

Alexander Staidl

AstroSkript

Eine Einführung in die Astronomie

Teil 1: Ein erster Überblick

Version vom 11. September 2007

Inhalt

1 Überblick: Planeten, Sterne, Galaxien.....	4
1.1 Das Sonnensystem.....	4
1.1.1 Die Sonne.....	9
1.1.2 Der Merkur.....	10
1.1.3 Die Venus.....	12
1.1.4 Die Erde.....	14
1.1.5 Der Mars.....	19
1.1.6 Der Jupiter.....	20
1.1.7 Der Saturn.....	21
1.1.8 Der Uranus.....	22
1.1.9 Der Neptun.....	23
1.1.10 Der Pluto.....	24
1.2 Die Umgebung des Sonnensystems.....	24
1.3 Weitere Bestandteile und Ereignisse des Sonnensystems.....	28
1.3.1 Asteroiden und der Asteroidengürtel.....	28
1.3.2 Kometen.....	29
1.3.3 Mondfinsternisse.....	30
1.3.4 Sonnenfinsternisse.....	31
2 Beobachtung astronomischer Objekte.....	32
2.1 Orientierung am Nachthimmel.....	32
2.1.1 Sternbilder.....	32
2.1.2 Äquatoriales Koordinatensystem.....	33
2.1.3 Sternkarten.....	35
2.2 Wichtige Begriffe.....	35
2.2.1 Zenit.....	35
2.2.2 Ekliptik.....	36
2.2.3 Tierkreis.....	36
2.2.4 Elongation.....	36
2.2.5 Quadratur.....	36
2.2.6 Opposition und Konjunktion.....	36
2.2.7 Scheinbare und absolute Helligkeit.....	37
2.2.8 Virtuelle Planetarien.....	39
2.2.9 Universalzeit (UT), Mitteleuropäische Zeit (MEZ), Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ).....	41
2.3 Teleskope.....	41
2.3.1 Funktionsweise eines Linsenteleskops.....	41
Bikonvexlinsen im Strahlenmodell.....	42
Abbildungen mit Bikonvexlinsen.....	45
Funktionsweise eines Linsenteleskops.....	46
Das Öffnungsverhältnis eines Teleskops.....	50
Lichtsammelvermögen eines Teleskops.....	51
2.3.2 Linsenteleskope - Refraktoren.....	51
2.3.3 Vorbemerkung: Spiegelteleskope (Reflektoren).....	52
2.3.4 Das Newton-Teleskop.....	53
2.3.5 Schmidt-Cassegrain Teleskop.....	54
2.3.6 Maksutov-Cassegrain Teleskop.....	55
2.3.7 Teleskopmontierungen.....	55

Azimutale Montierung.....	56
Parallaktische Montierung.....	57
2.3.8 Das Okular.....	57
2.3.9 Spektroskopie.....	58
Spektralzerlegung.....	58
Spektralklassen.....	59
2.4 Cartes Du Ciel (CDC) - ein virtuelles Planetarium.....	60
2.4.1 Installation.....	60
2.4.2 Konfiguration.....	61
2.4.3 Handhabung.....	64
2.5 Tabellen.....	65
2.5.1 Liste der Sternbilder.....	65
2.5.2 Der Messier Katalog.....	67
2.5.3 Liste der Meteorströme.....	71
2.5.4 Mondfinsternisse 2007-2020	72
2.5.5 Sonnenfinsternisse 2007 - 2021.....	73
3 Sterne: Von der Geburt bis zum Tod.....	74
3.1 Physikalische Vorbemerkungen.....	74
3.1.1 Die vier Grundkräfte.....	74
Die Gravitationskraft:.....	74
Die elektrischen und magnetischen Kräfte (= elektromagnetische Wechselwirkungen).....	75
Die starke Kernkraft.....	76
Die schwache Kernkraft.....	76
Die vier Grundkräfte im Vergleich.....	76
3.1.2 Vorbemerkungen zur Thermodynamik.....	77
Wärmetransport.....	78
3.2 Die Entstehung von Sternen.....	79
3.2.1 Musterexemplare.....	83
3.2.2 Kernfusion und die Entwicklung zum stabilen Stern.....	84
Das Wasserstoffbrennen.....	85
3.3 Die weitere Entwicklung eines Sterns.....	86
Sterne mit geringer Masse (0,08 bis 0,26 Sonnenmassen).....	86
Sterne mit mittlerer Masse (0,26 - 2,5 Sonnenmassen).....	87
Sterne mit großer Masse (>2,5 Sonnenmassen).....	90
3.3.1 Schwarze Löcher.....	93
3.4 Besondere Sterne und Sternsysteme.....	96
3.4.1 Doppel- und Mehrfachsternsysteme.....	96
Optische Doppelsterne:.....	96
Physische Doppelsternsysteme:.....	96
3.4.2 Veränderliche Sterne.....	97
Optische Veränderliche:.....	97
Physische Veränderliche:.....	100
4 Lizenzen und Bildquellen.....	104
4.1 Verwendete Abbildungen und deren Lizenzen.....	104
4.2 Lizenz des AstroSkripts.....	110

1 Überblick: Planeten, Sterne, Galaxien

1.1 Das Sonnensystem

Unser Sonnensystem besteht aus einem Zentralstern, der Sonne, insgesamt acht Planeten einschließlich deren Monde und unzähligen Asteroiden und Kometen. Die Planeten bewegen sich wegen der anziehenden Wirkung der

Schwerkraft (=Gravitation) auf elliptischen Umlaufbahnen um die Sonne, die im nebenstehenden Bild als dünne Linien angedeutet sind.



Die Umlaufbahnen aller Planeten des Sonnensystems liegen ungefähr in einer Ebene. Auch die Sonne und die Erde befinden sich in dieser Ebene. Da wir auf der Erde Teil dieser Ebene sind, kann man bei nächtlichen Beobachtungen feststellen, dass sich alle beobachteten Planeten scheinbar entlang einer Linie am Firmament bewegen. Diese Linie nennt man *Ekliptik*.

Genau genommen gibt sie den Weg wieder, den die Sonne vor dem Sternenhintergrund im Laufe eines Jahres scheinbar verfolgt. Wir werden die Ekliptik im Kapitel 2 nochmal behandeln.

In Wirklichkeit bewegen sich die Planeten nur näherungsweise in einer Ebene. Die Bahnebenen der einzelnen Planeten weichen um geringe Differenzen voneinander ab. Das heißt sie sind in Wirklichkeit leicht zueinander geneigt. Den Neigungswinkel der Bahnebene eines Planeten zu der Bahnebene der Erde nennt sich *Inklination*, wir werden gleich genauer darauf eingehen.

Der Reihe nach - von der Sonne aus - lauten die Planeten:

Name	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	(Pluto)
Symbol		♀	⊕	♂	♃	♄	♅	♆	♇

Die Symbole dienen der schnellen Identifizierung der Planeten auf *Sternkarten*.

Die Reihenfolge der Planeten kann man sich mit folgender Eselsbrücke leicht merken:

"Mein Vater Erklärt Mir Jeden Samstag Unsere Neun (Planeten)"

Es sei noch erwähnt, dass am 24. August 2006 die Definition des Begriffs „Planet“ neu gefasst wurde. Pluto zählt danach nicht mehr zu den Planeten, sondern zu den Zwergplaneten. Wir werden ihn in diesem Text aus historischen Gründen weiterhin wie einen richtigen Planeten behandeln.

Sedna

Im Jahr 2003 wurde ein Felsbrocken mit einem beachtlichen Durchmesser von 1700 km in 90-facher Erdentfernung (von der Sonne) gesichtet, und schon bald breiteten sich Gerüchte aus, ein "zehnter Planet" sei entdeckt: *Sedna*.

In den Jahren darauf wurden weitere solche große Felsbrocken gefunden, die etwa so groß wie Pluto sind, und die Sonne im erheblichen Abstand umkreisen. Da man all diese Felsbrocken nicht zu den Planeten hinzu zählen wollte, wurden Stimmen laut, den Begriff „Planet“ neu zu definieren.

Am 24. August 2006 wurde daraufhin der Begriff „Zwergplanet“ für Objekte wie Sedna eingeführt. Als Pluto zählt mit der neuen Definition nicht mehr zu den Planeten, sondern ebenfalls zu den Zwergplaneten.

Das Sonnensystem bietet für Astronomie-Einsteiger eine Fundgrube an Objekten, die es sich zu beobachten lohnt:

Zum einen gibt es die Planeten, die sich bis auf wenige Ausnahmen leicht beobachten lassen. Insbesondere sind Mars, Jupiter und Saturn sehr beeindruckende Himmelskörper, die leicht aufzufinden sind und sogar mit kleineren Teleskopen und teilweise mit guten Ferngläsern beobachtet werden können. Zum anderen gibt es unzählige Asteroiden und Kometen, deren Bahn man verfolgen und aufzeichnen kann. Die Sonne darf nur mit spezieller Ausrüstung beobachtet werden, sonst droht Erblindungsgefahr!

Im Folgenden werde ich die Planeten des Sonnensystems vorstellen. Hierzu müssen zuvor noch einige Begriffe geklärt werden.

Wie bereits besprochen, bewegen sich die Planeten auf festen, elliptischen Bahnen um die Sonne (vgl. Skizze). Die Abweichung der Bahn eines Planeten von einer Kreisbahn nennt man **Exzentrizität**. Je kleiner die Exzentrizität eines Planeten ist, desto mehr ähnelt seine Umlaufbahn einem Kreis.

In den beiden rechten Darstellungen sind die Umlaufbahnen eines Planeten um das gelbe Zentralgestirn dargestellt. In diesem Fall hat, leicht sichtbar, die Bahn des oberen Planeten eine größere Exzentrizität als die Bahn des unteren.

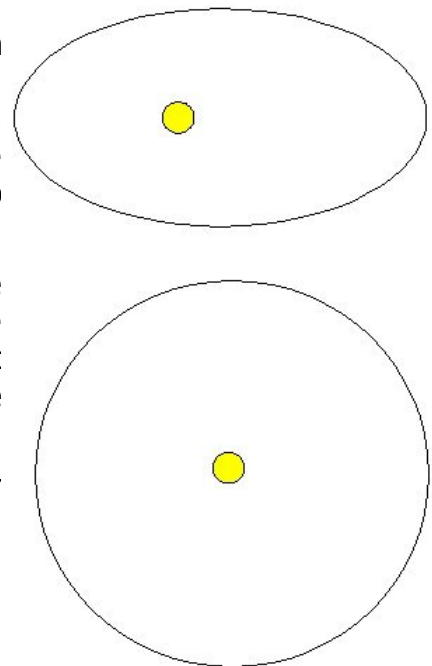
Man sieht insbesondere beim oberen Bild, dass der Abstand zum Zentralgestirn variiert. Daher wird im Folgenden immer nur der **mittlere Abstand** zum Planeten angegeben.

Die beiden Planetenbahnen im vorigen Bild sind in der **Draufsicht** gezeichnet. In dieser Ansicht blicken wir direkt von oben auf die Bahnebene des Planeten.

Wichtig ist nun noch die **seitliche Ansicht**: Wenn wir uns in der vorigen Darstellung die obere Planetenbahn nun vorstellen, und diese anschließend von der Seite aus betrachten, dann sieht die Bahn wie folgt aus:

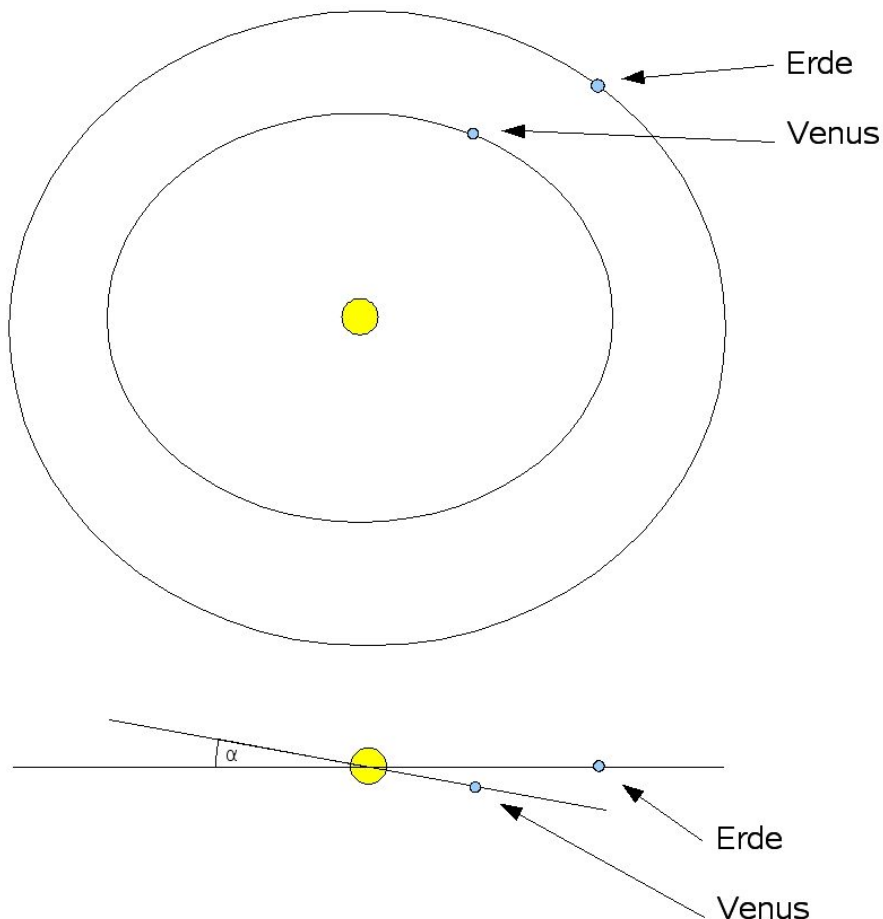


Dies ist die seitliche Ansicht auf eine elliptische Bahn. Aus dieser Skizze ist leicht erkennbar, dass der Abstand zum Zentralstern variiert: Der maximale Abstand links ist kleiner als der maximale Abstand rechts.



In der Draufsicht sieht man sehr gut die elliptische Form der Bahn. In der Seitenansicht ist dies anders: Würde man einen Planeten von der Seitenansicht aus beobachten, so würde er scheinbar um den Stern pendeln.

In der **Praxis** lässt sich dieses Pendeln sehr gut anhand der Jupitermonde beobachten: Die vier hellsten Monde des Jupiters lassen sich mit einem kleinen Teleskop oder einem guten Fernglas beobachten. Da man aber von der Erde aus nur seitlich auf die Bahnebene der Monde sehen kann, scheinen diese um Jupiter herum "hin und her" zu pendeln.



In allen soeben veranschaulichten Darstellungen kreist ein einziger Planet um einen Stern. In der Regel - und insbesondere in unserem Sonnensystem - gibt es aber mehrere Planeten, die um das Zentralgestirn kreisen. In der nun folgenden Darstellung habe ich die Planetenbahnen von der Erde und von Venus gezeichnet: Einmal in der Sicht auf die Erdbahnebene (Draufsicht), dann in der eben kennen gelernten seitlichen Sicht.

Dabei lässt sich der oben beschriebene *Neigungswinkel*

zwischen Erd- und Venusbahn sehr gut veranschaulichen:

Erst die seitliche Ansicht offenbart den Neigungswinkel zwischen den Bahnebenen. Ich habe ihn hier α genannt.

Im Fall von Erde und Venus ist der Winkel $\alpha = 3,4^\circ$. Man sagt, die **Inklination** beträgt $3,4^\circ$. Die Inklination der Bahnebene der Venus ist also relativ klein. Im Vergleich dazu beträgt der Winkel zwischen der Bahnebene des Pluto und der der Erde $17,2^\circ$. Die geringste Inklination hat die Bahnebene des Uranus mit $0,8^\circ$.

Die genauen Werte für die einzelnen Planeten sind in den später folgenden Tabellen angegeben.

Wichtig:

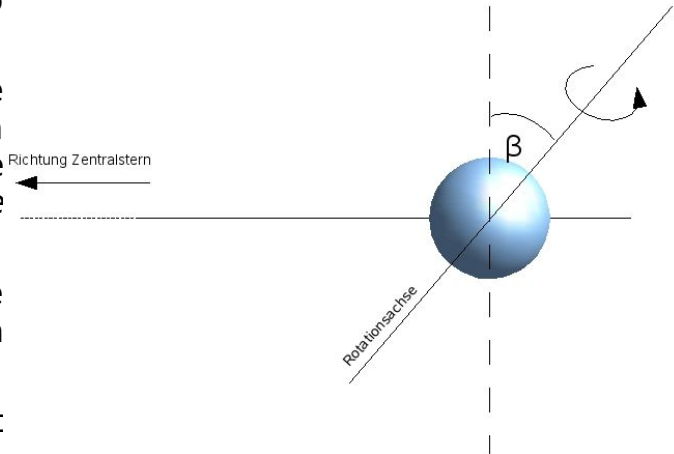
Ein Jahr ist die Zeit, die der Planet Erde benötigt, um seine Bahn einmal zu durchlaufen. Im Laufe eines Jahres dreht sich die Erde um die Sonne; Nach einem Jahr befindet sich die Erde auf ihrer Bahn an der gleichen Stelle wie vor diesem einen Jahr.

Für den Begriff *Rotationsachse* (oder *Drehachse*) sowie dessen Neigung ist in der nächsten Zeichnung ein Planet und seine Bahnebene in der Seitenansicht vergrößert dargestellt. Der Zentralstern befindet sich außerhalb der Zeichnung.

Planeten umkreisen nicht nur die Sonne, sondern drehen sich auch um ihre eigene Achse (vgl. Bild). Diese Achse nennt man *Rotationsachse* oder auch *Drehachse*.

Man muss sich den Planeten um die gekennzeichnete Achse rotieren denken.

Die gestrichelte Linie steht senkrecht auf der Bahnebene und geht durch den Mittelpunkt des Planeten. Der zwischen der gestrichelten Linie und der Rotationsachse eingezeichnete Winkel β gibt die Neigung der Rotationsachse relativ zur Bahnebene an. Sie beträgt bei der Erde $23,5^\circ$.

**Sonnen- und Sternentage**

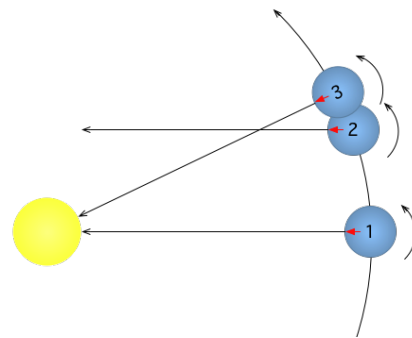
Wir betrachten nun die Rotation eines Planeten, zum Beispiel der Erde, um die eigene Achse anhand des folgenden Bildes:

Während sich der Planet um seine eigene Achse dreht, bewegt er auf der Bahn um die Sonne ein Stück weiter. Das Bild zeigt drei verschiedene Zeitpunkte des Planeten auf seiner Bahn.

Die Zeit, die ein Planet benötigt, um sich einmal vollständig um seine Achse zu drehen nennt man **Sternentag** (1-->2).

Aufgrund seiner Bahnbewegung ist in 2 nicht mehr exakt die gleiche Seite des Planeten der Sonne zugewandt wie in 1. Die Zeitdauer, die der Planet benötigt damit wieder die gleiche Hälfte der Sonne zugewandt ist, nennt man **Sonnentag** (1-->3).

Ein Tag auf der Erde, wie er im Sprachgebrauch üblich ist, ist ein Sonnentag. Er dauert länger als ein Sternentag.



Zum Schluss noch eine wichtige Definition:

Definition: Die Astronomische Einheit (AE)

Man bezeichnet die mittlere Entfernung von der Erde bis zur Sonne als Astronomische Einheit. Dies ist ein gängiges Längenmaß innerhalb des Sonnensystems.

Die Astronomische Einheit wird mit AE abgekürzt.

1 AE = 149 597 870 691 m

Beispiel:

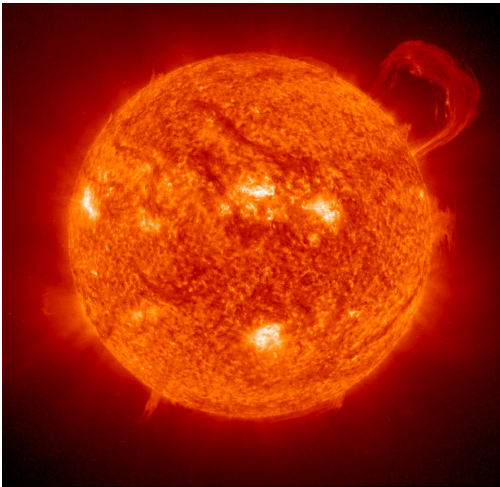
Der Asteroid Sedna befindet derzeit sich in 90-facher Entfernung Erde-Sonne. Er ist also 90 AE von uns entfernt.

Soweit die Theorie. Im Folgenden werden die Himmelskörper unseres Sonnensystems kurz vorgestellt. Die wichtigsten Daten werden in Form einer Tabelle festgehalten:

Erklärung des Tabelleninhalts:

Durchmesser	Durchmesser des Planeten
mittl. Abstand	Mittlerer Abstand zur Sonne
Exzentrizität	Abweichung der Umlaufbahn um die Sonne von der Kreisbahn
Inklination	Winkel zwischen der Bahnebene des Planeten und der Bahnebene der Erde
Umlaufdauer	Dauer, bis der Planet einmal die Sonne umkreist hat.
Orbitalgeschwindigkeit	Geschwindigkeit, mit der sich der Planet relativ zur Sonne bewegt.
Rotationsperiode	Ein Sterntag
Neigung der Drehachse	Winkel zwischen der Drehachse des Planeten und der Senkrechten zur Bahnebene.
Masse	Die Masse des Planeten
Dichte	Die Dichte (Masse pro Volumen) des Planeten.
Temperatur	(Durchschnitts-)temperatur auf der Planetenoberfläche

1.1.1 Die Sonne



Durchmesser	1,4 Mio. km
mittl. Abstand	-
Exzentrizität	-
Inklination	-
Umlaufdauer	-
Orbitalgeschwindigkeit	-
Rotationsperiode	27-31 Tage
Neigung der Drehachse	0°
Masse	$2,0 \cdot 10^{30}$ kg
Dichte	1,41 g/cm ³
Temperatur	5700°C Oberfläche

Die Sonne ist ein mittelgroßer Stern und sitzt im Zentrum unseres Sonnensystems. Alles Leben auf unserer Erde und viele Vorgänge im Sonnensystem hängen ab von der Energie, die sie abstrahlt.

Die in ihr ablaufenden Prozesse (wir werden sie im Abschnitt 1.3 näher behandeln) sorgen für eine permanente Umwandlung von Masse in Strahlungsenergie. Die Energiemengen sind derart gigantisch, dass die gesamte Oberfläche der Sonne übersät ist von Materieausbrüchen.

Dadurch entstehen sogenannte *Protuberanzen*: Materie wird mehrere hunderttausend Kilometer in das Weltall geschleudert und gelangt aufgrund starker Magnetfelder im hohen Bogen auf die Sonnenoberfläche zurück (vgl. Foto).

Ein Teil der Materie wird mit solcher Wucht in das All befördert, dass sie nie mehr zur Sonne zurückkehrt. Auf diese Weise verliert die Sonne pro Sekunde etwa eine Millionen Tonnen ihrer Masse. Die nicht mehr zurückkehrende Materie nennt man *Sonnenwind*, da sie mit Geschwindigkeiten von 400 bis 900 Kilometern pro Sekunde von der Sonne weg durch das Sonnensystem fegt. Es handelt sich bei dieser Materie um Elektronen, Protonen und Heliumatomkerne.

Information

Ein Mensch würde den Kontakt mit Sonnenwind nicht überleben. Wie weiter unten geschildert, ist die Erdoberfläche durch das Magnetfeld der Erde vor dem Sonnenwind geschützt.

Häufig wird der Funkkontakt zu Satelliten durch den Sonnenwind gestört. In zwei Fällen sorgte sogar ein besonders starker Materieausbruch auf der Sonne indirekt für einen Ausfall des Stromnetzes der USA.

Polarlichter entstehen durch in die Atmosphäre eindringenden Sonnenwind.

Die Masse der Sonne setzt sich aus 73,5% Wasserstoff, 25% Helium und einen geringen Teil schwererer Elemente zusammen. Ihre Oberflächentemperatur beträgt 5700°C.

Beispiel: Wie oft würde die Erde in die Sonne passen? (Eine Volumenbetrachtung)

Sowohl Erde als auch Sonne haben kugelförmige Gestalt. Also lassen sich deren Volumina leicht aus deren Durchmesser berechnen.

$$R_E = \frac{1}{2} \cdot 12756 \text{ km} = 6378 \text{ km} \Rightarrow V_E = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_E^3 \approx 1,09 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$$

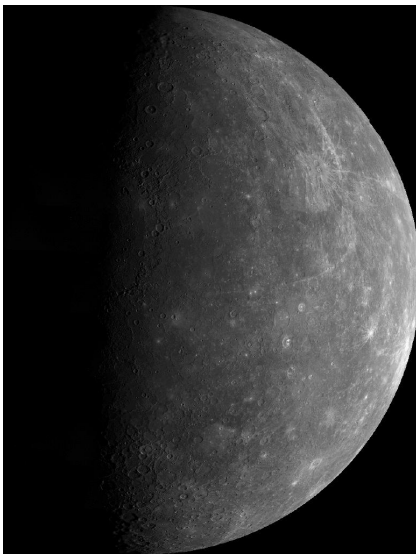
$$R_S = \frac{1}{2} \cdot 1400000 \text{ km} = 700000 \text{ km} \Rightarrow V_S = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_S^3 \approx 1,44 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$$

Wir rechnen jetzt aus, wie oft das Erdvolumen in das Sonnenvolumen passt:

$$N = \frac{V_S}{V_E} = \frac{1,44 \cdot 10^{18} \text{ km}^3}{1,09 \cdot 10^{12} \text{ km}^3} \approx 1321101$$

Also passt das Erdvolumen etwa 1,3 Millionen mal in das Sonnenvolumen.

1.1.2 Der Merkur



Merkur ist der innerste Planet des Sonnensystems. Auf Photos ähnelt der Planet unseren Mond: Aufgrund der fehlenden Atmosphäre schlugen in der Vergangenheit sämtliche Gesteinsbrocken ungebremsst auf ihn ein und verursachten eine endlose Kraterwelt.

Wegen der geringen Masse des Merkur und aufgrund seiner Nähe zur Sonne und des damit verbundenen starken Sonnenwindes, konnte der Planet keine Atmosphäre halten.

Auf der von der Sonne beschienenen Seite steigt die Temperatur auf über 430°C an, um auf der Nachtseite auf -180°C abzufallen.

Grund für diese große Temperaturdifferenz ist zum einen die fehlende Atmosphäre, was dafür sorgt, dass die Wärme ungehindert in das Universum "abstrahlt". Zum anderen liegt dies an seiner langen Rotationsperiode: Der "Merkur-Tag" dauert rund 60 Erddage.

Der Merkur steht durch seiner Nähe zur Sonne unter einem besonders starken Einfluss ihrer Gravitation. Diese hat seine Eigendrehung im Laufe der Jahrmilliarden abgebremst. Die gravitativ bedingten Kräfte, der hierfür verantwortlich sind, nennen sich *Gezeitenkräfte*.

Durchmesser	4878 Kilometer
mittl. Abstand	57,9 Mio
Exzentrizität	0,2056
Inklination	7,0°
Umlaufdauer	87,87 Tage
Orbitalgeschwindigkeit	47,8 km/s
Rotationsperiode	58,65 Tage
Neigung der Drehachse	0°
Masse	$3,3 \cdot 10^{23} \text{ kg}$
Dichte	5,43 g/cm ³
Temperatur	-180 bis 430°C
Anzahl der Monde	0

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts lieferte die Bahn des Merkur einen wichtigen Beitrag zur Bestätigung der allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein.



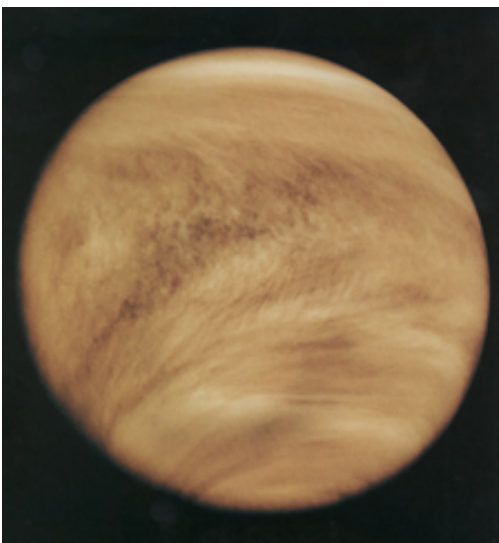
Merkur gehört zu den vier *inneren Planeten*, die sich insbesondere durch ihre große Dichte von den *Gasplaneten* wie Jupiter oder Saturn unterscheiden.

Der Größenunterschied zwischen Merkur und Erde wird besonders im direkten Vergleich sichtbar.

Im nebenstehenden Bild wurde der Planet Merkur maßstabsgerecht neben die Erde gesetzt.

Der Durchmesser der Erde ist etwa zweieinhalb mal so groß wie der des Merkur.

1.1.3 Die Venus



Durchmesser	12104 km
mittl. Abstand	108,2 Mio. km
Exzentrizität	0,0068
Inklination	3,4°
Umlaufdauer	224,4 Tage
Orbitalgeschwindigkeit	35,0 km/s
Rotationsperiode	243,1 Tage
Neigung der Drehachse	177,4°
Masse	$4,8 \cdot 10^{24}$
Dichte	5,24 g/cm ³
Temperatur	470°C
Anzahl der Monde	0

Die Venus ist der innere Nachbarplanet der Erde. Sie ist nur etwas kleiner als die Erde und hat eine ähnliche Dichte, was für einen vergleichbaren inneren Aufbau des Planeten spricht. Zudem besitzt die Venus eine dichte, wolkenbehängene Atmosphäre. Kein Wunder also, dass man vor 50 Jahren die Venus für einen außerordentlich fruchtbaren Planeten gehalten hat. Doch hatte man sich verschätzt:

Der auf der Venus herrschende Atmosphärendruck ist 90 mal so groß wie der Druck auf der Erde. Die ersten Sonden (Venera 5, Venera 6; 1969) waren dafür nicht ausgelegt; ihre Instrumente hielten dem hohen Druck nicht stand. Erst Venera 7 gelang im Dezember 1970 eine erfolgreiche Landung auf dem Planeten. Nach rund zwei Stunden gab sie den Geist auf, da der Niederschlag, der auf der Venus aus hochkonzentrierter Schwefelsäure besteht, die Sonde zerstörte.

Die Venusatmosphäre besteht zu 96% aus Kohlendioxid. Die hohe Temperatur

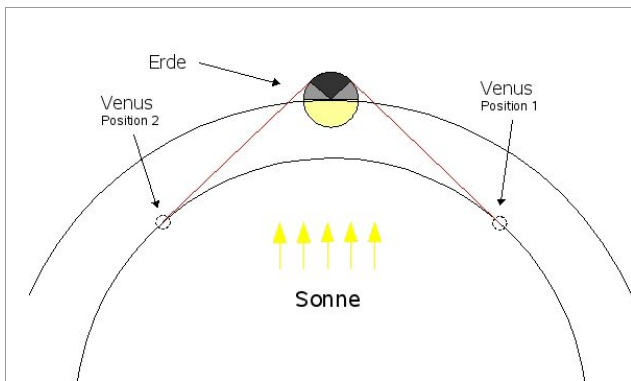
auf der Venusoberfläche kommt durch den dadurch verursachten Treibhauseffekt zustande.

Rechts befindet sich eine Radar-Aufnahme der NASA-Magellan-Mission. Sie zeigt einen zum Zeitpunkt der Aufnahme einen aktiven, 5 Kilometer breiten Vulkan. Die durch den Ausbruch entstandene Wolke ist etwa 35 Kilometer lang und 10 Kilometer breit.



Im Volksmund die Venus auch unter dem Namen *Morgenstern* oder auch *Abendstern* bekannt. Die Bezeichnung ist irreführend, da es sich bei der Venus um keinen Stern handelt.

Die Venus ist aber, genauso wie der Merkur, tatsächlich nur am frühen Morgen oder am späten Abend beobachtbar. Nie jedoch kann man sie zu Mitternacht sehen. Das hat folgenden Grund:



Wie man in der Illustration sieht, befindet sich die Venus niemals "hinter" dem Planet Erde. Daher ist sie auch nie um Mitternacht sichtbar.

Die Venus lässt sich nur von dem grau markierten Bereich der Erde aus beobachten. Dabei sieht man sie in Position 1 als Abendstern, in Position 2 als Morgenstern.

Beobachtet man den Planet von der Erde aus über einen längeren Zeitraum hinweg, so sieht man ihn um die Sonne "pendeln", da wir seitlich auf die Bahnebene der Venus schauen.

1.1.4 Die Erde



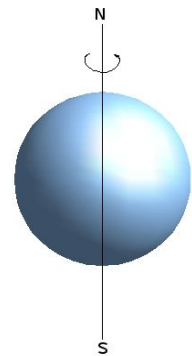
Die Erde ist (von der Sonne aus) der dritte Planet des Sonnensystems. Zudem ist sie der einzige Planet, auf dem sich nach heutiger

Durchmesser	12756 km
mittl. Abstand	149,6 Mio. km
Exzentrizität	0,0016
Inklination	0°
Umlaufdauer	365,256 Tage
Orbitalgeschwindigkeit	29,8 km/s
Rotationsperiode	1 Tag
Neigung der Drehachse	23,5°
Masse	$6 \cdot 10^{24}$ kg
Dichte	5,52 g/cm ³
Temperatur	16°C
Anzahl der Monde	1

Kenntnis intelligente Lebensformen gebildet haben.

Die Erdatmosphäre besteht zu 78% aus Stickstoff, 21% Sauerstoff sowie geringe Anteile anderer Gase. Darunter auch die Gase Kohlendioxid und Methan, welche zum sogenannten *natürlichen Treibhauseffekt* beitragen: Sie reflektieren Teile der von der Erde ausgehenden Wärmestrahlung und sorgen auf diese Weise für eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um schätzungsweise 30°C.

Der Neigungswinkel der Rotationsachse beträgt 23,5°. Nord- und Südpol sind durch diese Achse festgelegt: Sie markieren die gedachten Schnittpunkte von Rotationsachse und Erdoberfläche.

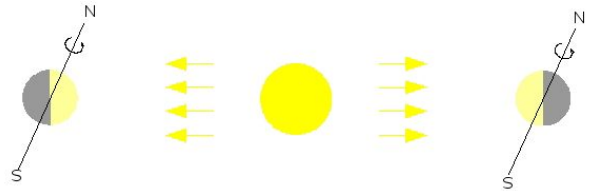


Die Jahreszeiten

In einem Jahr bewegt sich die Erde einmal um die Sonne. Dabei zeigt die Rotationsachse der Erde jedoch stets in die selbe Richtung. Die Illustration unten zeigt die Erde aus der seitlichen Sicht in zwei verschiedenen Stellungen: Links ist deutlich zu sehen, dass der Nordpol der Sonne stärker zugewandt ist, als der Südpol. Folglich ist es auf der Nordhalbkugel zu diesem Zeitpunkt wärmer als auf der Südhalbkugel. So entsteht der Sommer.

Rechts zeigt die Erde ein halbes Jahr später: Sie hat eine halbe Umdrehung um die Sonne gemacht und befindet sich jetzt auf der anderen Seite. Die Rotationsachse hat ihre Richtung jedoch beibehalten: Folglich wird, wie auch deutlich sichtbar, die südliche Halbkugel stärker von der Sonne bestrahlt als die Nördliche. Im Norden ist jetzt Winter.

Genau genommen ändert sich jeweils der Winkel der Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche. Bei spitzerem Winkel zwischen Sonneneinstrahlung und Erdoberfläche trifft dabei die gleiche Strahlungsleistung auf eine größere Fläche – pro Fläche fällt also weniger Strahlungsleistung ein. Dadurch verringert sich die Temperatur in dem betreffenden Gebiet auf der Erdoberfläche.



Die Erde dreht sich einmal in etwa 365.25 Tagen um die Sonne. Diesen Zeitraum nennen wir *ein Jahr*. Unser Kalender zählt jedoch nur 365 Tage pro Jahr, also rund 0.25 zu wenig.

Dies wird dadurch ausgeglichen, dass alle vier Jahr ein zusätzlicher Tag dazugezählt wird. Das entsprechende Jahr hat dann 366 Tage und wird *Schaltjahr* genannt.

Der innere Aufbau der Erde

Im Laufe des 20. Jahrhunderts haben Geophysiker, durch die Beobachtung der von Erdbeben ausgelösten Druckwellen, sehr genau den inneren Aufbau des Planeten bestimmt:

Die durch Erdbeben zustandekommenden Druckwellen pflanzen sich nämlich durch die gesamte Erde hindurch fort und werden von den Wissenschaftlern durch auf dem ganzen Erdball verteilte Messstationen registriert.

Anfangs glaubte man, die Erde sei ein riesiger, massiver, fester Körper. Doch die Messungen der Wissenschaftler brachten erstaunliche Tatsachen ans Tageslicht:

Man stellte fest, dass sich durch den Erdkörper hindurch fast ausschließlich sogenannte *Longitudinalwellen* ausbreiten können. Das sind Wellen, deren Amplituden in Ausbreitungsrichtung zeigen. Sogenannte *Transversalwellen* (also Wellen, deren Amplituden senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen) werden sehr stark abgeschwächt. Das sind typische Eigenschaften einer Flüssigkeit. Folglich sind große Teile des Erdinneren flüssig.

Zerfallende radioaktive Stoffe sorgen für eine ungeheure Hitze, die das Erdinnere zum schmelzen bringt. Die zerfallenden radioaktiven Elemente befinden sich (da sie eine sehr große Dichte besitzen) zum großen Teil in der Nähe des Erdmittelpunktes.

Die Flüssigkeit im Erdinneren wird durch die beim Zerfall freigesetzte Energie erhitzt. Dabei dehnt sich die Flüssigkeit etwas aus, wodurch sich ihre Dichte verringert und steigt daher in die äußeren Bereiche des Erdkerns auf um dort ihre Wärme an die Umgebung abzugeben. Die Dichte nimmt hier also wieder zu. In Folge dessen sinkt die abgekühlte Flüssigkeit wieder nach unten. Der Kreislauf kann von neuem beginnen.

Die hierbei auftretenden Flüssigkeitsströme nennt man *Konvektionsströme*. Sie sind nach heutiger Auffassung Hauptursache des Erdmagnetfeldes.

Das gleiche Prinzip der Konvektion steckt übrigens hinter den beliebten "Lava-Lampen", die überall im Handel erhältlich sind. Nur dass hier die Wärme nicht direkt durch radioaktiven Zerfall entsteht, sondern durch eine sich erhitzende Glühbirne.

Weiter hatte man beobachtet, dass die Druckwellen im bestimmten Winkel gespiegelt werden. Daraus schloss man, dass es im Erdinneren noch einen kleinen und festen Kern geben muss, an dem sich die Wellen reflektieren.

Insgesamt ergibt sich folgendes Bild:

Wir dringen dabei von der Erdoberfläche immer tiefer bis hin zum Mittelpunkt der Erde vor.

0-40 km: *Erdkruste* aus Gestein und Elementen geringer Dichte wie Aluminium, Kalzium.

40- 2900 km: *Erdmantel* aus Magnesium-Eisen-Silikat. Mit zunehmender Tiefe aufgrund der größer werdenden Hitze zunehmend plastisch (verformbar).

2900-5100 km: *Äußerer Kern*, flüssig. Bestehend hauptsächlich aus Eisen und Nickel.

5100-6371 km: *Innerer Kern*, fest. Gleiche Zusammensetzung wie äußerer Kern

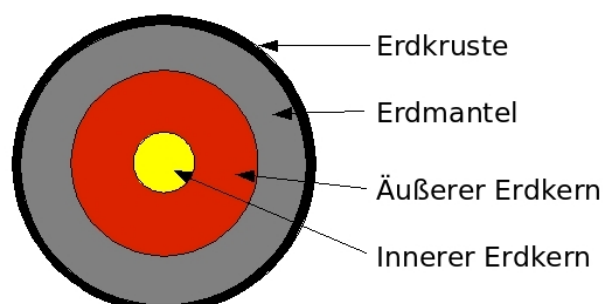
Innerer und äußerer Kern bestehen aus dem gleichen Material. Der Grund, weshalb der äußere flüssig und der innere plötzlich fest ist, liegt an dem mit wachsender Tiefe steigendem Druck. Dieser wird in einer Tiefe von etwa 5100 km so groß, dass sich die Materie trotz hoher Temperaturen verfestigt.

Alle vulkanischen und tektonischen Aktivitäten der Erde (wie etwa die Kontinentalbewegung) lassen sich durch das flüssige Erdinnere erklären.

Bei Vulkanausbrüchen tritt ein Teil des flüssigen Erdinneren an die Erdoberfläche.

Die Kontinentalbewegung kann man verstehen, wenn man sich vorstellt, dass die Erdkruste im Grunde auf dem flüssigen äußeren Kern der Erde schwimmt. Dabei verschieben sich die Kontinente gegeneinander.

Schema: Erdaufbau

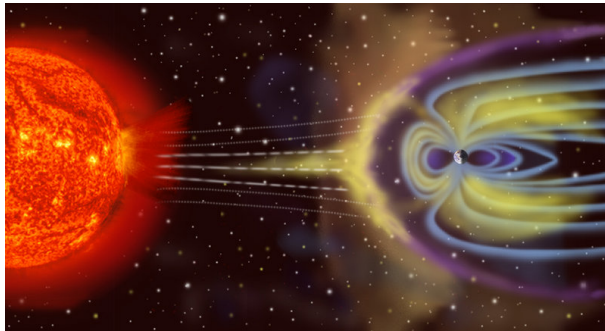


Das Magnetfeld der Erde

Die Erde wird vollständig von einem relativ konstantem Magnetfeld umgeben. Der *magnetische Südpol* befindet sich dabei in der Nähe des Nordpols, der *magnetische Nordpol* wiederum in der Nähe des Südpols. Diese Eigenschaft wurde schon vor Jahrhunderten, insbesondere in der Seefahrt, zur Orientierung benutzt: Kompassnadeln richten sich entlang des Erdmagnetfeldes aus. Und sogar einige Zugvögel haben ein Organ zur Orientierung am Magnetfeld.

Das Magnetfeld der Erde erfüllt noch einen anderen sinnvollen Zweck:

Wie eingangs erwähnt, gehen von der Sonne in alle Richtungen Teilchen aus, die mit enorm hoher Geschwindigkeit durch das Sonnensystem fegen. Kein höher entwickeltes Lebewesen könnte auf der Erde existieren, wenn dieser *Sonnenwind* ungehindert bis zur Erdoberfläche gelangen würde.



Zum Glück aber sind die Teilchen nicht elektrisch neutral. Geladene Teilchen (wie Elektronen, Ionen, Atomkerne,...) werden nämlich bei der Bewegung durch ein Magnetfeld seitlich abgelenkt.

Dies geschieht auch mit dem Sonnenwind: Das Magnetfeld der Erde wirkt wie ein Schutzschild und bewirkt, dass der Sonnenwind nicht bis auf die Erdoberfläche dringt, sondern seitlich weggedrückt wird. Dadurch entsteht eine Verformung des Magnetfeldes, wie sie in der

NASA-Illustration dargestellt ist.

Die Ursache des Erdmagnetfeldes ist noch nicht vollständig erforscht. Heute nimmt man an, dass Konvektionsströmungen im Erdinneren in Verbindung mit der Erdrotation zu großen elektrischen Strömen im flüssigen Eisenkern der Erde führt, von denen dann das Erdmagnetfeld herrührt.

Durch Messungen an erstarrter Magma fand man heraus, dass das Erdmagnetfeld im Mittel alle 250000 Jahre zusammenbricht und sich anschließend (nach einer Pause von einigen hundert Jahren) mit umgedrehter Polung wieder aufbaut. Die letzte Umpolung dieser Art fand vor 730000 Jahren statt, und die Wissenschaftler gehen davon aus, dass die nächste Umpolung in den nächsten eineinhalb bis zweitausend Jahren stattfindet. So nahm das Magnetfeld in den letzten 200 Jahren bereits um 10% ab. Doch welche Konsequenzen hätte ein Verschwinden des Erdmagnetfeldes für die Menschen? Würde die Erde unbewohnbar werden?

Neuere Simulationen der Erdatmosphäre zeigen, dass ein Verschwinden des Erdmagnetfeldes und damit das Auftreffen des Sonnenwindes auf die äußeren Atmosphärenschichten der Erde ein "eigenes" Magnetfeld in unserer Atmosphäre erzeugt, welches annähernd die Stärke unseres jetzigen Erdmagnetfeldes besitzt und ein tieferes Eindringen in die Erdatmosphäre verhindert. Dies wollen wir qualitativ verstehen:

Sonnenwind besteht hauptsächlich, wie oben erwähnt, aus positiv geladenen Protonen und Heliumkernen sowie aus negativ geladenen freien Elektronen. Nun haben Protonen und Heliumkerne eine wesentlich größere Masse als die Elektronen. Beim Auftreffen auf die Erdatmosphäre hat das den Effekt, dass die negativ geladenen Elektronen wesentlich stärker von der Atmosphäre zurückgehalten werden als die trägen positiven Ladungsträger. Die Folge ist: Die positiven Ladungsträger dringen auf Anhieb tiefer in die Erdatmosphäre ein als die negativen, wodurch ein Strom an positiven Ladungen entsteht. Der wiederum erzeugt ein schützendes Magnetfeld.

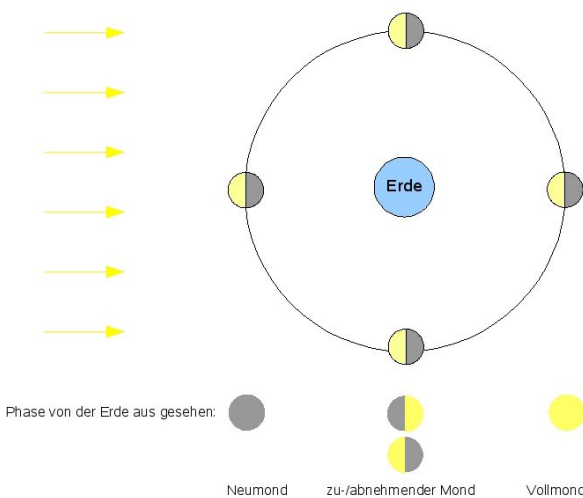
Dieser Effekt wurde bereits an der Venusatmosphäre beobachtet: Die Venus hat, im Gegensatz zur Erde, kein eigenes Magnetfeld. Auf der sonnenzugewandten Seite entsteht jedoch durch eben beschriebene Vorgänge tatsächlich ein Magnetfeld, durch das ein tieferes Eindringen des Sonnenwindes in die Atmosphäre der Venus verhindert wird.

Unser Mond

Der Mond ist das einzige Objekt am Nachthimmel, auf dem ohne zusätzliche Hilfsmittel Strukturen wahrgenommen werden können. Er ist zugleich der erste Himmelskörper außerhalb der Erde, der von Menschen betreten wurde.

Tip: Der Vollmond eignet sich nicht für Beobachtungen mit einem Fernglas oder Teleskop. Bei Halbmond lassen sich jedoch bereits Kraterstrukturen und Schattenwürfe von Erhebungen auf dem Mond sichtbar machen.

Der Mond zeigt im 29-tägigem Rythmus seine sogenannten Mondphasen. Ihr Zustandekommen ist im folgenden Bild anhand von vier eingezeichneten Mondphasen illustriert:



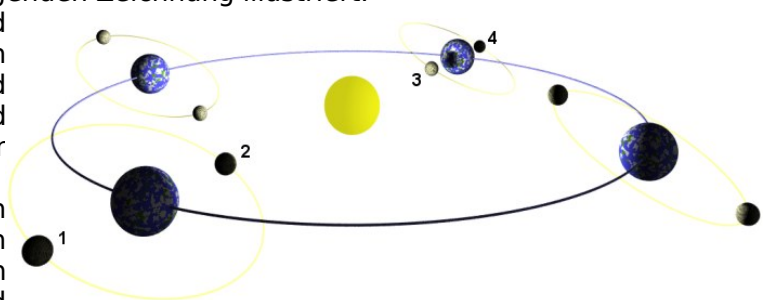
Durchmesser	3476 km
mittl. Abstand zur Erde	384401 km
Exzentrizität	0,0549
Inklination	5,14°
Umlaufdauer um die Erde	27,322 Tage
Orbitalgeschwindigkeit	1,03 km/s
Rotationsperiode	27,322 Tag
Neigung der Drehachse	1,3°
Masse	$7,35 \cdot 10^{22}$ kg
Dichte	3,345 g/cm ³
Temperatur	-130° bis +120°C

In seltenen Fällen, wenn der Mond exakt zwischen Erde und Sonne steht, wirft er seinen Schatten auf Teile der Erde. Dieses Ereignis nennt man *Sonnenfinsternis*. Auch das Gegenteil lässt sich beobachten: Der Eintritt des Mondes in den Erdschatten. Hier kann man eine *Mondfinsternis* beobachten.

Die beiden Ereignisse sind in der folgenden Zeichnung illustriert:

Hier wird deutlich, dass aufgrund des Neigungswinkels der Mondbahn zur Erdbahn nicht jeder Neumond eine Sonnenfinsternis bedeutet und der Vollmond nicht immer mit einer Mondfinsternis einherzieht.

Mondfinsternisse sind nur in Position 1 und 4, Sonnenfinsternisse in Position 2 und 3 möglich: In diesen Situationen liegen Sonne, Erde und Mond in einer Linie.



Die Entstehung des Mondes ist bis heute ungeklärt. Durch das im Rahmen der Apollo-Mission zur Erde gebrachte Mondgestein und dessen eingehenden Untersuchung auf der Erde stellte man gewisse Ähnlichkeiten bezüglich des Mondgesteins und des Gesteins der Erdkruste fest. Seitdem hat sich unter vielen Wissenschaftlern folgendes Entstehungsszenario durchgesetzt: Vor etwa 4,5 Milliarden Jahren soll ein Marsgroßer Planet die Erde gestriffen haben. Zu diesem Zeitpunkt war die Erde noch flüssig. Aus den bei dieser Berührung entstandenen Trümmern soll sich dann der Mond gebildet haben.

Diese Theorie ist alles andere als unumstritten. Der marsgroße Planet, der die Erde gestriffen haben soll, wurde noch nicht gefunden.

1.1.5 Der Mars



Durchmesser	6794 km
mittl. Abstand	227,9 Mio. km
Exzentrizität	0,0934
Inklination	1,5°
Umlaufdauer	686,98 Tage
Orbitalgeschwindigkeit	24,1 km/s
Rotationsperiode	1,03 Tage
Neigung der Drehachse	24°
Masse	$6,4 \cdot 10^{23}$ kg
Dichte	3,93 g/cm ³
Durchschnittstemperatur	-60°C
Anzahl der Monde	2

Der Mars ist der nach der Erde am Besten erforschte Planet des Sonnensystems. Das hat zwei einfache Gründe: In den 60ern und 70ern wurde das Interesse an dem Planeten durch den Gedanken beflügelt, dass auf ihm außerirdische Lebensformen existieren oder zumindest existiert haben könnten. Genauer: Es wurden Strukturen auf der Marsoberfläche beobachtet, die darauf hinweisen, dass es auf Mars einmal größere Mengen Wasser (und damit eine der Grundlage biologischen Lebens) gegeben haben muss.

Darauf hin startete die NASA zunächst 1965 die Sonde Mariner 4, die die Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmte, dann elf Jahre später die beiden Viking-Sonden, die Bodenproben auf verschiedensten Arten und Weisen auf biologische Aktivität untersuchten. Als kein Hinweis auf Leben gefunden wurde, geriet der Mars zunächst Vergessenheit.

Bis in den 90er Jahren die Vorstellung einer menschlichen Besiedelung des Mars den Planet erneut in den Blickpunkt rückte. Denn nachdem man feststellte, dass die Venus für Menschen unbewohnbar ist, der Merkur zu nah und alle anderen Planeten zu fern von der Sonne sind, schien der Mars als aussichtsreichster Kandidat für eine solches Unternehmen. So gab es seit 1992 rund ein dutzend Marsmissionen, die vor allem weitere Details im Bereich der Erkundung der Oberfläche, der tieferen Gesteinsschichten und des Klimas in der Marsatmosphäre erforschten.

Das rechte Bild zeigt eine Panoramaaufnahme der Pathfinder-Mission.



Sowohl in der NASA als auch in der europäischen ESA gibt es Bemühungen, in einem staatenübergreifenden Projekt bis zum Jahr 2030 die erste bemannte Marsmission zu starten.

Auffällig ist die rötliche Färbung des Marsgesteins. Ein Großteil der Marsoberfläche besteht nämlich aus Eisenoxid - also Rost. Seine Atmosphäre ist sehr dünn und besteht aus 97% Kohlendioxid und rund 3% Stickstoff.

Häufig kommt es in der Marsatmosphäre zu Stürmen, die den ganzen Planeten

umfassen. Dabei wird soviel Staub aufgewirbelt, dass man zeitweise von der Erde aus kaum noch die Strukturen der Marsoberfläche sehen kann. Solche Stürme dauern oft Wochen an.

Zu den Strukturen zählen die Polkappen des Mars, die, wie auch auf obigem Foto, häufig von einer Trockeneisschicht bedeckt sind. Trockeneis ist gefrorenes Kohlendioxid.

In der Nacht zeigt sich der Mars als ein helles, rot leuchtendes Objekt.

Eine genauere Beobachtung des Planeten Mars lohnt sich vor allem mit besseren Teleskopen. Auch seine beiden kleinen Monde lassen sich aufgrund ihrer geringen Größe nicht beobachten.

Mit einem besseren Teleskop (ab 8 Zoll) kann man bereits Marsstrukturen sowie die Polkappen des Mars erkennen. Wenn man Glück hat, kann man dabei einen der eben erwähnten Stürme miterleben, bei denen die ganze Oberfläche des Planeten durch eine riesige Staubwolke über Wochen hinweg vernebelt wird.

1.1.6 Der Jupiter



Durchmesser	143600 km
mittl. Abstand	778,3 Mio. km
Exzentrizität	0,0482
Inklination	1,3°
Umlaufdauer	11,86 Jahre
Orbitalgeschwindigkeit	13,1 km/s
Rotationsperiode	0,41 Tage
Neigung der Drehachse	3,1°
Masse	$1,9 \cdot 10^{27}$ kg
Dichte	1,31 g/cm ³
Anzahl der Monde	63

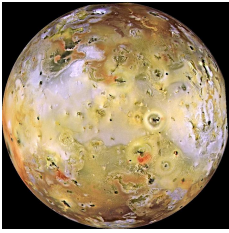
Jupiter ist der größte Planet unseres Sonnensystems. Er ist zudem der erste *äußere Planet*. Während man die vier inneren Planeten als sogenannte *Gesteinsplaneten* bezeichnet, nennt man die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun *Gasplaneten*: Die Atmosphäre dieser Planeten machen einen Großteil des Volumens aus. Jupiter besteht aus einem inneren, relativ kleinen Kern aus Gestein, einer großen darüber liegenden Schicht metallischen Wasserstoffs, darüber einer "Atmosphäre" im flüssigem Zustand und einer wiederum darüber befindlichen dicken Gasschicht aus hauptsächlich Wasserstoff (89,8%) und Helium (10,2%).



Auf Jupiter toben heftige Stürme mit Windgeschwindigkeiten von über 400 km/h, die mehrere Jahrhunderte andauern können. Am bekanntesten ist der sogenannte "*Große Rote Fleck*", ein Wirbelsturm, der schon vor 350 Jahren beobachtet wurde und den man mit einem guten Fernrohr von der Erde aus sehen kann.

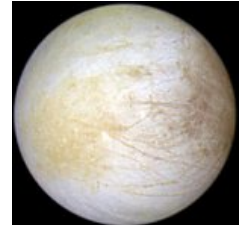
Bereits mit einem guten Fernglas oder einem kleineren Teleskop lassen sich die vier größten Jupitermonde hervorragend beobachten: Die sogenannten *galileischen Monde* Io, Europa, Ganymed und Callisto. Sie sind nach ihrem

Entdecker Galileo Galilei (1564 - 1642) benannt.



Das linke Photo zeigt den Mond Io. Auf ihm herrscht starke vulkanische Aktivität. Er ist der innerste Jupitermond und wird durch die Gezeitenkräfte des Jupiters so stark geknetet, dass sich sein Inneres verflüssigt

Europa (rechts), der zweitinnerste Jupitermond, ist dagegen von einer dicken Eisschicht überzogen. Die NASA nimmt an, dass sich darunter auch flüssiges Wasser befindet, in dem Leben entstanden sein könnte.



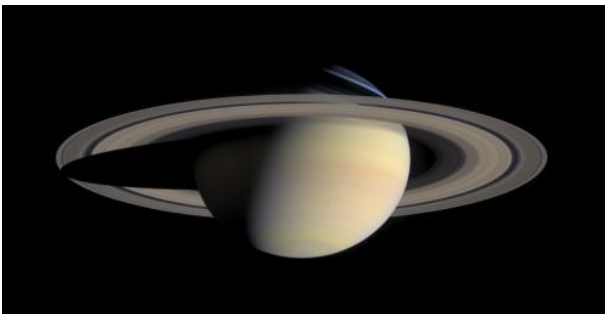
Die sehr schwach ausgeprägten *Ringe* Jupiters sind von der Erde aus nicht sichtbar. Sie bestehen aus sehr kleinen Staubpartikeln, die sich aufgrund der Gravitation und innerer Reibung spiralförmig auf Jupiter zubewegen, während durch die Einschläge kleinerer Meteorite auf den Jupitermonden laufend neue Staubpartikel aufgewirbelt werden.



Jupiter besitzt ein ausgedehntes Magnetfeld, und so kommt es, ähnlich wie auf der Erde, zu *Polarlichtern*. Das nebenstehende Bild zeigt eine solche vom Hubble-Space-Telescope aufgenommene Erscheinung.

Genauso wie bei der Erde, liegen auch beim Jupiter die magnetischen Pole auf der Rotationsachse des Planeten, was möglicherweise auf einen ähnlichen Entstehungsmechanismus des Magnetfeldes schließen lässt.

1.1.7 Der Saturn



Der Saturn gehört ohne Zweifel zu den eindrucksvollsten Planeten des Sonnensystems: Sein Ringsystem weckte schon seit Jahrhunderten das Interesse der Astronomen.

Durchmesser	120000 km
mittl. Abstand	1427 Mio. km
Exzentrizität	0,0552
Inklination	2,5°
Umlaufdauer	29,46 Jahre
Orbitalgeschwindigkeit	9,64 km/s
Rotationsperiode	0,43 Tage
Neigung der Drehachse	27°
Masse	$5,7 \cdot 10^{26}$ kg
Dichte	0,69 g/cm ³
Anzahl der Monde	60

Auf Detailaufnahmen erkennt man, dass sein Ring im Grunde aus vielen Einzelringen besteht. Am auffälligsten ist die sogenannte *Cassiniteilung*, die man auch auf obigem Photo erkennt. Die Sonde, die das Photo aufnahm flog auf ihrer Reise durch diese Teilung hindurch. Sie bekam den treffenden Namen Cassini-Huygens-Sonde.



Das obige rechte Photo zeigt eine Aufnahme der Saturnringe mit stark überhöhten Farbwerten.

Bis heute ist die Entstehung der Ringe nicht vollständig geklärt. Nach einer verbreiteten Theorie hat sich ein Himmelskörper (etwa ein kleiner Mond) dem Saturn zu sehr genähert und wurde durch die Gezeitenkräfte der Gravitation in winzige Stücke zerissen. Die Partikel sollen sich demnach als Scheibe um den Saturn formiert haben. Tatsächlich sind die Ringe nur sehr dünn mit Materie besetzt. Sie bestehen aus kleineren Brocken festem Aggregatzustands. Die Lücken zwischen ihnen sind Folgen des gravitativen Einflusses der Saturnmonde.

Die Ringe lassen sich sehr gut mit einem Teleskop von der Erde aus beobachten. Im dreißigjährigem Rythmus wechseln sie ihre scheinbare Gestalt. Man sieht sie mal als "Strich", wenn man von der Erde aus seitlich auf die Ringebene schaut, sieben Jahre später dann ellipsenförmig, da sich der Blickwinkel auf die Ringebene nun geändert hat. Die Saturnmonde können dagegen nur größere Teleskope auflösen. Das liegt an der großen Entfernung des Saturns zur Erde.

Obwohl man es dem Planeten nicht ansieht, geht es auf dem Saturn noch stürmischer zu als auf Jupiter. Im Bereich des Äquators wurden von den Voyager-Missionen Windgeschwindigkeiten von 1500 km/h gemessen. Saturn hat ähnliche Wolkenstrukturen wie Jupiter. Nur sind diese von einer dichten Hüllen kondensierten Gases umgeben. Dadurch sind sie von der Erde aus nicht sichtbar. Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen Saturn und Jupiter ist das ebenfalls starke Magnetfeld. Durch spezielle Farbfilter hindurch kann man auch hier Polarlichter beobachten.

Die starke Abplattung des Saturns entsteht durch die von der Rotation verursachten Zentrifugalkräfte.

1.1.8 Der Uranus



Durchmesser	50800 km
mittl. Abstand	2870 Mio. km
Exzentrizität	0,0478
Inklination	0,8°
Umlaufdauer	84,67 Jahre
Orbitalgeschwindigkeit	6,81 km/s
Rotationsperiode	0,71 Tage
Neigung der Drehachse	97,7°
Masse	$8,7 \cdot 10^{25}$ kg
Dichte	1,3 g/cm ³
Anzahl der Monde	27

Während die bisher beschriebenen Planeten bereits im Altertum bekannt waren, wurde Uranus aufgrund seiner relativ geringen Helligkeit erst 1731 entdeckt.

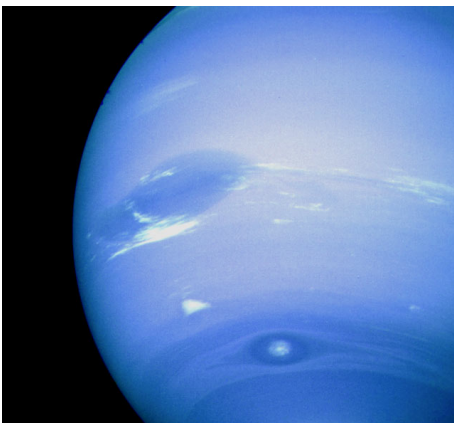
Der Uranus zählt, wie Jupiter und Saturn auch, zu den so genannten Gasplaneten: Er besteht zu 82,5% aus Wasserstoff, 15,2% aus Helium und zu 2,3% aus Methan. In den äußeren Bereichen des Planeten existieren diese

Elemente gasförmig. Im Innern bestehen diese Elemente aufgrund des hohen Atmosphärendrucks in flüssiger Form.

Auffällig ist die Rotationsachse (Drehachse) des Uranus. In Gegensatz zu allen anderen Planeten liegt sie mit $97,7^\circ$ fast innerhalb der Bahnebene des Planeten. Die Ursache für diese Neigung ist noch nicht vollständig geklärt. Man vermutet eine Kollision mit einem anderen großen Planeten während der Entstehungszeit.

Die Beobachtung des Uranus gestaltet sich für Einsteiger in die Astronomie sicherlich schwierig. Unter guten Bedingungen ist er gerade noch so mit bloßen Auge zu sehen. Eine Voraussetzung ist eine genaue Kenntnis der aktuellen Position des Planeten, da er sonst leicht mit einem leuchtschwachen Stern verwechselt werden kann. Wie man auf obigem Photo sieht, hat der Uranus so gut wie keine Wolkenstrukturen, was ihn für Teleskopbeobachtungen relativ uninteressant erscheinen lässt. Die Monde lassen sich nur mit großen Teleskopen beobachten.

1.1.9 Der Neptun



Durchmesser	49500 km
mittl. Abstand	4497 Mio. km
Exzentrizität	0,0098
Inklination	$1,8^\circ$
Umlaufdauer	164,8 Jahre
Orbitalgeschwindigkeit	5,43 km/s
Rotationsperiode	0,76 Tage
Neigung der Drehachse	$28,3^\circ$
Masse	$1 \cdot 10^{26}$ kg
Dichte	$1,71 \text{ g/cm}^3$
Anzahl der Monde	13

Neptun hat am nächtlichen Himmel eine so schwache Helligkeit, dass man ihn mit bloßem Auge nicht sehen kann. Daher wundert es nicht, dass er erst 1846 auf interessante Weise entdeckt wurde: Man entdeckte bei dem seit 1731 bekannten Planeten Uranus eine Abweichung seiner Bahn von der theoretisch berechneten Position. Daraufhin vermutete man einen weiter außen liegenden Planeten, der den Uranus durch seine Gravitation leicht ablenkte. Aus der Ablenkung ließ sich die ungefähre Position dieses weiter außen liegenden Planeten berechnen. Anschließende Teleskopbeobachtungen führten schließlich zur Entdeckung des achten Planeten des Sonnensystems - dem Neptun.

Neptuns Atmosphäre besteht hauptsächlich aus Wasserstoff. Die blaue Färbung erhält der Planet durch einen geringen Methananteil. Im Gegensatz zu Uranus sind auf Neptun Wolkenstrukturen zu sehen. Bei dem auch auf obigen Photo zu erkennende dunklen Fleck handelt es sich - ähnlich wie im Fall des großen roten Fleckes auf Jupiter - um einen Wirbelsturm mit Windgeschwindigkeiten um 130 km/h.

Zur Beobachtung von Neptun ist ein Teleskop sowie die Kenntnis der genauen Lage unabdingbar. Die Wolkenstrukturen lassen sich nur mit sehr großen Teleskopen auflösen.

1.1.10 Der Pluto



Das Photo zeigt Pluto zusammen mit seinem hellsten Mond, Charon

Pluto wurde, ähnlich wie Neptun, aus über Bahnstörungen der bekannten Planeten und nach 25-jähriger Suche im Jahr 1930 gefunden. Bis zum Jahr 2006 galt er als neunter Planet des Sonnensystems. Am 24. August 2006 wurde von der Internationalen Astronomischen Union sein Planetenstatus aberkannt. Die korrekte Bezeichnung lautet nun "Zwergplanet" (vgl. obigen Beitrag zu Sedna). In diesem Text behandeln wir Pluto aus historischen Gründen ähnlich wie die jetzigen 8 Planeten des Sonnensystems.

Durchmesser	2200 km
mittl. Abstand	5900 Mio. km
Exzentrizität	0,2493
Inklination	17,2°
Umlaufdauer	247,7 Jahre
Orbitalgeschwindigkeit	4,74 km/s
Rotationsperiode	6,39 Tage
Neigung der Drehachse	119,61°
Masse	$1 \cdot 10^{22}$ kg
Dichte	2 g/cm ³
Anzahl der Monde	3

Pluto zeichnet sich durch eine stark elliptische Bahn aus, die stark gegen die Erdbahnebene geneigt ist. Da der Pluto auf seiner Bahn an zwei Punkten die Bahn des Neptun kreuzt liegt die Vermutung nahe, dass es sich ursprünglich bei Pluto um einen Mond des Neptun handelt, der sich vom Neptun entfernt hat.

Pluto hat keine Atmosphäre - er besteht zu etwa 70% aus Gestein und zu 30% aus Wassereis.

Zur Beobachtung im Rahmen der Hobby-Astronomie eignet sich Pluto nicht - er ist viel zu lichtschwach. Selbst mit den größten Teleskopen der Welt ist eine Struktur der Oberfläche von Pluto kaum zu erkennen.

1.2 Die Umgebung des Sonnensystems

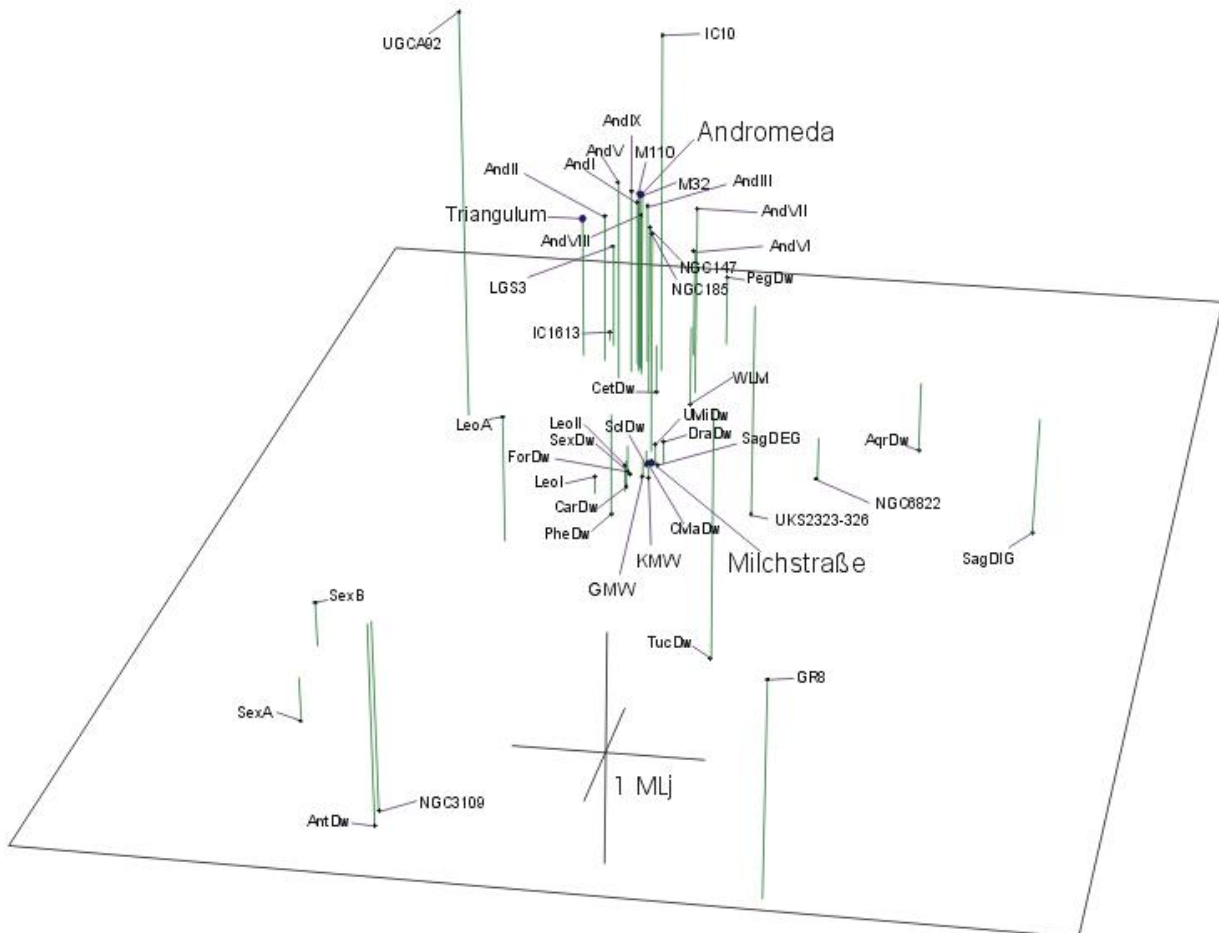
Das Sonnensystem sitzt in den äußeren Bereichen eines Spiralarms einer rund 120 Milliarden Sterne großen Galaxie, die wir *Milchstraßensystem* oder abkürzend **Milchstraße** bezeichnen. Man kann sich die Milchstraße als ein scheibenförmiges Gebilde vorstellen mit einem Durchmesser von etwa 100000 Lichtjahren und einer Dicke von rund 3000 Lichtjahren.

Name	Entfernung
Proxima Centauri	4,223 LJ
Alpha Centauri	4,395 LJ
Barnard's Stern	5,941 LJ
Sirius	8,601 LJ

Der nächste Stern ist mit 4,223 Lichtjahren Entfernung zum Sonnensystem Proxima Centauri; Innerhalb der nächsten 10 Lichtjahren befinden sich ein knappes dutzend Sterne, von denen die Bekanntesten in der Tabelle aufgelistet sind.

Unser Sonnensystem dreht sich innerhalb des Spiralarms einmal in etwa 230 Millionen Jahren um das etwa 26000 Lichtjahre entfernte Zentrum der Milchstraße. Dort wird ein sehr massereiches schwarzes Loch vermutet, von dem wir uns glücklicherweise in sicherer Entfernung befinden.

Die nähere Umgebung der Milchstraße:



Die Milchstraße gehört zur sogenannten **lokalen Gruppe**: Das ist ein *Galaxienhaufen*, also eine Ansammlung von gravitativ gebundenen Galaxien, unter denen die Milchstraße von der Masse und von der Ausdehnung her die zweitgrößte ist. Sie wird nur noch übertroffen von der Andromeda-Galaxie.

Das obige Bild stellt alle Galaxien der lokalen Gruppe dreidimensional dar: In der eingezeichneten Ebene liegt die Milchstraße. Die senkrechten Striche drücken die Entfernungen der Nachbargalaxien zu Ebene aus.

Die als CMaDw bezeichnete *Candis-Major-Galaxie* ist die nächste Nachbargalaxie der Milchstraße. Sie ist eine sehr kleine Galaxie in einer Entfernung von nur 42000 Lichtjahren vom Milchstraßenzentrum und wird gerade von der Milchstraße einverleibt.

Die Andromedagalaxie ist mit 200000 Lichtjahren Scheibendurchmesser größer als die Milchstraße. Sie ist 2,3 Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Neuere Beobachtungen haben ergeben, dass dieser Abstand schrumpft; und so besteht die Möglichkeit, dass es in ferner Zukunft zu einem Zusammenstoß von Milchstraße und Andromedagalaxie kommt.

Information

Die Andromedagalaxie ist die einzige Galaxie, die man mit bloßem Auge am Nachthimmel beobachten kann. Mit einem Fernglas oder Teleskop sieht man sie als ausgebreitetes nebelartiges Gebilde.

Dass es sich bei der Andromedagalaxie um eine Galaxie handelt, weiß man erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts durch die sogenannte Cepheiden-Methode (eine Methode der Entfernungsbestimmung), die zu dieser Zeit entwickelt wurde. Davor dachte man, bei der Andromedagalaxie handelt es sich um einen *Nebel* (d.h. eine größere Staub- und Gasansammlung) in der Milchstraße. Daher wird die Galaxie bis heute häufig irreführend *Andromedanebel* genannt.

Die lokale Gruppe besteht aus rund 40 Galaxien. Sie gehört zu dem sogenannten **Virgo-Superhaufen**. Ein *Superhaufen* ist eine Ansammlung von Galaxienhaufen, die gravitativ miteinander wechselwirken. Der Virgo-Superhaufen hat einen Durchmesser von etwa 200 Millionen Lichtjahren. In ihm sind über 100 Galaxienhaufen enthalten.

Galaxienhaufen	Entfernung (Mio. LJ)	Anzahl der Galaxien
Virgo	70	2500
Pegasus	220	100
Perseus	310	500
Coma Berenice	350	1000
Herkules	350	75
Ursa Major	880	300

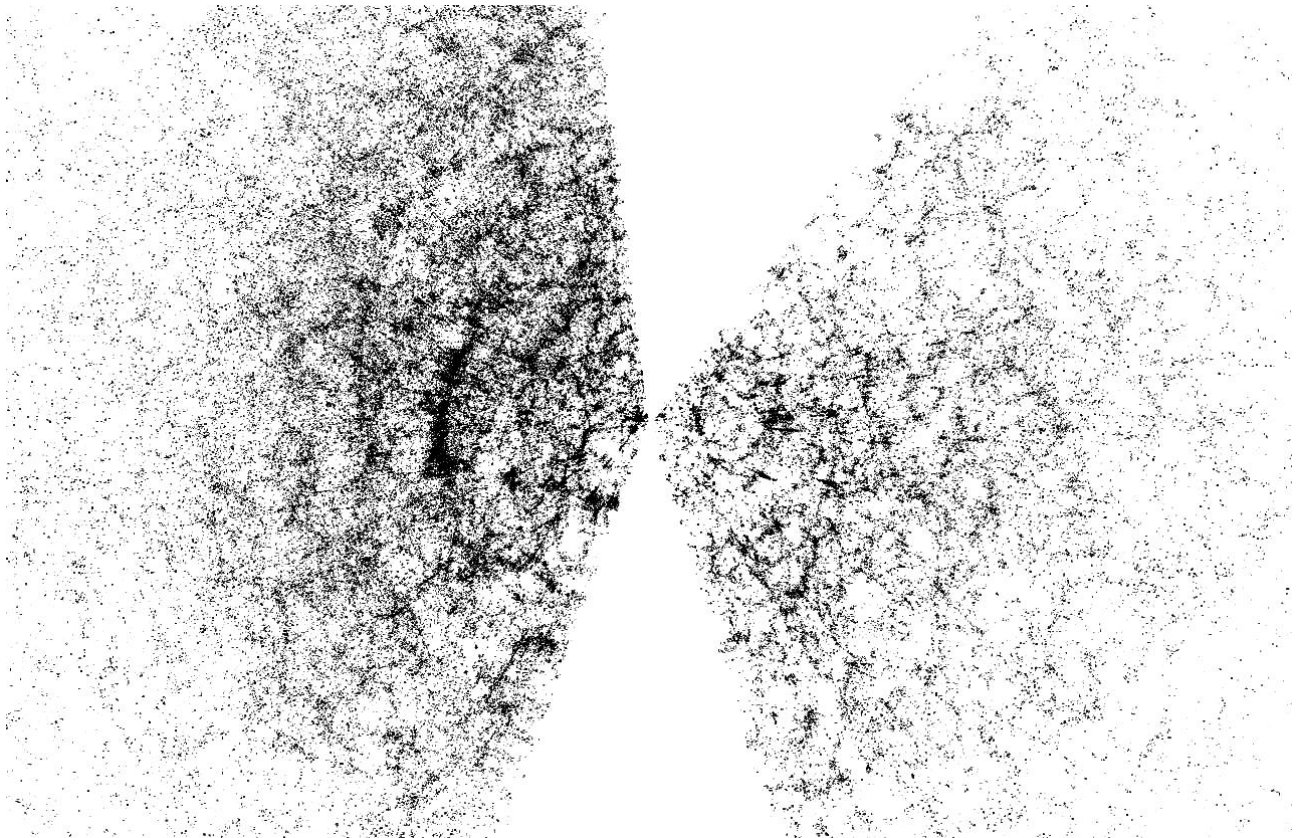
Im Zentrum des Virgo-Superhaufens liegt der Virgo-Galaxienhaufen - mit über 2500

Mitgliedern - ein wesentlich größerer Galaxienhaufen als die lokale Gruppe.

Neben dem Virgo-Superhaufen gibt es natürlich eine Reihe anderer Superhaufen. Geht man dann zu noch größeren Strukturen über, so gelangt man an die Grenzen des (mit unseren Mitteln) beobachtbaren: Die sogenannten **Großraumstrukturen**.

In einem groß angelegten internationalen Projekt (Sloan Digital Sky Survey) wurde über die sogenannte Rotverschiebung die Entfernung von mehr als eine Milliarde Galaxien gemessen.

Das Ergebnis dieser Messung wird im Bild unten gezeigt: Jeder einzelne dargestellte Punkt entspricht einer Galaxie. Da Dunkelwolken innerhalb unserer Milchstraße teilweise die Sicht versperren, gibt es in der Abbildung weiße, unbedruckte Bereiche.



Man kann das Bild als eine Art Landkarte unserer Umgebung im Weltall interpretieren. Die Erde befindet sich im Zentrum, dort, wo sich die beiden Flügel zuspitzen. Die Strukturen um das Zentrum herum entsprechen der Verteilung der Galaxien im Weltraum. Je weiter ein Punkt in der obigen Abbildung vom Zentrum entfernt liegt, desto weiter ist die jeweilige Galaxie von der Erde entfernt. Die Abbildung zeigt einen $1,3 \times 2$ Milliarden Lichtjahre großen Ausschnitt unserer Umgebung.

Je weiter eine Struktur von der Erde entfernt ist, desto weiter befindet sie sich auf unserer Landkarte vom Zentrum (Erde) entfernt.

Dadurch, dass die Landkarte aus zwei Flügeln besteht, ist sie unvollständig: Die Bereiche außerhalb der beiden Flügel sind unbekannt. Sie lassen sich nicht beobachten, da Objekte innerhalb der Milchstraße die Sicht versperren.

Die Entfernung zur Erde ist am rechten Flügel angegeben. (Achtung: engl. Billion Lightyears = *Milliarden* Lichtjahre)

Deutlich zu erkennen sind Knoten, die in einem filamentartigem Netzwerk eingespannt sind. Tatsächlich entspricht jeder Knoten auf der Landkarte einem Galaxiensuperhaufen in Wirklichkeit. Die Filamente sind Strukturen, auf denen die Galaxien im Laufe der Zeit zu den Knotenpunkten hinfließen. Zwischen den Knoten und Filamenten befinden sich große Leerräume, sogenannte *Voids*, in denen sich kaum Galaxien aufhalten.

Der große Attraktor

Der große Attraktor ist die größte bekannte Massenansammlung im Universum. 1990 wurde beobachtet, dass sich der Coma-Haufen, der Virgo-Superhaufen, der noch größere Hydra-Centaurus-Superhaufen sowie die sogenannte *Große Mauer* (die von der Ausdehnung her größte bisher entdeckte Großraumstruktur) auf einen Bereich zubewegen, den wir aufgrund von Sichthindernissen (die sich in unserer Galaxie befinden) nicht beobachten können. Diesen Bereich nennt man den *großen Attraktor*. Da der große Attraktor sämtliche ohnehin schon große Objekte zu sich zieht, muss er eine gigantische Masse besitzen. Schätzungen gehen von zehn Billionen Sonnenmassen aus.

Ab einer gewissen Entfernung können unsere astronomischen Instrumente nur noch die lichtstärksten Galaxien registrieren. Daher nimmt die Zahl der in der Ferne beobachtbaren Galaxien ab. Das ist der Grund, weshalb die Flügel im obigem Bild am Rand sichtbar verblassen.

1.3 Weitere Bestandteile und Ereignisse des Sonnensystems

In diesem Abschnitt möchte ich auf Zusammenhänge zu sprechen kommen, die den Umfang der obigen kurzen Vorstellung des Sonnensystems gesprengt hätten, die aber dennoch eine so große Relevanz besitzen, dass sie in einer Einführung in die Astronomie nicht fehlen dürfen.

1.3.1 Asteroiden und der Asteroidengürtel

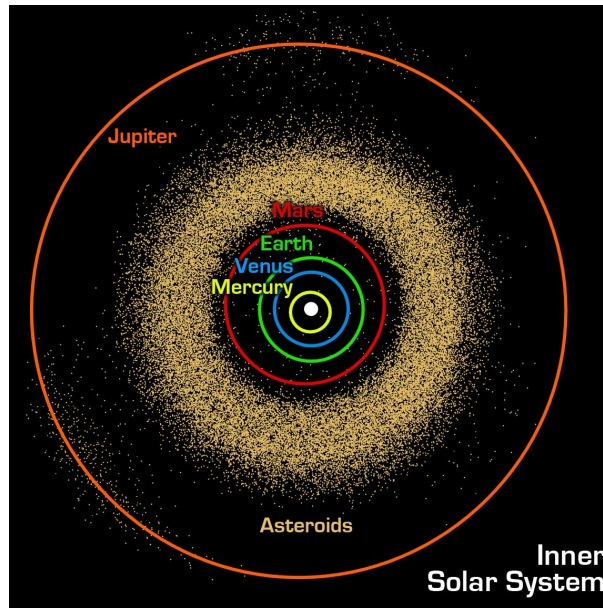
Als Asteroid (auch Planetoid oder Kleinplanet genannt) werden Metall- und Gesteinsbrocken im Sonnensystem bezeichnet mit einem Durchmesser von einigen wenigen Zentimetern bis zu einigen hundert Kilometern, die sich auf elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen.

Das linke Photo zeigt *Eros*, einem 33 km langen Vertreter der Asteroiden.



Von diesen Asteroiden gibt es sehr viele im Sonnensystem - man schätzt die Anzahl auf einige Millionen. Wenn ein solcher Asteroid die Erdbahn kreuzt und schließlich auf der Erde einschlägt, spricht man von einem Meteorit. Kleinere Brocken verglühen dabei in der Atmosphäre. Größere können dagegen für Menschen gefährlich werden. Man vermutet, dass die Dinosaurier durch den Zusammenstoß eines Asteroiden mit der Erde vor 64 Mio. Jahren ausgelöscht wurden.

Betrachtet man das Sonnensystem in der Draufsicht und trägt man die Position der 400000 Asteroiden ein, deren Position bekannt ist, gelangt man zu folgendem Bild:



Man sieht die deutliche Ansammlung der Asteroiden in einem Ring zwischen Mars und Jupiter. Die Positionen bilden eine gürtelähnliche Struktur - daher spricht man hier vom **Asteroidengürtel**

Der Asteroidengürtel befindet sich also zwischen den Bahnen der Planeten Mars und Jupiter. Hinter den Bahnen von Neptun und Pluto befindet sich eine weitere gürtelförmige Ansammlung von Metall-, Gesteins- und Eisbrocken, den sogenannten **Kuipergürtel**.

1.3.2 Kometen

Bei Kometen handelt es sich um Brocken, hauptsächlich aus gefrorenem Wasser, gefrorenem Kohlendioxid und anderen "Gasen" im festen Zustand sowie Staubpartikeln, die sich auf stark elliptischen bis parabelförmigen Bahnen um die Sonne bewegen. Ihren Ursprung haben sie in sehr weit von der Sonne entfernten Bereichen, in denen es sehr kalt ist.

Nähert sich ein Komet auf seiner Bahn der Sonne, so wird sein **Kern** aus gefrorenem Wasser, gefrorenem Kohlendioxid und Staub durch die Sonneneinstrahlung erhitzt. Durch die Hitze werden Wasser und Kohlendioxid gasförmig und Teile der Oberfläche des Kometen gehen in den gasförmigen Zustand über. Das Gas bildet um den Kometen herum eine diffuse, neblige Hülle, das sogenannte **Koma**. Durch die von der Sonne ausgehenden Strahlung sowie durch den von ihr ausgehenden Sonnenwind werden Teile dieser Gas- und Staubhülle in die Richtung des Sonnenwindes weggeblasen und bilden so den **Schweif** des Kometen.

Eine Betrachtung des obigen Photos zeigt, dass sich genau genommen zwei Schweife ausbilden: Einen bläulichen und einen grau-weißen Schweif. Bei dem bläulichen Schweif (*Gas- oder Plasmaschweif*) handelt es sich um Gasteilchen, bei dem weißen Schweif um überwiegend Staubteilchen (*Staubschweif*). Die Gasteilchen werden aufgrund ihrer geringen Trägheit stärker vom Sonnenwind abgelenkt als die Staubteilchen. Dadurch kommt es zur Trennung von Gas und Staub sowie zur Ausbildung von Gas- und Staubschweif.

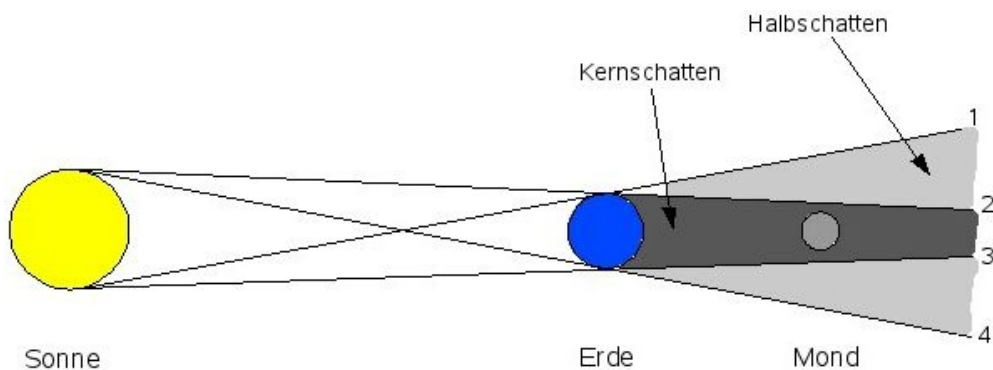


Der Ursprung von Kometen ist noch nicht vollständig geklärt. Der Physiker Jan Hendrik Oort vermutete, dass es im weiten Abstand um das Sonnensystem herum eine große schalenförmige Ansammlung kometenkernähnlicher Brocken gibt. Demnach stoßen diese Objekte zusammen, wodurch der ein oder andere Brocken in Richtung Sonnensystem abgelenkt wird und uns als Komet erscheint. Die postulierte schalenförmige Ansammlung nennt man **Oortsche Wolke**. Mittlerweile geht man davon aus, dass eine solche Oortsche Wolke tatsächlich existiert.

1.3.3 Mondfinsternisse

Bei einer Mondfinsternis tritt der Mond in den Erdschatten ein. Dabei vermindert sich für ein paar Stunden seine Helligkeit am nächtlichen Himmel.

Wir wollen nun den Schatten, den die Erde wirft, etwas genauer untersuchen. Dazu betrachten wir vor allem vier Lichtstrahlen (1-4), die von der Sonne ausgehen und die Erde gerade so an den Rändern passieren (vgl. Illustration):



Wie man leicht sieht, werden die Strahlen 1 und 3 von dem untersten Punkt der Sonne ausgestrahlt. Die Strahlen 2 und 4 stammen beide von dem obersten Punkt der Sonne in der Zeichnung.

Da das Licht, das vom untersten Punkt der Sonne ausgesandt wird, zwischen den Strahlen 1 und 3 auf die Erde prallt, kann es nicht hinter die Erde gelangen. Zwischen den Strahlen 1 und 3 hinter der Erde kommt also kein Licht vom untersten Punkt.

Mit gleichen Argumenten gelangt vom obersten Punkt der Sonne kein Licht hinter die Erde zwischen den Strahlen 2 und 4.

Folgerungen:

Zwischen Strahl 1 und Strahl 2 kommt vom untersten Punkt der Sonne kein Licht hinter die Erde; vom obersten Punkt aber schon. Mit anderen Worten: Zwischen Strahl 1 und Strahl 2 gelangt nur das Licht von Teilen der Sonne hinter die Erde, von anderen Teilen nicht.

Genauso zwischen den Strahlen 3 und 4.

Wir sagen: In den Bereichen zwischen den Strahlen 1 und 2 bzw. 3 und 4 wirft die Erde einen **Halbschatten** (= *Penumbra*).

Zwischen den Strahlen 2 und 3 gelangt weder vom obersten noch vom untersten Punkt der Sonne Licht hinter die Erde. Offenbar gelangt in diesen Bereich von keinem Punkt der Sonne das Licht.

Wir sagen: In dem Bereich zwischen den Strahlen 2 und 3 wirft die Erde einen

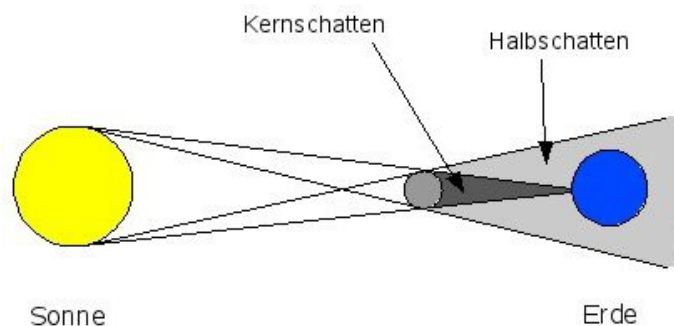
Kernschatten (= Umbra).

Zur besseren Differenzierung unterscheiden wir nun zwischen drei Arten von Mondfinsternissen:

- Penumbrale Finsternisse, bei denen der Mond ausschließlich durch den Halbschatten (Penumbra) der Erde wandert. Solche Mondfinsternisse sind mit dem menschlichen Auge kaum wahrnehmbar.
- Umbrale Finsternisse, bei denen der Mond auf seiner Bahn den Kernschatten (Umbra) streift.
- Totale Finsternisse, bei denen die Bahn des Mondes so durch den Kernschatten verläuft, dass er völlig darin verschwindet. Der Mond erscheint hier stark verfinstert, in einer rötlich-braunen Färbung. Das Licht, welches den Mond in diesem Farbton erscheinen lässt, wird von der Sonne durch die Erdatmosphäre auf den Mond gelenkt.

1.3.4 Sonnenfinsternisse

Bei Sonnenfinsternissen wird ein Teil der Erde vom Mondschatten getroffen. Hier eine Illustration:



Bei einer Sonnenfinsternis trifft der Kernschatten des Mondes nur einen kleinen Teil der Erde, da er (wie dargestellt) spitz zuläuft. In diesem kleinen Gebiet auf der Erde erfahren die Menschen eine **totale Sonnenfinsternis**, bei der sich der Himmel am helligsten Tage für wenige Minuten verfinstert.

In Bereichen des Halbschattens ist die durch die teilweise Bedeckung der Sonne herrührende Verfinsternis nicht wahrnehmbar. Jedoch kann man hier bei einer Sonnenbeobachtung den Mond vor der Sonne vorbeiziehen sehen. Man nennt dieses Ereignis eine **partielle Sonnenfinsternis**.

2 Beobachtung astronomischer Objekte

2.1 Orientierung am Nachthimmel

2.1.1 Sternbilder

Bei astronomischen Objekten wie Sternen, Galaxien und etwa planetarischen Nebel handelt es sich um weit ausgedehnte Objekte, die sich im dreidimensionalen Raum befinden. Zwischen den von der Erde aus sichtbaren Objekten erstrecken sich große Entfernungen, wie wir sie aus unserer Erfahrung auf der Erde nicht kennen. Der Mensch verfügt über keine Sinnesorgane, die bei solch großen Distanzen noch eine Tiefenwirkung (d.h. einen dreidimensionalen Eindruck) hervorrufen. Daher können wir die Entfernungen der Sterne und anderer Himmelskörper nicht ohne Hilfsmittel abschätzen. Für uns erscheint der Sternenhimmel eher zweidimensional.

In Wirklichkeit bewegen sich die astronomischen Objekte durch den Raum. Objekte außerhalb des Sonnensystems sind jedoch derart weit von und entfernt, dass wir deren Bewegung nicht wahrnehmen können. So scheinen die Sterne am Nachthimmel für uns Menschen still zu stehen - nur mit äußerst feiner Messtechnik und teilweise auf indirektem Weg kann man die Bewegung nachweisen. Praktisch sehen wir im Laufe unseres Lebens keine Änderungen der Sternpositionen am Nachthimmel.

Die Anordnung (*Konstellation*) der Sterne am Himmel, deren Position relativ zueinander, scheint für uns erhalten zu bleiben. Besonders markante Anordnungen von Sternen nennen wir **Sternbilder**; es handelt sich dabei also um Sternanordnungen, die sich im besonderen Maß von den übrigen Sternen abheben.

Die Ursprünge der Sternbilder reichen zum Teil bis ins antike Griechenland zurück. Die Babylonier fühlten sich durch verschiedene Anordnungen der Sterne an Tiere erinnert. So entstanden Sternbilder wie etwa der große Bär, die Fische oder das Sternbild Schlange. Außerdem sahen die Griechen in vielen Anordnungen ihre Mythologie wiedergegeben und benannten bestimmte Sternbilder etwa nach ihren Göttern. Zwischen 1600 und 1800 wurden weitere Sternbilder eingeführt und 1922 erst wurden sie endgültig festgelegt.



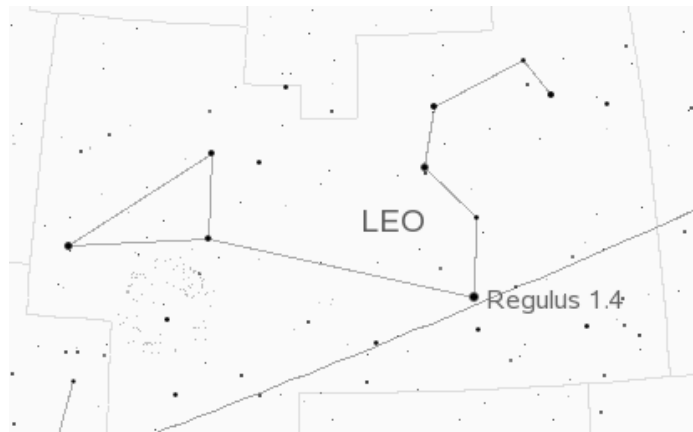
Das linke Bild zeigt, wie sich Johannes Hevel im Jahr 1690 das Raubtier Löwe in den Sternen verewigt vorstellte.

Das Sternbild Löwe gehört zu den ältesten Sternbildern. Vermutlich sahen bereits die alten Ägypter in dieser Sternanordnung einen Löwen.

Zum Auffinden von Sternbildern sind solche hintermalten Sternkarten zu unübersichtlich. Die moderneren Darstellungen sind

dafür weniger imposant:

Das linke Bild zeigt das Sternbild Löwe in moderner Darstellung. Die Hauptsterne des Sternbildes sind dabei durch Linien miteinander verbunden, um ein Erkennen der Anordnung der Hauptsterne zu erleichtern. Hellster Stern des Sternbildes Löwe ist der Stern *alpha Leonis*, der auch *Regulus* genannt wird.



Sternbilder dienten lange Zeit zur Orientierung der Seefahrer. Sie halfen abzuschätzen, auf welchem Breitengrad des Erdballs sie sich befinden.

Ein Sternbild ist umgeben von seinen Sternbildgrenzen. Alle Sterne, Nebel, Sternhaufen und Galaxien innerhalb dieser Grenzen gehören zu dem entsprechenden Bild. Auf dem obigen Ausschnitt erkennt man Teile der Sternbildgrenzen des Löwen als kantige Linien um das Sternbild herum.

Eine Liste aller Sternbilder befindet sich im Kapitel 1.2.5.

Wichtig

Für den praktizierenden Astronom bilden Sternbilder die Grundlange für das Aufsuchen astronomischer Objekte am Nachthimmel. Sternbilder sind häufig gut einprägsam und lassen sich daher leicht auffinden.

Alle Sterne sind durch ihren Namen eindeutig einem Sternbild zugeordnet. So gehört z.B. der Stern *alpha centauri* zum Sternbild *centaurus*.

Für die hellsten Sterne eines Sternbildes werden zur Bezeichnung griechische Buchstaben verwendet. Die Buchstaben werden nach Helligkeit vergeben: *alpha centauri* ist also der hellste Stern des genannten Sternbildes.

2.1.2 Äquatoriales Koordinatensystem

Wir haben uns eben überlegt: Weil die Entfernungen im Weltraum - und damit die Entfernung der Erde zu den anderen Himmelskörpern - sehr groß sind, scheinen am Nachthimmel Sterne, Galaxien und viele andere Objekte ihre Position relativ zueinander beizubehalten. Daher wirken die Sternbilder unveränderlich mit der Zeit. Die meisten Veränderung vollziehen sich so langsam, dass sie von einem Menschen im Laufe seines Lebens nicht ohne empfindliche Messapparatur festgestellt werden kann.

Nur aufgrund der Eigenrotation der Erde und der Drehung der Erde um die Sonne, scheinen sich die Sternanordnungen im Laufe einer Nacht (bzw. im Laufe eines Jahres) von Osten in Richtung Westen zu bewegen. Das liegt aber daran, dass sich der Beobachter mit der Erde bewegt, und nicht die Sternanordnungen um den Beobachter.

Weil sich die Anordnung der Sterne (und anderer Objekte) soch praktisch nicht verändert, sehen wir sie als feststehend an. Aus diesem Grund könnten wir eine Art "Landkarte" erstellen, in der alle Objekte eingezeichnet sind. Sozusagen eine Landkarte astronomischer Objekte, mit dessen Hilfe wir uns am Nachthimmel

orientieren könnten.

Solche Landkarten gibt es tatsächlich. Wir werden sie künftig **Sternkarten** nennen. In Sternkarten finden wir also die Anordnung der Sterne wieder, die wir auch am Nachthimmel beobachten können.

Damit wir den Sternen auf der Sternkarte eine *Position* zuordnen können, benötigen wir sowas wie ein Koordinatensystem für die Sternkarte. Das Koordinatengitter wird gewöhnlich wie folgt gebildet:

Richtet man seinen Blick in südliche Richtung, und gibt die Sternkarte den Ausschnitt des Sternhimmels wieder, den man gerade betrachtet, wird die Karte zum einen in Gitterlinien unterteilt, die von nördlicher in südliche Richtung verlaufen. Die zu den Gitterlinien gehörende Koordinatenachse nennt man **Rektaszension**. Zum anderen wird die Karte in Gitterlinien unterteilt, die von östlicher in westliche Richtung zeigen. Die zugehörige Koordinatenachse nennt man **Deklination**. Die Unterteilung der Sternkarte in Rektaszension und Deklination kann man sich ähnlich wie die Unterteilung einer geographischen Landkarte in Längen- und Breitengrade vorstellen. Genauere Informationen befinden sich im Kasten "Information: Die Himmelskugel".

Information: Die Himmelskugel

Es gibt ein Problem, wenn man den gesamten Sternhimmel auf einer einzigen Sternkarte festhalten möchte: Für den Beobachter von der Erde aus ist der Sternhimmel ein Gebilde, das die ganze Erde umgibt: Es ist egal, in welche Richtung er von der Erde weg schaut, in jede Richtung sieht er einen anderen Bereich des Sternhimmels. Weil der Sternhimmel die Erde nun förmlich umgibt, wird das Anfertigen einer Sternkarte, die den Sternhimmel korrekt wiedergibt, schwierig. In der Astronomie hilft man sich durch die folgende Hilfsvorstellung:

Wir stellen uns um die Erde herum eine riesige Kugel vor, mit der Erde als Mittelpunkt. Wenn wir uns nun gedanklich den Sternhimmel mit all seinen Sternen, Galaxien und deren Positionen auf die Oberfläche der riesigen Kugel aufgetragen denken, haben wir das Problem gelöst: Egal in welche Richtung der Beobachter von der Erde auch schaut: Da er sich (auf der Erde) innerhalb dieser riesigen gedachten Kugel befindet, sieht er in jeder Richtung einen anderen Bereich der Kugeloberfläche - und damit einen anderen Bereich des auf ihr aufgetragenen Sternhimmels.

Die Kugel, auf die man sich den Sternhimmel aufgetragen denkt, nennt man in der Astronomie **Himmelskugel**. Den Sternhimmel können wir also korrekt darstellen, wenn wir ihn auf eine Kugel - eine Art *Globus des Sternhimmels* darstellen und uns im Mittelpunkt der Kugel die Erde denken. Ähnlich, wie man die Länder der Erde aufgrund ihrer Kugelgestalt nur in der Form eines Globus korrekt darstellen kann, lässt sich der gesamte Sternhimmel nur auf einen Globus für den Sternhimmel festhalten.

Nur, wenn man genügend kleine Bereiche des Sternhimmels betrachtet, kann man tatsächlich eine maßstabsgetreue Sternkarte entwerfen - ähnlich wie man für genügend kleine Ausschnitte der Erdoberfläche Landkarten entwerfen kann.

Die Linie des Äquators auf der Erde denken wir uns nun auf die Oberfläche der Himmelskugel projiziert: Diese Linie um die Himmelskugel nennt man in der Astronomie **Himmelsäquator**. Denken wir uns die Himmelskugel nun auch noch genau so in Längen- und Breitengrade aufgeteilt, wie man das auf der Erde gemacht hat, so spricht man vom **Äquatorialen Koordinatensystem**. Der Längengrad entspricht der **Rektaszension**, der Breitengrad der **Deklination**.

Die Deklination ist, genauso wie der Breitengrad einer Landkarte, im Gradmaß aufgeteilt (-90° bis 90°). Die Rektaszension ist jedoch in sogenannte Stundenwinkel aufgeteilt, d.h. von 0h bis 24h. Dies mag zunächst merkwürdig klingen - es wird sich später jedoch als nützlich erweisen, denn der Sternhimmel scheint sich aufgrund der Erdrotation in einer Stunde um eine

Rektaszension von genau 1h weiterzudrehen.

Dieser Abschnitt war nun sehr theoretisch und recht anstrengend. Gönnen Sie sich daher eine Pause, bevor Sie hier fortfahren.

2.1.3 Sternkarten

Eine Sternkarte gibt einen Ausschnitt des Sternenhimmels in gedruckter Form wieder. Sternkarten sind unterteilt in Rektaszension und Deklination. Jeder Punkt ist durch die Angabe dieser *Koordinaten* (Rektaszension, Deklination) eindeutig bestimmt.

Anders ausgedrückt: In Sternkarten ist ein Ausschnitt des Nachthimmels so wiedergegeben, wie man ihn zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort tatsächlich auffindet. Auf einer Sternkarte ist also die Anordnung der Sterne, so wie man sie tatsächlich von der Erde aus sieht, schwarz auf weiß gedruckt.

Vor einem astronomischen Beobachtungsabend kann sich ein Astronom durch Sternkarten auf seine geplanten Beobachtung vorbereiten. Während einer Beobachtung kann er sich anhand dieser Karten orientieren, indem er die Sternanordnungen auf der Sternkarte mit den Anordnungen der Sterne am Nachthimmel vergleicht.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Computerprogrammen, die Sternkarten "erzeugen" können. Wir werden auf solche *virtuelle Planetarien* später zu sprechen kommen.

Tipp:

Viele Objekte am Nachthimmel fallen aufgrund ihrer Leutkraft direkt ins Auge. Es ist jedoch keine leichte Angelegenheit, Objekte aufzusuchen, die das menschliche Auge nicht oder kaum wahrnehmen kann.

Daher ist es ratsam, sich die Position des lichtschwachen Objekts relativ zu markanten oder hellen Strukturen zu merken. Wer zum Beispiel die Andromedagalaxie am Nachthimmel sucht, der ist gut beraten, sich an dem auffälligen Sternbild Cassiopeia zu orientieren: Die Sternanordnung Cassiopeia bildet zwei Dreiecke. Das spitzere der beiden Dreiecke zeigt direkt auf die Andromedagalaxie.

2.2 Wichtige Begriffe

2.2.1 Zenit

Zur groben Beschreibung der Lage astronomischer Objekte am Nachthimmel greift man häufig auf die vier Himmelsrichtungen *Norden, Süden, Westen, Osten* zurück. Es gibt jedoch Bereiche, die sich nicht durch die vier Himmelsrichtungen beschreiben lassen: Wenn sich ein Objekt etwa direkt über dem Beobachter befindet, trifft keine der Himmelsrichtungen zu. Hierfür gibt es die Richtungsangabe *Zenit*. Der **Zenit** ist der Scheitelpunkt des Himmels, also der "höchste" Punkt am Nachthimmel.

Das Gegenstück zum Zenit - also der nicht sichtbare Punkt des Nachthimmels direkt unter dem Beobachter - nennt sich *Nadir*.

2.2.2 Ekliptik

Wir stellen uns nun die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne vor. Wenn man während des Umlaufes von der Erde aus auf die Sonne blickt, so scheint die Sonne vor dem Sternenhintergrund zu wandern: Beispielsweise steht die Erde nach einem halben Jahr genau auf der anderen Seite der Sonne. Das heißt, von der Erde aus gesehen, sieht man die Sonne vor einem anderen Sternenhintergrund; nämlich vor dem Sternenhintergrund, den man vor diesem halben Jahr noch bestens sehen konnte.

Von der Erde aus gesehen scheint die Sonne im Laufe eines Jahres vor dem Sternenhintergrund zu wandern. Man könnte eine Linie auf unserer Sternkarte zeichnen, auf der die Sonne im Laufe eines Jahres entlang zu laufen scheint. Da sich die Bahnebene der Erde nicht ändert, wandert die Sonne in jedem Jahr auf der selben Linie vor dem Sternenhintergrund. Diese Linie, die man auf Sternkarten einzeichnen kann (und die oft schon eingezeichnet ist), nennen wir **Ekliptik**. Sie umspannt die gesamte Himmelskugel.

Da die *Inklination* der meisten Planeten (d.h. der Winkel zwischen Planeten- und Erdbahnebene) nur gering ist, scheinen auch sie sich entlang der Ekliptik zu bewegen. Jedenfalls bis auf kleinere Abweichungen.

Genauer: Die Planeten bewegen sich innerhalb des sogenannten:

2.2.3 Tierkreis

Der Tierkreis bezeichnet eine etwa 20° breite Zone entlang der Ekliptik. Viele der Sternbilder innerhalb des Tierkreises haben tragen die Bezeichnungen von Tieren (Löwe, Krebs, Stier,...); daher die Bezeichnung.

2.2.4 Elongation

Unter der Elongation eines Planeten versteht man den Winkel zwischen der Verbindungsgerade Erde-Sonne und der Verbindungsgerade Erde-Planet.

Als praxisrelevante Regel kann man sich merken: Je größer dieser Winkel ist, desto besser lässt sich der entsprechende Planet am Nachthimmel beobachten.

2.2.5 Quadratur

Befindet sich ein Planet in Quadratur zur Sonne, so beträgt seine Elongation 90°.

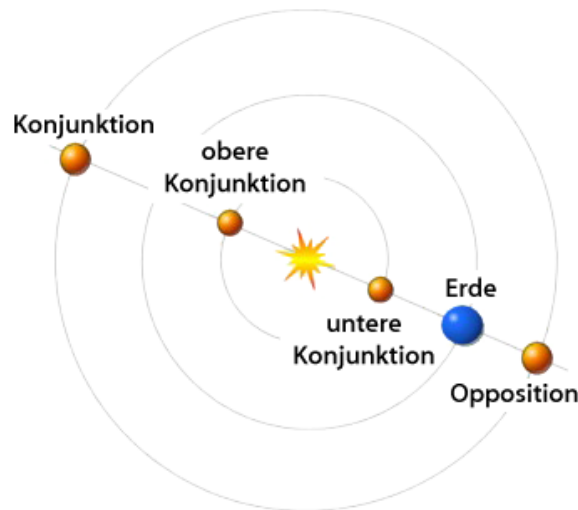
2.2.6 Opposition und Konjunktion

Nun gibt es noch einige Begriffe, die die Positionen von Planeten relativ zur Erde beschreiben. Man sagt, ein äußerer Planet befindet sich in **Opposition**, wenn seine Elongation maximal wird. In der seitlichen (zweidimensionalen) Ansicht der Bahnebenen lässt sich in dieser Situation eine Gerade Sonne-Erde-Planet durch die Himmelskörper hindurch zeichnen.

Ein Planet, dessen Bahn außerhalb der Erdbahn verläuft, befindet sich in **Konjunktion**, wenn er sich (von der Erde aus gesehen) genau hinter der Sonne

befindet.

Für innere Planeten verwendet man die Begriffe **obere** und **untere Konjunktion** entsprechend der Illustration:



2.2.7 Scheinbare und absolute Helligkeit

Blicken wir nachts zum Sternenhimmel hinauf, so leuchten die Sterne und Planeten in den verschiedensten Farben und Helligkeiten. Die Helligkeit von Sternen, wie wir sie von der Erde aus wahrnehmen, nennt man die **scheinbare Helligkeit**. Auf das "scheinbar" gehen wir gleich genauer ein.

Hipparchos suchte 150 vor Christus nach einer Möglichkeit, die *scheinbare Helligkeit* von Sternen anzugeben. Dazu teilte er die Sterne nach ihrer scheinbaren Helligkeit in sechs **Größen-** bzw. **Helligkeitsklasse** ein. Mit Größenklasse 1 bezeichnete er die hellsten Sterne, mit Größenklasse 6 die kaum noch wahrnehmbaren.

Im 19. Jahrhundert wurde diese Skala zur heutigen Form erweitert und verfeinert:

Zum einen gibt es Objekte, die heller sind als Größenklasse 1 (bestes Beispiel: Die Sonne). Um solche helle Objekte sinnvoll einer Größenklasse zuordnen zu können, musste die Skala nach unten (d.h. ins Negative) erweitert werden. Zum anderen gibt es Objekte, die so dunkel sind, dass man sie mit bloßem Auge nicht sieht. Solche Objekte sind zum Teil wesentlich dunkler als Größenklasse 6. Als detailliertere Beschreibungen der scheinbaren Helligkeit notwendig wurden, als dies durch die bisherige Einteilung möglich war, wurden die bisherigen Größenklassen noch einmal unterteilt - heute sind alle Kommazahlen erlaubt.

Schließlich wurde die scheinbare Helligkeit des Sterns Wega im Sternbild Leier mit 0,0 mag festgelegt und die Helligkeiten der anderen Sterne daran orientiert. Die Größenklasse 6 soll die scheinbare Helligkeit der dunkelsten Objekte darstellen, die das menschliche Auge bei perfekten Bedingungen ohne Hilfsmittel wahrnehmen kann.

Die scheinbare Helligkeit ist eine einheitslose Zahl. Um zu kennzeichnen, dass es sich bei dieser Zahl um eine Helligkeitsangabe handelt, schreibt man hinter einer solchen Zahl das Zeichen "mag" (für *magnitudines*).

So ist das hellste Objekt am Himmel die Sonne mit einer scheinbaren Helligkeit

von -26,8 mag. Als hellster Planet tritt die Venus in Erscheinung, mit maximal -4,4 mag, als hellster Stern der Sirius mit -1,4 mag. Entgegen der weit verbreiteten Meinung ist der Polarstern *nicht* der hellste Stern des Nachthimmels, er hat lediglich eine scheinbare Helligkeit von 2 mag.

Wichtig: Je kleiner die Größenklasse, desto heller der Stern. Umgekehrt, je größer die Größenklasse, desto dunkler der Stern.

Die Sterne, die wir am Nachthimmel beobachten, sind nun unterschiedlich hell. Dabei dürfen wir aber nicht vergessen, dass sie von der Erde auch unterschiedlich weit entfernt sind. So kann ein weit entfernter Stern mit großer Leuchtkraft von der Erde aus viel dunkler erscheinen als ein sehr naher Stern mit kleiner Leuchtkraft. Deshalb sagt man zu der von der Erde aus gesehenen Helligkeit auch **scheinbare** Helligkeit.

Um die Sterne wirklich "gerecht" nach ihrer eigentlichen Leuchtkraft zu bewerten wäre es notwendig, ihre Helligkeit von ein und der selben Entfernung aus zu bewerten. Solche Helligkeitswerte können häufig berechnet werden: Man berechnet, wie hell der jeweilige Stern in einer Entfernung von 32,6 Lichtjahren erscheinen würde. Die so berechnete Helligkeit wird **absolute Helligkeit** genannt. Dadurch wird eine gewisse Vergleichbarkeit geschaffen.

Objekt	scheinbare Helligkeit	absolute Helligkeit
Sonne (Stern)	- 26,8 mag	4,8 mag
Mond	- 12,5 mag	-
Venus (Planet)	- 4,4 mag	-
Sirius (Stern)	- 1,4 mag	1,4 mag
Alpha Centauri A (Stern)	- 0,3 mag	4,4 mag
Wega (Stern)	0,0 mag (def.)	0,6 mag
Polarstern (Stern)	2,0 mag	-4,6 mag
Pluto (Planet)	14,0 mag	-

Information zum Auge des Menschen

Auf der Netzhaut des Auges sitzen Zellen, die das einfallende Licht in elektrische Signale verwandeln und an das Gehirn weiterleiten. Wir besitzen zwei verschiedene Arten von Zellen, sogenannte Stäbchen- und Zäpfchenzellen: Die Stäbchenzellen sind sehr lichtempfindlich. Sie können jedoch keinerlei Farben wahrnehmen. Die Zäpfchenzellen hingegen sind relativ lichtunempfindlich, können dafür aber Farben wahrnehmen. Bei heller Umgebung werden die Signale der Stäbchen durch die Signale der Zäpfchen überlagert; bei dunkler Umgebung stumpfen die "farbigen" Signale der Zäpfchen ab und die der Stäbchen bleiben übrig.

Die Folge für astronomische Beobachtungen:

Die allermeisten Objekte, die wir mit einfachen Mitteln beobachten können, werden wir nur schwarzweiß wahrnehmen können.

Unsere Farbsinneszellen (Zäpfchen) sind für die meisten Objekte zu lichtunempfindlich, um Signale an das Gehirn weitergeben zu können.

Scharfes Sehen verdanken wir dem sogenannten *gelben Fleck* in unserem Auge. In diesem gelben Fleck sitzen die Farbsinneszellen (Zäpfchen) besonders dicht. Hier gibt es leider kaum Stäbchenzellen. Die Folge: Der Bereich des Sichtfeldes, bei dem wir tagsüber das scharfe Sehen gewohnt sind, kann besonders lichtschwache Objekte überhaupt nicht wahrnehmen.

In der Astronomie beobachtet man jedoch sehr häufig lichtschwache Objekte. Daher folgender

Tipp: *Bei der Beobachtung besonders lichtschwacher Objekte nicht direkt auf dieses Objekt schauen, sondern etwas seitlich versetzt (indirektes Sehen).*

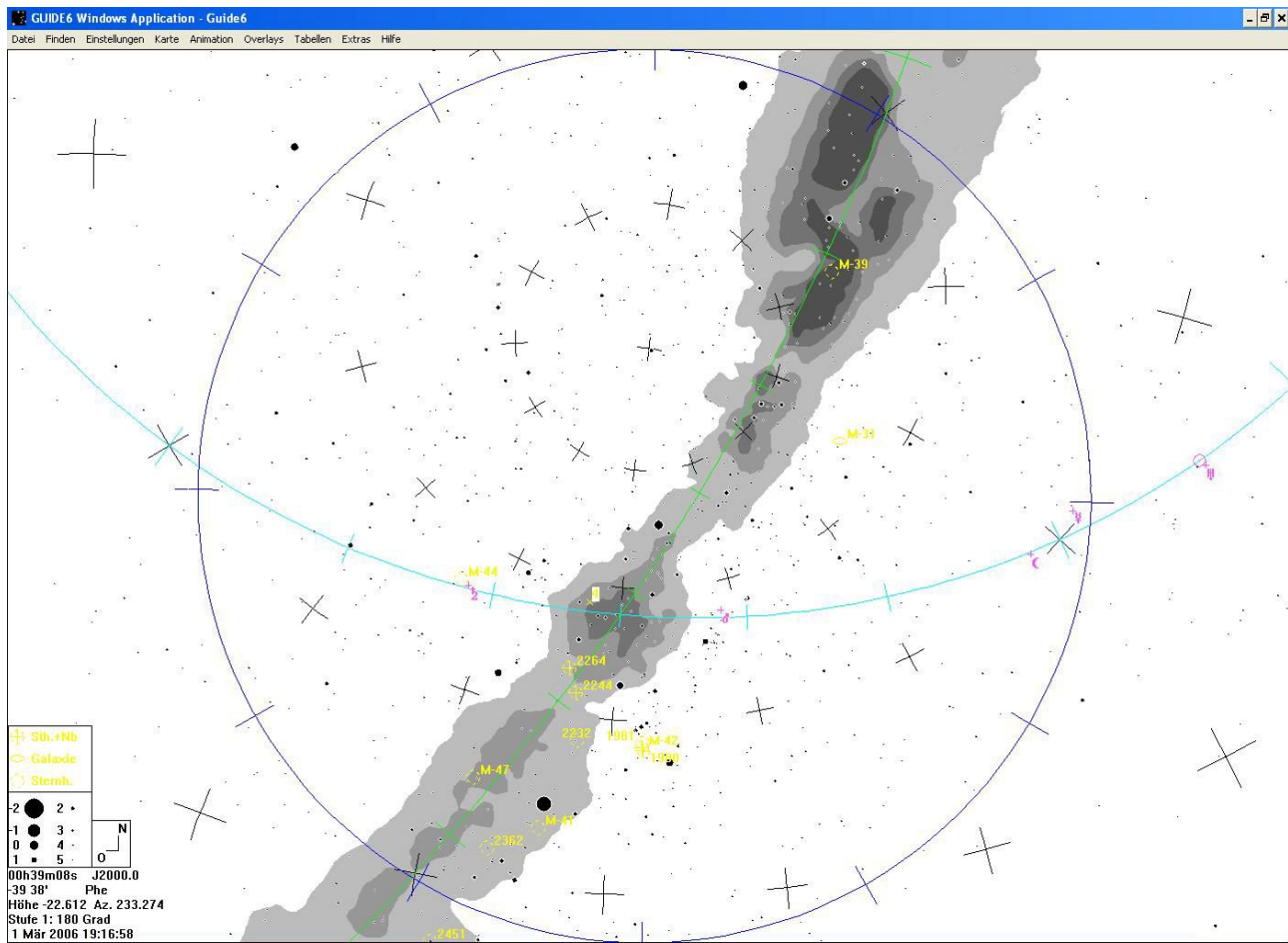
Denn dann trifft das Licht nicht mehr auf den gelben Fleck der Netzhaut, sondern auf einen Bereich, der dichter mit den lichtempfindlichen Stäbchenzellen besiedelt ist.

2.2.8 Virtuelle Planetarien

Virutelle Planetarien sind Programme, die den von der Erde aus sichtbaren Sternenhimmel zu einem beliebigen Zeitpunkt realistisch darstellen können. Plant man eine astronomische Beobachtung, so kann man sich am Computer anzeigen lassen, wie der Nachthimmel aussieht - und sich entsprechend auf den Beobachtungsabend vorbereiten.

Häufig verwendete Programme sind **Guide**, **RedShift** und das weiter unten detailliert vorgestellte **Cartes du Ciel**. Alle drei Programme erfreuen sich eines großen Funktionsumfangs und haben eine relativ selbsterklärende Benutzeroberfläche. Bei Cartes du Ciel handelt es sich zudem um ein Programm, das OpenSource ist. Das bedeutet, es ist kostenlos im Internet verfügbar und darf beliebig weiter kopiert werden.

Ich möchte an dieser Stelle anhand des Programms Guide (Version 6) die darstellenden Eigenschaften eines virtuellen Planetariums vorstellen. Diese Eigenschaften lassen sich problemlos auf RedShift, Cartes du Ciel und andere Programme übertragen. Auf Cartes du Ciel wird in einem späteren Abschnitt noch einmal intensiver eingegangen.



Im obigen Bild sehen wir ein Bildschirmfoto des genannten Programms. Im normalen Betrieb werden die Sterne weiß und der Hintergrund schwarz gezeichnet; um Druckerschwärze zu sparen, habe ich den Inhalt invertiert. Das Bild zeigt einen Ausschnitt des Himmels, wie man ihn am 1. März 2006 um 19:16 sehen würde. Es handelt sich hierbei also um eine Sternkarte, die vom Programm erstellt wird.

Bei einer nächtlichen Beobachtung können wir die astronomischen Objekte nur dann sehen, wenn sie oberhalb des Horizonts liegen. Der große blaue Kreis des obigen Bildschirmfotos markiert diesen Horizont: Sichtbar sind nur Objekte innerhalb des Kreises.

Links unten befindet sich auf dem Photo die Legende. Unterschiedlich helle Sterne werden in Guide entsprechend ihrer Helligkeit größer oder kleiner gezeichnet. Damit man die Helligkeit eines Sterns schnell abschätzen kann, ordnet die mittlere Legende den Größen einen Zahlenwert zu. Dieser Zahlenwert entspricht der eben kennengelegten scheinbaren Helligkeit. Rechts neben der Helligkeits-Legende befindet sich die Anzeige der Himmelsrichtung (O=Osten, N=Norden).

Sternkarten virtueller Planetarien benutzt man, in dem man sich ein ausgedrucktes Exemplar einer solchen Sternkarte über den Kopf hält, und das Papier so ausrichtet, dass die auf der Sternkarte markierte Himmelsrichtung mit der tatsächlichen Himmelsrichtung übereinstimmt. In dieser Stellung stimmen dann auch die Positionen der Objekte auf der Karte mit den Positionen in der Realität überein.

Im Bild befindet sich des Weiteren eine Datumsanzeige und eine Angabe zur

Position des Mauszeigers auf der Sternkarte (Deklination, Rektaszension).

Die Linie, die geschwungen von links nach rechts verläuft, stellt die *Ekliptik* (Begriffsklärung: siehe oben) dar. Hier entlang bewegen sich sämtliche Planeten des Sonnensystems. Im obigen Fall sind z.B. Saturn, Mars, Merkur und unser Mond zu sehen. (Im Bild dargestellt als Symbol; Symbole: siehe Kapitel 1.1)

Virtuelle Planetarien unterstützen, neben der Möglichkeit zum Erstellen von Sternkarten, eine ganze Reihe weiterer nützlicher Funktionen. Neben umfangreichen Suchfunktionen sind hier Funktionen zum Erstellen von Ereigniskalender, zum Erstellen von Finsternistabellen, zur Anzeige detaillierter Objektinformationen standard. Manche Programme verfügen über besondere Bonbons, etwa über ein Astronomie-Lexikon oder über die Möglichkeit, die Sternkarten mit realistischen Photos zu hinterlegen.

Bevor man eine Beobachtung startet, müssen nach der Installation eines virtuellen Planetariums nun nur noch zwei grundlegende Einstellungen vorgenommen werden:

1. Längen und Breitengrad des Beobachtungsortes müssen eingegeben werden. Dabei kann zusätzlich die Höhe des Ortes über dem Meeresspiegel in die Berechnung miteinbezogen werden.

2. Datum und Zeit müssen eingestellt werden. *Wichtig: MESZ und MEZ unterscheiden! (siehe unten)*

Nun steht einer programmunterstützten Beobachtung nichts mehr im Wege!

zu 1.:

Herborn:

50° 41' N (Breitengrad)

08° 19' O (Längengrad)

Diese Daten sind für den ganzen Lahn-Dill-Kreis eine gute Näherung.

Herborn befindet sich 287 Meter über NN.

zu 3.:

Grenzwerte für die Helligkeit:

Auge: ca. 6 mag

kleines Teleskop: ca. 8 mag

Teleskop ab 4 Zoll: mehr als 10 mag

2.2.9 Universalzeit (UT), Mitteleuropäische Zeit (MEZ), Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ)

Die Welt ist in Zeitzonen unterteilt, um die Uhrzeit den jeweiligen Helligkeitsverhältnissen anzupassen. UT nennt man die Ortszeit des durch Greenwich (England) führenden Nullmeridians.

In Deutschland laufen die Uhren im Winter nach der mitteleuropäischen Zeit (MEZ), im Sommer nach der mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ). Die Zeitzonen stehen in folgender Relation zueinander:

$MEZ = UT + 1 \text{ Stunde}$

$MESZ = UT + 2 \text{ Stunden} = MEZ + 1 \text{ Stunde.}$

Die meisten virtuellen Planetarien sind in der Lage, diese Zeiten selbstständig ineinander umzurechnen. Manche verlangen die UT.

2.3 Teleskope

Bei Beobachtungen von der Erde aus sind astronomische Objekte sehr klein und lichtschwach. Die meisten unter ihnen sind daher mit dem bloßen Auge nicht sichtbar. Daher benötigen wir Hilfsmittel, mit denen wir solche Objekte auflösen können. Diese Hilfsmittel sind in der Praxis Teleskope:

Teleskope vergrößern das astronomische Objekt und lassen es heller erscheinen. Dabei tritt das Licht des Objekts über eine große Fläche in das Teleskop ein, wird gebündelt und über die kleine Fläche der Pupille in das Auge.

Dieser Abschnitt soll die Funktionsweise von Teleskopen verständlich machen und einen Überblick über die Bandbreite der unterschiedlichen Teleskop-Bauarten geben.

Für all diejenigen, die an Teleskopbeobachtungen und somit an der Anschaffung von eigenen Teleskopen interessiert sind, soll dieser Abschnitt Ratschläge geben und über die Vor- und Nachteile der einzelnen Bauarten informieren. Danach gehen wir noch einmal auf wichtige Bestandteile von Teleskopen ein und verschaffen uns einen Überblick über die qualitativen Unterschiede bei Okularen und Montierungen.

2.3.1 Funktionsweise eines Linsenteleskops

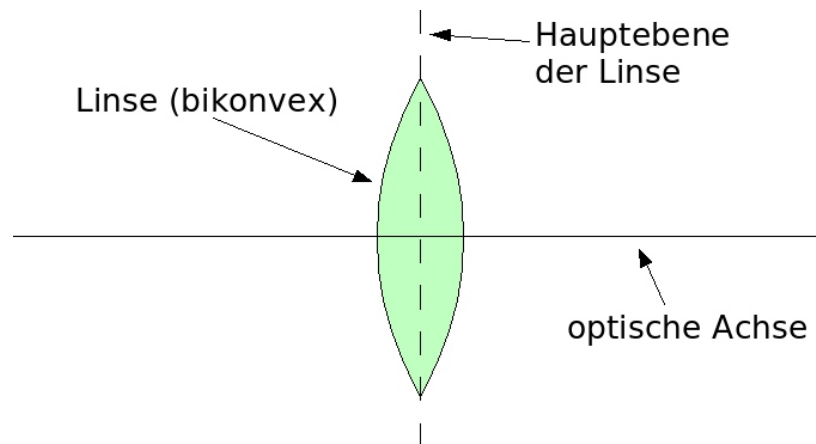
Dieser Unterabschnitt soll es dem Leser ermöglichen, die vergrößernden Eigenschaften von Teleskopen und Fernrohren zu verstehen. Wir beschränken uns dabei auf Teleskope, die ihre vergrößernden Eigenschaften zweier sogenannter Bikonvexlinsen verdanken. Bevor wir uns dem Aufbau und die Funktionsweise von solchen Teleskopen genauer ansehen, müssen wir uns daher zunächst den Eigenschaften von Bikonvexlinsen zuwenden.

Bikonvexlinsen im Strahlenmodell

Linsen sind in unserem Fall lichtdurchlässige Glaskörper, die den Weg des durch sie hindurchgehenden Lichtes gezielt verändern. Der Begriff *konvex* ist dem Lateinischen entlehnt und bedeutet "gewölbt". *Bikonvexlinsen* sind - wie ihr Name schon sagt - beidseitig gewölbte Glaskörper, mit denen sich Lichtwege verändern lassen.

Bekannt sind Bikonvexlinsen vor allem aufgrund ihres Einsatzes in Leselupen. Hier werden sie aufgrund ihrer "vergrößernden" Eigenschaften verwendet.

Zur genaueren Untersuchung der Eigenschaften von Linsen benötigen wir noch zwei wichtige Begriffe. In der folgenden Abbildung ist hierfür eine solche Bikonvexlinse im seitlichen Querschnitt gezeigt.

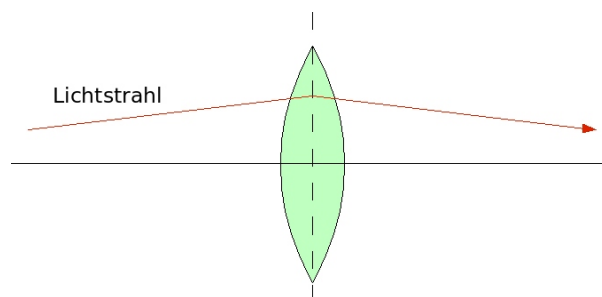


Die **Hauptebene** einer Bikonvexlinse befindet sich genau zwischen ihren beiden Wölbungen. Sie ist im obigen Querschnitt als gestrichelte Linie dargestellt. Senkrecht zur Hauptebene und durch den Mittelpunkt einer Linse läuft, wie in der Abbildung ebenfalls dargestellt, die sogenannte **optische Achse**.

Ziel ist es nun, den Einfluss einer Bikonvexlinse auf den Weg des Lichtes, welches durch sie hindurch verläuft, in einem einfachen Modell zu beschreiben. Für die genauen Vorgänge innerhalb der Linse interessieren uns nicht - uns kommt es hier vielmehr darauf an zu beschreiben, wie der Lichtweg durch die Linse verändert wird.

Zur genauen Untersuchung des Lichtweges sind sehr enge **Lichtbündel**, etwa wie sie von einem Laser erzeugt werden, besonders hilfreich, da sich hier der Lichtweg direkt verfolgen lässt: In einem Experiment lässt man mehrere schmale Lichtbündel durch die Linse hindurchscheinen und beobachtet die Änderung des Lichtweges hinter der Linse.

Im Anschluss an das Experiment kann man den Lichtweg in die obige Querschnittszeichnung durch Pfeile, die die jeweilige Richtung des jeweiligen Lichtbündels wiedergeben, eintragen. Die Pfeile nennen wir **Lichtstrahlen**. Lichtstrahlen geben also die Ausbreitungsrichtung von Licht wieder. Hier ein Beispiel:



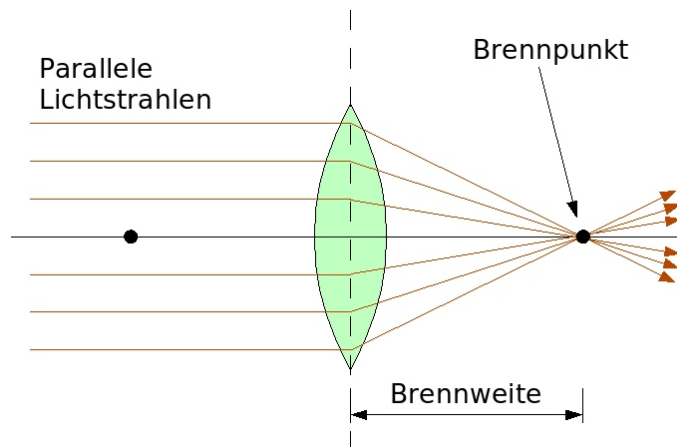
Der Lichtstrahl (rot) fällt von links auf die Linse ein, und wird von ihr in die eingezeichnete Richtung abgelenkt. Wie bereits oben erwähnt, behandeln wir nicht die genauen Vorgänge innerhalb der Linse. Daher zeichnen wir die Änderung der Richtung des Lichtstrahls, die in Wirklichkeit über die gesamte Breite der Linse geschieht, an der Hauptebene der Linse ein. Deshalb hat der in obiger Abbildung eingezeichnete Lichtstrahl an der Hauptebene (gestrichelte Linie) einen Knick. Das gibt zwar die Vorgänge innerhalb der Linse nicht korrekt wieder - doch die für uns wichtige, von außen feststellbare Richtungsänderung

des Lichtstrahls wird durch diese Vereinfachung trotzdem korrekt erfasst.

Bei den gerade vorgestellten Vereinfachungsgedanken handelt es sich um eine Modellvorstellung, die die Wirklichkeit für unsere Ansprüche genau genug beschreibt. Die Modellvorstellung nennt man in der Physik **Strahlenmodell**. Dabei haben wir auch schon eine Grenze ausfindig gemacht, auf die man das Strahlenmodell in obiger Form nicht anwenden kann: Auf das Innere einer Linse. Denn unsere gemachten Vereinfachungen sind zu grob, um über das Innere eine Aussage machen zu können.

Durch gezielte Experimente kann man feststellen, dass es sogenannte *Ausgezeichnete Lichtstrahlen* gibt, deren Richtungsänderungen durch eine Bikonvexlinse genau vorhergesagt werden können. Von solchen Ausgezeichneten Lichtstrahlen gibt es drei Typen, die nun vorgestellt werden:

- Lichtstrahlen, die *parallel zur optischen Achse* auf die Linse treffen, schneiden sich hinter der Linse in einem Punkt, der auf der optischen Achse liegt:

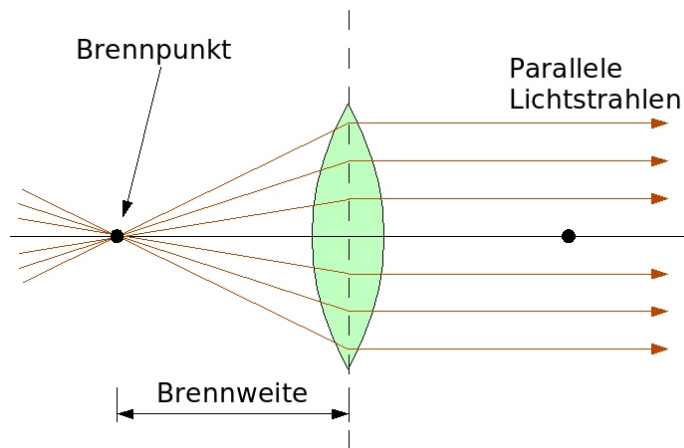


Der genannte Punkt wird **Brennpunkt** der Linse genannt. In obiger Abbildung lässt man die Lichtstrahlen von links aus auf die Linse treffen. Zum gleichen Ergebnis kommt man natürlich, wenn man die Lichtstrahlen von rechts aus auf die Linse treffen lässt - nur, dass der Brennpunkt dann auf der linken Seite liegt (er ist in der Abbildung angedeutet). Eine Linse hat also streng genommen zwei Brennpunkte - und zwar einen auf jeder Seite der optischen Achse.

Die Abstände der beiden Brennpunkte zur Linse sind gleich groß. Man nennt sie **Brennweite**. Genauer: Die *Brennweite* gibt den Abstand des Mittelpunktes der Linse zu den beiden Brennpunkten an. Für die einzelne Linse ist die Brennweite eine unveränderliche, feste Größe. Jedoch haben in der Regel unterschiedliche Linsen auch unterschiedliche Brennweiten.

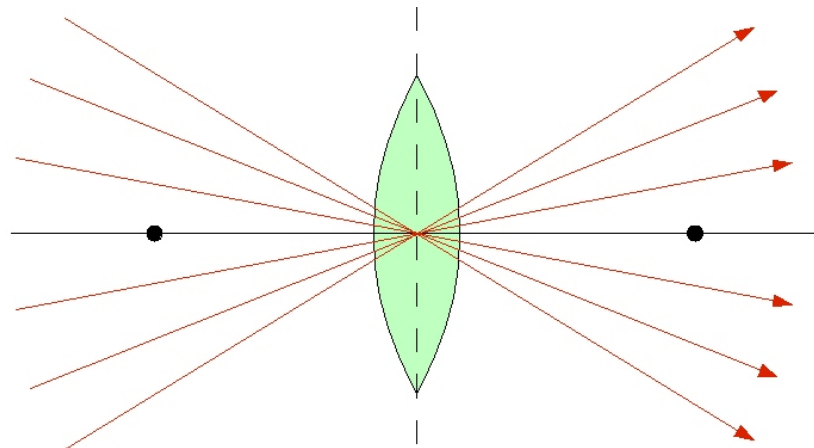
Jede Linse hat also ihre eigene, feste Brennweite. Diese Tatsache wird uns später von großem Nutzen sein.

- Lichtstrahlen, die durch einen der Brennpunkte verlaufen bevor sie auf die Linse treffen, sind hinter der Linse parallel zur optischen Achse.



Hierbei handelt es sich um einen ähnlichen Fall wie unter Punkt 1, nur, dass die Richtung der Lichtstrahlen umgekehrt wurde.

- Lichtstrahlen, die durch den Mittelpunkt einer Linse verlaufen, erfahren keine Richtungsänderung.

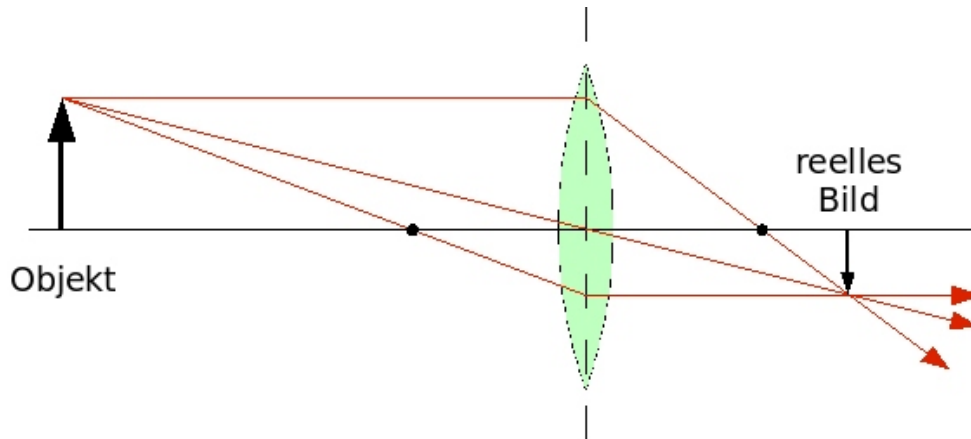


Das Gleiche gilt natürlich auch für Strahlen, die entlang der optischen Achse verlaufen, denn die optische Achse geht per Definition durch den Mittelpunkt der Linse.

Nun haben wir schon wichtige Eigenschaften der Bikonvexlinsen kennen gelernt. In den nächsten Unterabschnitten kommen wir nun zu einigen Anwendungen - darunter das Linsenteleskop (Refraktor).

Abbildungen mit Bikonvexlinsen

In der folgenden Abbildung betrachten wir ein beliebiges Objekt (z.B. eine Kerze), welches symbolisch durch einen dicken Pfeil dargestellt wird. Dabei verfolgen wir drei von der Spitze des Objektes ausgehenden Lichtstrahlen (rot), von denen wir den weiteren Verlauf hinter der Linse kennen: Den drei von der Objektspitze ausgehenden ausgezeichneten Lichtstrahlen.



Offenbar ist der obere Lichtstrahl parallel zur optischen Achse - er wird also von der Linse so abgelenkt, dass er durch den rechten Brennpunkt verläuft. Der mittlere Lichtstrahl geht durch den Mittelpunkt der Linse und erfährt daher keine Ablenkung durch die Linse. Der untere Lichtstrahl kreuzt den linken Brennpunkt - wir wissen also, dass er hinter der Linse parallel zur optischen Achse ist.

Was wir durch die obige Konstruktion geometrisch feststellen ist, dass alle drei Lichtstrahlen, die von einem einzigen Punkt des Objektes (der Spitze) ausgehen, sich hinter der Linse in einem einzigen Punkt wieder treffen. Wenn man für alle anderen Punkte des Objektes eine ähnliche Konstruktion anfertigt (worauf wir aus Platzgründen verzichten), stellt man fest, dass sich auch die von allen anderen Punkten ausgehenden Lichtstrahlen hinter der Linse wieder treffen. (Und zwar im gleichen Abstand zur Linse)

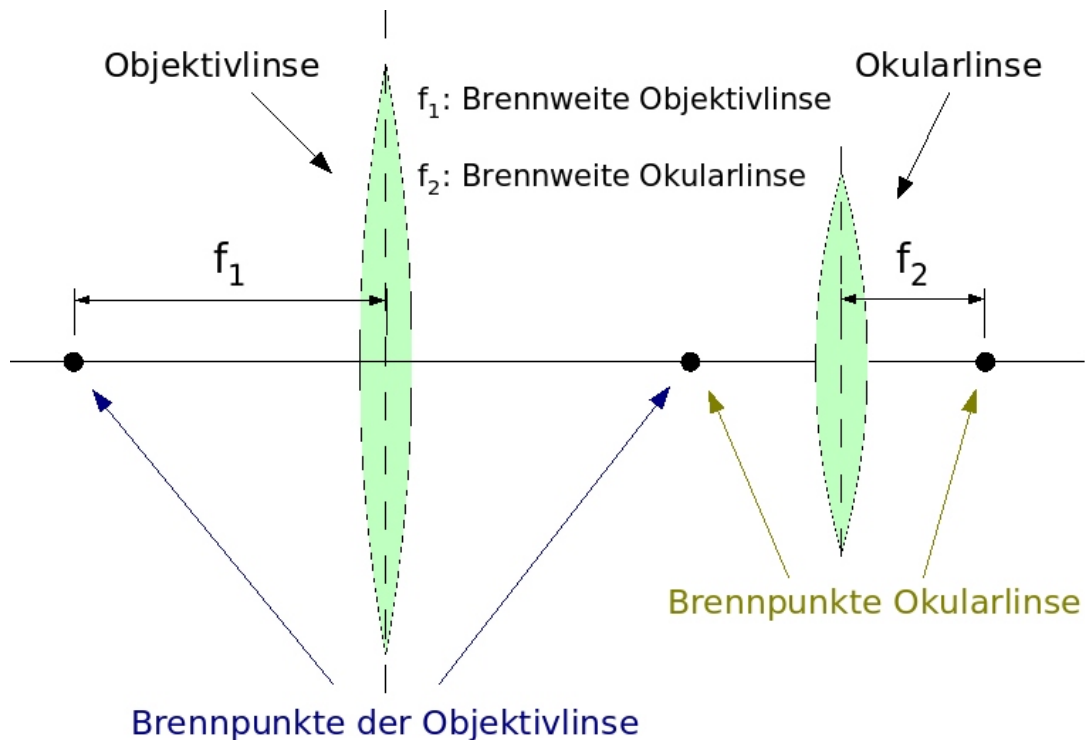
Die Vermutung liegt nahe: Würden wir an die Stelle hinter der Linse, an der die Lichtstrahlen wieder zusammenlaufen, ein weißes Blatt Papier befestigen, so würden die dort zusammentreffenden Lichtstrahlen das Blatt Papier "anstrahlen". Und so würde jeder Punkt des Objektes auf das Blatt Papier abgebildet. Führt man ein entsprechendes Experiment mit einer Lupe, einem beliebigen hellen Objekt und einem Blatt Papier durch, so wird die Vermutung bestätigt.

Dort, wo die Lichtstrahlen wieder zusammenlaufen entsteht ein sogenanntes *reelles Bild* von dem Objekt, welches sich vor der Linse befindet. Das Blatt Papier, auf der das Objekt abgebildet wird, entspricht der sogenannten *Bildebene*.

Dieser Effekt der Abbildung wird bei Fotoapparaten ausgenutzt. Hier befindet sich, anstelle des Blattes Papier, die Fotoplatte (bzw. der Film oder in Digitalkameras ein CCD-Chip).

Funktionsweise eines Linsenteleskops

In diesem Abschnitt beschäftigen wir uns mit der Funktionsweise eines Teleskops, welches in dieser Form als erstes von Johannes Kepler (1571-1630) für Himmelsbeobachtungen benutzt wurde. Die wichtigsten optischen Bestandteile, aus denen es besteht, sind zwei Linsen: Eine Objektivlinse mit großer, und eine Okularlinse mit kleiner Brennweite, wie es die folgende Abbildung zeigt:

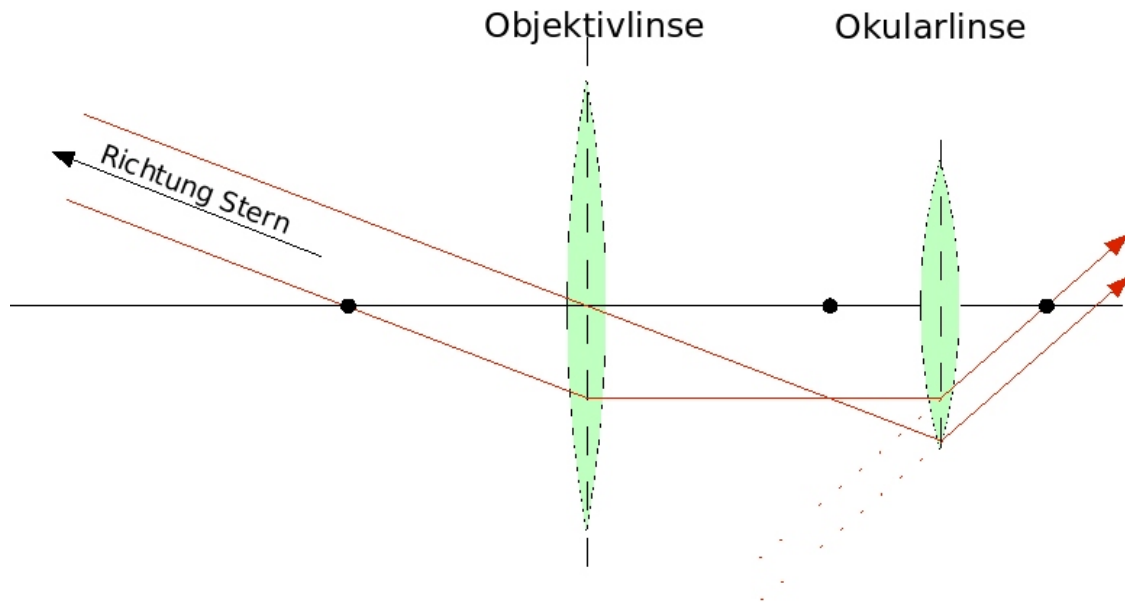


Die beiden Linsen werden so entlang einer optischen Achse aufgereiht, dass sich der rechte Brennpunkt der Objektivlinse an der selben Stelle auf der optischen Achse befindet, wie der linke Brennpunkt der Okularlinse (vgl. Abbildung). Die Brennweite der Objektivlinse nennen wir für den gesamten restlichen Abschnitt f_1 , die Brennweite der Okularlinse entsprechend f_2 .

Natürlich besteht ein solches Linsenteleskop nicht nur aus Linsen, sondern auch aus Halterungen, dem "Rohr" (Tubus), u.v.m. Da die optischen, vergrößernden Eigenschaften eines Linsenteleskops jedoch nicht davon abhängen, lassen wir diese Bestandteile auch in den kommenden Abbildungen weg.

Man benutzt das Teleskop, indem man durch die Okularlinse schaut, und die optische Achse auf das zu beobachtende Objekt richtet. Das Licht des Objektes passiert also als erstes die Objektivlinse, bevor es anschließend über die Okularlinse in das Auge des Beobachters fällt.

Astronomische Objekte sind in der Regel sehr weit vom Beobachter (auf der Erde) entfernt. Aufgrund dieser großen Entfernung kommen die vom astronomischen Objekt ausgehenden Lichtstrahlen nahezu parallel zueinander beim Beobachter an. Der Weg zweier ausgezeichneten Lichtstrahlen, die von einem weit entfernten Stern ausgehen und schräg auf das Teleskop treffen, ist in der folgenden Abbildung eingezeichnet. Als Teleskop verwenden wir die gerade eben kennengelernte Anordnung von Linsen:



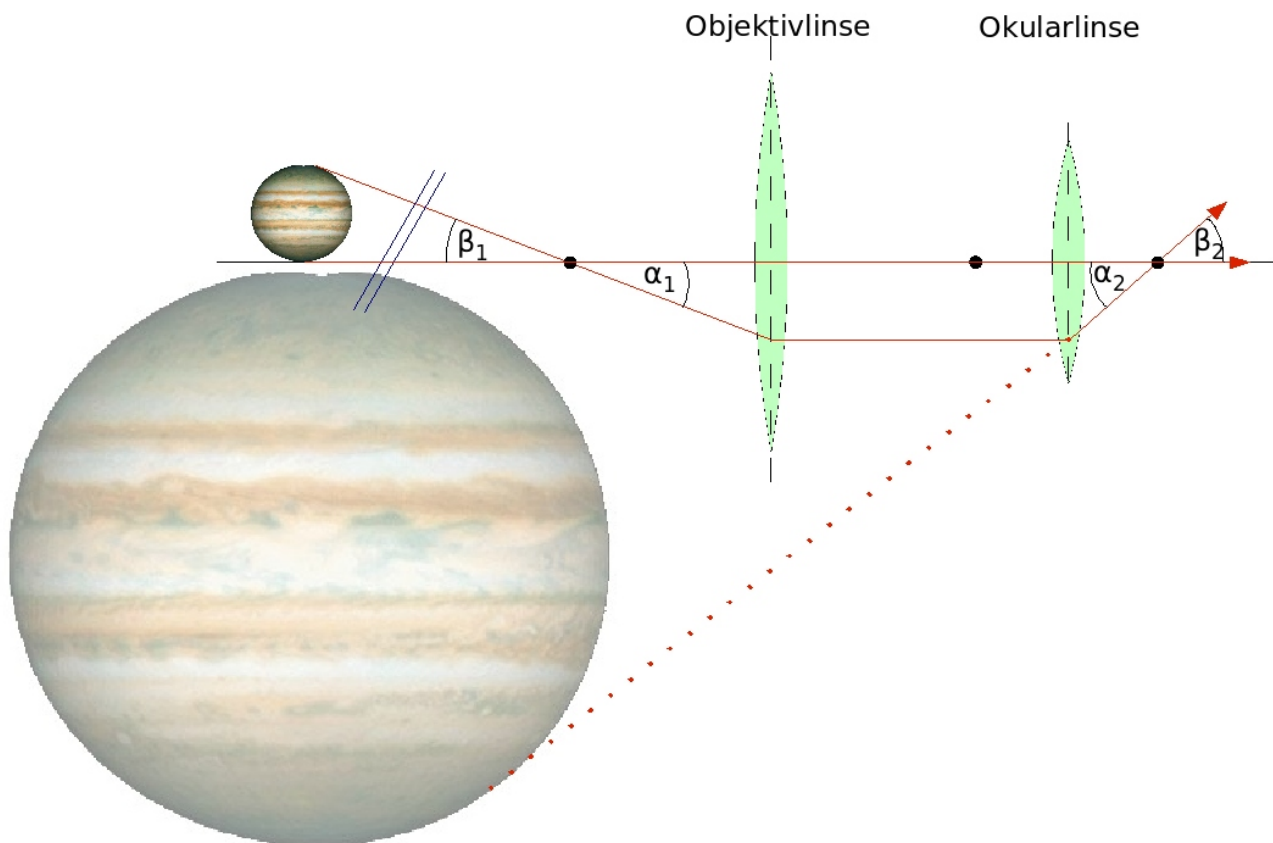
Was passiert nun genau in unserem Teleskop?

Im Unterabschnitt "Abbildungen mit Bikonvexlinsen" haben wir gesehen, dass ein Objekt hinter einer Linse an der Stelle abgebildet wird, an der die ausgezeichneten Lichtstrahlen sich kreuzen. In obiger Abbildung kreuzen sich die beiden dargestellten ausgezeichneten Lichtstrahlen des Sterns hinter der Objektivlinse, und zwar im Abstand des rechten Brennpunktes. Und tatsächlich zeigen Experimente: Hält man bei einer wie oben aufgebauten Anordnung ein Blatt Papier an der Stelle des rechten Brennpunktes in den Lichtweg, so wird der Stern darauf abgebildet. Das bedeutet: Die Bildebene der Objektivlinse liegt für den Stern in der Höhe ihres rechten Brennpunktes. Die Okularlinse "macht" nun nichts anderes, als das in dieser Bildebene entstehende Bild nochmals zu vergrößern.

Hinter der Okularlinse sitzt in der Regel der Beobachter mit seinem Auge. Für ihn scheint das Licht des Sterns aus der Richtung der gepunkteten Linien unterhalb der optischen Achse zu kommen. Tatsächlich kommt das Licht in der Zeichnung aber von Oberhalb der optischen Achse. Durch ein Teleskop erscheint der Sternenhimmel also Seitenvertauscht (oben ist unten und links ist rechts), was für Anfänger die nächtliche Beobachtung zunächst ein wenig erschwert.

Als nächstes werden wir mit Hilfe der bisher gelernten Erkenntnisse den "Vergrößerungsfaktor" eines Teleskops ausrechnen. Dieser Faktor wird in den Fachbüchern **Winkelvergrößerung** genannt. Die Herleitung erfolgt anhand eines anschaulichen Beispiels:

Wir nehmen an, ein Beobachter beobachtet Jupiter durch sein Teleskop. Dafür richtet er die Optische Achse auf den untersten Punkt von Jupiter. In der folgenden Abbildung ist die Situation gezeichnet. Zur Vereinfachung betrachten wir wieder nur zwei ausgezeichnete Lichtstrahlen: Einer, der vom untersten Punkt Jupiters ausgeht und entlang der optischen Achse verläuft. Da er mit der optischen Achse durch die Mittelpunkte der beiden Linsen geht, wird er durch sie nicht abgelenkt. Der andere Lichtstrahl, den wir betrachten, geht vom obersten sichtbaren Punkt Jupiters aus, und verläuft durch den linken Brennpunkt der Objektivlinse.



Die beiden ausgezeichneten Strahlen sind in der obigen Darstellung nach den unter "Bikonvexlinsen im Strahlenmodell" kennen gelernten Gesetzen eingezeichnet. Die blauen Querstriche auf der linken Seite sollen andeuten, dass zwischen dem Teleskop und dem Planeten Jupiter eine größere Distanz liegt, als eingezeichnet.

Der Beobachter hat sein Auge an der linken Okularlinse, und hier treffen die Lichtstrahlen, wie eingezeichnet, in sein Auge ein. Da der ausgezeichnete Strahl, der durch die optische Achse verläuft, nicht von den Linsen abgelenkt wird, scheint dieser für den Beobachter aus der Richtung entlang der optischen Achse zu kommen. Der Lichtstrahl, der vom oberen Rand des Jupiters durch den linken Brennpunkt der Objektivlinse läuft, wird offenbar so von den Linsen umgelenkt, dass er für den Beobachter entlang der gepunkteten Linie zu kommen scheint. Offenbar sieht der Beobachter den untersten Punkt Jupiters aus der Richtung, aus der er tatsächlich kommt. Der obere Punkt Jupiters scheint jedoch in der Richtung der gepunkteten Linie zu liegen. Dadurch kommt es, wie eingezeichnet, zu einem Vergrößerungseffekt.

Um die Winkelvergrößerung, also den Vergrößerungsfaktor, wirklich ausrechnen zu können, müssen wir mit Kenntnissen aus der Mathematik vorgehen. Dazu betrachten wir noch einmal die obige Abbildung:

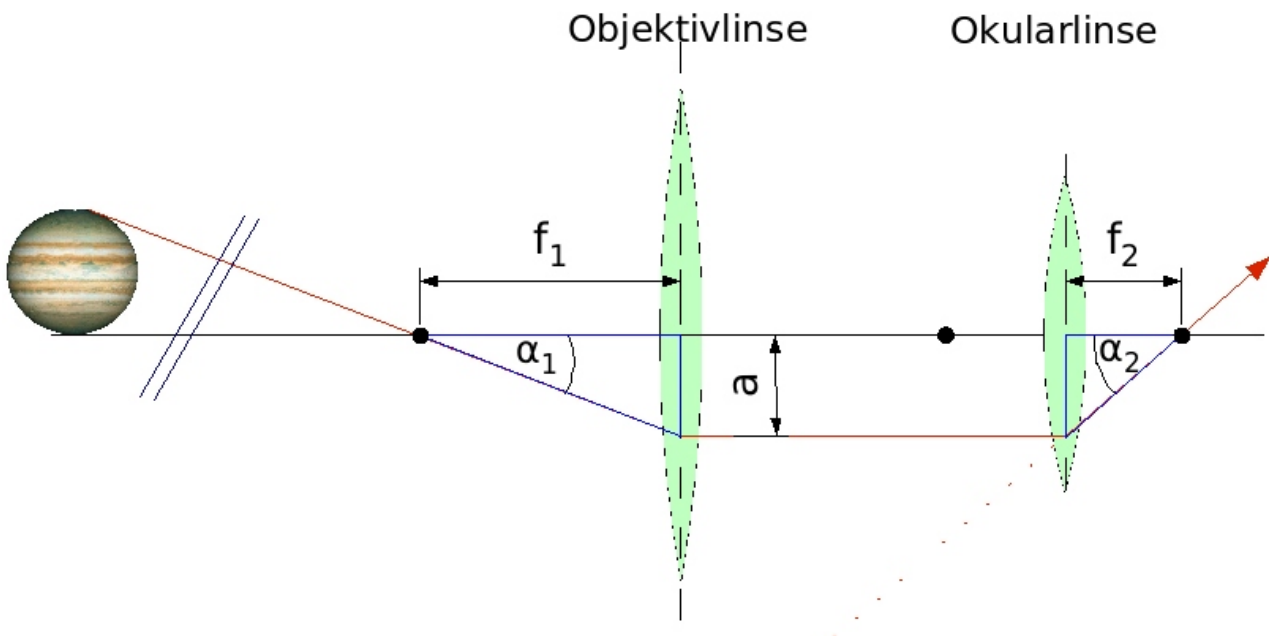
Der Winkel β_1 ist der Winkel zwischen den beiden ausgezeichneten Lichtstrahlen an der Stelle des Brennpunktes. Er gibt also den Winkel zwischen obersten und untersten Punkt Jupiters an, wie man ihn an der Stelle des Brennpunktes sehen kann, bevor Jupiter durch das Teleskop vergrößert wird. Wir nehmen den Winkel β_1 daher als Maß für die "Größe" Jupiters, wenn man ihn nicht durch ein Teleskop hindurch betrachtet. Der Winkel α_1 ist der Gegenwinkel zu β_1 , und ist daher genauso groß, also $\alpha_1 = \beta_1$.

Dagegen ist nun β_2 der Winkel zwischen den beiden Strahlen, nachdem die Strahlen das Teleskop passiert haben. Wenn der Beobachter also durch das Teleskop hindurch schaut, ist für ihn β_2 der Winkel zwischen den obersten und untersten Punkt Jupiters. Damit ist β_2 ein Maß für die "Größe" Jupiters, wenn man ihn durch das Teleskop hindurch anschaut. Da α_2 hier ein Gegenwinkel von β_2 ist, gilt auch hier: $\alpha_2 = \beta_2$.

Da nun β_1 ein Maß für die Größe von Jupiter ohne, und β_2 mit Teleskop ist, ist der Vergrößerungsfaktor (die Winkelvergrößerung):

$$V = \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (1)$$

Unser Ziel wird es nun sein, die Winkelvergrößerung durch die Brennweiten der beiden Linsen des Teleskops anzugeben. Dazu müssen wir überlegen, in wie fern α_1 und α_2 von den Brennweiten abhängen. Die folgende Abbildung wird dazu hilfreich sein. Sie zeigt den selben Strahlengang, wie die obige Abbildung, nur mit einigen zusätzlichen Hilfsbezeichnungen:



In der Abbildung sind zwei Dreiecke im Strahlengang blau markiert. Auf diese Dreiecke wenden wir jetzt die Definition des Tangens an und erhalten:

$$1.: \tan(\alpha_1) = \frac{a}{f_1}$$

$$2.: \tan(\alpha_2) = \frac{a}{f_2}$$

Aus der Mathematik ist bekannt: Für sehr kleine Winkel gilt $\tan(\alpha_1) \approx \alpha_1$ und $\tan(\alpha_2) \approx \alpha_2$. In der Zeichnung sind die Winkel zwar groß dargestellt. In Wirklichkeit kommen sie aber tatsächlich in den Größenbereich, in dem diese Näherung gilt. Damit folgt für die beiden Gleichungen:

$$1.: \alpha_1 \approx \tan(\alpha_1) = \frac{a}{f_1} \quad (\text{für kleine } \alpha_1)$$

$$2.: \alpha_2 \approx \tan(\alpha_2) = \frac{a}{f_2} \quad (\text{für kleine } \alpha_2)$$

Mit Hilfe dieser beiden Gleichungen ersetzen wir nun α_1 und α_2 aus Gleichung (1), und erhalten die Winkelvergrößerung eines Teleskops in Abhängigkeit zur Brennweite von Objektiv- und Okularlinse.

$$V = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\left(\frac{a}{f_2}\right)}{\left(\frac{a}{f_1}\right)} = \frac{f_1}{f_2}$$

Das fassen wir noch einmal zusammen:

Winkelvergrößerung eines Teleskopes

Es sei f_1 die Brennweite der Objektivlinse (bei Reflektoren: die Brennweite des Hauptspiegels) und f_2 die Brennweite der Okularlinse des Teleskops. Dann ergibt sich für die sogenannte Winkelvergrößerung V :

$$V = \frac{f_1}{f_2}$$

Dies ist der Vergrößerungsfaktor, mit dem astronomische Objekte durch ein Teleskop hindurch gesehen werden können.

Wichtige Folgerung:

Je größer die Brennweite der Objektivlinse und je kleiner die Brennweite der Okularlinse ist, desto stärker ist die Vergrößerung. Weil stets die gleiche "Menge" Licht über das Objektiv eingefangen wird, und sich dieses Licht bei stärkerer Vergrößerung auf eine größere Fläche (der Netzhaut) verteilt, gilt außerdem: *Je stärker die Vergrößerung, desto Lichtschwächer wird das Objekt durch das Teleskop hindurch wahrgenommen.*

Eine zu große Wahl der Vergrößerung verschlechtert die Qualität des Bildes, da Abbildungsfehler (etwa durch Linsenfehler) mitverstärkt werden. Dadurch wird das Bild mit wachsender Vergrößerung zusehens unscharf. Es gibt eine Faustregel für die *maximal sinnvolle Vergrößerung*: Die **maximal sinnvolle Vergrößerung eines Teleskopes** liegt etwa bei dem Durchmesser der Objektivlinse in Millimeter. Bei *Refraktoren* (Linsenteleskopen) etwas darüber, bei *Reflektoren* meist ein Stück darunter.

Beispiel: Ein Teleskop hat einen Objektivlinsendurchmesser von 100 mm; Dann beträgt für dieses Teleskop die maximal sinnvolle Vergrößerung: 100-fach.

Das Öffnungsverhältnis eines Teleskops

Unter dem Öffnungsverhältnis versteht man das Verhältnis Brennweite geteilt durch Öffnungsdurchmesser. Bei im Handel erhältlichen Teleskopen ist das Öffnungsverhältnis immer in der Form "f / Öffnungsverhältnis" angegeben. Beispiel: Öffnungsverhältnis = 4 --> "f / 4"

Die Bedeutung des Öffnungsverhältnisses:

- Je größer das Öffnungsverhältnis, desto besser die Bildqualität. Es verringert sich der Einfluss optischer Fehler (Koma, Astigmatismus,...) bei größerem Verhältnis.
- Je kleiner das Öffnungsverhältnis, desto kompakter ist das Teleskop gebaut.

Lichtsammelvermögen eines Teleskopes

In diesem Unterabschnitt schätzen wir ab, um welchen Faktor L ein Teleskop bei gegebener Vergrößerung V die Helligkeit eines astronomischen Objektes verstärkt. Überlegung:

Wenn das gesamte Licht, dass über die Fläche der Öffnung des Teleskops (F_T) einfällt, auf die Fläche der Pupille des Auges (F_A) "gebündelt" wird, so müsste man einfach prüfen, um welchen Faktor die Fläche der Öffnung des Teleskops größer ist als die Pupillenfläche. Hier wäre also $L = F_T/F_A$.

Die ist bei einfacher Vergrößerung der Fall. Wenn man das beobachtete Objekt nun V -fach vergrößert, so schwächt sich das Licht um den Faktor V ab. Daraus erhalten wir die entgültige Formel:

$$L = \frac{F_T}{F_A \cdot V}$$

Dies ist der Faktor, mit dem das einfallende Licht verstärkt wird. Der Durchmesser der Pupille kann bei Dunkelheit mit 8mm angenommen werden. Man beachte:

- Bei den Spiegelteleskopen (werden unten genauer vorgestellt) muss man bei F_T die Fläche des Fangspiegels abziehen, da er im Strahlengang des Lichtes sitzt und Lichtundurchlässig ist.
- Bei Linenteleskopen kommt es zu Verlusten beim Durchlaufen des Lichts durch die Linsen. Bei Spiegelteleskopen kommt es zu Verlusten beim Spiegeln des Lichtes. Die Verluste hängen von der Qualität der verwendeten Optik ab und gehen in die obige Rechnung nicht ein.

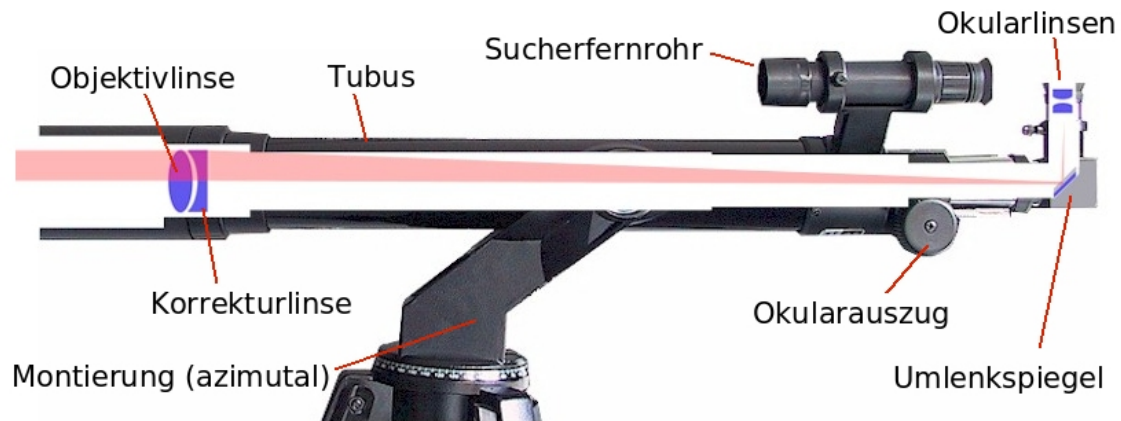
2.3.2 Linsenteleskope - Refraktoren¹

Linsenteleskope, wie wir sie im vorangegangenen Abschnitt genauer untersucht haben, nennt man in der Fachsprache meist **Refraktor**.

Refraktoren bestehen aus mindestens zwei Konvexlinsen: Einer **Objektivlinse**, welche das Sternenlicht einfängt, und einem **Okularlinse**, an die der Beobachter sein Auge hält, um durch das Teleskop zu schauen. Wie gesagt: Refraktoren bestehen mindestens aus zwei Linsen. Häufig werden weitere Korrekturlinsen eingebaut, die entweder die Qualität des Bildes verbessern, oder aber den durch das Teleskop sichtbaren Ausschnitt vergrößern (das Sichtfeld).

¹ Für die folgenden Teleskopquerschnitte danke ich Herrn Manfred Müller (www.mueller-manching.de) recht herzlich. Er stellt die Abbildungen für dieses AstroSkript zur Verfügung.

Die folgende Abbildung zeigt einen Schnitt durch einen Refraktor. Auf der rechten Seite des Teleskops wurde vor dem Okular ein Umlenkspiegel montiert, der das Beobachten hoch stehender astronomischer Objekte erleichtert.



Refraktor: Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Robust und relativ unempfindlich gegenüber Erschütterungen. Nachjustierung nicht notwendig.

Nachteile:

- Chromatische Abberation: Durch die Linsen wird das einfallende Licht spektral aufgespalten. Die unterschiedlichen Spektralfarben haben daher verschiedene Brennpunkte. Folge: Es treten Farbverzerrungen auf.
- Hohe Kosten: Gute Linsenteleskope sind schwer herzustellen und daher teuer.
- Hohes Gewicht bei schweren Linsen.

Hauptargument für die meisten Einsteiger, sich kein Linsenteleskop zuzulegen, ist der hohe Preis für ein gutes Exemplar. Immer wieder werden Linsenteleskope in Discounter zu Minimalstpreisen angeboten. Von solchen Billigangeboten möchte ich abraten. Meist hat man mit solchen Geräten aufgrund mangelnder Qualität mehr Ärger als Freude.

In teuren Exemplaren wird die chromatische Abberation durch Zusatzlinsen weitgehend ausgeglichen.

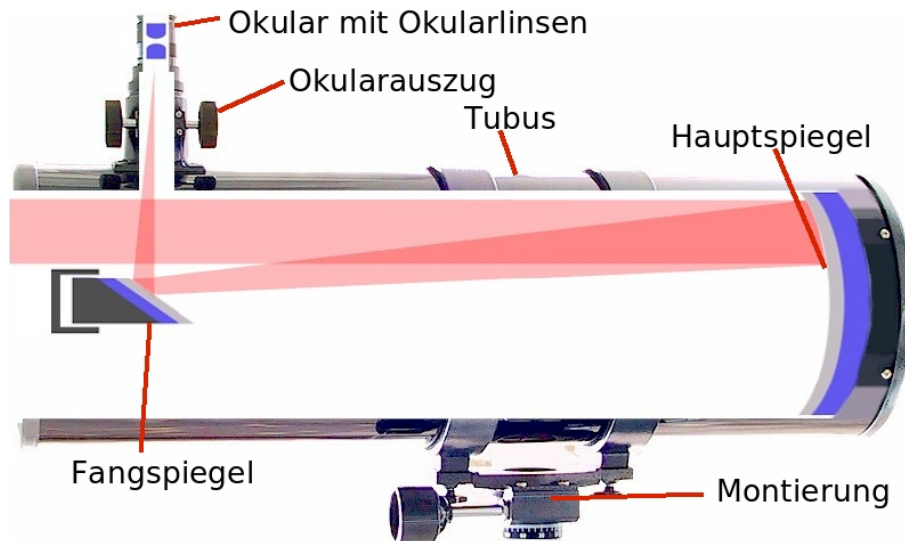
2.3.3 Vorbemerkung: Spiegelteleskope (Reflektoren)

Spiegelteleskope verwenden statt einer Objektivlinse einen großen Spiegel, der aufgrund seiner Wölbung das einfallende Licht in einem Brennpunkt bündelt, und der somit bei einem Spiegelteleskop die gleiche Aufgabe erfüllt wie die Objektivlinse bei einem Linsenteleskop. Dieser Spiegel wird meist *Hauptspiegel* genannt; er ist der größte Spiegel im System.

Unter den Reflektoren gibt es sehr unterschiedliche Bauformen. Die drei

Wichtigsten werden nun vorgestellt:

2.3.4 Das Newton-Teleskop



Die von Isaac Newton (1643-1727) entwickelte Bauform lenkt das vom Hauptspiegel gebündelte Licht über einen um 45° geneigten Fangspiegel in eine seitliche Öffnung, in der das Okular steckt.

Bei Teleskopen dieser Bauform beobachtet man also die astronomischen Objekte durch eine seitliche Öffnung hindurch.

Newton: Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Geringes Gewicht: Keine schwere Objektivlinse
- Preisgünstig in der Herstellung. Große Öffnungen sind schon zu relativ günstigen Preisen zu haben.

Nachteile:

- Erschütterungsempfindlich: Der Hauptspiegel muss gelegentlich nachjustiert werden (siehe unten).
- Koma: Insbesondere schlecht justierte Newton-Teleskope weisen Koma-Effekte auf. Das bedeutet, dass Objekte in bestimmten Bereichen des Sichtfeldes nicht mehr scharf dargestellt werden.
- Unbequeme Beobachtungsposition: Die Beobachtung durch die seitliche Öffnung kann in ungünstigen Fällen sehr unbequem sein.

Voraussetzung für ein scharfes Bild ist, dass der Brennpunkt des Hauptspiegels an der richtigen Stelle vor dem Okular in der seitlichen Öffnung liegt. Daher muss das Teleskop nach dem Kauf zunächst eingestellt werden. Dies geschieht über drei Schrauben, die jeweils hinter dem Hauptspiegel nach außen führen.

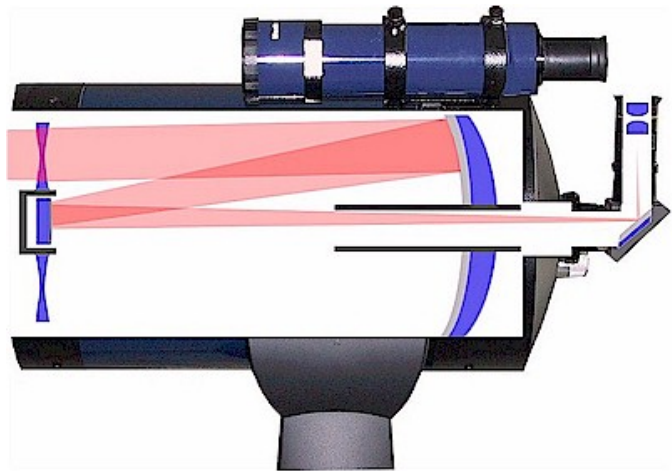
Über diese drei Schrauben lässt sich die Position des Brennpunktes an die richtige Stelle verschieben. Eine Justage benötigt Übung und Fingerspitzengefühl. Eine Überspannung der Schrauben kann den Hauptspiegel zerstören. Wer sich nicht sicher ist, sollte sein Teleskop vom Fachmann einstellen lassen.

Der größte Nachteil dieser Bauart besteht nun darin, dass der Hauptspiegel bei Erschütterungen verrutschen kann. In Folge dessen muss das Teleskop erneut justiert werden. Bei einem nichtjustierten Teleskop verhindert eine stark ausgeprägte Koma das Scharfstellen astronomischer Objekte. Bei justierten Teleskopen ist das Koma nur schwach ausgebildet.

Dennoch ist nach meiner Einschätzung diese Bauart zum Einstieg die geeignetste. Eine richtige Justierung vorausgesetzt, erhält man durch kaum eine andere Bauform für so wenig Geld ein akzeptables Beobachtungsergebnis.

2.3.5 Schmidt-Cassegrain Teleskop

In einem Newton gelangt das Licht des Hauptspiegels durch eine seitliche Öffnung nach draußen. Bei einem Schmidt-Cassegrain wirft der Fangspiegel das Licht des Hauptspiegels zurück, und es gelangt durch ein Loch im Hauptspiegel hindurch zum Okular. Die seitliche Abbildung zeigt den Gang eines Lichtbündels durch das Teleskop. Vor dem Okular befindet sich hier noch ein 45°-Umlenkspiegel. Dadurch können hoch über dem Horizont stehende Objekte leicht beobachtet werden.



Der Fangspiegel des Teleskops wird auf einer dünnen Scheibe befestigt: Die sogenannte Schmidt-Platte korrigiert beim Durchlaufen des einfallenden Lichtes die optischen Fehler des Systems weitgehend.

Dadurch, dass das Licht des Hauptspiegels vom Fangspiegel zurückgeworfen wird, ist diese Bauform besonders kompakt:

Refraktoren und Newton-Teleskope haben vom Ausmaß her mindestens die Länge der Brennweite der Objektivlinse bzw. des Hauptspiegels. Bei einem Teleskop vom Typ Schmidt-Cassegrain wird durch das Zurückwerfen des Lichtes die Länge des Teleskopes "zweimal" benutzt. Dadurch sind Schmidt-Cassegrains halb so lang die Brennweite des Hauptspiegels.

Schmidt-Cassegrain: Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Kompakte Bauweise
- Kaum optische Fehler danke Schmidt-Platte
- Kaum Wartungsaufwand: Keine Nachjustierung notwendig. Außerdem kann durch die Schmidt-Scheibe kein Staub in das Gehäuseinnere kommen.

Nachteile:

- Teuer.

Eine Nachjustierung entfällt nicht bei allen Modellen. Der Preis von guten Schmidt-Cassegrain-Teleskopen liegt im vierstelligen Bereich.

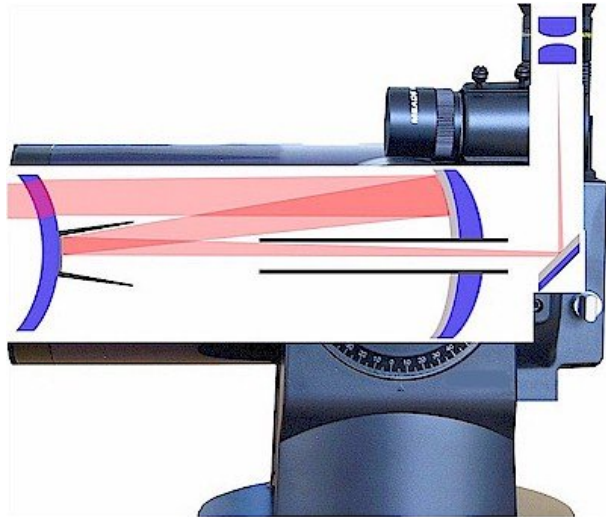
2.3.6 Maksutov-Cassegrain Teleskop

Teleskope vom Typ Maksutov-Cassegrain sind ähnlich aufgebaut, wie Schmidt-Cassegrain-Teleskope. Es gibt nur zwei wesentliche Unterschiede:

An Stelle einer Schmidt-Platte findet man bei Maksutov-Cassegrain-Teleskopen eine sogenannte *Meniskuslinse*. Durch die Meniskuslinse werden optische Fehler schon beim Einfall des Lichtes behoben.

Der Fangspiegel sitzt direkt hinter der Meniskuslinse. Manchmal ist er einfach nur auf die Linse aufgedampft.

Der Strahlengang bei einem Maksutov-Cassegrain gleicht dem Strahlengang eines Schmidt-Cassegrains. Die Meniskuslinse ist noch leistungsfähiger als die Schmidt-Platte; die Qualität der Optik ist unübertroffen.



Maksutov-Cassegrain: Vor- und Nachteile

Vorteile:

- Sehr hohe Qualität der Optik
- Kaum Wartungsaufwand: Nachjustierung bei den meisten Modellen nicht notwendig. Außerdem kann durch die Meniskuslinse kein Staub ins Innere eindringen.
- Kompakte Bauform

Nachteile:

- Teuer
- Großes Gewicht wegen Meniskuslinse

Aufgrund der schweren Meniskuslinse ist die Herstellung großer Öffnung bei dieser Bauform unmöglich.

2.3.7 Teleskopmontierungen²

Eine gute Montierung ist ebenso wichtig wie die Qualität des restlichen Teleskopes. Nur eine stabile, robuste und gut verarbeitete Montierung garantiert

² Ich danke Herrn Wolfgang Ransburg (www.teleskop-service.de) für die Photos dieses Abschnittes, die er für das AstroSkript zur Verfügung stellte.

in Verbindung mit einem gutem Teleskop eine lohnenswerte Beobachtung. Daher habe ich für dieses Thema einen eigenen Unterabschnitt eingefügt.

Man unterscheidet zwischen zwei Arten von Montierungen:

Azimutale Montierung

Mittels einer azimutalen Montierung lässt sich die Richtung, in der das Teleskop zeigt, durch zwei Achsen verstellen: Eine senkrechte und eine waagrechte Achse.

Der Hauptvorteil azimutaler Montierung liegt in der einfachen Handhabung. Man kann nämlich die Achsen auf ein Objekt richten, ohne vorher überlegen zu müssen, wie man dazu die Achsen verstellen muss.



Dennoch ist dem Einsteiger von einer azimutalen Montierung abzuraten: Der Nachthimmel dreht sich aufgrund der Erdrotation. Das dadurch bedingte "Wandern" astronomischer Objekte am Nachthimmel wird durch die Vergrößerung eines Teleskopes derart verstärkt, dass man das Teleskop *nachführen* muss. Die Nachführung ist bei azimutaler Montierung sehr schwer, da sich die Objekte am Himmel eben nicht entlang einer waagrechten bzw. senkrechten Linie bewegen. So müssen stets zwei Achsen nachgeführt werden. Dadurch wird die Nachführung kompliziert und dies macht Astrophotographien unmöglich.

Die *parallaktische Montierung* behebt das Problem; sie ist so konstruiert, dass nur eine Achse nachgeführt werden muss. Doch dazu später mehr.

Einer der Hauptvertreter azimutaler Montierung ist die sogenannte Montierung nach *Dobson* (1915 - ?). Dabei handelt es sich um eine spezielle azimutale Aufhängung von Newton-Teleskopen. Teleskope, die mit einer Dobsonmontierung aufgehängt sind, nennt man allgemein **Dobson**.



Ein Dobson ist ein Newton-Teleskop, das, wie im Bild gezeigt, an der Achse seines Gleichgewichtspunktes befestigt ist, und auf einen Drehteller steht.

Dobsonmontierungen erfreuen sich großer Beliebtheit:

Zum einen sind sowohl Montierung als auch das Newton-Teleskop günstig herzustellen. Zum anderen ist die Dobsonmontierung eine sehr stabile Montierung, die sowohl eine große Öffnung, als auch eine große Brennweite des Teleskops zulässt, ohne, dass der Aufbau des Teleskops allzu kompliziert ist.

In der Summe sind Dobsons sehr leistungsstarke Teleskope, die man sehr kostengünstig erwerben kann. Und das macht die Dobsonmontierung unter vielen Astronomen beliebt.

Da sich eine manuelle Nachführung aufgrund der azimutalen Montierung und der fehlenden Feinnachführung als sehr schwierig rausstellt, empfehle ich die Dobsonmontierung nur in Verbindung mit einer automatischen Nachführung

(GOTO-System), bei der die Nachführung über elektronische Schaltkreise geregelt wird.

Parallaktische Montierung

In diesem Fall wird das Teleskop derart montiert, dass die Nachführung des Teleskops bei der Beobachtung von astronomischen Objekten über eine einzige Achse geschehen kann. Die Vorteile einer solchen Montierung liegen zum einen in der dadurch einfach gewordenen Nachführung; zum anderen in der Möglichkeit zur Astro-Photographie. Auch bei der parallaktischen Montierung existieren zwei Drehachsen. Über die eine Achse lässt sich die Richtung des Teleskop bezüglich der *Rektaszension*, über die andere Achse bezüglich der *Deklination* verstellen.

Dazu muss die Achse für die Rektaszension vor der Beobachtung auf den Polarstern ausgerichtet werden. Dies erreicht man bei den meisten Modellen durch einen verstellbaren Höhenwinkel.



Bei dem Erwerb einer parallaktischen Montierung sollte darauf geachtet werden, dass bei Bedarf ein Nachführmotor eingebaut werden kann. Manuelles Nachführen ist mit einem solchen Motor nicht mehr nötig. Für professionelle Astrophotographie ist die Benutzung eines Nachführmotors unabdingbar.

2.3.8 Das Okular³

Ein Okular ist das Teil an einem Teleskop, durch das man mit dem Auge (lat. *oculus*) durchschaut. Es sitzt im sogenannten **Okularauszug**, der je nach Teleskopart hinten (z.B. bei Refraktoren, Cassegrain...) oder seitlich (z.B. beim Newton-Teleskop) angebracht ist. Für eine erfolgreiche Beobachtung ist die Wahl des richtigen Okulars von großer Bedeutung. Nach einigen Beobachtungsabenden bekommt man ein Gefühl dafür, welches Okular für welchen Zweck am besten geeignet ist. Dabei ist eine gute Auswahl von Vorteil.

Bei der Wahl ist die **Okularbrennweite** von besonderem Interesse, denn sie entscheidet darüber, wie stark das Bild vergrößert wird. (siehe *Winkelvergrößerung eines Teleskopes*)

Darüber hinaus differenziert man zwischen einigen Okulartypen, die sich in ihrer Bauweise unterscheiden und dadurch verschiedene Abbildungseigenschaften besitzen. Den meisten Einsteigerteleskopen (z.B. dem Aldi-Teleskop) werden sogenannte **Huygens-Okulare** beigelegt. Sie sind aus nur zwei Linsen aufgebaut und daher sehr preiswert. Das **Kellner-Okular** verfügt noch über eine weitere Linse zur Farbkorrektur. Als Standardokular in der etwas fortgeschrittenen Amateurastronomie gilt jedoch das **orthoskopische** aber

³ Für den Beitrag "Das Okular" danke ich Finn Henseleit, der ihn für das AstroSkript zur Verfügung stellte.

auch das **Plössl-Okular**. Vierlinsig aufgebaut verfügen sie über hervorragende Abbildungseigenschaften und einen geringen **Farbfehler**. Zur Königsklasse gehören die **Erfle-** und **Naglerokulare**. Sie werden aufgrund ihres hohen **Bildfeldes** besonders gerne zur Beobachtung von großflächigen Nebeln herangezogen. Diese **Weitwinkelokulare** mit einem aufwändigen Linsensystem haben aber auch ihren Preis.

Auf den Okularen ist meist vor der Okularbrennweite ein Buchstabe zu finden, der den Okulartyp verrät. Bei Huygens-Okularen steht dort ein H, bei Plössl-Okularen ein P usw. (siehe Bild rechts).

Der Standarddurchmesser eines Okulars beträgt **1 ¼ Zoll** (ca. 32mm). Es gibt auch 2 Zoll Okulare (ca. 51mm). Diese benötigen aber einen entsprechend großen Okularauszug und sind erheblich teurer. Für das Auge aber sind sie ein Genuss!



Praxistipp: Wenn man mit dem Teleskop ein Objekt sucht und es nur schwer „ins Okular bekommt“, obwohl der Sucher gut eingestellt ist (ganz wichtig!) wählt man am besten ein Übersichtsokular, d.h. ein Okular mit hoher Brennweite, welches das Bild nur gering vergrößert. Ist das Objekt erst mal gefunden kann man sich immer noch „ranzoomen“.

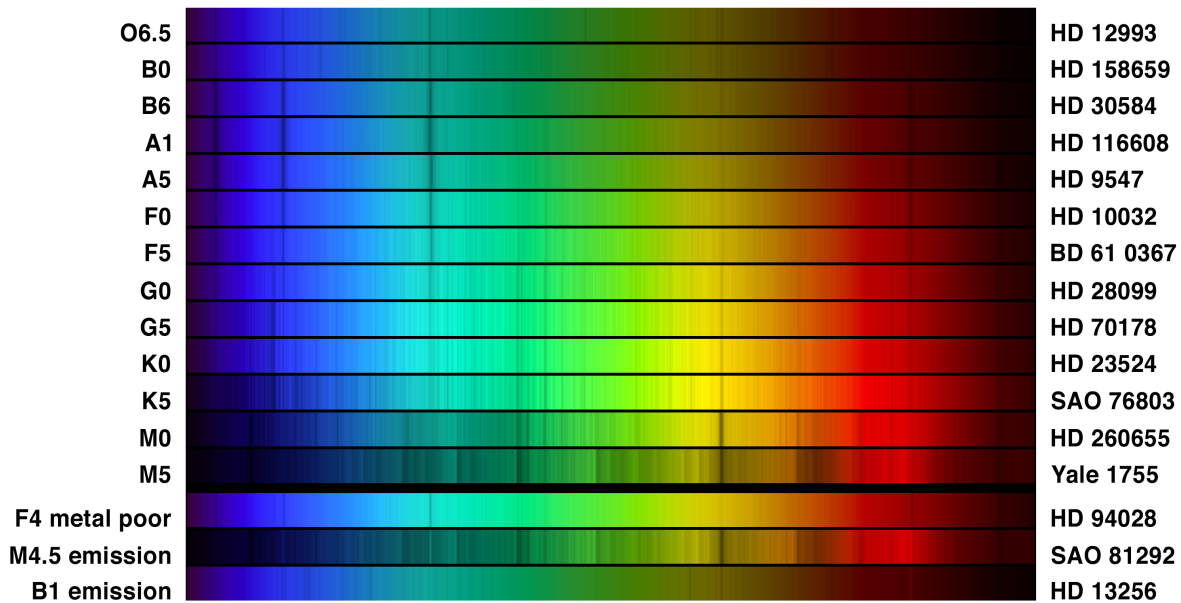
2.3.9 Spektroskopie

Die Spektroskopie - auch Spektralanalyse genannt - ist eine ganz zentrale Methode in der Astronomie. Sie ist derart wichtig, dass ich ihr wahrscheinlich ein eigenes Kapitel (Kapitel 3) widmen werde. In diesem Unterabschnitt werde ich die Spektralanalyse nur sehr knapp und äußerst oberflächlich behandeln. Die Gründe dafür liegen bei den fehlenden physikalischen Kenntnissen der Zielgruppe dieses Abschnittes des Manuskripts (Jahrgangsstufe 10).

Die Spektralanalyse ist unter anderem von zentraler Bedeutung hinsichtlich der Bestimmung des Alters und der Temperatur von Sternen, der Zusammensetzung von Sternen und Nebel, der Klassifikation von Mehrfachsternsystemen und letztlich der Entfernungsbestimmung weit entfernter Objekte. Kurz: Die Spektroskopie ist ein unabkömmlicher Bestandteil der modernen Astronomie.

Spektralzerlegung

Licht, das in unser Auge einfällt, besteht meistens nicht bloß aus einer Farbe (rot, blau,...), sondern aus einem Mix mehrerer Farben. Durch sogenannte *Spektroskope* kann man das Licht jedoch in seine Bestandteile zerlegen. Man erhält ein sogenanntes *Spektrum*. Hier die Spektren einiger Sterne:



Hier wurde das Licht der jeweiligen Sterne einer *Spektralzerlegung* unterzogen. Jede Stelle des dabei entstehenden Bandes repräsentiert eine andere "Farbe" (genauer: Wellenlänge), aus der das von dem Stern abgestrahlte Licht besteht. Durch die Untersuchung der Lücken (*Spektrallinien*) der Bänder lässt sich die Zusammensetzung der Sterne feststellen. Die mit H α bis H δ bezeichneten Bandlücken (Spektrallinien) treten beispielsweise bei dem Vorhandensein von Wasserstoff auf. Die Bandlücken des Sterns 30g Hercules deuten auf schwerere Elemente hin.

Rechts neben dem Spektrum findet man die Spektralklasse, zu der der entsprechende Stern gehört.

Spektralklassen

In der Astronomie werden die Sterne entsprechend ihrer Farbe (und ihres damit zusammenhängenden Spektrums) in *Spektralklassen* eingeteilt.

Man unterscheidet hier die folgenden Klassen:

Klasse	Farbe	Temperatur in Kelvin	Auftreten von Spektrallinien folgender Stoffe:	Beispielstern
O	blau	30 000 - 50 000	Ionisiertes Helium	δ Ori
B	blau-weiß	10 000 - 28 000	Neutrales Helium, Wasserstoff	β Ori, α Vir
A	weiß	7 500 - 9 750	Wasserstoff, Calcium	α Lyr, α CMa
F	weiß-gelb	6 000 - 7 350	Calcium, Metallspuren	α CMi, α Car
G	gelb	5 000 - 6 900	Calcium, Eisen und andere Metalle	α Aur, Sonne
K	orange	3 500 - 4 850	Metalle	α Boo, α Tau
M	rot-orange	2 000 - 3 350	Titanoxid	α Ori, α Sco

Klasse	Farbe	Temperatur in Kelvin	Auftreten von Spektrallinien folgender Stoffe:	Beispielstern
Unterklassen				
R	rot-orange	3 500 - 5 400	Cyan, Kohlenmonoxid, Kohlenstoff	
S	rot-orange	2 000 - 3 500	Zinkoxid	
N	rot	1 900 - 3 500	Kohlenstoff	

Für die wichtigsten Spektralklassen habe ich helle Beispielsterne angefügt, die man ohne optische Hilfsmittel leicht sehen kann.

Die Spektralklassen kann man sich über die folgende Eselsbrücke leicht merken:
Oh Be A Fine Girl, Kiss Me (Right Now)

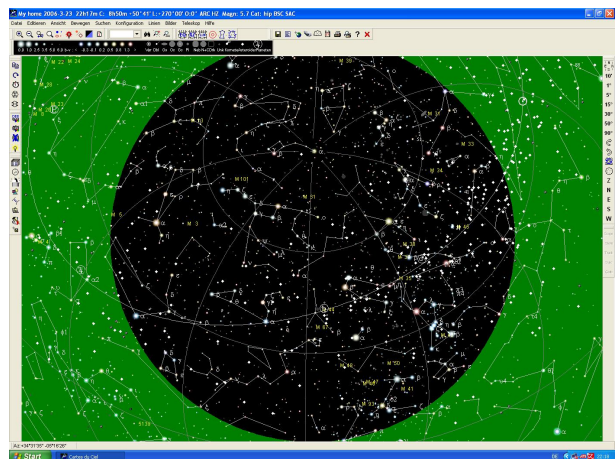
Zur genaueren Klassifizierung wird jede Spektralklasse in Unterklassen (0 bis 9) aufgeteilt. In der obigen Abbildung stehen rechts neben den Spektren der Sterne die zugehörigen Spektralklassen samt Unterklassen.

2.4 Cartes Du Ciel (CDC) - ein virtuelles Planetarium

CDC ist ein ausgesprochen leistungsstarkes virtuelles Planetarium zur Darstellung des nächtlichen Himmels.

Den gebundenen Exemplaren dieses Skripts wurde eine CD mit CDC (Version 2.76) und sämtlichen Erweiterungen beigelegt. Diese CD darf beliebig weiterkopiert werden: CDC und alle Erweiterungen sind freie Software.

Um so erstaunlicher ist die Tatsache, dass die Qualität von CDC einige kommerzielle Produkte übertrifft.



Alternativ kann Cartes du Ciel 2.76 unter der folgenden Adresse heruntergeladen werden:

<http://www.stargazing.net/astropc/>

CDC gibt es mittlerweile auch als BETA-Version für Linux. Dieser Teil des AstroSkripts wird daher aktualisiert, sobald eine stabile Linux-Version vorliegt.

2.4.1 Installation

Die (dem gedrucktem Exemplar des AstroSkripts) beigelegte CD wurde von mir sorgsam zusammengestellt; sie beinhaltet leider keine allumfassende Installationsroutine. Daher erfordert die Installation mehrere Schritte:

Zunächst die CD einlegen und mit dem Arbeitsplatz (oder dem Explorer) öffnen.

1. Das Hauptprogramm installieren:

In das Verzeichnis *CDC* wechseln und dort die Datei *cdcinst.exe* ausführen. Anschließend den Installationsanweisungen folgen.

Wichtig: Den Ordner merken, in den CDC installiert wird.

2. Die Erweiterungen installieren:

Die Erweiterungen befinden sich im Verzeichnis *Kataloge*. Bei den Erweiterungen handelt es sich um umfangreiche Daten-Kataloge, die zusätzliche Informationen enthalten, die CDC auswerten kann.

Im Verzeichnis *Kataloge* befinden sich sämtliche Setup-Dateien.

Alle Dateien der Reihe nach ausführen und den Installationsanweisungen folgen.

Wichtig: Die Erweiterungen müssen in das selbe Verzeichnis installiert werden, wie das Hauptprogramm CDC.

Der ebenfalls beigefügte, sehr umfangreiche (300MB) *Guide Star Catalog* befindet sich im Verzeichnis *GSC*. Er muss nicht extra installiert werden, man muss lediglich im Programm CDC eine Einstellung vornehmen, zu der wir gleich kommen.

Der GSC kann auf der CD-ROM bleiben; in diesem Fall muss zur Benutzung von CDC die CD-ROM eingelegt sein. Wem das nicht gefällt, der kann den GSC in einen beliebigen Ordner auf die Festplatte kopieren. Eine CD-ROM wird so für einen Ordnungsgemäßen Betrieb von CDC nicht mehr benötigt.

2.4.2 Konfiguration

Nun müssen wir noch einige Einstellungen innerhalb von CDC vornehmen. Dazu muss CDC zunächst gestartet werden.

Die Konfiguration umfasst folgende Schritte:

1. Sprache einstellen:

Das Menü *Sprache* erscheint beim ersten Start oder unter:

Konfiguration -> Sprache

Empfohlene Einstellung: Deutsch.



2. Einstellen des Standorts:

Das Menü *Ort der Sternwarte* erscheint beim ersten Start oder unter:

Konfiguration -> Sternwarte

Damit der Sternhimmel für den Beobachtungsort berechnet wird, muss zunächst der Standort eingegeben werden. Dazu benötigt man die geographische Länge und Breite des Ortes auf der Erdkugel. Für Herborn gilt:

Herborn: 50° 41' Nord
(Breitengrad), 08° 19' Ost
(Längengrad)

Sollte die Länge und Breite nicht bekannt sein, kann man die Position des Beobachtungsortes auf der Landkarte grob bestimmen.

Im Feld *Zeitzone* muss 1 für MEZ (im Winter) stehen, 2 für MESZ (im Sommer).

Angabe von Höhe, Luftdruck und Temperatur sind nicht so wichtig.

3. Einstellung der Darstellung der Sternenkarten:

Das Menü *Darstellung* erreicht man unter:

Konfiguration -> Darstellung

In diesem Menü lässt sich das Aussehen der Sternkarten völlig verändern. Ich empfehle, hier die Einstellungen bis auf eine Ausnahme beizubehalten:

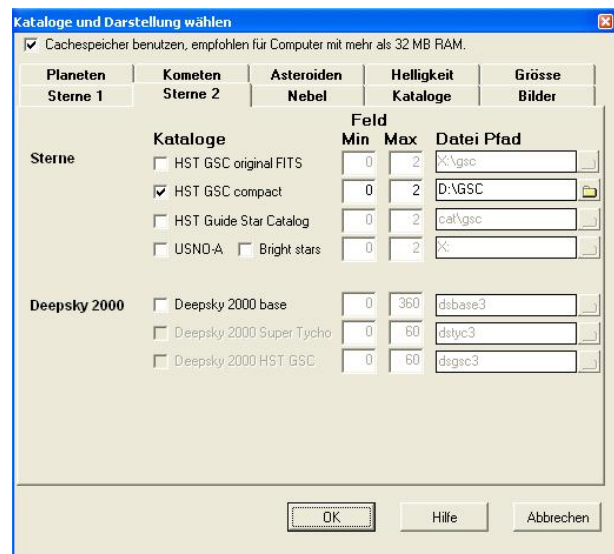
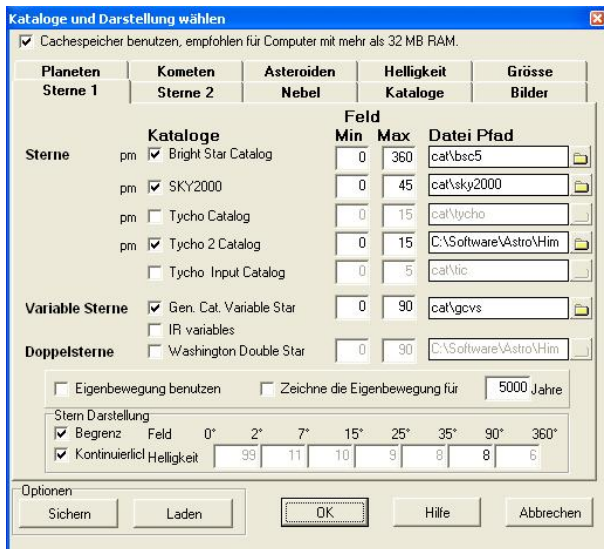
Horizontlinie - Unsichtbar sollte nicht markiert sein. Ansonsten lassen sich Objekte unterhalb des Horizonts nicht auffinden.

4. Konfiguration der Objekt-Kataloge

Das Menü *Kataloge und Darstellung wählen* erhält man unter

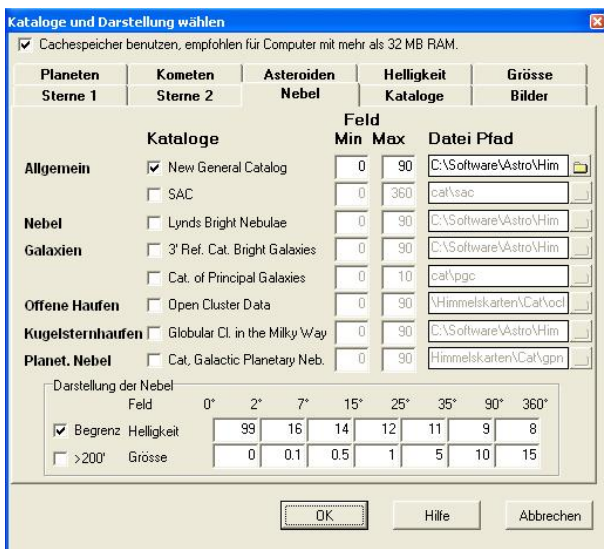
Konfiguration -> Katalogeinstellungen

Dort gibt es verschiedene Untermenüs. In den Untermenüs sollten die Häkchen aus den Abbildungen übernommen werden:



Unter *Sterne 2* muss in der Zeile *HST GSC compact* der Pfad des GSC-Verzeichnisses angegeben werden.

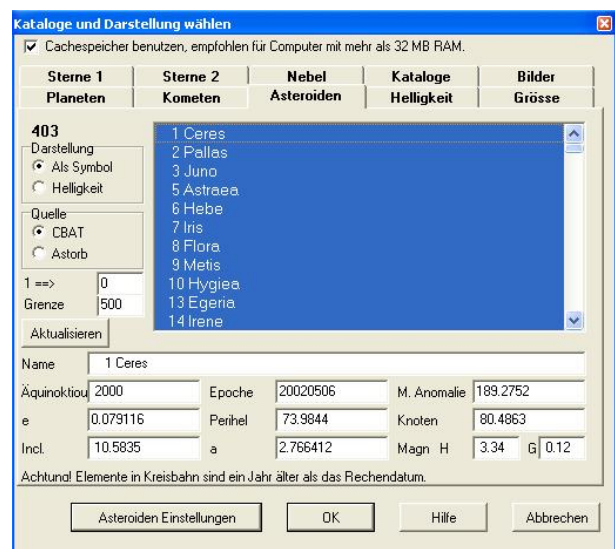
Wenn der GSC von der CD-ROM aus benutzt werden soll, muss hier der Laufwerksbuchstabe sowie das Verzeichniss stehen, z.B. *D:\GSC*, wenn die CD in Laufwerk D liegt.



Im Untermenü *Nebel* sollte zunächst nur der *New General Catalog* aktiviert sein.

CDC bietet die Darstellung zahlreicher weiterer Kataloge an; sie machen die Sternkarten jedoch schnell unübersichtlich und sollten daher erst mit einiger Erfahrung aktiviert werden.

In den Untermenüs *Kometen* und *Asteroiden* sollten alle aufgelisteten Objekte markiert sein. Nur dann werden sie in den Sternkarten gezeichnet und stehen in den umfangreichen Suchfunktionen von CDC zur Verfügung.



5. Einschalten der Legende

Es empfiehlt sich, die Legende einzuschalten. Dazu markiert man die Einstellung:

Ansicht -> Legende

6. Hilfslinien

In CDC lassen sich sämtliche Hilfslinien einstellen. Durch die Darstellung zu vieler Hilfslinien, wird die Sternkarte schnell unübersichtlich.

In der Leiste *Linien* sollten die Einstellungen der rechten Abbildung einfach übernommen werden.

Die Bedeutung im Einzelnen:



- *Äquatoriales Koordinatengitter:*

Beim äquatorialem Koordinatengitter liegen die Gitterlinien entlang der Rektaszension und Deklination.

- *Azimuthales Koordinatengitter:*

Beim azimuthalem Koordinatengitter liegen die Gitterlinien entlang dem Höhen- bzw. Breitengrad.

- *Lokaler Horizont:*

Durch diese Einstellung wird der Bereich des Himmels markiert (mit einer Farbe hinterlegt), der nicht sichtbar ist, da er unter dem Horizont liegt.

- *Ekliptik:*

Zeichnet die Ekliptik ein. Siehe Abschnitt 1.2.

- *Milchstraße:*

Zeichnet die Umrißlinie der Milchstraße in die Sternkarte mit ein.

- *Sternbilder Linien:*

Durch Aktivieren dieser Einstellung werden die Sternbilder angezeigt, indem die zum Sternbild gehörenden Sterne mit den entsprechenden Sternbildlinien miteinander verbunden werden.

- *Sternbilder Grenzen:*

Wie in Abschnitt 1.2 erwähnt, wird der Stemenhimmel durch Sternbilder unterteilt. Um festzustellen, welches Objekt zu welchem Sternbild gehört, empfiehlt es sich, die Sternbildgrenzen anzeigen zu lassen. Diese Option mach die Karte jedoch schnell unübersichtlich.

7. Speichern der Einstellungen

Abschließend sollten alle Einstellungen und Konfigurationen gespeichert werden.

Um das zu bewerkstelligen, muss man auf die folgende Schaltfläche klicken:
Konfiguration -> Standardeinstellungen sichern

2.4.3 Handhabung

CDC ist weitgehend selbsterklärend aufgebaut. Hier daher nur die wichtigsten Methoden:

1. Uhrzeit der Beobachtung einstellen

- Standardmäßig berechnet CDC den Sternenhimmel zur aktuellen Uhrzeit (Systemzeit). Es besteht aber die Möglichkeit, den Sternenhimmel für eine beliebige andere Zeit zu berechnen.

Dazu gibt man im Dialog

Konfiguration -> Datum / Zeit

die Uhrzeit an, zu der CDC die Sternkarten berechnen soll.

2. Orientierung

Durch die Menüleiste *Bewegen* kann man sich eine beliebige Himmelsrichtung anzeigen lassen. Um eine Übersicht über den gesamten sichtbaren Himmel zu bekommen, klickt man hier auf *Gesamter Himmel* und anschließend auf *Zum Zenit*.

Die Funktionen der Menüleiste *Bewegen* sind auch über die rechte Bildschirmleiste erreichbar.

3. Suche von Objekten

CDC zeichnet sich durch sehr umfangreiche Suchfunktionen aus, die man über die Menüleiste *Suchen* erhält:

Das Menü *Suchen* -> *Suchen...*:

Hier gibt es fünf Untermenüs zum auffinden von Nebel, Galaxien, Sterne, Sternbilder, Asteroiden, Kometen, Planeten und Monde.

Wichtig: Der Katalog, in dem man suchen will, muss vorher im Konfigurationsmenü *Kataloge und Darstellung* aktiviert sein!



Sollten in der Asteroiden- oder Kometensuche besonders wenige Objekte aufgelistet sein, so wurde Konfigurationsschritt 4 nicht richtig ausgeführt.

4. Informationen zu den Objekten

Mit einem Rechtsklick auf das Gewünschte Objekt der Sternenkarte eröffnet sich

ein Auswahlmenü. Durch einen Klick auf *Identifikation: Nächstes Objekt* werden detaillierte Informationen darüber angezeigt.

2.5 Tabellen

2.5.1 Liste der Sternbilder

Abk.	lateinischer Name	deutscher Name	Abk.	lateinischer Name	deutscher Name
And	Andromeda	Andromeda	Leo	Leo	Löwe
Ant	Antlia	Luftpumpe	LMi	Leo Minor	Kleiner Löwe
Aps	Apus	Paradiesvogel	Lep	Lepus	Hase
Aqr	Aquarius	Wassermann	Lib	Libra	Waage
Aql	Aquila	Adler	Lup	Lupus	Wolf
Ara	Ara	Altar	Lyn	Lynx	Luchs
Ari	Aries	Widder	Lyr	Lyra	Leier
Aur	Auriga	Fuhrmann	Men	Mensa	Tafelberg
Boo	Bootes	Bärenhüter	Mic	Microscopium	Mikroskop
Cae	Caelum	Grabstichel	Mon	Monoceros	Einhorn
Cam	Camelopardalis	Giraffe	Mus	Musca	Fliege
Cnc	Cancer	Krebs	Nor	Norma	Winkelmaß
CVn	Canes Venatici	Jagthunde	Oct	Octans	Oktant
CMa	Canis Major	Großer Hund	Oph	Ophiuchus	Schlangenträger
CMi	Canis Minor	Kleiner Hund	Ori	Orion	Himmelsjäger
Cap	Capricornus	Steinbock	Pav	Pavo	Pfau
Car	Carina	Kiel des Schiffes	Peg	Pegasus	Pegasus
Cas	Cassiopeia	Kassiopeia	Per	Perseus	Perseus
Cen	Centaurus	Kentaur	Phe	Phoenix	Phoenix
Cep	Cepheus	Cepheus	Pic	Pictor	Maler
Cet	Cetus	Walfisch	PsA	Piscis Austrinus	Südlicher Fisch
Cha	Chamaelon	Chamaelon	Psc	Pisces	Fische
Cir	Circinus	Zirkel	Pup	Puppis	Hinterteil des Schiffes
Col	Columba	Taube	Pyx	Pyxis	Schiffskompass
Com	Coma Berenices	Haar der Berenike	Ret	Reticulum	Netz
CrA	Corona Australis	Südliche Krone	Sge	Sagitta	Pfeil
CrB	Corona Borealis	Nördliche Krone	Sgr	Sagittarius	Schütze
Crv	Corvus	Rabe	Sco	Scorpius	Skorpion
Crt	Crater	Becher	Scl	Sculptor	Bildhauer
Cru	Crux	Kreuz	Sct	Scutum	Schild

Abk.	lateinischer Name	deutscher Name	Abk.	lateinischer Name	deutscher Name
Cyg	Cygnus	Schwan	Ser	Serpens	Schlange
Del	Delphinus	Delphin	Sex	Sextans	Sextand
Dor	Dorado	Schwertfisch	Tau	Taurus	Stier
Equ	Equuleus	Pferdchen	Tel	Telescopium	Teleskop
Eri	Eridanus	Fluss Eridanus	TrA	Triangulum Australe	Südliches Dreieck
For	Fornax	Chemischer Ofen	Tri	Triangulum	Dreieck
Gem	Gemini	Zwillige	Tuc	Tucana	Tukan
Gru	Grus	Kranich	UMa	Ursa Major	Großer Bär
Her	Hercules	Herkules	UMi	Ursa Minor	Kleiner Bär
Hor	Horologium	Pendeluhr	Vel	Vela	Segel des Schiffes
Hya	Hydra	Nördliche Wasserschlange	Vir	Virgo	Jungfrau
Hyi	Hydrus	Südliche Wasserschlange	Vol	Volans	Fliegender Fisch
Ind	Indus	Indier	Vul	Vulpecula	Fuchs
Lac	Lacerta	Eidechse			

2.5.2 Der Messier Katalog

Der Messier Katalog stammt von dem französischen Astronom Charles Messier (1730-1817) und umfasst 110 astronomische Objekte. Messier suchte nach Kometen, indem er systematisch den Nachthimmel absuchte. Dabei entdeckte er einige Objekte, die für ihn zwar kometenähnlich aussahen, allerdings keine Eigenbewegung aufwiesen. Sie mussten sich also an einem Ort außerhalb des Sonnensystems befinden.

Um sie nicht mit den tatsächlichen Kometen zu verwechseln, fertigte Messier eine Liste an, in der er diese Objekte nach und nach eintrug. So entstand der Messier Katalog, der sich unter Hobbyastronomen bis heute großer Beliebtheit erfreut.

Der Messier Katalog enthält Galaxien, Sternhaufen und Nebel großer Helligkeit. Die meisten dort verzeichneten Objekte sind bereits mit kleinen Teleskopen sichtbar, teilweise sieht man sie schon in einem einfachen Fernglaß.

In virtuellen Planetarien (wie Cartes du Ciel) oder Sternkarten sind die Objekte meist mit ihrem Kürzel gekennzeichnet. Dieses besteht aus einem "M" und der Nummer des zugehörigen Objektes im Katalog.

Der New General Catalog (NGC)

Der NGC wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts von verschiedenen Astronomen zusammengestellt und umfasst rund 8000 Galaxien, Sternhaufen und intergalaktische Nebel. Die meisten NGC-Objekte lassen sich gut mit mittelgroßen (mind. 8 Zoll) Teleskopen beobachten. Einsteiger sollten jedoch mit dem Messier Katalog anfangen, insbesondere wenn sie nur über Lichtschwache Instrumente verfügen.

Nr.	Name	Sternbild	Mag	Objekttyp	Entfernung LJ	NGC-Nr.
M1	Krebsnebel	Tau	8,4	Supernova-Überrest	6 300	1952
M2		Aqr	6,4	Kugelsternhaufen	36 000	7089
M3		CVn	6,3	Kugelsternhaufen	31 000	5272
M4		Sco	6,5	Kugelsternhaufen	7 000	6121
M5		Ser	6,1	Kugelsternhaufen	23 000	5904
M6	Schmetterlingshaufen	Sco	5,5	Offener Sternhaufen	2 000	6405
M7		Sco	3,3	Offener Sternhaufen	1 000	6475
M8	Lagunennebel	Sgr	5,1	Emissionsnebel	6 500	6523
M9		Oph	8,0	Kugelsternhaufen	26 000	6333
M10		Oph	6,7	Kugelsternhaufen	13 000	6254
M11	Wildentenhaufen	Sct	6,8	Offener Sternhaufen	6 000	6705
M12		Oph	6,6	Kugelsternhaufen	18 000	6218
M13		Her	5,9	Kugelsternhaufen	22 000	6205
M14		Oph	8,0	Kugelsternhaufen	27 000	6402
M15		Peg	6,4	Kugelsternhaufen	33 000	7078
M16	Adlernebel	Ser	6,6	Emissionsnebel	7 000	6611
M17	Omeganebel	Sgr	7,5	Emissionsnebel	5 000	6618
M18		Sgr	7,2	Offener Sternhaufen	6 000	6613
M19		Oph	6,9	Kugelsternhaufen	27 000	6273
M20	Trifidnebel	Sgr	8,5	Emissionsnebel	2 200	6514
M21		Sgr	6,5	Offener Sternhaufen	3 000	6531
M22		Sgr	5,6	Kugelsternhaufen	10 000	6656
M23		Sgr	5,9	Offener Sternhaufen	4 500	6494
M24		Sgr	4,6	Milchstraßenabschnitt	10 000	-
M25		Sgr	6,2	Offener Sternhaufen	2 000	-
M26		Sct	9,3	Offener Sternhaufen	5 000	6694
M27	Hantelnebel	Vul	7,6	Planetarischer Nebel	1 250	6853
M28		Sgr	7,6	Kugelsternhaufen	18 000	6626
M29		Cyg	8,0	Offener Sternhaufen	7 200	6913
M30		Cap	7,7	Kugelsternhaufen	25 000	7099
M31	Andromedagalaxie	And	3,5	Spiralgalaxie	2,3 Mio.	224
M32		And	8,2	elliptische Galaxie	2,2 Mio.	221
M33	Dreiecksnebel	Tri	5,8	Spiralgalaxie	2,3 Mio.	598
M34		Per	5,8	Offener Sternhaufen	1 400	1039
M35		Gem	5,6	Offener Sternhaufen	2 800	2168
M36		Aur	6,5	Offener Sternhaufen	4 100	1960
M37		Aur	6,2	Offener Sternhaufen	4 600	2099
M38		Aur	7,0	Offener Sternhaufen	4 200	1912
M39		Cyg	5,3	Offener Sternhaufen	300	7092
M40		UMa	8,9	Doppelstern		-
M41		CMa	5,0	Offener Sternhaufen	2 400	2287

Nr.	Name	Sternbild	Mag	Objekttyp	Entfernung LJ	NGC-Nr.
M42	Orionnebel	Ori	4,0	Emissionsnebel	1 600	1976
M43		Ori	9,0	Emissionsnebel	1 600	1982
M44	Krippe	Cnc	3,9	Offener Sternhaufen	500	2632
M45	Plejaden	Tau	1,6	Offener Sternhaufen	400	-
M46		Pup	6,6	Offener Sternhaufen	5 400	2437
M47		Pup	5,0	Offener Sternhaufen	1 600	2422
M48		Hya	6,0	Offener Sternhaufen	1 500	2548
M49		Vir	8,5	elliptische Galaxie	60 Mio	4472
M50		Mon	6,3	Offener Sternhaufen	3000	2323
M51	Whirlpool-Galaxie	CVn	8,4	Spiralgalaxie	37 Mi	5194
M52		Cas	8,2	Offener Sternhaufen	7 000	7654
M53		Com	7,8	Kugelsternhaufen	56 000	5024
M54		Sgr	7,8	Kugelsternhaufen	83 000	6715
M55		Sgr	6,2	Kugelsternhaufen	17 000	6809
M56		Lyr	8,7	Kugelsternhaufen	32 000	6779
M57	Ringnebel	Lyr	9,0	planetarischer Nebel	4 100	6720
M58		Vir	9,9	Spiralgalaxie	60 Mio	4579
M59		Vir	10,0	Spiralgalaxie	60 Mio	4621
M60		Vir	9,0	elliptische Galaxie	60 Mio	4649
M61		Vir	9,6	Spiralgalaxie	60 Mio	4303
M62		Oph	6,6	Kugelsternhaufen	22 000	6266
M63		CVn	8,9	Spiralgalaxie	37 Mio	5055
M64	Black Eye Galaxie	Com	8,5	Spiralgalaxie	12 Mio	4826
M65		Leo	9,4	Spiralgalaxie	35 Mio	3623
M66		Leo	9,0	Spiralgalaxie	35 Mo	3627
M67		Cnc	6,1	Offener Sternhaufen	2 250	2682
M68		Hya	8,2	Kugelsternhaufen	32 000	4590
M69		Sgr	8,0	Kugelsternhaufen	25 000	6637
M70		Sgr	8,1	Kugelsternhaufen	28 000	6681
M71		Sge	7,6	Kugelsternhaufen	12 000	6838
M72		Aqr	9,3	Kugelsternhaufen	53 000	6981
M73		Aqr	9,1	Asterismus		6994
M74		Psc	9,3	Spiralgalaxie	35 Mio	628
M75		Sgr	8,6	Kugelsternhaufen	58 000	6864
M76	Kleiner Hantelnebel	Per	11,4	planetarischer Nebel	3 400	650/651
M77		Cet	8,9	Spiralgalaxie	60 Mio	1068
M78		Ori	8,3	Reflexionsnebel	1 600	2068
M79		Lep	7,5	Kugelsternhaufen	40 000	1904
M80		Sco	7,5	Kugelsternhaufen	30 000	6093
M81		UMa	7,0	Spiralgalaxie	11 Mio	3031
M82		UMa	8,4	irreguläre Galaxie	11 Mio	3034

Nr.	Name	Sternbild	Mag	Objekttyp	Entfernung LJ	NGC-Nr.
M83		Hya	7,6	Spiralgalaxie	20 Mio	5236
M84		Vir	9,4	elliptische Galaxie	60 Mio	4374
M85		Com	9,3	elliptische Galaxie	60 Mio	4382
M86		Vir	9,2	elliptische Galaxie	60 Mio	4406
M87	Virgo A Galaxie	Vir	8,7	elliptische Galaxie	60 Mio	4486
M88		Com	9,5	Spiralgalaxie	60 Mio	4501
M89		Vir	10,3	elliptische Galaxie	60 Mio	4552
M90		Vir	9,6	Spiralgalaxie	60 Mio	4569
M91		Com	9,5	Spiralgalaxie	60 Mio	4548
M92		Her	6,4	Kugelsternhaufen	26 000	6341
M93		Pup	6,5	offener Sternhaufen	4 500	2447
M94		CVn	8,3	Spiralgalaxie	14,5 Mio	4736
M95		Leo	9,8	Spiralgalaxie	38 Mio	3351
M96		Leo	9,3	Spiralgalaxie	38 Mio	3368
M97	Eulennebel	UMa	11,1	planetarischer Nebel	2 600	3587
M98		Com	10,2	Spiralgalaxie	60 Mio	4192
M99		Com	9,9	Spiralgalaxie	60 Mio	4254
M100		Com	9,4	Spiralgalaxie	60 Mio	4321
M101		UMa	7,9	Spiralgalaxie	24 Mio	5457
M102		UMa	10,5	Galaxie	40 Mio	5866
M103		Cas	6,9	offener Sternhaufen	8 000	581
M104	Sombrero-Galaxie	Vir	8,3	Spiralgalaxie	50 Mio	4594
M105		Leo	9,7	elliptische Galaxie	38 Mio	3379
M106		CVn	8,4	Spiralgalaxie	25 Mio	4258
M107		Oph	9,2	Kugelsternhaufen	20 000	6171
M108		UMa	10,5	Spiralgalaxie	45 Mio	3556
M109		UMa	10,0	Spiralgalaxie	55 Mio	3992
M110		And	9,4	elliptische Galaxie	2,2 Mio	205

Um ein schnelles Auffinden der Messier-Objekte zu garantieren, habe ich auf dieser Seite die Messier-Objekten den Sternbildern zugeordnet, in denen sie sich befinden.:

Abk	Sternbildname	Messier-Objekte
And	Andromeda	M31, M32, M110
Aqu	Wassermann	M2, M72, M73
Aur	Fuhrmann	M36, M37, M38
Cap	Steinbock	M30
Cas	Kassiopeia	M52, M103
Cet	Walfisch	M77

Abk	Sternbildname	Messier-Objekte
CMa	Großer Hund	M41
Cnc	Krebs	M44, M67
Com	Haar der Berenike	M53, M64 M85, M88, M91, M98, M99, M100
CVn	Jagthunde	M3, M51, M63, M94, M106
Cyg	Schwan	M29, M39
Gem	Zwillinge	M35
Her	Herkules	M13, M92
Hya	Nördliche Wasserschlange	M48, M68, M83
Leo	Löwe	M65, M66, M95, M96, M105
Lep	Hase	M79
Lyr	Leier	M56, M57
Mon	Einhorn	M50
Oph	Schlangenträger	M9, M10, M12, M14, M19, M62, M107
Ori	Orion	M42, M43, M78
Peg	Pegasus	M15
Per	Perseus	M34, M76
Psc	Fische	M74
Pup	Hinterteil des Schiffes	M46, M47, M93
Sco	Skorpion	M4, M6, M7, M80
Sct	Schild	M11, M26
Ser	Schlange	M5, M16
Sge	Pfeil	M71
Sgr	Schütze	M8, M17, M18, M20, M21, M22, M23, M24, M25, M28, M54, M55, M69, M70, M75
Tau	Stier	M1, M45
Tri	Dreieck	M33
UMa	Großer Bär	M40, M81, M82, M97, M101, M108, M109
Vir	Jungfrau	M49, M58, M59, M60, M61, M84, M86, M87, M89, M90, M104
Vul	Fuchs	M27

2.5.3 Liste der Meteorströme

In der folgenden Tabelle sind die acht wichtigsten Meteorströme aufgelistet. An den entsprechenden Tagen kann man mindestens 10 Sternschnuppen (Meteore) pro Stunde beobachten. Besonders lohnenswert sind die *Quadrantiden*, *Perseiden*, und *Geminiden*.

Datum	Maximum	Name	ZHR	Rektaszension	Deklination
01.01. bis 05.01.	03. Januar	Quadrantiden	120	15:20 h	+49°
16.04. bis 25.04.	22. April	Lyriden	15	18:04 h	+34°
19.04. bis 28.05.	06. Mai	Eta-Aquariden	66	22:32 h	-01°
12.07. bis 19.08.	28. Juli	Südliche Delta-Aquariden	20	22:36 h	-16°
17.07. bis 24.08.	12. August	Perseiden	100	03:04 h	+58°
02.10. bis 07.11.	21. Oktober	Orioniden	20	06:20 h	+16°
07.12. bis 17.12.	14. Dezember	Geminiden	120	07:28 h	+33°
17.12. bis 26.12.	22. Dezember	Ursiden	10	14:28 h	+76°

Bezeichnungen:

Datum: Zeitraum, in denen der Meteorstrom beobachtet werden kann.

Maximum: Datum, an dem die meisten Meteore beobachtet werden können.

Name: Bezeichnung des jeweiligen Stroms.

ZHR: Maximal pro Stunde beobachtbare Meteore (bis Größenklasse 6,5)

Rektaszension,

Deklination: Position des Punktes am Nachthimmel, von dem der Meteorstrom auszugehen scheint. An dieser Stelle sieht man die meisten Leuchterscheinungen (Meteore).

2.5.4 Mondfinsternisse 2007-2020

[UT = Universalzeit, siehe 1.2.2]

Hier nun eine Liste der Mondfinsternisse von 2007-2020. Mondfinsternisse, bei denen der Mond vollständig verfinstert sind in der folgenden Tabelle die mit Totalität.

Tipp: Schon die partiellen Mondfinsternisse eignen sich zur Bestimmung des Abstandes von der Erde zum Mond nach Kapitel 2.1.

	Eintritt in den		Beginn:		Ende:	Austritt aus dem	
Datum	Halbschatten	Kernschatten	Totalität	Maximum	Totalität	Kernschatten	Halbschatten
07.09.06	16:44 UT	18:04 UT	-	18:51 UT	-	19:40 UT	21:00 UT
03.03.07	20:18 UT	21:30 UT	22:43 UT	23:21 UT	00:00 UT	01:13 UT	02:25 UT
28.08.07	07:53 UT	08:51 UT	09:52 UT	10:37 UT	11:24 UT	12:25 UT	13:23 UT

21.02.08	00:36 UT	01:43 UT	03:00 UT	03:26 UT	03:54 UT	05:11 UT	06:17 UT
16.08.08	18:24 UT	19:35 UT	-	21:10 UT	-	22:46 UT	23:57 UT
31.12.09	17:17 UT	18:50 UT	-	19:22 UT	-	19:57 UT	21:30 UT
26.06.10	08:57 UT	10:16 UT	-	11:38 UT	-	13:02 UT	14:21 UT
21.12.10	05:29 UT	06:32 UT	07:40 UT	08:17 UT	08:55 UT	10:03 UT	11:06 UT
15.05.11	17:24 UT	18:22 UT	19:22 UT	20:12 UT	21:04 UT	22:04 UT	23:02 UT
10.12.11	11:33 UT	12:45 UT	14:05 UT	14:32 UT	15:00 UT	16:20 UT	17:32 UT
04.05.12	08:48 UT	09:59 UT	-	11:03 UT	-	12:09 UT	13:20 UT
25.04.13	18:03 UT	19:48 UT	-	20:07 UT	-	20:29 UT	22:14 UT
15.04.14	04:53 UT	05:58 UT	07:06 UT	07:45 UT	8:27 UT	9:35 UT	10:40 UT
08.10.14	08:15 UT	09:14 UT	10:24 UT	10:54 UT	11:26 UT	12:36 UT	13:35 UT
04.04.15	09:01 UT	10:15 UT	11:49 UT	12:00 UT	12:13 UT	13:47 UT	15:01 UT
28.09.15	00:12 UT	01:07 UT	02:11 UT	02:47 UT	03:25 UT	04:29 UT	05:24 UT
07.08.17	15:50 UT	17:22 UT	-	18:20 UT	-	19:21 UT	20:53 UT
31.01.18	10:51 UT	11:48 UT	12:51 UT	13:30 UT	14:10 UT	15:13 UT	16:10 UT
27.07.18	17:14 UT	18:24 UT	19:30 UT	20:21 UT	21:15 UT	22:21 UT	23:31 UT
21.01.19	02:36 UT	03:34 UT	04:40 UT	05:12 UT	05:46 UT	06:52 UT	07:50 UT
16.07.19	18:43 UT	20:01 UT	-	21:30 UT	-	23:02 UT	00:20 UT

2.5.5 Sonnenfinsternisse 2007 - 2021

Die folgende Liste umfasst alle Sonnenfinsternisse, die zwischen 2007 und 2021 in Deutschland beobachtet werden können.

Datum	Typ	Dauer
01.08.2008	Total, in Deutschland partiell	2 min 27 sec
04.01.2011	Partiell	
20.03.2015	Total, in Deutschland partiell	2 min 47 sec
10.06.2021	Total, in Deutschland partiell	3 min 51 sec

3 Sterne: Von der Geburt bis zum Tod

Wir kommen nun zu einem der in der Öffentlichkeit am meisten diskutierten Themengebiete in der Astronomie.

Bei Sternen handelt es sich um riesige Materieansammlungen, in denen die Elemente, aus denen sie aufgebaut sind, gezwungen werden, sich unter Abgabe gewaltiger Energiemengen in andere (schwerere) Elemente umzuwandeln. In diesem Kapitel verfolgen wir den Lebensweg dieser Sterne, von der Geburt, aus einer dunklen Staub- und Gaswolke angefangen, bis hin zu dem gewaltsamen Tod, der nicht selten in der Form eines Schwarzen Loches endet.

Dabei ist für uns nur ein sehr grobes Verständnis der Vorgänge möglich. Für eine quantitative Abhandlung werden genauere Kenntnisse aus der Thermodynamik, Hydrodynamik, Elektrodynamik, Quantentheorie sowie allgemeiner Relativitätstheorie benötigt. In diesem Kapitel habe ich versucht, die Vorgänge derart vereinfacht zu schildern, dass sie mit geringen physikalischen Vorkenntnissen verstanden werden können.

3.1 Physikalische Vorbemerkungen

Um das Verständnis der kommenden Abschnitte zu erleichtern (oder gar erst zu ermöglichen), wird ein physikalischer Einschub notwendig. Ich werde mich dabei nur mit den für kommende Abschnitte wichtigen Bereichen befassen.

3.1.1 Die vier Grundkräfte

In der Physik versucht man, zu einem möglichst tiefgehenden Verständnis der uns umgebenden materiellen Welt zu gelangen. Dabei präsentiert sich unsere Welt in großer Vielfalt. Hier kommen unweigerlich Fragen auf, Fragen aus der eigenen Erfahrung oder aus Beobachtungen im Rahmen großangelegter Experimente: Warum kommt ein Stabhochspringer wieder zur Erde zurück, obwohl er sich doch von ihr abstößt? Warum fällt ein Mensch nicht durch den Stuhl durch, auf dem er sitzt? Was hält ihn zurück? Warum sind Atomkerne bis zu einer gewissen Größe stabil?

Die ganze Vielfalt der Welt, alle bisher gemachten materiellen Beobachtungen und Erfahrungen lassen sich auf nur vier (!) Grundkräfte zurückführen: Die sogenannten *elementaren Wechselwirkungen*. Unser gesamtes bisheriges Bild von der materiellen Welt um uns herum baut auf diese Grundkräfte auf. Die Kräfte im Einzelnen:

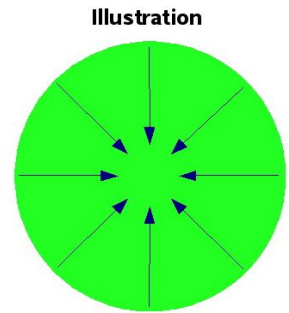
Die Gravitationskraft:

Beobachtungen innerhalb der Astronomie sowie Laborexperimente lassen nur einen Schluss zu:

Massen ziehen sich gegenseitig an. Diese Anziehungskraft nennt man Gravitationskraft oder auch gravitative Wechselwirkung. Sie bewirkt, dass die Planeten um die Sonne kreisen, Monde wiederum um ihre Planeten, und: sie bewirkt, dass wir Menschen auf der Erde gehalten werden.

Der Stabhochspringer aus der obigen Frage fällt also aufgrund der Anziehungskraft zwischen der Erde und ihm auf die Erde zurück.

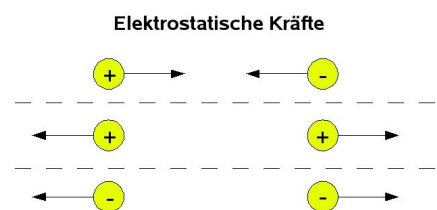
Nun ist die Erde sehr Massereich (ca. $6 \cdot 10^{21}$ Tonnen). Die Masse der Erde zieht sich aufgrund der Gravitation "gegenseitig" an. Daher herrscht im Erdinnern ein großer Druck, der sogenannte *Gravitationsdruck*. Weshalb aber fällt die Erde dann nicht einfach in sich zusammen? Welche Kraft wirkt der Gravitation entgegen? - Hier die Antwort:



Gravitationsdruck in der Erde

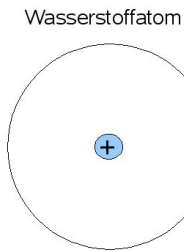
Die elektrischen und magnetischen Kräfte (= elektromagnetische Wechselwirkungen)

In der Natur gibt es positive und negative elektrische Ladungen. Wie viele Experimente zeigen, stoßen sich gleichnamige Ladungen gegenseitig ab; unterschiedliche Ladungen ziehen sich dagegen an (*elektrostatische Kräfte*). Man findet außerdem Magnete mit magnetischem Nord- und Südpol, für die ebenfalls gilt: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, unterschiedliche ziehen sich an (*magnetostatische Kräfte*).



Die hier wirkenden Kräfte beruhen auf der elektromagnetischen Grundkraft.

In der Schule lernt man das *Bohrsche Atommodell*: Danach bestehen Atome aus negativ geladenen Elektronen, die fest definierte Bahnen um den positiv geladenen Atomkern kreisen. Aufgrund der Anziehungskräfte zwischen den positiv geladenen Protonen des Kerns und den negativ geladenen Elektronen, wird das Elektron auf eine Kreisbahn um den Kern gezwungen. Beantworten wir nun die Frage: "Warum fällt ein Mensch nicht durch den Stuhl, auf dem er sitzt?"



Alles auf und in der Erde besteht aus Atomen. Menschen, Stühle, u.s.w. sind inbegriffen. Wenn ein Mensch auf einem Stuhl sitzt, nähern sich offenbar die Atome seiner Hose den Atomen des Stuhl bis auf einen gewissen Abstand an. Nach dem Bohrschen Atommodell sitzen die negativen Ladungen in den Außenbereichen der Atome. Wenn sich die Atome der Hose und des Stuhls nun sehr nahe kommen, kommen sich insbesondere die Elektronen der Atomhüllen sehr nahe. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, woraus folgt: Die Abstoßungskraft der Elektronen verhindert, dass der Mensch durch den Stuhl hindurch fällt.

Der Bezug zur Astronomie: Der einzige Grund, weshalb die Erde nicht einfach in sich zusammenfällt, liegt in der Abstoßungskraft der Elektronen derer Atome, aus denen die Erde aufgebaut ist. Die auf das Erdinnere lastende Kraft der Gravitation wird durch die elektrischen Abstoßungskräfte der Atome der Erde vollständig kompensiert.

Nun bestehen Atomkerne aus positiv geladenen Protonen und neutral geladenen Neutronen. Sofort kommt die Frage auf: Weshalb stoßen sich die Protonen im Kern nicht ab, obwohl sie gleichnamig geladen sind? Warum sind also Kerne stabil? - Die Antwort auf diese Fragen gibt die dritte Grundkraft, die ich hier vorstelle:

Die starke Kernkraft

Die starke Kernkraft ist sehr viel stärker als die elektromagnetische Kraft. Sie ist auf den Kern eines Atom beschränkt, hat also nur eine sehr geringe Reichweite und wirkt anziehend. Die anziehende Wirkung verhindert ein gegenseitiges Abstoßen der Protonen im Kern, welches auf die elektrostatischen Abstoßungskräfte zurückzuführen wäre.

Die vierte Grundkraft hat in den kommenden Abschnitten nur wenig Bedeutung. Daher hier nur der Vollständigkeit halber:

Die schwache Kernkraft

Die schwache Kernkraft wirkt nur auf sehr kurze Distanzen. Sie spielt unter anderem beim radioaktiven Zerfall eine Rolle. Wir werden sie hier nicht näher betrachten.

Die vier Grundkräfte im Vergleich

In der folgenden Tabelle sind die Grundkräfte entsprechend ihrer Stärke geordnet. Die "Stärke" der Gravitationskraft wird dabei mit 1 normiert.

Grundkraft	Relative Stärke	Reichweite
Gravitation	1	unendlich
Schwache	10^{26}	$<<10^{-15}$ Meter
Elektromagnetische	10^{39}	unendlich
Starke	10^{41}	10^{-15} Meter

Die Gravitation ist die (mit Abstand) schwächste aller Kräfte. Um so erstaunlicher ist es, dass ausgerechnet die Gravitation den Zusammenhalt des Universums verantwortet. Nur aufgrund der Gravitation bleiben Planeten auf ihren Bahnen um ihr Zentralgestirn; nur aufgrund der Gravitation bilden sich Galaxien, Galaxienhaufen und Großraumstrukturen.

Nach den modernen Anschauungen der *allgemeinen Relativitätstheorie* entstanden im Universum sogar der Raum und die Zeit erst durch die Gravitation. Aufgrund der Komplexität der allgemeinen Relativitätstheorie möchte ich auf sie nicht näher eingehen; weitere Folgerungen aus der Relativitätstheorie werden wir jedoch spätestens im Unterabschnitt über schwarze Löcher kennen lernen.

Doch warum ist es ausgerechnet die Gravitation, die eine so entscheidende Rolle in der Entwicklung unseres Universums einnimmt? Schließlich ist jede der anderen Grundkräfte um Größenordnungen stärker!

Diese Frage lässt sich erstaunlich einfach beantworten: Die starke Kernkraft besitzt eine Reichweite von nur 10^{-15} Meter. Das mehrere Milliarden Lichtjahre große Universum lässt sich über so kurze Distanzen nicht zusammenhalten. Gleiche Argumente gelten auch für die schwache Kernkraft. Die Reichweite der Gravitation ist dagegen unendlich.

Für die elektromagnetischen Kräfte gibt es offenbar andere Gründe, denn sie haben den gleichen Wirkungsradius (=Reichweite) wie die Gravitation.

Wie eben geschildert, stoßen sich Atome ab, wenn sie sich zu nahe kommen. Die negativen Ladungen sitzen in den äußeren Bereichen der Atome und bei der Annäherung zweier Atome kommen sich diese Bereiche besonders nahe und stoßen sich ab. Bringt man eine größere Distanz zwischen die beiden Atome, so ändert sich die Situation grundlegend: Wenn man Atome aus größerer Entfernung betrachtet, fällt der Abstand zwischen Atomkern und -hülle nicht mehr ins Gewicht. Da in Atome in der Regel gleich viele positive Ladungen in ihrem Kern wie negative Ladungen in ihrer Hülle sitzen, heben sich die Ladungen dann weg: Atome erscheinen ab einen gewissen Abstand elektrisch neutral. Das heißt, ab einer gewissen Distanz wirken zwischen zwei Atomen keine merklichen elektromagnetischen Kräfte mehr. Diese Distanz liegt bei etwa 10^{-9} Metern.

Da das Weltall nach der heutigen Kenntnis elektrisch neutral ist, besitzen die elektromagnetischen Kräfte keinen Angriffspunkt, an dem sie wirken können.

Somit verbleibt die Gravitation, die als einzige in der Lage ist, auf große Entfernungen im Universum zu wirken.

3.1.2 Vorbemerkungen zur Thermodynamik

Aus dem Schulstoff des Faches Physik in der Mittelstufe sollten folgende Kenntnisse vorhanden sein:

Makroskopische Kenntnisse:

1. Wenn ein Gas in einem *gleichbleibenden Volumen* (z.B. in einem geschlossenen Behälter) erwärmt wird, so erhöht sich der Gasdruck in dem Behälter. Wenn es abgekühlt wird, verringert sich der Druck entsprechend.
2. Wenn ein Gas bei *variablem Volumen* und gleichbleibendem Druck erwärmt wird, so vergrößert sich das Volumen. Anders ausgedrückt: Ein Gas dehnt sich bei Erwärmung aus.

Da sich bei diesem Vorgang die gleiche Menge Gas auf ein größeres Volumen verteilt, verringert sich die Dichte des Gases bei Erwärmung.

3. Presst man ein Gas zusammen (d.h. man verkleinert das zur Verfügung stehende Volumen), so erhöht sich der Druck und die Temperatur des Gases.

Mikroskopische Kenntnisse:

4. Gas besteht aus kleinsten Teilchen (Atome, Moleküle,...). Wir beschränken uns an dieser Stelle auf Gas, welches aus einzelnen Atomen besteht.
5. Die Atome eines Gases haben untereinander keine festen Bindungen. Vereinfacht kann man sich die Atome eines Gases als kugelförmige Gebilde vorstellen, die in größeren Abständen durch den Raum fliegen, immer wieder aneinanderstoßen und dabei wie Billard-Kugeln voneinander abprallen.
6. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Atome durch den Raum bewegen, hängt von der Temperatur des Gases ab. Je höher die Temperatur, desto größer die Geschwindigkeit der Atome. Je niedriger die Temperatur ist, desto langsamer sind die Atome.

Wärmetransport

Wärme kann auf drei verschiedene Weisen transportiert werden.

1. Wärmetransport durch Wärmeleitung:

Wärme kann durch *Wärmeleiter* abtransportiert werden. Gute Wärmeleiter sind beispielsweise Metalle. Erwärmt man das eine Ende einer Metallstange, so wird die Wärme mit der Zeit zum anderen Ende geleitet.

Beispiel aus dem Alltag: Bei einer Pfanne auf der Herdplatte wird die untere Seite der Pfanne durch die Platte erhitzt. Durch Wärmeleitung gelangt die Wärme zu der Seite, auf der das Essen erhitzt wird.

In der Astronomie spielt die Wärmeleitung nur eine untergeordnete Rolle.

Die Voraussetzung für den Wärmetransport durch Wärmeleitung ist der Kontakt mit einem Wärmeleiter.

2. Wärmetransport durch Konvektion:

Ein warmer Gegenstand auf der Erde kann durch Wärmekonvektion abgekühlt werden, wenn er von einem Gas oder einer Flüssigkeit umgeben wird: Das Gas wird um den Körper herum erwärmt. Nach obigem Punkt 2 verringert es dabei seine Dichte. Da sich nur das Gas in unmittelbarer Nähe zum Gegenstand erwärmt und dort die Dichte verringert, steigt es aufgrund des *Archimedischen Prinzips* nach oben: Es wird vom dichteren, kälteren Gas der Umgebung verdrängt. Dieses kalte Gas wird wiederum erwärmt, und steigt anschließend nach oben, u.s.w. Während dieses Prozesses wird der Gegenstand abgekühlt: Die Wärme wird von dem aufsteigenden Gas weggetragen.

Beispiel aus dem Alltag: Ein Heizkörper, der durch Wärmekonvektion einen Raum aufheizt.

Beispiel aus der Astronomie: Wärmekonvektion im Erdinnern, die maßgeblich an der Entstehung des Erdmagnetfeldes beteiligt ist.

Der Abtransport von Wärme durch Konvektion kann nur stattfinden, wenn der warme Gegenstand von einem Gas (bzw. einer Flüssigkeit) umgeben wird, das eine niedrigere Temperatur besitzt als der zu kühlende Gegenstand.

3. Wärmetransport durch Wärmestrahlung:

Warme Objekte (feste Gegenstände, Flüssigkeiten, Gase) strahlen immer Wärme in Form von Wärmestrahlung (=Infrarotstrahlung) ab. Das heißt, dass ein warmer Gegenstand auch dann abkühlt werden kann, wenn er weder von einem wärmeleitenden Material, noch von einem Gas oder einer Flüssigkeit umgeben ist.

Beispiel aus dem Alltag: Wärmestrahler

Beispiel aus der Astronomie: Zwischen Sonne und Erde befindet sich keine Materie, über die die Wärme der Sonne durch Konvektion oder Wärmeleitung zur Erde gelangen könnte. Die gesamte Wärme, die wir von der Sonne erhalten, gelangt durch Wärmestrahlung zu uns.

3.2 Die Entstehung von Sternen

Die Entstehung von Sternen dauert mehrere Millionen Jahre. Daher ist es unmöglich, die Entstehung eines bestimmten Sternes durch Beobachtung mitzuverfolgen. Unter der großen Anzahl der von der Erde aus beobachtbaren Sterne finden sich aber aus jeder Lebensphase Musterexemplare, durch die die Astronomen den Lebensweg der Sterne rekonstruieren können. So kann beispielsweise an einigen Exemplaren im *Orionnebel* die Anfangsphase, an den *Plejaden* das Endstadium der Sternentstehung in Form von Momentaufnahmen nachvollzogen werden.

Sterne entstehen aus riesigen Gas- und Staubwolken, die hauptsächlich aus Wasserstoffmolekülen H_2 bestehen und sich im interstellaren Raum befinden.

Auf dem rechten Photo sind die Dunkelwolken des Adlernebels M16 zu sehen. Es handelt sich um ein aktives Sternentstehungsgebiet. Um die Entstehung qualitativ zu verstehen, wenden wir unsere physikalischen Kenntnisse auf eine solche Wolke an:

Die kleinsten Teilchen (Staubteilchen, Wasserstoffmoleküle) in der Wolke haben alle eine Masse. Da sich Massen aufgrund der Gravitation gegenseitig anziehen, ziehen sich auch die Moleküle der Gaswolke an. Dadurch entsteht ein zum Zentrum der Wolke gerichteter *Gravitationsdruck*, der sie zum Kontrahieren veranlasst.



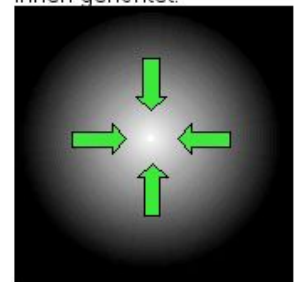
Die Sternentstehung verläuft in mehreren Stadien:

1. *Kontraktion* bedeutet, dass sich das Volumen der Wolke verringert, ihre Masse jedoch gleich bleibt. Mikroskopisch nähern sich die Gas- und Staubteilchen immer weiter an. Aufgrund der immer kleiner werdenden Abstände zwischen den Teilchen ziehen sie sich auch immer stärker gravitativ an. Das heißt, während der gesamten Kontraktionsphase erhöht sich der Gravitationsdruck immer weiter. Der Grund, weshalb die Wolke nicht einfach in sich zusammenfällt liegt daran, dass der steigende Druck eine Temperaturerhöhung verursacht (vgl. Thermodynamik Punkt 3).

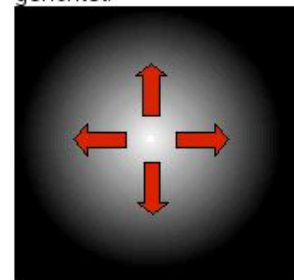
Bei einer Temperaturerhöhung steigt aber auch der Gasdruck, der der Gravitation entgegenwirkt (Punkt 1).

Jedoch wird mit der Zeit die Wärmeenergie durch *Wärmestrahlung* nach außen abgeführt, wodurch sich der Gasdruck in dem Maß verringert (Punkt 2), dass die Wolke dennoch kontrahiert.

Gravitationsdruck, nach innen gerichtet:



Gasdruck, nach außen gerichtet:



2. Die Wolke schrumpft. Dadurch rücken nicht nur die Gasteilchen, sondern auch die Staubteilchen in der Wolke immer näher zusammen. Die Wolke wird durch diesen Vorgang immer "undurchsichtiger" (=optisch dichter). Daher ist es bald für die Wärmestrahlung aus dem Innern unmöglich, nach außen zu gelangen.

Weil nun keine Wärmeenergie mehr nach außen transportiert werden kann, erhöht sich die Temperatur des Zentrums der Wolke. Aufgrund der steigenden Temperatur erhöht sich der Gasdruck im gleichen Maße.

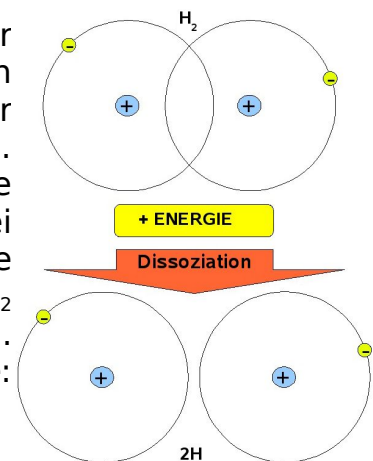
Wie eben erwähnt, wirkt der Gasdruck dem Gravitationsdruck entgegen. Aufgrund der Temperaturerhöhung steigt der Gasdruck so stark an, dass sich Gravitations- und Gasdruck kompensieren. Die Wolke erreicht einen ersten stabilen Punkt.

Ab einen solchen Stadium nennen wir die Wolke **Protostern**.

3. In den äußeren Bereichen der Wolke ist die Temperatur und damit der Gasdruck noch niedrig, und so gelangt immer mehr Materie aus den Außenbereichen in das Zentrum des Protosterns.

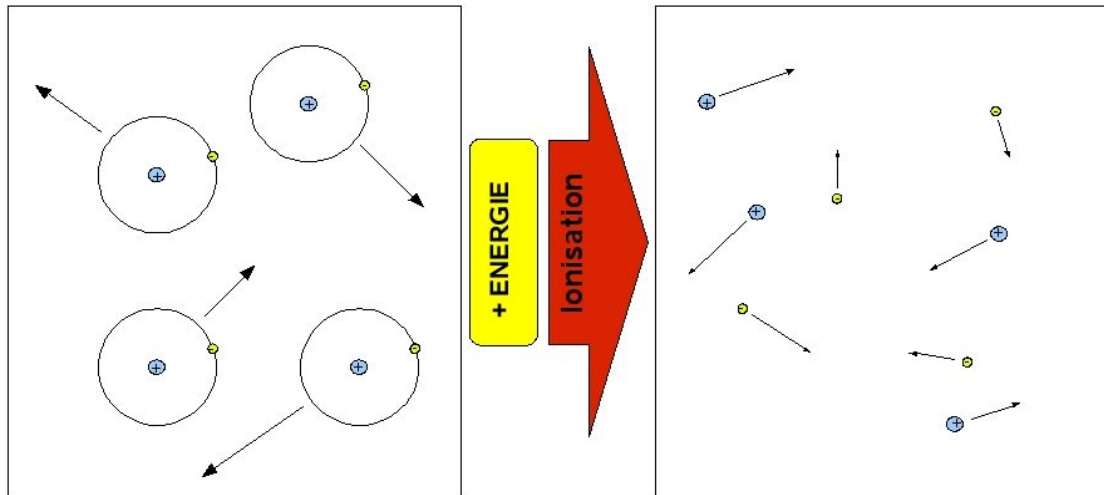
Bei diesem Vorgang regnen auch die Staubteilchen nach und nach auf das Zentrum ab: Die optische Dichte dieser Außenbereiche verringert sich, die Wärmestrahlung kann diese Schichten wieder durchdringen und die Wärmeenergie kann wieder aus dem Zentrum entweichen. Der Gasdruck lässt nach und der Protostern kontrahiert weiter.

4. Temperatur und Gasdruck erhöhen sich immer weiter. Wenn wir uns das Gas mikroskopisch anschauen, so werden die Moleküle aufgrund der steigenden Temperatur immer schneller (Punkt 6). Irgendwann ist die Bewegungsenergie der Moleküle so groß, dass die Wasserstoffmoleküle bei Zusammenstößen *dissoziieren*. Das heißt, die beiden H-Atome des Wasserstoffmoleküls H_2 verlassen ihre Molekülbindung; sie trennen sich. Dieser Vorgang verschlingt Wärmeenergie: Temperatur und Gasdruck fallen weiter.



5. Wenn alle Moleküle dissoziiert sind, endet die dadurch bedingte Kontraktion. Die Wärmeenergie wird nur noch über die Oberfläche des Protosterns abgestrahlt. Da sich der Protostern inzwischen weiter zusammengezogen hat, ist seine Oberfläche kleiner. Über eine kleinere Oberfläche wird bei gleicher Temperatur weniger Wärme abgestrahlt als über eine größere Oberfläche. Zudem fällt immer mehr Materie aus den Außenbereichen in das Zentrum des Protosterns. In Folge dessen erhöhen sich Temperatur und Druck sehr stark.
6. Und zwar so starkt, dass die Atome des Zentrums des Protosterns

aufbrechen: Sie werden nach und nach vollständig *ionisiert*. Das heißt, es existieren keine Atome mehr im eigentlichen Sinne; Elektronen und Atomkerne sind getrennt und bewegen sich auf getrennten Wegen durch den Protostern. Wasserstoffatome spalten sich auf in Elektron und Proton. Dieses Gas aus Atomkernen und Elektronen nennt man ein **Plasma**. Der *Plasmazustand* ist neben den Zuständen *fest*, *flüssig* und *gasförmig* ein vierter *Aggregatzustand* in der Physik.



Für die Ionisation wird wieder viel Energie benötigt. Die Wärmeenergie nimmt ab, der Gasdruck fällt und der Protostern schrumpft.

Man sollte meinen, dass sich die negativ geladenen Elektronen und die positiv geladenen Atomkerne des Plasmas gegenseitig anziehen und daher zusammenfallen müssen. Aus quantenmechanischen Gründen passiert dies nicht. Auf die Quantentheorie möchte ich jedoch nicht genauer eingehen; sie wird in der Mittelstufe nicht behandelt und würde daher den Rahmen dieses Textes sprengen.

Irgendwann ist ein Großteil des Gases ionisiert. Die Temperatur im Zentrum beträgt jetzt 10^5 ° Celsius. Aufgrund des hohen Gravitationsdruckes schrumpft der Protostern weiter.

7. Wenn die Masse und der damit verbundene Gravitationsdruck des Protosterns groß genug ist, erreicht sein Zentrum eine kritische Temperatur, die bei etwa 10^7 ° Celsius liegt:

Mikroskopisch betrachtet besteht das Innere des solchen Protosterns aus Elektronen und Atomkernen. Mit steigender Temperatur bewegen diese sich immer schneller (Punkt 6 der Thermodynamik).

Die Atomkerne sind beim "gewöhnlichen" Wasserstoff positiv geladene Protonen. Nun wissen wir zum einen, dass sich die Protonen aufgrund ihrer positiven Ladung gegenseitig abstoßen. Zum anderen wissen wir, dass, wenn sich die Protonen genügend nahe kommen, die hundertfach stärkere *starke Kernkraft* anziehend wirkt. Also ziehen sich zwei Protonen ab einen genügend kleinen Abstand an.

Nun bewegen sich einige der Protonen ab der oben genannten Temperatur derart schnell durch das Zentrum des Protosterns, dass sie sich bei Zusammenstößen so stark annähern, dass die elektrostatische

Abstoßungskraft überwunden wird und die starke, anziehende Kernkraft greift.

Zwei Protonen verbünden sich, sie *fusionieren*. Diesen Vorgang nennt man **Kernfusion**. Wie gehen später genauer auf den Vorgang ein.

8. Wir haben im Stadium 4 der Sternentstehung gesehen, dass es Energie kostet, zwei gebundenen Teilchen voneinander zu trennen. Bei der Kernfusion *verbünden* sich zwei Teilchen miteinander. Dabei wird Energie frei. Diese freiwerdende Energie sorgt für eine Temperaturerhöhung im Innern des Protosterns. Dadurch erhöht sich der Gasdruck so stark, dass er sich mit dem Gravitationsdruck die Waage hält. Der Vorgang der Kontraktion ist damit für die Zeit beendet, in der es im Stern Atomkerne gibt, die miteinander fusionieren können.

Ein **Stern** ist entstanden. Seine stabile Lebensphase hält für genau diese Zeit an.

Bemerkungen:

- Die Sternentstehung bzw. das Durchlaufen obiger Stadien dauert etwa 5 Millionen Jahre.
- Aus einer Gas- und Staubwolke entstehen immer mehrere Sterne gleichzeitig, indem es innerhalb der Wolke mehrere voneinander getrennte Zentren gibt, in denen die obigen Stadien der Sternentstehung durchlaufen werden. Die Wolke kontrahiert also an mehreren Stellen. Zur Erklärung muss ich etwas ausholen:

Da alle Wolken eine Temperatur überhalb des *absoluten Nullpunktes* aufweisen, besteht in jeder Wolke von Grund auf ein nach außen gerichteter Gasdruck. Damit der nach innen gerichtete Gravitationsdruck diesen Gasdruck übersteigt (denn nur dann kontrahiert die Wolke), muss die Wolke eine Mindestmasse von 300 bis 400 Sonnenmassen besitzen. Sie kontrahiert also nur, wenn sie diese Mindestmasse überschreitet - ansonsten reicht der Gravitationsdruck nicht aus. Das ist das sogenannte Jeans-Kriterium.

Nun haben aber alle beobachteten Sterne (bis auf Ausnahmen) eine Masse von 0,05 bis 50 Sonnenmassen. Folglich müssen aus einer Gaswolke, die eine Mindestmasse von 300-400 Sonnenmassen besitzt, gleich mehrere Sterne entstehen: Aus einer Wolke entstehen immer *Sternhaufen*.

- Bei den Kernfusionsprozessen in einem Stern fusionieren die Protonen des Plasmas nicht auf einem Schlag: Mit der Zentraltemperatur des Sterns erhöht sich nämlich nur die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Protonen. Die Protonen fliegen nicht alle mit der gleichen Geschwindigkeit. Kernfusion kommt dann dadurch zustande, dass nur die oberste Spitze der schnellsten Protonen eine Geschwindigkeit erreichen, mit der die elektrostatischen Abstoßungskräfte überwunden werden können. Daher erstreckt sich der Prozess der Kernfusion meist über einige Milliarden Jahre.
- Nach dem Zünden der Kernfusion entsteht ein Teilchenstrom an geladenen Teilchen, die mit hoher Geschwindigkeit in das All geblasen werden. Dieser

Teilchenstrom ist vergleichbar mit dem Sonnenwind unserer Sonne. Er sorgt dafür, dass Überreste der Entstehungswolke, die sich in unmittelbarer Nähe zum Stern befinden und nicht zum Stern selbst gehören, weggeblasen werden.

- Es gibt Protosterne, deren Masse nicht ausreicht, um im Zentrum die zum Zünden der Kernfusion benötigte Temperatur zu erreichen (vgl. Stadium 8). Diese Protosterne kontrahieren immer weiter, während sie stets Wärme abstrahlen, bis quantenmechanische Effekte ein weiteres Schrumpfen verhindern. Die Protosterne kühlen weiter ab, bis sie als kalte Materieansammlung enden, als sogenannte *braune Zwerge*.

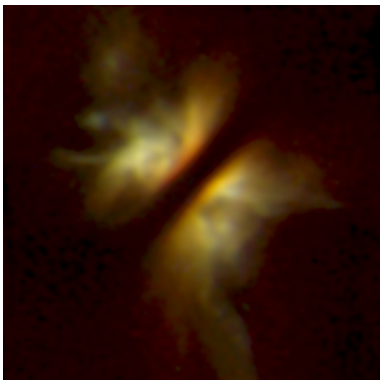
3.2.1 Musterexemplare

Wie eingangs erwähnt, kann man den verschiedenen Stadien der Sternentstehung einige Musterexemplare zuordnen.



Bei dem Orionnebel (M42, linkes Bild) handelt es sich um eine riesige Staub- und Gasansammlung, die von den in ihr entstandenen Sternen angestrahlt wird und daher in prächtigen Farben leuchtet.

Der Orionnebel ist eines der aktivsten Sternentstehungsgebiete in der unmittelbaren Nachbarschaft zur Sonne. Auf dem rechten oberen Bild sehen wir in einem vergrößerten Ausschnitt des Nebels drei Wolken, die sich etwa in Stadium 2 der Sternentstehung befinden und sich zum Protostern weiterentwickeln.

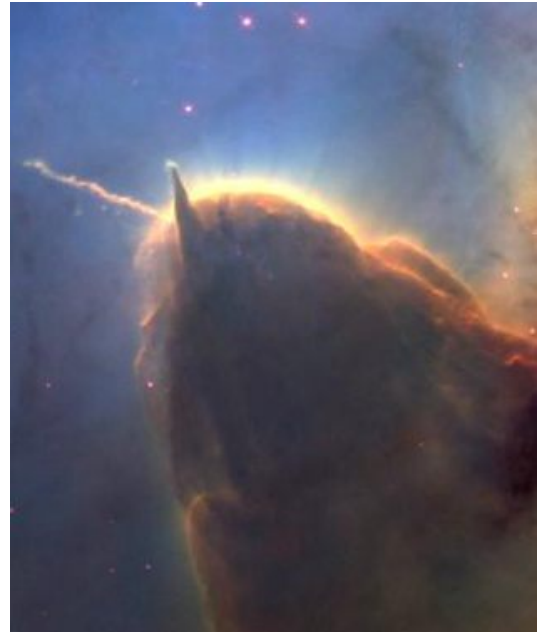


Das linke Bild zeigt die Infrarotaufnahme (=Wärmebildaufnahme) eines sich in Stadium 3-4 befindlichen Protosterns. Die umliegenden Staubschichten regnen langsam auf den Protostern ab. Er ist von einer dichten Staubscheibe (*Akkretionsscheibe*) umgeben; auf dem Photo sehen wir sie als dunklen Balken, da wir von der Erde aus seitlich auf die Scheibe schauen.

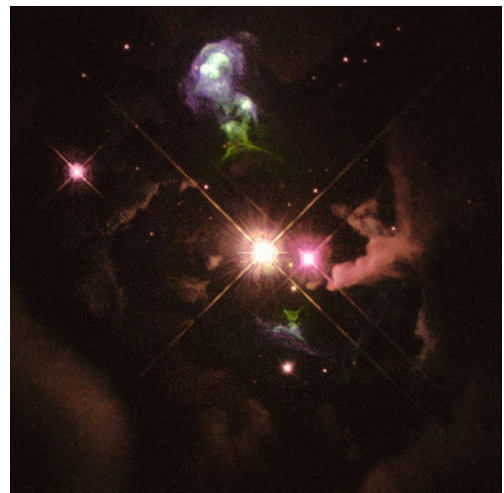
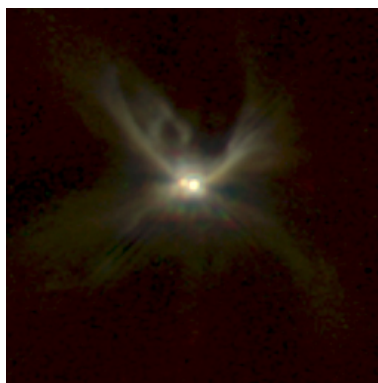
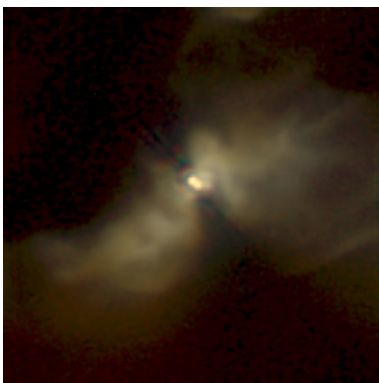
Solche Scheiben bilden sich bei den meisten Protosternen aus. Sie entsteht aufgrund geringfügiger Rotation der Ausgangswolke und aus den damit verbundenen physikalischen Zusammenhängen der Drehimpulserhaltung.

Wie in den *Bemerkungen* beschrieben, entstehen aus Staub- und Gaswolken immer mehrere Sterne.

Das rechte Photo zeigt eine Vergrößerung des Trifidnebels (M20) im Sternbild Schütze. Bei den beiden „Hörnern“ handelt es sich um Protosternne, die durch den Vorbeiflug an massereichen Sternen innerhalb der Wolke aus dem Sternentstehungsgebiet hinaus katapultiert wurden.



Das linke untere Bild zeigt eine Infrarotaufnahme. Hier hat sich die Wolke in zwei Zentren verdichtet: Bei genauem Betrachten sieht man zwei Protosternne, die dort zusammen entstanden sind. Die Protosternne befinden sich etwa in Stadium 5-6. Sie kreisen umeinander und entwickeln sich zu einem Doppelsternsystem.



In der Mitte befindet sich die Aufnahme eines anderen, weiter entwickelten Doppelsternsystems. Die im sichtbaren Licht fotografierten Sterne des mittleren Bildes haben ihre Entwicklung gerade abgeschlossen. Sie leuchten aufgrund von Kernfusionsprozessen im Innern.

Das große rechte Bild zeigt einen fertig entwickelten Stern. Der vom Stern kommende Teilchenwind hat große Teile der umgebenen Wolkenstrukturen bereits weggeblasen; zu sehen sind daher nur noch Reste der Wolke, in der auch der Stern entstanden ist.

3.2.2 Kernfusion und die Entwicklung zum stabilen Stern

Wir hatten eben gesehen: Die Trennung zweier sich anziehender, verbundener Teilchen benötigt Energie. Dagegen wird Energie freigesetzt, wenn sich zwei sich anziehende Teilchen verbünden.

Bei der Kernfusion verbünden sich unter hoher Temperatur mehrere Atomkerne

miteinander, sie verschmelzen (*fusionieren*) zu einem größeren und schwereren Kern.

Dabei muss man sowohl die elektrostatischen Kräfte als auch die starke Kernkraft berücksichtigen: Atomkerne sind positiv geladen. Da die elektrostatischen Kräfte eine unendliche Reichweite haben, stoßen sich zwei Atomkerne für beliebig große Abstände ab.

Zwischen Atomkernen wirkt ab einem Abstand von ca. 10^{-15} Metern *zusätzlich* die starke Kernkraft. Die starke Kernkraft ist hundert mal stärker als die elektrostatischen Kräfte und wirkt anziehend. Insgesamt stoßen sich die Atomkerne daher für größere Abstände ab und ziehen sich für Abstände kleiner 10^{-15} Metern an.

Diese 10^{-15} Meter Abstand müssen also unterschritten werden. Erst dann können sich die Kerne aufgrund anziehender Kräfte miteinander verbinden.

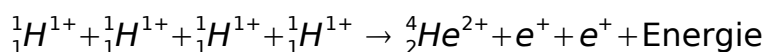
Wegen sehr großer Temperaturen in den Zentren von Sternen, bewegen sich (mikroskopisch betrachtet) die Atomkerne im Plasma sehr schnell. Sie bewegen sich so schnell, dass die schnellsten unter ihnen die durch die elektrostatischen Kräfte bedingte Abstoßung überwinden, und somit der Abstand zwischen den Kernen den obigen kritischen Abstand erreicht, bei dem die starke Kernkraft zu wirken beginnt: Die *beiden* Atomkerne verbinden sich zu *einem* größeren Atomkern. Dabei werden, wie bereits geschildert, große Energiemengen freigesetzt.

Das Wasserstoffbrennen

Wir haben eben gesehen, dass die Gas- und Staubwolken, aus denen junge Sterne entstehen, hauptsächlich aus Wasserstoff bestehen. Das Plasma eines solchen Sterns besteht also hauptsächlich aus Wasserstoffatomkernen und Elektronen.

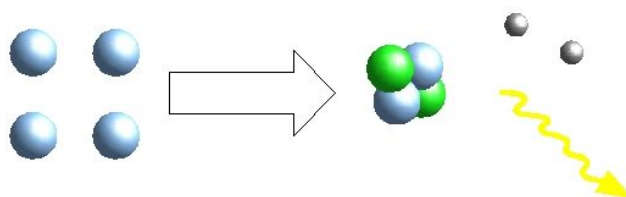
In diesem Stadium verschmelzen in dem Stern ausschließlich Wasserstoffkerne miteinander. Diesen Vorgang nennt man *Wasserstoffbrennen*. Es handelt sich hierbei um eine spezielle Form der Kernfusion.

Beim Wasserstoffbrennen verschmelzen über mehrere Stationen vier Wasserstoffkerne ${}^1_1\text{H}^{1+}$ zu einem Heliumkern ${}^4_2\text{He}^{2+}$. Hier die Stationen zusammengefasst:



e^+ bezeichnet ein Positron, das Antimaterieteilchen des Elektrons. In der Illustration wird der Vorgang der Kernfusion noch einmal anschaulich dargestellt:

Illustration: Fusion von Wasserstoffkernen



Bemerkung:

Die Protonen (= Wasserstoffkerne) sind in der Illustration blau, die Neutronen grün und die Positronen grau eingefärbt. Die abgesandte Energie wird durch den welligen Pfeil symbolisiert. In Wirklichkeit besitzen diese Teilchen keine definierbare Farbe; sie dient nur zur besseren Unterscheidbarkeit.

Im obigen Kernfusionsprozess wandeln sich je zwei positiv geladene Protonen in neutrale Neutronen um, und geben dabei ihre positive Ladung durch die entstehenden Positronen ab.

Die Positronen stoßen unmittelbar nach ihrer Entstehung mit Elektronen in ihrer Nähe zusammen, und zerstrahlen. D.h., die beiden Teilchen löschen sich unter Abstrahlung von Energie gegenseitig aus.

Wichtig ist: Durch die bei diesen Fusionsprozessen freiwerdende Energie erlangt der Stern ein physikalisches Gleichgewicht zwischen dem nach innen wirkenden Gravitationsdruck und dem nach außen wirkenden Gasdruck. Dafür muss die Bedingung erfüllt sein, dass im Sterninneren genauso viel Energie durch Kernfusion entsteht, wie über die Oberfläche durch Wärmestrahlung abgestrahlt wird.

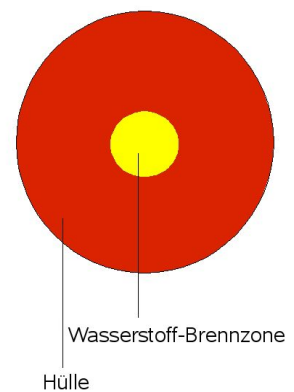
Die Phase des Wasserstoffbrennens ist die Phase, in der ein Stern am längsten verweilt. Das Wasserstoffbrennen selbst findet bei einem durchschnittlichen Stern nur in einem Bereich um sein Zentrum herum statt - nur dort erreichen Druck und Temperatur die zum Wasserstoffbrennen erforderliche Größe. In der umliegenden Hülle finden keine Fusionsprozesse statt.

Unsere Sonne befindet sich seit über vier Milliarden Jahren in der Phase des Wasserstoffbrennens.

Aufgrund der Fusionsprozesse gibt es in einem Stern im Laufe seines Lebens immer weniger Wasserstoff und immer mehr Helium. Die Frage, die wir im nächsten Abschnitt beantworten, ist:

Was passiert, wenn der Wasserstoffvorrat eines Sterns zuneige geht?

Sternaufbau in der Frühphase



3.3 Die weitere Entwicklung eines Sterns

Die weitere Entwicklung eines Sterns hängt ganz entscheidend von seiner Masse ab:

Sterne mit geringer Masse (0,08 bis 0,26 Sonnenmassen)

Weil in Sternen mit geringer Masse (ca. 0,08 bis 0,26 Sonnenmassen) die heißen Kernfusionsprozesse nur in einem sehr engen Bereich um das Zentrum des Sterns passieren, entsteht vom Zentrum des Sterns bis zu seiner Oberfläche ein starkes Temperaturgefälle.

Ähnlich wie bei einem Heizkörper in einem Raum, haben wir also ein heißes Zentrum des Sterns und eine kältere Umgebung: Es kommt zu Konvektionsströmungen, die die Wärme nach außen hin abtransportieren.

Tief im Zentrum des Sterns fusionieren vier Wasserstoffkerne zu einem

Heliumkern. Aufgrund der Konvektionsströme wird das Helium im ganzen Stern verteilt. Genauso gelangen aufgrund dieser Strömungen die Wasserstoffkerne aus der Sternhülle in die zentralen Bereiche, in denen Kernfusion stattfindet.

So verringert sich der Wasserstoffanteil des Sterns gleichmäßig über sein gesamtes Volumen verteilt - und der Heliumanteil steigt entsprechend.

Nach einiger Zeit ist der Wasserstoffvorrat des Sterns aufgebraucht: Er besteht jetzt vollständig aus Heliumkernen und Elektronen. Für die Kernfusion von Heliumkernen reicht der Druck und die Temperatur in einem kleinen Stern nicht aus.

Mit dem Zuneigehen des Wasserstoffs erlischt der Stern: Er kühlt ab und schrumpft in Folge dessen auf eine Minimalgröße. Zunächst leuchtet er noch als **Weißer Zwerg**. Doch mit der Zeit kühlt er weiter ab, bis er in der Form eines dunklen sogenannten **Schwarzen Zwerges** sein Ende findet.

Bemerkung: Eine Antwort auf die Frage „Weshalb hört der Stern plötzlich auf zu schrumpfen, obwohl der Gravitationsdruck weiter besteht?“ gibt der durch die Unschärferelation bedingte Entartungsdruck der Elektronen. Darauf möchte ich hier jedoch nicht näher eingehen, da ein tieferes Verständnis der Quantentheorie benötigt wird.

Energietransport in Sternen geringer Masse

Die Wärmeenergie entsteht durch die Fusionsprozesse im Zentrum des Sterns und gelangt durch Konvektionsströme an die Oberfläche des Sterns. Dort wird sie hauptsächlich durch Wärmestrahlung in das All abgestrahlt.

Sterne mit mittlerer Masse (0,26 - 2,5 Sonnenmassen)

Im Gegensatz zu Sternen kleiner Masse ist in Sternen mittlerer Masse der Bereich, in dem das Wasserstoffbrennen stattfindet, deutlich ausgedehnter. Jedoch gibt es innerhalb solcher großer Bereiche keine großen Temperaturschwankungen: Die Temperaturen sind dort überall etwa gleich hoch.

Folglich treten innerhalb der Fusionsbereiche keine oder nur sehr geringe Konvektionsströme auf. Die Ströme führen kaum zu einem Austausch von Materie aus den Fusionsbereichen und der Materie aus der umliegenden Hülle des Sterns. Die bei dem Wasserstoffbrennen entstehenden Heliumkerne gelangen nicht aus den zentralen Bereichen heraus, sondern konzentrieren sich dort immer weiter.

Der Anteil der Heliumkerne im Fusionsbereich steigt, während der Anteil der Wasserstoffkerne sinkt. Da es immer weniger Wasserstoffkerne gibt, flauen die Fusionsreaktionen langsam ab. Temperatur und Druck reichen für eine Fusion von Heliumkernen noch nicht aus.

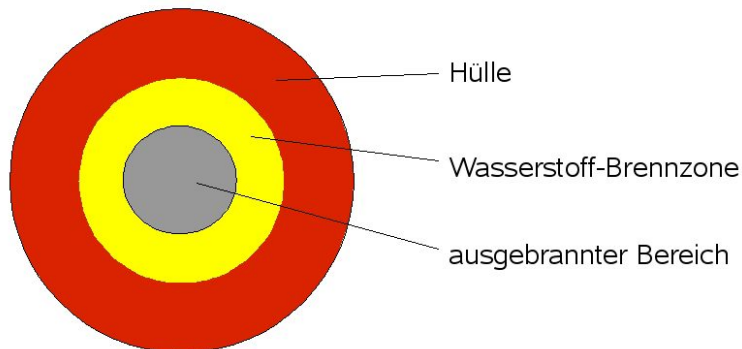
Durch das Zuneigehen der Wasserstoffkerne im Fusionsbereich endet das Wasserstoffbrennen.

Und das, obwohl um diesen ausgebrannten Bereich herum noch genügend Wasserstoff existiert. Aufgrund fehlender Konvektion gelangt es nicht in den Fusionsbereich und kann zum Fusionsprozess nichts beitragen.

Durch das Aufhören des Wasserstoffbrennens entsteht im Innern des Sterns keine neue Wärmeenergie: Der Gasdruck im Stern sinkt. Der Gravitationsdruck nimmt wieder Überhand, und der Stern kontrahiert.

Durch die fortlaufende Kontraktion erhöht sich die Temperatur im Sterninneren nach und nach. Und zwar so weit, bis Druck und Temperatur in den schalenförmigen Bereichen um der ausgebrannten Zone eine Größe erreichen, die ausreicht, um die Kernfusion mit den dort noch vorhandenen Wasserstoffkernen in Gang zu setzen. Dieses Stadium nennt man Wasserstoff-Schalenbrennen (vgl. Abbildung).

Sternaufbau: Wasserstoff-Schalenbrennen



Beim Wasserstoff-Schalenbrennen werden in der Brennzone Wasserstoffkerne zu Heliumkernen fusioniert. Die Heliumkerne sinken aufgrund ihrer größeren Masse in den ausgebrannten Bereich ab. Dieser vergrößert sich dadurch und heizt sich weiter auf. Die Schale des Wasserstoffbrennens entfernt sich immer weiter vom Zentrum des Sterns.

Mit der Zeit erhöhen sich Druck und Temperatur in den ausgebrannten Helium-Bereichen derart, dass die zur Fusion von Helium-Kernen benötigte Größe erreicht wird. Dabei verbünden sich unter Abgabe großer Energiemengen drei Heliumkerne zu einem Kohlenstoffkern.

Nach Zünden der Helium-Fusionsprozesse entstehen in dem Stern nicht nur in der Wasserstoff-Brennzone, sondern *zusätzlich* auch in den ehemals ausgebrannten Bereichen große Energiemengen. Die Temperatur im Sterninneren steigt, der Gasdruck steigt mit der Temperatur:

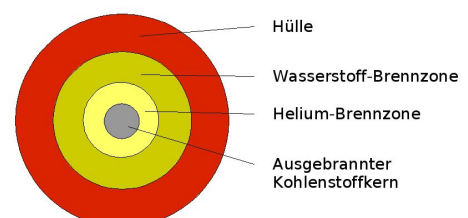
Aufgrund des nun viel größeren, nach außen gerichteten Gasdruckes bläht sich der Stern um ein Vielfaches seiner ursprünglichen Größe auf: Er wird zum **Roten Riesen**.

Die Endphase unserer Sonne

Auch unsere Sonne wird sich (in ca. 4,5 Mrd Jahren), nachdem der Wasserstoff in ihr zu Neige geht, zu einen roten Riesen aufblähen. Ihr Radius wird etwa den Radius der Erdbahn erreichen, die Erde wird aufgrund der hohen Temperaturen verdampfen. Spätestens hier ist dem menschlichen Leben auf der Erde ein natürliches Ende gesetzt.

Nach einiger Zeit geht das Helium in den zentralen Bereichen des Sterns aus. Zurück bleibt Kohlenstoff, der wegen des zu niedrigen Druckes und der zu niedrigen Temperatur nicht fusioniert. Reicht die Masse des Sterns aus, findet das "Helium-Brennen", ähnlich wie das

Sternaufbau: Helium-Schalenbrennen



Wasserstoffbrennen, in einer Schale um den Kohlenstoffbereich des Sterns statt (vgl. Illustration).

Dies sorgt für eine instabile Konfiguration: Der Kohlenstoffbereich hat eine große Massendichte. Zudem entsteht hier keine neue Wärmeenergie, da im Kohlenstoffbereich keine Fusionsprozesse mehr stattfinden.

Gleichzeitig findet jedoch in den Schalen um diesen Bereich herum noch Helium- und Wasserstoffbrennen statt, wodurch die Brennschalen um den Bereich herum aufgeheizt werden.

Insgesamt kontrahiert der zentrale Kohlenstoff-Bereich, die Brennschalen und die darüber liegenden Hüllen expandieren: Der Stern stößt seine Hülle ab und zurück bleibt ein kohlenstoffreicher Kern des Sterns, in dem jegliche Fusionsprozesse erloschen sind.

Wie bei den Sternen mit geringer Masse kontrahiert dieses Überbleibsel so lange, bis der „Entartungsdruck der Elektronen“ dem Gravitationsdruck die Waage hält:

Den zunächst weiß glühenden "Stern" nennt man - wie eben - **Weißer Zwerg**.

Die durch die abgestoßenen Hüllen gebildeten nebelartigen Objekte, wie etwa den Ringnebel in der Leier, nennt man **Planetarischen Nebel**.

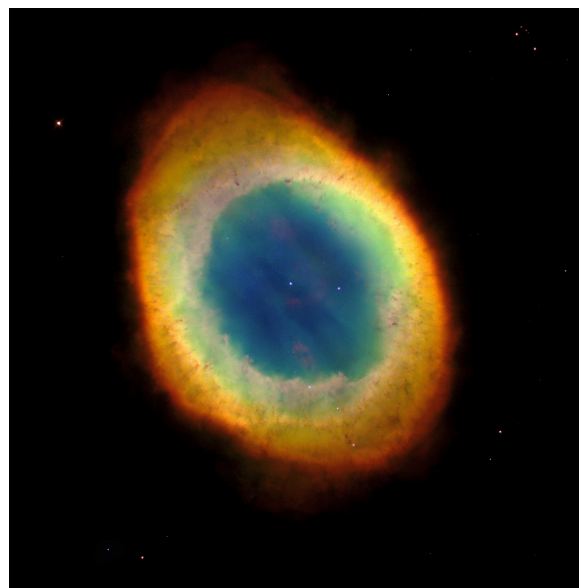
Ringnebel in der Leier

Ein Stern, der seine Hülle vor etwa 20000 Jahren abgestoßen hat, lässt sich im Sternbild Leier beobachten:

Die im Bild zu sehende ringförmige Struktur war einmal die Hülle des Sterns, der im Zentrum des Ringes noch als weißer Zwerg zu erkennen ist.

Der Zwergstern strahlt noch so hell, dass er die umliegende Hülle zum leuchten anregt. In ihm sind jedoch jegliche Fusionsprozesse erloschen. Im Laufe der Jahrtausende wird er immer dunkler, bis er überhaupt nicht mehr zu sehen ist.

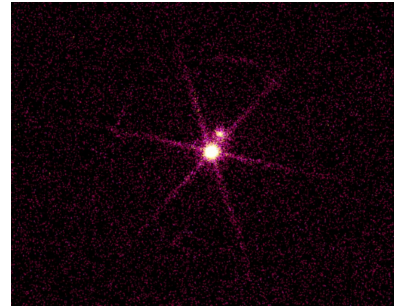
Die Gashülle breitet sich mit einer Geschwindigkeit von 19 km/s aus. Man kann sie bereits in einem mittelgroßen Teleskop sehen. Im Messierkatalog handelt es sich hier um M57.



Weißer Zwerg: Sirius B

Der von der Erde aus hellste Stern - Sirius A - dreht sich zusammen mit einem Weißen Zwerg um die gemeinsame Achse.

Das nebenstehende NASA-Photo zeigt den hellen Stern Sirius A sowie seinen Begleiter, den Weißen Zwerg Sirius B. Hier existiert jedoch kein Planetarischer Nebel: Die abgestoßene Hülle von Sirius B wurde nach und nach von Sirius A aufgesogen.



Die Masse von Sirius B liegt in der Größenordnung von der der Sonne - der Durchmesser des Zwerges ist jedoch nicht größer als der der Erde.

Sterne mit großer Masse (>2,5 Sonnenmassen)

Wie eben beschrieben, reicht die Masse mittelgroßer Sterne und damit der Druck und die Temperatur im Sterninnern nicht aus, um die Kohlenstoff-Fusion zu zünden. Bei massereichen Sternen ab 2,5 Sonnenmassen ist das jedoch der Fall: Kohlenstoff fusioniert zu Neon.

Je nachdem, wie groß die Masse des Sterns ist, fusioniert Neon zu Sauerstoff, Sauerstoff zu Silizium und Silizium zu Eisen. Nebenprodukte dieser hier sehr stark zusammengefassten Fusionsprozesse sind alle anderen Elemente, die wir kennen - bis hin zum Eisen.

Doch beim Eisen hört die Fusionskette auf: Bei der Fusion der oben genannten Elemente entsteht stets mehr Energie, als für die "Anregung" der Fusion benötigt wird. Der Teil der Energie, der nicht zur Anregung weiterer Fusionsprozesse benötigt wird, erhöht die Temperatur des Fusionsbereiches so weit, bis sich der damit zusammenhängende (nach außen gerichtete) Gasdruck mit dem nach innen gerichteten Gravitationsdruck die Waage hält.

Ab dem Eisen wird für die Anregung der Fusion dieser Elemente mehr Energie benötigt, als bei den Fusionsprozessen frei wird. Daher findet ab dem Element Eisen keine Kernfusion mehr statt: Die dazu nötige Energie kann nicht aufgebracht werden.

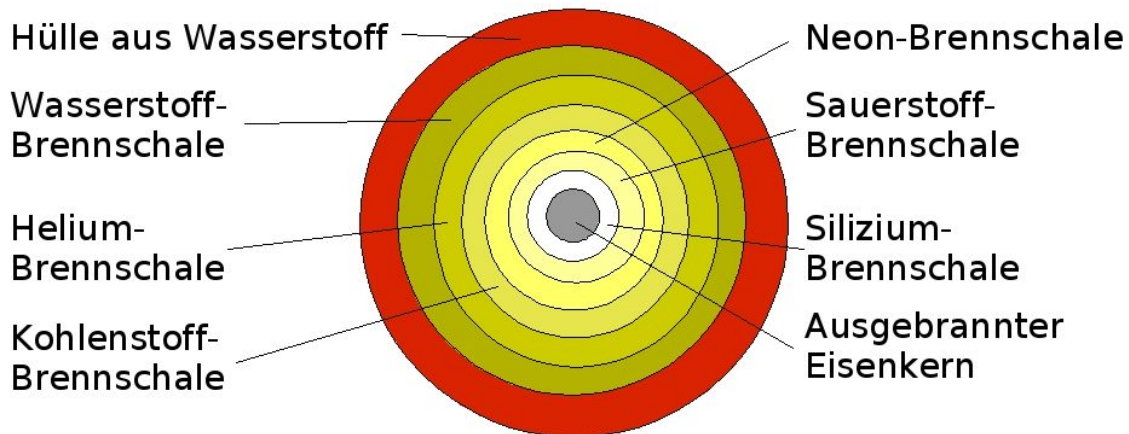
Information

Alle Elemente, die wir *auf der Erde* kennen, entstanden in den Sternen durch die beschriebenen Fusionsprozesse aus Wasserstoff.

Die Materie wurde über Sternexplosionen (siehe weiter unten) aus den Sternen hinausgeschleudert. Die Erde ist (zusammen mit dem Rest des Sonnensystems) aus solchen Sternen-Überbleibsel entstanden.

Innerhalb eines sehr massereichen Sterns entwickelt sich im Laufe weniger Millionen Jahre eine so genannte Ziebel-schalenstruktur: Vom Zentrum des Sterns hin zu den Außenbereichen fusionieren immer "leichter" werdende Elemente in den entsprechenden Brennschalen (vgl. Illustration).

Illustration: Ziebelschalenstruktur



In diesem Entwicklungsstadium sind große Teile des Sterns in den Fusionsreaktionen mit einbezogen. Der Stern befindet sich daher im weit aufgeblähtem Zustand. Man nennt in der Astronomie solche sehr weit aufgeblähte Sterne auch **(Rote) Überriesen**.

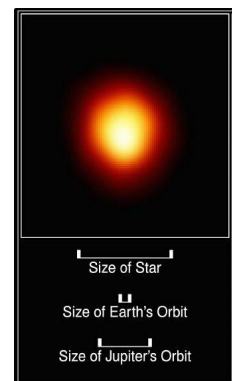
Je nach Masse des Sterns, kann er auch schon vor dem Siliziumbrennen zum Überriesen anwachsen.

Beispiel: Rote Überriesen

Der Stern Beteigeuze (α Ori) ist ein solcher Roter Überrieser. Sein Durchmesser wird auf bis zu 480 000 000 km geschätzt - das ist der über 300-fache Sonnendurchmesser.

Mit den besten Teleskopen lässt sich Beteigeuze als einer der wenigen Stern flächenmäßig auflösen - die meisten anderen Sterne erscheinen in den besten Teleskopen bloß punktförmig.

Die nebenstehende Aufnahme zeigt ein Photo vom Hubble-Space-Teleskope. Eingezeichnet ist ein Größenvergleich zwischen dem Durchmesser von Beteigeuze, dem Durchmesser der Erdumlaufbahn sowie der Umlaufbahn des Jupiter.



Aufgrund des hohen Druckes im Sterninnern laufen die Fusionsreaktionen bei massereichen Sternen sehr schnell ab. Bei einem Stern mit 25 Sonnenmassen dauert das Siliziumbrennen beispielsweise nur ein halbes Jahr.

Die unterschiedlichen Brennschalen sorgen für eine instabile Konstellation. So schwanken einige Sterne in ihrem Durchmesser um bis zu 50%. Bei vielen Sternen kommt es zu starken Materieauswürfen.

Hören die Reaktionen in der Silizium-Brennschale auf, erhöht sich der Druck auf den ausgebrannten Eisenkern, bis dort die Elektronen mit den Protonen zu Neutronen verschmelzen. Bei diesem Vorgang schrumpft dieser ausgebrannte Kern bis auf eine minimale Größe herab. In einem Stern, bei dem der Eisenkern beispielsweise eine Masse von vier Sonnenmassen besitzt, schrumpft dieser auf eine Größe von nur 10 Kilometern. Bei der Materie handelt es sich dann auch nicht mehr um Eisen-Plasma, sondern um Neutronen in der dichtesten Packung.

Das Schrumpfen des ausgebrannten Zentrum des Sterns wird bei dieser Minimalgröße abrupt aufgrund des sogenannten Entartungsdrucks der Neutronen

gestoppt. Die Sternmaterie, die im Zuge des Schrumpfens auf das Sternzentrum fällt, prallt auf den Neutronen-Kern des Sterns und verursacht dadurch eine Rückstoßwelle, die sich mit 50000 km/s radial vom Zentrum weg durch den Stern ausbreitet. Die Rückstoßwelle sorgt lokal für einen großen Druckzuwachs. Dadurch werden die Fusionsreaktionen mit einem Schlag angeheizt: Der Stern sprengt einen großen Teil der dem Zentrum umgebenen Materie ab, er explodiert.

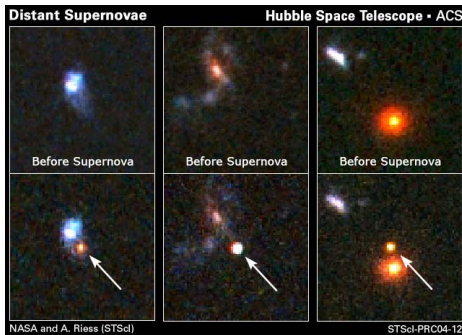
Die dabei frei werdende Energie sorgt für einen sprunghaften Anstieg der Leuchtkraft des Sterns auf den milliardenfachen Wert der ursprünglichen Leuchtkraft. Astronomen bezeichnen dieses Phänomen als **Supernova-Explosion**.

Dabei kann ein auf diese Weise explodierender Stern für kurze Zeit so hell wie eine ganze Galaxie erleuchten

Im rechten Photo sehen wir die mehrere dutzend Milliarden Sterne "große" Galaxie NGC 4526. Links unten findet das Leben eines dieser Sterne in Form einer Supernova-Explosion sein Ende.



Im linken Photo befinden sich weitere Aufnahmen des

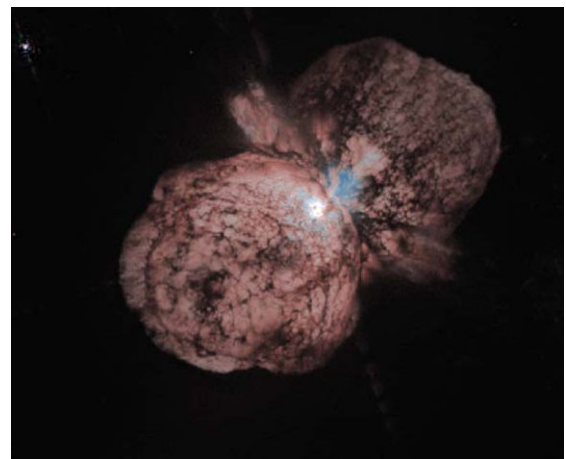


des Weltraumteleskops Hubble: Die obere Reihe zeigt drei Galaxien, wie sie in der Regel aussehen. In den unteren Aufnahmen sieht man zusätzlich die Leuchterscheinungen einer Supernova.

Eta Carinae

Dieses von Hubble aufgenommene Bild zeigt einen etwa 10000 LJ entfernten Stern. Eta Carinae besitzt eine Masse, die 100 bis 150 mal größer ist als die Masse unserer Sonne. Aufgrund dieser Masse kommt es zu enormen Instabilitäten: So kam es in der Vergangenheit mehrfach zu heftigen Materieauswürfen. Diese verursachten den im Bild sichtbaren Nebel.

Große, unregelmäßige Helligkeitsschwankungen sprechen dafür, dass sich Eta Carinae innerhalb der nächsten 2000 Jahre im Rahmen einer Supernova-Explosion sprengt.



Nachdem der Stern einen großen Teil seiner Hülle abgesprengt hat, bleibt der Neutronen-Kern des ursprünglichen Sterns übrig: Dieses Überbleibsel nennt man **Neutronenstern**. Ein Neutronenstern besteht zu einem großen Teil aus Neutronen und besitzt die gleiche Massendichte wie Atomkerne: 10^{16} kg/m^3 .

Materie, die weder abgesprengt wurde, noch zum Neutronenstern gehört, regnet nach und nach auf den Neutronenstern ab. In einem Neutronenstern wirkt der Entartungsdruck der Neutronen dem Gravitationsdruck entgegen und verhindert

so ein weiteres Zusammenfallen der Materie.

Ist die Masse der nach der Supernova-Explosion übrig gebliebenen Materie größer als acht Sonnenmassen, überwindet der Gravitationsdruck den Entartungsdruck. Jetzt gibt es keine Kraft mehr, die den gravitativ bedingten Kollaps der Materie noch aufhalten könnte:

Die gesamte vom Stern übrig gebliebene Materie zieht sich - theoretisch - auf einen einzigen Punkt zusammen: Ein **schwarzes Loch** ist entstanden.

Und das schauen wir uns jetzt noch einmal genauer an...

3.3.1 Schwarze Löcher

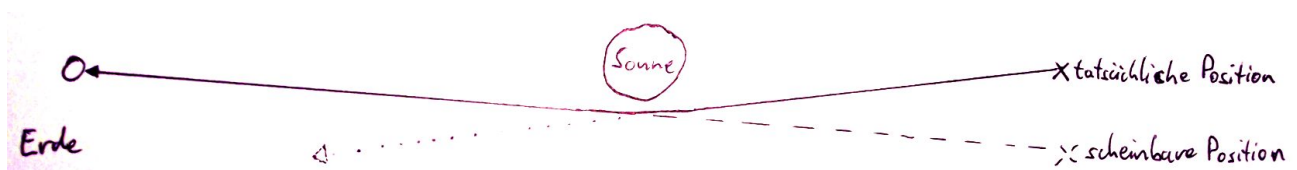
Wie eben geschildert entstehen Schwarze Löcher durch kollabierende, d.h. in sich zusammenfallende Materie. Die Materie zieht sich hier auf einen einzigen Punkt zusammen. Diesen Punkt nennt man **Singularität**.

Um schwarze Löcher vom physikalischen Standpunkt her ausreichend verstehen zu können, benötigt man Kenntnisse aus allen Bereichen der Physik, insbesondere der allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein. Darauf können wir hier leider nicht eingehen.

Deshalb möchte ich notwendige Ergebnisse aus der allgemeinen Relativitätstheorie experimentell beschreiben:

Gravitation lenkt das Licht ab.

Dies hat man zum ersten mal 29. Mai 1919 bei der Beobachtung einer Sonnenfinsternis nachgewiesen: Zwei Sterne, die am Himmel in der Nähe der Sonne beobachtet wurden, veränderten während der Sonnenfinsternis leicht ihre Position.



In obiger Skizze möchte ich den Vorgang der Einfachheit halber nur an einem Stern illustrieren: Der Weg des Lichtes vom Stern zum Beobachter auf der Erde wird durch den eingezeichneten Lichtstrahl dargestellt. Der gepunktete Strahl gibt den Verlauf des Lichtes wieder, wenn man *keine* Ablenkung annimmt. Tatsächlich aber wird das Licht durch die Sonne abgelenkt:

Für den Beobachter auf der Erde scheint der Weg des Lichtes entlang der gestrichelten Linie zu laufen. Also scheint das Licht des Sternes aus einer anderen Richtung zu kommen, als dies tatsächlich der Fall ist.

Folglich kommt es zu einer *scheinbaren* Verschiebung der Position des Sterns, wenn der Weg des von ihm ausgesandten Lichtes dicht an der Sonne vorbei verläuft.

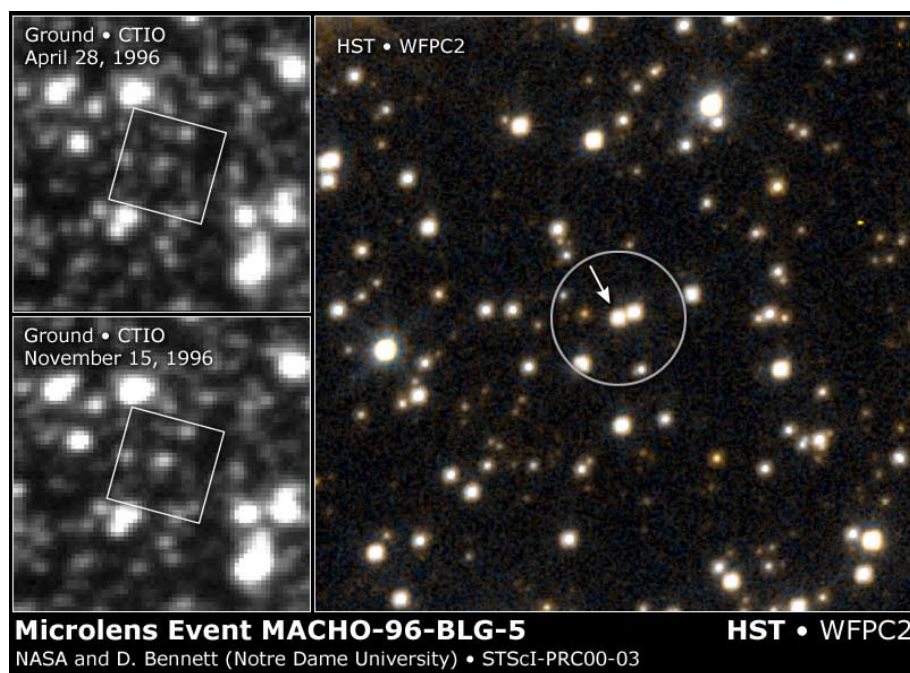
Wir halten fest: Große Massen lenken vorbeilaufendes Licht aufgrund ihrer Gravitation ab.

Schwarze Löcher sind nun - wie der Name schon sagt - schwarz, bzw. nicht direkt

sichtbar. Wie kann man solche Objekte nun finden, wenn man sie nicht sieht?

Nun, man weiß, dass bei Schwarzen Löchern eine große Masse auf einen kleinen Bereich konzentriert ist. Man kann sich vorstellen, dass aufgrund der großen Masse die Gravitationskräfte auf einen Körper in der Nähe eines schwarzen Loches ungeheuerlich sind. Dem entsprechend erwartet man in der Nähe von Schwarzen Löchern eine starke Ablenkung des Lichtes, welches dicht an diesen vorbei läuft. Also folgt: Um Schwarze Löcher zu finden, die durch das All wandern, muss man nach Lichtablenkungen suchen.

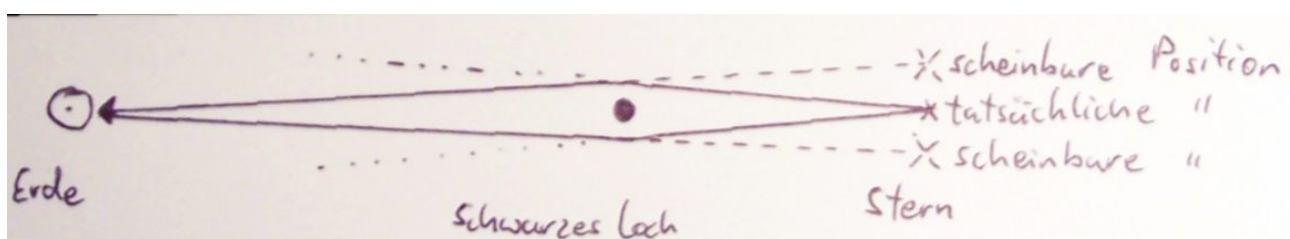
1996 wurde die NASA fündig:



Die linken Photos wurden am CTIO in Chile aufgenommen. Dort stellte man in einem Bereich des Sternenhintergrundes an einem Punkt eine deutliche Helligkeitsänderung zwischen den Aufnahmen im April und den Aufnahmen im November des Jahres fest. Daraufhin ließ man den entsprechenden Bereich des Sternenhintergrundes noch einmal detaillierter durch das Hubble-Teleskop ablichten (vergrößerte rechte Aufnahme).

Auf die Stelle der Helligkeitsänderung zeigt der Pfeil. Man sieht auf den ersten Blick nichts besonderes: Zwei Sterne, die auf dem Photo sehr dicht beisammen stehen. Eine genaue spektrale Analyse des Lichtes der beiden Sterne liefert jedoch ein erstaunliches Ergebnis: Die beiden Sterne, die man sieht, sind in Wirklichkeit ein und der selbe Stern. Doch wie geht das, dass man an zwei verschiedenen Stellen ein und den selben Stern sieht?

Dies lässt sich erklären durch eine Lichtablenkung an einem sehr massereichen Objekt, welches zudem selbst kein Licht aussendet: Ein schwarzes Loch.

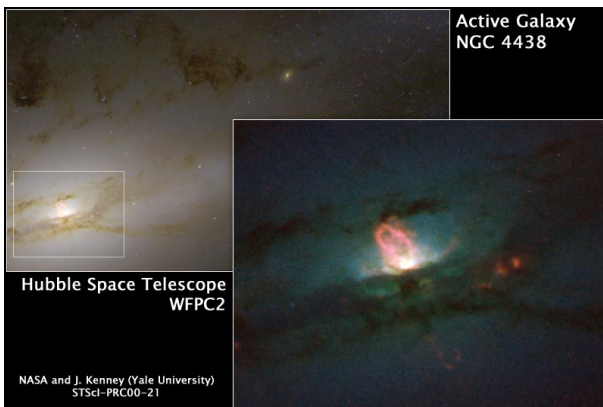
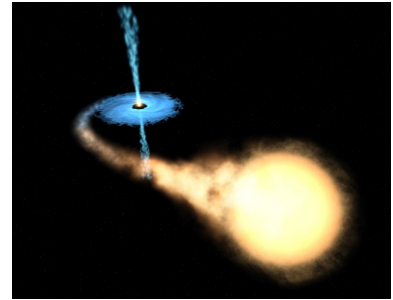


Das Licht, welches unter normalen Umständen den gepunkteten Verlauf nehmen würde, wird durch das schwarze Loch, welches sich zwischen Erde und Stern schiebt, umgebogen und auf die Erde gelenkt. Von der Erde aus gesehen scheint das Licht entlang der gestrichelten Linie zu kommen und damit von zwei verschiedenen scheinbaren Positionen auszugehen.

Isolierte Schwarze Löcher, wie im obigen Photo, sind nur sehr schwer zu finden. Denn dazu muss das schwarze Loch direkt zwischen einem Stern und der Erde stehen, was nur äußerst selten und nur für einen beschränkten Zeitraum der Fall ist.

Daher sucht man hauptsächlich Schwarze Löcher in der Gegenwart von Materie: Verschlingt ein schwarzes Loch (aufgrund der Gravitation) Materie (etwa von einem Stern), so sendet es hochenergetische Röntgenstrahlen aus.

Also sucht man von der Erde aus gezielt nach solchen Röntgenstrahlen-Quellen und untersucht die gefundenen Objekte, ob es sich dabei um Schwarze Löcher handeln kann.



Eine Röntgenquelle befindet sich beispielsweise im Zentrum der Galaxie NGC 4438 (vgl. Photo). Hier vermutet man ein supermassives Schwarzes Loch.

Auch im Zentrum unserer Galaxie, der Milchstraße, werden schwarze Löcher vermutet. Leider können wir das Zentrum der Milchstraße nicht direkt einsehen, da dunkle Nebelwolken die Sicht versperren. Über Radio- und Röntgenstrahlen, die diese Wolken durchdringen können,

kommt man jedoch zur Auffassung, dass sich im Zentrum der Milchstraße zehn- bis zwanzigtausend Schwarze Löcher aufhalten. Das größte von ihnen wird auf 2,6 bis 4 Millionen Sonnenmassen geschätzt.

Zum Glück sind wir in unserem Sonnensystem rund 26000 Lichtjahre vom Zentrum der Milchstraße entfernt, wir müssen also nichts befürchten.

3.4 Besondere Sterne und Sternsysteme

3.4.1 Doppel- und Mehrfachsternsysteme

Als *Doppelstern* bezeichnet man zwei am Sternenhimmel sehr nahe stehende Sterne. Man unterscheidet zwischen optischen *Doppelsternen* und physischen *Doppelsternsystemen*.

Optische Doppelsterne:

Bei optischen Doppelsternen scheinen die Sterne am Nachthimmel zwar

sehr nahe zu stehen, in Wirklichkeit liegen sie jedoch weit voneinander entfernt. Das liegt an der Tatsache, dass wir Menschen keine Tiefenwirkung für den Sternenhimmel empfinden. Daher können zwei Sterne, die zwar von der Erde aus gesehen sehr nahe zueinander stehen, unterschiedlich weit von der Erde (und damit weit von einander) entfernt sein, vgl. Illustration unten (a).

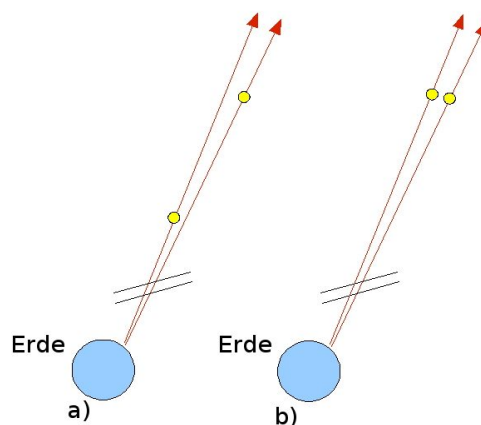
Optische Doppelsterne stehen daher in keiner gravitativen Beziehung zueinander.

Physische Doppelsternsysteme:

Die Sterne (= Komponenten) eines physischen Doppelsternsystems liegen dagegen so nahe beieinander, dass sie durch die Gravitationskräfte aneinander gebunden sind (b): Sie kreisen umeinander, ähnlich, wie Mond und Erde umeinander kreisen.

Bei physischen Doppelsternen lassen sich leicht gegenseitiger Abstand und Massen der beiden Systemkomponenten bestimmen. Der Einfachheit halber werde ich künftig physische Doppelsternsysteme nur *Doppelsternsystem* nennen.

Illustration: Optischer und physischer Doppelstern



Veranschaulichung eines optischen (a) und physischen (b) Doppelsterns.

Ein **Mehrfachsternsystem** nennt man eine Gruppe von Sternen, die gravitativ miteinander wechselwirken. Ein bekanntes, mit bloßem Auge sichtbares Mehrfachsternsystem ist ϵ Lyr. Es handelt sich hierbei um zwei physische Doppelsternsysteme, wie wiederum um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen.

Etwa 60 - 80% der Sterne unserer Galaxie sind Teil eines Doppel- oder Mehrfachsternsystems.

Im linken Photo sehen wir ein sehr schönes Beispiel eines Doppelsternsystems: Albireo (β Cyg) lässt sich bereits mit einem kleinen Fernglas gut beobachten.

Das System besteht aus einem hellen orange-rotem Überriesen und einem jungen, blau leuchtenden Stern.



3.4.2 Veränderliche Sterne

Beobachtet man detailliert den Sternenhimmel über einen Zeitraum von Stunden, Tagen oder Wochen hinweg, findet man Sterne, die starken Helligkeitsschwankungen unterworfen sind. Sterne, die hell aufleuchten, können nach einiger Zeit derart dunkel geworden sein, dass das menschliche Auge nicht mehr in der Lage ist, sie zu sehen. Anders herum können nach einiger Zeit an Stellen des Nachthimmels Sterne auftauchen, die zuvor kaum sichtbar waren.

Sterne, die ihre Helligkeit in absehbarer Zeit ändern, nennt man **veränderliche Sterne** - oder kurz: *Veränderliche*. Wie bei den Doppelsternen unterscheidet man zwischen zwei großen Gruppen: Den *optischen Veränderlichen* und den *physischen Veränderlichen*.

Optische Veränderliche:

Alle optischen Veränderlichen haben zwei Dinge gemeinsam:

1. Optische Veränderliche sieht man am Nachthimmel als einen einzigen Lichtpunkt. In Wirklichkeit handelt es sich aber um physische Doppelsternsysteme, bei denen die beiden Sterne so dicht beieinander stehen, dass sie mit unseren Mitteln von der Erde aus betrachtet nicht getrennt werden können. Die Tatsache, dass es sich um Doppelsterne handelt, folgt ausschließlich aus spektroskopischen Untersuchungen des Lichtes.
2. Die beiden Sterne kreisen aufgrund der Gravitation umeinander und zwar so, dass wir von der Erde aus seitlich oder leicht seitlich auf die Bahnebene des Doppelsternsystems schauen. Dadurch kommt es bei den meisten optischen Doppelsternen zu gegenseitigen Bedeckungen der Sterne, die die Helligkeitsschwankungen verursachen.

Die Zeit, die für einen Umlauf der Komponenten des Doppelsternsystems benötigt wird, nennt man Periodendauer. Innerhalb einer Periodendauer liegen in der Regel zwei Helligkeitsminima und -maxima.

Man unterscheidet folgende Klassen optischer Veränderlicher:

EA *Bedeckungsveränderliche vom Typ Algol:*

Bei diesem Typ Bedeckungsveränderliche handelt es sich um Doppelsterne, bei denen wir von der Erde aus seitlich auf die Bahnebene schauen so, dass es bei der Rotation der Sterne umeinander zu wechselseitigen Bedeckungen oder Teilbedeckungen der Sterne kommt:

Wenn beispielsweise zwei gleich große Sterne nebeneinander stehen, wirkt der von der Erde aus gesehene Lichtpunkt heller, als wenn die beiden Sterne hintereinander stehen, da so die Licht abstrahlende, von der Erde aus sichtbare Fläche nur halb so groß ist.

Da nicht alle Sterne gleich hell leuchten oder gleich groß sind, wird der von der Erde aus sichtbare Effekt noch deutlicher, wenn es sich bei dem einen

Stern um einen sehr dunklen, bei dem anderen um einen sehr hellen Stern handelt. Bei der Bedeckung des sehr hellen Sternes durch den sehr dunklen kommt es zum Hauptminimum.

Typischer Vertreter: Algol = β Per

maximale scheinbare Helligkeit: 2,12 mag

minimale scheinbare Helligkeit: 3,39 mag

Periodendauer: 2,87 Tage

Im Mittelalter war man der Auffassung, der Sternenhimmel sei vollkommen und unveränderlich. Bei der Entdeckung der periodischen Veränderungen des Sternes β Per gab man ihm den Namen *Algol*, was soviel heißt wie *Dämonenstern*.

Algol lässt sich mit bloßem Auge Anfang Januar gegen 21 Uhr beobachten.

EB *Bedeckungsveränderliche vom Typ β Lyrae:*

Hier kreisen die beiden Sterne derart dicht umeinander, dass sie sich aufgrund der Gezeitenkräfte verformen. Die Sterne des Doppelsternsystems sind hier also nicht mehr kugelförmig, sondern haben eine ellipsoide Form.

Bei diesem Typ kommt es daher, neben einer Veränderung der Helligkeit aufgrund der Bedeckung einer Komponente, zu einem so genannten Rotationslichtwechsel: Die beiden Sterne umkreisen einander. Die Sterne haben ellipsoide Form; da die Sterne nun umeinander drehen, sieht man die Sterne jeweils aus anderen Richtungen. Da sie nun nicht kugelförmig sind, ändert sich die von der Erde aus sichtbare Fläche eines Sterns. Die damit verbundenen Helligkeitsänderungen nennt man Rotationslichtwechsel.

Typischer Vertreter: β Lyr

maximale scheinbare Helligkeit: 3,25 mag

minimale scheinbare Helligkeit: 4,36 mag

Periodendauer: 12,91 Tage

Bei diesem Doppelsternsystem wurde über eine Spektralanalyse ein Materiefluss von der einen Komponente zur anderen beobachtet. Dies spricht für große räumliche Nähe der beiden Sterne.

β Lyr lässt sich mit bloßem Auge im Juli gegen 22:30 Uhr beobachten.

EW *Bedeckungsveränderliche vom Typ W UMa:*

Die Effekte, die bei diesem Typ zur Veränderung der Helligkeit beitragen, sind die selben wie bei EB. Nur, dass die Komponenten des Doppelsternsystems so dicht umeinander kreisen, dass sie sich berühren. Es kommt zu einem permanenten Gasaustausch zwischen den Komponenten des Systems. Zudem sind sie sehr stark ellipsoid geformt.

Die Periodendauer dieser Bedeckungsveränderliche liegt ausnahmslos unter einem Tag.

Typischer Vertreter: W UMa:

maximale scheinbare Helligkeit:	7,75 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	8,46 mag
Periodendauer:	0,33 Tage

Hierbei handelt es sich um einen relativ schwer auffindbaren Stern. Er ist mit bloßem Auge nicht mehr sichtbar. Dafür kann man ihn in unseren Breitengraden ein ganzes Jahr über sehen. Besonders gut jedoch Ende April gegen 22 Uhr.

EII *Doppelsterne mit Rotationslichtwechsel:*

Bei diesen Sternen schauen wir von der Erde aus mit einem Winkel auf das Doppelsternsystem, unter dem sich die einzelnen Komponenten nicht mehr bedecken. Die Sterne stehen hier so nahe, dass sie sich aufgrund der Gezeitenkräfte stark verformen. Dabei kommt es zum Rotationslichtwechsel wie auch unter EB.

Typischer Vertreter: b Per:

maximale scheinbare Helligkeit:	4,52 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	4,68 mag
Periodendauer:	1,53 Tage

b Per kann Ende Dezember / Anfang Januar gegen 21 Uhr mit bloßem Auge, besser jedoch mit einem kleinen Teleskop beobachtet werden. Die Helligkeitsschwankungen sind jedoch nur so geringfügig, dass sie kaum erkannt werden können.

Zusammenfassend lässt sich über die optisch Veränderlichen sagen, dass es sich hierbei um Sterne handelt, die nicht wirklich ihre Leuchtkraft verändern, sondern deren scheinbare Helligkeit sich aufgrund gegenseitiger Bedeckung zweier Komponenten eines Doppelsternsystems ändert.

(Zur Erinnerung: In Kap. 1.2 haben wir die scheinbare Helligkeit als die von der Erde aus gesehene Helligkeit eines Sterns definiert. Diese hängt zum einen von der Leuchtkraft, d.h. der tatsächlichen Helligkeit, zum anderen von der Entfernung des Sterns zur Erde ab.)

Physische Veränderliche:

Die physisch veränderlichen Sterne ändern innerhalb absehbarer Zeitspannen ihre Leuchtkraft. Das heißt, sie werden entweder heller und wieder dunkler, größer und wieder kleiner, oder es kommt zu Ausbrüchen und Explosionen.

Die Periodendauer ist hier definiert als die Zeit, die zwischen zwei Helligkeitsmaxima vergeht.

Entsprechend der Eigenschaften der Helligkeitsänderungen der Sterne sowie der

angenommenen physikalischen Ursachen für die Veränderung der Helligkeit, teilt man die physisch veränderlichen Sterne in Klassen ein.

Pulsierend veränderliche Sterne:

1. Langperiodische Cepheiden:

Hierbei handelt es sich um Sterne mit streng-periodischen Schwankungen der Leuchtkraft und mit Periodendauern zwischen 1 und 70 Tagen. Der Helligkeitsunterschied zwischen Minimum und Maximum beträgt 0,1 bis 2 mag.

Begründet liegen die Schwankungen der Leuchtkraft in einer Schicht der Atmosphäre, deren Strahlungs- (und Licht-) durchlässigkeit von der Größe der Oberfläche des Sterns abhängt (dem so genannten Kappa-Mechanismus). Diese Schicht verursacht ein Pulsieren des Sterns: Er wird nicht nur heller und dunkler, er ändert während einer Periode auch seine Größe um bis zu 20%.

Unter den langperiodischen Cepheiden gibt es zwei Unterklassen.

Cδ *δ-Cep-Cepheiden*

Diese Cepheiden kommen hauptsächlich in der galaktischen Ebene einer Galaxie vor (d.h., sie befinden sich innerhalb der Galaxienscheibe).

An ihnen wurde 1912 eine Beziehung zwischen der Periodendauer und der Leuchtkraft der Cepheiden festgestellt:

Indem man gezielt Cepheiden in fernen Galaxien sucht und beobachtet, lässt sich über Perioden-Leuchtkraft-Beziehung die Entfernung zu diesen Galaxien berechnen.

Typischer Vertreter: δ Cep

maximale scheinbare Helligkeit:	3,48 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	4,37 mag
Periodendauer:	5,37 Tage

Der Stern lässt sich das gesamte Jahr hindurch beobachten. Besonders gut sind die Bedingungen im Oktober gegen 22 Uhr. δ cep ist leicht auffindbar und und mit dem bloßem Auge gut beobachtbar.

CW *W-Vir-Cepheiden*

Diese Cepheiden unterscheiden sich von den Cδ durch eine andere Periode-Leuchtkraft-Beziehung. Außerdem befinden sich die Sterne vom Typ CW hauptsächlich in den sphärischen Halos der Galaxien, d. h. außerhalb der eigentlichen Galaxienscheibe.

Typischer Vertreter: W Vir

maximale scheinbare Helligkeit:	9,46 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	10,75 mag
Periodendauer:	17,27 Tage

Es handelt sich hier um einen schwer auffindbaren, nur mit einem Teleskop sichtbaren Stern. CW-Sterne sind meist sehr weit von der Erde entfernt. Daher haben sie eine geringe scheinbare Helligkeit.

2. Kurzperiodische Cepheiden: RR Lyrae-Veränderliche

In sehr regelmäßigen Perioden zwischen 0,05 und 1,2 Tagen ändert sich die Leuchtkraft dieser Sterne um ein bis zwei Größenklassen. RR Lyrae-Sterne findet man insbesondere in vielen Kugelsternhaufen.

Man unterscheidet jene RR Lyrae-Veränderliche mit assymetrischen Lichtkurven (**RRa**) und jenen mit symmetrischen, fast sinusförmigen Lichtkurven (**RRc**).

Bei RR Lyrae-Sternen existiert auch eine Perioden-Leuchtkraft-Beziehung, mit der sich Entfernungen bestimmen lassen.

Typische Vertreter:

	RRa	RRc
Bezeichnung:	RR Lyr	SX UMa
maximale scheinbare Helligkeit:	7,06 mag	10,58 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	8,12 mag	11,21 mag
Periodendauer:	0,57 Tage	0,31 Tage

RR Lyr kann man bereits mit einem kleinen Teleskop beobachten. Besonders eignen sich die Monate Juli und August ab 22:30. Der Stern ist allerdings schwer zu finden. SX UMa ist zwar leichter auffindbar - der Stern strahlt jedoch so schwach, dass er nur durch ein besseres Teleskop gesehen werden kann.

3. Mira-Ceti-Sterne:

Bei den Mira-Ceti-Sternen handelt es sich um sehr langperiodisch veränderliche, stark pulsierende Riesensterne: Der Sternradius kann während einer Periode bis zu 50% zu- bzw. abnehmen. Die scheinbare Helligkeit kann um 2 bis 8 Größenklassen schwanken. Das bedeutet, dass diese Sterne ihre Leuchtkraft von einem Minimum zu einem Maximum ver Hundertfachen können. Von diesem Gesichtspunkt aus gesehen ist diese Klasse veränderlicher Sterne mit Abstand die imposanteste. Grund für diese Schwankungen sind interne Instabilitäten. Den Namen erhält sie von dem ersten entdeckten Mira-Ceti-Stern: Mira.

Typischer Vertreter: Mira = o Cet

maximale scheinbare Helligkeit: 2,00 mag
 minimale scheinbare Helligkeit: 10,10 mag
 Periodendauer: 331,96 Tage

Mira ist geschichtlich der erste dokumentierte veränderliche Stern: Als man 1639 erkannte, dass der Stern seine Helligkeit ändert, nannte man ihn Mira (= die "Wundersame").

Mira lässt sich am Besten über einen längeren Zeitraum, angefangen in den Morgenstunden des Monates Juli, bis hin in den Abendstunden des Monates Januar beobachten.

4. Halbregelmäßig Veränderliche

Bei den halbregelmäßig veränderlichen Sternen handelt es sich um Übergiganten oder Riesen, in deren Schwankungen der scheinbaren Helligkeit eine gewisse Periodizität feststellbar ist. Die Periodendauer liegt zwischen 30 und 1000 Tagen, die Schwankungen umfassen ein bis zwei Größenklassen. Man unterscheidet folgende Klassen:

SRa

Hierbei handelt es sich um eine relativ regelmäßige Klasse. Die Periodendauer ist relativ konstant. Trägt man die Helligkeit gegen die Zeit auf, so ähnelt die Helligkeitskurve den Helligkeitskurven der Mira-Ceti-Sterne, nur, dass die Helligkeitsschwankungen wesentlich geringer ausfallen.

SRb

Im Gegensatz zu SRa verhält sich diese Klasse von Sternen nur sehr schwach Regelmäßig. Nur mit Mühe ist eine Periodizität erkennbar, unterbrochen von völlig irregulären Helligkeitsschwankungen. Bei diesen Sternen handelt es sich um Riesen, die aufgrund ihrer großen Masse instabile Phasen durchlaufen.

Schließlich gibt es noch die halbregelmäßigen Klassen SRc und SRd, die sich durch ihre Masse (es handelt sich hier ausschließlich um Übergiganten) und Feinheiten im Spektrum von den beiden ersten Gruppen unterscheiden.

Typische Vertreter

	SRa	SRb	SRc	SRd
Bezeichnung:	Z Aqr	RR CrB	RS Cnc	UU Her
maximale scheinbare Helligkeit:	9,5 mag	8,40 mag	6,20 mag	8,5 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	12 mag	10,10 mag	7,70 mag	10,6 mag
Periodendauer:	135,5 Tage	60,80 Tage	120 Tage	80,1 Tage

5. Unregelmäßig Veränderliche

Der Klassen der unregelmäßig Veränderlichen werden alle Sterne zugeordnet, die in ihren Helligkeitsschwankungen keinerlei regelmäßige oder periodische Strukturen aufweisen. Man unterscheidet die unregelmäßig Veränderlichen früher Spektralklasse (**Ib**) und die unregelmäßig Veränderlichen später Spektralklasse (**Ic**).

Typische Vertreter:

	Ib	Ic
Bezeichnung:	CO Cyg	TZ Cas
maximale scheinbare Helligkeit:	9,6 mag	8,86 mag
minimale scheinbare Helligkeit:	10,6 mag	10,5 mag

Bei diesen Veränderlichen macht es keinen Sinn, eine Periodendauer anzugeben, da es keine Periodendauer gibt.

Erruptiv veränderliche Sterne

Erruptiv veränderliche Sterne zeichnen sich durch plötzliche, nicht vorhersagbare Helligkeitsausbrüche (oder -einbrüche) um mehrere Größenklassen aus. Hier unterscheidet man einige Klassen, die ich hier kurz erwähnen möchte:

1. Novae

Bei den Nova-Veränderlichen handelt es sich um Weiße Zwerge, deren Helligkeit plötzlich um 7 bis 16 Größenklassen ansteigt und nach einigen bis einigen hundert Tagen wieder absinkt. Häufig wird ein Nova-Veränderlicher erst mit einem solchen Ausbruch sichtbar, daher auch der Name:

Der Begriff Nova rührt von dem Lateinischen *nova stella* (= neuer Stern) her. Früher dachte man, dass es sich bei dem wegen einer Nova plötzlich sichtbaren Stern um einen neu geborenen Stern handelt.

Tatsächlich handelt es sich aber um Weiße Zwerge oder Neutronensterne, in denen (wie oben ausführlich geschildert) sämtliche Fusionsprozesse abgeklungen sind:

Umkreisen sich ein Weißer Zwerg (bzw. ein Neutronenstern) und ein massereicher Stern sehr nah, kommt es zum Fluss wasserstoffreicher Materie von dem massereichen Stern zum Weißen Zwerg. Dort sammelt sich die wasserstoffreiche Materie, bis Druck und Temperatur für die Fusion des Wasserstoffs ausreichen. Reichen Druck und Temperatur aus, kommt es zu schlagartigen Fusionsreaktionen, die die neu zugeflossene Materie wegsprengen und die von der Erde aus beobachtbaren Leuchterscheinungen hervorrufen.

2. Supernovae

Die in den vorhergegangenen Abschnitten behandelte Supernova-Explosion

verursachte Helligkeitsänderung der betreffenden Sterne begründen diese Klasse der Veränderlichen.

Besonders massereiche Sterne beenden ihr Dasein als Supernova. Dabei steigt ihre Helligkeit um 20 Größenklassen.

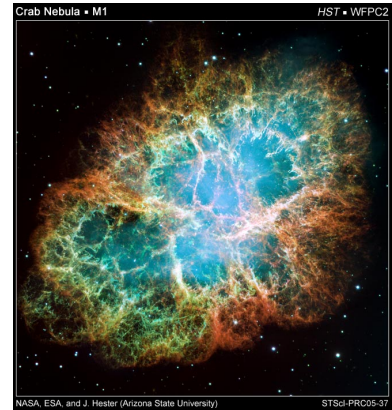
SN 1054

Nach chinesischen Aufzeichnungen wurde im Jahr 1054 im Sternbild Stier ein "neuer" Stern entdeckt, der so hell leuchtete, dass man ihn über 23 Tage lang am helligsten Tage sehen konnte.

Heute weiß man, dass es sich bei dem "neuen" Stern um eine Supernova-Explosion handelte.

Das Überbleibsel dieser Supernova-Explosion kann heute selbst mit einem kleinen Teleskop beobachtet werden: Der sogenannte Krebsnebel (M1) im Sternbild Stier (siehe Photo).

Bei dem Nebel handelt es sich um die abgesprengte Hülle des Sterns, der 1054 explodierte. Im Innern dieses Nebels wurde ein Neutronenstern nachgewiesen.



Soweit die Unterteilung veränderlicher Sterne in Klassen. Ich möchte noch darauf hinweisen, dass oben nur eine Auswahl der wichtigsten Klassen veränderlicher Sterne getroffen wurde. Für diejenigen, die sich noch ausführlicher mit diesem interessanten Thema beschäftigen möchten: Im Internet gibt es eine vollständige Liste aller Klassen veränderlicher Sterne zusammen mit detaillierten Beschreibungen:

<http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs/iii/vartype.txt>

4 Lizenzen und Bildquellen

4.1 Verwendete Abbildungen und deren Lizenzen

Die verwendeten Abbildungen sind der Reihe nach aufgelistet.

Kapitel 1:

- Sonnensystem:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Planeten-Symbole:
Quelle:

- http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:<Planetenname>_symbol.ant.png
 Urheber: Ant Allan (Wikipedia, en); Lizenz: GFDL
- Illustration Exzentrizität:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Illustration Seitliche Ansicht:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Illustration Inklination:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Illustration Rotationsachse:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Sonnen- und Sternentag:
 Quelle:
http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Sidereal_day_%28prograde%29.png
 Urheber: Gdr (Wikipedia, en); Lizenz: GFDL
 - Sonne
 Quelle: <http://soho.esac.esa.int/gallery/images/superprom.html>
 Urheber: SOHO (ESA & NASA); Lizenz:
<http://soho.esac.esa.int/data/summary/copyright.html>
 - Merkur:
 Urheber: NASA (Mariner 10); Lizenz:
<http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Größenvergleich Merkur-Erde:
 Quelle: http://sse.jpl.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=179
 Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Venus
 Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Venus Vulkan:
 Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00243>
 Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Venus: Morgenstern/Abendstern:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Erde:
 Urheber: NASA (Apollo); Lizenz:
<http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Illustration Norden/Süden:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Jahreszeiten:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Schema Erdaufbau:
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Erdmagnetfeld:
 Quelle: <http://sec.gsfc.nasa.gov/popscise.jpg>
 Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Erde_Mond:
 Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00405>
 Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
 - Mondphasen
 Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
 - Sonnen- und Mondfinsternis:
 Quelle: <http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Finsternis.jpg>

- Urheber: Ben-Zin (Wikipedia, de); Lizenz: GFDL
- Mars:
Quelle: <http://64.40.104.21/mars/large/07.05.1.HST.mars.lrg.jpg>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Mars Panorama-Aufnahme:
Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01466>
Urheber: NASA; Lizenz: Public Domain (Gemeindefrei)
- Jupiter:
Urheber: NASA (Voyager 1); Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Jupiter - GRF:
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Jupiter - Mondphotos:
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Saturn:
Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA06193.jpg>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Saturn - Ringe:
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Uranus:
Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01360>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Neptun:
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Pluto:
Quelle: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/photo_gallery/photogallery-pluto.html
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Lokale Gruppe:
Quelle:
http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:LokaleGruppe_Diagramm_750px.png (invertiert)
Urheber: CWitte (Wikipedia, de); Lizenz: GFDL
- Großraumstrukturen (SDSS):
Quelle: <http://astro.uchicago.edu/cosmos/projects/fog/sloan2.jpg>
Urheber: COSMUS; Lizenz: <http://astro.uchicago.edu/cosmos/home.html>
- Eros:
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- "Inner Solar System":
Quelle: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA05569>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Komet:
Quelle: <http://www.usno.navy.mil/pao/HBPIX.html>
Urheber: United States Federal Government; Lizenz: public domain
- Mondfinsternis:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Sonnenfinsternis:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL

Kapitel 2:

- Sternbild Löwe 1:
Urheber: Johannes Hevelius; Lizenz: Gemeindefrei (public domain)
- Sternbild Löwe 2:

- Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Opposition, Konjunktion:
Urheber: Phrood (Wikipedia, de); Lizenz: Gemeindefrei (public domain)
- Guide 6.0 - Bildschirmfoto:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Bikonvexlinse im Strahlenmodell - Bezeichnungen:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Lichtstrahl durch Bikonvexlinse:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Parallele Lichtstrahlen auf Bikonvexlinse:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Lichtstrahlen durch Brennpunkt auf Linse:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Lichtstrahl durch Linsenmittelpunkt:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Linsen-Abbildung:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Funktionsweise Linsenteleskop - Bezeichnungen:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Funktionsweise Linsenteleskop - Sternenlicht:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Funktionsweise Linsenteleskop - Winkelvergrößerung:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Funktionsweise Linsenteleskop - Herleitung der Winkelvergrößerung:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Fraunhofer-Querschnitt:
Quelle: www.mueller-manching.de
Urheber: Manfred Müller; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Newton-Querschnitt:
Quelle: www.mueller-manching.de
Urheber: Manfred Müller; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Schmidt-Cassegrain-Querschnitt:
Quelle: www.mueller-manching.de
Urheber: Manfred Müller; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Maksutov-Cassegrain-Querschnitt:
Quelle: www.mueller-manching.de
Urheber: Manfred Müller; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Azimutale Montierung:
Quelle: www.teleskop-service.de
Urheber: Wolfgang Ransburg; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Dobson:
Quelle: www.teleskop-service.de
Urheber: Wolfgang Ransburg; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses AstroSkript;
- Parallaktische Montierung:
Quelle: www.teleskop-service.de
Urheber: Wolfgang Ransburg; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für

- dieses Astroskript;
- Okular:
Urheber: Finn Henseleit; Lizenz: Genehmigung zur Verwendung für dieses Astroskript;
- Sternenspektren:
Quelle: http://www.noao.edu/image_gallery/images/d2/starsl.jpg
Urheber: NOAO; Lizenz: http://www.noao.edu/image_gallery/copyright.html
- Cartes du Ciel:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Spracheinstellung:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Ort der Sternwarte:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Menü Darstellung:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Menüs "Kataloge und Darstellung":
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Linien:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Suche:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL

Kapitel 3:

- Illustration - Gravitationsdruck:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Illustration - Elektrostatische Kräfte:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Illustration - Wasserstoffatom:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Adlernebel:
Quelle: <http://hubblesite.org/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Gravitationsdruck <-> Gasdruck:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Dissoziation:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Ionisation:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Orionnebel:
Quelle: http://hubblesite.org/gallery/album/entire_collection/pr2006001a/
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Orionnebel - Sternentstehungsgebiet:
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Protostern-Stadium 3-4
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Trifidnebel:
Quelle:
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/1999/42/image/a>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>

- Protostern-Infrarot:
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protostellar-jet/1999/05/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Protostern-Sichtbar:
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/protostellar-jet/1999/05/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Neuer Stern:
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Illustration: Fusion von Wasserstoffkernen:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Sternaufbau Frühphase:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Sternaufbau: Wasserstoff-Schalenbrennen:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Sternaufbau: Helium-Schalenbrennen:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Ringnebel:
Quelle:
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/1999/01/image/a/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Sirius A + B:
Quelle: http://apod.nasa.gov/apod/image/0010/siriusb_cxo_big.jpg
Urheber: NASA; Lizenz: <http://www.jsc.nasa.gov/policies.html#Guidelines>
- Illustration - Zwiebelschalenstruktur:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Beteigeuze:
Quelle: <http://hubblesite.org>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Supernova in NGC 4526:
Quelle: <http://www.spacetelescope.org/images/html/opo9919i.html>
Urheber: NASA/ESA; Lizenz: <http://www.spacetelescope.org/copyright.html>
- Distant Supernovae:
Quelle: <http://hubblesite.org>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Eta Carinae:
Quelle:
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/1996/23/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Lichtablenkung Sonne:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Microlens Event:
<http://hubblesite.org>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Schwarzes Loch_Illustration:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Stern-Schwarzes Loch:
Quelle:
<http://hubblesite.org/newscenter/newsdesk/archive/releases/2002/30/image/a/>

- Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- NGC 4438:
Quelle: <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/exotic/black-hole/2000/21/>
Urheber: NASA; Lizenz: <http://hubblesite.org/copyright/>
- Illustration: Optischer und physischer Doppelstern:
Urheber: Alexander Staidl; Lizenz: GFDL
- Albireo:
Quelle: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Albireo.jpg>
Urheber: Jim Spinner (Wikipedia, en); Lizenz: GFDL
- Krebsnebel:
Quelle: <http://www.spacetelescope.org/images/html/heic0515a.html>
Urheber: NASA/ESA; Lizenz: <http://www.spacetelescope.org/copyright.html>

Die Lizenz "GFDL" lässt sich nachlesen unter:
<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>

Bei der Auswahl der Bildquellen habe ich sorgfältig darauf geachtet, dass die Bilder eine Lizenz besitzen, welche den Einsatz in diesem Skript erlaubt und welche in Verbindung mit diesem Skript auch frei kopiert und verbreitet werden dürfen.

Sollte mir bei meiner Auswahl dennoch ein Fehler unterlaufen sein, und sich unter obigen Bildern auch unfreie befinden, bitte ich Sie, mir umgehend Bescheid zu geben, damit ich diese durch freie ersetzen kann: a.staidl@freenet.de

4.2 Lizenz des AstroSkripts

Autor und Urheber des AstroSkripts sowie einiger Abbildungen ist:

Alexander Staidl
Amselweg 13
35764 Sinn

Email: a.staidl@freenet.de

Die folgende Lizenz gilt für dieses AstroSkript. Die Lizenz ist dabei so gehalten, dass eine Verbreitung des Textes in Verbindung mit den oben genannten Abbildungen rechtmäßig ist.

LIZENZ des AstroSkripts

Urheber: Alexander Staidl
Datum: 11.09.2007

Der Urheber erlaubt das Erstellen von Kopien des gesamten AstroSkripts oder von Auszügen, sowie das Vervielfältigen des AstroSkripts über sämtliche Medien einschließlich des Internets ausschließlich dann, wenn dabei nach den folgenden Punkten gehandelt wird:

1. Für die Kopien/Auszüge/Vervielfältigungen darf maximal so viel Geld verlangt werden, wie für das Anfertigen der Kopien/Auszüge/Vervielfältigungen benötigt wird. Eine darüber hinaus gehende kommerzielle Nutzung des AstroSkrips ist nicht erlaubt.

2. Jeder Auszug, jede Kopie und jede Vervielfältigung steht unter dieser Lizenz und zu jedem Auszug, jeder Kopie und jeder Vervielfältigung muss diese Lizenz beigefügt werden. Des Weiteren müssen Urheber und Lizenzen der kopierten/vervielfältigten Abbildungen kenntlich in jeder Kopie/Vervielfältigung angegeben werden.

3. Das AstroSkript sowie Ausschnitte daraus dürfen nur unverändert kopiert/vervielfältigt werden.

4. Zu berücksichtigen ist: Die Abbildungen stehen unter sehr verschiedenen Lizenzen, die die Nutzungsbedingungen der jeweiligen Abbildungen regeln. Diese Lizenzen stehen für die jeweilige Abbildung rechtlich über der vorliegenden "Lizenz des AstroSkrips".

5. Abbildungen, die speziell für dieses AstroSkript genehmigt wurden, dürfen auch nur in Verbindung mit diesem verbreitet werden.

Haftungsausschluss: Es besteht keine Garantie auf die Richtigkeit von Angaben innerhalb des AstroSkrips. Für Fehler oder Falschangaben im AstroSkript kann der Autor nicht haftbar gemacht werden.

Ende des Lizenztextes

Stichwortverzeichnis

Abendstern.....	12, 103
Andromedagalaxie.....	23, 66
Äquatoriales Koordinatensystem.....	2, 31, 61
Asteroiden(-gürtel).....	2, 26f.
Ausgezeichnete Strahlen.....	41, 43ff.
Azimutale Montierung.....	3, 54, 105
Bedeckungsveränderliche.....	96f.
Bikonvexlinsen.....	2, 40, 42f., 45f.
Brennpunkt.....	41ff., 50f., 105
Brennweite.....	42, 44, 48, 52, 54, 56
Callisto.....	18
Cartes du Ciel.....	3, 37, 58, 65, 106
Cassiniteilung.....	19
Cepheiden.....	98
Deklination.....	32f., 38, 55, 61, 69f.
Dissoziation.....	106
Dobson (Teleskop-Bauart).....	54, 105
Doppelsterne.....	3, 94ff.
Drehachse.....	7f., 21
Ekliptik.....	2, 4, 34, 38, 62
Erde.....	2, 4, 6ff., 11ff., 17ff., 25f., 28ff., 33ff., 39, 44, 70, 72f., 76f., 81, 91, 93ff., 101, 103
Erdinnere.....	73
Eta Carinae.....	107
Europa.....	18f.
Exzentrizität.....	5, 8, 103
Farbempfinden.....	36
Galaxienhaufen.....	23f., 74
Gasdruck.....	75, 77ff., 84, 86, 88, 106
Gasplanet.....	11, 18, 20
Gaymed.....	18
Gesteinsplanet.....	18
Gravitationsdruck.....	73, 77ff., 84ff., 91, 106
Gravitationskraft.....	3, 72, 74
Größenklasse.....	35, 70
Großraumstruktur.....	24, 74, 104
Grundkräfte.....	3, 72, 74
Hauptspiegel.....	50ff.
Helium-Brennen.....	86
Helligkeit.....	2, 20f., 28, 35f., 38, 49, 65, 95ff.
Helligkeitsklasse.....	35
Himmelskugel.....	32, 34
Inklination.....	4, 6, 8, 34, 103
Io.....	18f.
Ionisation.....	79, 106
Jahreszeiten.....	103
Jupiter.....	2, 4f., 11, 18ff., 27, 45ff., 104
Kernfusion.....	3, 80ff., 88
Kernkräfte.....	3, 74, 79f., 83

Komet.....	2, 4f., 27f., 61, 63, 65
Konjunktion.....	2, 34f., 105
Kuipergürtel.....	27
Lichtsammelvermögen (Teleskop).....	2, 49
Linsenteleskop.....	43f., 50, 105
lokale Gruppe.....	23
Magnetfeld der Erde.....	76, 103
Maksutov-Cassegrain (Teleskop).....	2, 53, 105
Mars.....	2, 4f., 17f., 27, 38, 104
Mehrfachsternsysteme.....	3, 56, 94
Meniskuslinse.....	53
Merkur.....	2, 4, 10ff., 17, 103
Messier-Katalog.....	3, 65, 68
MESZ.....	2, 39, 60
Meteorströme.....	3, 69
MEZ.....	2, 39, 60
Milchstraße.....	22
Mira-Ceti-Sterne.....	99f.
Mondfinsternis.....	2f., 28f., 70
Morgenstern.....	12, 103
Nadir.....	34
Neptun.....	2, 4, 18, 21f., 27, 104
Neutronenstern.....	90, 101
New General Catalog (NGC).....	59, 61, 65
Newton-Teleskop.....	2, 51, 54f.
Objektivlinse.....	44ff., 48ff.
Öffnungsverhältnis.....	2, 48f.
Okular.....	3, 50ff., 55f., 106
Okularlinse.....	44ff., 48f.
Opposition.....	2, 34, 105
Parallaktische Montierung.....	3, 55, 105
Planetarischer Nebel.....	30, 87
Planeten.....	2, 4ff., 11, 17ff., 27, 34f., 38, 46, 63, 72, 74, 102
Pluto.....	2, 4, 6, 22, 27, 36, 104
Protostern.....	78f., 81, 106f.
Protuberanzen.....	9
Quadratur.....	2, 34
Refraktor.....	43, 49f.
Rektaszension.....	32f., 38, 55, 61, 69f.
Ringnebel in der Leier.....	67, 87, 107
Rotationsachse.....	7, 13, 19, 21, 103
Roter Riese.....	86
Saturn.....	2, 4f., 11, 18ff., 38, 104
Schaltjahr.....	13
Schmidt-Cassegrain (Teleskop).....	2, 52f., 105
schwarze Löcher.....	74, 91, 93
Schwarze Löcher.....	3, 91ff.
Schwarzer Zwerg.....	85
Sedna.....	22
Sonne.....	2, 4f., 7ff., 12f., 17, 26ff., 31, 34ff., 57, 72, 76, 81, 84, 91, 103, 107
Sonnenfinsternis.....	2f., 29, 71
Sonnensystem.....	2, 4ff., 9, 22f., 26, 28, 93, 102

Sonnenwind.....	9, 27, 81
Spektralklassen.....	3, 57f.
Spektralzerlegung.....	3, 56f.
Spektroskopie.....	3, 56
Spektrum.....	56f., 100
Spiegelteleskop.....	2, 50
Sternbilder.....	2f., 30f., 34, 62f.
Sterne.....	2ff., 22, 30ff., 35f., 38, 56ff., 60, 62f., 72, 77, 80, 82ff., 88ff., 94ff.
Stermentag.....	8, 103
Stermentstehung.....	77, 80f.
Sternkarten.....	2, 4, 30, 32ff., 38, 60f., 63, 65
Strahlenmodell.....	2, 40f., 46, 105
Superhaufen.....	24
Supernova.....	65, 90f., 101f., 107
Teleskopmontierungen.....	2, 53
Thermodynamik (Grundkenntnisse).....	3, 72, 75, 77, 79
Tierkreis.....	2, 34
Treibhauseffekt.....	12f.
Uranus.....	2, 4, 6, 18, 20f., 104
UT.....	2, 39, 70f.
Venus.....	2, 4, 6, 11f., 17, 35f., 103
veränderliche Sterne.....	95, 98, 101
Veränderliche Sterne.....	3, 95
Vergrößerung (Teleskop).....	45ff., 55, 105
Virtuelle Planetarien.....	2, 37f.
Wärmestrahlung.....	13, 76ff., 84
Wärmetransport.....	3, 76
Wärmetransport (Konvektion).....	76, 85
Wasserstoff-Schalenbrennen.....	86, 107
Wasserstoffbrennen.....	3, 83ff., 87
Weißer Zwerg.....	85, 87, 101
Winkelvergrößerung.....	45ff., 55, 105
Zenit.....	2, 33f., 63
Zwiebelschalenstruktur.....	107