutzt werden.

### Vierte kosmische Geschwindigkeit

Die vierte kosmische Geschwindigkeit ist nötig, um die Milchstraße zu verlassen.

Da die Sonne für einen Umlauf um das galaktische Zentrum im Abstand von 28000 Lichtjahren 230 Millionen Jahre benötigt, ergibt sich nach dem dritten keplerschen Gesetz für die innere Masse der Galaxie  $M = 2 \cdot 10^{41} \text{ kg}$  und als Fluchtgeschwindigkeit von der ruhenden Sonne rund 320 km/s.

Nutzt man die Umlaufgeschwindigkeit von 220 km/s der Sonne um die Galaxis, verbleibt für die vierte kosmische Geschwindigkeit ein Wert von

$$v_4 \approx 100 \text{ km/s.}$$



### Geostationäre Bahn

Eine geostationäre Bahn ist eine Satellitenbahn, bei der die Umlaufzeit des Satelliten mit der Rotation der Erde synchron ist, d.h. der Satellit praktisch über der gleichen Stelle der Erdoberfläche "stehen" bleibt.

$$\text{Bahnradius } R = \sqrt[3]{\gamma m_{\text{Erde}} / \omega^2}$$

mit der Winkelgeschwindigkeit der Erde  $\omega = 2\pi / 86400 \text{ s} = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$  ergibt sich 42100 km Entfernung zum Erdmittelpunkt, d.h. rund 36000 km über der Erdoberfläche.

Wirklich stationär ist der Satellit nur, wenn seine Bahnebene in der Äquatorebene liegt. Andernfalls pendelt er mit einer Periode von 1 Tag zwischen der Nord- und Südhalbkugel hin und her.

Von einem geostationären Satelliten aus sind etwa  $160^\circ$  auf dem Äquator zu sehen. Die Satelliten können damit die ganze Erdoberfläche, bis auf zwei Polkappen oberhalb von etwa  $80^\circ$  Breite, abdecken.

Beispiel: Nachrichtensatellit Syncom 4

Ein selenostationärer Satellit müsste sich 86700 km über der Mondoberfläche befinden. Auf Grund der Gravitationskraft der Erde wäre die Bahn jedoch nicht stabil. Ein heliostationärer Satellit wäre 24 Millionen km von der Sonne entfernt, d.h. noch innerhalb der Merkurbahn, da diese 58 Millionen km Radius hat.

Herleitung des Bahnradius einer geostationären Bahn:

Für einen geostationären Satelliten beträgt die Umlaufzeit  $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min} = 86164,099 \text{ s}$  (siderische Tageslänge). Gravitationskraft und Radialkraft sind dabei gleich groß, d.h.

$$F_G = F_R \quad \gamma m_{\text{Satellit}} m_{\text{Erde}} / r^2 = m_{\text{Satellit}} v^2 / r$$

$$\gamma m_{\text{Erde}} / r^2 = v^2 / r$$

Mit  $v = 2\pi r / T$  wird

$$\gamma m_{\text{Erde}} / r^2 = 4\pi^2 r / T^2$$

$$r^3 = \gamma / (4\pi^2) m_{\text{Erde}} T^2$$

Bahnradius

$$r = \sqrt[3]{\gamma / (4\pi^2) m_{\text{Erde}} T^2}$$

Einsetzen von  $\gamma = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg s}^2)$  und  $m_{\text{Erde}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  ergibt  $r = 42150 \text{ km}$

Nach Abzug des Erdradius  $R_E = 6370 \text{ km}$  befindet sich der geostationäre Satellit 35780 km über der Erdoberfläche.

### Erdsatellit

Bewegt sich ein Satellit auf einer Bahn um die Erde, so gelten die Beziehungen

Gravitationsfeldstärke, Erdbeschleunigung  $g$

auf der Erdoberfläche  $g_0 = G m_E / r_E^2 = 9,81 \text{ m/s}^2$

in der Höhe  $h$   $g(h) = g_0 (1 + h/r_E)^{-2}$

Umlaufdauer  $T$  eines Erdsatelliten auf einer Kreisbahn in der Höhe  $h$

$$T(h) = 2\pi \sqrt{r_E / g_0 (1 + h/r_E)^3} = 5060 (1 + h/r_E)^{3/2} \text{ s}$$

Bahnradius  $r$  eines Erdsatelliten mit der Umlaufdauer  $T$

$$r = (r_E^2 g_0 / (4\pi^2) T^2)^{1/3} = 2,16 \cdot 10^4 \text{ m/s}^{2/3} T^{2/3}$$

Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Erdsatelliten in der Höhe  $h$

$$v(h) = \sqrt{r_E g_0 / (1 + h/r_E)} = 7,91 \cdot 10^3 \text{ m/s} (1 + h/r_E)^{-1/2}$$

Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Erdsatelliten mit der Umlaufdauer  $T$

$$v(T) = (2\pi r_E^2 g_0 / T)^{1/3} = 1,36 \cdot 10^5 \text{ m/s}^{2/3} T^{-1/3}$$

Höhe eines Erd-Synchrone Satelliten über der Erdoberfläche

$$h_s = (g_0 r_E^2 T_E^2 / (4\pi^2))^{1/3} - r_E = 35800 \text{ km}$$

### Hohmann-Bahn

Eine Hohmann-Bahn ist eine Satellitentransferbahn von der Erde zu einem anderen Planeten. Die Hohmann-Bahn ist eine Ellipse, die beide Planetenbahnen tangiert und so besonders energieeffizient ist. Im Aphel wird die äußere, im Perihel die innere Planetenbahn berührt. Sind  $r_1$  das Perihel und  $r_2$  das Aphel, so gilt:

Große Halbachse der Hohmann-Bahn  $a = (r_1 + r_2) / 2$   
 Bahngeschwindigkeit im Abstand  $r$   $v = \sqrt{2 \gamma m_{\text{Sonne}} (1/r - 1/(r_1 + r_2))}$   
 Geschwindigkeit am Perihel  $v_{\text{Per}} = \sqrt{2 \gamma m_{\text{Sonne}} r_2 / (r_1 \cdot (r_1 + r_2))}$   
 Geschwindigkeitsdifferenz zur Planetengeschwindigkeit am Startpunkt  
 $\Delta v = \sqrt{(\gamma m_{\text{Sonne}} / r_1) [ \sqrt{2 r_2 / (r_1 + r_2)} - 1 ]}$   
 Umlaufzeit des Satelliten auf der Hohmann-Bahn  
 $T = 2\pi \sqrt{[(r_1 + r_2)^3 / (8 \gamma m_{\text{Sonne}})]}$   
 Flugzeit bis zum Erreichen des Zielplaneten  
 $t = \pi \sqrt{[(r_1 + r_2)^3 / (8 \gamma m_{\text{Sonne}})]}$

### Satellitenparadoxon

Sinkt ein Satellit aufgrund des Luftwiderstandes, so erhöht sich seine Geschwindigkeit und er pendelt sich auf einer geringeren Höhe wieder ein. Die Geschwindigkeitsänderung kann durch das Aktionsprinzip ermittelt werden.

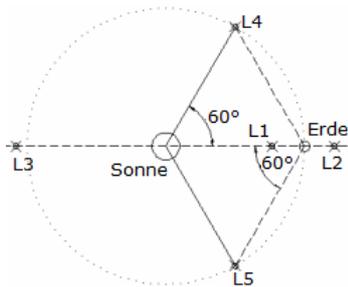
Größen:  $g_0$  Fallbeschleunigung auf der Erdoberfläche ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $m$  Masse des Satelliten,  $m_{\text{Erde}}$  Masse der Erde ( $5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ ),  $h$  Abstand von Erdoberfläche zum Satellit,  $r_{\text{Erde}}$  Erdradius ( $6378 \text{ km}$ ),  $v$  Satellitengeschwindigkeit,  $\gamma$  Gravitationskonstante ( $6,673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )

$$m \cdot v^2 / (r_{\text{Erde}} + h) = \gamma \cdot m \cdot m_{\text{Erde}} / (r_{\text{Erde}} + h)^2$$

$$v_1 = r_{\text{Erde}} \sqrt{(g_0 / (r_{\text{Erde}} + h_1))}$$

$$v_2 = r_{\text{Erde}} \sqrt{(g_0 / (r_{\text{Erde}} + h_2))}$$

$$\Delta v = v_2 - v_1$$



### Lagrange-Punkte, Librationspunkte

Unter den Lagrange- oder Librationspunkten versteht man die von Joseph Louis Lagrange entdeckten Punkte in einem Planetensystem, an denen sich die Wirkung der Gravitation der beiden Himmelskörper ausgleicht. Die Lagrange-Punkte werden mit L1 - L5 bezeichnet.

In dem Sonne-Erde-System sind die Lagrange-Punkte:

L1 ... zwischen Erde und Sonne in Sonnenrichtung, ca. 1,5 Millionen km von der Erde entfernt. Am Lagrangepunkt L1 befindet sich seit 1995 der Sonnenbeobachtungssatellit SOHO.

Der 1. Lagrange-Punkt wird auch abarischer Punkt genannt.

L2 ... in der entgegengesetzten Richtung zur Sonne in der gedachten Linie Sonne-Erde in ca. 1,5 Millionen km von der Erde entfernt. Die NASA plant, den Hubble-Nachfolger James Webb Space Telescope am Punkt L2 zu platzieren.

L3 .. befindet sich in mehr als 300 Millionen km Entfernung von der Erde hinter der Sonne.

L4 und L5 .. sind 150 Millionen km von der Erde und der Sonne entfernt. Die Punkte Sonne-Erde-L4 oder L5 bilden die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks.

Für den Abstand  $d$  des Lagrange-Punkts L1 gilt für zwei Himmelskörper mit den Massen  $m_1$ ,  $m_2$  und der Entfernung  $r$ :  $d = r / (1 + \sqrt{(m_2/m_1)})$

$d$  wird dabei vom ersten Himmelskörper aus gemessen.

Für das Erde-Mond-System liegt der L1-Punkt etwa 346000 km vom Mittelpunkt der Erde aus in Richtung Mond.

### Grundlagen des Raketenantriebs

#### Grundgleichung des idealen Raketenantriebs, Ziolkowski-Gleichung

Rakete befindet sich im leeren Raum, Gravitationskräfte sowie relativistische Massenänderungen werden vernachlässigt

$$v_e = v_0 + v_G \ln (m_0/m_1)$$

Geschwindigkeit der Rakete bei Brennschluss  $v_e$ , Geschwindigkeit bei Brennbeginn  $v_0$ ,

Ausströmgeschwindigkeit der Gase relativ zur Rakete  $v_G$ , Masse bei Brennschluss  $m_1$ , Masse bei Brennbeginn  $m_0$

Schubkraft  $F_s = v_G dm/dt$

Massenverhältnis  $m_0 / m_1 = e^{(v_e - v_0)/v_G}$

Antriebskraft und Geschwindigkeit der Rakete zur Zeit  $t$  bei Berücksichtigung der Gravitationskraft der Erde, Vernachlässigung des Luftwiderstandes, konstante Ausströmgeschwindigkeit der Gase sowie konstanter Änderung der Masse und konstanter Fallbeschleunigung

$$(m_0 + dm/dt) dv/dt = F_S - (m_0 + dm/dt) g$$

$$dm/dt = \text{const}$$

$$v = v_0 + v_G \ln (m_0 / (m_0 - dm/dt t)) - g t$$

Höhe, die zur Zeit  $t$  erreicht wird

$$h = v_0 t + (v_G t - v_G m_0 / (dt/dm)) \ln (m_0 / (m_0 - dm/dt t)) + v_G t - 1/2 g t^2$$

Ist in Höhe  $h$  Brennschluss, so steigt die Rakete noch auf die Gesamthöhe

$$h_g = h + v^2 / (2g)$$

### Warp-Geschwindigkeit

Für die Science-Fiction-Serie "Star Trek" müssen die Raumschiffe zur "Entdeckung fremder Welten, die nie ein Mensch zuvor gesehen hat", Geschwindigkeiten erreichen können, die um ein Vielfaches die Lichtgeschwindigkeit überschreiten; auch wenn es physikalisch unmöglich ist.

Um riesige Entfernungen in kurzer Zeit überwinden zu können und um die riesige Fan-Gemeinde zu beruhigen, wurde durch die technischen Berater der Serie Rick Sternbach und Michael Okuda versucht, eine einigermaßen plausible Berechnungsvorschrift zu erschaffen.

Die Geschwindigkeit der Raumschiffe wird durch den "Warp-Faktor" beschrieben. Warp-Faktor 1 ist Lichtgeschwindigkeit  $c$ , Warp 2 zehnfach  $c$ , Warp 3 sind  $39 c$ , ..., Warp 10 unendlich, was natürlich nicht geht.

Als Berechnungsvorschrift wurde vereinbart: Vielfache von  $c = w^{\phi(w)}$ , mit

$$\phi(w) = 10/3 \text{ für } 1 \leq w \leq 9$$

$$\phi(w) = -0,11070843890016997 \cdot \lg(10-w)^2 - 0,06109573677020381 \cdot \lg(10-w) + 3,33321893526299 \text{ für } 9 \leq w \leq 9,2$$

$$\phi(w) = 0,28728320316656963 \cdot \lg(10-w)^2 + 0,13585043593501714 \cdot \lg(10-w) + 3,348567232768447 \text{ für } 9,2 \leq w \leq 9,9$$

$$\phi(w) = 0,1 \cdot \lg(10-w)^2 - 0,1 \cdot \lg(10-w) + 3,3 \text{ für } 9,9 \leq w < 10$$

(Gleichungen von Arndt Brünner und Markus Göpfert)

Dies ist natürlich alles als Spaß anzusehen. Warp-Geschwindigkeit gibt es eben nicht!

### Merkur

Der Merkur ist als erster Planet des Sonnensystems von der Erde aus schwer zu sehen, weil er so klein und so nah an der Sonne ist. Zu bestimmten Zeiten im Jahr kann man ihn direkt nach Sonnenuntergang oder vor Sonnenaufgang sehen. Die übrige Zeit verschwindet er im grellen Licht der Sonne.

Sonnenabstand mittel	57,909175 Millionen km = 0,38709888 AE
Sonnenabstand maximal	69,7 Millionen km = 0,467 AE
Sonnenabstand minimal	45,9 Millionen km = 0,306 AE
Umlaufzeit	87,969 d = 0,2408467 a
Rotationsperiode	58,646225 d
mittl. Bahngeschwindigkeit	47,8725 km/s
Achsenneigung	$\sim 0,0^\circ$
Bahnneigung	$7^\circ 00' 15",5 = 7,00487^\circ$
Bahnexzentrizität	0,20563069
Radius	2439,764 km = 0,3825 $R_{\text{Erde}}$
Oberfläche	$7,475 \cdot 10^7 \text{ km}^2$
scheinbarer Durchmesser	Minimum $4",5$ , Maximum $12",9$
Masse	$3,3022 \cdot 10^{26} \text{ g} = 0,055270$ der Erde
Dichte	$5,43 \text{ g/cm}^3$
Entweichgeschwindigkeit	4,25 km/s
Schwerebeschleunigung	$0,378 \text{ g} = 3,70 \text{ m/s}^2$
Mittlere Oberflächentemperatur	$350^\circ \text{C}$ (Tag), $-170^\circ \text{C}$ (Nacht)
Abplattung	$\sim 0$
Albedo	0,06
maximale Helligkeit	$-1,9 \text{ mag}$
mittlerer Sonnendurchmesser von Merkur	$1^\circ 22' 40''$
Länge des aufsteigenden Knotens	$48,35^\circ$
Länge des Perihels	$77,44^\circ$



### Venus

**Homer (Ilias, XXII, 318): "... der schönste Stern am Himmel ..."**

Die Venus ist der zweite Planet und der sechsgrößte des Sonnensystems. Venus, das hellste Objekt im Himmel, abgesehen von der Sonne und dem Mond, ist oft für mehrere Stunden nach Sonnenuntergang oder vor



Sonnenaufgang (deswegen wird sie auch "Abend"- oder "Morgen"-Stern genannt) zu sehen. Die Oberfläche wurde von sowjetischen und US-amerikanischen Raumsonden mit Radar untersucht. Bei der Beobachtung mit einem kleinen Teleskop zeigt Venus ähnliche Phasen wie der Mond, die Betrachtung mit stärkeren Instrumenten ermöglicht einen Blick in die dichte Wolkendecke, die den Planeten umhüllt.

Sonnenabstand mittel	108,2 Millionen km = 0,723 AE		
Sonnenabstand maximal	109 Millionen km = 0,728 AE		
Sonnenabstand minimal	107,4 Millionen km = 0,718 AE		
Umlaufzeit	224,701 d	Rotationsperiode	243,16 d
mittl. Bahngeschwindigkeit	35,02 km/s	Achsenneigung	177,36°
Bahnneigung	3°23'39",8	Bahnexzentrizität	0,007
Durchmesser	12104 km		
scheinbarer Durchmesser von der Erde	Minimum 9",5 Maximum 65",2		
Masse	$4,87 \cdot 10^{24}$ kg = 1/408520 der Sonne = 0,815 der Erde		
Dichte	5,25 g/cm <sup>3</sup>		
Entweichgeschwindigkeit	10,36 km/s		



Die Umlaufbahn der Venus ist die kreisförmigste aller Planeten mit einer Exzentrizität von weniger als 1%.

Venus (griechisch: Aphrodite; Babylonisch: Ishtar) ist die Göttin der Liebe und Schönheit. Der Planet erhielt diesen Namen wahrscheinlich deshalb, weil er der hellste im Altertum bekannte Planet war. Venus ist seit vorgeschichtlicher Zeit bekannt. Wie Merkur war sie als zwei verschiedene Körper bekannt: Eosphorus als Morgenstern und Hesperus als Abendstern.

Weil Venus ein niedriger Planet ist, zeigt sie Phasen, wenn sie von der Erde aus beobachtet wird. Galileis Beobachtungen dieses Phänomens war ein wichtiger Beweis für die kopernikanische, heliozentrische Theorie über das Sonnensystem.

Die Rotation der Venus ist ausgesprochen ungewöhnlich, weil sie zum einen sehr langsam ist (ein Venustag dauert 243 Erdentage, geringfügig länger als ein Venusjahr) und zum anderen gegenläufig rotiert. Außerdem stimmen die Umlaufzeit und die Rotationszeit der Venus derart überein, dass immer dieselbe Seite zur Erde zeigt, wenn die beiden sich am nächsten sind. Ob es sich dabei um eine Resonanzwirkung handelt, ist nicht bekannt.

Schwerebeschleunigung	0,905 g		
Mittlere Oberflächentemperatur	480 °C (Tag), -33 °C (Nacht)		
Atmosphärendruck	93 atm	Atmosphäre	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>
Abplattung	~ 0		
Albedo	0,76		
maximale Helligkeit	-4,4 mag		
mittlerer Sonnendurchmesser von Venus	44' 15"		
Länge des aufsteigenden Knotens	76,72°	Länge des Perihels	131,56°



Venus wird manchmal als der Schwesterplanet der Erde bezeichnet. Sie sind sich in vielerlei Hinsicht sehr ähnlich:

1. Venus ist nur unwesentlich kleiner als die Erde (95% des Erddurchmessers, 80% der Erdmasse)
2. Beide haben wenige Krater, ein Hinweis auf relativ junge Oberflächen
3. Ihre Dichten und chemischen Zusammensetzungen sind ähnlich

Wegen dieser Ähnlichkeiten dachte man, dass die Venus unter den dichten Wolken sehr erdähnlich ist und sogar Leben beherbergt. Aber unglücklicherweise brachten genauere Studien ans Tageslicht, dass sie sich in mancher Hinsicht radikal von der Erde unterscheidet.

Der Druck der Venusatmosphäre beträgt 90 Atmosphären (etwa der Druck, der einen Kilometer unter den Ozeanen der Erde herrscht). Die Atmosphäre setzt sich hauptsächlich aus Kohlendioxid zusammen. Es gibt verschiedene mehrere Kilometer dicke Schichten aus Schwefelsäuredampf. Diese Wolken verdecken vollständig den Blick auf die Oberfläche. Diese dichte Atmosphäre verursacht einen unkontrollierbaren Treibhauseffekt, der die Oberflächentemperatur um ungefähr 400 Grad auf über 740 K aufheizt. Die Oberfläche der Venus ist tatsächlich heißer als die von Merkur.



Der Großteil der Venusoberfläche besteht aus sanft geschwungenen Ebenen mit geringen Erhebungen. Es gibt verschiedene weite Mulden: Atalanta Planitia, Guinevere Planitia, Lavinia Planitia. Es gibt zwei große Gebirgszüge: Ishtar Terra auf der nördlichen Halbkugel (ungefähr mit der Größe Australiens) und Aphrodite Terra entlang des Äquators (in etwa so groß wie Südamerika). Das Innere

des Ishtar-Gebirges besteht im Wesentlichen aus einer Hochebene, Lakshmi Planum, die von den höchsten Bergen auf der Venus umgeben sind, inklusive der enormen

### Maxwell Montes.

Es gibt keine kleineren Krater auf der Venus. Es scheinen kleine Meteoroiden in der dichten Atmosphäre der Venus zu verglühen, bevor sie die Oberfläche erreichen können. Die Krater auf der Venus scheinen in Bündeln aufzutreten, was darauf hindeutet, dass große Meteoroiden, die die Oberfläche erreichen können, normalerweise in der Atmosphäre zerbrechen.

Die ältesten Terrains auf der Venus sind ungefähr 800 Millionen Jahre al. Umfangreicher Vulkanismus zu jener Zeit löschte die ältere Oberfläche aus, inklusive aller größeren Krater aus der Frühgeschichte der Venus. Die Bilder der Raumsonde Magellan zeigen eine große Vielfalt an interessanten und einzigartigen Merkmalen inklusive der Pfannkuchenvulkane, die nach Eruptionen sehr dicker Lava aussehen, und Coronae, die eingestürzte Hohlräume oberhalb von riesigen Lavakammern sein könnten.



### Mars

Der Mars ist der vierte Planet des Sonnensystems.

Der Mars erscheint in unserem Himmel, selbst für das bloße Auge, rötlich. Dies rührt von dem reichen Gehalt an Rost (Eisenoxid) in der obersten Bodenschicht her. Im Marsfrühling ändert die Oberfläche des Planeten aufgrund jahreszeitlich bedingter Winde, welche dunklere Flächen des rötlichen Staubs zu- oder aufdecken, ihre Farbe.

Der Mars hat zwei kleine Monde. Phobos ist der größere Mond und bewegt sich in nur siebeneinhalb Stunden um den Mars. Deimos, der kleinere Mond, braucht 30 Stunden zum Umkreisen.

"The chances of anything coming from Mars, are a million to one, he said Yes, the chances of anything coming from Mars, are a million to one, but

still they come!" Orson Wells, War of the Worlds

Sonnenabstand mittel	227,94 Millionen km = 1,524 AE	
Sonnenabstand maximal	249,1 Millionen km = 1,666 AE	
Sonnenabstand minimal	206,7 Millionen km = 1,381 AE	
Umlaufzeit	686,98 d	synodische Umlaufzeit 779,9 d
Rotationsperiode	24h 37 min 22,6 s	mittl. Bahngeschwindigkeit 24,13 km/s
Achsenneigung	25,19°	Bahnneigung 1°50'59",4
Bahnexzentrizität	0,093	maximale Helligkeit -2,8 mag
Durchmesser	6794 km (äquatorial)	6750 km (polar)
scheinbarer Durchmesser von der Erde	Minimum 3",5	Maximum 25",7
Masse	6,421 · 10 <sup>26</sup> g = 1/3098700 der Sonne = 0,107 der Erde	
Dichte	3,94 g/cm <sup>3</sup>	
Entweichgeschwindigkeit	5,02 km/s	Schwerebeschleunigung 0,379 g
Mittlere Oberflächentemperatur	-23 °C	Atmosphärendruck 0,007 atm
Atmosphäre	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Ar	Abplattung 0,009
Albedo	0,16	
mittlerer Sonnendurchmesser von Mars 21'		

### Marsoppositionen

Oppositionsdatum	größte Annäh.	kleinster Abstand	scheinb. Durchmesser	Helligkeit
7. Januar 1993	3.1.93	94 Millionen km	14,9"	-1,2 Zwillinge
12. Februar 1995	11.2.95	101 Millionen km	13,8"	-1,0 Löwe
17. März 1997	20.3.97	99 Millionen km	14,2"	-1,1 Jungfrau
24. April 1999	1.5.99	87 Millionen km	16,2"	-1,5 Jungfrau
13. Juni 2001	21.6.1	67 Millionen km	20,8"	-2,1 Schütze
28. August 2003	27.8.3	56 Millionen km	25,1"	-2,7 Steinbock
7. November 2005	30.10.5	69 Millionen km	20,1"	-2,1 Widder
24. Dezember 2007	19.12.7	88,2 Millionen km		
29. Januar 2010	27.1.10	99,3 Millionen km		

### Marsjahreszeiten

Nordhalbkugel: Winter 156 Marstage Frühling 194 Marstage  
Sommer 177 Marstage Herbst 142 Marstage

### Bahnelemente

Länge des aufsteigenden Knotens 49,60° Länge des Perihels 335,99°

### Marsmond Phobos

mittlerer Abstand 9270 km Siderische Umlaufzeit 0.3189 d  
Synodische Umlaufzeit 7h 39min 26.6s Bahnneigung zum Marsäquator 1°.1

Bahnexzentrizität 0.0210  
 Mittl. Oppositionshelligkeit 31.6 mag  
 Entweichgeschwindigkeit 0.016 km/s  
 Durchmesser (km) 27 x 22 x 18  
 Masse (kg)  $1.08 \cdot 10^{16}$  Dichte (g/cm<sup>3</sup>) 2.0  
 Entdeckung am 16.8.1877



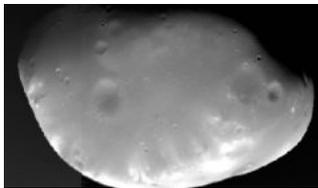
### Krater auf Phobos

D'Arrest, Hall, Roche, Sharpless, Stickney, Todd, Wendell

Dem Aussehen nach gleicht Phobos, wie auch Deimos, einem Asteroiden.

Er ist kraterbedeckt und teilweise von Furchen überzogen, die zwischen 100 und 200 m breit und 5-10 m tief sind. Der größte Krater ist Stickney mit einem Durchmesser von 10km, was im Vergleich zur Größe des Mondes sehr groß ist. Der Zusammenstoß, durch den der Krater erzeugt wurde, hat Phobos im Innern wahrscheinlich zerbrochen.

Phobos würde einem Beobachter auf dem Mars mit einer Helligkeit von -3,9mag erscheinen, was etwa der Helligkeit der Venus von der Erde aus gesehen entspricht. Bei seiner Überquerung des Marshimmels in 4,5 Stunden zeigt er mehr als die Hälfte seiner Phasen. Seine Bahn liegt gerade außerhalb der Rocheschen Grenze, also dem Abstand vom Mars, unter dem er von den Gezeitenkräften zerbrechen würde.



### Marsmond Deimos

mittlerer Abstand 23400 km  
 Siderische Umlaufzeit 1.2624 d  
 Synodische Umlaufzeit 1d 6h 21min 15.7s  
 Bahnneigung zum Marsäquator 1°.8  
 Bahnexzentrizität 0.0028  
 Mittl. Oppositionshelligkeit 12.8 mag

Entweichgeschwindigkeit 0.008 km/s  
 Durchmesser (km) 15 x 12 x 10  
 Masse (kg)  $1.8 \cdot 10^{15}$  Dichte (g/cm<sup>3</sup>) 1.7  
 Entdeckung am 10.6.1877

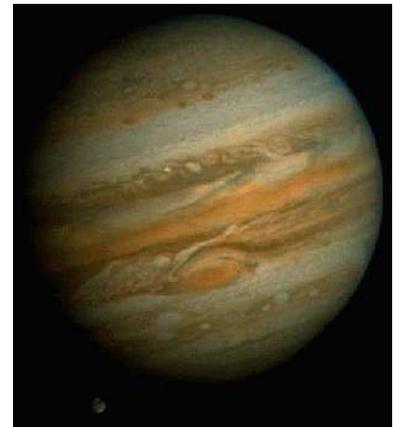
Im Unterschied zu Phobos gibt es auf Deimos keine Krater größer als 3km. Die Krater sind auch unscheinbarer als die von Phobos. Deimos bleibt für einen Beobachter auf dem Mars 2,5 Marstage über dem Horizont. Doch seine Phasen sind für diesen Beobachter kaum erkennbar. Der Viking Orbiter 2 passierte Deimos mit einem Abstand von nur 28km.

### Jupiter

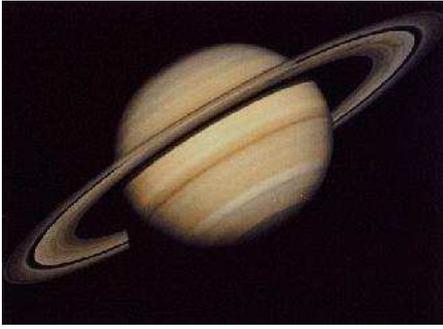
Der Jupiter ist der fünfte und größte Planet des Sonnensystems.

Jupiter ist der größte Planet des Sonnensystems. Seine Zusammensetzung entspricht eher der eines Sterns als der eines Planeten.

Helle Ringe, wechselnde Wolkenstrukturen, vier Hauptmonde, jeder davon größer als der Erdtrabant, und der große rote Fleck sind alle mit kleinen Teleskopen leicht zu sehen.



Durchmesser 143800 km  
 Masse 317,89fache Erdmasse  
 Dichte 1,33 g/cm<sup>3</sup>  
 Umlaufzeit 11 Jahre, 321 Tage = 111,86 a = 4332,59 d  
 synodische Umlaufzeit 398,9 d  
 Sonnenabstand mittel 778,34 Millionen km = 5,203 AE  
 Sonnenabstand maximal 815,7 Millionen km = 5,455 AE  
 Sonnenabstand minimal 740,9 Millionen km = 4,951 AE  
 Oberflächentemperatur -128 °C  
 mittl. Bahngeschwindigkeit 13,06 km/s Achsenneigung 3°04'  
 Bahnneigung 1°18'15",8 Bahnexzentrizität 0,048  
 Durchmesser 142796 km (äquatorial) Durchmesser 133800 km (polar)  
 scheinbarer Durchmesser von der Erde Minimum 30",4 Maximum 50",1  
 Masse  $1,901 \cdot 10^{27}$  kg = 1/1047,4 der Sonne = 317,89 der Erde  
 Entweichgeschwindigkeit 59,56 km/s Schwerebeschleunigung 2,529 g  
 Mittlere Oberflächentemperatur -150 °C  
 Abplattung 0,06 Albedo 0,43  
 maximale Helligkeit -2,6 mag mittlerer Sonnendurchmesser von Jupiter 6'9"  
 Länge des aufsteigenden Knotens 100,47° Länge des Perihels 15,63°  
 Atmosphäre H<sub>2</sub>, He

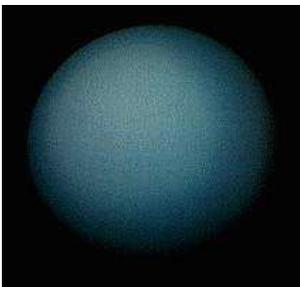


## Saturn

Der Saturn ist der sechste Planet des Sonnensystems. Saturn ist wohl der auch im Bild bekannteste Himmelskörper. Seine Schönheit, die bereits mit kleinen Fernrohren sichtbar wird, ist atemberaubend und stärkere Teleskope zeigen Details der Ringstruktur und der farbigen Streifen in den äußeren Schichten der Atmosphäre.

Die Ringe bestehen aus Milliarden von Teilchen, (vermutlich Wasser und Methan-Eis, die einen Durchmesser von wenigen Zentimetern bis hin zu mehreren Metern aufweisen. Es gibt drei große Ringsysteme, die durch die Cassini- und Encke-Zone unterteilt sind.

Sonnenabstand mittel	1427,0 Millionen km = 9,539 AE		
Sonnenabstand maximal	1507 Millionen km = 10,069 AE		
Sonnenabstand minimal	1347 Millionen km = 9,008 AE		
Länge des aufsteigenden Knotens	113,71°	Länge des Perihels	92,80°
Saturnringdurchmesser			
Ring A	272300 km außen, 239600 km innen	Ring B	234200 km außen, 181100 km innen
Ring C	168300 km außen, 149300 km innen		
Umlaufzeit	29,46 a = 10759,20 d	synodische Umlaufzeit	378,1 d
Rotationsperiode	10h 39,4 min	mittl. Bahngeschwindigkeit	9,66 km/s
Achsenneigung	6°44'	Bahnneigung	2°29'21",6
Bahnexzentrizität	0,056		
Durchmesser	120660 km (äquatorial)		108700 km (polar)
scheinbarer Durchmesser von der Erde	Minimum 15",0		Maximum 20",9
Masse	$5,674 \cdot 10^{26}$ kg = 1/3498,5 der Sonne = 95,17 der Erde		
Dichte	0,71 g/cm <sup>3</sup>	Entweichgeschwindigkeit	35,46 km/s
Schwerebeschleunigung	1,066 g	Mittlere Oberflächentemperatur	-180 °C
Abplattung	0,1	Albedo	0,61
Atmosphäre	H <sub>2</sub> , He	maximale Helligkeit	-0,3 mag
mittlerer Sonnendurchmesser von Saturn aus	3'22"		



## Uranus

Der Uranus ist der siebte Planet des Sonnensystems.

Ohne die Informationen, die durch Voyager 2 gesammelt worden sind, wäre nur wenig über diesen fernen Planeten bekannt.

Obwohl er in schwachen bis mittelstarken Teleskopen sichtbar ist, wird in Beobachtungen von der Erde aus nicht viel mehr als die blassblaue Farbe des Uranus festgestellt. Heute weiß man, dass der Planet ein System von mindestens neun Ringen besitzt. (Entdeckung durch William Herschel 1781)

Sonnenabstand mittel	2870,99 Millionen km = 19,1914 AE		
Sonnenabstand maximal	3004 Millionen km = 20,088 AE		
Sonnenabstand minimal	2735 Millionen km = 18,275 AE		
Umlaufzeit	84,01 a = 30684,9 d	synodische Umlaufzeit	369,7 d
Rotationsperiode	17h 14 min		entgegen der Bewegungsrichtung !!
mittl. Bahngeschwindigkeit	6,81 km/s		
Achsenneigung	97,86°	Bahnneigung	0,774°
Bahnexzentrizität	0,0461		
Durchmesser	51118 km (äquatorial) = 4,0074 r <sub>Erde</sub>		49946 km (polar)
scheinbarer Durchmesser von der Erde	Minimum 3",1		Maximum 3",7
Masse	$8,686 \cdot 10^{28}$ g = 1/22800 der Sonne = 14,53 der Erde		
Dichte	1,29 g/cm <sup>3</sup>	Entweichgeschwindigkeit	21,30 km/s
Schwerebeschleunigung	7,77 m/s <sup>2</sup> = 0,903 g		
Mittlere Oberflächentemperatur	-214 °C		
Abplattung	0,024	Albedo	0,51
maximale Helligkeit	5,52 mag		
Länge des aufsteigenden Knotens	74,06°		
Länge des Perihels	176,29°	Windgeschwindigkeit	40 - 160 m/s
Wolkentemperatur	-193 °C	Atmosphärendruck	1,2 bar
Abweichung der Magnetfeldachse von der Rotationsachse	60°		

## Entdeckung des Planeten Uranus

Der englische Astronom Sir Friedrich Wilhelm Herschel baute zunächst ein Spiegelfernrohr, schiffte sich dann einen Spiegel von 120 cm Durchmesser

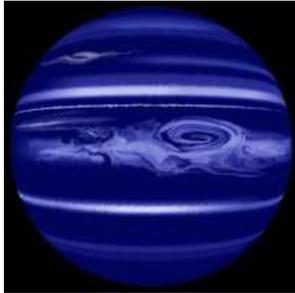


und entdeckte mit dessen Hilfe den von der Sonne aus gezählten siebten Planeten Uranus im Jahr 1779. Er zeigte sich als blaugrüne Scheibe mit bandähnlichen Wolkenstrukturen. Einige Jahre später gelang es Herschel, die Uranusmonde, die wesentlich kleiner sind als der die Erde umkreisende Mond, aufzufinden.

### Große Uranus-Monde

Name, Radius r, Masse m, Abstand a, Entdecker und Entdeckungszeit

Miranda V	r = 235.8 km, m = $6.33 \cdot 10^{19}$ kg, a = 129780 km, G.Kuiper 1948
Ariel I	r = 578.9 km, m = $1.27 \cdot 10^{21}$ kg, a = 191240 km, W.Lassell 1851
Umbriel II	r = 584.7 km, m = $1.27 \cdot 10^{21}$ kg, a = 265970 km, W.Lassell 1851
Titania III	r = 788.9 km, m = $3.49 \cdot 10^{21}$ kg, a = 435840 km, W.Herschel 1787
Oberon IV	r = 761.4 km, m = $3.03 \cdot 10^{21}$ kg, a = 582600 km, W.Herschel 1787



### Neptun

Der Neptun ist der achte Planet des Sonnensystems.

In seiner Größe und Zusammensetzung dem Uranus ähnlich, ist der achte Planet so weit von der Erde entfernt, dass Untersuchungen von der Erde aus nur wenig Details bieten.

Daten von der Voyager 2 bestätigen das Vorhandensein eines schwachen Ringsystems. Auf Neptuns größtem Mond, Triton, kann man durch 30-cm-Teleskope einen Blick werfen. Die bemerkenswert blaue Farbe der Wolkendecke entsteht aus dem hohen Methangehalt.

Entdeckung: Mathematische Berechnung aus Störungen der Uranusbahn durch

Urbain Jean Joseph Le Verrier

Optischer Nachweis: 23. September 1846 durch Johann Gottfried Galle und Louis d'Arrest

Sonnenabstand mittel	4504,3 Millionen km = 30,0611 AE
Sonnenabstand maximal	4537 Millionen km = 30,316 AE
Sonnenabstand minimal	4456 Millionen km = 29,800 AE
Umlaufzeit	164,79 a = 60190,3 d
Rotationsperiode	16h 6,7 min
Achsenneigung	28,31°
Bahnexzentrizität	0,0097
Durchmesser	49528 km (äquatorial) = 3,88 rErde
scheinbarer Durchmesser von der Erde aus	Minimum 2",0 Maximum 2",2
Masse	$1,0285 \cdot 10^{29}$ g = 1/19300 der Sonne = 17,135 der Erde
Volumen	V = 60 VErde
1.kosmische Geschwindigkeit	11,0 km/s
Schwerkbeschleunigung	1,096 g
Wolkentemperaturen	-193 bis -153°C
Abplattung	0,02
Atmosphärenzusammensetzung	H <sub>2</sub> = 85 %, He = 13 %, CH <sub>4</sub> = 2 %
Albedo	0,41
durchschnittliche Helligkeit	7,84 mag
Länge des Perihels	1,95°
synodische Umlaufzeit	367,5 d
mittl. Bahngeschwindigkeit	5,45 km/s
Bahnneigung	1°45'19",8
48680 km (polar)	
Dichte	1,64 g/cm <sup>3</sup>
Entweichgeschwindigkeit	23,50 km/s
Mittlere Oberflächentemperatur	-220 °C
Atmosphärendruck	1 bis 3 bar
Länge des aufsteigenden Knotens	131,81°



### Pluto

Der Pluto war bis 2006 der neunte und äußerste Planet des Sonnensystems, bis 14.3.1999 näher zur Sonne als Neptun. Am 14. Juli 2015 wird die Sonde "New Horizon" den Pluto erreichen. Pluto wurde am 23./29. Januar 1929 durch Clyde Tombaugh (Veröffentlichung 18.2.1930) entdeckt.

Umlaufzeiten siderisch = 248,54 a synodisch = 366,7 d

Entfernung  $5913,52 \cdot 10^6$  km = 39,5294 AE

das Licht benötigt 5,5 h von der Sonne zum Pluto

Bahnexzentrizität	0,2482	Bahngeschwindigkeit	4,74 km/s
Neigung zur Ekliptik	17,148°	Rotationsperiode	6 d 9 h 17 min
alle weiteren Werte ungenau:		Durchmesser	2380 km = 0,181 Erdradien
Achsenneigung	122,52°	Dichte	2,05 g/cm <sup>3</sup>
Masse	$1,29 \cdot 10^{22}$ kg = 0,00216 Erdmassen	Fluchtgeschwindigkeit	1,22 km/s
Äquatorialfallbeschleunigung	0,4 m/s <sup>2</sup>	scheinbare Helligkeit	15,12 mag
Albedo	0,3	Länge des aufsteigenden Knotens	110,42°
Atmosphäre enthält Methan, Stickstoff			
Länge des Perihels	224,59°		

Hinweis: Am 24. August 2006 wurde durch die Internationale Astronomische Union (IAU) der Pluto als Zwergplanet eingestuft.

## Zwergplanet

Zwergplaneten sind eine Gruppe von Himmelskörpern in unserem Sonnensystem, die sich auf einer Umlaufbahn um die Sonne bewegen, allerdings die Größe der Planeten nicht erreichen.

	Ceres	Pluto	Haumea	Makemake	Eris
große Halbachse					
in Mill.km	413,861	5908,994	6483,871	6830,639	10194,534
in AE	2,76649	39,49919	43,342	45,660	68,14625
num.Exzentrizität	0,0783751	0,2478395	0,189	0,156	0,4324393
Umlaufzeit in a	4,601	248,246	285,3	308,540	562,552
mittlere Ggeschwindigkeit					
in km/s	17,882	4,7490	4,524	4,404	3,436
Bahnneigung	10,5834°	17,1664°	28,194°	28,998°	43,7408°
Durchmesser in km	975	2344	200	1502	2326
Masse in kg	$9,5 \cdot 10^{20}$	$1,305 \cdot 10^{22}$	$3,9 \cdot 10^{21}$	$6 \cdot 10^{21}$	$1,5 \cdot 10^{22}$
Dichte in g/cm <sup>3</sup>	2,077	2,03	2,6	2	2
Gravitationsfeldstärke					
in m/s <sup>2</sup>	0,27	0,58	?	0,45	0,6
Fluchtgeschwindigkeit					
in km/s	0,51	1,2	?	0,8	1,3
Rotation in d	0,3781	-6,38718	0,16	?	0,33
mittlere Oberflächentemperatur					
in K	167	44	?	30	30
Anzahl Monde	0	5	2	0	1



### Jupitermond Io ; Nummer I

Entdecker	Galilei 1610
mittlerer Jupiterabstand	421600 km
mittl.Winkelabstand vom Jupiter	2'18,4"
siderische Umlaufzeit	1,769 Tage
synodische Umlaufzeit	1d 18 h 28 min 35,9 s
scheinbar.Durchmesser vom Jupiter aus	35'40"
Bahnneigung	0,04°
Bahnexzentrizität	0,004
Durchmesser	3660 x 3637 x 3631 km
Dichte	3,55 g/cm <sup>3</sup>
Fluchtgeschwindigkeit	2,56 km/s

Masse 1/21300 der Jupitermasse

Albedo 0,63 Helligkeit 4,9 mag

Io ist der innerste der vier großen Monde des Planeten Jupiter und mit einem Durchmesser von 3643 km der drittgrößte Mond Jupiters.

Ihre Besonderheit ist ein extremer Vulkanismus, der von keinem anderen Himmelskörper im Sonnensystem überboten wird. Bekannt wurde dieser Mond durch die erste Messung der Lichtgeschwindigkeit durch Ole Rømer im Jahr 1676 anhand beobachteter Verfinsterungszeiten von Io in Abhängigkeit von der Stellung des Jupiters zur Erde.

Benannt wurde der Mond nach Io, in der griechischen Mythologie eine Geliebte des Zeus.



### Jupitermond Europa ; Nummer II

Entdecker	Galilei 1610
mittlerer Jupiterabstand	670900 km
mittl.Winkelabstand vom Jupiter	3'40,1"
siderische Umlaufzeit	3,551 Tage
synodische Umlaufzeit	3d 13 h 17 min 53,7 s
scheinbar.Durchmesser vom Jupiter aus	17'30"
Bahnneigung	0,47°
Bahnexzentrizität	0,009
Durchmesser	3130 km
Dichte	3,04 g/cm <sup>3</sup>
Fluchtgeschwindigkeit	2,10 km/s
Masse	1/39000 der Jupitermasse
Albedo	0,64
Helligkeit	5,3 mag



Albedo 0,43 Helligkeit

### Jupitermond Ganymed ; Nummer III

Entdecker	Galilei 1610
mittlerer Jupiterabstand	1070000 km
mittl.Winkelabstand vom Jupiter	5'51,2"
siderische Umlaufzeit	7,155 Tage
synodische Umlaufzeit	7d 3 h 59 min 35,9 s
scheinbar.Durchmesser vom Jupiter aus	18'6"
Bahnneigung	0,21°
Bahnexzentrizität	0,002
Durchmesser	5268 km
Dichte	1,93 g/cm <sup>3</sup>
Fluchtgeschwindigkeit	2,78 km/s
Masse	1/12700 der Jupitermasse

4,6 mag

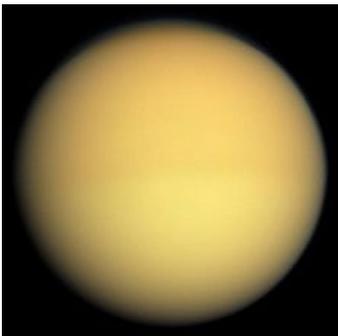


Albedo 0,17 Helligkeit

### Jupitermond Callisto ; Nummer IV

Entdecker	Galilei 1610
mittlerer Jupiterabstand	1880000 km
mittl.Winkelabstand vom Jupiter	10'17,6"
siderische Umlaufzeit	16,689 Tage
synodische Umlaufzeit	16d 18 h 5 min 6,9 s
scheinbar.Durchmesser vom Jupiter aus	9'30"
Bahnneigung	0,51°
Bahnexzentrizität	0,007
Durchmesser	4806 km
Dichte	1,81 g/cm <sup>3</sup>
Fluchtgeschwindigkeit	2,43 km/s
Masse	1/17800 der Jupitermasse

5,6 mag



### Saturnmond Titan

Entdecker	Huygens 1655
mittlerer Saturnabstand	1221860 km
mittlerer Winkelabstand vom Saturn	3'17.3"
siderische Umlaufzeit	15.945 Tage
synodische Umlaufzeit	15d 23h 162min
Bahnneigung	0.33°
Bahnexzentrizität	0.029
Durchmesser	5150 km
Dichte	1.9 g/cm <sup>3</sup>
Albedo	0.2
Helligkeit	8.4 mag

### Epimetheus

Entdecker	Fountain, Larson 1978	mittlerer Saturnabstand	151420 km
siderische Umlaufzeit	0.694 Tage	Bahnneigung	0.3°
Bahnexzentrizität	0.009	Durchmesser	194 x 190 x 154 km
Albedo	0.5	Helligkeit	15.5 mag

### Helene

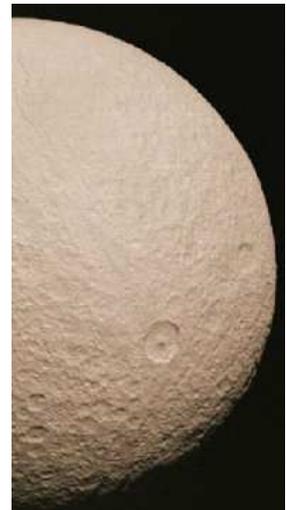
Entdecker	Lacques 1980	mittlerer Saturnabstand	377420 km
siderische Umlaufzeit	2.737 Tage	Bahnneigung	0.2°
Bahnexzentrizität	0.005	Durchmesser	35 km
Albedo	0.57	Helligkeit	18.5 mag

### Saturnmond Tethys

Entdecker	Cassini 1684	mittlerer Saturnabstand	294670 km
mittlerer Winkelabstand vom Saturn	47.6"		
siderische Umlaufzeit	1.888 Tage		
synodische Umlaufzeit	1d 21h 18min 55s		
Bahnneigung	1.86°	Bahnexzentrizität	0.0
Durchmesser	1046 km	Dichte	1.1 g/cm <sup>3</sup>
Albedo	0.8	Helligkeit	10.3 mag

### Janus

Entdecker	Fountain, Larson 1978
mittlerer Saturnabstand	151470 km



siderische Umlaufzeit 0.695 Tage  
Bahnexzentrizität 0.007  
Albedo 0.5

Bahnneigung 0.1°  
Durchmesser 138 x 110 x 110 km  
Helligkeit 14.5 mag

### Mimas

Entdecker Herschel 1789  
siderische Umlaufzeit 0.942 Tage  
Bahnneigung 1.52°  
Durchmesser 421 x 395 x 385 km  
Albedo 0.7

mittlerer Saturnabstand 185540 km  
synodische Umlaufzeit 22h 37 min 12.4 s  
Bahnexzentrizität 0.020  
Dichte 1.4 g/cm<sup>3</sup>  
Helligkeit 12.9 mag



### Saturnmond Rhea

Entdecker Cassini 1672  
mittlerer Saturnabstand 527040 km  
mittlerer Winkelabstand vom Saturn 1'25.1"  
siderische Umlaufzeit 4.518 Tage  
synodische Umlaufzeit 4d 12h 18min  
Bahnneigung 0.35°  
Bahnexzentrizität 0.001  
Durchmesser 1528 km  
Dichte 1.3 g/cm<sup>3</sup>  
Albedo 0.6  
Helligkeit 9.7 mag

### Iapetus

Entdecker Cassini 1671  
siderische Umlaufzeit 79.331 Tage  
Bahnneigung 7.52°  
Durchmesser 1436 km

mittlerer Saturnabstand 3561300 km  
synodische Umlaufzeit 79d 22h 5min  
Bahnexzentrizität 0.028  
Helligkeit 0...12 mag

### Phoebe

Entdecker Pickering 1898  
mittlerer Winkelabstand vom Saturn 34'51"  
synodische Umlaufzeit 523d 13h  
Bahnexzentrizität 0.163  
Helligkeit 16.5 mag

mittlerer Saturnabstand 12954000 km  
siderische Umlaufzeit 550.4 Tage  
Bahnneigung 175°  
Durchmesser 230 x 220 x 210 km



### Planetoiden, Kleinplaneten

Planetoiden sind über 400000 kleine, sich um die Sonne bewegend, planetenähnliche Körper.

Zwischen den Planeten kreist eine riesige Zahl kleiner Körper, von Felsbrocken bis zu 1000 Kilometer großen Körpern. Bis heute sind einige 10000 dieser Asteroiden katalogisiert, die auch Asteroiden oder Kleinplaneten genannt werden. Sie kommen im ganzen Planetensystem vor, häufen sich jedoch zwischen den Planeten Mars und Jupiter innerhalb des Planetoidengürtels sowie jenseits der Bahn des Neptuns in Kuipergürtel. Der Planetoid Vesta kann als einziger Planetoid so hell werden, dass man ihn als unscheinbaren Punkt mit bloßem Auge erkennen kann. Alle anderen Planetoiden sind nur im Teleskop sichtbar.

Aus diesem Grund wurde der erste Planetoid, die tausend Kilometer große, zwischen Mars und Jupiter um die Sonne kreisende Ceres, erst in der Neujahrsnacht von 1801 von Piazzi entdeckt. Die Abbildung zeigt den

Asteroiden Ida.

Einige Planetoiden wurden schon von Raumsonden besucht. Höhepunkt der Planetoidenforschung war die Raumsonde NEAR, die etwa ein Jahr lang den Planetoiden Eros umkreiste und schließlich auf ihm landete. Eros umkreist die Sonne auf einer Bahn zwischen Mars und Erde.

### Trojaner

Die Trojaner bewegen sich auf der Jupiterbahn um die Sonne, entweder 60° vor oder hinter Jupiter, d.h. in den bahnstabilen Lagrangepunkten der Jupiterbahn.

Planetoiden wurden auch nach bedeutenden Mathematikern, Physikern und Astronomen benannt, z.B.

(187) Lamberta ist ein Planetoid des Hauptgürtels, der am 11. April 1878 von Jérôme-Eugène Coggia entdeckt wurde. Benannt wurde der Himmelskörper zu Ehren des Mathematikers und Physikers Johann Heinrich Lambert.

Lamberta bewegt sich zwischen 2,0842 (Perihel) astronomischen Einheiten bis 3,3802 astronomischen Einheiten (Aphel) in 4,516 Jahren um die Sonne. Die Bahn ist 10,5982° gegen die Ekliptik geneigt, die

Bahnexzentrizität beträgt 0,2372. Lamberta hat einen Durchmesser von 131 km. Sie besitzt eine dunkle kohlenstoffhaltige Oberfläche mit einer Albedo von 0,056. In rund 10 Stunden und 40 Minuten rotiert sie um die eigene Achse.

(238) Hypatia ist ein Planetoid des Hauptgürtels, der am 1. Juli 1884 von Viktor Knorre an der Berliner Sternwarte entdeckt wurde.

Benannt wurde der Himmelskörper nach Hypatia von Alexandria, einer Philosophin und Mathematikerin, die im 4. Jahrhundert gelebt hat.

Hypatia bewegt sich in einem Abstand von 2,6480 (Perihel) bis 3,1645 (Aphel) astronomischen Einheiten in 4,9545 Jahren um die Sonne. Die Bahn ist 12,4081° gegen die Ekliptik geneigt, die Bahnexzentrizität beträgt 0,0889.

Mit einem Durchmesser von 149 Kilometern gehört Hypatia zu den größeren Asteroiden des Hauptgürtels. Sie besitzt eine dunkle, kohlenstoffreiche Oberfläche mit einer Albedo von 0,043. In rund 8 Stunden und 52 Minuten rotiert sie um die eigene Achse.

(258) Tyche ist ein Planetoid, der am 4. Mai 1886 von Karl Theodor Robert Luther an der Sternwarte Düsseldorf entdeckt wurde. Benannt wurde der Himmelskörper zu Ehren des dänischen Astronomen Tycho Brahe.

Tyche bewegt sich in einem Abstand von 2,0792 (Perihel) bis 3,1504 (Aphel) astronomischen Einheiten in 4,2283 Jahren um die Sonne. Die Bahn ist 14,2931° gegen die Ekliptik geneigt, die Bahnexzentrizität beträgt 0,2048.

Tyche hat einen Durchmesser von 65 Kilometern. Er besitzt eine relativ helle silikatreiche Oberfläche mit einer Albedo von 0,168. In rund 10 Stunden und 2 Minuten rotiert er um die eigene Achse.

<b>Nr.</b>	<b>Name</b>	<b>Entdeckung</b>	<b>benannt nach ...</b>
953	Painleva	29.April 1921 B.Schechowski	Paul Painlevé
998	Bodea	6.August 1923 K.Reinmuth	Johann Elert Bode
1000	Piazzia	12.August 1923 K.Reinmuth	Giuseppe Piazzi
1001	Gaussia	8.August 1923 S.I.Beljawski	Carl Friedrich Gauß
1002	Olbersia	15.August 1923 W.Albizki	Heinrich Wilhelm Olbers
1005	Arago	5.September 1923 S.I.Beljawski	François Arago
1006	Lagrangea	12.September 1923 S.I.Beljawski	Joseph Louis Lagrange
1069	Planckia	28.Januar 1927 M.Wolf	Max Planck
1134	Kepler	25.September 1929 M.Wolf	Johannes Kepler
1286	Banachiewiczza	25.August 1933 S.Arend	Tadeusz Banachiewicz
1322	Copernicus	15.Juni 1934 K.Reinmuth	Nikolaus Kopernikus
1441	Bolyai	26.November 1937 G.Kulin	János Bolyai
1552	Bessel	24.Februar 1938 Y.Väisälä	Friedrich Wilhelm Bessel
1565	Lemaître	25.November 1948 S.Arend	Georges Lemaître
1677	Tycho Brahe	6.September 1940 Y.Väisälä	Tycho Brahe
1679	Nevanlinna	18.März 1941 L.Oterma	Rolf Herman Nevanlinna
1691	Oort	9.September 1956 K.Reinmuth	Jan Hendrik Oort
1693	Hertzsprung	5.Mai 1935 H.van Gent	Ejnar Hertzsprung
1762	Russell	8.Oktober 1953 Goethe-Link-Observatorium	Bertrand Arthur W.Russell
1859	Kovalevskaya	4.September 1972 L.W.Schurawljowa	Sofia Wasiljewna Kowalewskaja
2000	Herschel	29.Juli 1960 J.Schubart	William Herschel
2001	Einstein	5.März 1973 Paul Wild	Albert Einstein
2002	Euler	29.August 1973 T.M.Smirnowa	Leonhard Euler
2010	Chebyshev	13.Oktober 1969 B.A.Burnasheva	Pafnuti Lwowitsch Tschebyschow
2012	Guo Shou-Jing	9.Oktober 1964 P.-Mountain-Observatorium	Guo Shoujing
2021	Poincaré	26.Juni 1936 L. Boyer	Henry Poincaré
2029	Binomi	11.September 1969 P.Wild	"Alessandro Binomi"
2034	Bernoulli	5.März 1973 P.Wild	Gelehrtenfamilie Bernoulli
2069	Hubble	29.März 1955 Goethe-Link-Observatorium	Edwin Hubble
2142	Landau	3.April 1972 L.I.Tschernych	Edmund Landau
2213	Meeus	24.September 1935 E.Delporte	Jean Meeus
2481	Bürgi	18.Oktober 1977 P.Wild	Jost Bürgi
2587	Gardner	17.Juli 1980 E.Bowell	Martin Gardner
2603	Taylor	30.Januar 1982 E.Bowell	Brook Taylor
2622	Bolzano	9.Februar 1981 L.Brožek	Bernard Bolzano
2688	Halley	25.April 1982 E.Bowell	Edmund Halley
2755	Avicenna	26.September 1973 L.I.Tschernych	Avicenna
2801	Huygens	28.September 1935 H.van Gent	Christiaan Huygens
2831	Stevin	17.September 1930 H.van Gent	Simon Stevin
2897	Ole Römer	5.Februar 1932 K.Reinmuth	Ole Römer
3070	Aitken	4.April 1949 Goethe-Link-Observatorium	Alexander Craig Aitken
3104	Dürer	24.Januar 1982 E.Bowell	Albrecht Dürer
3109	Machin	19.Februar 1974 L.Kohoutek	John Machin
3251	Eratosthenes	24.September 1960 v.Houten-Groeneveld	Eratosthenes
3281	Maupertuis	24.Februar 1938 Y.Väisälä	Pierre de Maupertuis

3366	Gödel	22.September 1985 T.Schildknecht	Kurt Gödel
3587	Descartes	8.September 1981 L.W.Schurawljowa	René Descartes
3600	Archimedes	26.September 1978 L.W.Schurawljowa	Archimedes
3619	Nash	2.März 1981 S.J.Bus	John Nash
3905	Doppler	28.August 1984 A.Mrkos	Christian Doppler
3999	Aristarchus	5.Januar 1989 T.Kojima	Aristarch von Samos
4000	Hipparchus	4.Januar 1989 S.Ueda	Hipparch
4001	Ptolemaeus	2.August 1949 K.Reinmuth	Ptolemäus
4062	Schiaparelli	28.Januar 1989 Observatorium San Vittorio	Giovanni Schiaparelli
4130	Ramanujan	17.Februar 1988 R.Rajamohan	Srinivasa Aiyangar Ramanujan
4167	Riemann	2.Oktober 1978 L.W.Schurawljowa	Bernhard Riemann
4169	Celsius	16.März 1980 C.-I.Lagerkvist	Anders Celsius
4209	Briggs	4.Oktober 1986 E. F. Helin	Henry Briggs
4276	Clifford	2.Dezember 1981 E.Bowell	William Clifford
4327	Ries	24.Mai 1982 C.S.Shoemaker	Adam Ries
4444	Escher	16.September 1985 H.U.Norgaard-Nielsen	M.C. Escher
4500	Pascal	3.Februar 1989 S.Ueda	Blaise Pascal
4628	Laplace	7.September 1986 E.W.Elst	Pierre Simon Laplace
4674	Pauling	2.Mai 1989 E.F.Helin	Linus Pauling
4788	Simpson	4.Oktober 1986 E.Bowell	Thomas Simpson
4798	Mercator	26.September 1989 E.W.Elst	Mercator
4849	Ardenne	17.August 1936 K.Reinmuth	Manfred von Ardenne
5149	Leibniz	14.September 1960 v.Houten-Groeneveld	Gottfried Wilhelm Leibniz
5313	Nunes	18.September 1982 D.Debehogne	P. Nuñez
5324	Lyapunov	22.September 1987 L.G.Karatschkina	Aleksandr Mikhailovich Ljapunow
5451	Plato	24.September 1960 v.Houten-Groeneveld	Platon
5668	Foucault	22.März 1984 A.Mrkos	Jean Bernard Léon Foucault
5956	d'Alembert	13.Februar 1988 E.W.Elst	Jean le Rond d'Alembert
5997	Dirac	1.Oktober 1983 A.Mrkos	Paul Driac



### Komet, Schweifstern

Ein Komet oder Schweifstern ist ein Himmelskörper von wenigen Kilometern Durchmesser, der in Sonnennähe eine Koma und einen leuchtenden Schweif entwickelt. Der Name kommt von griechischen κομητης = Schopfstern. Abbildung: Komet Hale-Bopp 1997  
Kometen sind Überreste der Entstehung des Sonnensystems. Sie bildeten sich in den äußeren Bereichen des Sonnensystems, vorwiegend jenseits der Neptunbahn im Kuiper-Gürtel.

Kometen bestehen aus einem Kern, der aus erstarrtem Wasser, Trockeneis, CO-Eis, Methan und Ammoniak und Staub- und Mineralienteilchen besteht. Die Oberfläche wird von Gesteinsbrocken gebildet. In etwa 5 AE Sonnenabstand bildet sich eine schalenförmige Koma. Durch Aufheizung, Ionisation und Dissoziation vergrößert sich die Koma weiter.

Die Bestandteile der Koma werden durch Strahlungsdruck und Sonnenwind weggeblasen, so dass sich innerhalb der Marsbahn zwei Schweife ausbilden:

Ein schmaler, lang gestreckter Schweif, der aus Molekülen besteht, und ein diffuser, gekrümmter Schweif, der Staubschweif. Der Schweif ist somit immer von der Sonne abgewandt. Der berühmteste Komet ist der nach Edmund Halley benannte Halleysche Komet.



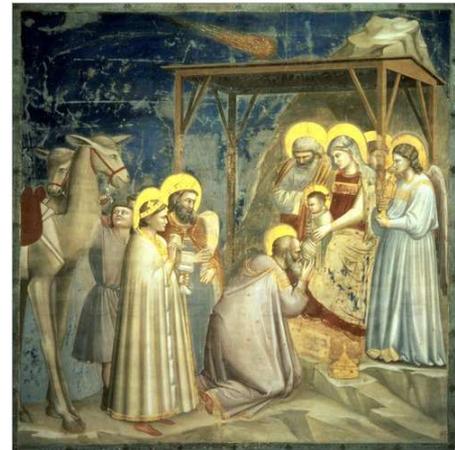
### Komet Halley

Der Komet Halley ist der bekannteste Komet. Er ist sehr lichtstark und kehrt im Mittel alle 76 Jahre wieder. Zuletzt kam er 1986 in Erdnähe; seine nächste Wiederkehr wurde für das Jahr 2061 berechnet. Der Komet hat eine sehr langgestreckte Ellipsenbahn, die sich vom Perihel mit 0,586 AE zwischen Merkur und Venus bis zum Aphel mit 35,082 AE im Bereich der Neptunbahn erstreckt; große Halbachse = 17,834 AE. Die Umlaufzeit variiert zwischen 75 und 77 Jahren (Mittelwert 75,32 a), da die Bahn deutlich vom Jupiter beeinflusst wird.

"Halley" wurde nach Edmond Halley benannt, da dieser 1705 die Periodizität erkannte und die Wiederkehr korrekt für 1758 vorhersagte. Der Komet wurde seit 240 v.u.Z. mindestens 25-mal beobachtet. Berühmt wurde er auch, da er mehrfach bildlich dargestellt wurde.

Eine der ersten Darstellungen des Kometen findet sich auf dem Teppich von Bayeux (um 1070, Abbildung), die bekannteste ist die des Malers Giotto di Bondone (1266–1337), der den Kometen 1301 als Stern von Betlehem darstellte.

1985 wurden mehrere Sonden zur Erforschung des Kometen eingesetzt. Die sowjetischen Sonden Vega 1 und 2 erreichten zuerst den Kometen. Dank ihrer Messergebnisse konnte die Bahn der ESA-Sonde Giotto so verändert werden, dass die Sonde den Kometenkern beobachten konnte.



### Meteoritenschauer

Breite: 12°55'00" N Länge: 50°50'00" E ;  
Ortszeit = UT + 1,00 h

Datum	Meteorschauer	ZHR	RA	DEC	Illum.	Länge
04.01.	Quadrantids	80	15h28	50°	0,61	284°
12.04.	Virginids	5	14h04	-9°	0,83	22°
22.04.	Lyrids	12	18h08	32°	0,03	32°
28.04.	alpha-Scorpiids	5	16h32	-24°	0,22	38°
05.05.	eta-Aquarids	35	22h20	-1°	0,92	45°
13.05.	alpha-Scorpiids	5	16h04	-24°	0,72	52°
10.06.	Ophiuchids	5	17h56	-23°	0,85	79°
20.06.	Ophiuchids	5	17h20	-20°	0,03	89°
15.07.	Capricornids	5	20h44	-15°	0,37	113°
21.07.	alpha-Cygnids	5	21h00	48°	0,00	118°
26.07.	Capricornids	5	21h00	-15°	0,35	123°
29.07.	delta-Aquarids	20	22h36	-17°	0,67	126°
31.07.	Piscis Australids	5	22h40	-30°	0,84	128°
02.08.	alpha-Capricornids	5	20h36	-10°	0,96	130°
06.08.	iota-Aquarids	8	22h10	-15°	0,97	134°
13.08.	Perseids	75	3h04	58°	0,43	140°
21.08.	alpha-Cygnids	5	21h00	48°	0,06	148°
09.09.	Piscids	10	0h36	7°	0,68	166°
21.09.	Piscids	5	0h24	0°	0,18	178°
13.10.	Piscids	??	1h44	14°	0,19	200°
22.10.	Orionids	25	6h24	15°	0,30	209°
03.11.	Taurids	8	3h44	14°	0,97	221°
18.11.	Leonids	10	10h08	22°	0,09	236°
09.12.	Puppids-Velids	15	9h00	-48°	0,36	257°
14.12.	Geminids	75	7h28	32°	0,01	262°
23.12.	Ursids	5	14h28	78°	0,52	271°
26.12.	Puppids-Velids	15	9h20	-65°	0,79	274°

### Himmelskörpernamen

In der Tabelle finden sich die Namen der größten Himmelskörper verschiedenen Sprachen in der Reihenfolge:

Sonne, Merkur, Venus, Erde, Mond, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto

Englisch

Sun, Mercury, Venus, Earth, Moon, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, Pluto

Latein

Sol, Mercurius, Venus, Terra, Luna, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, Pluto

Französisch

Soleil, Mercure, Vénus, Terre, Lune, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton

Italienisch

Sole, Mercurio, Venere, Terra, Luna, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno, Plutone

Spanisch

Sol, Mercurio, Venus, Tierra, Luna, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno, Plutón

Esperanto

Suno, Merkuro, Venuso, Tero, Luno, Marso, Jupitero, Saturno, Urano, Neptuno, Plutono

Holländisch

Zon, Mercurius, Venus, Aarde, Maan, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, Pluto

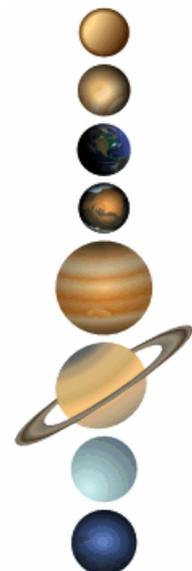
Dänisch

Solen, Merkur, Venus, Jorden, Månen, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto

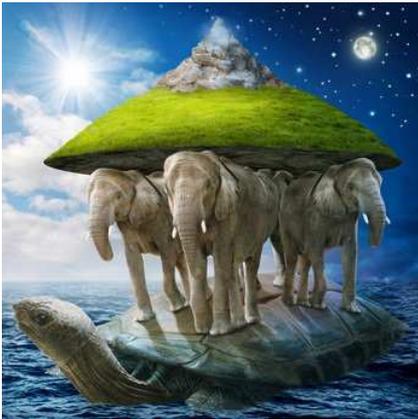
Tschechisch

Slunce, Merkur, Venuse, Zeme, Mesíc, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluto

Russisch



Solnce, Merkurij, Venera, Zemlja, Luna, Mars, Yupiter, Saturn, Uran, Neptun, Pluton  
 Griechisch  
 Helios, Hermes, Aphrodite, Gea, Selene, Ares, Zeus, Kronos, Uranos, Poseidon, Pluton



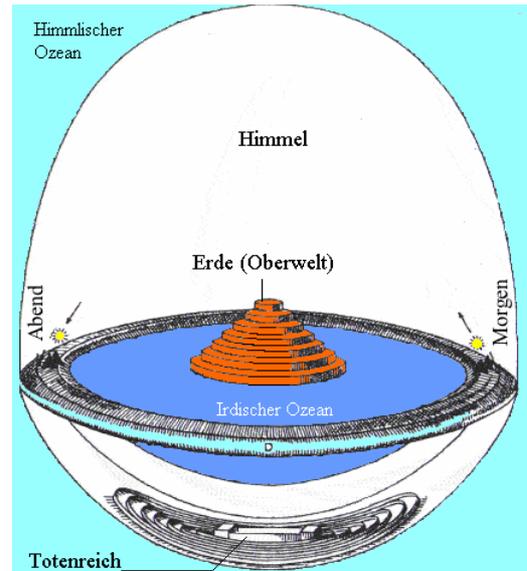
**Vorwissenschaftliches Weltbild**

Über die Gestalt des materiellen Universums wurden im Laufe der Menschheitsgeschichte verschiedene Theorien entwickelt.

Ausgehend von der unmittelbaren Beobachtung wurde die Erde als Scheibe wahrgenommen um die sich die Himmelskörper, oft als Götter interpretiert, bewegten.

Nach einem altem Hindu-Glauben ruht zum Beispiel die Erde auf sechs Elefanten, welche ihrerseits auf einer riesigen Schildkröte stehen.

In Europa, u.a. in der germanischen Mythologie, wurde die Erde als Scheibe innerhalb einer Art



"Käseglocke" betrachtet, mitunter auch als Zylinder angesehen.

Abbildung: Erde als Scheibe

Erst zur Zeit Platons begründeten wissenschaftliche Erkenntnisse die Kugelgestalt der Erde und führten zu einem geozentrischen Weltbild.



**Geozentrisches Weltssystem**

Die Kugelgestalt der Erde war schon Pythagoras von Samos bekannt. Die

Lehre, dass sich die Erde im Weltzentrum befindet, umkreist von Sonne, Mond und den anderen Planeten, gehört zu den Grundpfeilern der Wissenschaft im Altertum.

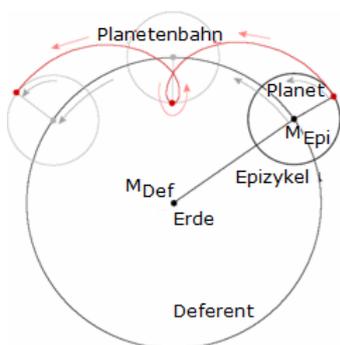
In bestimmten zeitlichen Abständen wird bei den Planeten eine rückwärtsgerichtete bzw. Schleifenbewegung beobachtet, die mit ihrer

Stellung zur Sonne verbunden ist. Da dieser Vorgang periodisch abläuft, lässt er sich nach Eudoxos von Knidos in voneinander unabhängige, gleichförmige Komponenten von Kreisbewegungen zerlegen. Da man sich in der Antike die Planeten an kristallene Sphären geheftet denkt, benutzt Eudoxos dazu für jeden Planeten mehrere ineinandergeschachtelte Sphären, die jeweils um verschiedene Achsen rotieren. Mit der jeweils innersten ist der Planet verbunden.

Nach den Vorstellungen des Aristoteles gibt es zwei Arten von Bewegung: die unvollkommene, ungleichförmige, zeitlich begrenzte und geradlinige der irdischen Körper sowie die vollkommene, gleichförmige, ewige des Himmels, die Kreisbewegung. Während die Körper auf der Erde mit Erreichen ihrer natürlichen Orte zur Ruhe kommen, befindet sich himmlische Materie in ewiger Kreisbewegung, da hier Anfang und Ziel der Bewegung ein und derselbe Ort ist. Als Teile des vollkommenen Kosmos müssen sich die Himmelskörper auch auf vollkommenen Bahnen bewegen. So ergibt sich das Axiom:

"Die Bewegung der Planeten ist kreisförmig, oder sie ist aus kreisförmigen und gleichförmigen Teilen zusammengesetzt."

**Epizykeltheorie**

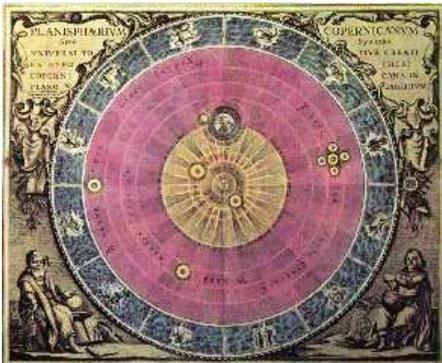


Die Epizykeltheorie wurde im ptolemäischen Weltssystem eingeführt, um Änderungen von Geschwindigkeit und Richtung der scheinbaren Bewegungen von Mond, Sonne und Planeten am Himmel zu erklären. Insbesondere versucht sie, die rückläufige Bewegung von Planeten zu erklären.

Nach der Epizykeltheorie bewegen sich die Planeten entlang eines kleinen Kreises, des Epizykels, der sich seinerseits wiederum entlang eines größeren Kreises, des Deferenten, bewegt. Die Bewegung entlang der Kreise erfolgt jeweils in östlicher Richtung und fast parallel zur Ebene der Ekliptik. Die Bahnen der Planeten in diesem System sind Epizykloiden.

Im Mittelpunkt des Deferenten befindet sich die Erde. Von ihr aus gesehen bewegen sich die Planeten meist nach Osten in Richtung des Deferenten. Die Hälfte der Zeit summiert sich zu dieser Bewegung auch die ostwärts gerichtete Bewegung auf dem Epizykel. Die andere Zeit aber bewegt sich der Planet auf dem Epizykel entgegengesetzt zur Bewegung des Deferenten, wodurch sich seine Bewegung am Himmel verlangsamen und in eine retrograde übergehen würde, durch die die Planetenbahn schließlich eine Schleife vollführte.

Um die Bewegung der Planeten vollständig zu erklären, war es notwendig, weitere Stufen von Epizykeln hinzuzufügen (Epizykel auf Epizykeln). Die Epizykeltheorie wurde von Ptolemäus mit der Exzentertheorie Hipparchs verbunden, d.h., die Erde wurde aus dem Zentrum des Deferenten verschoben. Erst durch die von Johannes Kepler gefundenen Planetengesetze wurde die Epizykeltheorie überflüssig.



### Heliozentrisches Weltsystem

Schon in der Antike wurde von Aristarch von Samos (310-230 v.u.Z.) ein heliozentrisches Modell vorgeschlagen, in dem die Sonne im Mittelpunkt steht, umkreist von der Erde und den übrigen Planeten.

Da das Modell des Aristarch aufgrund der Erdbewegung eine Verschiebung der Fixsternpositionen vorhersagt, die aber mit damaligen Mitteln nicht beobachtet wird, und außerdem der Physik des Aristoteles widersprach, konnte das System sich nicht gegen das geozentrische Weltsystem des Ptolemäus nicht durchsetzen.

Um 1500 entdeckte Nicolaus Copernicus das heliozentrische Modell wieder, der er das geozentrische System von den störenden

Exzentrern und Epizykeln befreien wollte.

Das Grundanliegen des Copernicus war es, die bisherige geozentrische Beschreibung zu vereinfachen und die von den antiken Philosophen geforderte vollkommene Himmelsbewegung wiederherzustellen.

Nach Copernicus ist das Weltsystem des Ptolemäus weder "vollkommen genug, noch der Vernunft hinreichend angepasst".

Im kopernikanischen System ist es möglich, die Planeten einschließlich der Erde nach der Länge ihrer Umlaufzeiten anzuordnen.

Die zu beobachteten Phasen der Venus erklären sich im heliozentrischen System allein aufgrund ihrer Beleuchtung durch die Sonne; in Analogie zu den Phasen des Erdmondes.



### Tychonisches Weltsystem

Der Pythagoreer Herakleides von Pontos (etwa 390-310 v.u.Z.) kannte die Theorie der täglichen Achsendrehung der Erde.

Gemessen an heliozentrischem und geozentrischem System lehrte er einen Kompromiss:

Merkur und Venus kreisen um die Sonne, die Sonne aber wie der Mond und die übrigen Planeten um die Erde.

Im geozentrischen System bereitet die Bewegung von Merkur und Venus Schwierigkeiten, da ihr Lauf an die Sonne gebunden scheint.

Im Unterschied zu den anderen Planeten entfernen sie sich bis maximal 27° bzw. 47° östlich oder westlich von der Sonne und

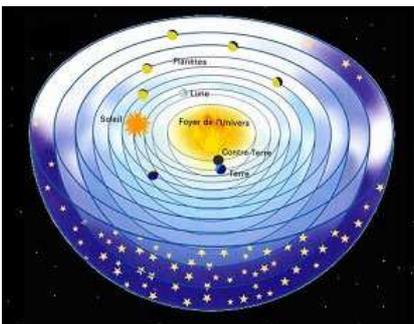
scheinen mit gleicher Geschwindigkeit wie diese um die Erde zu laufen.

Ein ähnliches System schlug Tycho Brahe (1546-1601) zweitausend Jahre später vor.

Auch hier ruht die Erde im Weltmittelpunkt, umkreist von Mond und Sonne. Im Unterschied zum System des Herakleides wird die Sonne hier von allen übrigen Planeten umkreist.

Der Hauptgrund für dieses eigene Modell des Tycho Brahe war, dass eine nach dem heliozentrischen System zu erwartende scheinbare Eigenbewegung der Fixsterne zu seiner Zeit nicht beobachtet wurde.

Außerdem beinhaltet das heliozentrische System des Copernicus durch die Beschränkung auf Kreisbahnen Ungenauigkeiten in der Vorhersage von Planetenpositionen, die Tycho Brahe als genauestem Beobachter seiner Zeit nicht entgangen waren.



### System des Philolaos

Abweichungen der Planetenpositionen von den mittels Berechnungen gewonnenen theoretischen Planetenörtern und insbesondere der Versuch die beobachtbaren Planetenschleifen zu erklären, führten immer wieder zu Versuchen die Vorstellungen über den Aufbau des Planetensystems zu korrigieren.

Der griechische Wissenschaftler Philolaos von Kroton (470-399 v.u.Z.) ging davon aus, dass sich alle Planeten, der Mond und die

Sonne um ein Zentralfeuer bewegen, welches für uns unsichtbar ist.  
 Zusätzlich existierte für ihn, als Pythagoreer, eine Gegenerde, um so der pythagoreischen Idealzahl von 10 Himmelskörpern zu entsprechen.  
 Den Mond hält Philolaos für bewohnt, die Sonne betrachtet er als glasartigen Körper, der wie eine Linse Licht und Hitze, die vom äußeren Feuer kommen, sammelt und weiterleitet.  
 Astronomiehistorisch interessant ist das Modell vor allem dadurch, dass es nicht die Erde in den Mittelpunkt des Universums stellt.

### Berechnung einer ballistischen Bahn

Ermittlung charakteristischer Daten einer ballistischen Flugbahn im Schwerfeld eines Himmelskörpers. Abplattung, Luftwiderstands und Dauer der Antriebsphase werden vernachlässigt.  
 Eingaben: Brennschlussgeschwindigkeit  $v_e$ , Abschusswinkel  $w_i$  (gegenüber der Horizontalen), Abschussrichtung (0 = Osten, -90 = Süd)  $w_b$ , Abschussbreitengrad  $bg_1$ , Abschusslängengrad (Osten > 0)  $lg_1$ ,  $\mu = \gamma \cdot$  Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$vpl = 2\pi \cdot re \cdot \cos(bg_1) / te \quad vx = vpl + ve \cdot \cos(wb) \cdot \cos(wi)$$

$$vy = ve \cdot \sin(wb) \cdot g \cdot \cos(wi) \quad vg = \sqrt{vx^2 + vy^2 + (ve \cdot \sin(wi))^2}$$

$$wi_1 = \arcsin(ve \cdot \sin(wi) / vg) \quad wb_1 = \arcsin(vx / vg \cdot \cos(wi_1))$$

$$ex = \sqrt{((vg^2 / \mu \cdot re - 1)^2 \cdot \cos^2(wi_1) + \sin^2(wi_1))} \quad p = vg^2 \cdot \cos^2(wi_1) / \mu \cdot re^2$$

$$hg = p / (1 - ex) - re \quad r_9 = p / (1 - ex)$$

$$r_8 = p / (1 + ex) \quad gh = (r_9 + r_8) / 2$$

$$t_0 = 2\pi \cdot \sqrt{gh^2 / \mu \cdot gh} \quad we = \arcsin((1 - p / re) / ex)$$

$$in_1 = \arcsin(\cos(|bg_1|) \cdot \sin(90^\circ - wb_1)) \quad y_1 = 2 \cdot \arctan(\tan((180^\circ - we) / 2) / \sqrt{(1 + ex) / (1 - ex)})$$

$$t_1 = (y_1 - ex \cdot \sin(y_1)) / \sqrt{(\mu / gh^3)} \quad t_4 = (t_0 - 2 \cdot t_1) / [\text{Rotationsdauer Himmelskörper}] \cdot 360$$

$$om = \arcsin(\sin(bg_1) / \sin(in_1)) - (180 - we) \quad rek = lg_1 - \arcsin(\cos(om + 180^\circ - we) / \cos(bg_1))$$

$$bg_2 = \arcsin(\sin(in_1) \cdot \sin(om + 180^\circ + we)) \quad llg = \arcsin(\cos(om + 180^\circ + we) / \cos(bg_2))$$

$$lg_2 = llg + rek - t_4 \cdot x_1 = \cos(bg_1) \cdot \cos(lg_1)$$

$$y_1 = \cos(bg_1) \cdot \sin(lg_1) \quad z_1 = \sin(bg_1)$$

$$x_2 = \cos(bg_2) \cdot \cos(lg_2) \quad y_2 = \cos(bg_2) \cdot \sin(lg_2)$$

$$z_2 = \sin(bg_2) \quad l_5 = \sqrt{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2)}$$

$$rwe = 2 \cdot re \cdot \arctan(l_5 / 2 / \sqrt{1 - l_5^2 / 4}) \quad kap_1 = \arctan(\sqrt{1 - vg^2 \cdot re / \mu})$$

Ausgaben: Bahnanstiegswinkel  $wi_1$ , Flugrichtung für ruhenden Beobachter  $wb_1$ , effektive Startgeschwindigkeit  $v_{gr}$ , Startplatzdrehgeschwindigkeit  $vpl$ , Abschusswinkel für maximale Reichweite ca.  $kap_1$ , Gipfelhöhe  $hg/1000$  km, Reichweite  $rwe/1000$  km, Landebreitengrad  $bg_2$ , Landelängengrad  $lg_2$ , Winkelsprung auf der Himmelskörperoberfläche  $rwe/re \cdot 180/\pi$ , Winkelsprung der Bahn  $2 \cdot we$ , Flugdauer  $t_0 - 2 \cdot t_1$ , Inklination  $in_1$ , Exzentrizität  $ex$ , Argument des Perigäums  $om$ , Rektaszension  $rek$ ; nach Thomas Muetsch 2003

### Berechnung einer kreisförmigen Bahn

Ermittlung charakteristischer Größen einer kreisförmigen Umlaufbahn um einen Himmelskörper.  
 Eingaben: Höhe (km)  $h_1$ , Inklination bzw. Breitengrad  $in_1$ ,  $\mu = \gamma \cdot$  Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$r_1 = re + 1000 \cdot h_1 \quad inl = in_1 / 180 \cdot \pi$$

$$t_0 = \sqrt{(r_1 \cdot r_1 / \mu \cdot r_1)} \cdot 2 \cdot \pi \quad rh = r_1 \cdot \sin(inl)$$

$$r_3 = \sqrt{(re^2 - rh^2)} \quad t_1 = 2 \cdot \arctan((r_3 / r_1) / \sqrt{1 - (r_3 / r_1)^2}) / \sqrt{(\mu / r_1^3)}$$

$$t_4 = 2\pi \cdot \sqrt{(\sqrt{[\text{große Halbachse der Himmelskörperbahn}]}) / [\text{Sonnenmasse}] \cdot [\text{große Halbachse}] / gr}$$

$$s_3 = \text{round}([\text{Rotationsdauer des Himmelskörpers}] \cdot t_4 / (t_4 - [\text{Rotationsdauer des Himmelskörpers}]))$$

$$um = 2\pi \cdot re \cdot \cos(inl) \quad rd = re \cdot \cos(inl)$$

$$bb = rd \cdot \tan([\text{Bahnneigung des Himmelskörpers}] / \tan((90 - in_1)))$$

$$gm = 90 - ((\pi / 2 - \arctan((bb / rd) / \sqrt{1 - (bb / rd)^2}))) \quad tl = 2\pi \cdot rd \cdot (1 + gm / 90) / um$$

$$aa_3 = [\text{Himmelskörperradius}] \cdot (1 - 1 / [\text{Reziproker Wert der Himmelskörperabplattung}] \cdot in_1 / 90)$$

$$um_2 = 2\pi \cdot aa_3 \cdot \cos(inl) \quad ve = um_2 / te$$

$$ge = 9,8144 + (0,0178 / 90 \cdot in_1) \quad (\text{für Erde})$$

$$ge = gr \cdot [\text{Himmelskörpermasse}] / aa_3 / aa_3 \quad (\text{für andere Himmelskörper})$$

$$gz = \text{abs}((2\pi / te)^2 \cdot aa_3 \cdot \cos(inl)) \quad aef = \sqrt{((\cos(inl) \cdot ge - gz)^2 + (\sin(inl) \cdot ge)^2)}$$

$$b_1 = \pi / 2 - \arcsin(re / r_1)$$

$$s_6 = \text{abs}([\text{Rotationsdauer Himmelskörper}] \cdot t_0 / ([\text{Rotationsdauer Himmelskörper}] - t_0 \cdot \cos(inl)))$$

$$s_4 = [\text{Rotationsdauer Himmelskörper}] \cdot t_0 / ([\text{Rotationsdauer Himmelskörper}] - t_0 \cdot \cos(inl)) \cdot b_1 / \pi$$

Ausgaben:

Umlaufzeit  $t_0$ , Dunkelzeit bei Tag- u. Nachtgleiche  $t_1$ , Kreisbahngeschwindigkeit  $\sqrt{(\mu / r_1)}$ , Fluchtgeschwindigkeit  $\sqrt{(\mu / r_1) \cdot (\sqrt{2} - 1)}$ , kinetische Energie (kWh/kg)  $\mu / r_1 / 7200000$ , potentielle Energie (kWh/kg)  $\mu \cdot (1 / re - 1 / r_1) / 3,6e6$ , Dauer eines Tages  $s_3$ , Tageslänge bei Sonnenwende +/-  $\text{abs}(tl - 1) \cdot 100$  %, Himmelskörperdrehgeschwindigkeit  $ve$ , Oberflächenanziehung  $ge - gz = aef$ , Himmelskörperblickwinkel  $(\pi - 2 \cdot b_1) \cdot 180 / \pi$ , Himmelskörperbreitengrade  $b_1 \cdot 360 / \pi$ , Breitenkilometer  $2 \cdot re \cdot b_1 / 1000$ , Blickfläche  $50 \cdot (1 - \cos(\pi / 2 - b_1))$  %, Himmelskörpersichtbarkeit  $(1 - \cos(b_1)) \cdot 50$  %, Synodische

Oberflächenperiode  $s_6$ , Satellitensichtbarkeit (max.)  $-s_4$ , Satellitenentfernung (max.)  $\sqrt{((re+1000 \cdot h_1)^2 - re^2)}/1000$  km

### Berechnung einer elliptischen Bahn

Ermittlung charakteristischer Größen einer elliptischen Umlaufbahn um einen Himmelskörper.

Eingaben: Perihöhe (km)  $h_1$ , Apohöhe (km)  $h_2$ , Apsidenwinkel (0 -180 Grad)  $q$ ,  $\mu = \gamma \cdot$

Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$\begin{aligned} q_w &= q/180 \cdot \pi & r_1 &= re+1000 \cdot h_1 \\ r_2 &= re+1000 \cdot h_2 & gh &= (r_1+r_2)/2 \\ ex &= (r_2-r_1)/(r_2+r_1) & pp &= (1+ex) \cdot r_1 \\ rr &= pp/(1+ex \cdot \cos(q_w)) & s_2 &= \sqrt{(\mu \cdot pp)} \\ v_{rad} &= \sqrt{(\mu/pp) \cdot ex \cdot \sin(q_w)} & v_{nor} &= \sqrt{(\mu \cdot pp)}/rr \\ vt &= s_2/pp \cdot \sqrt{(1+2 \cdot ex \cdot \cos(q_w)+ex^2)} & v_3 &= s_2/pp \cdot \sqrt{(1+2 \cdot ex+ex^2)} \\ t_0 &= 2\pi \cdot \sqrt{(gh^2/\mu+gh)} & y_1 &= 2 \cdot \arctan(\tan(q_w/2)/\sqrt{((1+ex)/(1-ex))}) \\ t_1 &= (y_1 - ex \cdot \sin(y_1))/\sqrt{(\mu/gh^3)} & ps &= \pi - \arctan(((1+ex \cdot \cos(q_w))/ex)/\sin(q_w)) \\ psi &= ps \cdot 180/\pi & hr &= (rr-re)/1000 \\ vk &= \sqrt{(\mu/rr)} & kvb &= \sqrt{(vk^2+vt^2-2 \cdot vt \cdot vk \cdot \sin(psi/180 \cdot \pi))} \\ vk_1 &= \sqrt{(\mu/r_1)} & kvb_1 &= v_3 - vk_1 \\ v_2 &= \sqrt{(pp \cdot \mu)/pp \cdot (1-ex)} & v_1 &= \sqrt{(pp \cdot \mu)/pp \cdot (1+ex)} \\ t_3 &= 2\pi \cdot \sqrt{(r_1^2/\mu \cdot r_1)} & t_4 &= 2\pi \cdot \sqrt{(r_2^2/\mu \cdot r_2)} \\ dv &= \sqrt{(\mu/r_1) \cdot (\sqrt{(2 \cdot r_2/(r_1+r_2))-1}) + \sqrt{(\mu/r_2) \cdot (1-\sqrt{(2 \cdot r_1/(r_1+r_2))})}} \\ dvo &= \sqrt{(\mu/r_1) \cdot (\sqrt{(2 \cdot rr/(r_1+rr))-1}) + \sqrt{(\mu/rr) \cdot (1-\sqrt{(2 \cdot r_1/(r_1+rr))})}} \\ dv_1 &= (\sqrt{(2)-1}) \cdot (\sqrt{(\mu/r_1)} + \sqrt{(\mu/r_2)}) & dv_2 &= (\sqrt{(2)-1}) \cdot (\sqrt{(\mu/r_1)} + \sqrt{(\mu/rr)}) \\ t_5 &= t_3 \cdot t_4 / (t_4 - t_3) & t_j &= t_0 / (t_4/t_3 - 1) \\ tb &= t_0 / (t_3/t_4 - 1) & n_8 &= \text{trunc}(|tb|/t_5) + 1 \\ tb &= tb + t_5 \cdot n_8 \end{aligned}$$

Ausgaben:

Exzentrizität  $ex$ , Ortstangentenwinkel  $psi$ , Umlaufdauer  $t_0$ , Ortszeit  $t_1$ , Höhe  $hr$  km, Peri-Geschwindigkeit  $v_1$ , Apo-Geschwindigkeit  $v_2$ , Anziehung  $\mu/rr^2$ , Ortsgeschwindigkeit  $vt$ , Radialgeschwindigkeit  $v_{rad}$ , Normalgeschwindigkeit  $v_{nor}$ , Ortskreisbahngeschwindigkeit  $vk$ , Kreisbahngeschwindigkeitsbedarf  $kvb$ , Bahntransferbedarf für Ortshöhe  $kvb+kvb_1$ , Hohmanngeschwindigkeitsbedarf  $dv$ , Ortshöhe  $dvo$ , 3-Impuls-Geschwindigkeitsbedarf  $dv_1$ , Spiralgeschwindigkeitsbedarf  $\sqrt{(\mu/r_1) \cdot (1-\sqrt{(r_1/r_2)})}$ , synodische Periode  $t_5$ , Hohmannaufenthalt innen mindestens  $t_j$ , aussen mindestens  $tb$ , kinetische Energie (kWh/kg)  $vt^2/7,2e6$ , Potentielle Energie (kWh/kg)  $\mu \cdot (1/re-1/rr)/3,6e6$

### Berechnung einer allgemeinen Umlaufbahn

Ermittlung charakteristischer Größen einer Umlaufbahn um einen Himmelskörper unter Vorgabe des Flugzustands im Perizentrum

Eingaben: Starthöhe (km)  $h_1$  des Perizentrums, Startgeschwindigkeit  $v_1$ , Ortshöhe  $hr$  (km),  $\mu = \gamma \cdot$  Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$\begin{aligned} r_2 &= re+hr \cdot 1000 & r_1 &= re+h_1 \cdot 1000 \\ si &= r_1 \cdot v_1 & hh &= v_1^2 - 2 \cdot \mu/r_1 \\ ex &= \sqrt{(1+hh \cdot si^2/\mu^2)} & pp &= v_1^2/\mu \cdot r_1^2 \\ f &= (pp-r_2)/ex/r_2 & vt &= \sqrt{(hh+2 \cdot \mu/r_2)} \end{aligned}$$

Für  $ex=1$ :

$$ph = \pi/2 - \arcsin(f) \quad tu = pp^2/\sqrt{(\mu \cdot pp)} \cdot (\tan(ph/2)/2 + \tan^3(ph/2)/6)$$

Für  $ex<1$ :

$$\begin{aligned} gh &= pp/(1-ex^2) & ph &= \pi/2 - \arcsin(f) \\ t_2 &= 2/\sqrt{(1-ex^2)} \cdot \arctan(((1-ex) \cdot \tan(ph/2))/\sqrt{(1-ex^2)}) \\ tu &= \sqrt{(\mu \cdot pp)} \cdot (ex \cdot \sin(ph)/(ex^2-1)/(1+ex \cdot \cos(ph)) - t_2/(ex^2-1)) \\ h_2 &= (gh \cdot (1+ex) - re)/1000 & t_4 &= 2\pi \cdot \sqrt{(\mu \cdot gh)} \end{aligned}$$

Für  $ex>1$ :

$$\begin{aligned} hh &= pp/(ex^2-1) & ph &= \text{abs}(\pi/2 - \arcsin(f)) \\ t_2 &= (\ln(\text{abs}(((ex-1) \cdot \tan(ph/2) + \sqrt{(ex^2-1)})/((ex-1) \cdot \tan(ph/2) - \sqrt{(ex^2-1)}))))/\sqrt{(ex^2-1)} \\ tu &= \sqrt{(\mu \cdot pp)} \cdot (ex \cdot \sin(ph)/(ex^2-1)/(1+ex \cdot \cos(ph)) - t_2/(ex^2-1)) \\ vf &= \sqrt{(2\mu/r_2)} & vr &= \sqrt{(vt \cdot vt - vf^2)} \\ x &= 1/(v_1^2/(\mu/r_1) - 1) & ps &= \pi - \arctan(((1+ex \cdot \cos(ph))/ex)/\sin(ph)) \\ kvb &= \sqrt{(vt \cdot vt + \mu/r_2 - 2vt \cdot \sqrt{(\mu/r_2)} \cdot \sin(ps))} & psi &= ps \cdot 180/\pi \end{aligned}$$

Ausgaben: Abflugwinkel  $\arcsin(x) \cdot 180/\pi$ , Exzentrizität  $ex$ , Parabolische Geschwindigkeit  $v_1 - \sqrt{(2\mu/r_1)}$ , Startkreisbahngeschwindigkeit  $\sqrt{(\mu/r_1)}$ , Kickgeschwindigkeit  $v_1 - \sqrt{(\mu/r_1)}$  km, Apsidenwinkel  $ph \cdot 180/\pi$ , Ortstangentenwinkel  $psi$ , Ortsgeschwindigkeit  $vt$ , Ortskreisbahngeschwindigkeit  $\sqrt{(\mu/r_2)}$ , Kreisbahngeschwindigkeitsbedarf  $kvb$ , Umlaufzeit  $t_4$ , Ortszeit  $tu$ , Kinetische Energie (kWh/kg)  $vt \cdot vt/7,2e6$ , Potentielle Energie (kWh/kg)  $\mu \cdot (1/re-1/r_2)/3,6e6$ , Anziehung  $\mu/r_2/r_2$ , Restgeschwindigkeit  $vr$ , Geschwindigkeitsgewinnfaktor  $vr/(v_1 - \sqrt{(2\mu/r_1)})$

### Bahnbestimmung aus Ortsgrößen

Ermittlung charakteristischer Größen einer Umlaufbahn um einen Himmelskörper unter Vorgabe des aktuellen Flugzustands. Des weiteren wird der Einfluss kleiner Störungen berechnet.

Eingaben: Ortshöhe (km)  $hr$ , Ortsgeschwindigkeit  $vt$ , Ortstangentenwinkel (90-180)  $\psi$ ,  $\mu = \gamma \cdot$  Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$r = hr \cdot 1000 + re \quad gh = r \cdot \mu / (2 \cdot \mu - vt^2 \cdot r)$$

Numerische Lösung von  $fi(r, gh, \psi)$ :

$$gh = gh / (\cos(fi) + \tan(\psi) \cdot \sin(fi))^2 - r + \cos(fi) \cdot r / (\cos(fi) + \tan(\psi) \cdot \sin(fi))$$

$$ex = \text{abs}(-1 / (\cos(fi) + \tan(\psi) \cdot \sin(fi))) \quad pp = r \cdot (1 + ex \cdot \cos(fi))$$

$$h_1 = (pp / (1 + ex) - re) / 1000 \quad h_2 = (pp / (1 - ex) - re) / 1000$$

$$v_1 = \sqrt{(\mu \cdot (2 / (h_1 \cdot 1000 + re) - 1 / gh))}$$

Ausgaben:

Exzentrizität  $ex$ , Apsidenwinkel  $fi$ , Perihöhe  $h_1$  km, Apohöhe  $h_2$  km, Perigeschwindigkeit  $v_1$ , Störungseinfluss von +1 m/s (Näherung) tangential bzw. bahnnormal, absolute Änderung der großen Halbachse  $2/vt \cdot gh$ , relative Änderung der Umlaufzeit  $300/vt \%$ , absolute Änderung der Inklination  $180/vt/\pi \text{ }^\circ$ , absolute Änderung der Exzentrizität  $2/vt$

Quelle: Thomas Muetsch, 2003

### Bahnbestimmung aus Flugdauer

Ermittlung charakteristischer Größen einer Flugbahn um einen Himmelskörper unter Vorgabe des Zeitbedarfs, um z.B. einen Bahnwechsel durchzuführen. Dabei wird auch hier die Dauer des notwendigen Antriebsmanövers vernachlässigt.

Eingaben: Starthöhe (km)  $h_1$  der Ursprungskreisbahn, Zielhöhe (km)  $hr$ , Zeitbedarf  $tu$ ,  $\mu = \gamma \cdot$  Himmelskörpermasse

Berechnungen:

$$\text{Anfangswerte } r_1 = h_1 \cdot 1000 + re \quad r_2 = hr \cdot 1000 + re$$

$$gh = (r_1 + r_2) / 2 \quad tm = \pi \cdot \sqrt{(gh^3 / \mu)}$$

$$v = \sqrt{(\mu \cdot (2 / r_1 - 2 / (r_1 + r_2)))}$$

Schleife mit 30 Durchläufen (variiert wird  $v$ ;  $t$  geht gegen 0)

$$si = r_1 \cdot v \quad hh = v^2 - 2 \cdot \mu / r_1$$

$$ex = \sqrt{(1 + hh \cdot (si / \mu)^2)} \quad pp = r_1^2 \cdot v^2 / \mu$$

$$f = (pp - r_2) / ex / r_2 \quad ph = \pi / 2 - \arcsin(f)$$

Für  $ex > 1$ :

$$gh = pp / (ex^2 - 1) \quad n = (pp / gh)^{1.5} / \sqrt{(\mu / gh^3)}$$

$$t_5 = (\ln(\text{abs}(((ex-1) \cdot \tan(ph/2) + \sqrt{(ex^2-1)}) / ((ex-1) \cdot \tan(ph/2) - \sqrt{(ex^2-1)})))) / \sqrt{(ex^2-1)}$$

$$t = n \cdot (ex \cdot \sin(ph) / (ex^2 - 1) / (1 + ex \cdot \cos(ph)) - t_5 / (ex^2 - 1)) - tu$$

Für  $ex < 1$ :

$$gh = pp / (1 - ex^2) \quad n = (pp / gh)^{1.5} / \sqrt{(\mu / gh^3)}$$

$$t_5 = 2 / \sqrt{(1 - ex^2)} \cdot \arctan((1 - ex) \cdot \tan(ph/2) / \sqrt{(1 - ex^2)})$$

$$t = n \cdot (ex \cdot \sin(ph) / (ex^2 - 1) / (1 + ex \cdot \cos(ph)) - t_5 / (ex^2 - 1)) - tu$$

$$h_2 = (gh \cdot (1 + ex) - re) / 1000 \quad vt = \sqrt{(hh + 2 \cdot \mu / r_2)}$$

$$ps = \pi - \arctan((1 + ex \cdot \cos(ph)) / ex / \sin(ph))$$

Ausgaben:

Startgeschwindigkeit  $v$ , Zeitdifferenz  $t$ , Exzentrizität  $ex$ , Apsidenwinkel  $ph \cdot 180/\pi$ , Apohöhe (km)  $h_2$ , Ortsgeschwindigkeit  $vt$ , Ortstangentenwinkel  $ps \cdot 180/\pi$

Quelle: Thomas Muetsch, 2003



### Exoplaneten, Kepler-186f

Durch das Weltraumteleskop "Kepler" wurden von 2009 bis 2014 mehrere tausende Planeten (Exoplaneten) in anderen Sonnensystemen entdeckt.

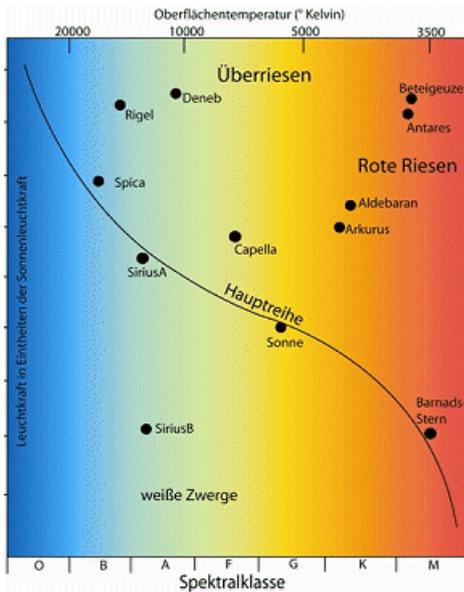
Unter diesen befinden sich mehrere Planeten von Erdgröße, die auch in der habitablen Zone um ihr Zentralgestirn kreisen.

Besonders interessant ist Kepler-186f, ein 2014 entdeckter Exoplanet in 490 Lichtjahren Entfernung zur Erde. Er umkreist den Roten Zwergstern Kepler-186 der Spektralklasse M im Sternbild Cygnus (Schwan).

Der Planet (Abbildung ist fiktiv) hat einem Radius von etwas 1,2 Erdradien. Damit ist er sehr wahrscheinlich ein Gesteinsplanet. Kepler-186f umkreist den Stern in 50-60 Millionen Kilometern Abstand in 130 Erdentagen einmal. Obwohl sein Abstand geringer ist als die Entfernung Erde-Sonne, liegt er dennoch in der habitablen Zone. Spekulationen, dass auf Kepler-186f Leben existiert, sind interessant aber gegenwärtig nicht zu belegen. Um den Stern Kepler-186 bewegen sich weitere Planeten:

	Kepler-186b	Kepler-186c	Kepler-186d	Kepler-186e	Kepler-186f
Umlaufzeit in d	3,887	7,267	13,34	22,41	129,9
Halbachse in AE	0,0393	0,0596	0,0894	0,1264	0,4078
Radius in $R_E$	1,16	1,33	1,50	1,36	1,17

## Sterne



### Harvard-System der Sternklassifizierung

Das Harvard-System wurde 1890 von E.C. Pickering zur Einteilung von Sternen nach Spektrum und Temperatur eingeführt.

Abbildung: Sternfarben

### Spektraltypen

W O B A F G K M

### Merksätze

"Oh Be A Fine Girl Kiss Me"

"Offenbar Benutzen Astronomen Furchtbar Gern Komische Merksätze"

"Oh Bei Allen Fixsternen Gibt's Kennzeichnende Merkmale"

### Einteilung der Sterne in Leuchtkraftklassen - MKK-System

Ia ... leuchtkräftigste Überriesen

Ib ... Überriesen

II ... leuchtkräftige Riesen

III ... normale Riesen

IV ... Unterriesen

V ... Hauptreihensterne (Zwerge)

VI ... Unterzwerge

### Spektraltypen von Sternen

#### Spektraltyp W: Sternspektrum

- viele Emissionslinien, unterteilt in WN (Stickstoff-Reihe) und WC (Kohlenstoff-Reihe) / bis zu 80000 K
- selten, 150 in unserer Galaxis, in 16 Fällen Zentralstern eines planetarischen Nebels, z.B. "Saturnnebel" (NGC 7009)
- Wolf-Rayet-Sterne, welche expandierende Hüllen (3000 km/s) besitzen

#### Spektraltyp O: Sternspektrum

- Emissions- und Absorptionslinien, sehr starke He II-Linien, Linien mehrfach ionisierter Metalle (C III, Si IV, ...); Übergangszustand zwischen W- und B-Sternen / 30000 K bis 20000 K; Beispiel:  $\gamma$  Velorum,  $\zeta$  Pup

#### Spektraltyp B: Sternspektrum

- bläulich weiß (B0) bis Weiß (B9), keine Emissionslinien, vorwiegend Absorptionslinien von H, teilweise He, He I-Linien stärker als He II-Linien; 25000 bis 11000 K; Beispiel:  $\tau$  Sco B0, Rigel B8

#### Spektraltyp A: Sternspektrum

- weiße Sterne, überwiegend H-Linien, H I (Balmer-Serie) dominiert, Ca II K-Linie schwach / 11000 bis 7500 K; Beispiel: Sirius, Wega, Altair

#### Spektraltyp F: Sternspektrum mit

- gelblich, Kalzium deutlich, Wasserstoff weniger; gelbliche Färbung schwach, daher oft weiß / 7500 bis 6000 K; Beispiel: Procyon, Polarstern

#### Spektraltyp G: Sternspektrum mit

- gelb, schwächere H-Linien, deutlich Metalllinien; Beginn der Teilung in Zwerg- und Riesensterne
- 5500 - 4200 K (Riesen), 6000 - 5000 K (Zwerge); Beispiel: Capella, Sonne

#### Spektraltyp K: Sternspektrum mit

- orange, schwache H-Linien, starke Metalllinien / 4000 - 3000 K (Riesen), 5000 - 4000 K (Zwerge)
- Arktur, Aldebaran, Pollux
- K-Sterne sind am häufigsten, häufiger als alle anderen Spektraltypen

#### Spektraltyp M: Sternspektrum mit

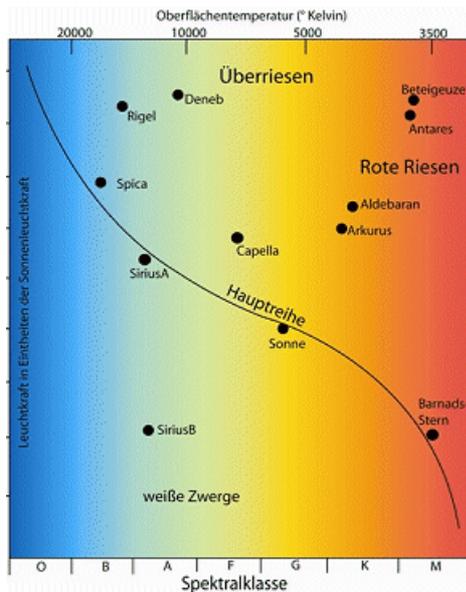
- orangerot, komplizierte Spektren mit Molekülbanden / 3400 K (Riesen), 3000 K (Zwerge)
- Mira, Beteigeuze, Antares, Proxima Centauri
- starke Unterschiede zwischen Riesen und Zwergen

#### Spektraltyp C: Sternspektrum mit

- rötlich, starke Kohlenstofflinien; 3000 - 2500 K / viele Veränderliche, weit entfernt
- V Arietis, T Lyrae, R Leporis, V Aquilae

#### Spektraltyp S: Sternspektrum mit

- rötlich, starke Titan- und Zirkoniumbanden; 2600 K / langperiodische Veränderliche; X Cygni, R Cygni



### Hertzsprung-Russell-Diagramm

Diagramm zur Veranschaulichung von Sternzustandsgrößen Ejnar Hertzsprung (1911), Russell (1913)

Achsen:

1. absolute Helligkeit M in mag
2. Leuchtkraft L in Logarithmen der Sonneneinheiten
3. Temperatur in K
4. Spektralklassen O, B, A, F, G, K, M

### Entwicklungszustände von Sternen

Die Bezeichnung Hauptreihenstern bezieht sich auf einen dicht besetzten Streifen im Hertzsprung-Russell-Diagramm, in dem die absolute Helligkeit von Sternen in Abhängigkeit von ihrer Spektralklasse erfasst wird.

Riesen kennzeichnen höhere Leuchtkräfte und erheblich größere Radien im Vergleich zu Hauptreihensternen mit gleicher Photosphärentemperatur.

Noch größere Leuchtkräfte findet man bei Überriesen, die damit auch noch in Entfernungen beobachtet werden können,

in denen Riesen- und Hauptreihensterne nicht mehr beobachtbar sind.

Weißer Zwerge besitzen trotz relativ hoher Photosphärentemperaturen nur extrem geringe Leuchtkräfte. Ihre Oberflächen und Radien sind sehr klein.

### Sternparameter

Die Stellarastonomie bezieht alle wichtigen Parameter auf ihre solaren Werte, wobei die Definition

$$[X] = \log X / X_s$$

benutzt wird, in der X ein beliebiger Parameter sein kann. Die entsprechenden solaren Werte sind

$$\begin{aligned} T_{\text{eff}} &= 5780 \text{ K} & g &= 2,75 \cdot 10^4 \text{ cm/s}^2 \\ M &= 1,989 \cdot 10^{33} \text{ g} & R &= 6,96 \cdot 10^{10} \text{ cm} \\ L &= 3,85 \cdot 10^{33} \text{ erg/s} & M/L &= 0,521 \text{ gs/erg} \end{aligned}$$

Damit lassen sich die Parameter einfach miteinander verbinden, so dass gilt

$$[L] = 2[R] + 4[T_{\text{eff}}]$$

Das Newtonsche Gesetz wird zu

$$[g] = [M] - 2[R]$$

$$[M/L] = [g] - 4[T_{\text{eff}}]$$

Mit der Definition der absoluten Helligkeit erhält man

$$[L] = -0,4 (M_{\text{bol}} - M_{\text{bol},s})$$

Für Hauptreihensterne gibt es einen empirischen Zusammenhang zwischen Masse M und Leuchtkraft L.

Es gilt  $[L] \approx 4[M]$  für  $M > 0,6 M_s$   $[L] \approx 2[M] - 0,4$  sonst

Diese Masse-Leuchtkraft-Relation kann benutzt werden, um genäherte Parameter von Sternen zu bestimmen. Kennt man z.B. aus der spektroskopischen Analyse eines Zwergsterns  $T_{\text{eff}}$  und  $\log g$ , so folgt direkt  $[M/L]$ .

### Sternbilder

Ein Sternbild ist eine willkürliche Zusammenfassung an der scheinbaren Himmelskugel zusammenstehender Sterne.

### Tabellenwerte

Sternbild deutsch - lateinisch - Abkürzung, Sterne 1.Größe, Sterne bis zu Größe 2,00, 4,00, 5,00, Fläche in °², Anzahl der Sterne über 5 mag je 100 °²

... Summe : 21 Sterne heller als 2,00, 50 heller als 4,00, 1417 heller als 5,00 mag, mittl.Anzahl je 100 °² = 3,8

Adler - Aquila - Aql	Atair	1	8	16	652	2.45
Andromeda - And	-	0	7	25	272	9.19
Eridanus - Eri	Archenar	1	12	43	1138	3.78
Fuhrmann - Auriga - Aur	Capella	2	7	21	657	3.20
Großer Bär - Ursa Maior - UMa	-	3	19	35	1280	2.73
Großer Hund - Canis Maior - CMa	Sirius	4	10	26	380	6.84
Jungfrau - Virgo - Vir	Spica	1	8	26	1294	2.01
Kassiopeia - Cassiopeia - Cas	-	0	7	23	598	3.85
Kentaur - Centaurus - Cen	Toliman, Agena	2	14	49	1060	4.62
Kiel - Carina - Car	Canopus	3	14	40	494	8.10
Kleiner Bär - Ursa Minor - UMi	-	1	3	9	256	3.51
Kleiner Hund - Canis minor - CMi	Procyon	1	4	4	183	2.19
Leier - Lyra - Lyr	Wega	1	4	11	286	3.85
Löwe - Leo - Leo	Regulus	2	10	26	947	2.75

Orion - Ori	Rigel, Beteigeuze	5	15	42	594	7.07
Perseus - Per	-	1	10	34	615	5.52
Schwan - Cygnus - Cyg	Deneb	1	11	43	804	5.35
Skorpion - Scorpius- Sco	Antares	3	17	38	497	7.64
Wassermann - Aquarius - Aqr	-	0	7	31	980	3.16
Zwillinge - Gemini - Gem	Pollux	3	13	23	4	4.47

### Tierkreis-Sternbilder

Ekliptikale Länge in °

Widder	25	Stier	37
Zwillinge	28	Krebs	20
Löwe	36	Jungfrau	44
Waage	23	Skorpion	25
Schütze	33	Steinbock	28
Wassermann	24	Fische	37

Diese Einteilung geht auf die babylonische Astrologie zurück und hat mit der astronomischen Realität praktisch nichts zu tun, da es in Wirklichkeit 13 (!) Tierkreis-Sternbilder gibt. Die Sonne befindet sich nur kurze Zeit im Sternbild Skorpion und bewegt sich dann in den Schlangenträger, dem 13.Tierkreis-Sternbild.

Astronomisch korrekte Werte: Skorpion 6° Schlangenträger 19°

### Tierkreissternbild Astrologie Astronomie (Epoche 2000.0)

Widder	20.3. - 18.4.	17.4. - 10.5.
Stier	19.4. - 19.5.	11.5. - 20.6.
Zwillinge	20.5. - 20.6.	21.6. - 21.7.
Krebs	21.6. - 21.7.	22.7. - 12.8.
Löwe	22.7. - 21.8.	13.8. - 16.9.
Jungfrau	22.8. - 21.9.	17.9. - 27.10.
Waage	22.9. - 22.10.	28.10. - 21.11.
Skorpion	23.10. - 20.11.	22.11. - 27.11.
Schlangenträger	--	28.11. - 17.12.
Schütze	21.11. - 20.12.	18.12. - 21.1.
Steinbock	21.12. - 18.1.	22.1. - 18.2.
Wassermann	19.1. - 17.2.	19.2. - 11.3.
Fische	18.2. - 19.3.	12.3. - 16.4.

### Tierkreiszeichen - Daten

Durch die historische Entwicklung der frühen Astronomie und der Tatsache, dass man mit der Unwissenheit und Dummheit der Menschen "hervorragende" Geschäfte machen kann, wird die Astronomie oft mit der Astrologie in Zusammenhang gebracht.

Grundlage der Astrologie, welche in betrügerischer Absicht vortäuscht, aus der Stellung der Planeten und Sterne zum Zeitpunkt der Geburt das weitere Schicksal des Menschen ableiten zu können, sind die Tierkreiszeichen; zwölf gleichlange Abschnitte der Ekliptikzone. Diese werden mit den Tierkreissternbildern in Verbindung gebracht. Befindet sich die Sonne zum Tag der Geburt z.B. im Abschnitt Wassermann, gilt der Mensch als Wassermann-Geborener.

Da diese Einteilung aber vor über 2000 Jahren durch die babylonischen Astronomen vorgenommen wurde, hat dies mit der astronomischen Realität nichts zu tun.

1. infolge der Präzession der Erdachse hat sich in den 2000 Jahren der Frühlingspunkt um 30° und damit die Lage der Tierkreiszeichen um etwa ein Sternbild verschoben.

2. während des scheinbaren jährlichen Laufs der Sonne auf der Ekliptik, befindet sich diese in 13 (!) Sternbildern. Nach der Passage des Sternbildes Skorpion, tritt die Sonne in den Schlangenträger.

3. zum Beispiel kennt die chinesische Astrologie 20 Tierkreiszeichen. Warum sollen die 12 der europäischen Astrologie richtig sein?

4. ursprünglich wurden Sterne als von der Erde gleichweit angesehen. Dies ist aber in keine Weise so! Ihr angeblich vorhandener Einfluss muss daher unterschiedlich sein.

Zum "Wert" astrologischer Vorhersagen gibt es mehrere interessante Internetseiten, darunter <http://www.gwup.org/aktuell/news.php?aktion=detail&id=76>

### Astrologie

Jeder vernünftige Mensch des 21.Jahrhunderts, der eine normale Portion Skepsis besitzt, weiß, dass Astrologie eine esoterische Disziplin und somit keine(!) Wissenschaft ist.

Astrologie ist eine in sich geschlossene, dogmatische Irrlehre, die aus Gestirnstellungen Schlüsse zur Beurteilung von irdischen Gegebenheiten und deren Entwicklung zieht. Der Astrologie zufolge soll sich der Einfluss der Planeten und Gestirne nicht nur auf Menschen beschränken, sondern auch z.B. auf Tiere, Sachgegenstände und Firmen.

Harald Lesch, Professor für theoretische Astrophysik, formuliert es treffend: "Die Schwerkraft, die die Hebamme zum Zeitpunkt der Geburt auf das Baby ausübt, ist ... viel größer als die Schwerkraft, die Saturn, Jupiter, Uranus oder Neptun zusammengenommen auf den Säugling ausüben können. Aber trotzdem glauben die Leute an diesen Hokuspokus."

Es klingt absurd. Trotzdem werden Vermögen mit einer Lüge verdient, die als Wahrheit, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren soll, über die Ladentische geht. 77 Prozent der Deutschen lesen regelmäßig Horoskope. 1977 waren es nur 46 Prozent. Jährlich werden hierzulande mindestens 500 Millionen € für Horoskope und anderen astrologischen Unfug ausgegeben.

Es gibt mehrere Studien, die Horoskope kritisch unter die Lupe nehmen. Nachfolgend ein krasses Beispiel, das die Grotteske des Nonsens um die Horoskope in aller Deutlichkeit vor die Augen führt: "Ein Wissenschaftler bietet in einer Pariser Zeitung per Anzeige an, kostenlose Horoskope zu erstellen. Er erhält 150 Zuschriften, in denen wie gewünscht, Ort und Zeit der Geburt angegeben sind. Jeder Interessent bekommt das gleiche Horoskop, samt einem Fragebogen, in dem er ankreuzen soll, wie genau das Horoskop gewesen sei. Vierundneunzig Prozent der Interessenten erwiderten, sie hätten sich in diesem Horoskop zumindest wiedererkannt. Dieses Horoskop war jedoch für einen Serienmörder erstellt worden."

Psychologen sprechen vom "Barnum-Effekt", wenn Aussagen in Horoskopen, auf alle zutreffen. Psychologische Tests belegen, dass 80 bis 95 % aller Menschen meinen, dass solche Floskeln ihren Charakter treffend beschreiben: "Sie sind feinsinnig, geduldig, sanft und tolerant. Manchmal können sie aber nachtragend und untreu werden. Sie kennzeichnet neben einem vielschichtigen Charakter, große Phantasie und eine außerordentliche Lernfähigkeit."

## **Sternbilder-Mythologie**

### **Andromeda, And**

Vor langer Zeit war Andromeda die Tochter der äthiopischen Königspaars Cassiopeia und Cepheus. Unglücklicherweise wähnte sich ihre Mutter in ihrer Vermessenheit als schöner als die Töchter des Nereus, eines Meeresherrn. So traf Cassiopeia der Zorn und die Rache von Poseidon. Um die Mutter zu bestrafen, wurde Andromeda an einen Felsen gekettet, um als ein Opfer für ein Seemonster (Walfisch) zu dienen. Doch ihr blieb dieses Schicksal erspart, denn sie wurde von dem sicheren Tode durch Perseus gerettet. Perseus verwandelte den Walfisch durch Zeigen des Hauptes der Medusa in Stein. Für ihre Rettung verlangte der Held Andromeda zur Frau; welches die Eltern akzeptierten, wenn nur ihre Tochter am Leben bliebe. (Publius Ovidius Naso: Metamorphosen, IV)

### **Adler, Aquila, Aql**

Der Adler raubte in der griechischen Sage Antinous und brachte ihn auf den Olymp, wo er Diener der Götter wurde.

### **Wassermann, Aquarius, Aqr**

Der Wassermann ist Deukalion, der Sohn des Prometheus. Die Bezeichnung geht auf die Regenperiode bei den Völkern des Vorderen Orients zurück.

### **Widder, Aries, Ari**

Die beiden Kinder der Wolkengöttin Nephele und des Herrschers von Orchomenos, Phrixos und Helle, sollten auf Wunsch der Geliebten des Vaters, Ino, geopfert werden. Ein goldener Widder entführte die Kinder durch die Lüfte. Bei diesem Flug stürzte Helle ins Meer, während Phrixos gerettet wurde.

### **Fuhrmann, Auriga, Aur**

Der Fuhrmann ist nach der Mythologie der Erfinder des Wagens. Ursprünglich war es das Sternbild Ziege, d.h. die Nymphe Amalthea, die Zeus als Säugling genährt hatte.

### **Steinbock, Capricornus, Cap**

Der Waldgott Pan soll sich einen Steinbock verwandelt haben, um sich vor dem Riesen Typhon zu verstecken.

### **Schiffskiel, Carina, Car**

Die Sternbilder Segel, Hinterdeck und Kiel bilden das Schiff der Argonauten, welches das goldene Widdervlies holten.

**Cassiopeia, Cas**

Königin von Äthiopien. Da sie sich rühmte, schöner als alle Nymphen zu sein, wurde auf Beschluss des Meeresgottes Poseidon ein Walfisch entsandt, um die Küstengebiete des Landes zu verwüsten.

**Zentaur, Centaurus, Cen**

Der Zentaur Chiron, halb Pferd, halb Mensch, war sehr weise und besonders in der Medizin, Musik und Botanik bewandert. Er war der Lehrer des Achill und des Askulap. Am Himmel hält der Zentaur den in einen Wolf verwandelten König Lykaon in Schach.

**Cepheus, Cep**

Cepheus ist der König von Äthiopien, der Gemahl von Cassiopeia und Vater der Andromeda

**Walfisch, Cetus, Cet**

Ein riesiges Meerungeheuer, der Walfisch, erzeugt eine Sturmflut. Andromeda wurde ihm zum Fraß vorgeworfen.

**Großer Hund, Canis Maior, CMa**

Der große Hund ist der Jagdbegleiter des Jägers Orion.

**Haar der Berenike, Coma Berenices, Com**

Die ägyptische Prinzessin Berenike soll einer Sage zufolge ihr goldenes Haar auf dem Altar der Götter geopfert haben, um den Sieg ihres Heeres zu erleben.

**Krebs, Cancer, Cnc**

Der Krebs hielt eine Nymphe fest, bis Zeus sie fangen konnte.

**Nördliche Krone, Corona borealis, CrB**

Die Krone ist das Brautgeschenk der Venus an Ariadne.

**Becher, Crater, Crt**

Mit diesem goldenen Becher soll der Rabe für Apoll frisches Wasser gebracht haben.

**Schwan, Cygnus, Cyg**

Ein Freund Phaetons, des Sohnes des Sonnengottes, betrauerte dessen tödlichen Unfall beim ungeschickten Lenken des Sonnenwagens und wurde zum Trost als Schwan an den Himmel versetzt.

**Drache, Draco, Dra**

Der Drache war in der griechischen Sage der Hüter der goldenen Äpfel, welcher nur von Herkules besiegt werden konnte.

**Eridanus, Eri**

Der Eridanus ist der Fluss der Unterwelt.

**Wasserschlange, Hydra, Hya**

Die Wasserschlange hielt den Raben auf, Apoll rechtzeitig Wasser zu bringen.

**Zwillinge, Gemini, Gem**

Pollux war unsterblich, Castor sterblich. Als Castor sterben musste, teilte Pollux mit ihm sein Los, abwechselnd einen Tag im Olymp und einen Tag in der Unterwelt zu leben.

**Herkules, Hercules, Her**

Herkules ist der bekannte Held, der u.a. den Nemeischen Löwen besiegt, mit der Lernäischen Wasserschlange kämpfte und den ungeheuren Misthaufen im Rinderstall des Augias in einem Tag wegschaffte.

**Leier, Lyra, Lyr**

Die von Hermes erfundene Leier kam in den Besitz des Sängers Orpheus.

**Orion, Ori**

Der "Himmelsjäger" Orion jagt die Plejaden am Himmel.

**Pegasus, Peg**

Der Pegasus ist ein geflügeltes Pferd, der Sage nach der Sohn der Medusa und des Poseidon.

**Perseus, Per**

Perseus besiegt u.a. Medusa und befreite Andromeda und ihre Mutter mit Hilfe des Medusenhauptes.

### Fische, Pisces, Pis

Auf der Flucht vor dem Schlangenmonster Typhon verwandelten sich Aphrodite und ihr Sohn Eros in Fische und versteckten sich im Euphrat.

### Skorpion, Scorpius, Sco

Der Skorpion soll Orion mit seinem Giftstachel gestochen haben und wurde zur Strafe an den Himmel versetzt.

### Stier, Taurus, Tau

In einen weißen und zahmen Stier verwandelte sich Zeus, um die Königstochter Europa zu entführen.

### Pfeil, Sagitta, Sge

Mit diesem Pfeil traf Herkules den Adler, welcher täglich an der Leber des Prometheus herumhackte.

### Großer Bär, Ursa Maior, UMa

Zeus hatte ein Liebesverhältnis mit der Prinzessin Kallisto. Als seine Gemahlin Hera die Beziehung entdeckte, verwandelte er Kallisto in eine Bäarin und setzte sie an den Himmel.

### Jungfrau, Virgo, Vir

Die Jungfrau geht auf die Tochter der Aurora, der Morgenröte, zurück.



#### Sternbild Achterdeck

lateinischer Name: Puppis ("Sterne des Wassers"), Abkürzung: Pup  
Das Schiff, dessen nördlichster Teil bei uns allenfalls im Februar/März tief im Süden gesehen werden kann, erstreckt sich bis weit in den südlichen Teil des Himmels. Es findet sich direkt beim Großen Hund, ist aber nicht sehr auffällig. In der Tabelle sind nur die von uns aus sichtbaren Sterne aufgeführt!

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\kappa$ Pup	3.8	d B6 IV -		400 Lichtjahre
3 Pup	4.0	A2 Ia -		5000 Lichtjahre
7 $\xi$ Pup	3.2	d G3 Ib	Aspidiske	800 Lichtjahre
11 Pup	4.2	F8 II -		400 Lichtjahre
15 $\rho$ Pup	2.7	F6 II -		300 Lichtjahre

Das Achterdeck des Schiffs ist Teil des antiken Sternbildes Argo Navis, das zu den 48 von Ptolemäus beschriebenen Sternbildern gehörte. Der französische Schiffskiel, Segel des Schiffs und Achterdeck.

Argo Navis war in der griechischen Mythologie das Schiff des Jason und seiner Gefährten, den Argonauten, die das goldene Vlies, ein goldfarbenes Widderfell suchten. Im alten Ägypten war die Konstellation ebenfalls ein Schiff, mit dem ihr Gott Osiris fuhr.



#### Sternbild Adler

lateinischer Name: Aquila ; Abkürzung: Aql  
Der Adler ist ein Sommersternbild, der Hauptstern Atair gehört zum sogenannten Sommerdreieck, bestehend aus Atair, Wega in der Leier und Deneb im Schwan. Oberhalb und unterhalb des Atair liegen die Sterne Tarazed und Alschain. Diese drei hellen Sterne bilden den Kopf des Adlers.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
53 $\alpha$ Aql	0.8	A7 V	Atair bzw. Altair	16 Lichtjahre
60 $\beta$ Aql	3.7	G8 IV	Alschain	40 Lichtjahre
50 $\gamma$ Aql	2.7	K3 II	Tarazed	300 Lichtjahre
30 $\delta$ Aql	3.4	M2 II	-	50 Lichtjahre
13 $\epsilon$ Aql	4.0	K2 III	-	200 Lichtjahre
17 $\zeta$ Aql	3.0	B9 V	Deneb el Okab	83 Lichtjahre
55 $\eta$ Aql	3.5-4.4	F8 Ib	Mira-Typ Per.=285d	1500 Lichtjahre

Mythologie: Der Adler raubte in der griechischen Sage Antinous und brachte ihn auf den Olymp, wo er Diener der Götter wurde.

Der Hauptstern Atair wurde bereits von den Sumerern und Babyloniern der Adlerstern genannt. Der südliche Teil des Adlers war bis ins frühe 19. Jahrhundert auch als Antinous bekannt. Antinous war ein Liebhaber des Hadrian, dessen legendenhafte Selbstopferung im Nil für seinen Imperator durch dieses Sternbild gewürdigt wurde.



### Sternbild Altar

lateinischer Name: Ara ; Abkürzung: Ara

Der Altar ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein kleines Sternbild, das südlich des Skorpions am Himmel steht und das man sich gut einprägen kann. Durch den Altar zieht sich das sternreiche Band der Milchstraße. Deshalb findet man hier mehrere offene Sternhaufen.

Der Altar gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ Ara	2.95	B2 V	Choo	267 Lichtjahre
$\beta$ Ara	2.85	K3 Ib	-	650 Lichtjahre
$\gamma$ Ara	3.34	B1 Ib	-	1100 Lichtjahre
$\delta$ Ara	3.62	B8 V	-	187 Lichtjahre

Der Name Altar wurde von Eudoxos von Knidos festgelegt.

Nach Eudoxos stellt das Sternbild den Altar dar, auf dem der Kentaur Cheiron einen Wolf geopfert habe. Cheiron und der Wolf wurden ebenfalls als Sternbilder an den Himmel versetzt, als Zentaur und Wolf.



### Sternbild Andromeda

lateinischer Name: Andromeda ; Abkürzung: And

Andromeda bildet zusammen mit Pegasus die dominierende Konstellation des herbstlichen Himmels.

Besonderheiten: Doppelstern  $\gamma$  And, 56 And ; Planetarischer Nebel NGC 7662; Offener Sternhaufen NGC 752; Spiralgalaxie M 31, Galaxien M 32, M 100

Dieses große Sternbild der nördlichen Hemisphäre wird zu der Sternbildfamilie des Perseus gezählt. Der Name des Alphasternes, Sirrah (oder auch Alpheratz) stammt aus dem arabischen und bedeutet "der Nabel des Pferdes". Der Grund dafür ist historisch bedingt: in früheren Zeiten rechnete man diesen Stern zum Sternbild Pegasus, das sich gleich neben Andromeda befindet. Heutzutage markiert er den Kopf der königlichen Tochter. Sirrah ist ein blau-weißer Stern (Spektraltyp B8IVpMnHg) von 2,06 mag Helligkeit.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
21 $\alpha$ And	2.0	B9 IV	Alpheratz, Sirrah	90 Lichtjahre
43 $\beta$ And	2.1	M0 III	Mirach	90 Lichtjahre
57 $\gamma$ And	2.2	dK1 II	Alamak (Doppelstern)	300 Lichtjahre
31 $\delta$ And	3.3	K3 III	-	150 Lichtjahre
34 $\zeta$ And	4.0	K1 III	-	150 Lichtjahre



Bekannt ist dieses Sternbild vor allem wegen der Andromeda Galaxie, M31, eines der berühmtesten Objekte am Himmel. Sie ist sehr leicht am Himmel lokalisierbar. Bei klarem Sternhimmel kann man sie mit bloßem Auge entdecken. Der Andromeda-Nebel (M31, NGC 224) steht "oberhalb" von Mirach.

### Sternbild Becher

lateinischer Name: Crater ; Abkürzung: Crt

Kleines, unscheinbares Frühlingssternbild in der Nähe der Jungfrau.

Der Becher gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden.

Anfang des 17. Jahrhunderts sah man in dem Sternbild den "Kelch der Leiden Christi".

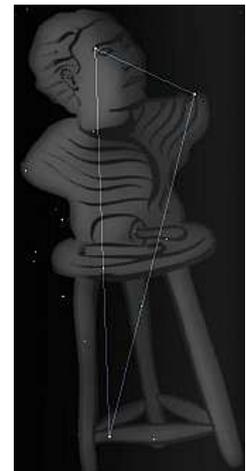
Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
7 $\alpha$ Crt	4.1	K0 III	Alkes	120 Lichtjahre
11 $\beta$ Crt	4.5	A2 III	Al Sharasif	200 Lichtjahre
15 $\gamma$ Crt	4.1	A5 V	-	100 Lichtjahre
12 $\delta$ Crt	3.57	G8 III	Labr	90 Lichtjahre

### Sternbild Bildhauer

lateinischer Name: Sculptor ; Abkürzung: Scl

Der Bildhauer ist ein Sternbild des Südhimmels. Der Bildhauer ist ein unauffälliges Sternbild westlich des hellen Sterns Fomalhaut im Südlichen Fisch. Aufgrund seiner Lage kann von Mitteleuropa aus nur der nördliche Teil gesehen werden.

Im Bildhauer liegt der galaktische Südpol. Durch ihn geht die "Drehachse" unserer



Milchstraße.

Im Sternbild befinden sich interessante Galaxien, zum Beispiel das Sculptor System, eine Galaxiengruppe in 8 Millionen Lichtjahre Entfernung. Das Sternbild wurde 1756 von dem Astronomen Nicolas Louis de Lacaille eingeführt.

**Stern Helligkeit Spektrum**

$\alpha$ Scl	4.31	B7 III
$\beta$ Scl	4.37	B9 IV
$\gamma$ Scl	4.41	K1 III
$\delta$ Scl	4.57	A0 V



**Sternbild Boötes, Bärenhüter**

lateinischer Name: Boötes ; Abkürzung: Boo

Boötes, Bärenhüter aber auch Ringerhüter, ist ein typisches Frühlingssternbild. Es fällt besonders durch den hellen, orange-roten Hauptstern Arktur auf. Man findet ihn leicht, wenn man die Deichsel des Großen Wagens verlängert. Das Sternbild Boötes ist recht markant. Es besitzt die Form eines (Papier-)Drachens oder einer Eistüte - je nach dem, wie man es gerne hätte.

Um Arktur zu finden, kann man sich am Großen Wagen orientieren. Wenn man den Bogen der Deichselsterne verlängert, gelangt man zu Arktur.

**Stern Helligkeit Spektrum**

16 $\alpha$ Boo	0.0	K2 III	Arktur	35 Lichtjahre
42 $\beta$ Boo	3.5	G8 III	Nekkar	150 Lichtjahre
27 $\gamma$ Boo	3.0	A7 III	Ceginus	100 Lichtjahre
49 $\delta$ Boo	3.5	G8 III	-	150 Lichtjahre

Doppelsterne

36 $\epsilon$ Boo	2.4	G9 III	Izar	150 Lichtjahre
30 $\zeta$ Boo	3.8	A2 III	-	300 Lichtjahre

Der Bärenhüter gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.



**Sternbild Chamäleon**

lateinischer Name: Chamaeleon ; Abkürzung: Cha

Das Chamäleon ist ein Sternbild des Südhimmels.

Es ist ein sehr unauffälliges Sternbild in der Umgebung des südlichen Himmelspols und steht in einer recht sternarmen Region abseits der Milchstraße. Von Europa aus ist es wegen seiner südlichen Lage nicht zu sehen.

**Stern Helligkeit Spektrum**

$\alpha$ Cha	4.07	F5 III
$\beta$ Cha	4.26	B5 V
$\gamma$ Cha	4.11	M0 III
$\delta$ Cha	5.47	K0 III

Das Chamäleon gehört zu den 12 Sternbildern, die von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman zwischen 1595 und 1597 eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm es 1603 in seinen Sternenatlas.



**Sternbild Delfin**

lateinischer Name: Delphinus , Abkürzung: Del

Der Delfin ist bei uns im Sommer in dem Gebiet zwischen Adler und Schwan zu erkennen. Seine Form ist bei guten Sichtverhältnissen leicht zu erkennen.

Er weist die Form einer Raute auf und steht nordwestlich des hellen Sterns Atair im Adler und kann daher leicht gefunden werden.

Der Delfin gehört zu den klassischen 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus erwähnt werden.

**Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung**

9 $\alpha$ Del	3.8	B9 IV	-	200 Lichtjahre
6 $\beta$ Del	3.6	F5 IV	-	80 Lichtjahre
12 $\gamma$ Del	3.9	d G6 IV	-	80 Lichtjahre
11 $\delta$ Del	4.4	A7 III	-	200 Lichtjahre
2 $\epsilon$ Del	4.0	B6 III	-	500 Lichtjahre

### Sternbild Drache

lateinischer Name: Draco , Abkürzung: Dra  
 Der Drache schlängelt sich jede Nacht zwischen den beiden Bären (großer und kleiner) hindurch. Er ist nicht sehr auffällig, allerhöchstens sein Kopf, der nach Herkules schnappt ist recht einfach zu erkennen. Der Kopf des Drachen wird von vier Sternen gebildet, die in der Nähe des Sternbildes Herkules stehen. In der antiken griechischen Astronomie gehörte der Kleine Bär zum Drachen und bildete dessen Flügel.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
11 α Dra	3.7	A0 III	Thuban	200 Lichtjahre
23 β Dra	2.8	G2 II	Rastaban	250 Lichtjahre
33 γ Dra	2.2	K5 III	Ettanin	100 Lichtjahre
57 δ Dra	3.1	G9 III	Altair	120 Lichtjahre
63 ε Dra	3.8	d G7 III	- (Doppelstern)	150 Lichtjahre
22 ζ Dra	3.2	B6 III	-	300 Lichtjahre
14 η Dra	2.7	G8 III	-	80 Lichtjahre
1 λ Dra	3.8	M0 III	Giauzar	200 Lichtjahre
11 ι Dra	3.7	A0 III	Edasich	150 Lichtjahre

### Sternbild Dreieck

lateinischer Name: Triangulum, Abkürzung: Tri  
 Kleines, unscheinbares Herbststernbild in der Nähe der Andromeda und des Widders. Es wurde bereits von Ptolemäus erwähnt.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
2 α Tri	3.4	F6 IV	Elmuthalleth	60 Lichtjahre
4 β Tri	3.0	A5 III	-	120 Lichtjahre
9 γ Tri	4.0	A0 V	-	150 Lichtjahre



### Sternbild Eidechse

lateinischer Name: Lacerta , Abkürzung: Lac  
 Die Eidechse ähnelt in ihrer Form stark der Kassiopeia, dem Himmels-W. Sie liegt auch ganz in der Nähe. Die Eidechse liegt genau zwischen der Kassiopeia und dem Schwan  
 Durch den nördlichen Teil der Eidechse zieht sich die Milchstraße.  
 Das Sternbild wurde erst 1687 von dem Astronomen Johannes Hevelius eingeführt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
1 Lac	4.1	K3 II	-	300 Lichtjahre
2 Lac	4.6	B6 V	-	400 Lichtjahre
3 β Lac	4.4	G9 III	-	150 Lichtjahre

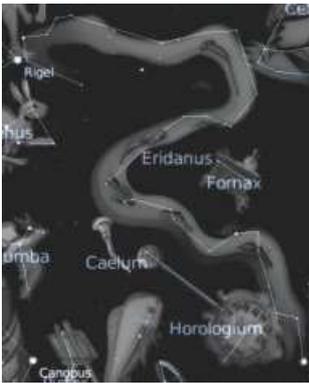
4 Lac	4.6	B9 Ia	-	5000 Lichtjahre
5 Lac	4.4	M0 II	-	800 Lichtjahre
7 α Lac	3.8	A2 V	-	100 Lichtjahre
8 Lac	5.3	d B2 V	-	2000 Lichtjahre

### Sternbild Einhorn

lateinischer Name: Monoceros, Abkürzung: Mon  
 Das unscheinbare Einhorn befindet sich in unmittelbarer Nähe des Sternbildes Orion und des Kleinen Hundes.  
 In unseren Breiten kann es im Winter abends halbhoch über dem Südhorizont gesehen werden.  
 Das Sternbild gehört zu den zehn, die erst im 17. Jahrhundert von dem Danziger Ratsherrn und späteren Bürgermeister Johannes Hevelius (1611-1687) eingeführt wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
26 α Mon	3.9	K0 III	-	200 Lichtjahre
11 β Mon	3.8	d B3 V	-	800 Lichtjahre
5 γ Mon	4.0	K3 III	- Doppelstern	200 Lichtjahre
22 δ Mon	4.2	A1 IV	-	200 Lichtjahre
8 ε Mon	4.3	d A6 IV	-	150 Lichtjahre
29 ζ Mon	4.3	G2 Ib	-	2000 Lichtjahre



### Sternbild Eridanus

lateinischer Name: Eridanus, Abkürzung: Eri  
 Eridanus ist ein sehr großflächiges Sternbild, dessen hellster Stern Achernar weit im südlichen Sternhimmel steht und auf der Nordhalbkugel nicht gesehen werden kann. Hier sind die hellsten, bei uns sichtbaren Sterne aufgeführt. Der bei uns sichtbare Teil des Eridanus liegt in unmittelbarer Nähe des Sternbilds Orion.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
67 $\beta$ Eri	2.8	A3 III	Cursa	90 Lichtjahre
34 $\gamma$ Eri	3.0	M0 III	Zaurak	150 Lichtjahre
23 $\delta$ Eri	3.5	K0 IV	-	30 Lichtjahre
3 $\eta$ Eri	3.9	K1 III	-	100 Lichtjahre

Epsilon Eridani ist ein sonnenähnlicher Stern mit 0,85 Sonnenmassen in einer Entfernung von 10,5 Lichtjahren von unserem Sonnensystem. Er ist nach Alpha Centauri und Sirius der drittnächste Stern, der mit dem bloßen Auge erkennbar ist.

Im Jahre 1960 wurden  $\epsilon$  Eridani und  $\tau$  Ceti im einem SETI-Projekt unter der Leitung von Frank Drake mehrere Wochen auf Funksignale beobachtet.

### Sternbild Fische

lateinischer Name: Pisces, Abkürzung: Psc  
 Die Fische schlängeln sich im Herbst unterhalb der Andromeda und des Pegasus entlang. Da, durch die Fische die scheinbare Sonnenbahn, die Ekliptik, verläuft, gehören sie zu den Tierkreiszeichen. Die Sonne wandert zwischen dem 12.März und dem 18.April durch das Sternbild.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
113 $\alpha$ Psc	2.0	d A1 V	- Doppelstern	150 Lichtjahre
4 $\beta$ Psc	4.5	B6 V	-	300 Lichtjahre
6 $\gamma$ Psc	3.7	G9 III	-	120 Lichtjahre
63 $\delta$ Psc	4.4	K5 III	-	300 Lichtjahre
71 $\epsilon$ Psc	4.3	K0 III	-	200 Lichtjahre
86 $\zeta$ Psc	4.9	d A8 IV	-	150 Lichtjahre
99 $\eta$ Psc	3.6	G8 III	-	150 Lichtjahre

In der Mythologie der Antike stellen die Fische Aphrodite und ihren Sohn dar. Diese verwandelten sich auf der Flucht vor dem Riesen Typhon in Fische und konnten auf diese Weise entkommen. Das Sternbild ist bereits in babylonischer Zeit erwähnt.



### Sternbild Fliege

lateinischer Name: Musca, Abkürzung: Mus  
 Die Fliege ist ein Sternbild des Südhimmels.  
 Es ist ein kleines, deutlich erkennbares Sternbild südlich des Kreuz des Südens.  
 Durch das Sternbild zieht sich das Band der Milchstraße.  
 Die Fliege gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16.Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm sie in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.

Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Mus	2.69	B2 IV
$\beta$ Mus	3.05	B2 V
$\gamma$ Mus	3.87	B5 V
$\delta$ Mus	3.62	K2 III

### Sternbild Fliegender Fisch

lateinischer Name: Volans, Abkürzung: Vol  
 Der Fliegende Fisch ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein unauffälliges Sternbild südlich des Schiffskiels.  
 Der Fliegende Fisch gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16.Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm das Sternbild dann in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.



Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Vol	4.00	A3 IV
$\beta$ Vol	3.77	K1 III
$\gamma$ Vol	3.78	K0 III
$\delta$ Vol	3.98	F6 II



### Sternbild Fuchs, Füchschen

lateinischer Name: Vulpecula, Abkürzung: Vul

Das kleine Füchschen, welches man unter guten Voraussetzungen zwischen Adler und Schwan finden kann, ist nur schwer als solches zu erkennen. Die nicht gerade hellen Sterne setzen sich kaum gegen die hellen Teile der Milchstraße ab. Bekannt ist das Sternbild durch den Hantelnebel (M71, NGC-6853), einen wunderbaren Planetarischen Nebel.

Es wurde von Johannes Hevelius eingeführt.

Der hellste Stern ist Anser, ein Roter Riese in einer Entfernung von 297 Lichtjahren. Anser ist ein Doppelstern.

1967 wurde der erste Pulsar in diesem Sternbild in England entdeckt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

6 $\alpha$ Vul	4.4	M0 III	Anser	300 Lichtjahre
16 Vul	5.2	d F3 II	-	800 Lichtjahre

### Sternbild Fuhrmann

lateinischer Name: Auriga ; Abkürzung: Aur

Der Fuhrmann mit der hellen Kapella ist bei uns das ganze Jahr über, besonders gut aber im Winter zu sehen. Er schließt sich direkt an die Sternenkette des Stieres an. Ebenfalls in der Nähe befinden sich Orion, die Zwillinge und Perseus.

Er gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

13 $\alpha$ Aur	0.1	G0 III	Kapella - ein Vierfachstern	42 Lichtjahre
34 $\beta$ Aur	1.9	A2 IV	Menkalinan	70 Lichtjahre
33 $\delta$ Aur	3.7	K0 III	-	150 Lichtjahre
7 $\epsilon$ Aur	2.9-3.8	F0 Ia	-	4000 Lichtjahre
8 $\zeta$ Aur	3.7-4.0	K4 II	-	500 Lichtjahre
10 $\eta$ Aur	3.2	B3 V	-	200 Lichtjahre
37 $\theta$ Aur	2.6	A0 III	-	150 Lichtjahre
3 $\iota$ Aur	2.7	K3 II	-	250 Lichtjahre
4 $\omega$ Aur	4.9	d A0 V	-	250 Lichtjahre

Mythologie: Der Fuhrmann ist nach der Mythologie der Erfinder des Wagens.



### Sternbild Füllen

lateinischer Name: Equuleus , Abkürzung: Equ

Füllen kann man im Sommer/Herbst zwischen dem Adler und dem Pegasus-Viereck finden.

Es setzt sich aus vier Sternen zusammen, die den Kopf eines jungen Pferdes darstellen sollen.

Das Füllen ist das zweitkleinste Sternbild am Nachthimmel. Nur das Kreuz des Südens hat eine noch geringere Ausdehnung.

Das Füllen gehört zu den klassischen 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus erwähnt werden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

8 $\alpha$ Equ	3.9	G0 III	Kitalphar	150 Lichtjahre
5 $\gamma$ Equ	4.7	F0 IV	-	120 Lichtjahre
7 $\delta$ Equ	4.5	F7 V	-	55 Lichtjahre
1 $\epsilon$ Equ	5.1	d F6 IV	- (Doppelstern)	150 Lichtjahre

### Sternbild Giraffe

lateinischer Name: Camelopardalis ; Abkürzung: Cam

Die kaum bekannte Giraffe liegt in einem ausgebreiteten, extrem sternarmen Gebiet zwischen dem Kleinen Wagen und dem Fuhrmann. Ihre Sterne sind kaum zu erkennen - geschweige denn die Form der Giraffe.

In der Antike wurden die Sterne der Giraffe keinem Sternbild zugeordnet. Erst der niederländische Gelehrte Petrus Plancius führte die Giraffe 1613 ein, um die scheinbare Lücke am Himmel zu schließen, die sich zwischen den Sternbildern Großer Bär und Cassiopeia sowie dem Polarstern im Kleinen Bären und Capella im Fuhrmann befand.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

9 $\alpha$ Cam	4.3	O9 Ia	-	3000 Lichtjahre
10 $\beta$ Cam	4.0	d F9 Ib	-	1500 Lichtjahre



### Sternbild Grabstichel

lateinischer Name: Caelum, Abkürzung: Cae

Der Grabstichel ist ein Sternbild des Südhimmels.

Es ist ein unauffälliges Sternbild südlich des Hasen und östlich des Eridanus. Vier Sterne bilden eine gekrümmte Linie.

Von Deutschland aus kann nur der nördliche Teil des Sternbildes im Spätherbst und Winter gesehen werden.

Der französische Astronom Nicolas Louis de Lacaille versah im 18. Jahrhundert einige Regionen des südlichen Sternhimmels, die noch nicht benannt waren, mit Namen. Im

Gegensatz zu den klassischen Sternbildern, die nach mythologischen Gestalten benannt sind, trugen seine Konstellationen meist die Namen von technischen Geräten.

Der eigentliche Name lautete "Caela Sculptoris" (Werkzeug des Bildhauers). Der Grabstichel stellt ein Gravierwerkzeug dar, das früher zur Anfertigung von Kupfer- oder Stahlstichen verwendet wurde.

#### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Cae	4.45	F2 V	$\beta$ Cae	5.05	F1 V
$\gamma$ Cae	4.55	K3 III	$\delta$ Cae	5.07	B2 IV

### Sternbild Großer Bär

lateinischer Name: Ursa Major, Abkürzung: UMa

Der Große Wagen, d.h. die drei Deichselsterne und die vier Kastensterne, ist, wie nicht jedermann weiß, nur ein kleiner Teil des viel größeren Sternbildes des Großen Bären. Das Sternbild ist eines der bekanntesten überhaupt. Ein interessanter Stern in diesem ganzjährig zu beobachtendem Sternbild ist das Doppelsystem  $\zeta$  UMa, dessen beide Komponenten in einem für das menschliche Auge gerade noch erfassbaren Abstand liegen.

Der Große Bär ist eines der 48 Sternbilder, die von Ptolemäus aufgezeichnet wurden.



#### Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung

50 $\alpha$ UMa	1.8	K0 III	Dubhe	80 Lichtjahre
48 $\beta$ UMa	2.4	A1 V	Merak	60 Lichtjahre
64 $\gamma$ UMa	2.4	A0 V	Phegda, Phad	70 Lichtjahre
69 $\delta$ UMa	3.3	A3 V	Megrez	60 Lichtjahre
77 $\epsilon$ UMa	1.8	A0 IV	Alioth	80 Lichtjahre
79 $\zeta$ UMa	2.1	A2 V	Mizar Alcor	70 Lichtjahre
80 UMa 4.0	A5 V	Alcor		70 Lichtjahre
85 $\eta$ UMa	1.9	B3 V	Alkaid, Benetnasch	120 Lichtjahre
25 $\theta$ UMa	3.2	F6 IV	-	50 Lichtjahre
9 $\iota$ UMa 3.1	A7 V	Talitha		50 Lichtjahre
12 $\kappa$ UMa	3.6	A0 V	-	120 Lichtjahre

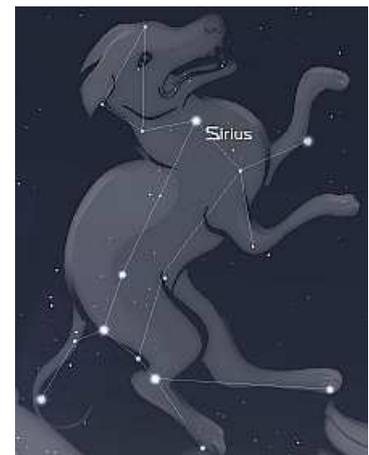
### Sternbild Großer Hund

lateinischer Name: Canis Maior, Abkürzung: CMa

Der Große Hund ist ein Wintersternbild, das recht weit im Süden liegt.

Sirius, der Hauptstern, ist der hellste Stern des Himmels. Zwar ist er nicht sonderlich groß, aber die Nähe zu unserer Sonne lässt ihn gewaltig strahlen. Auch die übrigen Sterne des Großen Hundes sind hell, wodurch man die Form leicht erkennen kann.

Durch den westlichen Teil des Sternbildes zieht sich das sternreiche Band der Milchstraße. Deshalb können im Großen Hund einige interessante Sternhaufen beobachtet werden.



#### Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung

9 $\alpha$ CMa	-1.5	A1 V	Sirius	8.7 Lichtjahre
2 $\beta$ CMa	2.0	B1 II	Mirzam	733 Lichtjahre
23 $\gamma$ CMa	4.1	B8 II	-	1000 Lichtjahre
25 $\delta$ CMa	1.8	F8 Ia	Wezen	3000 Lichtjahre
21 $\epsilon$ CMa	1.5	d B2 II	Adhara	500 Lichtjahre
1 $\zeta$ CMa	3.0	d B3 V	Phurud	300 Lichtjahre
31 $\eta$ CMa	2.4	d B5 Ia	Aludra	2500 Lichtjahre
28 $\omega$ CMa	3.6-4.2	B3 IV	-	500 Lichtjahre



### Sternbild Haar der Berenike

lateinischer Name: Coma Berenices, Abkürzung: Com

Das Haar der Berenike ist ein schwer zu beobachtendes Sternbild. Im Frühling und Frühsommer ist es zwischen Bootes und dem Löwen zu sehen. Bekannt ist das Sternbild durch den Sternhaufen - genannt Coma-Haufen, der bei  $\gamma$  Com liegt. Auch findet man hier eine Anzahl von Galaxien. In der Nähe befindet sich auch der Virgo-Galaxienhaufen im Sternbild Jungfrau.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
42 $\alpha$ Com	4.3	F5 V	Diadem	60 Lichtjahre
43 $\beta$ Com	4.3	G0 V	-	27 Lichtjahre
15 $\gamma$ Com	4.4	K1 III	- im Coma-Haufen	250 Lichtjahre
24 Com4.8	d G8 III	-	-	2500 Lichtjahre
35 Com4.9	d G7 III	-	- Doppelstern	250 Lichtjahre

In der griechischen Mythologie war das Haar der Berenike kein eigenes Sternbild, sondern wurde dem Löwen zugerechnet. Seit dem 3. Jahrhundert v.u.Z. wird es mit

der Pharaonin Berenike II. in Verbindung gebracht. Erst der Kartograf Gerhard Mercator nahm es im 16. Jahrhundert als eigenes Sternbild in seine Himmelskarten auf.

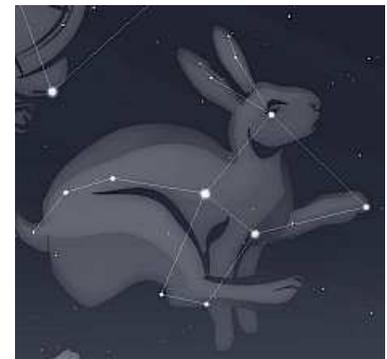
### Sternbild Hase

lateinischer Name: Lepus, Abkürzung: Lep

Der Hase, die Jagdbeute des Orion, ist bei uns nur im Winter zu sehen, da es unter dem Himmelsäquator liegt, der durch das Gürtelband des Orion verläuft. Ebenfalls in der Nähe liegt der Große Hund.

Im Hasen befindet sich der Kugelsternhaufen M79. Der hellste Stern heißt Arneb.

Der Hase gehört zu den klassischen 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus erwähnt werden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
11 $\alpha$ Lep	2.6	F0 Ib	Arneb	1000 Lichtjahre
9 $\beta$ Lep 2.8	G4 II	Nihal	300 Lichtjahre	
13 $\gamma$ Lep	3.5	d F7 V	-	26 Lichtjahre
15 $\delta$ Lep	3.8	G8 III	-	150 Lichtjahre
2 $\epsilon$ Lep 3.2	K5 III	-	-	150 Lichtjahre
14 $\zeta$ Lep	3.6	A3 V	-	80 Lichtjahre
16 $\eta$ Lep	3.7	F0 IV	-	70 Lichtjahre
5 $\mu$ Lep 3.0-3.4	B9 III	-	-	200 Lichtjahre

### Sternbild Herkules

lateinischer Name: Hercules, Abkürzung: Her

Aus der griechischen Mythologie bekannt findet sich Herkules auch am Himmel wieder. Er ist aufgrund fehlender heller Sterne nicht sehr auffällig und nur bei dunklem Himmel zu erkennen. Herkules steht recht weit nördlich zwischen dem Frühlingssternbild Bootes und den Sommersternbildern Leier und Schwan. Lediglich im Winter ist Herkules bei uns abends nicht zu sehen.

Diese Sternformation gehört zu den klassischen 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus erwähnt werden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
64 $\alpha$ Her	2.9-3-7d	M2 II	Rasalgethi	600 Lichtjahre
27 $\beta$ Her	2.8	G8 III	Rutilicus	100 Lichtjahre
20 $\gamma$ Her	3.8	A9 III	-	150 Lichtjahre
65 $\delta$ Her	3.1	A3 IV	-	90 Lichtjahre
58 $\epsilon$ Her	3.9	A0 V	-	100 Lichtjahre
40 $\zeta$ Her	2.8	G0 IV	-	32 Lichtjahre
44 $\eta$ Her	3.5	G8 III	-	80 Lichtjahre
86 $\mu$ Her	3.4	G5 IV	-	25 Lichtjahre

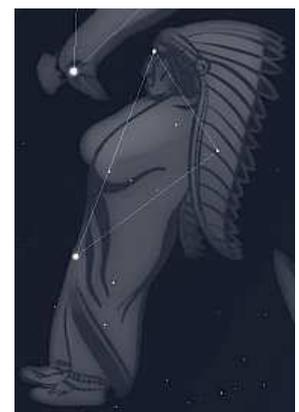
### Sternbild Indianer

lateinischer Name: Indus, Abkürzung: Ind

Der Indianer oder Inder ist ein Sternbild des Südhimmels.

Es ist ein wenig ausgeprägtes Sternbild. Man findet es zwischen den beiden hellsten Sternen der Sternbilder Kranich und Pfau. Es ist von Europa aus nicht sichtbar.

Der Inder gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den



niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm sie in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas. Eigentlich soll das Sternbild einen amerikanischen Indianer darstellen. Auf älteren Sternkarten wird er mit Pfeil und Bogen in der Hand gezeigt.

**Stern Helligkeit Spektrum**

$\alpha$ Ind	3.11	K0 III	$\beta$ Ind	4.51	A7 III
$\gamma$ Ind	4.89	K5 III	$\delta$ Ind	5.05	K1 II



**Sternbild Jagdhunde**

lateinischer Name: Canes Venatici , Abkürzung: CVn  
Das kleine Sternbild der Jagdhunde ist weniger bekannt, was eventuell daran liegt, dass in unmittelbarer Nähe die größeren und helleren Sternbilder Bootes und der Große Wagen liegen. Im Sternbild liegt die schöne Whirlpool-Galaxie M 51.

Die Jagdhunde sind übrigens kein klassisches Sternbild, das der griechischen oder arabischen Mythologie entstammt.

Die Jagdhunde wurden zu dem Großen Bären gerechnet. Als eigenständiges Sternbild wurden die Jagdhunde erst ab 1690 durch den Himmelsatlas von Johannes Hevelius eingeführt.

Meistens werden sie Bootes zugeordnet, der mit ihnen den Großen Bären jagt. Außer der Bezeichnung Cor Caroli wurden auch Asterion und Al Kabid al Asad als Namen für  $\alpha$  Crv verwendet. Als Doppelstern ist er durchaus eine Beobachtung wert - ein kleines Fernrohr genügt, um die bläuliche und die gelbe

Komponente zu trennen.

**Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung**

12 $\alpha$ CVn	2.8	d A1 IV	Cor Caroli	120 Lichtjahre
8 $\beta$ CVn	4.3	G0 V	-	30 Lichtjahre

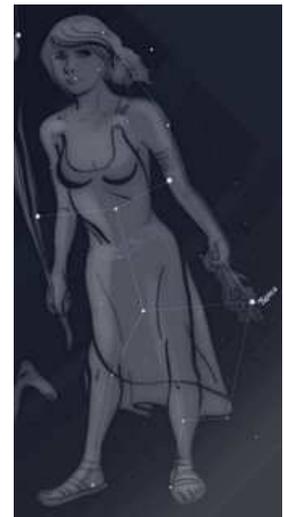
**Sternbild Jungfrau**

lateinischer Name: Virgo, Abkürzung: Vir

Das zum Kreis der Tierkreiszeichen gehörende Sternbild der Jungfrau erhält seine Bedeutung vor allem durch den beeindruckenden Virgo-Galaxien-Haufen. Sein Zentrum befindet sich ungefähr zwischen der Jungfrau und dem Sternbild Haar der Berenike.

In dem uns nächsten Galaxienhaufen finden sich unzählige Galaxien, die auch im Messier-Katalog festgehalten sind.

Der Hauptstern der Jungfrau, Spica, fällt im sonst sternearmen Frühlingshimmel leicht auf und weist damit den Weg zum Sternbild. Ebenfalls in der Jungfrau befindet sich auch der hellste Quasar am Himmel. Quasare sind die am weitesten entfernten Objekte, die noch zu beobachten sind. Der nur 13mag helle Quasar 3 C 273 in der Jungfrau - es handelt sich wahrscheinlich um einen sehr hellen Galaxienkern - ist von der Erde rund 2 Milliarden Lichtjahre entfernt!



**Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung**

67 $\alpha$ Vir	1.0	B1 IV	Spica	300 Lichtjahre
5 $\beta$ Vir	3.6	F8 V	Zawijava	32 Lichtjahre
29 $\gamma$ Vir	2.8	d F0 V	Porrina Doppelstern	35 Lichtjahre
43 $\delta$ Vir	3.4	M3 III	-	150 Lichtjahre
47 $\epsilon$ Vir	2.8	G9 III	Vindemiatrix	100 Lichtjahre
79 $\zeta$ Vir	3.4	A3 V	-	80 Lichtjahre
15 $\eta$ Vir	3.9	A2 IV	Zaniah	150 Lichtjahre

**Sternbild Kassiopäa**

lateinischer Name: Cassiopeia , Abkürzung: Cas

Die Kassiopäa ist besonder wegen ihrer Form recht bekannt. Sie wird auch das "Himmels-W" bezeichnet. Zwar ist das W etwas verformt, aber es ist immer noch als solches zu erkennen. Das W zeigt mit der Spitze ungefähr in Richtung des Polarsterns im Kleinen Wagen. Die Kassiopäa steht recht weit im Norden, d.h. sie geht nie unter. Mit Hilfe der Stellung von Kassiopäa zum Kleinen Wagen lässt sich auch die Sternzeit ablesen.

Die Region der Kassiopäa ist sehr sternreich, da sich die Milchstraße durch das Sternbild zieht. Mehrere offene Sternhaufen können hier beobachtet werden.

Die Kassiopäa gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
18 $\alpha$ Cas	2.2	K0 III	Schedir	120 Lichtjahre
11 $\beta$ Cas	2.3	F2 IV	Chaph	45 Lichtjahre
27 $\gamma$ Cas	1.6-3.0	B0 IV	-	800 Lichtjahre
37 $\delta$ Cas	2.7	A5 IV	Ruchbah	80 Lichtjahre
45 $\epsilon$ Cas	3.4	B3 III	-	500 Lichtjahre
17 $\zeta$ Cas	3.7	B2 IV	-	600 Lichtjahre
24 $\eta$ Cas	3.4	d G0 V	- Doppelstern	19 Lichtjahre

### Sternbild Kepheus

lateinischer Name: Cepheus, Abkürzung: Cep

Kepheus ist ein Sternbild der griechischen Sage. Es gehört zu einer Gruppe, der auch Andromeda, Kassiopeia und Perseus sowie der Walfisch angehören. Kepheus war darin König und Vater der Andromeda, die von Perseus vor dem Ungeheuer (dem Walfisch) gerettet wird. Die Form des Sternbildes gleicht mit einiger Phantasie einem Hausgiebel. Der Stern  $\delta$  Cep ist ein Überriese, der zusammen mit anderen Sternen seines Typs zur Bestimmungsbestimmung im Weltall sehr wichtig ist.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
5 $\alpha$ Cep	2.4	A7 V	Alderamin	45 Lichtjahre
8 $\beta$ Cep	3.2	d B1 IV	Alphirk/Alfirk	800 Lichtjahre
35 $\gamma$ Cep	3.2	K1 IV	Alrai bzw. Errai	50 Lichtjahre
27 $\delta$ Cep	3.4-4.2	d F6 Ib	- Cepheid	1200 Lichtjahre
Stellvertreter einer ganzen Gruppe veränderlicher Sterne				
23 $\epsilon$ Cep	4.2	F0 IV	-	100 Lichtjahre
21 $\zeta$ Cep	3.4	K1 Ib	-	800 Lichtjahre
3 $\eta$ Cep	3.4	K0 IV	-	45 Lichtjahre



### Sternbild Kleine Wasserschlange

lateinischer Name: Hydrus, Abkürzung: Hyi

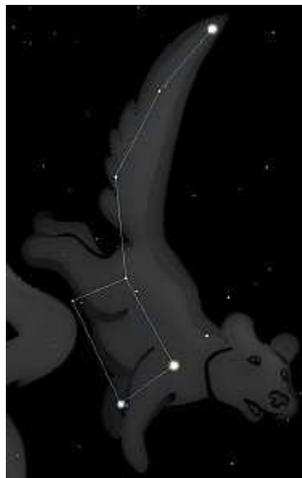
Die Kleine Wasserschlange, auch als Südliche Wasserschlange oder Männliche Wasserschlange bezeichnet, ist ein Sternbild des Südhimmels.

Es ist ein wenig auffälliges Sternbild. Man findet es südlich des hellen Achernar, dem südlichsten Stern des Eridanus. Die Kleine Wasserschlange liegt zwischen der Großen Magellanschen Wolke (LMC) und der Kleinen Magellanschen Wolke (SMC).

Sie ist das südliche Gegenstück der nördlichen Wasserschlange (Hydra). Sie ist von Europa aus nicht sichtbar.

Die Kleine Wasserschlange gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm sie in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Hyi	2.86	F0 V	$\beta$ Hyi	2.80	G2 IV
$\gamma$ Hyi	3.24	M2 III	$\delta$ Hyi	4.09	A3 V



### Sternbild Kleiner Bär bzw. Kleiner Wagen

lateinischer Name: Ursa Minor, Abkürzung: UMi

Der Kleine Wagen ist das nördlichste Sternbild überhaupt. Der Polarstern ( $\alpha$  UMi) befindet sich in unmittelbarer Nähe des astronomischen Nordpols. Anhand dieses Sternes kann man daher auch leicht bei wolkenlosem Himmel die anderen Himmelsrichtungen bestimmen. Der Kleine Wagen ist praktisch ein Spiegelbild des Großen Wagens. Beide sind zu jeder Nachtzeit zu sehen.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
1 $\alpha$ UMi	2.0	F8 Ib	Polarstern, Polaris	800 Lichtjahre
7 $\beta$ UMi	2.1	K4 III	Kochab	100 Lichtjahre
13 $\gamma$ UMi	3.0	A3 II	Pherkad	200 Lichtjahre
23 $\delta$ UMi	4.4	A1 V	-	150 Lichtjahre
22 $\epsilon$ UMi	4.2	G5 III	-	200 Lichtjahre
16 $\zeta$ UMi	4.3	A3 V	-	120 Lichtjahre
21 $\eta$ UMi	5.0	F4 V	-	80 Lichtjahre



### Sternbild Kleiner Löwe

lateinischer Name: Leo Minor, Abkürzung: LMi  
 Der Kleine Löwe ist ein sehr kleines und unscheinbares Sternbild in der Region zwischen dem Großen Wagen und dem großen Löwen. Am besten zu beobachten ist diese Region im Frühling.  
 Das Sternbild wurde erst 1687 von dem Astronomen Johannes Hevelius eingeführt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
31 $\beta$ LMi	4.2	G9 III	-	200 Lichtjahre
46 $\alpha$ LMi	3.8	K0 III	-	80 Lichtjahre

### Sternbild Kranich

lateinischer Name: Grus, Abkürzung: Gru  
 Der Kranich ist ein Sternbild des Südhimmels.

Zwei seiner Sterne ( $\alpha$  und  $\beta$  Gruis) sind auffallend hell. Vom Kranich ist von Deutschland aus in sehr klaren Herbstnächten höchstens der nördlichste Teil zu sehen.

Der Kranich gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm sie in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.



### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Gru	1.74	B7 IV	$\beta$ Gru	2.10	M5 III
$\gamma$ Gru	3.01	B8 III	$\delta$ Gru	3.97	G6 III



### Sternbild Krebs

lateinischer Name: Cancer, Abkürzung: Cnc  
 Der Krebs, der den Zwillingen auf der Ekliptik folgt, ist eher unscheinbar. Seine Bedeutung kommt von dem Offenen Sternhaufen M41, genannt Praesepe (lat.: Krippe) oder Bienenstock, der gut sichtbar zwischen  $\gamma$  und  $\delta$  Cnc in der Mitte des Sternbildes liegt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
35 $\alpha$ Cnc	4.3	A5 V	Acubens	150 Lichtjahre
17 $\beta$ Cnc	3.5	K4 III	Altarf	200 Lichtjahre
43 $\gamma$ Cnc	4.7	A1 V	Asellus Borealis	150 Lichtjahre

47 $\delta$ Cnc	3.9	K0 III	Asellus Australis	150 Lichtjahre
16 $\zeta$ Cnc	4.7	d G0 V	- (Dreifachsystem)	70 Lichtjahre
48 $\iota$ Cnc	3.9	d G8 III	-	300 Lichtjahre



### Sternbild Kreuz des Südens

lateinischer Name: Crux, Abkürzung: Cru  
 Das Kreuz des Südens ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein kleines, auffälliges und sehr bekanntes Sternbild. Die vier hellsten Sterne bilden ein markantes Kreuz am Himmel. Es liegt mitten im hellen Band der Milchstraße.

Im Osten, Westen und Norden ist das Kreuz des Südens vom ausgedehnten Sternbild Zentaur umgeben. Von Mitteleuropa aus ist dieses Sternzeichen nicht zu sehen.

Die Sterne des Kreuzes als Orientierungshilfe waren bereits Amerigo Vespucci bekannt. Als Sternbild in seiner heutigen Form wurde es zum ersten Mal von Petrus Plancius erwähnt. Johann Bayer übernahm es nicht in seinen 1603 erschienenen Sternatlas. Es tauchte erst in Hevelius Atlas wieder auf.

### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Cru	1.58	B0.5 IV	$\beta$ Cru	1.25	B0.5 III
$\gamma$ Cru	1.63	M3 III	$\delta$ Cru	2.80	B2 IV

### Sternbild Leier

lateinischer Name: Lyra, Abkürzung: Lyr  
 Die Leier gehört zu den bekannteren Sternbildern. Zwar ist nicht nicht sehr groß, aber die helle Wega (der fünfthellste Stern am Himmel) und die charakteristische Form der Raute lassen sie auffallen.  $\epsilon$  Lyr ist ein Vierfachsternsystem, welches mit bloßem Auge jedoch nur doppelt erkannt werden kann. Ebenfalls in der Leier zu finden ist der wohl berühmteste



planetarische Nebel, der Ringnebel der Leier (M57).

Ihr hellster Stern, die Wega, bildet mit den Sternen Deneb (Sternbild Schwan) und Atair (Sternbild Adler) das sogenannte große Sommerdreieck. In der Nähe der Leier verläuft die Milchstraße.

Die Leier findet sich bereits in Ptolemäus' Katalog von 48 Sternbildern. Das Sternbild zeigt das von dem griechischen Gott Hermes erfundene Musikinstrument.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
3 $\alpha$ Lyr	0.0	A0 V	Wega	25 Lichtjahre
10 $\beta$ Lyr	3.3-4.3	d B7 V	Sheliak	300 Lichtjahre
Hauptstern einer Klasse von Bedeckungsveränderlichen				
14 $\gamma$ Lyr	3.2	B9 III	Sulaphat	200 Lichtjahre
12 $\delta$ Lyr	4.3	M4 II	-	800 Lichtjahre
4,5 $\epsilon$ Lyr	3.9	d A7 V	- Vierfachstern	150 Lichtjahre
6,7 $\zeta$ Lyr	4.1	d A4 IV	- Doppelstern	200 Lichtjahre

### Sternbild Löwe

lateinischer Name: Leo, Abkürzung: Leo

Der Löwe ist wie Bootes ein typisches Frühlingssternbild. Der aus zwei Trapezen (ein großes für den Rumpf und ein kleines für den Kopf mit der Mähne) bestehende Löwe, ist recht auffällig. Besonders der Hauptstern Regulus, der die Ekliptik, d.h. die scheinbare Sonnenbahn markiert, fällt schon beim ersten Blick gen Himmel dem Beobachter auf. Da das Sternbild auf der Ekliptik liegt, gehört es zu den Tierkreiszeichen. Die Sonne wandert zwischen dem 10. August und dem 16. September durch das Sternbild.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
32 $\alpha$ Leo	1.4	B7 V	Regulus	80 Lichtjahre
94 $\beta$ Leo	2.1	A3 V	Denebola	40 Lichtjahre
41 $\gamma$ Leo	2.1	dK0 III	Algieba	150 Lichtjahre
68 $\delta$ Leo	2.6	A4 V	Zosma	60 Lichtjahre
17 $\epsilon$ Leo	3.0	G0 II	-	300 Lichtjahre
36 $\zeta$ Leo	3.4	F0 III	Aldhafera	120 Lichtjahre

Anmerkung: Bei mehreren Tests sollten Schüler der Sternkonstellation einen Namen geben. Jedes(!) Mal wurde dieses Sternbild mit "Bügeleisen" bezeichnet.



### Sternbild Luchs

lateinischer Name: Lynx, Abkürzung: Lyn

Der Luchs ist ein zwar recht weitläufiges Sternbild, aber seine Sterne sind nicht sehr hell. So lässt sich nicht einmal andeutungsweise eine bestimmte Form erkennen. Man benötigt schon einen sehr dunklen Himmel, um überhaupt Sterne in diesem Gebiet zu erkennen, dass zwischen dem Großen Wagen und dem Fuhrmann liegt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
40 $\alpha$ Lyn	3.1	K9 III	-	150 Lichtjahre
38 Lyn	3.8	d A4 V	-	90 Lichtjahre
31 Lyn	4.3	K5 III	-	200 Lichtjahre

Auch das Sternbild Luchs ist eines von Johannes Hevelius erstmals in seinem Werk 'Prodromus Astronomiae' 1690 genanntes Sternbild in einer an hellen Sternen sehr armen Gegend. Für Mitteleuropa ist dieses Sternbild jedoch fast vollständig zirkumpolar, also immer über dem Horizont. Da es jedoch sehr schwer zu erkennen ist, sprach Hevelius selbst von Luchsaugen, die man braucht, dieses Sternbild zu erfassen. Das Sternbild Luchs erreicht seinen höchsten Stand Ende Februar gegen 22h. Selbst der hellste Stern  $\alpha$  Lyncis sticht mit seiner scheinbaren Helligkeit von 3,1 mag nicht besonders hervor. Neben diesem gibt es einige Doppelsterne in diesem Sternbild, die jedoch keine griechische Bezeichnung nach Bayer tragen, sondern eine sogenannte Flamsteed-Nummer. Ein sehr schöner Doppelstern trägt die Flamsteed-Nummer 12 Lyncis. Er ist ein blauweißer Stern 5.Größenklasse, der einen Begleiter 8.Größenklasse hat.



Zu erwähnen ist weiterhin der Kugelsternhaufen NGC2419; der Kugelsternhaufen mit der größten bekannten Entfernung von 210000 Lichtjahren.

### Sternbild Luftpumpe

lateinischer Name: Antlia, Abkürzung: Ant

Wie der benachbarte Kompass, so wurde auch die Luftpumpe als Sternbild von Lacaille (1752) geschaffen. Sie kommt für Mitteleuropa im Spätwinter und Vorfrühling nur eben noch über den südlichen Horizont herauf.

$\alpha$  Antliae ist der 4<sup>m</sup>,3 helle Hauptstern. Der Spektraltyp ist K0, seine Entfernung 280 ly. Er ist 100mal größer als unsere Sonne. Seine Radialgeschwindigkeit beträgt 13 km/s.

$\delta$  Antliae ist ein physischer Doppelstern. In 11" Entfernung stehen zwei Komponenten 5<sup>m</sup>,7 und 9<sup>m</sup>,7. Die Entfernung beträgt etwa 1000 ly.  $\epsilon$  Antliae ist 4<sup>m</sup>,6 hell bei einer Spektralklasse M0. Er ist ebenfalls 100 mal größer als unsere Sonne und steht in 310 ly Entfernung.

Der planetarische Nebel NGC3132 befindet sich genau auf der Grenze zum benachbarten Sternbild Vela, südlich von Antlia. Es handelt sich um einen hellen und großen planetarischen Nebel - man kann ihn mit dem berühmten Ringnebel in der Lyra vergleichen, jedoch ist er eine ganze Magnitude heller.

Im April 1997 wurde eine neues Mitglied der Lokalen Gruppe von Galaxien in diesem Sternbild gefunden. Diese sphärische Zwerggalaxie wurde von Astronomen aus Cambridge entdeckt. Man kann sie bei RA=10h 01.8m und DE=-27° 05' finden. Sie liegt in einer Entfernung von etwa 1150 kpc.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ Ant	4.3	K6 III	-	280 Lichtjahre

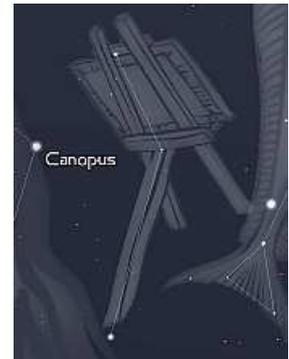
### Sternbild Maler

lateinischer Name: Pictor, Abkürzung: Pic

Der Maler ist ein Sternbild des Südhimmels.

Es ist ein unauffälliges Sternbild westlich des hellen Sterns Canopus, der zum Kiel des Schiffs gehört. Wegen seiner südlichen Lage ist der Maler von Deutschland aus nicht zu sehen.

Das Sternbild wurde 1752 von dem französischen Astronomen Nicolas Louis de Lacaille eingeführt. Auf älteren Sternkarten wird es meist als Staffelei mit Pinsel dargestellt.



Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Pic	3.27	A7 IV
$\gamma$ Pic	4.51	K1 III

$\beta$ Pic	3.85	A5 V
$\delta$ Pic	4.81	B3 III



### Sternbild Mikroskop

lateinischer Name: Microscopium, Abkürzung: Mic

Das Mikroskop ist ein unbedeutendes Sternbild ohne größere Sterne, Nebel oder Galaxien. Es steht tief im Süden unterhalb des Schützen. Es ist als Sternbild nicht anhand von Sternenformationen zu erkennen, man kann es nur anhand einer Karte lokalisieren.

Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Mic	4.90	G7 III
$\gamma$ Mic	4.67	G6 III

$\beta$ Mic	6.04	A2 V
$\delta$ Mic	5.68	K0

### Sternbild Netz

lateinischer Name: Reticulum, Abkürzung: Ret

Das Netz ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein kleines, aber auffallendes Sternbild nördlich der Großen Magellanschen Wolke. Vier Sterne bilden eine Raute. Das Sternbild hieß ursprünglich "Rhombus" und wurde 1624 von dem Kartografen Jakob Bartsch eingeführt.

1752 benannte es der französische Astronom Nicolas Louis de Lacaille in "Reticulum Rhomboidalis" (rhombisches Netz) um. Es stellt kein herkömmliches Netz dar, sondern ein astronomisches Messinstrument: Eine Glasplatte mit einem Netzmuster von eingravierten Linien, die vor ein Okular eingebracht werden konnte.

Damit ist das Netz eines der Sternbilder, die nach technischen Gerätschaften benannt wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Ret	3.35	G8 II
$\gamma$ Ret	4.51	M4 III

$\beta$ Ret	3.85	K1 III
$\delta$ Ret	4.56	M2 III



### Sternbild Nördliche Krone

lateinischer Name: Corona Borealis, Abkürzung: CrB

Die Nördliche Krone ist ein kleines Sternbild in unmittelbarer Nähe des Frühlingssternbildes Bootes. Die Nördliche Krone besitzt eine wunderschöne Form, die leicht als Krone zu erkennen ist.

Das Sternbild enthält zwei interessante veränderliche Sterne, R und T Coronae Borealis. Sie weisen starke Helligkeitsschwankungen auf.

Die Nördliche Krone gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden. Ihr Gegenstück am Himmel ist die Südliche Krone (lateinisch: Corona Australis).

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
5 $\alpha$ CrB	2.3	A0 V	Alphekka, Gemma	80 Lichtjahre
3 $\beta$ CrB	3.7	A9 III	Nusakan	120 Lichtjahre
8 $\gamma$ CrB	3.8	d A0 IV - Doppelstern		200 Lichtjahre
10 $\delta$ CrB	4.6	G4 III -		150 Lichtjahre
13 $\epsilon$ CrB	4.2	K2 III -		250 Lichtjahre
4 $\eta$ CrB	4.1	B6 V -		300 Lichtjahre

### Sternbild Ofen

auch Chemischer Ofen, lateinischer Name: Fornax , Abkürzung: For  
Fornax, bekannt durch den Fornax-Haufen, ist ein sehr südlich gelegen  
kleines Sternbild, das bei uns allenfalls im November in Horizontnähe  
gesehen werden kann.

Stern	Helligkeit	Spektrum			
$\alpha$ For	3.87	F8 V	$\beta$ For	4.46	G8 III
$\gamma$ For	5.39	A0 V	$\delta$ For	5.00	B5 IV



### Sternbild Oktant

lateinischer Name: Octans, Abkürzung: Oct

Der Oktant ist das südlichste Sternbild am Nachthimmel.

Es ist ein unscheinbares Sternbild in der Nähe des südlichen Himmelspols.  
Im Gegensatz zu dem nördlichen Gegenstück, dem Kleinen Bären mit dem  
hellen Polarstern, befindet sich in der Nähe des Himmelssüdpols kein  
auffälliger Stern.

Das Sternbild wurde 1752 von dem Astronomen Nicolas Louis de Lacaille  
eingeführt. Es soll ein Instrument darstellen, das von Seefahrern früher zur

Standortbestimmung genutzt wurde.

Stern	Helligkeit	Spektrum			
$\alpha$ Oct	5.15	A7 III	$\beta$ Oct	4.15	A9 IV
$\gamma$ Oct	5.28	G8 III	$\delta$ Oct	4.32	K2 III



### Sternbild Orion

lateinischer Name: Orion, Abkürzung: Ori

Orion, der Himmelsjäger ist neben dem Großen Wagen das wohl  
bekannteste Sternbild in unseren Breiten. Zwar ist Orion nur im Winter  
zu sehen (der Große Wagen das ganze Jahr), doch fällt Orion durch seine  
hell leuchtenden Sterne und seine bekannte Form sofort ins Auge. Im  
Orion befindet sich auch der berühmte Orionnebel.

Besonders auffällig ist der auch mit bloßem Auge sichtbare Orionnebel M  
42, in dem die Entstehung von neuen Sternen zu beobachten ist. Er  
umgibt die Sterne in der Mitte des "Schwertgehänges".

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
58 $\alpha$ Ori	0.4-1.3	M2 Ia	Beteigeuze	400 Lichtjahre
19 $\beta$ Ori	0.1	B8 Ia	Rigel	1000 Lichtjahre
24 $\gamma$ Ori	1.6	B2 III	Bellatrix	400 Lichtjahre
34 $\delta$ Ori	2.2	O9 II	Mintaka	1500 Lichtjahre
46 $\epsilon$ Ori	1.7	B0 Ia	Alnilam	1500 Lichtjahre
50 $\zeta$ Ori	1.8	O9 Ib	Alnitak	1500 Lichtjahre
28 $\eta$ Ori	3.4	B1 V -		800 Lichtjahre

### Sternbild Paradiesvogel

lateinischer Name: Apus, Abkürzung: Aps

Der Paradiesvogel ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein unauffälliges  
Sternbild in der Nähe des südlichen Himmelspols.

Der Paradiesvogel gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts  
von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick  
de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer nahm es unter dem Namen "Avis Indica" (Indischer Vogel)  
in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas auf.



Stern	Helligkeit	Spektrum			
$\alpha$ Aps	3.83	K2 III			
$\beta$ Aps	4.24	K0 III			
$\gamma$ Aps	3.89	G8 III			
$\delta$ Aps	4.68	M5 III			



### Sternbild Pegasus

lateinischer Name: Orions, Abkürzung: Peg  
Pegasus, ein Herbststernbild schließt sich mit dem großen Sternenquadrat an die Andromeda an. Man bezeichnet Pegasus im allgemeinen auch als "Herbstviereck". Pegasus war in der griechischen Sage ein geflügeltes Pferd. Im Pegasus liegt mit 51 Peg der erste mit unserer Sonne vergleichbare Stern (Spektrum G3 V), der definitiv von einem Planeten umkreist wird, der jedoch näher am Stern ist als Merkur an unserer Sonne.

Pegasus gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie und wurde schon von Ptolemäus erwähnt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
54 $\alpha$ Peg	2.5	B9 V	Markab	100 Lichtjahre
53 $\beta$ Peg	2.3-2.7	M2 II	Scheat	200 Lichtjahre
88 $\gamma$ Peg	2.8	B2 IV	Algenib	500 Lichtjahre
26 $\theta$ Peg	3.5	A2 V	Baham	80 Lichtjahre
8 $\epsilon$ Peg	2.4	F5 IV	Enif	500 Lichtjahre
42 $\zeta$ Peg	3.4	B8 V	Homam	150 Lichtjahre
44 $\eta$ Peg	2.9	G2 II	Matar	200 Lichtjahre
48 $\mu$ Peg	3.5	G9 III	Sadalbari	120 Lichtjahre

### Sternbild Pendeluhr

lateinischer Name: Horologium, Abkürzung: Hor  
Die Pendeluhr ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein unauffälliges Sternbild, das aus einer Kette von lichtschwachen Sternen besteht. Man findet es westlich des hellen Sterns Achernar, dem südlichsten Stern des Eridanus.

Die Pendeluhr wurde erst 1752 von dem französischen Astronomen Nicolas Louis de Lacaille eingeführt. Lacaille fasste Sterne der Südhalbkugel zu neuen Sternbildern zusammen, die er nach technischen Gerätschaften benannte.

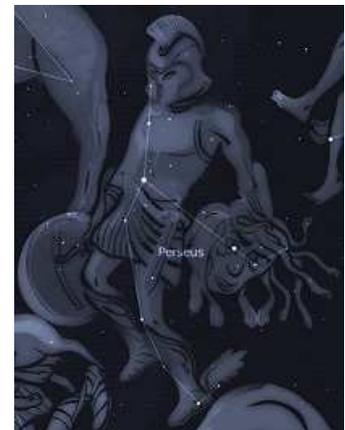


Stern	Helligkeit	Spektrum	Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Hor	3.86	K1 III	$\beta$ Hor	4.99	A3 III
$\gamma$ Hor	5.74	G8 III	$\delta$ Hor	4.93	A9 V

### Sternbild Perseus

lateinischer Name: Perseus, Abkürzung: Per  
Perseus entstammt der gleichen griechischen Sage wie auch Andromeda, Kepheus, Kassiopeia und Walfisch. Bekannt sind die beiden Sternhaufen  $\eta$  und  $\chi$  Persei, die zwischen Perseus und Kassiopeia liegen. Man kann sie leicht finden, wenn man sich Perseus als großes T vorstellt und den Balken dann Richtung Kassiopeia verlängert.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
33 $\alpha$ Per	1.8	F5 Ib	Mirphak	600 Lichtjahre
26 $\beta$ Per	2.1-3.4	B8 V	Algol	90 Lichtjahre
Hauptstern einer gleichnamigen Klasse von Bedeckungsveränderlichen				
23 $\gamma$ Per	2.9	G8 III	-	150 Lichtjahre
39 $\delta$ Per	3.0	B5 III	-	300 Lichtjahre
45 $\epsilon$ Per	2.9	d B0 V	-	600 Lichtjahre
44 $\zeta$ Per	2.9	B1 Ib	-	1200 Lichtjahre
15 $\eta$ Per	3.8	K7 Ib	-	800 Lichtjahre
46 $\xi$ Per	4.0	O7 V	Menkib	1500 Lichtjahre



### Sternbild Pfau

lateinischer Name: Pavo, Abkürzung: Pav  
Der Pfau ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein wenig auffallendes Sternbild westlich des Südlichen Dreiecks. Der Hauptstern heißt  $\alpha$  Pavonis und ist auffallend hell.

Im Pfau befindet sich der auffällige Kugelsternhaufen NGC6752.

Der Pfau gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm ihn in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Pav	1.94	B2 IV	$\beta$ Pav	3.42	A7 III
$\gamma$ Pav	4.22	F6 V	$\delta$ Pav	3.56	G6 IV



### Sternbild Pfeil

lateinischer Name: Sagitta, Abkürzung: Sge  
 Der kleine Pfeil ist im Sommer als kleines Sternbild in dem Gebiet zwischen Adler und Schwan zu erkennen. Seine Form ist bei guten Sichtverhältnissen gut zu erkennen.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
5 $\alpha$ Sge	4.4	G1 II	-	600 Lichtjahre
6 $\beta$ Sge	4.4	G8 III	-	300 Lichtjahre
12 $\gamma$ Sge	3.5	K9 III	-	200 Lichtjahre
7 $\delta$ Sge	3.8	M2 II	-	600 Lichtjahre



### Sternbild Phoenix

lateinischer Name: Phoenix, Abkürzung: Phe  
 Der Phönix ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein wenig auffälliges Sternbild nördlich des hellen Sterns Achernar im Eridanus. Wegen seiner südlichen Lage ist der Phönix von Deutschland aus nicht zu sehen.  
 Der Phönix gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm ihn in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Phe	2.39	K0 III	$\beta$ Phe	3.31	G8 III
$\gamma$ Phe	3.41	M0 III	$\delta$ Phe	3.95	K0 III

### Sternbild Rabe

lateinischer Name: Corvus, Abkürzung: Crv  
 Der Rabe ist ein kleines Frühlingssternbild in der Nähe der Jungfrau. Es ähnelt sehr dem benachbarten Becher, nur sind die Sterne des Bechers nicht so hell wie die des Raben. Die beste Zeit für Beobachtungen sind die Monate März bis Mai. Die vier hellsten Sterne bilden ein Viereck.  
 Der Rabe gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die schon von Ptolemäus erwähnt wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
1 $\alpha$ Crv	4.0	F2 IV	Alchiba	70 Lichtjahre
9 $\beta$ Crv	2.7	G5 II	-	300 Lichtjahre
4 $\gamma$ Crv	2.6	B8 III	Gienah	200 Lichtjahre
7 $\delta$ Crv	3.0	B9 V	Algorab	120 Lichtjahre
2 $\epsilon$ Crv	3.0	K2 III	-	100 Lichtjahre



### Sternbild Schiffskiel

lateinischer Name: Carina, Abkürzung: Car  
 Der Kiel des Schiffes ist ein großes Sternbild des Südhimmels. Es zieht sich an den Sternbildern Achterdeck des Schiffs und Segel des Schiffes entlang und enthält den auffallend hellen Stern Canopus. Von Deutschland aus ist das Sternbild nicht zu sehen.  
 Der Kiel des Schiffes ist Teil des antiken Sternbildes Argo Navis, das zu den 48 von Ptolemäus beschriebenen Sternbildern gehörte.  
 Da das sehr große Argo Navis dem französischen Astronomen Lacaille zu unübersichtlich war, unterteilte er es im Jahre 1763 in die Sternbilder Kiel des Schiffes, Achterdeck des Schiffes und Segel des Schiffes.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name
$\alpha$ Car	-0.72	F0 II	Canopus
$\beta$ Car	1.68	A2 IV	-



### Sternbild Schiffskompass

lateinischer Name: Pyxis, Abkürzung: Pyx  
 Der Kompass liegt recht weit im Süden in der Nähe der Wasserschlange und des Schiffes. Es ist bei uns nur im Frühjahr (Februar/März) abends zu erkennen

Durch den Schiffskompass zieht sich das Band der Milchstraße mit zwei offenen Sternhaufen. Das Sternbild wurde 1756 von dem französischen Astronomen Nicolas Louis de Lacaille eingeführt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ Pyx	3.7	B2 III	-	1200 Lichtjahre
$\beta$ Pyx	4.0	G5 II	-	300 Lichtjahre
$\gamma$ Pyx	4.0	K4III	-	200 Lichtjahre



### Sternbild Schild

lateinischer Name: Scutum, Abkürzung: Sct

Das Schild ist Teil des Sommerhimmels. Man findet das Sternbild zwischen Adler und Schlangenträger. Man sollte aber gute Augen besitzen, um die nicht sehr hellen Sterne zu entdecken.

Es liegt in der sternreichen Milchstraße. Deshalb findet man im Schild mehrere neblige Objekte, wie zwei offene Sternhaufen und einen Kugelsternhaufen.

Das Sternbild wurde erstmals 1690 von Johannes Hevelius aufgeführt und ist dem polnischen König Jan III. Sobieski gewidmet, der 1683 bei der Schlacht am Kahlenberg die Stadt Wien von den türkischen Belagerern befreite.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ Sct	3.9	K3 III	-	150 Lichtjahre
$\beta$ Sct	4.2	G5 II	-	500 Lichtjahre
R Sct	4.5-8.2	G7 Ib	-	2500 Lichtjahre



### Sternbild Schlange

lateinischer Name: Serpens, Abkürzung: Ser

Die Schlange, die sich von Herkules - sie will ihn fressen - bis zum Adler schlängelt, wird getragen vom Schlangenträger. Man kann nicht viel von ihr erkennen, da ihr helle Sterne fehlen. Die beste Beobachtungszeit ist im Sommer. Die Schlange ist unterteilt in Kopf (Serpens Caput) und Hinterteil (Serpens Cauda).

Es ist das einzige Sternbild am Himmel, das aus zwei nicht zusammenhängenden Teilen besteht. Die Schlange liegt im Randbereich der Milchstraße.

Die Schlange gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
24 $\alpha$ Ser	2.7	K2 III	Unukalhai	80 Lichtjahre
28 $\beta$ Ser	3.7	A2 IV	-	120 Lichtjahre
41 $\gamma$ Ser	3.9	F6 V	-	40 Lichtjahre
13 $\delta$ Ser	3.8	d F0 IV	- Doppelstern	120 Lichtjahre
37 $\epsilon$ Ser	3.7	A2 V	-	100 Lichtjahre
35 $\kappa$ Ser	4.1	M1 III	-	1500 Lichtjahre
58 $\eta$ Ser	3.3	K1 III	-	60 Lichtjahre
63 $\theta$ Ser	4.0	d A5 V	Alya	100 Lichtjahre
55 $\xi$ Ser	3.5	F0 IV	-	80 Lichtjahre

### Sternbild Schlangenträger

lateinischer Name: Ophiuchus, Abkürzung: Oph

Der Schlangenträger, der die Schlange hält, ist ein großflächiges Sternbild, welches bei dunklem Himmel auch gut zu erkennen ist. Die Sterne sind recht hell, so dass es nicht schwer fallen sollte, im frühen Sommer im Süden des Himmels den Schlangenträger zu erspähen. Schwieriger ist wohl die Beobachtung von Barnards Pfeilstern in der Nähe von  $\beta$  und  $\gamma$  Ophiuchi. Er ist mit 9,5 mag zwar nicht sehr hell und nur mit optischen Hilfsmitteln zu finden, aber dennoch ist er der nächste von Mitteleuropa aus sichtbare Stern am Himmel, mit einer Entfernung von 6.0 Lichtjahren. Nur  $\alpha$  Centauri/Toliman ist mit 4,4 Lichtjahren näher. Das Besondere an Barnards Pfeilstern ist die Bewegung. Es ist der Stern mit der höchsten Eigenbewegung von 10" pro Jahr.

Der Schlangenträger gehört zu den 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus beschrieben wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
55 $\alpha$ Oph	2.1	A5 III	Rasalhague	60 Lichtjahre
60 $\beta$ Oph	2.8	K2 III	Cebalrai	120 Lichtjahre
62 $\gamma$ Oph	3.8	A0 V	-	100 Lichtjahre
1 $\delta$ Oph	2.7	M1 III	Yed Prior	150 Lichtjahre
2 $\epsilon$ Oph	3.2	G9 III	Yed Posterior	100 Lichtjahre

13 ζ Oph	2.6	O9 V	-	600 Lichtjahre
35 η Oph	2.4	A2 V	Sabik	60 Lichtjahre
42 θ Oph	3.3	B2 IV	-	600 Lichtjahre
27 κ Oph	3.2	K2 III	-	120 Lichtjahre
10 λ Oph	3.8	d A2 V	Marfik	150 Lichtjahre
64 ν Oph	3.3	K0 III	-	150 Lichtjahre

### Sternbild Schwan

lateinischer Name: Cygnus , Abkürzung: Cyg

Der Schwan gehört mit seinem Hauptstern Deneb zum Sommerdreieck, zusammen mit Wega in der Leier und Altair im Adler.

Aufgrund seiner charakteristischen Form wird der Schwan auch als Kreuz des Nordens bezeichnet. Die hellen Sterne setzen sich gut von der hier sehr hellen Milchstraße ab. Im Schwan befinden sich u.a. auch der Nordamerikanebel (NGC7000), der Pelikannebel (IC5067) sowie der Cirrus- oder Schleiernebel (NGC 6960/6992), ein Supernova-Überrest.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

50 α Cyg	1.3	A2 Ia	Deneb	2000 Lichtjahre
6 β Cyg	2.9	d G8 II	Albireo	400 Lichtjahre
37 γ Cyg	2.2	F8 Ib	Sadr	800 Lichtjahre
18 δ Cyg	2.9	d A0 IV	-	150 Lichtjahre
53 ε Cyg	2.5	K0 III	-	70 Lichtjahre
64 ζ Cyg	3.2	G8 III	-	200 Lichtjahre
21 η Cyg	3.9	K0 III	-	200 Lichtjahre



### Sternbild Schwertfisch

lateinischer Name: Dorado, Abkürzung: Dor

Der Schwertfisch ist ein unauffälliges Sternbild des Südhimmels. Es liegt so weit südlich, dass es von Europa aus nicht gesehen werden kann.

Der Schwertfisch besteht aus mehreren Sternen, die in einer Linie angeordnet sind. Er kann leicht gefunden werden, da er südwestlich von Canopus liegt, dem zweithellsten Stern am Himmel. Im Schwertfisch befindet sich der größere Teil der auffälligen Großen Magellanschen Wolke.

Der Schwertfisch ist ein Sternbild, das von den Seeleuten des 16. Jahrhunderts geprägt wurde, die als erste Europäer in südliche Gebiete vordrangen.

Ursprünglich hieß das Sternbild "Goldfisch" und war auf einem inzwischen verschollenen niederländischen Himmelsglobus abgebildet. Johann Bayer übernahm es in seinen Himmelsatlas.

Stern	Helligkeit	Spektrum
-------	------------	----------

α Dor	3.27	A0 III	β Dor	3.76	F6 Ia
γ Dor	4.25	F4 III	δ Dor	4.35	A7 V

γ Dor 4.25 F4 III

### Sternbild Schütze

lateinischer Name: Sagittarius, Abkürzung: Sgr

Der Schütze ist ein sehr südliches Sternbild, welches auf der Ekliptik liegt und somit zum Kreis der Tierkreiszeichen gehört. Die Sonne wandert zwischen dem 18. Dezember und dem 19. Januar durch den Schützen. Im Sternbild stehen viele, verhältnismäßig helle Sterne, so dass man das Sternbild im Sommer trotz seiner südlichen Lage nahe dem Horizont recht gut erkennen kann. Im Schützen liegen auch bekannte Gasnebel, so der Trifidnebel (M20), der Lagunennebel (M8) sowie der Omega- bzw. Schwannebel (M17).

Der Schütze gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
-------	------------	----------	------	------------

α Sgr	4.0	B8 V	-	120 Lichtjahre
β <sup>1</sup> Sgr	3.9	d B8 V	-	200 Lichtjahre
10 γ Sgr	3.0	K0 III	Alnasl	120 Lichtjahre
19 δ Sgr	2.7	K2 III	Kaus Media	80 Lichtjahre
20 ε Sgr	1.8	B9 III	Kaus Australis	100 Lichtjahre
38 ζ Sgr	2.6	A2 III	-	100 Lichtjahre
η Sgr	3.1	d M3 III	-	120 Lichtjahre
22 λ Sgr	2.8	K2 III	Kaus Borealis	100 Lichtjahre
13 μ Sgr	3.8	B8 Ia	-	4000 Lichtjahre
37 ξ <sup>2</sup> Sgr	3.5	K1 III	-	150 Lichtjahre

39 $\circ$ Sgr	3.8	G8 III	-	120 Lichtjahre
41 $\pi$ Sgr	2.9	F2 II	-	300 Lichtjahre
34 $\sigma$ Sgr	2.0	B3 V	Nunki	200 Lichtjahre

### Sternbild Segel

lateinischer Name: Vela, Abkürzung: Vel

Das Segel des Schiffs ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein großes Sternbild, das sich nördlich des Schiffskiels befindet.

Durch das Sternbild zieht sich das helle Band der Milchstraße. Deshalb findet man im Segel einige offene Sternhaufen, einen Kugelsternhaufen und einen Planetarischen Nebel.

Dieses Sternbild ist Teil des antiken Sternbildes "Argo Navis", das zu den 48 von Ptolemäus beschriebenen Sternbildern gehörte.

Der französische Astronom Lacaille unterteilte das sehr große Sternbild 1763 in die Sternbilder Schiffskiel, Achterdeck des Schiffs und Segel.



### Stern Helligkeit      Spektrum

$\gamma$ Vel	1.78	WC8+O7	$\delta$ Vel	1.96	A1 V
--------------	------	--------	--------------	------	------



### Sternbild Sextant

lateinischer Name: Sextans, Abkürzung: Sex

Zwischen Löwe und Wasserschlange liegt das kaum bekannte und nur sehr schwer zu beobachtende Sternbild Sextant. Dieser Region des Himmels fehlen Sterne, man kann allerhöchstens, theoretisch und bei total dunklem Himmel abseits aller Straßenbeleuchtungen den Hauptstern des Sextanten erkennen. Die beste Beobachtungszeit liegt im Frühling. Das Sternbild wurde 1690 von dem Astronomen Johannes Hevelius eingeführt. Es soll den Sextanten darstellen, mit dem er die Sternpositionen vermaß.

### Stern Helligkeit      Spektrum      Name Entfernung

15 $\alpha$ Sex	4.5	B9 IV	-	300 Lichtjahre
8 $\gamma$ Sex	5.1	d A2 V	-	300 Lichtjahre
35 Sex	5.8	d K2 III-	-	800 Lichtjahre

### Sternbild Skorpion

lateinischer Name: Scorpius, Abkürzung: Sco

Der Skorpion liegt sehr weit im Süden, so dass man von uns aus nicht seine ganze Schönheit bewundern kann. Das Sternbild liegt mit einem kleinen Gebiet auf der Ekliptik und gehört daher zu den Sternzeichen. Die Sonne steht zwischen dem 23. und dem 28. November im Skorpion. Der Skorpion wird dominiert von dem hellen Stern Antares. Die beste Beobachtungszeit liegt im frühen Sommer.

Man findet im Skorpion eine Vielzahl an Sternhaufen und Nebeln. Besonders eindrucksvoll ist der Sternhaufen Messier 7, der schon in der Antike bekannt war.



### Stern Helligkeit      Spektrum      Name Entfernung

21 $\alpha$ Sco	0.9-1.8	d M0 Ib	Antares	500 Lichtjahre
8 $\beta$ Sco	2.5	d B1 IV	Acrab	800 Lichtjahre
7 $\delta$ Sco	2.3	B0 IV	-	800 Lichtjahre
26 $\epsilon$ Sco	2.3	K2 III	-	70 Lichtjahre
35 $\lambda$ Sco	1.6	B2 IV	Shaula	300 Lichtjahre
6 $\pi$ Sco	2.9	B1 V	-	600 Lichtjahre



### Sternbild Steinbock

lateinischer Name: Capricornus, Abkürzung: Cap

Der Steinbock ist bekannt als Tierkreis- und Sternzeichen. Er liegt auf der scheinbaren Sonnenbahn, der Ekliptik, südlich des Himmelsäquators. Die Sonne durchläuft den Steinbock zwischen dem 19. Januar und dem 16. Februar, d.h. man kann ihn im Spätsommer nachts am besten beobachten.

Man findet ihn dann in der Nähe des Wassermanns, des Adlers und des Schützen

Der Steinbock gehört zu den 48 Sternbildern der antiken griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
5 $\alpha^1$ Cap	4.2	G3 Ib	Algiedi	1500 Lichtjahre
6 $\alpha^2$ Cap	3.6	G9 III	Algiedi	120 Lichtjahre
9 $\beta$ Cap 3.0	d F7 III-			100 Lichtjahre
40 $\gamma$ Cap	3.7	F0 IV	-	100 Lichtjahre
49 $\delta$ Cap	2.8-3.1	A9 V	Deneb Algedi	40 Lichtjahre
23 $\theta$ Cap	4.1	A1 V	-	150 Lichtjahre
34 $\zeta$ Cap	3.7	G4 Ib	-	1500 Lichtjahre
18 $\omega$ Cap	4.1	K5 III	-	300 Lichtjahre

### Sternbild Stier

lateinischer Name: Taurus, Abkürzung: Tau

Der Stier gehört bei uns zu den Wintersternbildern. Durch die Nähe zu dem bekannten Sternbild Orion ist der Stier recht geläufig. In ihm liegt nicht nur ein heller, roter Stern, Aldebaran, sondern auch zwei Sternhaufen, die Hyaden und die Plejaden.

Letztere liegen etwas oberhalb von Aldebaran und bieten besonders im Fernglas einen traumhaften Anblick! Sie ähneln ein wenig dem Kleinen Wagen, nur dass sie viel näher zusammenliegen.

Die Hyaden, welche man besser mit dem freien Auge beobachten sollte, liegen verstreut um Aldebaran. Zwischen den beiden Offenen Sternhaufen verläuft die Ekliptik.

Da das Sternbild auf der Ekliptik liegt, gehört es zu den Tierkreiszeichen. Die Sonne wandert zwischen dem 14.Mai und dem 21.Juni durch das Sternbild.



Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
87 $\alpha$ Tau	0.9	K5 III	Aldebaran	60 Lichtjahre
112 $\beta$ Tau	1.7	B7 III	Elnath, Nath	120 Lichtjahre
54 $\gamma$ Tau	3.6	K0 III	- (Hyaden)	150 Lichtjahre
61 $\delta_1$ Tau	3.8	K0 III	- (Hyaden)	150 Lichtjahre
68 $\delta_3$ Tau	4.3	dA2 V (A1, G0)	- (Hyaden)	150 Lichtjahre
74 $\epsilon$ Tau	3.5	K0 III	- (Hyaden)	150 Lichtjahre
123 $\zeta$ Tau	3.0	B3 III	-	500 Lichtjahre



### Sternbild Südliche Krone

lateinischer Name: Corona Australis, Abkürzung: CrA

Die Südliche Krone ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist unauffällig und liegt südlich des Sommersternbildes Schütze.

Die Südliche Krone besteht aus einem Bogen von Sternen. Von Deutschland aus sind tief am Sommerhimmel nur die nördlichsten Sterne zu sehen.

Die Südliche Krone gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden. Sie stellen das Gegenstück zur Nördlichen

Krone dar.

1932 wurde der Name von der Internationalen Astronomischen Union offiziell in "Corona Austrina" geändert. Die erste Bezeichnung "Corona Australis" ist aber weiter verbreitet.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ CrA	4.11	A2 V	$\beta$ CrA	4.11 K0 II
$\gamma$ CrA	5.01	F8 V	$\delta$ CrA	4.59 K1 III



### Sternbild Südlicher Fisch

lateinischer Name: Piscis Austrinus, Abkürzung: PsA

Im Frühherbst ist der südliche Fisch mit dem hellen Fomalhaut in der Nähe des südlichen Horizontes zu entdecken. Er befindet sich unterhalb des Steinbocks.

Der hellste Stern heißt Fomalhaut. Wegen seiner Lage steht das Sternbild von Deutschland aus gesehen tief am Horizont.

Der Südliche Fisch gehört zu den 48 Sternbildern der antiken

griechischen Astronomie, die bereits von Ptolemäus beschrieben wurden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
24 $\alpha$ PsA	1.2	A3 V	Fomalhaut	22 Lichtjahre
17 $\beta$ PsA	4.3	d A1 V	- (Doppelstern)	150 Lichtjahre
22 $\gamma$ PsA	4.4	A0 IV	-	200 Lichtjahre
23 $\delta$ PsA	4.2	G7 III	-	150 Lichtjahre
18 $\epsilon$ PsA	4.2	B8 V	-	250 Lichtjahre
12 $\eta$ PsA	5.4	d B8 V	-	500 Lichtjahre



### Sternbild Tafelberg

lateinischer Name: Mensa, Abkürzung: Men

Der Tafelberg ist ein Sternbild des Südhimmels. Die deutsche Bezeichnung ist heutzutage eigentlich ungebräuchlich.

Mensa ist ein sehr unauffälliges Sternbild in der Nähe des südlichen Himmelspols. Nördlich von Mensa liegt die Große Magellansche Wolke, eine kleinere Begleitgalaxie unserer Milchstraße.

Der Name dieses Sternbildes stammt von dem französischen Astronomen Lacaille, der von 1751 bis 1753 vom Kap der Guten Hoffnung aus den Südhimmel beobachtete. In Erinnerung an den oft von Wolken verhangenen Tafelberg hinter dem Kap nannte er die Sterngruppe "Mons Mensa".

#### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Men	5.09	G6 V	$\beta$ Men	5.31	G8 III
$\gamma$ Men	5.19	K2 III	$\delta$ Men	5.69	K2 III

### Sternbild Taube

lateinischer Name: Columba, Abkürzung: Col

Die Taube ist im Winter mit viel Glück tief im Süden unterhalb des Orion zu erkennen. Es liegt sehr weit im Süden, so daß es kaum durch die Dunstschichten zeigt. Ebenfalls in der Nähe liegt der Hase.

Die Taube besteht aus einer zickzackförmigen Kette von Sternen.

Die Taube gehört zu drei neueren Sternbildern, die der niederländische Astronom Petrus Plancius im 17. Jahrhundert einführte.



#### Stern Helligkeit Spektrum Name Entfernung

$\alpha$ Col	2.6	B7 IV	Phact	150 Lichtjahre
$\beta$ Col	3.1	K2 III	-	150 Lichtjahre
$\gamma$ Col	4.4	B3 IV	-	800 Lichtjahre
$\delta$ Col	3.9	G4 III	-	120 Lichtjahre
$\epsilon$ Col	3.9	K1 III	-	150 Lichtjahre



### Sternbild Teleskop

lateinischer Name: Telescopium, Abkürzung: Tel

Das Teleskop ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein unauffälliges Sternbild südwestlich des Skorpions.

Das Sternbild wurde 1756 von dem Astronomen Nicolas Louis de Lacaille eingeführt. Man findet hier einen Kugelsternhaufen.

#### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Tel	3.51	B3 IV	$\delta$ Tel	4.96	B6 IV
$\epsilon$ Tel	4.53	K0 III			



### Sternbild Tukan

lateinischer Name: Tucana, Abkürzung: Tuc

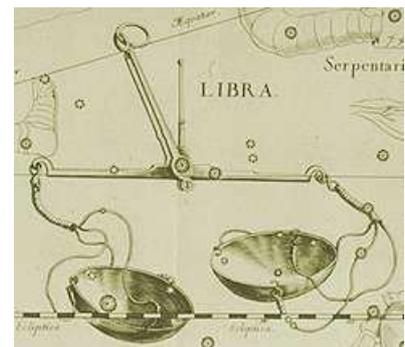
Der Tukan ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein recht unauffälliges Sternbild südlich des Kranichs.

Im Südosten steht die Kleine Magellansche Wolke, eine kleinere Begleitgalaxie unserer Milchstraße und der Kugelsternhaufen 47 Tucanae.

Der Tukan gehört zu den Sternbildern, die Ende des 16. Jahrhunderts von den niederländischen Seefahrern Pieter Dirkszoon Keyser und Frederick de Houtman eingeführt wurden. Johann Bayer übernahm das Sternbild in seinen 1603 erschienenen Himmelsatlas.

#### Stern Helligkeit Spektrum

$\alpha$ Tuc	2.86	K3 III	$\beta$ Tuc	4.37	B9 V
$\gamma$ Tuc	3.99	F1 III	$\delta$ Tuc	4.48	B9 V
$\epsilon$ Tuc	4.50	B9 IV			



### Sternbild Waage

lateinischer Name: Libra, Abkürzung: Lib

Das zum Kreis der Tierkreiszeichen gehörende Sternbild der Waage ist im Grunde nicht sehr auffällig. Richtig helle Sterne fehlen in dieser Region des Himmels. Die nächsten hellen Sterne sind Spica in der Jungfrau und Antares im Skorpion. Am besten zu beobachten ist die Waage im Frühsommer. Die Sonne steht in der Waage zwischen dem 31. Oktober und dem 23. November.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
9,8 α Lib	2.6	d A4 IV	Zubenelgenubi	70 Lichtjahre
27 β Lib	2.6	B8 V	Zubeneschemali	120 Lichtjahre
38 γ Lib3.9	G8 IV	-	-	80 Lichtjahre
19 δ Lib4.9-5.9	A0 V	-	(Algol-Typ)	250 Lichtjahre
20 σ Lib	3.3	M4 III	-	120 Lichtjahre
39 υ Lib	3.6	K4 III	-	120 Lichtjahre
40 τ Lib3.7	B3 V	-	-	400 Lichtjahre



### Sternbild Walfisch

lateinischer Name: Cetus , Abkürzung: Cet

Der Walfisch ist kein Walfisch unserer Zeit. Vielmehr handelt es sich dabei um ein Monster der griechischen Sage, der auch Andromeda, Kepheus, Kassiopeia und Perseus entstammen. Das Besondere an diesem unscheinbaren, aber großflächigen Sternbild ist der Stern Mira, ein Pulsar, der einen großen Helligkeitsabfall alle 331,9 Tage aufweist. Der Walfisch ist zu beobachten im Herbst in der Nähe der Fische und des Eridanus.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
92 α Cet	2.5	M2 III	Menkar	150 Lichtjahre
16 β Cet	2.0	K0 III	Deneb Kaitos	70 Lichtjahre
86 γ Cet	3.5	d A3 V	-	80 Lichtjahre
82 δ Cet	4.1	B2 IV	-	800 Lichtjahre
45 θ Cet	3.6	K0 III	-	120 Lichtjahre
55 ζ Cet	3.7	K1 III	Baten Kaitos	200 Lichtjahre
31 η Cet	3.5	K2 III	-	120 Lichtjahre
8 ι Cet 3.6	K2 III	-	-	200 Lichtjahre
68 ο Cet	2.0-10.1	M7 III	Mira	100 Lichtjahre

Hauptstern einer Klasse von Pulsationsveränderlichen Sternen (lange Periode (331,9d), großer Lichtwechsel)



### Sternbild Wassermann

lateinischer Name: Aquarius; Abkürzung: Aqr

Der Wassermann ist bekannt als Sternzeichen. Er liegt auf der scheinbaren Sonnenbahn, der Ekliptik, etwas südlich des Himmelsäquators. Das Sternbild ist nicht sehr auffällig, da ihm helle Sterne fehlen. Die Sonne steht vom 16.Februar bis 12.März im Wassermann, daher kann man ihn im Herbst nachts am besten beobachten. Man findet ihn dann in der Nähe der Fische und des Steinbocks.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
34 α Aqr	3.0	G2 Ib	Sadalmelik	1000 Lichtjahre
22 β Aqr	2.9	G0 Ib	Sadalsuud	1000 Lichtjahre
48 γ Aqr	3.8	A0 V	Sadachbia	100 Lichtjahre
76 δ Aqr	3.3	A3 IV	-	100 Lichtjahre
2 ε Aqr 3.8	A1 V	-	-	120 Lichtjahre
55 ζ Aqr	3.7	d F3 IV	-	100 Lichtjahre

62 η Aqr 4.0 B8 V - 150 Lichtjahre

Mythologie: Der Wassermann ist Deukalion, der Sohn des Prometheus. Die Bezeichnung geht auf die Regenperiode bei den Völkern des Vorderen Orients zurück.

### Sternbild Wasserschlange

lateinischer Name: Hydra , Abkürzung: Hya

Das weitläufige Sternbild der Wasserschlange lässt sich am besten anhand des trapezförmigen Kopfes zwischen dem Löwen und dem Kleinen Hund aufspüren. Das Ende der Wasserschlange liegt im Bereich der Waage - ein ganzes Stück entfernt. Etwa im Mai kann man die Wasserschlange (nicht zu verwechseln mit der Schlange) als Ganzes am Himmel erkennen.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
30 α Hya	2.0	K3 III	Alphard	90 Lichtjahre
β Hya 4.3	B9 III	-	-	300 Lichtjahre
46 γ Hya	3.0	G6 III	-	100 Lichtjahre
4 δ Hya 4.2	A0 V	-	-	150 Lichtjahre
11 ε Hya	3.4	d G0 III	-	150 Lichtjahre
16 ζ Hya	3.1	K0 III	-	150 Lichtjahre
7 η Hya 4.3	B3 V	-	-	500 Lichtjahre





### Sternbild Widder

lateinischer Name: Aries, Abkürzung: Ari

Der Widder ist zwar als Sternkreiszeichen bekannt, am Himmel hält er aber nicht unbedingt das, was man von ihm erwartet. Man kann das Sternbild nur schwer erkennen, da es recht klein ist. Die Ekliptik verläuft etwas unterhalb der kleinen Ansammlung der hellsten Sterne des Widders. Die Sonne steht hier vom 18. April bis zum 14. Mai. In der Nähe sind die Sternbilder Fische und Andromeda zu finden. Am besten zu beobachten ist der Widder im Herbst.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
13 $\alpha$ Ari	2.0	K2 III	Hamal	80 Lichtjahre
6 $\beta$ Ari	2.6	A5 V	Sheratan	45 Lichtjahre
5 $\gamma$ Ari	3.9	d A0 V	Mesarthim	150 Lichtjahre
41 Ari	3.6	B8 V	-	120 Lichtjahre

Mythologie: Die beiden Kinder der Wolkengöttin Nephele und des Herrschers von Orchomenos, Phrixos und Helle, sollten auf Wunsch der Geliebten des Vaters, Ino, geopfert werden. Ein goldener Widder entführte die Kinder durch die Lüfte. Bei diesem Flug stürzte Helle ins Meer, während Phrixos gerettet wurde.



### Sternbild Winkelmaß

lateinischer Name: Norma, Abkürzung: Nor

Das Winkelmaß ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein recht unscheinbares Sternbild südlich des Skorpions.

Durch das Winkelmaß zieht sich das Band der Milchstraße. Deshalb enthält es viele neblige Objekte wie offene Sternhaufen, Kugelsternhaufen und Gasnebel. Das Winkelmaß liegt so weit südlich, dass es von Mitteleuropa aus nicht zu sehen ist.

Das Sternbild wurde 1752 von dem französischen Astronomen Nicolas Louis de Lacaille unter dem Namen "Norma et Regula" eingeführt. Es soll einen Winkelmesser und ein Lineal darstellen. Diese Hilfsmittel wurden von Seefahrern zur Positionsbestimmung genutzt.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name
$\gamma$ Nor	4.99	F9 Ia	Nor
$\varepsilon$ Nor	4.94	B0 Ia	Am

### Sternbild Wolf

lateinischer Name: Lupus, Abkürzung: Lup

Der Wolf ist ein Sternbild des Südhimmels. Es liegt zwischen den Sternbildern Skorpion und Zentaur.

Durch den südlichen Teil zieht sich die Milchstraße. Deshalb enthält der Wolf einige neblige Objekte. Wegen seiner südlichen Lage kann nur von Südeuropa aus der nördliche Teil des Wolfs gesehen werden.

Der Wolf gehört zu den klassischen 48 Sternbildern der Antike, die von Ptolemäus erwähnt werden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name
$\alpha$ Lup	2.30	B1 III	$\beta$ Lup
$\gamma$ Lup	2.78	B2 IV	$\delta$ Lup
$\varepsilon$ Lup	3.37	B2 IV	



### Sternbild Zentaur, Kentaur

lateinischer Name: Centaurus, Abkürzung: Cen

Der Zentaur ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein großes Sternbild, das sich südlich der Wasserschlange erstreckt.

Der Zentaur stellt ein Mischwesen – halb Mensch, halb Pferd – dar.

Durch den südlichen Teil zieht sich das Band der Milchstraße. Dieses Gebiet ist besonders reich an Sternen und nebligen Objekten. Omega Centauri ist der hellste Kugelsternhaufen am Nachthimmel.

Von Deutschland aus sind nur die nördlichsten Sterne des Zentauren zu sehen. Sie stehen im Frühjahr tief über dem südlichen Horizont.

Der Zentaur gehört zu den 48 Sternbildern der antiken Astronomie, die bereits von Ptolemäus erwähnt wurden.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
$\alpha$ Cen	-0.01	G2 V	Toliman	4 Lichtjahre
$\alpha 2$ Cen	1.33	G2 V	-	4 Lichtjahre
$\beta$ Cen	0.61	B1 III		
$\gamma$ Cen	2.17	A1 IV		
$\delta$ Cen	2.60	B2 IV		
$\epsilon$ Cen	2.30	B1 III		



### Sternbild Zirkel

lateinischer Name: Circinus , Abkürzung: Cir

Der Zirkel ist ein Sternbild des Südhimmels. Es ist ein unauffälliges Sternbild, durch das sich das helle Band der Milchstraße zieht. Von Europa aus ist es nicht zu sehen. Der Zirkel gehört zu den 14 neueren Sternbildern, die der französische Astronom Nicolas Louis de Lacaille im 18.Jahrhundert einführte.

Stern	Helligkeit	Spektrum	Stern	Helligkeit	Spektrum
$\alpha$ Cir	3.19	Ap	$\beta$ Cir	4.07	A3 V
$\gamma$ Cir	4.51	B5 IV	$\delta$ Cir	5.09	O8.5 V
$\epsilon$ Cir	4.86	K2 III			



### Sternbild Zwillinge

lateinischer Name: Gemini , Abkürzung: Gem

Die Zwillinge sind ein typisches Wintersternbild. Sie gehören neben Orion, Fuhrmann, Stier, Großem und Kleinem Hund zum "Wintersechseck".

Durch die Zwillinge verläuft die Ekliptik, d.h. die scheinbare Bahn der Sonne, die in der Zeit vom 21.Juni bis zum 21.Juli in den Zwillingen steht. Die Zwillinge gehören daher auch zum Kreis der Tierkreiszeichen

Stern	Helligkeit	Spektrum	Name	Entfernung
66 $\alpha$ Gem	1.6	d A1 V	Castor	50 Lichtjahre
78 $\beta$ Gem	1.1	K0 III	Pollux	35 Lichtjahre
24 $\gamma$ Gem	1.9	A0 IV	Alhena	90 Lichtjahre
55 $\delta$ Gem	3.5	F2 IV	Wasat	60 Lichtjahre

27 $\epsilon$ Gem	3.0	G8 Ib	Mebсутa	600 Lichtjahre
43 $\zeta$ Gem	3.7-4.2	d G0 Ib	Mekbuda (Algol-Typ)	1500 Lichtjahre
7 $\eta$ Gem	3.3-3.9	M3 III	Tejat Prior (Cepheid)	200 Lichtjahre
13 $\mu$ Gem	2.9	M3 III	Tejat Posterior	150 Lichtjahre

### Sonnennächste Sterne

Die Tabelle enthält alle Sterne bis zu einer Entfernung von zwölf Lichtjahren (Lj)

Name	$\alpha, \delta$	$m_{vis}$	SK	Parallaxe	pc	ly	$M_{vis}$
Proxima Centauri	14h30,6min, -62°42'	10,7	M5e	0,768	1,31	4,24	15,1
$\alpha$ Centauri A/B	14h39,6min, -60°50'	0,0/1,4	G2 V/K5	0,747	1,33	4,36	4,4/5,8
Barnards Pfeilstern	17h57,8min, +4°41'	9,5	M5 V	0,547	1,83	5,96	13,2
Wolf 359	10h56,4min, +7°03'	13,7	M6e V	0,419	2,34	7,78	16,8
Lalande 21185	11h03,2min, +36°02'	7,5	M2 V	0,393	2,51	8,29	10,5
Sirius A/B	6h45,1min, -16°42'	-1,5/8,7	A1/A5	0,380	2,67	8,58	1,4/11,5
Luyten 725-8	1h38,5min, -17°57'	12,4/13,0	M6/M6	0,374	2,60	8,72	15,2/15,8
Ross 154	18h49,5min, -23°50'	10,6	M4e V	0,337	2,85	9,68	13,3
Ross 248	23h38,4min, +44°12'	12,2	M6e V	0,316	3,16	10,32	14,7
$\epsilon$ Eridani	3h33,0min, -9°28'	3,7	K2 V	0,310	3,30	10,52	6,2
Lacaille 9352	23h05,4min, -35°57'	7,4	M2 V	0,304	3,66	10,74	9,6
Ross 128	11h47,7min, -0°49'	11,1	M5 V	0,299	3,36	10,91	13,5
Luyten 789-6	22h38,4min, -15°20'	12,6	M6e V	0,290	3,36	11,26	15,0
Struve 2398	18h42,8min, +59°38'	5,2/6,0	M3	0,289	-	11,3	8,9
Prokyon A/B	7h39,3min, +5°14'	0,3/10,8	F5/F	0,286	3,48	11,40	2,6/13,1
61 Cygni A/B	21h06,6min, +38°42'	5,2/6,0	K5/K7	0,286	3,42	11,40	7,5/8,4
Groombridge34	0h18,0min, +44°01'	8,1/11,0	M1/M6	0,281	3,60	11,62	10,3/13,3
$\epsilon$ Indi	22h02,9min, -56°45'	4,7	K5 V	0,276	3,51	11,82	7,0
$\tau$ Ceti	1h44,2min, -15°57'	3,5	G8p V	0,274	3,64	11,89	5,7

## Sternentabelle

Die Tabelle enthält die Sterne mit einem Eigennamen. Es werden jeweils angegeben der Name, die griechische Bezeichnung mit Sternbild, die SAO-, HD- und FK5-Nummer, die visuelle Helligkeit, die Spektralklasse, die Äquatorkoordinaten und die jährliche Bewegung in RA und DE.

## Ausgewählte Sterne

Sternname	Sternbild	SAO	HD	FK5	Mag	Spektralklasse
	RA	DE	jährliche Bewegung	RA, Dec		
Aldebaran	Alpha Tauri	94027	29139	168	0,85	K5+III
	4h 35.920m	16° 30.550'	0,063	-0,19		
Altair	Alpha Aquilae	125122	187642	745	0,77	A7V
	19h 50.783m	8° 52.100'	0,538	0,386		
Antares	Alpha Scorpii	184415	148478	616	0,96	M1.5Iab-Ib+B4Ve
	16h 29.407m	-26° 25.917'	-0,01	-0,02		
Beteigeuze	Alpha Orionis	113271	39801	224	0,5	M1-2Ia-Iab
	5h 55.172m	7° 24.417'	0,026	0,009		
Canopus	Alpha Carinae	234480	45348	245	-0,72	F0II
	6h 23.952m	-52° 41.750'	0,022	0,021		
Capella	Alpha Aurigae	40186	34029	193	0,08	G5IIIe+G0III
	5h 16.690m	45° 59.883'	0,076	-0,425		
Mira	Omicron Ceti	129825	14386	3,04	M7IIIe+Bep	
	2h 19.345m	-2° 58.650'	-0,008	-0,237		
Polaris	αUrsae Minoris	308	8890	907	2,02	F7:Ib-II
	2h 31.812m	89° 15.850'	0,038	-0,015		
Rigel	Beta Orionis	131907	34085	194	0,12	B8Ia:
	5h 14.538m	-8° 12.100'	0	-0,001		

## Bright Star Katalog

Den für den Amateur-Astronomen interessantesten Sternkatalog stellt der Bright Star Katalog von D.Hoffleit (Yale University Observatory) dar. Dieser Katalog umfasst über 9000 Sterne der Größenklasse bis etwa 6,5 mag sowohl der nördlichen als auch der südlichen Hemisphäre, d.h. also vorwiegend die mit bloßem Auge oder einfachen optischen Hilfsmitteln sichtbaren Sterne.

Für jeden Stern enthält dieser Katalog folgende Daten:

Bright Star Nummer die Nummer des Objektes im aktuellen Katalog

Flamsteed Nummer die Nummer des Sterns im Flamsteed Katalog; 3.Ausgabe Hoffleit 1964

Bayer Codierung die von Bayer eingeführte Kodierung der Sternbezeichnung mit griechischen Buchstaben, dabei entspricht z.B. der Code 1 dem α, die 2 dem β, ... , 24 dem ω

Sternbild die 3buchstabile, lateinische Abkürzung der Sternbildbezeichnungen, z.B. AND für Andromeda

Durchmusterung Bereich Grundlage des Bright Star Katalogs sind die zwei umfangreichen klassischen Sternkataloge die Bonner Durchmusterung (BD), die Cordoba Durchmusterung (CD; CP)

Durchmusterung Nummer innerhalb der Suchbereiche wurden die Sterne in den Durchmusterungen zusätzlich durchnummeriert

Rektaszension die Koordinate RA im ruhenden Äquatorsystem

Deklination die Koordinate δ im ruhenden Äquatorsystem

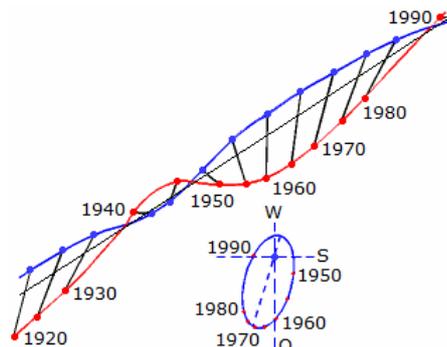
visuelle Helligkeit die scheinbare visuelle Helligkeit in Größenklassen

Spektralklasse die Harvard-Klassifizierung der Sternspektren; vorgesehen sind die Spektralklassen O, B, A, F, G, K, M, S und C und die übliche Einteilung in 10 Teilklassen

Leuchtkraftklasse die Einteilung der Größen der Sterne nach dem MKK-System mittels römischer Ziffern

trigonometrische Parallaxe die Parallaxe des Sterns in Bogensekunden; beachten Sie, dass nur für einen Teil der Sterne des Bright Star Katalogs Parallaxen bekannt sind

siehe <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/bsc5.html>



## Doppelsternmassen

Abbildung: Eigenbewegung von Sirius A (blauer Punkt) und B (roter Punkt) von 1920 bis 1990

Mit Hilfe der exakten Form des 3.Keplerschen Gesetzes kann man aus der großen Halbachse der relativen wahren Bahn  $a$  und der Umlaufzeit  $T$  die Summe der Massen der beiden Komponenten eines Doppelsternsystems bestimmen:

$$(m_1 + m_2) = 4\pi^2/G \cdot a^3/T^2$$

$a$  ... große Halbachse der relativen wahren Bahn,  $T$  ... Umlaufzeit,  $G$  ... Gravitationskonstante,  $m_1$  und  $m_2$  ... Massen der beiden Komponenten

Die Formel verlangt die großen Halbachse der relativen wahren Bahn in Meter, die Umlaufzeit in Sekunden und liefert die Massensumme in kg. Dies führt zu sehr großen Werten. Durch einige Umformungen ergibt sich

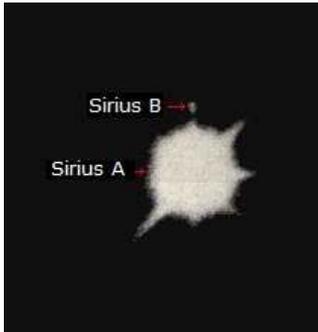
$$(m_1 + m_2) = a^3 r^2 / T^2$$

mit  $r$  ... Entfernung des Systems in Parsec,  $T$  ... Umlaufzeit in Jahren und  $m_1, m_2$  ... Massen der beiden Komponenten in Sonnenmassen

Sind die großen Halbachsen  $a_1$  und  $a_2$  der absoluten Bahnen bekannt, kann man das Massenverhältnis berechnen:  $m_1/m_2 = a_2/a_1$

Mit der Massensumme ( $m_1+m_2$ ) und dem Massenverhältnis ( $m_1/m_2$ ) ist es möglich die Massen der beiden Komponenten auszurechnen.

Man besitzt heute gute Massenwerte von etwa 20 Hauptreihen-Sternen, einigen weißen Zwergen und Unterriesen, einem Riesenstern (Capella) aber von keinem Überriesen!



### Sirius-System

Das Sirius-System hat eine Entfernung von 8,8 Lichtjahren = 2,7 pc. Es besteht aus zwei Sternen, die sich einmal in 50 Jahren umkreisen. Die große Halbachse der relativen Bahn beträgt 7,6". Damit erhält man für die Summe der Massen der beiden Komponenten einen Wert von 3,4 Sonnenmassen. Die große Halbachse der absoluten Bahn von Sirius A beträgt  $a_1 = 6,8$  AE und die von Sirius B  $a_2 = 13,7$  AE. Damit ergibt sich das Verhältnis  $a_2/a_1 = 2,01$ . Das Verhältnis der großen Halbachsen ist ebenso gleich dem Verhältnis der Massen, d.h.:  $m_1/m_2 = 2,01$ .

Hieraus können man sehen, dass die Masse von Sirius A etwa doppelt so groß ist wie die Masse von Sirius B:  $m_1 = 2,01 \cdot m_2$  mit  $m_1 =$  Masse von Sirius A

und  $m_2 =$  Masse von Sirius B.

Setzt man in die Massensumme  $m_1+m_2 = 3,4$  die Beziehung  $m_1 = 2,01 \cdot m_2$  ein, wird nach einigen Umformungen  $m_2 = 1,1$ .

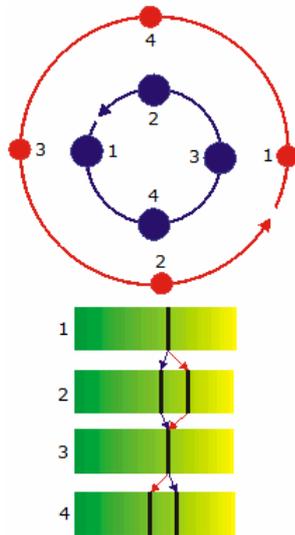
Sirius B hat demnach 1,1 Sonnenmassen. Damit und mit der Massensumme ergibt sich für die Masse von Sirius ein Wert von 2,3 Sonnenmassen.

Berechnung: Eingabe von  $T$  in Jahren und der Entfernungen  $a_1$  und  $a_2$  zum Schwerpunkt in AE. Angabe der Massen in Einheiten der Sonnenmasse.

Massensumme  $m_1+m_2$   $m_1+m_2 = 4\pi^2/G \cdot (a_1+a_2)^3/T^2$

Einzelmasse  $m_1$   $m_1 = 4\pi^2/G \cdot a_2 (a_1+a_2)^2/T^2$

Einzelmasse  $m_2$   $m_2 = 4\pi^2/G \cdot a_1 (a_1+a_2)^2/T^2$



### Spektroskopische Doppelsterne

Beobachtet man einen Doppelstern von einem Punkt der gemeinsamen Bahnebene beider Sterne, so bewegen sich die Sterne wechselweise auf uns zu bzw. von uns weg. Bei dieser Bewegung verschieben sich die charakteristischen Absorptionslinien beider Sterne und die radialen Geschwindigkeitskomponenten beider Sterne sind bestimmbar, selbst wenn man die beiden Sterne nicht getrennt sehen kann.

Die Radialkomponente ergibt sich aus dem Dopplereffekt durch

$$v_R = \Delta\lambda/\lambda \cdot c.$$

Die Umlaufdauer  $T$  bestimmt man aus den Zeitabständen zugehöriger Dopplerverschiebungen, z.B:  $0,5 \cdot T = t_3 - t_1$ .

Für den Fall von Kreisbahnen ergibt sich

$$v_B / v_A = r_B / r_A$$

Nach dem Schwerpunktsatz wird

$$m_A r_A = m_B r_B$$

Aus  $v = 2\pi r/T$  wird aus einem bekannten  $v$  und  $T$  für jede Komponente der Radius:

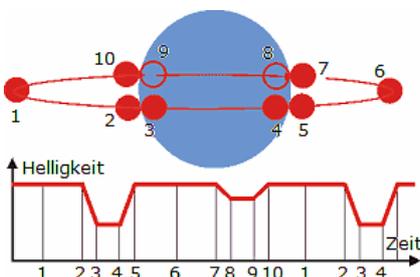
$$r_A = v_A T / (2\pi)$$

$$r_B = v_B T / (2\pi)$$

Ist der Beobachter außerhalb der Bahnebene, so erhält man über die Dopplerverschiebung nur die Projektion der Bahngeschwindigkeit auf die Beobachtungsrichtung.

Über den Winkel  $\phi$  der Bahnebene zur Projektionsrichtung kann die

Geschwindigkeit berechnet werden.



### Bedeckungsveränderliche

Liegt ein Doppelsternsystem mit nahe zusammenliegenden Sternen so, dass der Beobachter (Erde) genau in der Bahnebene liegt, so verdecken sich die Sterne in periodischen Abständen gegenseitig. Einmal ist der hellere Stern; größere Oberflächentemperatur; vor dem dunkleren, dann reduziert sich das Licht etwas, einmal ist der dunklere Stern vor dem helleren, dann reduziert sich das Licht stärker.

Aus diesen periodischen Helligkeitsschwankungen können neben der

Umlaufzeit auch die Sterndurchmesser bestimmt werden.

Die Geschwindigkeiten erhält man aus Dopplerverschiebung mit spektroskopischen Methoden, was hier wegen der genauen Lage des Beobachters in der Bahnebene sehr genau geht.

Für die Durchmesser  $d_A$  und  $d_B$  der beiden Sterne gilt:

$$d_A + d_B = v \cdot (t_5 - t_2) \quad \text{und} \quad d_A - d_B = v \cdot (t_4 - t_3)$$

Dies erfordert allerdings sehr genaue Helligkeitsmessungen.

### Messier-Katalog

Der Messier-Katalog ist eine Auflistung von 100 astronomischen Objekten, hauptsächlich Galaxien, Sternhaufen und Nebel. Die Objekte des Katalogs wurden zwischen 1764 und 1782 von dem französischen Astronomen Charles Messier zusammengestellt. Die meisten der Katalogobjekte waren vorher noch nicht bekannt gewesen.

Der Messier-Katalog war und ist von großer praktischer Bedeutung. Die von Messier vergebenen Nummern sind nach wie vor die übliche Bezeichnung vieler wichtiger Himmelsobjekte.

Die Liste enthält die 100 katalogisierten Objekte, deren Nummer, die Nummer im New General Katalog (NGC), die Äquatorkoordinaten sowie eine kurze Erklärung.

Nr.	NGC-Nr.	Koordinaten	Art, Name
1	1952	5h31', 22°.0	Supernova-Rest, Krebsnebel (Crab-Nebel, Bevis 1731)
2	7089	21h31', -1°.1	Kugelhaufen
3	5272	13h40', 28°.6	Kugelhaufen
4	6121	16h21', 26°.4	Kugelhaufen
5	5904	15h16', 2°.3	Kugelhaufen im Serpens (Kirch 1702)
6	6405	17h37', -32°.2	offener Haufen, Butterfly cluster
7	6475	17h51', -34°.8	offener Haufen im Skorpion
8	6523	18h01', -24°.8	diffuser Nebel, Lagunennebel (Flamsteed 1680)
9	6333	17h16', -18°.5	Kugelhaufen
10	6254	16h55', -4°.0	Kugelhaufen
11	6705	18h48', -6°.3	offener Haufen, Wildentenebel (Kirch 1681)
12	6218	16h45', -1°.8	Kugelhaufen
13	6205	16h40', 36°.6	Kugelhaufen im Herkules (Halley 1714)
14	6402	17h35', -3°.2	Kugelhaufen
15	7078	21h27', 11°.9	Kugelhaufen
16	6611	18h16', -13°.8	offener Haufen, Adlernebel in der Schlange
17	6618	18h18', -16°.2	diffuser Nebel, Omeganebel
18	6613	18h17', -17°.1	offener Haufen
19	6273	17h00', -26°.2	Kugelhaufen
20	6514	17h59', -23°.0	diffuser Nebel, Trifidnebel im Schützen (HII-Region)
21	6531	18h02', -22°.5	offener Haufen
22	6656	18h33', -23°.9	Kugelhaufen im Sagittarius (Ihle 1665)
23	6494	17h54', -19°.0	offener Haufen
24	6603	18h16', -18°.4	offener Haufen
25	IC4725	18h29', -19°.3	offener Haufen
26	6694	18h43', -9°.4	offener Haufen
27	6853	19h58', 22°.6	planetarischer Nebel, Dumbbellebel
28	6626	18h22', -24°.9	Kugelhaufen
29	6913	20h22', 38°.4	offener Haufen
30	7099	21h38', -23°.4	Kugelhaufen
31	224	0h40', 41°.0	Galaxie, Andromedanebel
32	221	0h40', 40°.6	Galaxie, Begleitergalaxie des Andromedanebels
33	598	1h31', 30°.4	Galaxie
34	1039	2h39', 42°.6	offener Haufen
35	2168	6h6', 24°.3	offener Haufen
36	1960	5h33', 34°.1	offener Haufen
37	2099	5h49', 32°.5	offener Haufen
38	1912	5h25', 35°.8	offener Haufen
39	7092	21h30', 48°.2	offener Haufen
40	-	12h22', 58°.5	Doppelstern Winnecke 4
41	2287	6h45', -20°.7	offener Haufen
42	1976	5h33', -5°.4	diffuser Nebel, Orionnebel (Peiresc, 1610)
43	1982	5h33', -5°.3	diffuser Nebel, Teil des Orionnebels
44	2632	8h37', 20°.2	offener Haufen, Praesepe (Ptolemäus)
45	-	3h45', 24°.0	offener Haufen, Plejaden
46	2437	7h40', -14°.7	offener Haufen
47	2422	7h36', -14°.5	offener Haufen
48	2548	8h13', -5°.8	offener Haufen
49	4472	12h28', 8°.3	Galaxie
50	2232	7h1', -8°.3	offener Haufen
51	5194	13h28', 47°.4	Galaxie
52	7654	23h22', 61°.3	Sternhaufen
53	5024	13h11', 18°.4	Kugelhaufen

54	6715	18h52', -30°.6	Kugelhaufen
55	6809	19h37', -31°.1	Kugelhaufen
56	6779	19h15', 30°.1	Kugelhaufen
57	6720	18h52', 32°.9	Planetarischer Nebel, Ringnebel in der Leier
58	4579	12h35', 12°.1	Galaxie
59	4621	12h39', 11°.9	Galaxie
60	4649	12h41', 11°.8	Galaxie
61	4303	12h19', 4°.8	Galaxie
62	6266	16h58', -30°.1	Kugelhaufen
63	5055	13h14', 42°.3	Galaxie
64	4826	12h45', 21°.8	Galaxie
65	3623	11h16', 13°.4	Galaxie
66	3627	11h18', 13°.3	Galaxie
67	2682	8h48', 12°.0	offener Haufen
68	4590	12h37', -26°.5	Kugelhaufen
69	6637	18h28', -32°.4	Kugelhaufen
70	6681	18h40', -32°.3	Kugelhaufen
71	6838	19h52', 18°.6	offener Haufen
72	6981	20h51', -12°.7	Kugelhaufen
73	6994	20h56', -12°.8	offener Haufen
74	628	1h34', 15°.5	Galaxie
75	6864	20h03', -22°.1	Kugelhaufen
76	650	1h39', 51°.3	Planetarischer Nebel
77	1068	2h40', -0°.2	Galaxie
78	2068	5h44', 0°.0	diffuser Nebel
79	1904	5h22', -24°.6	Kugelhaufen
80	6093	16h14', -22°.9	Kugelhaufen
81	3031	9h51', 69°.3	Galaxie
82	3034	19h51', 69°.9	Galaxie
83	5236	13h34', -29°.6	Galaxie
84	4374	12h23', 13°.2	Galaxie
85	4382	12h23', 18°.5	Galaxie
86	4406	12h24', 13°.2	Galaxie
87	4486	12h28', 12°.7	Galaxie
88	4501	12h29', 14°.7	Galaxie
89	4552	12h33', 12°.8	Galaxie
90	4569	12h34', 13°.5	Galaxie
91	4548	12h35', 14°.5	Galaxie
92	6341	17h16', 43°.2	Kugelhaufen
93	2447	7h43', -23°.8	offener Haufen
94	4736	12h49', 41°.4	Galaxie
95	3351	10h41', 12°.0	Galaxie
96	3368	10h44', 12°.1	Galaxie
97	3587	11h12', 55°.3	Planetarischer Nebel, Eulennebel
98	4192	12h11', 15°.2	Galaxie
99	4254	12h16', 14°.7	Galaxie
100	4321	12h20', 16°.2	Galaxie
101	5457	14h01', 54°.6	Galaxie



### M1 ... der Krebsnebel, Crabnebel im Stier (NGC 1952)

Überrest einer Supernova, die im Juli 1054 explodierte, erster entdeckter Pulsar

Entfernung von der Erde ... 6500 ly / 2000 pc

Durchmesser des Nebels ... 7 ly / 2,2 pc

Abbildung: Krebsnebel

Ein Supernova-Überrest ist der Krebsnebel, dessen Reststern ein Neutronenstern ist, der in 33ms um seine Achse rotiert.

Bei diesem Nebel ist die optische Strahlung besonders gut untersucht worden. Das Spektrum besteht aus einem Kontinuum, dem Emissionslinien (besonders der Balmerreihe des Wasserstoffs) überlagert sind.

Die Quelle der Emissionslinien sind Nebelfasern. Die Kontinuumsstrahlung stammt aus dem strukturlosen Zentralgebiet des Nebels; es handelt sich um Synchrotronstrahlung, deren Spektralindex  $\alpha = 1.15$  allerdings weit höher liegt als im Radiobereich. Die Synchrotronstrahlung des Nebels reicht aber von den Radiowellen über den sichtbaren Spektralbereich hinaus noch weit ins Gebiet der Röntgen- und Gammastrahlen.

Die Gasnebel, die als Überreste von Supernova-Explosionen in der Galaxis beobachtet werden, zeigen charakteristische Expansionsbewegungen. Beim Krebsnebel beträgt sie 1460 km/s, bei Cas A 7440 km/s und beim Nebelring (im Sternbild Schwan) 45 km/s.



### M27 der Dumbbell-Nebel im Sternbild der Vulpecula (NGC 6853)

Objekt-Typ: Planetarischer Nebel  
Entfernung von der Erde: 1250-3500 ly

Der Dumbbell-Nebel hat seinen Namen auf Grund der Ähnlichkeit mit einer Hantel. Planetarische Nebel wurden im 18. Jahrhundert von Sir William Herschel benannt, der ihre teleskopische Erscheinung mit der der Planeten Uranus und Neptun verglich.

Der Hantelnebel im Sternbild Füchschen wurde am 12.7.1764 von Charles Messier entdeckt, der ihn noch als ovalen Nebel ohne Sterne beschreibt. Er

wusste damals noch nicht, das er damit den ersten und zugleich einen der leuchtkräftigsten planetaren Nebel gefunden hatte. Dessen Leuchtkraft übersteigt die der Sonne um das hundertfache und nur der Helix-Nebel (NGC 7293) im Wassermann ist absolut gesehen noch heller.

Huygens wies als erster spektroskopisch nach, das es sich hier um die expandierende Gashülle eines sterbenden Riesensterns handelt. Diese Hülle leuchtet in einem Umkreis von 6 Bogenminuten.

Der Hantelnebel dehnt sich mit einer Geschwindigkeit von 6,8 Bogensekunden pro Jahrhundert aus und besitzt ein Alter von 3000 bis 4000 Jahren. Entfernungen zu planetaren Nebeln sind schwierig zu bestimmen, aber nimmt man den derzeitigen Wert von 1250 Lichtjahren an, so bedeutet dies, das der Nebel einen Durchmesser von etwa 2 Lichtjahren besitzt. In seinem Zentrum befindet sich ein heißer Zentralstern mit einer Oberflächentemperatur von 85000 K.



### M31...die Andromeda-Galaxie (NGC 224)

Objekttyp       Spiralgalaxie  
Entfernung von der Erde       2500000 Lichtjahre  
Durchmesser der Galaxie       160000 Lichtjahre

... größte Galaxie in dem Galaxienhaufen, der Lokalen Gruppe, der auch unsere Milchstraße enthält.

... enthält mehr als 300 Milliarden Sonnen

... ist aus unserer Perspektive um 13° geneigt

... zwei Satelliten-Galaxien NGC205 und M32 können im selben Bereich gesehen werden.

### M42...der Große Nebel im Orion (NGC 1976)

Objekttyp       Emissionsnebel (H II)  
Entfernung von der Erde       1600 ly / 490 pc  
Ausdehnung des Nebels       16 ly / 4,9 pc

... ist der mittlere "Stern" im Schwert des Jägers Orion

... ist der hellste von der Erde aus sichtbare Nebel

... viele neue Sterne bilden sich im Inneren der Wolke und mehrere Proto-Sonnensysteme wurden mit Infrarot-Astrofotografie entdeckt.

... Teleskope ab 15 cm zeigen im Herzen des Nebels einen Haufen von 4 Sternen, das Trapezoid

... diese Sterne gehören zu den jüngsten, die bis jetzt entdeckt worden sind.

M42 ist der große, in etwa kreisförmige Nebel, der den größten Teil



des Bildes ausmacht. M43 ist der kleine Bereich darüber, der zum Gesamtnebel gehört und nur scheinbar durch eine dunkle Staubwolke von M42 abgetrennt ist.

### Astronomy Picture of the Day

Astronomy Picture of the Day ist eine Website, die jeden Tag eine andere Fotografie des Universums vorstellt. Das Bild wird durch Astronomen erklärt. Die Seite wird gemeinsam von der NASA und der Michigan Technological University (MTU) betrieben.

Astronomy Picture of the Day wird von zahlreichen anderen Webseiten gespiegelt. Eine deutsche Übersetzung wird von den Betreibern des Astronomienachrichtenportals "Der Orion" Eugen Reichl und Maria Pflug-Hofmayr gepflegt.

Die gezeigten Bilder sind faszinierend.

### Objekt Internet-Adresse

Carina-Nebel   <http://www.starobserver.org/ap131015.html>  
Adler-Nebel   <http://www.starobserver.org/ap130929.html>  
Plejaden       <http://www.starobserver.org/ap130918.html>

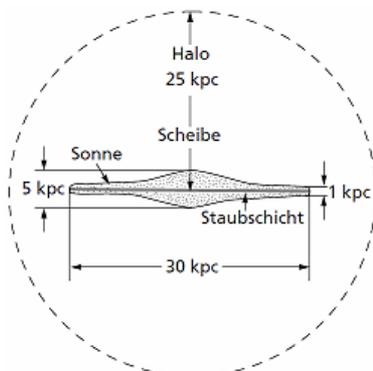


Krebsnebel <http://www.starobserver.org/ap130905.html>  
<http://apod.nasa.gov/apod/ap111225.html>  
 Lagunen-Nebel <http://www.starobserver.org/ap130817.html>  
 Andromeda-Nebel <http://www.starobserver.org/ap130626.html>  
 Schmetterlings-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap130607.html>  
 Orion-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap130604.html>  
 Große Magellansche Wolke <http://apod.nasa.gov/apod/ap130528.html>  
 Pferdekopf-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap130503.html>  
<http://apod.nasa.gov/apod/ap130422.html>  
 Whirlpool-Galaxis <http://apod.nasa.gov/apod/ap130224.html>  
 Trifid-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap130128.html>  
 Helix-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap121004.html>  
 Ring-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap120420.html>  
 Centaurus-A <http://apod.nasa.gov/apod/ap120404.html>  
 Rosetten-Nebel <http://apod.nasa.gov/apod/ap120214.html>

### Spektrallinien in Emissionsnebeln

Die stärksten Emissionslinien in HII-Regionen mit dem im Orion-Nebel beobachteten Intensitäten, normieren auf die Intensität von  $H\beta = 100$ . Die römischen Ziffern geben den um 1 erhöhten Ionisationsgrad des betreffenden Elements an. I = neutral, II = einfach ionisiert, III = zweifach ionisiert usw. Linien von Elementen in Klammern weisen auf „verbotene“ Linien hin.

Wellenlänge (Å)	Element	relative Intensität	Wellenlänge (Å)	Element	relative Intensität
3187,74	He I	6,3	3726,05	(O II)	127
3828,80	(O II)	127	3770,63	H	5,4
3797,90	H	7,8	3835,39	H	10,9
3868,76	(Ne III)	19,7	3889,05	H	18,1
3888,65	He I	18,1	3967,47	(Ne III)	34,4
3967,4	OII	24,4	3970,07	He	24,4
4101,74	H $\delta$	25	4340,47	H $\gamma$	41
4861,33	H $\beta$	100	4958,92	(O III)	113
5006,85	(O III)	342	5517,7	(Cl III)	10
5537,6	(Cl III)	10	5577,3	O I	15
5754,6	(N II)	15	6300,3	(O I)	10
6312,1	(S III)	15	6562,8	H $\alpha$	350
6583,4	(N II)	55	6678,2	He I	15
6716,4	(S II)	10	6730,8	(S II)	10
7065,3	He I	10	7281,3	He I	10
9069,0	(S III)	72	9229,0	H	5,8
9531,8	(S III)	181	9546,0	H	8
10049,4	H	10	10830,3	He I	70
10938,1	H	20			



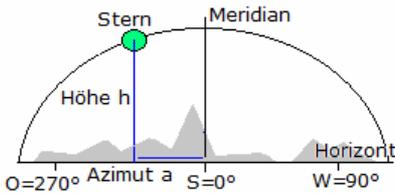
### Milchstraße

Die Milchstraße ist die Galaxis, in der sich die Sonne befindet. Betrachtet man die Milchstraße von außen, erschiene unsere Sonne nur als durchschnittlicher Stern in einem der Spiralarme. Mit einer Geschwindigkeit von 250 km/s benötigt unsere Sonne etwa 250 Millionen Jahre für einen Umlauf um das galaktische Zentrum. Obgleich die Masse der Galaxis auf 200 Milliarden Sonnenmassen geschätzt wird, ist der mittlere Abstand zweier Sonnen so groß, als befänden sich kirschgroße Sterne in den Hauptstädten Europas!

Nahezu alle der etwa 5000 mit bloßem Auge sichtbaren Objekte am Nachthimmel, ob einzelne Sterne, Sternhaufen oder Gasnebel befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft, in einem der Spiralarme.

Interstellare Gas- und Staubwolken, das Rohmaterial für neuentstehende Sterne, konzentrieren sich stark in der galaktischen Ebene und behindern durch Absorption Beobachtungen des Kerns der Milchstraße. Dieses in Richtung des Sternbilds Schütze liegende Zentralgebiet leuchtete ohne interstellare Materie mondhell. Die moderne Radio- und Infrarotastronomie ermöglicht weitergehende Untersuchungen ihrer Struktur.

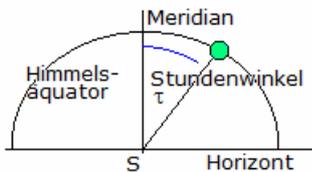
## Astronomische Koordinatensysteme



### Horizontsystem

In diesem System wird die Lage eines astronomischen Objektes durch zwei orts- und zeitabhängige Koordinaten beschrieben. Das Azimut  $a$  (Maßeinheit  $^\circ$ ) gibt die Himmelsrichtung an, mit dem Fixpunkt Süd =  $0^\circ$  und einer Zählung Richtung Westen. Die Höhe  $h$  (Maßeinheit  $^\circ$ ) beschreibt den Höhenwinkel des Sterns über dem Horizont.

Achtung: In einigen astronomischen Büchern wird das Azimut des Horizontsystems nicht mehr über Westen sondern; in Analogie zum geografischen Horizontsystem; über Osten gezählt wird.



### Ruhendes Äquatorsystem

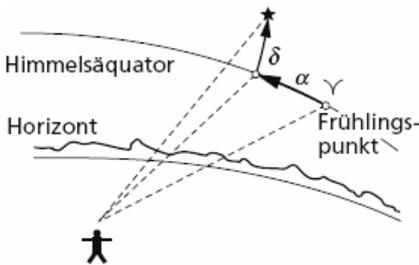
Dieses Koordinatensystem beinhaltet die Vorteile des rotierenden Systems trägt aber auch den Möglichkeiten astronomischer Beobachtungen Rechnung. Ist ein Fernrohr parallaktisch montiert, empfiehlt sich zur Suche eines Objektes dessen Stundenwinkel einzustellen. Diese Koordinate  $\tau$ ; Maßeinheit  $h$  min; berechnet sich zu

$$\text{Stundenwinkel } \tau = \text{Sternzeit } \Theta - \text{Rektaszension } \alpha$$

so dass die Kenntnis des Stundenwinkels und der Deklination eines Objektes zu dessen eindeutigen Beschreibung genügt.

Der Stundenwinkel wird ausgehend vom Kulminationszeitpunkt Richtung Westen gezählt. Es ist zu bemerken, dass der Stundenwinkel des Frühlingspunktes gleich der Sternzeit ist.

Der Nachteil dieses Systems besteht in der Tatsache, dass der Stundenwinkel orts- und zeitabhängig ist.

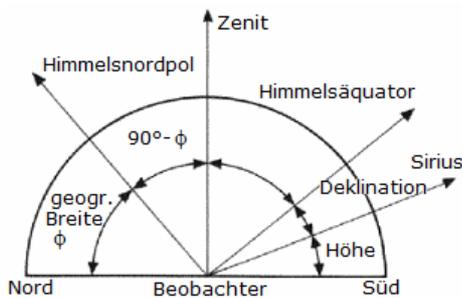


### Rotierendes Äquatorsystem

Im rotierenden Äquatorsystem beziehen sich die Koordinaten auf den Himmelsäquator (Projektion des Erdäquators auf die scheinbare Himmelskugel) und den Frühlingspunkt (Schnittpunkt der Ekliptik mit dem Himmelsäquator, im Sternbild Fische).

Die Rektaszension  $\alpha$  (Maßeinheit  $h$  min) ist der Richtungswinkel der Projektion des Sterns auf den Himmelsäquator ausgehend vom Frühlingspunkt. Die Deklination  $\delta$  (Maßeinheit  $^\circ$ ) bildet den Höhenwinkel zum Äquator.

Da diese Koordinaten an die Erdrotation gebunden sind, sind sie weitgehend; ohne Beachtung der Eigenbewegung der Sterne und der Präzession; zeit- und ortsunabhängig. In Sterntafeln finden Sie daher diese Koordinaten.



### Meridianschnitt

Eine Reihe von Beziehungen zwischen dem Horizontalsystem und dem Äquatorialsystem können mit Hilfe des Meridianschnitts dargestellt werden.

Die Polhöhe entspricht der geografischen Breite  $\phi$ , der Äquatorikulm, also die Höhe des Äquators über dem Südhorizont beträgt  $90^\circ - \phi$ .

Ein Gestirn geht durch den Zenit, wenn seine Deklination  $\delta$  der geografischen Breite  $\phi$  entspricht. Alle Gestirne die sich nicht weiter als die geografische Breite vom Himmelsnordpol entfernen, das heißt  $\delta \geq 90^\circ - \phi$ , sind zirkumpolar.

Ein Gestirn erreicht bei seiner oberen Kulmination eine Höhe von  $h = 90^\circ - \phi + \delta$ .

Ein Gestirn mit einer Deklination von  $-\delta < 90^\circ - \phi$  steigt am Beobachtungsort mit der Breite  $\phi$  nicht über den Horizont.

### Ekliptikales System, Heliozentrisches System

Im ekliptikalen oder ekliptischen System wird die Ekliptik (scheinbare Sonnenbahn) als Bezugslinie, der Frühlingspunkt als Bezugspunkt genutzt. Längs der Ekliptik wird die ekliptikale Länge, senkrecht dazu die ekliptikale Breite gemessen.

Es ist üblich die Länge in  $^\circ$  von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  und die Breite im Bereich von  $-90^\circ$  bis  $90^\circ$  anzugeben. Das ekliptikale Nordpol befindet sich im Sternbild Drache.

Die ekliptikale Länge und Breite werden auch heliozentrische Länge und Breite genannt.

### Galaktisches System

Das heute gültige galaktische System wurde 1959 durch die Internationale Astronomische Union festgelegt. Bezogen auf das äquatoriale System B1950.0 hat damit der galaktische Nordpol die Koordinaten

$$\text{Rektaszension } \alpha = 12^h 49^m = 192,25^\circ$$

$$\text{Deklination } \delta = +27,4^\circ$$

Der Ursprung der galaktischen Länge wurde auf den Punkt des galaktischen Äquators gelegt, welcher 33° von aufsteigenden Knoten des galaktischen Äquators mit dem Äquator von 1950 entfernt ist. Dieser Nullpunkt befindet sich im Sternbild Sagittarius. Gezählt werden die Koordinaten galaktische Länge und Breite in Analogie zum ekliptikalen System.

### Astronomische Koordinaten

#### Transformationsgleichungen

$\phi$  = geografische Breite des Beobachtungsortes,  $t$  = Stundenwinkel des Gestirns,  $a$  = Azimut,  $h$  = Höhe,  $\delta$  = Deklination

#### Umwandlung von Horizontkoordinaten in rotierende Äquatorkoordinaten

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin \phi \sin h - \cos \phi \cos h \cos a \\ \cos \delta \sin t &= \cos h \sin a \\ \cos \delta \cos t &= \cos \phi \sin h + \sin \phi \cos h \cos a,\end{aligned}$$

und umgekehrt

$$\begin{aligned}\sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \\ \cos h \sin a &= \cos \delta \sin t \\ \cos h \cos a &= -\cos \phi \sin \delta + \sin \phi \cos \delta \cos t\end{aligned}$$

bei Verwendung der Zenitdistanz  $z$  sind  $\sin h$  durch  $\cos z$  und  $\cos h$  durch  $\sin z$  zu ersetzen

$$\begin{aligned}h &= \arcsin(\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t) \\ a &= 2 \arctan [(\cos h + \cos \phi \sin \delta - \sin \phi \cos \delta \cos t) / (\cos \delta \sin t)]\end{aligned}$$

falls  $a < 0$  ist 360° zu addieren

### Äquatorkoordinaten

#### Umwandlung von Äquator- in ekliptische Koordinaten

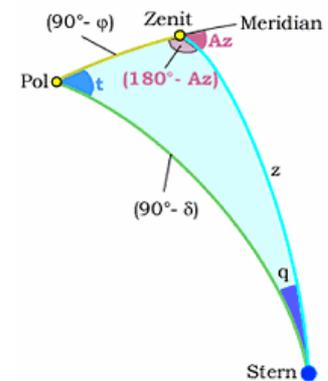
$\alpha$  = Rektaszension,  $\delta$  = Deklination,  $\lambda$  = ekliptikale Länge,  $\beta$  = ekliptikale Breite,  $\varepsilon$  = Schiefe der Ekliptik

$$\begin{aligned}\sin \beta &= \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha \\ \cos \beta \sin \lambda &= \sin \delta \sin \varepsilon + \cos \delta \cos \varepsilon \sin \alpha \\ \cos \beta \cos \lambda &= \cos \delta \cos \alpha\end{aligned}$$

und umgekehrt

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \lambda \\ \cos \delta \sin \alpha &= -\sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \cos \varepsilon \sin \lambda \\ \cos \delta \cos \alpha &= \cos \beta \cos \lambda \\ \tan \alpha/2 &= (-\sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \cos \varepsilon \sin \lambda) / (\cos \delta + \cos \beta \cos \lambda) \\ \beta &= \arcsin(\sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha) \\ \lambda &= 2 \arctan [(\sin \delta \sin \varepsilon + \cos \delta \cos \varepsilon \sin \alpha) / (\cos \beta + \cos \delta \cos \alpha)]\end{aligned}$$

falls  $\lambda < 0$  ist 360° zu addieren



### Parallaktischer Winkel

Beobachtet man den Mond zum Aufgang, Kulmination und Untergang, so stellt man fest, dass sich das Bild des Mondes auch im Uhrzeigersinn etwas dreht. Gleiches sieht man bei Sternbildern oder der Sonne.

Diese scheinbare Drehung ergibt sich aus der täglichen Bewegung der Himmelskugel. Nur wenn der Mond im Meridian steht, wird der Himmelsnordpol in Richtung Zenit zeigen.

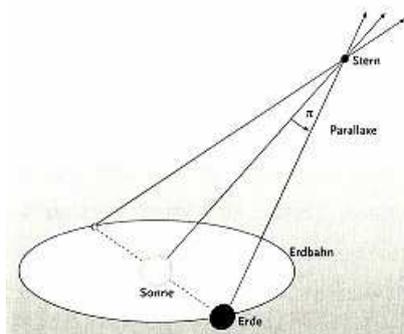
Den Winkel ZSN (Zenit-Stern-Pol) nennt man den parallaktischen Winkel  $q$ . Zu beachten ist, dass dieser Winkel nichts(!) mit dem Begriff Parallaxe zu tun hat.

Sind  $\phi$  die geografische Breite des Beobachters,  $\delta$  die Deklination des Himmelskörpers und  $H$  der Stundenwinkel zum gegebenen Zeitpunkt, so wird für den parallaktischen Winkel  $q$

$$\tan q = \sin H / (\tan \phi \cos \delta - \sin \delta \cos H)$$

Für den Zenit ist  $q$  nicht definiert. Vor dem südlichen Meridiandurchgang ist  $q$  negativ, danach positiv. Steht der Himmelskörper am Horizont, so vereinfacht sich die Gleichung zu

$$\cos q = \sin \phi / \cos \delta$$



### Trigonometrische Entfernungsbestimmung, Parallaxe

Während der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne verändert sich die scheinbare Lage der Sterne periodisch, da die Sehstrahlen ihre Richtung verändern.

Je näher ein Stern ist, um so stärker ist diese Verschiebung gegenüber weiter entfernten Sternen. Diese scheinbare Verschiebung der Sternpositionen durch die Drehung der Erde um die Sonne wird Parallaxe genannt.

Die jährliche parallaktische Bewegung der Fixsterne galt schon in der Antike als Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne.

Dass diese Verschiebung der Sterne am Himmel zu Zeiten Kopernikus

nicht messbar war, wurde von den Kritikern des heliozentrischen Weltbildes als Hauptargument angeführt. Erst 1838 gelang es Bessel und Struve fast gleichzeitig, die Parallaxe zum einen am Stern 61 Cygni und zum anderen an der Wega zu messen.

Der Winkel, unter dem der Bahnradius der Erde um die Sonne vom Stern aus erscheint, wird Parallaxenwinkel oder kurz Parallaxe  $\pi$  genannt.

Für den Stern 61 Cygni ermittelte Bessel  $\pi = 0,3''$ .

Über die Beziehung der trigonometrischen Entfernungsbestimmung, ergibt sich dann für die Entfernung  $r$  des Sterns zur Sonne bzw. Erde

$$r = 1 \text{ AE} / \sin \pi$$

Für sehr kleine Winkel gilt  $\sin \alpha \approx \alpha$ , wobei  $\alpha$  im Bogenmaß zu nutzen ist.

Durch die Festlegung, dass die Entfernung, bei der der Bahnradius der Erde unter einem Winkel von  $1''$  erscheint, gleich 1 Parsek (1 pc) ist, wird

$$r = 1'' / \pi \qquad \pi = 1'' / r$$

Für den Stern 61 Cygni erhielt Bessel eine Entfernung von 3,3 pc. Nach heutigen Messungen beträgt die Parallaxe des Sterns  $0,287''$ .

### Sternstromparallaxe

Für den Sternhaufen der Hyaden mit dem mittleren Abstand 46 pc können keine zuverlässigen trigonometrischen Parallaxen mehr gewonnen werden. Die Hyaden bilden eine Gruppe von Sternen, die sich mit der gleichen Geschwindigkeit auf parallelen Bahnen durch den Raum bewegen. Für solche Sterngruppen kann durch Kombination der Eigenbewegungen und der Radialgeschwindigkeiten die Entfernung ermittelt werden. Dieses Verfahren wird als Sternstromparallaxe bezeichnet.

Die Tangentialgeschwindigkeiten dieser Sterne sind alle auf diesen Konvergenzpunkt gerichtet, der etwa  $26^\circ$  östlich vom Zentrum der Hyaden beim Stern Beteigeuze liegt.

Die Eigenbewegungen aller Hyadensterne sind bekannt sowie die Radialgeschwindigkeiten von etwa 150 Sternen des Haufens.

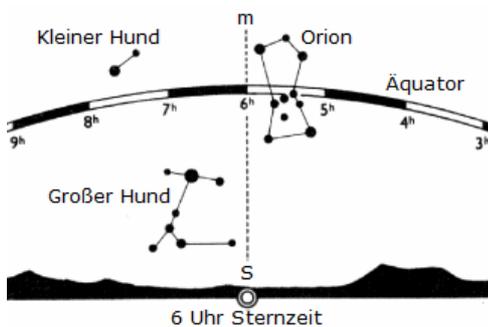
### Berechnung

Eigenbewegung  $\mu$  in  $''$  je Jahr, Radialgeschwindigkeit  $v_R$  in km/s, Tangentialgeschwindigkeit  $v_T$  in km/s, Entfernungswinkel  $\gamma$  zwischen dem Ort des Sterns und dem Konvergenzpunkt, Gesamtgeschwindigkeit  $v$  des Sterns in km/s, Entfernung  $r$  in Parsec

$$v_T = v \cdot \sin \gamma = r \cdot \mu \qquad v_R = v \cdot \cos \gamma$$

$$1/r = 4,74 \cdot \mu / (v_R \cdot \tan \gamma)$$

alle Größen sind dimensionslos einzusetzen. Die Entfernung ergibt sich dann in Parsec.



### Sternzeit

Sterntag ... Zeit zwischen zwei Kulminationen des Frühlingspunktes

$0^h$  Sternzeit ... Kulminationszeitpunkt

mittlere Sternzeit ... gleichförmige Näherung der scheinbaren Sternzeit, welche mit einer Amplitude von  $1,05$  s in einer Periode von 18,7 Jahren (Mondknotenumlauf) schwankt

### Mittlere Sternzeit

Sternzeit  $\Theta_0$  für  $0h0min$  Weltzeit (UT, Universal time) und  $0^\circ$  geografischer Länge

$$T = (\text{JD} - 2451545,0) / 36525$$

$$\Theta_0 = 6^h,697374558 + 2400^h,051337 T$$

$$\Theta_0 = 6^h,697374558 + 0^h,06570982442 (\text{JD} - 2451545,0)$$

aktuelle Sternzeit  $\Theta$  (in Stunden)

$$\Theta = \Theta_0 + 1,002737909 \cdot t + \lambda / 15$$

JD ... Julianisches Datum,  $t$  ... Weltzeit (Greenwicher Zeit),  $\lambda$  ... geografische Länge des Beobachtungsortes  
Sternzeitberechnung siehe

### Stundenwinkel

Stundenwinkel  $\tau = \text{Sternzeit } \Theta - \text{Rektaszension } \alpha$

### Greenwicher Zeit

Die mittlere Ortszeit des Meridians von Greenwich wird als Weltzeit (Universal Time UT) oder mittlere Greenwicher Zeit bezeichnet.

### Zeitgleichung

Zeitgleichung = wahre Zeit - mittlere Zeit

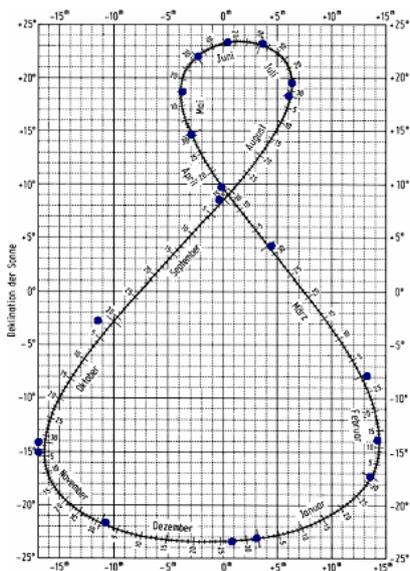
TAI (temps atomique international) ... die auf der Basis der Sekundendefinition (Cäsium-Isotop)

gemessene Zeit

TDT (terrestrische dynamische Zeit) ... Grundlage der Ephemeridenberechnung

$$\text{TDT} = \text{TAI} + 32^s,184$$

TDB (baryzentrische dynamische Zeit)  
 Unterschied TDB-TDT ... periodisch  $< 0^s.002$



Unter der Zeitgleichung versteht man den Effekt, dass der wahre Ort der Sonne von dem einer gedachten, sich gleichmäßig "bewegenden" Sonne abweicht.

Dieser Effekt entsteht durch

1. die elliptische Bahn der Erde um die Sonne
2. die Neigung des Erdäquators zur Ekliptikebene

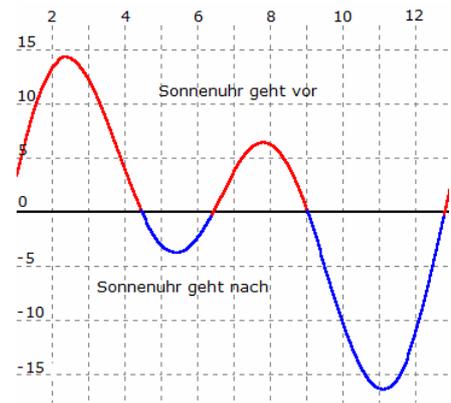
Im Diagramm sind die Abweichung der Sonnenzeit und die Deklination  $\delta$  der Sonne angetragen.

In der Nähe der Solstizien (Sommer- und Wintersonnenwende) bewegt sich die Sonne im Vergleich zum Frühlings- bzw. Herbstanfang scheinbar schneller bezüglich der Rektaszension und ändert nur wenig ihre Deklination. Da sich die Erde zum Zeitpunkt der

Wintersonnenwende im Perihel befindet, ist auf Grund der höheren Bahngeschwindigkeit der Unterschied zwischen mittlerer und wahrer Sonnenzeit stärker ausgeprägt.

Viermal im Jahr sind wahre und mittlere Sonnenzeit etwa gleich. Bezogen auf das Jahr 2004 ist dies am 16. April, 14. Juni, 2. September und 25. Dezember.

Genauere Sonnenuhren berücksichtigen die Zeitgleichung, wie zum Beispiel die Sonnenuhr am Rathaus von Parma.



### Sterntag, siderischer Tag

Der Sterntag ist die Zeit zwischen zwei Kulminationen des Frühlingspunktes bzw. eines beliebigen Sterns (außer der Sonne!).

Der Sterntag ist kürzer als der bürgerliche Tag von 24 Stunden, da die Erde auf Grund ihrer Bewegung um die Sonne mehr als  $360^\circ$  Rotation zwischen zwei Kulminationen der Sonne zurücklegen muss.

### Länge des siderischen Tages

$$\frac{1}{T_{360^\circ \text{Rotation}}} = \frac{1}{T_{\text{Bewegung um Sonne}}} + \frac{1}{T_{\text{Sonnentag}}}$$

$$\frac{1}{T_{360^\circ \text{Rotation}}} = \frac{1}{365,2425} + \frac{1}{1}$$

Daraus ergibt sich

$$T_{360^\circ \text{Rotation}} = 0,9972695688 \text{ Tage} = 23,93446965 \text{ Stunden} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4,09074 \text{ s}$$

### Ephemeridenzeit

Der Zeitrechnung ist durch internationale Vereinbarung die Dauer des tropischen Umlaufs der Erde um die Sonne zugrunde gelegt worden. Als tropisches Jahr bezeichnet man die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Diese Periode ist zwar auch veränderlich, die Veränderung ist über gering und der Größe nach bekannt; durch Wahl einer bestimmten Periode, die für einen angegebenen Zeitpunkt gilt, wird ein bestimmtes tropisches Jahr als Normal ausgewählt.

Die hiernach gezählte Zeit ist als Rechengröße absolut gleichförmig und wird Ephemeridenzeit bzw. Newtonsche Zeit genannt, weil sie in der Astronomie zur Berechnung der Koordinaten der Himmelskörper, der Ephemeriden, verwendet wird.

### Delta T, die Differenz zwischen Ephemeridenzeit und Mittlerer Zeit

Nimmt man als Zeitmaßstab die Erdrotation, so ist diese keineswegs gleichmäßig. Die von Sonne und Mond ausgehenden Anziehungskräfte sind es, die zu Unregelmäßigkeiten der Erdrotation führen:

#### Fluktuationen:

Vermutlich infolge von Massenverlagerungen im Erdinneren rotiert die Erde über Jahrzehnte hinweg einmal etwas schneller, dann wieder etwas langsamer.

#### Jahreszeitliche Schwankungen:

Sie werden durch jahreszeitliche Luftmassenverlagerungen, Abschmelzvorgängen an den Polen usw. verursacht. Die Abweichungen erreichen im März mit  $+0,0010 \text{ s}$  und im August mit  $-0,0011 \text{ s}$  ihr Maximum bzw. Minimum.

#### Säkulare Schwankungen:

Für die rechnende Astronomie sind jedoch ausschließlich die säkularen Änderungen der Erdrotation von Bedeutung. Durch die Gezeitenreibung an den flachen Randmeeren verlangsamt sich die Rotationsgeschwindigkeit der Erde stetig mit einer Abnahme der Tageslänge von ca.  $0,0016 \text{ s}$  pro Jahrhundert.

Der genaue Wert der Akzeleration lässt sich nicht genau berechnen, und somit auch nicht die (für die Astronomie besonders wichtige) Differenz Delta T zwischen Ephemeridenzeit und Weltzeit. Für die Jahre von 1900 bis 1985 gibt O.Montenbruck eine Näherungsformel an:

$$\Delta T = ET - UT$$

$$\Delta T = (((-339,84 \text{ s} \cdot T - 516,52 \text{ s}) \cdot T - 160,22 \text{ s}) \cdot T + 92,23 \text{ s}) \cdot T + 71,28 \text{ s}$$

T: julianische Jahrhunderte, bezogen auf den 1.1.2000 (!), 12.00 Uhr  
 $T = (JD - 2451545,0) / 36525$  (-1,0 = T = -0,15)

Außerhalb dieses Zeitraums erhält man für die Vergangenheit befriedigende Ergebnisse mit:

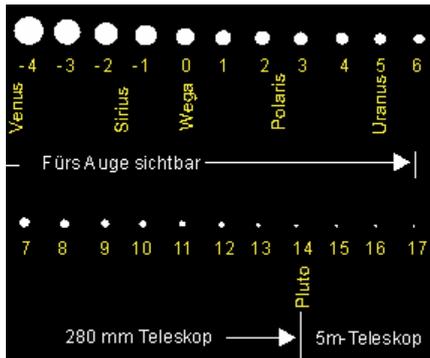
$$\Delta T = 2,818 \cdot 10^{-4} + 8,37 \cdot 10^{-4} \cdot T + 3,466 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + \text{const.}$$

$$ET = UT + \Delta T$$

T: julianische Jahrhunderte, bezogen auf den 1. 1. 1900 (!), 12.00 Uhr

$$T = (JD - 2415020,0) / 36525$$

Delta T in Tagesbruchteilen ; Werte von Delta T für die Zukunft können nur geschätzt werden!!!



### Sterneinteilung nach Größenklassen

Die Helligkeit ist von der Leuchtkraft L eines Sternes und von seiner Entfernung vom Beobachter auf der Erde abhängig. Dabei bezeichnet man die Helligkeit, die man auf der Erde empfindet als scheinbare Helligkeit, Sterngröße oder Magnitudo.

historisch ... Hipparch (6 Klassen); 1922 ... Polarstern auf 2<sup>m</sup>,02 geeicht

Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Größenklassen = 10<sup>0,4</sup> = 2,512

### Ausgangspunkt psycho-phisches Grundgesetz

$$S_1 - S_2 = -C \cdot \lg (R_1 / R_2) ; S \text{ Sinnempfindung, } R \text{ Reiz}$$

### Intensitätsverhältnis

$$\log (I_1 / I_2) = -0,4 \cdot (m_1 - m_2) \quad 1 \text{ cd aus 1m Abstand} = -13^m,94$$

### Scheinbare Helligkeiten

$m_{pg}$  ... photographische Helligkeit       $m_{vis}$  ... visuelle Helligkeit

$m_{pg} - m_{vis}$  ... Farbenindex

$m_{bol}$  ... bolometrische Helligkeit (alle Wellenlängenbereiche)

U,B,V - Mehrfarbenphotometrie (U ... ultravioletter Spektralbereich, B ... blauer Spektralbereich, V ... visueller, d.h. gelber Bereich)       $m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \lg \Phi_{v,1} / \Phi_{v,2} ; \Phi$  Lichtstrom

### Scheinbare Helligkeit

Zusammenhang zwischen Größenklassenunterschied und Strahlungsleistungsverhältnis:

Aufgrund des logarithmischen Maßstabs entspricht eine gleiche Differenz bei den Helligkeiten, Größenklassen, dem gleichen Verhältnis bei den Strahlungsleistungen:

Größenklassenunterschied $m_2 - m_1$	1	2,5	5	7,5	10	12,5
Energieverhältnis $E_1 : E_2$	2,5	10	100	1000	10000	100000

Aufgabe 1: Zwei Sterne haben die scheinbaren Helligkeiten 6 mag und 1 mag. Wie groß ist das Verhältnis ihrer ankommenden Strahlungsleistung pro m<sup>2</sup> auf der Erde?

Lösung:

Die Differenz der relativen Helligkeiten ist 5. Mit  $E_1 : E_2 = 10^{(m_2 - m_1) / 2,5} = 10^2$

Die ankommende Strahlungsleistung pro m<sup>2</sup> des um 5 Größen helleren Sterns ist 100 mal so groß.

Aufgabe 2: Um welchen Faktor unterscheiden sich die Strahlungsleistung pro m<sup>2</sup> von Sonne -26,7 mag und Vollmond -12,5 mag?

Lösung:

Die Differenz der relativen Helligkeiten von Sonne und Vollmond ist 14,2.

Mit  $E_1 : E_2 = 10^{(m_2 - m_1) / 2,5} = 10^{5,68} = 4,8 \cdot 10^5$

Die ankommende Strahlungsleistung pro m<sup>2</sup> der Sonne ist 480000 mal größer als die des Vollmondes.

### Photometrische Entfernungsbestimmung

Die Helligkeit ist von der Leuchtkraft L eines Sternes und von seiner Entfernung r vom Beobachter auf der Erde abhängig. Dabei bezeichnet man die Helligkeit, die man auf der Erde empfindet als scheinbare Helligkeit m, Sterngröße oder Magnitudo.

Die absolute Helligkeit M ist die scheinbare Helligkeit, die ein Himmelskörper bei einem Abstand von 10 pc von der Sonne und 10 pc von der Erde hätte. Sie wird ebenfalls in Größenklassen angegeben. Dann gilt

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

$$r = 10^{(M - m) / 5 + 1} \quad m = M - 5 + 5 \lg r$$

$$M = m + 5 - 5 \lg r$$

Dabei sind M und m in Magnituden und r in Parsek einzugeben.

Beispiel: Für  $\alpha$  Cma = Sirius bestimmt man als scheinbare Helligkeit  $m = -1,46$  und als absolute Helligkeit  $M = 1,4$ . Für die Entfernung wird  $-1,46 - 1,4 = -5 + 5 \lg r$   $\lg r = 0,428$   $r = 2,68 \text{ pc} = 8,9 \text{ ly}$   
 Sirius ist 2,68 Parsek oder 8,9 Lichtjahre von der Erde entfernt.

**Strahlungsgesetze**

$\lambda = c / \nu$  ;  $\lambda$  ... Wellenlänge,  $\nu$  ... Frequenz

**Energie eines Lichtquants**

$E = h \cdot \nu$   $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  Plancksches Quantum

Licht besteht aus einzelnen Energieportionen, die man als Lichtquanten oder Photonen bezeichnet

**Wiensches Verschiebungsgesetz**

$T = 2897768,5 / \lambda_{\text{max}}$  ;  $T$  ... Temperatur,  $\lambda_{\text{max}}$  ... Wellenlänge des Strahlungsmaximums in nm  
 $\lambda_{\text{max}} = 2897768,5 / T$

**Stefan-Boltzmann Strahlungsgesetz**

$T_e^4 = L / (\sigma \pi D^2)$   
 $T_e$  ... effektive Temperatur,  $L$  ... Leuchtkraft des Sterns,  $D$  ... Durchmesser des Sterns  
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-14} \text{ W / (cm}^2 \text{ K}^4)$  Stefan-Boltzmann-Konstante

**Leuchtkraft eines Sterns**

Die Leuchtkraft eines Sterns entspricht seiner Gesamtstrahlungsleistung. Ein Maß für die Leuchtkraft ist die absolute Helligkeit. Die Leuchtkraft kann z.B. aus der scheinbaren Helligkeit und der Entfernung eines Sterns bestimmt werden.  $L = E/t$  ; ausgestrahlte Energie  $E$ , Zeit  $t$

**Hubble-Gesetz**

$v = H \cdot r$   $r = v / H$

Fluchtgeschwindigkeit  $v$ , Entfernung  $r$ , Hubble-Konstante  $H = (74,3 \pm 2,1) \text{ km/s /Mpc}$  (2012)

**Hubble-Rotverschiebung**

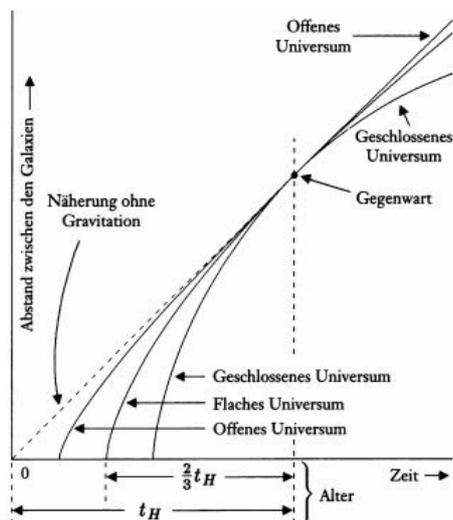
$\lambda_E = \lambda \cdot \sqrt{[(1+v/c)/(1-v/c)]}$   $\lambda + \Delta\lambda = \lambda \cdot \sqrt{[(1+v/c)/(1-v/c)]}$   
 Rotverschiebung  $z = \Delta\lambda / \lambda = \sqrt{[(1+v/c)/(1-v/c)]} - 1$   
 Fluchtgeschwindigkeit  $v/c = z(z+2) / (z^2 + 2z + 2)$   
 Entfernung in MPC  $r = cz(z+2) / (z^2 + 2z + 2) / H$

**Weltalter, Hubble-Zeit**

Unter der Annahme einer gleichmäßigen Expansion des Weltalls wird für das Alter des Weltalls  $T_0$  (Hubble-Zeit)  $T_0 = 1/H_0$   
 und mit der gegenwärtig bestimmten Hubble-Konstante  $T_0 = 13,17$  Milliarden Jahre

**Ausgewählte Objekte (Objekt und Rotverschiebung z)**

NGC 4649 = M 60	0,004	Leo Haufen	0,06
Ursa maior II Haufen	0,13	Hydra-Haufen	0,20
Radiogalaxie 3C 295	0,46	3C 343.1	0,75
Quasar 3C 273	0,16	3C 48	0,37
3C 147	0,54	3C 245	1,03
3C 9	2,01	4C 05.34	2,88
OH 471	3,39	Sculptor	4,43



**Weltmodelle**

Ausgehend von der allgemeinen Relativitätstheorie entwickelte der sowjetische Mathematiker Alexander Friedmann Lösungen der Feldgleichungen, die drei mögliche Weltmodelle vorsehen. Ja nach Modell variiert das Gesamtalter des Universums, wobei  $t_H$  die Hubblezeit ist, das Reziproke der Hubblekonstante. Diese Größe ist ausschlaggebend für die Expansionsgeschwindigkeit. Im ersten Fall ist die Gravitation in der Lage, die Expansion des Universums zum Stillstand zu bringen und wieder umzukehren, die potentielle Energie überwiegt im Gegensatz zur kinetischen. Die Raumzeit besitzt im Fall 1 eine sphärische Krümmung - eine Krümmung vergleichbar mit einer Kugeloberfläche. Man spricht von einem geschlossenen Universum.

Die zweite Lösung zeigt ein Gleichgewicht zwischen potentieller und kinetischer Energie. Dies führt dazu, dass zwar die Beschleunigung abgebremst wird, jedoch erst nach unendlicher Zeit zum Stillstand kommt.

In der dritten Möglichkeit reicht die Anziehungskraft aller Materie im Raum nicht aus, um die Expansion zu stoppen. Das hyperbolisch gekrümmte Universum dehnt sich unendlich und unendlich lang aus. Man bezeichnet dies als ein offenes Universum.

## Entwicklungsgeschichte des Universums

Skaliert man die Entwicklung des im Moment 13,6-13,8 Milliarden Jahre alten Universums auf ein Erdjahr, so ergibt sich:

Zeit	Ereignis
1. Januar 0.00 Uhr	Urknall, Entstehung von H, He
1. Januar 0.14 Uhr	Entkopplung von Strahlung und Materie
5. Januar	Erste Sterne und schwarze Löcher, C, N, O, ...
16. Januar	Älteste bekannte Galaxie, Quasar
9. September	Entstehung von Sonnensystem und Erde
28. September	Erstes Leben auf der Erde (Cyanobakterien)
29. November	Erste Vielzeller auf der Erde
16.-19. Dezember	Wirbeltierfossilien, Pflanzen
20.-24. Dezember	Wald, Fische, Reptilien
25. Dezember	Säugetiere
28. Dezember	Aussterben der Dinosaurier
31. Dezember 20.00 Uhr	Erste Menschen
31. Dezember 23.55 Uhr	Neandertaler
31. Dezember 23.55 Uhr 56s	Das Jahr 0
12. Januar	Erde wird zu heiß
7. April	Sonne wird zum Roten Riesen
16. April	Kollision Milchstraße mit dem Andromedanebel

## Astronomische Begriffe

Deklination [Abk.: Dekl. bzw. d; Einheit: Grad]

Die Deklination ist eine der beiden Koordinaten zur Bestimmung der Position eines Gestirns, die den Winkelabstand vom Himmelsäquator angibt und den Breitenkreisen auf der Erde entspricht.

Elongation [Einheit: Grad]

Winkelabstand (des Längengrades; Rektaszension) eines Gestirns von der Sonne oder eines Satelliten von seinem Planeten

Frühlingspunkt (Widderpunkt)

Schnittpunkt von Himmelsäquator und Ekliptik, in dem die Sonne zum Frühlingsanfang auf ihrer scheinbaren Jahresbahn den Äquator in nördlicher Richtung überschreitet. Er befand sich vor rund 2000 Jahren im Sternbild Widder und hat sich infolge der Präzession in das Sternbild Fische verlagert. Der Frühlingspunkt ist Bezugspunkt im rotierenden und ruhenden Äquatorsystem.

Höhe

Winkelabstand (0 bis max. 90 Grad) eines Gestirns vom Horizont

Kulmination

Durchgang eines Gestirns durch den Meridian, gleichbedeutend mit dem Erreichen der größten Höhe über dem Horizont

Meridian

Kreis am Himmel, der durch den Zenit, die zwei Himmelspole und damit auch durch den Nadir, den Nord- und Südpunkt am Horizont geht

Nadir (Fußpunkt)

Punkt auf der (unsichtbaren) Himmelshalbkugel direkt unter dem Beobachter

absolute Helligkeit

die scheinbare Helligkeit, die ein Himmelskörper bei einem Abstand von 10 pc von der Sonne und 10 pc von der Erde hätte. Sie wird angegeben in Größenklassen. Formelzeichen M

Aufgang

Aufgang ist die Bewegung eines Sterns auf einer Bahn, die am Horizont beginnt (Anfang A) bis zu einer Gipfelhöhe, dem Kulminationspunkt K

Ekliptik

Ebene der Erdbahn um die Sonne auf der sich auch in etwa die Planeten, der Mond und die Asteroiden bewegen, so dass sie am Himmel immer in der Nähe der Projektion der Ekliptik auf die Himmelssphäre (Großkreis oder ebenfalls Ekliptik) zu finden sind

### Ephemeride

eine Ephemeride (von griechisch ephemerios "für einen Tag") ist eine Tabelle, die die Positionen eines sich bewegenden astronomischen Objekts auflistet

### Finsternis

Bedeckung eines Gestirns durch ein anderes. Bei einer Mondfinsternis (nur bei Vollmond) durchwandert der Mond den Erdschatten; bei einer (- je nach Bedeckungsgrad - partiellen, ringförmigen oder totalen) Sonnenfinsternis (nur bei Neumond) wirft er seinen Schatten auf die Erde

### Galileische Monde

Jupiters vier große Monde: Io, Europa, Ganymed und Kallisto; unabhängig von einander von Galileo und Marius entdeckt

Galileo schlug die Benennung Mediceische Gestirne vor, um seinen Patron Cosimo II de Medici zu ehren; die heutige Benennung geht auf Marius zurück

### gegenläufig = retrograd

Rotation oder Umlaufbewegung im Uhrzeigersinn bei Betrachtung des Zentralkörpers von seinem Nordpol aus (also in die Gegenrichtung der meisten natürlichen Satelliten); Gegensatz zu direkt. Der Nordpol ist der Pol, der sich auf derselben Seite der Ekliptik befindet wie der Nordpol der Erde.

### Gestirn

Sammelbegriff für alle beobachtbaren Himmelskörper, also sich bewegende (insb. Planeten und Satelliten) wie "feststehende" (Sterne und dergl.).

### Größenklasse

(Magnitude) Maß für die Helligkeit eines Himmelsobjekts, Abkürzung: mag, ursprünglich in der Antike geschätzt, hellen Sternen wurde die 1.Größenklasse zugeordnet, mit dem bloßen Auge noch sichtbare Sterne die 6. Größenklasse. Ein Objekt der 1. Größenklasse ist 2,5mal heller als ein Objekt der 2. Größenklasse.

### Halber Tagesbogen

Hälfte des über dem Horizont verlaufenden Tagesbogens eines Gestirns  $\cos T = -\tan \delta \cdot \tan \phi$

### Hauptachse

Die Hauptachse einer Ellipse (z.B. einer Planetenumlaufbahn) ist die Gerade durch die beiden Brennpunkte mit den Enden auf der Ellipse selbst. Der durchschnittliche Abstand eines Planeten zu dem Zentralgestirn, das er umkreist, entspricht der halben Hauptachse seiner Umlaufbahn

heliocentrisch = mit der Sonne als Mittelpunkt

### Helligkeit, scheinbare

Helligkeit (Strahlungsintensität), mit der ein Gestirn dem Beobachter von der Erde aus erscheint. Je höher der Zahlenwert der Größenklasse ist, desto geringer ist die scheinbare Helligkeit des Gestirns.

### Horizont

auch verwendet für die äußere Kante der sichtbaren Scheibe eines Himmelskörpers

### Inklination

die Inklination oder Neigung einer Planetenbahn ist der Winkel zwischen der Ebene dieser Umlaufbahn und der Ekliptik; die Neigung der Umlaufbahn eines Mondes bezieht sich dabei auf den Äquator des Hauptgestirns, um den er kreist

### Knoten

Punkt in der Bahn eines sich bewegenden Gestirns, in dem seine Bahn die Ebene der Ekliptik schneidet. Beim Übertritt von Nord nach Süd spricht man vom absteigenden, beim Übertritt von Süd nach Nord vom aufsteigenden Knoten

### Konjunktion

1. dichteste (scheinbare) Annäherung zwischen einem sich bewegenden und einem anderen Gestirn, z.B.: Planet-Stern, Mond-Planet, Jupitermond-Jupiter.

2. speziell bei den beiden inneren Planeten: Die obere Konjunktion tritt ein, wenn der Planet genau hinter, die untere, wenn er genau vor der Sonne steht. Bei einer Konjunktion steht der Planet von der Erde aus gesehen genau in Richtung Sonne

### Konstellation

1. Oberbegriff der besonderen Stellungen: Konjunktion, Opposition, Quadratur  
2. anderer Name für Sternbild oder sternbildartige Figur (z. B. Sommerdreieck)

### Korona

äußerster Teil der Sonnenatmosphäre; mit bloßem Auge nur bei einer totalen Sonnenfinsternis als Strahlenkranz zu erkennen

### Mondalter

die seit dem jeweils letzten Neumond verfllossene Zeit; es kann maximal 29,53 Tage (sog. synodische Periode) betragen

### Mondmonat

Durchschnittliche Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Neu- oder Vollmonden, entspricht 29 Tagen 12 Stunde 44 Minuten

### Opposition

Konstellation, bei der ein äußerer Planet, auf die Erde bezogen, der Sonne am Himmel genau gegenübersteht, von dieser somit maximal beschienen wird und die ganze Nacht hindurch sichtbar ist; der Abstand zwischen dem Planeten und der Erde ist dann am geringsten

### Ortszeit

auf den Längengrad des jeweiligen Beobachtungsortes bezogene Zeit.

### Perigäum

erdnächster Punkt in der Bahn des Mondes um die Erde. Gegensatz.: Apogäum

### Planetoid (Asteroid)

kleiner Planet im Sonnensystem, der sich vorwiegend im sog. "Planetoidengürtel" zwischen der Mars- und Jupiterbahn aufhält; der größte Planetoid (Ceres) hat einen Durchmesser von 1 003 km

### Quadratur

Konstellation, bei der ein Planet mit der Sonne und der Erde (von "oberhalb" der Ekliptik betrachtet) einen rechten (= 90°) Winkel bildet

### Radiant

scheinbarer Ausgangspunkt eines Sternschnuppenschwarms.

### rechtläufige Bewegung

Rotationsbewegung oder Umlaufbewegung im gleichen Drehsinne wie bei der Erde, von West nach Ost

### Rektaszension

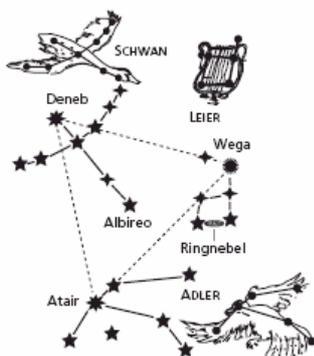
Abk.: RA bzw.  $\alpha$ ; Einheit: h m s bzw. h ' " : eine der beiden Koordinaten zur Bestimmung der Position eines Gestirns, die den Abstand vom Frühlingspunkt, gemessen nach Osten, angibt und den Längengraden auf der Erde entspricht

### siderische Periode

Zeitspanne, die ein Gestirn für eine Rotation oder einen Umlauf benötigt, um - auf einen Stern bezogen - wieder dieselbe Position einzunehmen

### rückläufige (retrograde) Bewegung

Rotations- oder Umlaufbewegung entgegengesetzt zum Drehsinne bei der Erde, also von Ost nach West. Die scheinbar rückläufige Umlaufbewegung eines äußeren Planeten um die Zeit der Opposition wird dadurch vorgetäuscht, dass die Erde ihn auf ihrer schnelleren Innenbahn überholt und er dadurch scheinbar für einige Zeit zurückfällt



### Sommerdreieck

im Sommer sichtbare Sternkonfiguration in Form eines Dreiecks (Abbildung)

### Sternbild (Konstellation)

willkürliche Zusammenfassung von Sternen zu geometrischen Figuren an der Himmelskugel; diese ist lückenlos in 88 Sternbilder eingeteilt

### synodische Periode

Zeitspanne, die ein sich bewegendes Gestirn benötigt, um von der Erde aus wieder denselben Anblick - bezüglich seiner Stellung relativ zur Erde - zu bieten (z. B. von Opposition zu Opposition)

### Terminator

Tag-Nacht-Grenze auf einem nicht selbst leuchtenden Gestirn

Weltzeit (engl. Universal Time, Abk.: UT)

Normzeit für sämtliche Beobachtungsstandorte auf der Erde, die sich auf die Ortszeit von Greenwich bei London (0 Grad geografischer Länge) bezieht und gegenüber der MEZ eine Stunde nachgeht

Zenit (Gipfelpunkt)

Punkt auf der (sichtbaren) Himmelshalbkugel direkt (also in 90 Grad Höhe ) über dem Beobachter

### Sonnenwende

Eine Sonnenwende (lat. Solstitium, griech. ηλιοστασιον, Stillstand der Sonne) stellt den Zeitpunkt dar, in dem die Sonne im Lauf eines Sonnenjahres die größte nördliche oder südliche Deklination erreicht. In diesem Augenblick kehrt die Sonne ihre durch die Schiefe der Ekliptik bewirkte Deklinationsbewegung um und nähert sich wieder dem Himmelsäquator.

Die maximale Deklination erreicht sie im Jahr zweimal: einmal nördlich und einmal südlich des Himmelsäquators; je nach Erdhalbkugel spricht man von der Sommer- oder Wintersonnenwende. Zu diesen Zeiten hat die Sonne ihre größte bzw. geringste Mittagshöhe über dem Horizont. Die Verbindungslinie der beiden Sonnenwenden heißt Solstitiallinie.

Exakte Definition: Die Sonnenwenden sind die Zeitpunkte, in denen die scheinbare geozentrische ekliptikale Länge der Sonne 90° oder 270° beträgt; unter der Berücksichtigung von Aberration und Nutation.

Die Sonnenwenden markieren den Beginn des astronomischen Sommers bzw. des astronomischen Winters. Am 21.Juni steht die Sonne über dem nördlichen Wendekreis (Sommersonnenwende auf der Nordhalbkugel), am 21. oder 22. Dezember über dem südlichen Wendekreis (Wintersonnenwende auf der Nordhalbkugel).

### Winterpunkt und Sommerpunkt

Zur Wintersonnenwende steht die Sonne im Vergleich zu den Hintergrundsternen im sogenannten Winterpunkt - jenem Punkt der Ekliptik, der genau 90° vom Frühlingspunkt entfernt ist (Rektaszension = 270°). Er liegt derzeit im Sternbild Schütze (Sagittarius); etwa in Richtung des galaktischen Zentrums. Analog dazu steht die Sonne im Moment der Sommersonnenwende im sogenannten Sommerpunkt (Rektaszension = 90°).

Durch die Präzession der Erdachse wandern der Winterpunkt und der Sommerpunkt im Laufe von 25780 Jahren einmal durch den gesamten Tierkreis. So lag der Winterpunkt in der Antike noch im Sternbild Steinbock ("Wendekreis des Steinbocks"), und wird sich in etwa 300 Jahren ins Sternbild Ophiuchus (Schlangenträger) verschieben.

Der Sommerpunkt lag in der Antike im Sternbild Krebs ("Wendekreis des Krebses"). Legt man die modernen Grenzen der Sternbilder zu Grunde, dann befindet er sich in folgenden Sternbildern:

Sternbild	Sektor	Durchgangszeit	Eintritt	Mitte	Austritt
Schütze	33,3°	2380 Jahre	13030 v.u.Z.	11840 v.u.Z.	10650 v.u.Z.
Schlangenträger	18,6°	1340 Jahre	10650 v.u.Z.	9980 v.u.Z.	9310 v.u.Z.
Skorpion	6,7°	480 Jahre	9310 v.u.Z.	9070 v.u.Z.	8830 v.u.Z.
Waage	23,0°	1650 Jahre	8830 v.u.Z.	8005 v.u.Z.	7180 v.u.Z.
Jungfrau	44,1°	3160 Jahre	7180 v.u.Z.	5600 v.u.Z.	4020 v.u.Z.
Löwe	35,7°	2570 Jahre	4020 v.u.Z.	2735 v.u.Z.	1450 v.u.Z.
Krebs	20,1°	1440 Jahre	1450 v.u.Z.	740 v.u.Z.	10 v.u.Z.
Zwillinge	27,9°	2000 Jahre	10 v.u.Z.	990	1990
Stier	36,7°	2620 Jahre	1990	3300	4610
Widder	24,7°	1770 Jahre	4610	5495	6380
Fische	37,2°	2670 Jahre	6380	7715	9050
Wassermann	24,0°	1710 Jahre	9050	9905	10760
Steinbock	28,0°	2010 Jahre	10760	11765	12770
Schütze	33,3°	2380 Jahre	12770	13960	15150

Im Winkel von 90° zum Sommerpunkt und Winterpunkt liegen jeweils der Frühlingspunkt (Rektaszension = 0°) und der Herbstpunkt (Rektaszension = 180°), in denen die Sonne beim Äquinoktium steht.

### Tagundnachtgleiche, Äquinoktien

Zwischen den Sonnenwenden überschreitet die Sonne jeweils den Himmelsäquator und steht dann senkrecht über dem Äquator der Erde. Diese Zeitpunkte sind die Äquinoktien oder Tagundnachtgleichen. Äquinoktien und Sonnenwenden stellen den Beginn der jeweiligen astronomischen Jahreszeiten dar. Am Frühlingsäquinoktium beginnt das Frühjahr, analog am Herbstäquinoktium der Herbst.

Tatsächlich sind Tag und Nacht nicht wirklich gleich lang, d.h. 12 Stunden.

### Equilux

Mit Equilux wird der Zeitpunkt der exakten Tagundnachtgleiche eines Ortes bezeichnet. Es tritt an dem Tag ein, an dem bei idealem Horizont zwischen dem ersten und dem letzten Sonnenstrahl genau zwölf Stunden vergehen.

Das Datum des Equinox hängt vom Längen- und Breitengrad ab. Auf dem 40. Breitengrad ist dies bereits um den 17. März, bzw. erst um den 26. September der Fall. Rechts werden die Equinox-Tage für einen Ort berechnet.

Da die Sonne aufgeht, wenn ihr oberer Rand den Horizont überschreitet, und sie erst dann untergeht, wenn ihr Rand unter dem Horizont verschwindet, ist der helle Tag an den Äquinoktien länger als 12 Stunden. Zusätzlich sorgt die Lichtbrechung für eine scheinbare Anhebung der Sonnenscheibe um etwa  $0,6^\circ$  am Horizont.

Tag und Nacht sind daher zum Zeitpunkt der Tagundnachtgleichen nicht wirklich gleich lang, sondern die Nacht um knapp sieben Minuten zugunsten des Tages verkürzt.

Der Begriff Tagundnachtgleiche beschreibt strenggenommen in der sphärischen Astronomie, dass Tagbogen und Nachtbogen eines auf dem Himmelsäquator stehenden Punktes gleich lang sind.



### Babylonische Astronomie

Anfänge im 3. Jahrtausend v.u.Z.

### Bedeutende Leistungen und Entdeckungen

vor 2000 v.u.Z. Entdeckung des Saroszyklus

vor 2000 v.u.Z. die meisten Sternbilder erhalten (noch heute gültige) Namen

1700 v.u.Z. der Tag wird in 24 gleich lange Stunden eingeteilt

763 v.u.Z. älteste bekannte sichere Aufzeichnung einer totalen

Sonnenfinsternis (15.6.)

383 v.u.Z. Nutzung des Lunisolarjahres (7 Schaltmonate auf 19 Jahre)

380 v.u.Z. Kidinnu: synodischer Monat = 29,530594 d

300 v.u.Z. Naburi Annu: synodischer Monat = 29,530641 d (moderner Wert 29,530589 d)

100 v.u.Z. synodische Umlaufzeiten der Planeten sind bis auf Hundertstel eines Tages genau bekannt

### Ägyptische Astronomie, Bedeutende Leistungen und Entdeckungen

vor 4000 v.u.Z.

365 tägiges Jahr mit 12 Monaten à 30 Tagen + 5

Zusatztage bekannt

Jahresbeginn: Frühaufgang des Sirius

238 v.u.Z.

Einführung eines Schalttages

Neben verschiedenen Sternbildern teilten die Ägypter den Tierkreis in 36 Dekane ein, welche nach Gottheiten bezeichnet wurden.

Abbildung: Der Kosmos im ägyptischen Mythos. (Rijks-Museum Leiden)



### Chinesische Astronomie, Bedeutende Leistungen und Entdeckungen

vor 3000 v.u.Z. sorgfältige Himmelsbeobachtungen durch Hofastronomen der chinesischen Kaiser

3000 v.u.Z. die Hofastronomen Hi und Ho werden zum Tode verurteilt, da sie eine Sonnenfinsternis nicht rechtzeitig voraussagten

200 v.u.Z. Nutzung eines Lunisolarjahres

100 v.u.Z. Bewegung der Planeten und des Mondes sind hinreichend gut bekannt

Die altchinesischen Sternbilder weichen stark von den babylonischen und ägyptischen ab. Der Himmelsäquator wurde in 28 "Häuser" geteilt. Insgesamt kannte man 284 Sternbilder.

Abbildung: chinesische Orakelsteine von etwa 14 v.u.Z., auf diesen ist das Sonnenjahr zu 365,25 Tagen und der Mondmonat zu 29,5 Tagen notiert.

Abbildung: Chinesische Sternkarte

### Astronomie der Inka, Bedeutende Leistungen und Entdeckungen

die synodischen Umlaufzeiten der Planeten und die Periodizitäten der Finsternisse

waren mit beachtlicher Genauigkeit bekannt

Quipus: Merkur 115,8 d Venus 584,8 d Jupiter 398,1 d

Der Kalender bestand aus einem Sonnenjahr zu 365 Tagen aus 12 Monaten mit 30 Tagen und 5 Schalttagen.



### Astronomie der Maya, Bedeutende Leistungen und Entdeckungen

vor 3000 v.u.Z. schon hochentwickelte astronomische Kenntnisse  
 3379 v.u.Z. (15.2.) überlieferte Beschreibung einer Mondfinsternis  
 2000 v.u.Z. die synodischen Umlaufzeiten der Planeten und die  
 Periodizitäten der Finsternisse sind bekannt  
 Der Maya-Kalender zählt von einem Nulldatum aus, wahrscheinlich  
 8.6.8498 v.u.Z.

1 Kin = 1 Tag    1 Uinal = 20 Kin    1 Tun = 18 Uinal  
 1 Katun = 20 Tun    1 Baktun = 20 Katun = 144000 Tage

Außerdem kannten sie ein Jahr zu 365 Tagen; mit 18 Monaten zu je 20  
 Tagen und 5 Schalttagen. Nach den Maya-Überlieferungen endet die  
 menschliche Existenz am 22. Dezember 2012 (Beginn des 13. Baktun)!?

### Tagesnamen im Maya-Kalender

Imix (Seerose) Chuwen (Frosch)    Ik' (Wind)  
 Eb (Schädel) Ak'bal (Nacht) Ben (Getreidehalm)  
 K'an (Getreide) Ix (Jaguar) Chikchan (Schlange)  
 Men (Adler) Kimi (Totenkopf) Kib (Muschel)  
 Manik' (Hand) Kaban (Erde) Lamat (Venus)  
 Etz'nab (Feuerstein) Muluk (Wasser) Kawak (Gewitterwolke)  
 Ok (Hund) Ahaw (Herr)

### Monatsnamen im Maya-Kalender

Pohp (Matte) Yax (Grün) Wo  
 Zak (Weiß) Sip Keh (Rot)  
 Sotz' (Schläger) Mak Sek  
 K'ank'in Xul (Hund) Muwan (Eule)  
 Yaxk'in (Sonne) Pax Mol (Wasser)  
 K'ayab (Taube) Ch'en (Schwarz) Kumk'u

### Geschichte der Astronomie

Jahr	Ereignis
-5000	ältestes Sonnenobservatorium der Welt (Kreisgrabenanlage von Goseck)
-4000	der Planet Mars ist bekannt
-3000	Sonnenuhr in Ägypten, China, Indien; die meisten Sternbilder werden mit Namen bezeichnet
-2769	Ägypter entwickeln 365-Tage-Kalender, Neujahrstag ist der 1. Thout (19. Juli), der Beginn der Nilflut
-2750	der nördliche Sternhimmel wird von den Babyloniern mit Sternbildern versehen
-2700	Verzierungen von Decken mit einfachen Sternmustern in der Djoser-Pyramide
-2500	die Babylonier kennen die Länge des Saroszyklus, Chinesen benutzen den Schattenstab
-2449	Beobachtung einer Konjunktion der 5 hellen Planeten in China
-2400	die Chinesen machen Himmelsbeobachtungen unter Bezug auf Erdäquator und Erdpole
-2296	Chinesische Beobachter berichten erstmals von der Sichtung eines Kometen
-2258	die Chinesen führen einen auf Mond- und Sonnenlauf beruhenden Kalender ein
-2200	altägyptischer Sternkalender (Idy-Kalender) mit den Aufgangszeiten des Sirius
-2136	zwei chinesische Hofastronomen werden hingerichtet, da sie versäumten, eine Sonnenfinsternis vorherzusagen
-1850	die für astronomische Zwecke errichtete Kultstätte in Stonehenge entsteht
-1800	in Babylon werden erste Sternkarten und Planetenpositionsaufzeichnungen zusammengestellt, Mesopotamische Astronomen entdecken den Unterschied zwischen Fixsternen und Planeten
-1700	in Babylon kommt ein in 24 Stunden eingeteilter Tag in Gebrauch
-1650	Himmelscheibe von Nebra mit der ältesten Himmelsdarstellung
-1645	ältestes bekanntes Dokument einer Planetenbeobachtung: Venus-Tafeln des Ammi-saduqa
-1600	im Rahmen der babylonischen Astrologie wird der Tierkreis bestimmt
-1500	in Heliopolis wird die "Nadel der Kleopatra" zur Zeitmessung errichtet
-1450	bronzezeitlicher Kultwagen "Sonnenwagen" von Trundholm (Dänemark)
-1400	die Chinesen geben die Jahreslänge zu 365 1/4 Tag an
-1300	die Ägypter verwenden einen Gnomon mit vertikaler Tafel zur Einteilung des Tages in 12 Stunden
-1223	in Syrien wird eine totale Sonnenfinsternis beschrieben (5. März)
-1100	die Phönizier benutzen Sternpositionen zur Navigation auf See, eine chinesische Handschrift beschreibt die Uhrform der mittelalterlichen Sonnenuhren
-800	erste Aufzeichnungen in China über Sonnenflecken
-763	älteste in Babylon beschriebene totale Sonnenfinsternis (15.6.)
-720	in China werden Aufzeichnungen über Kometen und Novae gemacht
-700	die wesentlichsten Bewegungsabläufe der Planeten sind bekannt, in Ägypten existieren erstmals Sonnenuhren mit abgewinkelten Schattenstäben zur Zeitmessung
-613	in China wird der Halleysche Komet beobachtet
-600	die Pythagoräer lehren die Kugelgestalt der Erde
-594	Solon verbessert den seit dem 7. Jahrhundert gültigen Lunisolarkalender
-585	Thales von Milet berechnet exakt eine Sonnenfinsternis für den 28. Mai
-575	Anaximander von Milet veröffentlicht die erste "Weltkarte"

-547	Anaximander beschreibt das Heliotropion, eine Sonnenuhr
-540	griechische Astronomen nutzen die Skaphe, einen Gnomon mit sphärischer konkaver Schattenprojektionsfläche zur Abbildung der Sonnenbahn
-500	der Pythagoreer Philolais von Kroton begründet sein Weltbild mit einem Zentralfeuer im Mittelpunkt des Weltalls, Einführung des Kalenders in Griechenland
-467	Anaxagoras von Klazomenai beschreibt einen spektakulären Meteorfall
-450	Demokrit und Epikur verstehen Licht als Absonderungen von Körpern
-440	Aristyllos von Samos und Timocharis führen erste Ortsbestimmungen von Fixsternen durch, Meton bestimmt mit dem Gnomon die Sonnenwendepunkte, Oinopides berechnet den Neigungswinkel der Erdachse bezüglich der Umlaufbahn zu 24°
-432	nach Meton wird ein 19jähriger Kalender mit 235 Monaten eingeführt
-410	in Chaldäa erstellte Horoskope enthalten exakte Positionen der Planeten
-400	in Griechenland wird mit Sonnenenergie Feuer entfacht
-383	die Babylonier benutzen einen auf dem Mondlauf basierenden Kalender mit 7 Schaltjahren in 19 Jahren
-382	Demokrit erklärt die Milchstraße als eine Anhäufung von Sternen
-380	Kidinnu bestimmt die mittlere Zeitdauer zwischen zwei gleichen Mondphasen zu 29,530594 Tage
-374	Mathematisch-astronomische Schule des Eudoxos
-365	Heraclides von Pontus erklärt die tägliche Bewegung des Himmels durch die Rotation der Erde
-350	Heraclides vermutet, dass Venus und Merkur um die Sonne kreisen, die ihrerseits die Erde umrundet
-300	Der Kompass wird in China erstmals erwähnt
-270	Aristarch begründet das erste heliozentrische Weltbild, er berechnet die Entfernung von Sonne (4,8 Millionen km) und Mond
-240	Eratosthenes von Kyrene ermittelt die Größe des Erdumfangs
-238	die Ägypter führen den Schalttag aller vier Jahre ein
-200	die Chinesen benutzen gekrümmte Spiegel zur Bündelung von Sonnenstrahlen, in China wird ein Kalender mit Lunisolarjahr (7 Schaltjahre in 19 Jahren) genutzt
-160	Hipparchos erstellt den bedeutendsten Teil des "Almagest", Hipparch beschreibt die Präzession der Erdachse, in Pergamon wird ein Erdglobus öffentlich aufgestellt
-134	Hipparchos beobachtet einen Kometen und erstellt eine Katalog von über 1000 Sternen, um eventuelle Veränderungen nachprüfen zu können
-100	Theodosios von Tripolis entwickelt eine für alle geographischen Breiten geeignete Sonnenuhren
-70	die älteste noch existierende Sternwarte "Turm der Winde" wird in Athen errichtet
-46	Einführung des Julianischen Kalenders
-28	verbürgte Aufzeichnungen über Sonnenflecken in China
140	Ptolemäus fasst das astronomische Wissen im (später so bezeichneten) "Almagest" zusammen
338	Einführung des jüdischen Kalenders durch Rabbi Samuel
525	der römische Abt Dionysius Exiguus schlägt die Kalenderzählung ab Christi Geburt vor, täuscht sich aber um 7 Jahre
538	in der Metzger Handschrift wird erstmals eine Sonnenfinsternis in Deutschland beschrieben
675	in Newcastle entsteht die älteste angelsächsische zwölfteilige Sonnenuhr
684	in der Nürnberger Chronik wird erstmals der Halleysche Komet abgebildet
813	Al Mamun gründet in Bagdad eine Schule für Astronomie
829	Ptolemäus erbaut eine große Sternwarte
1000	"Die Hakimitischen Tafeln" Ibn Junus erscheinen »Planeteneffemeride
1006	Chinesische Astronomen beobachten eine Supernovae im Sternbild Wolf
1018	al-Sûfi veröffentlicht einen Katalog mit 1018 Sternpositionen
1054	Chinesische Astronomen beobachten die Supernovae im Stier (heute der bekannte Krebsnebel)
1178	der britische Chronist Gervasius von Canterbury beobachtet am 25.Juni den Einschlag eines großen Körpers auf dem Mond (Ergebnis: heutiger Krater Giordano Bruno)
1250	Planetentafeln des Alfons X. von Kastilien
1279	in der Sternwarte in Peking wird ein Äquatorialarmillar aufgestellt
1301	der italienische Maler Giotto interpretiert fälschlicherweise den Halleyschen Kometen als Stern von Bethlehem
1364	G.de Dondi erbaut in Padua eine Planetenuhr
1424	in Samarkand wird ein Observatorium mit einem 40 m-Mauerquadranten gebaut
1460	Regiomontanus errichtet in Nürnberg die erste deutsche Sternwarte, Purbach und Regiomontanus regen Planetenbeobachtungen an, da sie am geozentrischen Weltbild zweifeln
1464	Nikolaus von Kues vermutet, dass die Erde nicht in Ruhe sein kann, Regiomontanus hält in Westeuropa die erste Vorlesung über Mathematik und Astronomie
1474	Regiomontanus veröffentlicht seine Planetentafeln
1512	Seine Vorstellungen über den Bau des Planetensystems veröffentlicht Copernicus erstmals in seinen "Commentariolus"
1531	Apianus beobachtet den Halleyschen Kometen (Grundlage Halleys Arbeit)
1540	G.J.Rheticus veröffentlicht den Bericht "Narratio prima" über die neue Kopernikanische Lehre
1543	Kopernikus Werk "De revolutionibus orbium coelestium" (Über die Bewegung der Weltkörper) wird veröffentlicht, er ermittelt den Abstand Erde-Sonne zu 3,2 Millionen km
1572	Brahe beobachtet die Supernovae in der Cassiopeia
1576	Brahe erstellt auf Hven den bedeutendsten Sternkatalog der vorteleskopischen Zeit
1582	Scaliger schlägt die Nutzung des Julianischen Datums in der Astronomie vor, Einführung des Gregorianischen Kalenders
1584	"Del infinito universo e mondi" Giordano Brunos wird veröffentlicht, in der "Sternenburg" wird der große Mauerquadrant errichtet

1588	Brahe veröffentlicht seine Planetentheorie
1596	Fabricius entdeckt die Veränderlichkeit des Sterns Mira (Omikron Ceti), Keplers "Mysterium Cosmographicum" versucht die Erklärung des Planetensystems mittels Platonischer Körper
1599	Tycho Brahe wird Hofastronom in Prag und beruft ein Jahr später Kepler
1600	Giordano Bruno wird in Rom auf dem Scheiterhaufen verbrannt, hauptsächlich wegen seiner Verteidigung der Theorie, dass die Erde die Sonne umkreise, Blaauw entdeckt einen "Neuen Stern" im Sternbild Cygnus (P Cygni)
1603	Der Sternatlas "Uranometria" von J.Bayer wird gedruckt, Kepler beobachtet eine Supernova
1604	Galilei beschreibt die Nova im Sternbild des Schlangenträgers (Keplers Stern)
1608	Hans Lippershey erfindet das Fernrohr
1609	Galilei baut nach Angaben aus Holland sein erstes Fernrohr; Kepler veröffentlicht in "Astronomia Nova" die Gesetze der Planetenbewegung; erste teleskopische Mondskizze durch Thomas Harriot
1610	Galilei entdeckt die Mondberge, großen Jupitermonde und die Venusphasen und veröffentlicht dies im "Sidereus nuncius" ("Sternenboten")
1611	Kepler konstruiert das astronomische Fernrohr
1612	Simon Marius entdeckt den Andromedanebel und weitere Jupitermonde
1613	Galilei veröffentlicht eine Schrift über Sonnenflecken
1616	die katholische Kirche setzt Copernicus' Werk "De revolutionibus" auf den Index der verbotenen Bücher, Galilei muss erstmals vor der katholischen Inquisition erscheinen
1618	Cysat entdeckt den Orionnebel; Kepler bestimmt für den Abstand Erde-Sonne 22,5 Millionen km
1619	Das 3.Keplersche Gesetz erscheint in "Harmonices Mundi"
1621	Kepler vermutet eine von der Sonne ausgehende Kraft (vis)
1627	Die Rudolphinischen Tafeln Keplers werden gedruckt
1630	Christoph Scheiner veröffentlicht mit "Rosa ursina" das erste systematische Werk über Sonnenflecken
1631	Gassendi beobachtet den von Kepler vorausgerechneten Vorübergang des Merkur vor der Sonne
1632	Die Galileischen "Dialoges" werden veröffentlicht; Galilei muss zum zweiten Mal vor der Inquisition erscheinen
1633	in Leiden (Holland) wird die erste bedeutende Sternwarte gegründet; Galilei wird von der Inquisition in Rom verurteilt und zum Widerruf gezwungen; Descartes erklärt das Universum als Ergebnis einer natürlichen Entwicklung
1637	Gründung der ersten staatlichen Sternwarte (Kopenhagen)
1638	Phocylides Holwarda beschreibt erstmals genau die Veränderlichkeit eines Sterns (o Ceti)
1639	erste Beobachtung des Venusdurchgangs durch Horrocks und Crabtree
1647	Die erste Mondkarte erscheint von Hevelius
1651	Riccioli führt in seiner Mondkarte die heute üblichen Bezeichnungen ein
1655	Huygens entdeckt den ersten Saturnmond Titan sowie das Ringsystem
1659	Huygens erkennt als erster Markierungen auf der Marsoberfläche
1661	Childry beobachtet und beschreibt das Zodiakallicht; V.Viviani führt in Florenz erstmals einen Pendelversuch zum Nachweis der Erdrotation durch; Hevel veröffentlicht sein Sternverzeichnis
1663	Gregory beschreibt das Prinzip eines Spiegelteleskops
1666	Cassini beobachtet als erster die Polkappen des Mars
1667	die Pariser Sternwarte wird durch Cassini gegründet
1668	Montanari entdeckt die Veränderlichkeit von Algol, Isaac Newton baut das erste Spiegelteleskop
1672	Cassini gelingt mit dem Wert von 138,37 Millionen km die erste genauere Abschätzung der Entfernung Erde-Sonne
1673	Christian Huygens konstruiert die erste genaue Pendeluhr
1675	Römer ermittelt die Lichtgeschwindigkeit, John Flamsteed gründet die Sternwarte in Greenwich und veröffentlicht einen Sternkatalog
1676	Halley beginnt auf St.Helena den südlichen Sternhimmel zu katalogisieren
1679	Halley veröffentlicht das erste Sternverzeichnis des Südhimmels
1681	Georg Samuel Dörfel (1643-1688) weißt nach, dass Kometen auf einer Parabel um die Sonne laufen
1682	Halley gelingt die Berechnung der elliptischen Bahn des nach ihm benannten Kometen
1687	Newton veröffentlicht das Gravitationsgesetz
1700	die Berliner Sternwarte wird unter Gottfried Kirch errichtet
1704	Newtons zweites großes Werk "Optics" erscheint, in welchem er die Entstehung der Spektralfarben lehrt, weiterhin postuliert er die Existenz des "Lichtäthers"
1705	Halley sagt die Wiederkehr eines großen Kometen für 1758 voraus
1716	Halley entdeckt die Eigenbewegung der Fixsterne
1725	der Flamsteedsche Katalog enthält alle im nördlichen Europa sichtbaren Sterne bis 7.Größenklasse
1728	Bradley entdeckt die Aberration
1736	durch Gradmessungen in Peru und Lappland beweist Maupertuis endgültig, dass die Erde an den Polen abgeplattet ist
1738	Die Cassinischen Kurven werden in dem Buch "Elements d'astronomie" veröffentlicht
1743	Clairaut veröffentlicht "Théorie de la figure de la terre"
1744	de Chéseaux' "sechsschwänziger" Komet, wird einige Tage vorher von Klinkenberg entdeckt, Euler liefert die analytische Behandlung des Zweikörperproblems
1747	der englische Astronom Bradley entdeckt die Nutation der Erdachse
1750	Lacalle stellt den ersten größeren Sternkatalog zusammen, Wright veröffentlicht seine Theorie über die Entstehung des Sonnensystems
1752	"Théorie de la lune" von Clairaut erscheint
1755	Die "Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels" von Kant erscheint
1758	Palitzsch beobachtet als erster den vorhergesagten Kometen (25.Dezember)
1761	Lomonossow entdeckt die Venusatmosphäre

1762	der Sternatlas Bradleys enthält mehr als 60000 Sterne
1766	Titius veröffentlicht seine Planetenabstandsregel
1770	in Auswertung eines Venusdurchganges vor der Sonne berechnet Euler den Abstand Erde-Sonne auf 151225000 km
1772	Lagranges Beiträge zum Drei-Körper-Problem werden veröffentlicht
1781	Caroline und William Herschel entdecken am 13.März den Uranus, Messier veröffentlicht einen Nebelkatalog
1782	ein Doppelsternkatalog Herschels enthält 269 Doppelsterne
1783	Goodricke gelingt es den Lichtwechsel von Algol richtig zu erklären
1784	Goodricke entdeckt die Veränderlichkeit von Delta Cephei
1786	Herschel beschreibt die Gestalt unserer Milchstraße
1788	Die "Mécanique analytiques" Lagranges begründet die analytische Mechanik, u.a. behandelt er das Dreikörperproblem und gibt einige Speziallösungen an
1789	Herschels großer Reflektor mit einer Brennweite von 1,22 m wird fertiggestellt
1794	Ernst Florenz Friedrich Chaldni beschreibt den extraterrestrischen Ursprung von Meteoriten
1795	Lalande beobachtet am 8.Mai Neptun, erkennt aber nicht seine Planetennatur
1796	Laplace gibt eine Theorie über die Entstehung des Sonnensystems "Exposition du système du monde"
1797	Olbers Werk "Über die leichteste und bequemste Methode, die Bahn eines Cometen zu berechnen"
1799	Laplace veröffentlicht die "Himmelsmechanik", Alexander von Humboldt beschreibt den Meteoritenstrom der Leoniden
1800	Gauß findet eine allgemeingültige Osterformel
1801	Giuseppe Piazzi entdeckt am 1.Januar mit Ceres den ersten Planetoiden, Gauß gelingt es die Bahn der Ceres zu berechnen
1802	Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers entdeckt den 2.Kleinplaneten Pallas; Wollaston entdeckt dunkle Linien im Sonnenspektrum, Herschel begründet die Existenz von Doppelsternen
1803	Lalande veröffentlicht "Bibliographie astronomique"
1804	Karl Ludwig Harding entdeckt den dritten Asteroiden Juno
1807	Olbers entdeckt den vierten Planetoiden Vesta
1809	Angeregt durch die Berechnung der Ceres-Bahn beschäftigt sich Gauß mit den säkularen Störungen
1811	H.Flaugergues entdeckt einen großen Kometen
1815	Fraunhofer spezifiziert 324 Linien im Sonnenspektrum
1821	Bessel beginnt an 32000 Sternen Ortsbestimmungen durchzuführen
1825	Der letzte Band der Himmelsmechanik von Laplace wird veröffentlicht
1827	Savary bestimmt die erste Bahn eines Doppelsterns (Zeta Ursae Majoris)
1834	J.Herschel beginnt die erste große Durchmusterung des Südhimmels am Kap der Guten Hoffnung
1835	zweite berechnete Wiederkehr des Halleyschen Kometen
1835	die Indexkongregation der katholischen Kirche nimmt die Galileischen "Dialoge" von der Liste der verbotenen Bücher, Galilei bleibt weiter verurteilt
1837	Struve gelingt der Nachweis der Fixsternparallaxe an der Wega und veröffentlicht seinen Doppelsternkatalog "Mensurae micrometricae", John Herschel bestimmt erstmals die Solarkonstante, Beer und Mädler publizieren ihre Mondkarte
1838	F.W.Bessel bestimmt in Königsberg die erste Sternentfernung (61 Cygni)
1840	J.W.Draper macht erste Mondfotografieversuche
1842	bei einer totalen Sonnenfinsternis stellt man fest, dass Korona und Protuberanzen zur Sonne gehören, der Franzose Lerebours fotografiert erstmals die Sonne
1843	Sarrus schreibt über Bahnberechnungen von Kometen; Draper gelingt die erste Daguerreotypie des Sonnenspektrums, Heinrich Schwabe entdeckt die Periodizität der Sonnenfleckenhäufigkeit
1844	Bessel vermutet auf Grund von Bahnstörungen des Sirius einen unbekanntem Begleiter, die Harvard-Sternwarte wird eröffnet
1845	Lord Rosse beobachtet mit seinem 72"-Spiegel die Spiralform von Galaxien, Adams entdeckt nach der mathematischen Bahnanalyse den Planeten Neptun, die Datumsgrenze wird längs des 180.Breitengrades festgelegt, Hencke entdeckt den fünften Planetoiden Astraea
1846	Johann G.Galle entdeckt nochmals in Berlin den Planeten Neptun, W.Lassell gelingt der Nachweis des Neptunmondes Triton
1850	an der Harvard-Sternwarte gelingt die erste Fotografie eines Sterns (Wega), Bond entdeckt den Flor-Ring des Saturn
1851	Berkowski gelingt die Fotografie einer totalen Sonnenfinsternis, Foucault weist die Erdrotation mit Hilfe eines freischwingenden Pendels nach
	Christian August Peters (1806-1880) schließt aus der gestörten Eigenbewegung des Sirius auf einen dunklen Begleiter.
1852	R.Wolf bestimmt die Sonnenfleckenperiode mit 11,1 Jahren, die Bonner Durchmusterung von F.W. Argelander erscheint
1853	Helmholtz stellt seine Kontraktionstheorie auf als Erklärungsversuch für die Sonnenenergie
1854	J.B.Reade fotografiert die Granulation der Sonnenoberfläche; auf Vorschlag von Pogson wird die Helligkeitsskala neu festgesetzt.
1857	James Clerk Maxwell beweist, dass der Saturnring aus einzelnen Teilchen bestehen muss, Bond, Whipple und Black fotografieren den ersten Doppelstern Mizar mit Alkor
1858	erste gelungene Fotografie eines Kometen (Donati) durch Usherwood
1859	Kirchoff und Bunsen deuten die Absorptionslinien im Sonnenspektrum (Abbildung), Richard Carrington entdeckt die differentielle Rotation der Sonne
	Weber und Fechner veröffentlichen das psychophysische Grundgesetz
1861	Kirchhoffs Atlas des Sonnenspektrums wird publiziert, Karl Friedrich Zöllner konstruiert das erste visuelle Sternphotometer
1862	Clark entdeckt in Washington mit Sirius B den ersten weißen Zwerg, Arthur v. Auwers (1838-1915)

	berechnet die Bahn des Prokyonbegleiters
1863	Die "Bonner Durchmusterung" Argelanders mit 324198 Sternen wird veröffentlicht, die Gliederung der Sternspektren nach Secchi wird veröffentlicht
1864	erste Ergebnisse der Untersuchungen von Sternspektren durch Huggins, Donati untersucht den Kometen Tempel spektroskopisch; William Huggins weist spektroskopisch nach, dass Nebel aus Gasen bestehen
1866	Giovanni Virginio Schiaparelli zeigt einen Zusammenhang zwischen Kometen und Meteoriten auf
1867	Wolf und Rayet begründen die Untersuchungen der "Wolf-Rayet-Sterne" in Paris, ein Sternspektralkatalog von Secchi enthält 316 Sterne
1868	Entdeckung des Heliums in der Sonnenatmosphäre durch den Franzosen Jules Janssen, Angström veröffentlicht einen detaillierten Atlas des Sonnenspektrums
1876	Bau des Potsdamer Observatoriums
1877	Asaph Hall (1829-1881) entdeckt die beiden Marsmonde
1878	Schiaparellis "Entdeckung" der Marskanäle
1879	Michelson bestimmt die Lichtgeschwindigkeit
1881	erste spektralphotometrische Messung des Sonnenspektrums durch Langley
1887	Max Wolf und E.E. Barnard fertigen erstmals fotografische Aufnahmen von kosmischen Objekten an, Theodor von Oppolzer (1841-1886) veröffentlicht den Canon der Finsternisse
1888	Rowland vermisst 20000 Linien photographisch im Sonnenspektrum; Vogel ermittelt Radialgeschwindigkeiten von Sternen
1889	Henri Poincaré (1854-1912) entdeckt die Existenz periodischer Lösungen im allgemeinen Dreikörperproblem
	Edward Charles Pickering (1847-1913) entdeckt im Spektrum von Zeta UMa gelegentliche Verdopplung der Linien; er schließt daraus auf einen Doppelstern
1890	Vogel und Scheiner messen erstmals Radialgeschwindigkeiten
	Michelson bestimmt den Abstand sehr enger Doppelsterne und die Durchmesser einiger heller Sterne mit einem Interferometer
1892	Hale und Deslandres führen die Photographie der Sonnenoberfläche im Lichte einzelner Spektrallinien ein Barnard entdeckt den fünften Jupitermond; Beginn der Cordoba-Durchmusterung
1893	Die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) wird in Deutschland eingeführt
1895	Bailey entdeckt photographisch kurzperiodische Veränderliche in Kugelhaufen
	Belopolsky entdeckt, daß die Radialgeschwindigkeitskurve, bei periodisch Veränderlichen spiegelbildlich zur Lichtkurve verläuft
1898	Witt entdeckt den Kleinen Planeten Eros
	Hugo von Seeliger (1845)-1924) und Jacobus Kapteyn (1851 bis 1922) führen die Leuchtkraftfunktion ein
1900	Messung der Gesamtstrahlung der Sonne zur Temperaturbestimmung durch Langley und Abbot
1901	Aufstellen einer neuen Spektralklassifikation durch Pickering und Miss Cannon
1904	Perinne entdeckt den 6. und 7.Jupitermond
1905	Albert Einstein (1879-1955) veröffentlicht die Spezielle Relativitätstheorie
1906	Karl Schwarzschild stellt eine Theorie über Sternatmosphären auf; M.Wolf und A.Kopff entdecken die ersten Trojaner
1907	Robert Emden (1862-1940) betrachtet Sterne als "Gaskugeln"
1908	George Ellery Hale entdeckt Magnetfelder bei den Sonnenflecken (Zeemaneffekt) Melotte entdeckt den 8. Jupitermond
1909	Wilsing und Scheiner geben erste zuverlässige Werte von Fixsterntemperaturen
1910	Schwarzschild veröffentlicht den ersten größeren Katalog exakt gemessener Sternhelligkeiten Schlesinger entwickelt Methoden zur photographischen Bestimmung von Fixsternparallaxen.
1911	William W. Campbell (1862-1923) findet die ersten Schnellläufer
1912	Miss Leavitt findet die Perioden-Helligkeitsbeziehung Hess entdeckt die kosmische Höhenstrahlung mit Hilfe eines Ballons
1913	Henry Norris Russell stellt einen Zusammenhang der Zustandsgrößen von Sternen in seinem berühmten Herzprung-Russel Diagramm dar
1914	Adams und Kohlschütter finden Spektralkriterien zur Bestimmung der absoluten Helligkeit (spektroskopische Parallaxenmethode)
1915	Albert Einstein veröffentlicht die Allgemeine Relativitätstheorie
1917	Einstein erstellt die Theorie eines statischen Universums
1918	Harlow Shapley kann durch die Untersuchung der räumlichen Verteilung von Kugelsternhaufen die Struktur der Milchstraße genauer erklären; der Henry Draper-Katalog enthält die Spektraltypen für 225300 Sterne
1922	Alexander Friedmann spricht, basierend auf der Relativitätstheorie, vom Evolutionskosmos
1923	Edwin Powell Hubble misst die Entfernung anderer Galaxien
1925	Oort und Lindblad finden die differentielle Rotation unseres Sternsystems, der Milchstraße
1927	Arthur Stanley Eddington erstellt eine Theorie über den inneren Aufbau von Sternen
1929	Hubble entdeckt die Rotverschiebung und schließt auf eine Expansion des Alls
1930	Clyde William Tombaugh entdeckt am 13.3. auf einem Foto den Planeten Pluto (Abbildung), Trumpler entdeckt die interstellare Materie
1931	Bernhard Schmidt stellt ein Spiegelteleskop her, dass komafreie Abbildungen großer Felder ermöglicht
1932	Karl Guthe Jansky entdeckt die Radiostrahlung kosmischer Objekte
1938	Hans Albrecht Bethe und Carl Friedrich von Weizsäcker erklären die Energiegewinnung der Sterne durch Kernreaktionen in deren Inneren
1942	Oort identifiziert den Krebsnebel als Überrest einer Supernovaexplosion
1945	van de Hulst weist darauf hin, dass im Raum eine Spektrallinie des neutralen Wasserstoffs bei 21 cm Wellenlänge beobachtbar sein müsste
1946	Die Rakete NRL V-2 beobachtet erstmals des UV-Spektrum der Sonne
1947	Ambarzumian findet Sternassoziationen

1949	Ewen, Purcell und Westerhout finden die von van de Hulst vorhergesagte 21-cm-Linie; NRL V-2 beobachtet die Röntgenstrahlung der Sonne
1952	Martin Schwarzschild und Allan Rex Sandage gelingt der Nachweis, dass Rote Riesen ein Ergebnis der Sternentwicklung sind
	Oort und van de Hulst lokalisieren die Spiralarme in unserem Sternsystem
1957	die UdSSR startet am 4. Oktober den ersten künstlichen Erdsatelliten Sputnik 1
1958	der Erdsatellit Explorer 1 entdeckt die Strahlungsgürtel der Erde
1959	Luna 1 entdeckt den Sonnenwind und erreichte erstmals eine Sonnenumlaufbahn, Luna 2 landet hart auf dem Mond
	Mit Hilfe von Lunik III werden erste Fotos der Mondrückseite gemacht
1960	Entdeckung der Quasare
1961	 Juri Gagarin (Abbildung) führt den ersten Raumflug eines Menschen durch
1962	der Satellit Aerobee Rocket entdeckt Röntgensterne
	Mariner 2 fliegt an der Venus vorbei und misst eine Oberflächentemperatur von 425°C
1963	Maarten Schmidt entdeckt den ersten Quasar
1964	A.A. Penzias und R.W. Wilson entdecken zufällig die kosmische Hintergrundstrahlung, den Nachhall des Urknalls
	Bestimmung der Rotationsdauer der Venus mittels Radar zu 245 Tagen
1965	Mariner 4 sendet erste Aufnahmen von der Oberfläche des Mars
1966	Luna 9 landet weich auf dem Mond und sendet Fotos von der Oberfläche, Luna 10 wird der erste Mondsatellit
1967	Antony Hewish und Susan Jocelyn Bell Burnell entdecken den ersten Pulsar
	Venera 4 erreicht erstmals die Venusatmosphäre und übermittelt Messdaten über Temperatur und Druck; Wheeler führt den Begriff Schwarzes Loch ein
1968	Apollo 8 mit Frank Borman, James A. Lovell und William Anders umfliegt den Mond
1969	es gelingt, organische Moleküle im interstellaren Raum nachzuweisen; Neil Armstrong und Edwin Aldrin betreten als erste Menschen den Mond
1970	Venera 7 übermittelt als erste Raumsonde Daten von der Venusoberfläche. Die Temperatur lag bei 475° Celsius und der Atmosphärendruck bei 90 bar. Luna 16 landet weich auf dem Mond und kehrt automatisch zur Erde zurück, Luna 17 setzt automatisches Fahrzeug Lunochod 1 auf dem Mond aus
	Start des ersten Röntgensatelliten "Uhuru" am 12.12.1970. U.a. werden Neutronensterne und Röntgen-Galaxien entdeckt
1971	Die sowjetische Raumstation "Saljut 1" umkreist 2800 mal die Erde; Mars 3 landete weich auf dem Mars und übermittelt Videoaufnahmen
1972	Start der Jupitersonde Pionier 10. Sie passierte am 3.12.1973 Jupiter in 132000 km Entfernung
1973	Start der Saturnsonde Pionier 11. Die Sonde passierte Saturn am 1.9.1979 in 20800 km Entfernung
1974	J.H. Taylor und R.A. Hulse entdecken ein Doppelpulsarsystem
	Mariner 10 fliegt als erste Raumsonde an Merkur vorbei und fotografiert einen großen Teil der Merkuroberfläche; Helios 1 nähert sich bis auf 47 Millionen km der Sonne
	Hawking zeigt, dass Schwarze Löcher strahlen
1975	Venera 9 und 10 liefern die ersten Bilder vom Venusboden. Die Raumsonden Viking 1 und 2 landen auf der Marsoberfläche. Sie machen Aufnahmen und analysieren Bodenproben.
1976	der Gammasatellit Cos-B entdeckt die Gammastrahlung zahlreicher extragalaktischer Systeme
1977	Start der Raumsonden Voyager 1 und 2 zur Erforschung des äußeren Planeten und ihrer Monde. 20.8.1977: Start von Voyager 2, 5.9.1977: Start von Voyager 1
1978	 W. Christy entdeckt den Plutomond Charon; Sigmund Jähn fliegt als erster Deutscher ins All
1979	Voyager 1 und 2 fliegen am Jupiter vorbei und entdecken Ringe um den Planeten Jupiter und Schwefelvulkanismus auf seinem Mond Io
	D. Walsh, R. Carswell und R.J. Weymann entdecken die erste Gravitationslinse

1980	Voyager 1 fliegt in 124200 km Abstand am Saturn vorbei. Es werden Bilder des Planeten und seiner Monde gewonnen.
1981	Voyager 2 fliegt in 101300 km Abstand am Saturn vorbei und übermittelt Aufnahmen von den Saturnmonden
	das VLA-Radioteleskop (Very Large Array), bestehend aus 27 Parabolantennen von je 25 m Durchmesser, angeordnet in Form eines Y mit je 21 km langen Armen, wird fertiggestellt
	Venera 13 übermittelt erstmals farbige Panoramaaufnahmen der Venusoberfläche
1983	Entdeckung einer Staubscheibe um den Stern Beta Pictoris. Sie gilt als Indiz für die Existenz eines Protoplanetensystems; der Infrarotsatellit IRAS entdeckt ein um die Wega entstehendes Planetensystem (Alter nur 300 Millionen Jahre)
1985	Start der sowjetischen Vega-Sonden und der europäischen Raumsonde Giotto, die 1986 Detailaufnahmen vom Kern des Halleyschen Kometen liefern
1986	Voyager 2 fliegt in 107000 km Entfernung am Uranus vorbei
1987	I. Shelton entdeckt eine Supernova in der Großen Magellanschen Wolke, Entdeckung des "Großen Attraktors"
1989	Voyager 2 fliegt an Neptun vorbei; M. Geller und J. Huchra entdecken die "Großen Mauer", einer Galaxienansammlung aus über 2000 Galaxien
	Start des Astrometriesatelliten Hipparcos. Er liefert exakte Positionen und Bewegungen von 100000 Sternen
	Start der Raumsonde Galileo zur Erforschung des Jupitersystems
1990	Das Hubble Space Telescope wird in Betrieb genommen. Start der Raumsonde Ulysses am 6.10.1990, die den Sonnenwind untersucht
	der Magellan-Venus Orbiter vermisst die Venusoberfläche mit einer Auflösung von 300 Metern
1992	Die ersten Exoplaneten werden entdeckt. Sie umkreisen den Pulsar PSR 1257+12. D. Jewitt und J. Luu entdecken das erste Objekt des Kuiper-Rings
1993	Galileo fliegt am Planetoiden Ida vorbei und entdeckt einen Mond des Planetoiden
1994	Jupiter wird von Fragmenten des Kometen Shoemaker-Levy 9 getroffen.
1995	mit dem Hubble-Weltraumteleskop wird das Hubble Deep Field aufgenommen
1997	Pathfinder mit dem Geländewagen Sojourner landet auf dem Mars.
1998	Erste Beobachtung ("Frist-Light") mit dem Very-Large-Telescope der ESO (European Southern Observatory) in Chile
	mit dem Start des russischen Sarja-Moduls beginnt der Aufbau der Internationalen Raumstation
1999	Fund der Himmelscheibe von Nebra; totale Sonnenfinsternis in Mitteleuropa; Entdeckung der beschleunigten Expansion des Weltalls
2001	die Raumsonde Near landet weich auf dem Asteroiden Eros
2002	Sagittarius A wird als supermassives Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxis nachgewiesen
2003	Der Zwergplanet Eris wird im Kuipergürtel von Michael Brown, Chad Trujillo und David L. Rabinowitz entdeckt
	Yang Liwei startet als erster Chinese mit der Mission Shenzhou 5 ins All
2005	Die Landeeinheit Huygens der Raumsonde Cassini geht auf dem Saturnmond Titan nieder
2007	Der erdähnliche Exoplanet Gliese 581c wird in 20 Lichtjahren Entfernung entdeckt
	China startet seine erste Mondsonde Chang'e-1
2008	Indien startet mit Chandrayaan-1 seine erste Mondmission
2013	Luhman 16 wird entdeckt. Seit der Entdeckung von Barnards Pfeilstern (1912) ist es das erdnächste, neuentdeckte Sternensystem
2014	mit der von Rosetta abgesetzten Sonde Philae gelingt erstmals die weiche Landung auf einem Kometen

### Drake-Formel

Die Drake-Formel soll eine Abschätzung der Zahl der gegenwärtig in der Galaxis vorhandenen kommunikationswilligen Zivilisationen ermöglichen:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot f_w \cdot L$$

Dabei bedeuten die einzelnen Variablen (Angabe erfolgt mit optimistisch geschätzten Idealwerten):

N = die Zahl der gegenwärtig vorhandenen kommunikationswilligen und kommunikationsfähigen Zivilisationen in der Galaxis

R = die Anzahl, der in der Galaxis pro Jahr neu entstehenden Sterne (ungefähr 10), wobei die Zahl für Leben geeigneter Sterne auf 0,15 pro Jahr geschätzt wird

$f_p$  = gibt den Prozentsatz der Sterne an, bei deren Entstehung ein Planetensystem gebildet wird (0,3 bis 1)

$n_e$  = die Zahl der Planeten, die sich in der Ökosphäre des Zentralsterns befinden. (0,05 bis 1)

$f_l$  = die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Leben. (0,01 bis 1)

$f_i$  = die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Intelligenz. (0,5 bis 1)

$f_c$  = die Wahrscheinlichkeit für Zivilisationen, die sich technologisch soweit entwickeln, dass sie interstellare Kommunikation betreiben können. (0,5 bis 1)

$f_w$  = die Wahrscheinlichkeit für den Wunsch nach Kommunikation; sie wird idealerweise mit 1 angenommen.

L = die Lebensdauer einer kommunikationsfähigen Zivilisation, d.h. die Zeit, in der eine technologisch fortschrittliche Zivilisation existiert und Signale senden und empfangen kann. (100 bis 10 Millionen Jahre)

Bei den angenommenen Mittelwerten errechnet sich eine Anzahl von mindestens 4500 Zivilisationen.



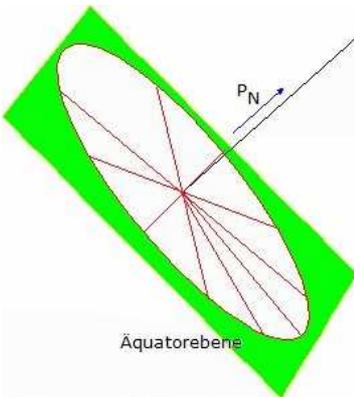
**Astronomische Uhr**

Astronomische Uhren sind Meisterwerke der mittelalterlichen Uhrmacherkunst. Es gibt in Europa einige wunderbare noch funktionierende Exemplare.

Links ist die astronomische Uhr an der Außenseite des alten Prager Rathaus zu sehen.

- Die astronomischen Uhren geben Auskunft über
  - Ortszeit und mitteleuropäische Zeit
  - Sternentag
  - Stand der Sonne im Tierkreis
  - Beginn der Jahreszeiten
  - Datum (Tag und Monat)
  - Sonnenstand sowie Sonnenauf- und untergang
  - Mondstand sowie Mondauf- und untergang

siderischen und synodischen Monat  
 Mondphase  
 Sonnen- und Mondfinsternisse  
 Auf- bzw. absteigender Mondknoten (drakonitischer Monat)



**Sonnenuhr, Äquatorialsunnenuhr**

Der einfachste Sonnenuhrtyp ist die Äquatorialsunnenuhr.

Ihr Zifferblatt liegt in einer Ebene parallel zur Äquatorebene und ist gleichmäßig aufgeteilt:

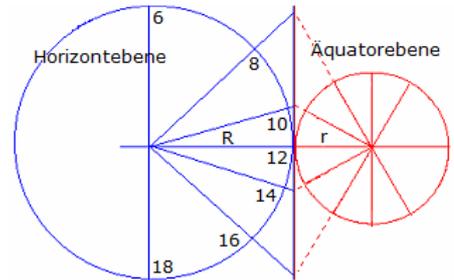
Jede Stunde entspricht 15°. Der Schattenstab, der Gnomon, ist orthogonal zum Zifferblatt, er zeigt also genau in Richtung Himmelsnordpol.

Damit der Schatten auf dem Zifferblatt auch bei negativen Deklinationen der Sonne sichtbar ist, müsste ein ebenes Zifferblatt transparent sein. Das Zifferblatt wird daher im Allgemeinen auf einem halbkreisförmigen Band in der Äquatorebene angebracht.



**Horizontalsunnenuhr**

Bei einer Horizontalsunnenuhr liegt das Zifferblatt in der Horizontebene. Der Schattenstab ist zum Himmelsnordpol ausgerichtet, er bildet folglich mit der Horizontebene einen Winkel, der der geografischen Breite des Aufstellungsortes entspricht.



Das Zifferblatt ist nicht mehr gleichförmig aufgeteilt. Die Aufteilung kann aus der der Äquatorialsunnenuhr konstruiert werden, indem man den Schatten, den die Äquatorialsunnenuhr wirft bis zur Schnittgerade von Äquator- und Horizontebene verlängert und mit dem Anfang des Schattenstabes verbindet. Klappt man das Zifferblatt der Äquatorialsunnenuhr in die Horizontebene, so erhält man die dargestellte

Anordnung.

Zwischen den Radien der beiden Zifferblätter besteht die Beziehung  $\sin \varphi = r/R$ . Dabei ist  $\varphi$  die geografische Breite,  $r$  ist der Radius des Äquatorial- und  $R$  der Radius des Horizontalzifferblattes.

Ist  $\alpha$  der Winkel zwischen der t-Uhr- und der 12-Uhr-Linie auf dem horizontalen Zifferblatt und  $\alpha'$  der entsprechende Winkel auf dem äquatorialen Zifferblatt, so gilt:  $\tan \alpha = d/R$  und  $\tan \alpha' = d/r$

Daraus ergibt sich  $\tan \alpha = \sin \varphi \tan \alpha'$ .

Wegen  $\alpha' = 15/h (t - 12h)$  erhält man daraus die Winkel der einzelnen Stundenlinien des horizontalen Zifferblattes.



**Drachen- oder Hirtensonnenuhr**

Eine Drachensonnenuhr hat zwar die Form eines christlichen Kreuzes, jedoch keinerlei religiösen Bezug. Sie wird auch Hirtenuhr genannt.

Sie misst dem Datum entsprechend die Höhe der Sonne. Während des Mittelalters waren diese Uhren sehr geschätzt, da sie einfach im Gebrauch waren und ohne Kompass auskamen.

Es wird vermutet, dass diese Sonenuhrenart von Hermann dem Lahmen (1013-1054), einem Mönch von Reichenau am Bodensee, entwickelt wurde.

## Benutzung

Über dem Schwanz des Drachens ist ein graviertes, drehbarer Zylinder angebracht. Dieser wird gedreht, bis die Markierung am unteren Ende der Flügel auf das Datum zeigt. Dann wird der waagerechte Balken in die Sonne gedreht. Die Spitze des Schattens zeigt dann auf der Gravur die wahre Ortszeit an.



## Kompasssonnenuhr

Kompasssonnenuhren messen den Stundenwinkel der Sonne. Wird die Schachtel geöffnet, übernimmt ein Faden die Funktion des Zeigers. Die aufgeklappte Schachtel wird so ausgerichtet, dass die Kompassnadel nach Norden zeigt. Der Schatten auf der senkrecht stehenden Skala zeigt die wahre Ortszeit für 50° Nord, auf der waagerechten für 40° Süd. Das abgebildete Original stammt von 1745 mit der Inschrift «Je suis pour tous» (Ich bin für alle).

## World Wide Web-Astronomie

<http://sci.esa.int/>

ESA (Europäische Weltraumagentur), Bilder von Satelliten, Weltraumprogramme

<http://www.nasa.gov/>

NASA (Nationale Luft- und Raumfahrtbehörde der USA)

<http://spaceflight.nasa.gov/>

Raumfahrtaktivitäten der NASA

<http://www.hq.eso.org/toc/toc.html>

ESO (European Southern Observatory), Südsternwarte in Chile

<http://www.seti.org/>

SETI, Suche nach extraterrestrischem Leben

<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

SETI at home und wissenschaftliche Daten zu Radioteleskopen

<http://www.planetary.org/>

Erforschung des Sonnensystems

<http://skypub.com/>

"Sky & Telescope", Online-Zeitschrift

<http://members.ping.at/sonne/>

Planetarien und Urania-Sternwarte Wien

<http://www.phy.mtu.edu/apod/>

Astronomisches Bild des Tages

<http://www.kunskapsbolaget.com/DAHAP/>

Digitales Archiv mit historischen astronomischen Bildern

<http://www.wgl.de/>

Wissensgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e.V.

<http://www.fraunhofer.de/german/index.html>

Fraunhofer Gesellschaft