



### Präsentationen der Professoren

[Allgemeine Eigenschaften, Merkur, Venus, Erde, Mond](#) 

[Mars, Asteroidengürtel, Äußere Planeten, Kuipergürtel](#) 

[Kometen, Exoplaneten](#) 

### Weitere interessante Infos

[Astrokramkiste](#) 

[Abenteuer-Universum](#) 

[Stellariumblog](#) 

[Geolino](#) 

## Inhaltsverzeichnis

Überblick.....	3
Distanzen .....	3
Sonne und Planeten im Vergleich.....	3
Definitionen der Himmelskörper .....	4
Gasplaneten und Gesteinsplaneten im Vergleich .....	6
Planetenbahnen.....	7
Dichte.....	11
Atmosphäre .....	11
Magnetfelder .....	12
Ringe .....	12
Meteoriteneinschläge .....	13
Treibhauseffekt .....	13
Rochegrenze .....	14
Titius-Bode-Reihe .....	14
Raumfahrt .....	15
Sonne .....	15
Merkur .....	15
Venus .....	16
Erde .....	17
Mars.....	18
Asteroidengürtel .....	19
Jupiter .....	21
Saturn .....	23
Uranus .....	24
Neptun .....	25
Kuipergürtel.....	25
Planet 9.....	28
Oort'sche Wolke .....	28
Wo endet unser Sonnensystem? .....	28
Kometen.....	29

## Überblick

Um die Sonne kreisen 8 Planeten. Sie kreisen alle in die gleiche Richtung und ungefähr in einer Ebene. Innen kreisen die sogenannten Gesteinsplaneten, Merkur, Venus, Erde und Mars, die, so wie die Erde, hauptsächlich aus Gestein bestehen. Dann folgt der Asteroidengürtel, viele kleine Gesteinsbrocken, die zusammen nicht einmal so groß sind wie unser Mond und sich quer über die gesamte Bahn verteilen. Außerhalb des Asteroidengürtels folgen mit erheblich größerem Abstand die riesigen Gasplaneten Saturn, Jupiter, Uranus und Neptun. Sie bestehen hauptsächlich aus Gasen, erst weit innen folgt ein flüssiger Mantel und möglicherweise ein fester Kern. Die Reihenfolge der Planeten kann man sich mit dem Spruch „Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unseren Nachthimmel“ merken, wobei jedes Wort für den Anfangsbuchstaben eines Planeten steht. Nach dem äußersten Planeten hört das Sonnensystem noch lang nicht auf (wo das Sonnensystem genau aufhört ist strittig): Hinter dem Neptun folgt mit dem Kuipergürtel noch ein weiterer Gesteinsgürtel. Weit außerhalb der Neptunbahn vermutet man die Oort'sche Wolke. Sie besteht aus einigen Kometen, die in Form einer Kugelschale um die Sonne angeordnet sind.

## Distanzen

Die Distanzen muss man nur ungefähr abschätzen können.

	Erdradien	AU	Anschaulich (Erdradius = 1m)
<b>Sonne – Merkur</b>	300	0.3	Rand des Sternwarteparks
<b>Sonne – Venus</b>	700	0.7	Sternwarte – Aumannplatz
<b>Sonne – Erde</b>	1000	1	Sternwarte - Martinstraße
<b>Sonne – Mars</b>	1500	1.5	Sternwarte – Währinger Straße
<b>Sonne – Jupiter</b>	6000	6	Sternwarte - Stephansplatz
<b>Sonne – Saturn</b>	12000	12	Sternwarte - Erdberg
<b>Sonne - Uranus</b>	24000	24	Sternwarte – Flughafen Wien
<b>Sonne - Neptun</b>	40000	40	Sternwarte - Tulln

[Maßstabsgetreue Darstellung des Sonnensystems ↗](#)

## Sonne und Planeten im Vergleich

**Gewicht:** Die Sonne macht 99% der Masse des Sonnensystems aus. Alle anderen Himmelskörper besitzen nicht einmal 1% der Masse des Sonnensystems.

**Ausdehnung:** Der Jupiter hätte 100 mal in der Sonne Platz. Der Merkur passt sogar 90.000 mal in die Sonne hinein.

**Drehimpuls:** Je weiter innen sich ein Planet befindet, desto schneller kreist er, weil die Gravitation der Sonne dort umso größer ist. Die Sonne selber kreist ebenfalls, allerdings um das Zentrum der Milchstraße, dass viel weiter von der Sonne entfernt ist als die Planeten. Dementsprechend ist auch der Drehimpuls der Planeten hundert mal größer als jener der Sonne.

[Erklärung der Drehbewegungen im Maßeinheitenskriptum ⓘ](#)

## Definitionen der Himmelskörper

### Planeten

Die größten Himmelskörper, die um die Sonne kreisen, heißen Planeten. Lange Zeit genügte diese intuitive Begriffserklärung, aber sowohl beim Ceres als auch beim Pluto war man sich lange Zeit nicht darüber einig, ob er als Planet gelten sollte oder nicht (die Gründe dafür sind bei den entsprechenden Himmelskörpern angeführt). Also beschloss die internationale astronomische Union (IAU) 2006, klar zu definieren, was ein Planet ist, um künftig solche Unstimmigkeiten zu vermeiden.

#### **1: Ein Planet muss die Sonne umkreisen.**

Es gibt im gesamten Universum nur acht Planeten, weil die Himmelskörper, die nicht die Sonne, sondern einen anderen Stern umrunden Exoplaneten genannt werden. Die planeten-ähnlichen Himmelskörper, die um gar keinen Stern kreisen, nennt man Planemos. Alle Objekte die um einen anderen Himmelskörper kreisen, nennt man Monde, ganz egal, ob sie um einen Exoplaneten, einen Asteroiden oder einen anderen Mond kreisen.

#### **2. Seine Masse muss groß genug sein, dass er sich im hydrostatischen Gleichgewicht befindet und daher annähernd kugelförmige Gestalt hat**

Damit wird die Mindestgröße eines Planeten festgelegt: Wenn ein Planet groß genug ist, ist seine Anziehungskraft so groß, dass alle äußeren Teile ins Zentrum gerückt werden. Die Form, bei der alle Punkte am Rand gleich weit vom Zentrum entfernt sind, ist eine Kugel. Wenn ein Planet aufgrund seiner Anziehungskraft annähernd kugelförmig ist, sagt man auch, er befindet sich im „hydrostatischen Gleichgewicht“. Zwar weichen durch Meteoriteneinschläge, Plattentektonik oder ähnliches die Planeten schon ein wenig von der Kugelform ab, aber nur sehr gering. Wenn die Erde so groß wie ein Pingpongball wäre, wäre sie der glatteste Pingpongball der jemals produziert wurde. Langfristig tendiert ein Planet dazu, alle Asteroidenkrater und Berge zu glätten, allerdings bilden sich immer neue Gebirge und Krater. Bei kleinen Körpern, wie Kometen oder Asteroiden, bildet sich keine kugelförmige Gestalt, weil ihre Gravitation nicht groß genug ist.

#### **3: Er muss die nähere Umgebung seiner Bahn von anderen Körpern (Anm.: ausgenommen Monde, Ringe und Trojaner) bereinigt haben.**

Auch diese Bedingung gibt eine Mindestgröße an. Wenn ein Himmelskörper groß ist, zieht er in der Regel die anderen Objekte in seiner Bahn an. Deshalb befinden sich Planeten nie in Gesteinsgürteln. Dennoch sind auch die großen Planeten nicht allein in ihrer Bahn. Es gibt Punkte („Lagrangepunkte“) in denen sich die Anziehungskraft der Sonne und des Planeten ungefähr ausgleichen. Hier können sich Gesteinsbrocken (Trojaner) beständig aufhalten und über Jahrtausende den Planeten begleiten. Außerdem werden etliche Planeten von Monden umkreist. Auch Kometen, Asteroiden und Trans-Neptun-Objekte können die Bahn eines Planeten kreuzen. (Nachschärfung der Originaldefinition der IAU)

Definierende Eigenschaft	Wenn sie nicht zutrifft (Beispiele)
Ein Planet muss die Sonne umkreisen	Um einen anderen Stern: Exoplanet Um einen sonstigen Himmelskörper: Mond Sind gravitativ ungebunden: Planemos
Ein Planet ist ungefähr rund	Aus flüchtigen Substanzen: Komet Nicht aus flüchtigen Substanzen: Asteroid Besonders klein: Meteorid
Ein Planet ist viel größer, als die anderen Objekte in seiner Bahn	Gesteinsgürtel Größere Objekte: Zwergplaneten Kleinere Objekte: Asteroiden

### Exoplaneten und Planemos

Planetenähnliche Objekte, die sich außerhalb des Sonnensystems befinden, werden nicht Planeten genannt, weil sie nicht um die Sonne kreisen. Stattdessen nennt man sie Exoplaneten. Die Größenbegrenzung ist bei Exoplaneten ist genauso wie bei Planeten definiert (rund, freie Umlaufbahn). Es ist jedoch egal, ob und um welchen Himmelskörper sie kreisen. Wenn sie um keinen Stern kreisen, nennt man sie auch Planemos, PMOs oder Steppenwolfplaneten.

### Monde

Monde sind alle Himmelskörper, die um einen anderen Himmelskörper kreisen, der kein Stern ist. Ob das ein Planet, ein Exoplanet, ein Zwergplanet oder ein anderer Planet ist, ist dabei gleichgültig. Im Gegensatz zu Planeten ist bei Monden keine Mindestgröße definiert. Von der Definition ausgenommen sind nur die Bestandteile der Ringe, künstliche Objekte (z.B. Satelliten, Weltraumschrott) und Objekte innerhalb der Atmosphäre.

### Zwergplaneten, Kleinplaneten, Trans-Neptun-Objekte

Die Objekte in den Gesteinsgürteln haben je nach Größe und Position unterschiedliche Namen. Die größten heißen Zwergplaneten. Genauso wie die Planeten müssen sie ungefähr rund sein und um die Sonne kreisen. Die anderen dominanten Himmelskörper in beiden Gesteinsgürteln werden als Kleinplaneten, Asteroiden oder Planetoiden bezeichnet. Sie haben eine Mindestgröße von ungefähr 10 Metern, die ist aber nicht klar definiert. Die Asteroiden, die zumindest teilweise außerhalb des Neptun fliegen, werden als Trans-Neptun-Objekte bezeichnet.

### Asteroiden, Meteoriten, Meteoriden und Meteore

Im Grunde genommen bezeichnen alle 4 Namen denselben Körper, nur halt an unterschiedlichen Orten und mit unterschiedlichen Größen. Wenn der Körper irgendwo im Weltall herumfliegt heißt er Asteroid falls er groß ist und Meteorid falls er klein ist. Die Grenze dazwischen ist nicht klar definiert, liegt aber ungefähr bei einem Durchmesser von 10 Metern. Wenn er in eine Atmosphäre eintritt und verglüht, nennt man ihn Meteor. Der Name Sternschnuppe bezeichnet den Effekt, den Meteore und Kometen am Nachthimmel

auslösen. Meteorit (Diesmal mit hartem t(!)) heißt der Gesteinsbrocken erst, wenn er auf einen Himmelskörper eingeschlagen ist.

### Interplanetarer Staub

Es gibt auch Staub, der zwischen den Planeten herumschwirrt, weil keiner der Planeten nah genug ist, um diesen Staub einzufangen. Manchmal fallen solche Teilchen nach langer Zeit dennoch auf irgendeinen Planeten, oft auch auf die Erde. Mehrere Satelliten haben so ein Material eingefangen, um es zu analysieren. Es handelt sich dabei um ein sehr poröses Material namens Aerogel. Das meiste davon ist wohl in roten Riesen entstanden. Wenn sich an solchen Staubteilchen Sonnenlicht streut, entsteht das so genannte Zodiakallicht. Das schaut aus wie viele weiße und gekrümmte Linien. Man erkennt es am gesamten Himmel entlang der Ekliptik, allerdings ist es nur sehr schwach zu sehen.

### Gasplaneten und Gesteinsplaneten im Vergleich

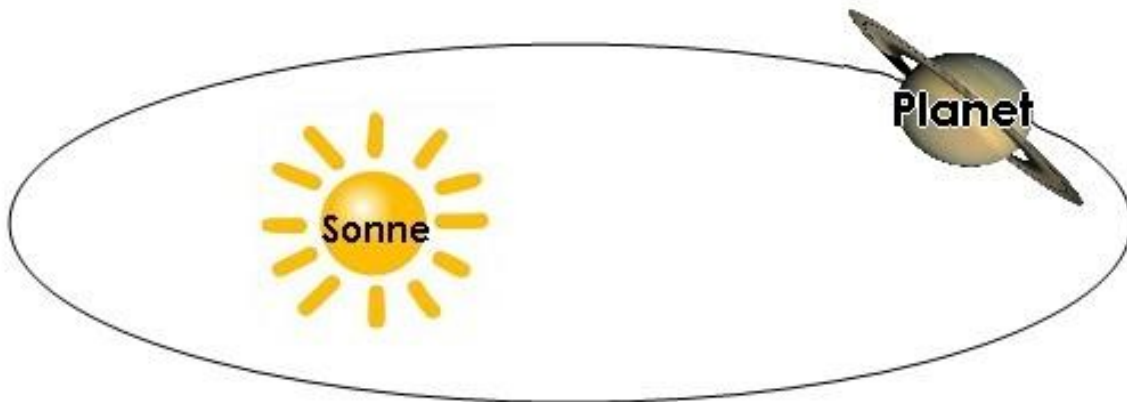
Folgende Unterscheidungen gelten nur innerhalb unseres Sonnensystems. Man hat schon Exoplaneten entdeckt, auf welche diese Eigenschaften nicht zutreffen.

	<b>Gasplanet</b>	<b>Gesteinsplanet</b>
<b>Beispiele</b>	Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun	Merkur, Venus, Erde, Mars
<b>Masse</b>	Mehr als 11 Erdmassen	1/20 – 1 Erdmasse
<b>Dichte</b>	700 – 1600 kg/m <sup>3</sup>	4000 – 5500 kg/m <sup>3</sup> weil Gestein viel Dichter als Gas ist
<b>Monde</b>	Mehr als 10	0 - 2
<b>Ringe</b>	Immer	Nur zeitweise (derzeit keine)
<b>Lage im Sonnensystem</b>	Außerhalb des Asteroidengürtels	Innerhalb des Asteroidengürtels
<b>Aufbau</b>	Dicke Gashölle, darunter flüssig. Vielleicht fester Kern	Hauptsächlich fest, teilweise innen flüssig
<b>Rotationsgeschwindigkeit</b>	Schnell, dadurch Planet auch abgeplattet	langsam
<b>Atmosphäre</b>	Sehr dicht (ähnlich wie Nebel)	Dünn oder gar nicht vorhanden
<b>Entstehung</b>	Anziehung von Festkörpern und Gasen	Anziehung von Festkörpern

## Planetenbahnen

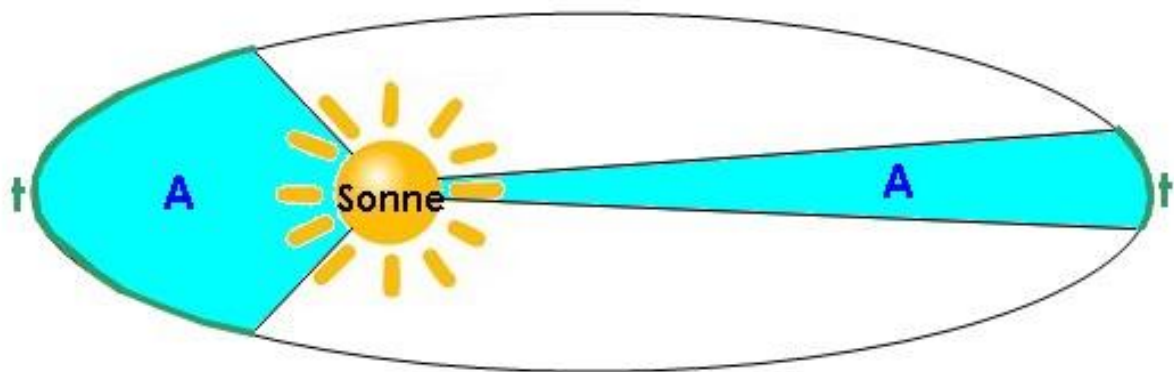
### Kepler'sche Gesetze

Die drei Kepler'schen Gesetze beschreiben, wie sich Planeten in unserem Sonnensystem verhalten



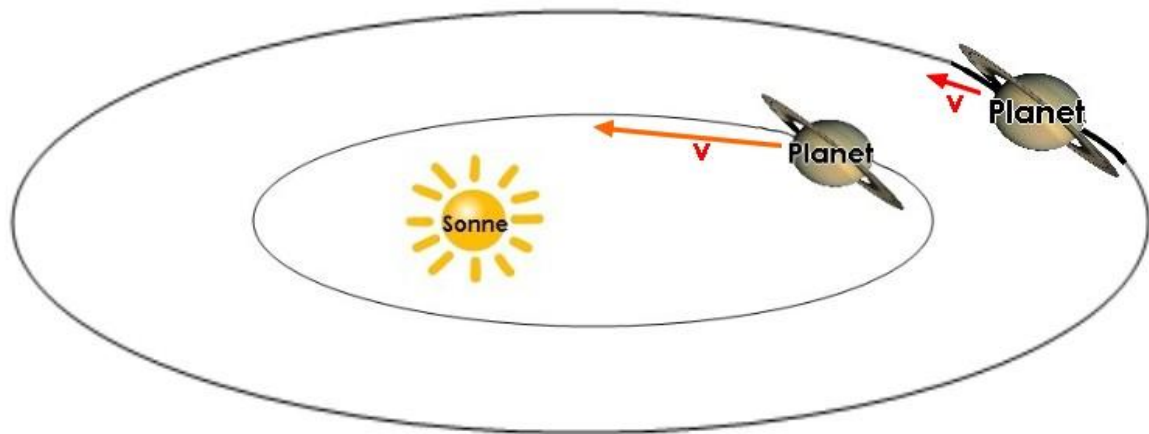
**Abb. 3.1.: Erstes Kepler'sches Gesetz**

Die Umlaufbahnen der Planeten sind Ellipsen. In einem Brennpunkt befindet sich die Sonne.



**Abb. 3.2.: Zweites Kepler'sches Gesetz**

Wenn zwei Ellipsensegmente gleich groß sind, ist auch die Zeit, die der Planet benötigt, um außen an den Ellipsensegmenten vorbeizufliegen gleich groß. In der Grafik wurden zwei Ellipsensegmente (blau) mit der gleichen Fläche ausgewählt. Man kann erkennen, dass der Planet, wenn er weiter außen ist, in der gleichen Zeit eine kleinere Strecke zurücklegt. Also wird der Planet umso schneller, je näher er sich bei der Sonne befindet.



**Abb. 3.4.: Drittes Kepler'sches Gesetz**

Je weiter innen sich ein Planet befindet, desto schneller kreist er um die Sonne. Das dritte Kepler'sche Gesetz ist eine Formel, mit der man aus dem Radius die Umlaufdauer oder umgekehrt berechnen kann. Man benötigt dafür einen Vergleichsplaneten, von dem man sowohl Radius als auch Umlaufdauer kennt.

$$\frac{r^2}{r_v^2} = \frac{T^2}{T_v^2}$$

In dieser Formel steht  $r$  für den Radius und  $T$  für die Umlaufdauer des Planeten.  $r_v$  steht für den Radius und  $T_v$  für die Umlaufdauer des Vergleichsplaneten.

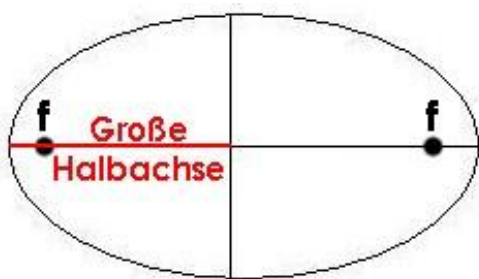
Die Kepler'schen Gesetze gelten auch für Zwergplaneten und Asteroiden. Bei Monden gelten die Gesetze auch, nur dass man statt der Sonne immer den Himmelskörper verwenden muss, den der Mond umkreist und dass man beim dritten Gesetz einen Vergleichsmond benötigt, der sich um denselben Himmelskörper dreht.

Außerhalb unseres Sonnensystems gelten diese Gesetze nur bedingt. Generell können die Gesetze natürlich nur für Sonnensysteme funktionieren, die nicht um mehrere Sterne kreisen, was schon die Auswahl stark eingrenzt, weil die meisten Sterne in Mehrfachsternsystemen sind. Das erste und das zweite Gesetz gelten ansonsten uneingeschränkt, beim dritten Gesetz muss man darauf achten, dass der Vergleichsplanet um denselben Stern kreist.

### Beschreibung von Planetenbahnen

Man kann nur mit Hilfe von 6 Zahlen jeden Punkt auf einer Planetenbahn errechnen.

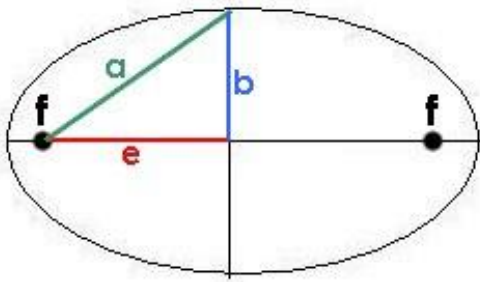
In der folgenden Aufzählung steht in der Klammer immer, mit welchem Buchstaben die Größe abgekürzt wird.



**Abb. 3.4.: Große Halbachse (a)**

Wenn man die zwei Punkte, die am weitesten voneinander entfernt sind, verbindet, und die Strecke halbiert, erhält man die große Halbachse. Sie ist vor allem dazu da, um festzustellen, wie weit außen sich die Umlaufbahn befindet.



**Abb. 3.5.: Exzentrizität (x)**

Die Exzentrizität ist das Verhältnis zwischen  $e$  (rot) und  $a$  (grün). Sie gibt an, wie stark die Bahn des Planeten in elliptischer Richtung (die Planetenbahnen sind alle Ellipsen) von der Kreisform abweicht.

Ist die Bahn vollkommen kreisförmig, ist die Exzentrizität 0. Je näher sich die Exzentrizität der Zahl 1 annähert, desto länglicher ist die Umlaufbahn. Die Formel für die Berechnung der Exzentrizität folgt aus dem Satz von Pythagoras. Es gilt:

$$b^2 + e^2 = a^2$$

Die Exzentrizität ist definiert als

$$x = \frac{e}{a}$$

Das kann man nach  $e$  umformen und in die Formel einsetzen. Dadurch erhält man

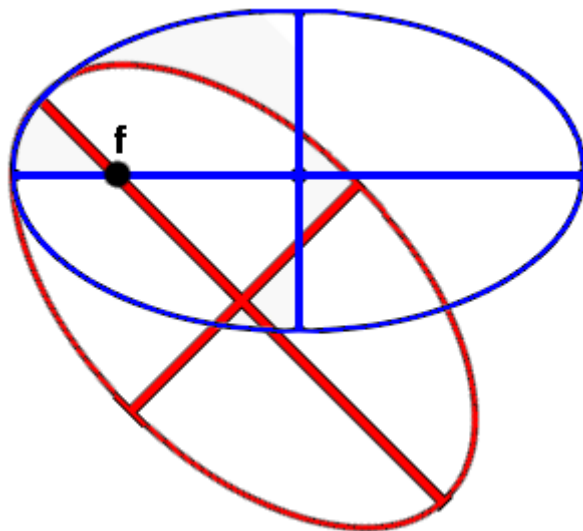
$$b^2 + x^2 a^2 = x^2$$

Wenn man diese Formel nach  $x$  umformt erhält man

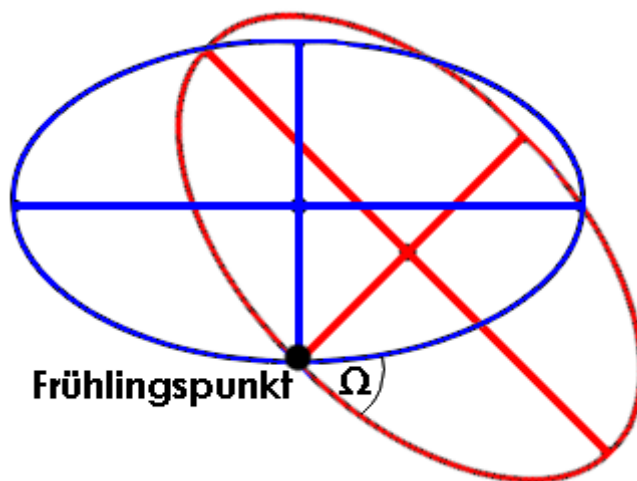
$$x^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2}$$

**Abb. 3.6.: Inklination (i)**

Die Bahnen der Planeten sind zwar Ellipsen, sie befinden sich jedoch im dreidimensionalen Raum. Wenn man eine Ellipse auf ein Blatt Papier zeichnet, kann man das Blatt auf den Tisch legen oder auf eine schiefe Ebene und hat dieselbe Ellipse. Im dreidimensionalen Raum macht das aber einen großen Unterschied. Also muss man die Steigung angeben. Da es im Sonnensystem keinen Boden gibt, mit dem man die Steigung vergleichen kann, muss man dafür die Ebene, in der die Umlaufbahn der Erde liegt, heranziehen. Die Bahnneigung ist also der Steigungswinkel der Ebene der Planetenbahn im Vergleich zur Ebene der Erdbahn.

**Abb. 3.7.: Argument des Knotens ( $\Omega$ )**

Die seitliche Grafik zeigt zwei Ellipsen, die einen gleichen Brennpunkt haben (Bei den Planetenbahnen wäre das der Brennpunkt mit der Sonne) und bei denen auch die Form ( $a$  und  $e$ ) und die horizontale Drehung ( $i$ ) gleich sind. Der einzige Unterschied ist die vertikale Drehung, die mit dem Parameter  $\Omega$  angegeben wird.

**Abb. 3.8.: Argument des Knotens ( $\Omega$ )**

Um die vertikale Drehung anzugeben, nimmt man zum Vergleich die Drehung der Erdbahn, die man bei  $0^\circ$  definiert. Dann verschiebt man die Bahn des Planeten gedanklich so, dass sich die Erdbahn mit der Planetenbahn im Frühlingspunkt schneidet. An diesem Punkt misst man den Winkel.

Aus der Angabe der Bahn durch die bisher erklärten 5 Bahnelemente kann man mit dem 2. Kepler'schen Gesetz genau auf die Geschwindigkeitsverteilung schließen: Man weiß für jeden Teil der Umlaufbahn welche Fläche überstrichen wird und kann so auf die benötigte Zeit für einen bestimmten Teil der Bahn schließen. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit in diesem Teil dividiert man die Zeit durch die Länge des Abschnitts. Um die Momentangeschwindigkeit auszurechnen, nimmt man den Limes dieser Durchschnittsgeschwindigkeit für einen unendlich kurzen Bahnabschnitt.

Der Haken an dieser Berechnung ist, dass man sich die Umlaufzeit nur dann aus der Fläche ausrechnen kann, wenn man die Umlaufzeit bezüglich einer anderen Fläche kennt. Hier kommt der 6. Bahnparameter ins Spiel: Die mittlere Anomalie ( $M$ ). Das ist die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Planeten.

Wenn man diese Winkelgeschwindigkeit (in Bogenmaß pro Sekunde) durch  $2\pi$  dividiert, erhält man die Umdrehungen, die der Planet pro Sekunde vollführt und aus dem Kehrwert die Periodendauer und damit die Zeit, die der Planet benötigt, um die gesamte Ellipsenfläche zu überstreichen. Jetzt kann man mit dem 2. Kepler'schen Gesetz die Geschwindigkeit des Planeten an jedem Ort der Bahn angeben und kann so für jeden beliebigen Zeitpunkt vorausberechnen, wo sich der Planet aufhalten wird.

## Planetenbahnen in unserem Sonnensystem

Die Bahnen der Planeten und der Asteroiden im Asteroidengürtel sind fast kreisförmig. Nur der Merkur hat eine leicht elliptische Bahn (genauer gesagt hat er eine Periheldrehung, siehe später). Die Objekte im Kuipergürtel bewegen sich meist um einiges elliptischer, der größte Zwergplanet Eris hat beispielsweise eine Exzentrizität, die doppelt so groß wie jene des Merkur ist. Der Sedna hat die elliptischste Umlaufbahn: Seine Exzentrizität ist sogar 4-mal so stark wie jene des Merkur.

Die Bahnen der Planeten liegen alle ungefähr auf einer Ebene. Auch hier ist der Merkur mit  $7^\circ$  Abweichung wieder ein Ausreißer. Die Objekte des Kuipergürtels bewegen sich nicht so eben. Eris hat beispielsweise eine Neigung von  $45^\circ$ .

Die Eigenrotation ist bei den Gasplaneten sehr schnell. Sie bewegen sich in nur 10 – 17 Stunden einmal um die eigene Achse. Der Mars ist mit 25 Stunden ungefähr genauso schnell wie die Erde. Der Merkur hingegen benötigt für eine Umdrehung 59 Tage, die Venus braucht sogar 243 Tage.

Die Planetenbahnen werden nicht immer so bleiben, wie sie derzeit sind. Die Gravitation der Kometen und Asteroiden verändert die Bahn der Planeten leicht. Allerdings ist diese Veränderung so gering, dass das Sonnensystem noch sehr lange stabil bleiben wird.

## Dichte

Besonders dicht (mehr als  $2500\text{kg/m}^3$ ) sind die Jupitermonde Io und Europa und unser Mond. Kleine Monde sind eher mit losem Schotter vergleichbar. Die durchschnittliche Dichte der Himmelskörper in unserem Sonnensystem liegt zwischen 1000 und  $2000\text{ kg/m}^3$

## Atmosphäre

Die äußeren Planeten haben alle eine sehr dichte Atmosphäre, die aus viel Wasserstoff und etwas Helium besteht. Der Druck ist mehr als 100-mal stärker als auf der Erde.

Von den inneren Planeten hat die Venus die dichteste Atmosphäre. Deshalb wärmt sie sich auch so stark auf. Auch hier herrscht fast der 100-fache Erddruck. Die Atmosphäre besteht hauptsächlich aus  $\text{CO}_2$ .

Die Erdatmosphäre besteht aus viel Stickstoff und etwas Sauerstoff. Der Druck beträgt etwa 100 kPa.

Auf dem Mars herrscht nur die Hälfte des Drucks der Erdatmosphäre, seine Atmosphäre besteht hauptsächlich aus  $\text{CO}_2$ .

Der Merkur hat aufgrund seiner geringen Größe praktisch keine Atmosphäre.

Die anderen Himmelskörper haben in der Regel kaum eine Atmosphäre. Nur der Saturnmond Titan hat eine Stickstoffatmosphäre mit etwas mehr Druck als auf der Erde.

## Magnetfelder

Die Gasplaneten und die Erde haben ein Magnetfeld. Das bedeutet, dass es eine Stelle gibt, die eine magnetische Anziehungskraft ausübt. Das Magnetfeld hat eigentlich nichts mit Nord- und Südpol zu tun. Die Pole beziehen sich nämlich nur auf die Drehachse (also auf die Achse, um die der Planet rotiert). Die magnetische Stelle ist nur beim Saturn direkt am Nordpol, die Magnetfelder von Jupiter und Erde sind um mehr als  $10^\circ$  geneigt. Beim Neptun ist das Magnetfeld 5-mal so stark geneigt wie bei der Erde, beim Uranus sogar 6-mal so stark.

Das Magnetfeld zeigt auch nicht unbedingt immer in dieselbe Richtung. Bei der Erde gab es immer wieder Umpolungen, das bedeutet, dass nachher statt dem Nordpol der Südpol magnetisch anziehend war. Bei Uranus und Neptun variiert die Stärke der Magnetfelder, also mit welcher Kraft Magnete an den magnetischen Nordpol angezogen werden. Jupiter und Saturn haben sehr starke Magnetfelder. Das führt dazu, dass diese Planeten elektrisch leitfähig sind. Der elektrische Strom, der durch die Planeten durchfließt, kann für Raumsonden nicht gefährlich werden, weil sie ein Faraday'scher Käfig sind.

## Ringe

Als Ringe werden Gesteinsgürtel bezeichnet, die um einen Planeten kreisen. Die Gezeitenkräfte des Planeten sind stärker als die Gravitation der Gesteinsbrocken, sodass sie sich nicht zu einem Mond verklumpen können. Monde verhindern mit ihrer Gravitation, dass sich die Gesteinsbrocken nicht aus der Bahn bewegen. Diese Monde nennt man Hirtenmonde. Alle Gasplaneten in unserem Sonnensystem besitzen Ringe. Gesteinsplaneten und andere Himmelskörper besitzen immer nur kurzfristig Ringe, weil sich diese zu einem Mond zusammenklumpen (Die Gezeitenkräfte dieser Himmelskörper sind immer geringer als die Gravitation der Gesteinsbrocken). Derzeit hat neben den Gasplaneten nur der Asteroid Chariklo Ringe.

Die Ringe werden alphabetisch nach der Reihenfolge ihrer Entdeckungen benannt. Der zuerst entdeckte Ring eines Planeten heißt A-Ring, der nächste B-Ring und so weiter. Das macht man bei jedem Planeten so. Wenn man also vom A-Ring des Jupiter spricht muss man A-Ring des Jupiters sagen, weil ja noch 4 andere A-Ringe in unserem Sonnensystem bekannt sind. Gelegentlich kommt es auch vor, dass 2 Ringe als einer benannt werden, weil man bei ihrer Entdeckung geglaubt hat, dass es nur ein Ring ist.

Der Saturn hat die hellsten und damit auch auffälligsten Ringe. Ihr Albedo (das ist die Reflexion der Sonnenstrahlen) ist bis zu 6-mal so stark wie das von unserem Mond. Wären uns die Saturnringe so nahe wie der Mond, würden sie uns 3-mal so hell wie die Sonne erscheinen. Die anderen Ringe sind wesentlich dunkler: Die Jupiter- und Uranusringe haben nur ein Zehntel der Mondleuchtkraft, die Neptunringe gar nur ein Hundertstel.

Der Jupiter hat die breitesten Ringe. Die breitesten Ringe sind 10.000 km breit und damit fast so breit wie der Erdradius. Die dichtesten Ringe hat der Saturn: Auf einen Quadratzentimeter kommt Materie mit einem Gewicht von bis zu 100g. Die größten Umlaufbahnen haben ebenfalls die Saturnringe. Ihr Radius ist 8-mal so groß wie der Saturn selber. Alle Gasplaneten haben auch Ringe, die praktisch auf ihrer „Oberfläche“ kreisen (der Abstand zum Planeten beträgt 0m).

## Meteoriteneinschläge

Meteoriteneinschläge finden praktisch überall statt. Auf Planeten mit einer dichten Atmosphäre, wie zum Beispiel der Venus, kommen sie allerdings um einiges seltener vor, als auf Planeten ohne Atmosphäre wie dem Merkur, weil die kleineren Meteoriten in der Atmosphäre verglühen. Je massereicher ein Planet ist, desto stärker zieht er die Asteroiden an. Also finden auf großen Planeten mehr Asteroideneinschläge statt, als auf kleineren. Wenn man auf einem Planeten überhaupt keine Einschlagskrater entdeckt, liegt das normalerweise daran, dass die Oberfläche sehr jung ist. Auf der Venus werden laufend Meteoritenkrater mit Magma aufgefüllt, weshalb keine zu sehen sind.

## Treibhauseffekt

Prinzipiell gibt ein Sonnenstrahl Wärme ab. Je länger ein Sonnenstrahl an einem Ort verbringt, desto mehr Wärme gibt er ab. Wenn ein Sonnenstrahl in eine Atmosphäre einfällt, wird der Sonnenstrahl manchmal reflektiert. Am Rückweg besteht erneut die Möglichkeit, dass er reflektiert wird. Das ist so ähnlich, wie ein Pingpongball, der zwischen 2 Schlägern hin- und her springt. Der Sonnenstrahl braucht durch diese Umwege länger um aus der Atmosphäre zu entweichen und gibt während dieser Zeit auch mehr Wärme ab.

Prinzipiell hat jeder Planet mit Atmosphäre einen Treibhauseffekt. Wie stark dieser Treibhauseffekt ist, hängt hauptsächlich von der Dichte der Atmosphäre ab. Schließlich gibt es in einer dichteren Atmosphäre mehr Teilchen und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Lichtstrahl reflektiert wird, ist höher. Je weiter man unterhalb der „Oberfläche“ der Atmosphäre ist, desto stärker wirkt der Treibhauseffekt, weil die Sonnenstrahlen es von dort aus weiter bis zur Oberfläche haben und öfter reflektiert werden.

Auf der Erde erkennen wir dies daran, dass es auf den Bergen kühler ist, als in den Tälern. Schließlich liegt dort weniger Atmosphäre über einem und die Sonnenstrahlen werden seltener reflektiert. In besonders tiefgelegenen Gebieten, wie zum Beispiel beim Toten Meer, tritt der gegenteilige Effekt auf und es ist wärmer. Derzeit steigt der Treibhauseffekt der Erde an, weil die Autos und Fabriken viel CO<sub>2</sub> in die Luft abgeben. CO<sub>2</sub> ist dichter als Sauerstoff und Stickstoff somit steigt die Temperatur an. Das löst den Klimawandel aus.

Besonders stark ausgeprägt ist der Treibhauseffekt auf der Venus, weil sie besonders viel CO<sub>2</sub> in ihrer Atmosphäre hat. Auf der Venus werden mehr als 80% der Lichtstrahlen reflektiert, das heißt ein Lichtstrahl fliegt durchschnittlich 5 mal hin und her. Bis dahin hat er fast die Hälfte seiner Wärmeenergie an den Planeten abgegeben. Die Auswirkung dieses Effektes ist gigantisch: Auf der Oberfläche der Venus herrscht eine Temperatur von 470°C, damit ist sie der wärmste Planet in unserem Sonnensystem. Zum Vergleich: 100 km oberhalb der Venusoberfläche beträgt die Temperatur nur -90°C.

Auf dem Mond herrscht kein Treibhauseffekt, weil der Mond keine Atmosphäre hat. Deshalb ist es auf dem Mond auch um einiges kälter, als auf der Erde, obwohl er ungefähr genau so weit von der Sonne entfernt ist, wie unser Planet.

## Rochegrenze

Alle Körper haben gegenseitig eine Anziehungskraft aufeinander, je größer die Körper desto größer die Anziehungskraft. Diese Anziehungskraft sorgt bei Planeten für deren Umlaufbahn, wenn sie stark genug ist, kann sie aber auch Verformungen auslösen (z.B. Ebbe und Flut auf der Erde) oder die Himmelskörper ganz auseinanderreißen (z.B. Ringe um Planeten). Die Grenze, ab der ein Himmelskörper auseinandergerissen wird, nennt man Rochegrenze. Sie hängt von der Dichte der Himmelskörper ab, denn je weniger dicht ein Himmelskörper ist, desto leichter kann er auseinandergerissen werden. Auch der Radius spielt eine Rolle, weil dadurch insgesamt eine größere Masse und damit eine höhere Gravitation existiert. Man kann die Rochegrenze mit der Formel

$$R = R_p \cdot 2,44 \sqrt[3]{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

berechnen, wobei R die Rochegrenze,  $R_p$  der Planetenradius und  $\rho$  die Dichte der beiden Himmelskörper darstellt.

## Titius-Bode-Reihe

Die Titius-Bode-Reihe ist eine Formel, die ursprünglich dazu gedacht war, dass man sich aus der großen Halbachse eines Planeten jene des nächstäußeren Planeten ausrechnen kann. Die Formel lautet

$$0,4 \times 2^n$$

Wenn man für n die große Halbachse des Himmelskörpers vor dem Pfeil einsetzt, kommt man auf die große Halbachse des Himmelskörpers nach dem Pfeil.

**Merkur → Venus → Erde → Mars → Ceres (Asteroidengürtel) → Jupiter → Saturn → Uranus**

Als diese Reihe entdeckt wurde, waren nur Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn bekannt. Die Forscher Titius und Bode gingen davon aus, dass diese Beziehung kein Zufall ist und vermuteten deshalb einen weiteren Planeten zwischen Mars und Jupiter. Am Anfang hat sie niemand ernst genommen aber dann wurde der Uranus entdeckt und der passt genau in diese Reihe hinein. Also suchte man gezielt nach einem Planeten an dieser Position zwischen Mars und Jupiter und entdeckte dadurch den Ceres, den größten Gesteinsbrocken des Asteroidengürtels.

Inzwischen wissen wir, dass weder der Neptun noch irgendein Exoplanet die Titius-Bode-Reihe erfüllt. Man hat auch mathematisch bewiesen, dass sich praktisch jede Zahlenfolge durch eine ähnlich einfache Folge annähern lässt. Deshalb gehen die meisten Wissenschaftler davon aus, dass die Titius-Bode-Reihe reiner Zufall war.

## Raumfahrt

Unsere Kenntnis über die Himmelskörper unseres Sonnensystems hat sich durch Raumsonden, die ja schon bei fast allen vorbeigeflogen sind, stark verbessert. Eine genauere Beschreibung dazu gibt es im Skriptum „Erforschung der (Exo)planeten“

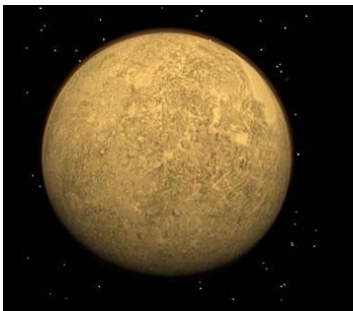
[Skriptum „Erforschung der \(Exo\)planeten“](#) ⓘ

## Sonne

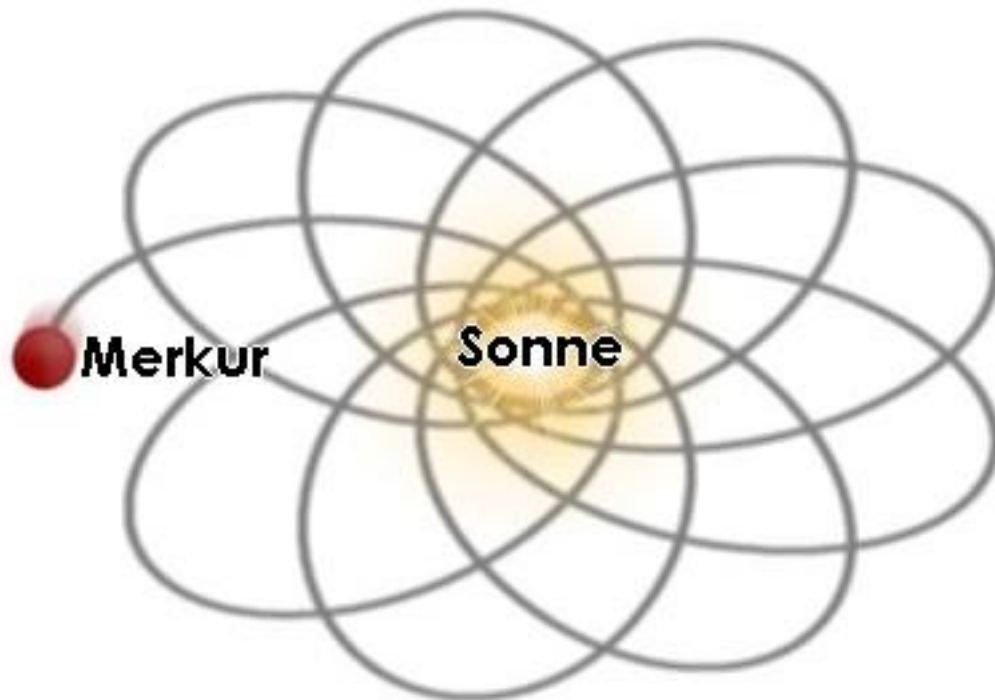
Über die Sonne gibt es ein eigenes Skriptum.

[Skriptum „Unsere Sonne“](#) ⓘ

## Merkur

	Masse/Schwerkraft	Hälfte der Erde
	Radius	Drittel der Erde
	Dichte	Vergleichbar mit Erde
	Drehung um die eigene Achse	59 Tage
	Drehung um die Sonne	89 Tage
	Abstand von der Sonne	Drittel der Erde
	Bahnneigung	0,01°
	Exzentrizität	0,2
	Monde	keine

Der Merkur ist der kleinste Planet unseres Sonnensystems. Da der Merkur keine Atmosphäre besitzt, in der einschlagende Meteoriten verglühen würden, ist die steinige Oberfläche des Merkur übersät von Asteroidenkratern.

**Abb. 3.9.: Periheldrehung**

Die Drehung des Merkur ist im Gegensatz zu den anderen Planeten nicht elliptisch, sondern es handelt sich dabei um eine Periheldrehung. Das heißt, dass die Ellipse ihre Richtung ändert. In dieser Grafik wurde die Merkurbahn mit Absicht elliptischer dargestellt, als sie wirklich ist, damit man besser verstehen kann, wie eine Periheldrehung aussieht. Für diese Drehung sind unter anderem die anderen Planeten verantwortlich, die den Merkur aus der Bahn lenken. Dieser Effekt tritt geringfügig auch bei anderen Planeten auf, aber warum er beim Merkur so stark war, war lange Zeit ungeklärt. Es gab beispielsweise die Theorie, dass ein weiterer Planet, namens Vulkan, der ganz nah bei der Sonne sein sollte, die Bahn auslenkt. Heute weiß man, dass die Sonne selber dafür verantwortlich ist. In der Nähe von großen Massen wie unserer Sonne ist nämlich laut Relativitätstheorie der Raum gekrümmt.

[Erklärung der Relativitätstheorie: Physiskriptum ab Seite 70](#)

[Erklärung der Relativitätstheorie: Zusammenfassung des Physiskriptums ab Seite 15](#)


## Venus

	Masse/Schwerkraft	Vergleichbar mit Erde
	Radius	Vergleichbar mit Erde
	Dichte	Vergleichbar mit Erde
	Drehung um die eigene Achse	243 Tage (rückwärts)
	Drehung um die Sonne	225 Tage
	Abstand von der Sonne	Zwei Drittel der Erde
	Bahnneigung	3,3°
	Exzentrizität	0,007
	Monde	keine



Die Venus ist der heißeste Planet unseres Sonnensystems. Schuld daran ist der Treibhauseffekt der dichten und CO<sub>2</sub>-haltigen Venusatmosphäre. (Siehe genauer oben). Die dichte Atmosphäre sorgt nicht nur für Hitze, sondern auch für Druck. Mehr Moleküle haben schließlich auch mehr Gewicht. Auf der Venusoberfläche existiert ein Druck, der 90-mal so stark wie jener auf der Erdatmosphäre bzw. so stark wie 1km unter der Meeresoberfläche ist. Auf der Oberfläche gibt es viel Vulkanismus und folglich auch viele Lavaströme. Einschlagkrater gibt es kaum, weil in der dichten Atmosphäre fast alle Meteoriten verglühen. Wenn es doch einer durch schafft, werden die Krater sehr schnell mit Lava aufgefüllt.

## Erde

	Masse/Schwerkraft	$6 \times 10^{23} \text{ kg}$
	Radius	6000km
	Dichte	$5500 \text{ kg/m}^3$
	Drehung um die eigene Achse	24 Stunden
	Drehung um die Sonne	365 Tage
	Abstand von der Sonne	$150 \times 10^6 \text{ km}$
	Bahnneigung	0°
	Exzentrizität	0,02
	Monde	1 (Erdmond)


Die Erde besteht aus mehreren Schalen, wobei sowohl der Druck, als auch die Temperatur nach innen höher werden. Die äußerste Schicht ist die Erdkruste. Sie besteht aus Gestein in Verbindung mit Salzen und Sauerstoff. Die Temperatur beträgt 500°C. Darunter folgt der Erdmantel, der aus flüssigen Metallen und flüssigem Sauerstoff besteht. Hier herrschen Temperaturen von 3000°C. In der Mitte befindet sich ein Eisen-Nickel-Kern. Es herrschen zwar Temperaturen von mehr als 5000°C aber durch den Druck wird es Richtung Mitte trotzdem fest. Die Hitze ist ja nichts anderes, als die Bewegung von Teilchen und wenn viel Material auf die Teilchen drückt, ist ihre Bewegungsfreiheit eingeschränkt.

[Erklärung der Wärmelehre: Physikkriptum ab Seite 202](#) 

[Erklärung der Wärmelehre: Zusammenfassung des Physikkriptums ab Seite 35](#) 

Die Erde verfügt über ein Magnetfeld, das heißt, es gibt eine Stelle auf der Erde, von der Magnete angezogen werden. Diese Stelle befindet sich aber nicht am Nordpol sondern in Kanada, weil das Magnetfeld um 11° geneigt ist. Dort war das Magnetfeld aber nicht immer: In einer Jahrmillion polt sich das Magnetfeld 1 – 5 mal um, das bedeutet, der magnetische Anziehungspunkt wandert vom Nordpol zum Südpol oder umgekehrt. Wenn der Sonnenwind (geladene Teilchen, die von der Sonne in alle Richtungen abgestoßen werden) auf das Magnetfeld trifft, entstehen bunte Lichter am Himmel, die so genannten Polarlichter. Die kann man im Winter in der Nähe des Nordpols und im Sommer in der Nähe des Südpols beobachten.

## Erdmond

	Masse/Schwerkraft	Ein Zehntel der Erde
	Radius	Ein Drittel der Erde
	Dichte	Zwei Drittel der Erde
	Drehung um die Erde	27 Tage
	Abstand von der Erde	384.000km
	Bahnneigung	5°
	Exzentrizität	0,05

Der Erdmond hat eine 50km dicke Kruste aus Sauerstoff und Metallen. Darunter befindet sich ein Mantel, der inzwischen erstarrt ist und ein fester Eisenkern. Durch die Gravitation der Erde bebt die Oberfläche des Mondes manchmal.


Man vermutet, dass der Mond entstanden ist, als ein Himmelskörper so groß wie der Mars auf der Erde einschlug. Dabei zersplitterte dieser in viele Gesteinsbrocken die in alle Richtungen wegflogen und teilweise in eine Umlaufbahn um die Erde einschwenkten. Die Erde hatte einen Ring. Diese Gesteinsbrocken zogen sich gegenseitig an und formten so zusammen den Mond.

In Computersimulationen hat man die Flugbahn der Gesteinsbrocken berechnet und sowohl die Geschwindigkeit, als auch die Größe des Endergebnisses stimmen mit jener des Mondes überein. Außerdem hat man Sauerstoff-Isotope (ganz spezielle Moleküle) gefunden, die sowohl auf dem Mond als auch auf der Erde existieren. Dass die nur zufällig auf beiden Himmelskörpern existieren, ist aufgrund des seltenen Vorkommens dieser Sauerstoff-Isotope extrem unwahrscheinlich.

Von vergangenen Mondmissionen besitzen wir einige Gesteinsbrocken von der Mondoberfläche. Es wurden Kernzerfälle untersucht, die zur Entstehung des Mondes angefangen haben und seitdem gleichmäßig fortgeschritten sind. Mit dieser Methode schätzt man den Mond auf ein Alter zwischen 30 und 50-Millionen Jahren.

Ein Monat ist die Zeit, die der Mond ungefähr benötigt, um einmal die Erde zu umkreisen. Wenn man sich das genau überlegt, ist aber nicht ganz klar, wann der Mond die Erde umkreist hat. Man kann ja schwer einen Referenzpunkt auf der Erde wählen, weil die Erde selber rotiert. Wenn man die Sonne als Referenzpunkt wählt, stimmt ein Monat exakt mit den Mondphasen überein (siderischer Monat). Allerdings ist die Sonne auch kein guter Bezugspunkt, weil die Erde ja um die Sonne kreist. Deshalb verwendet man auch oft den siderischen Monat, wo der Referenzpunkt der Fixsternhimmel ist.

## Mars

	Masse/Schwerkraft	Vergleichbar mit Erde
	Radius	Hälfte der Erde
	Dichte	Zwei Drittel der Erde
	Drehung um die eigene Achse	25 Stunden
	Drehung um die Sonne	2 Jahre
	Abstand von der Sonne	1,5 mal der Erde
	Bahnneigung	2°
	Exzentrizität	0,1
	Monde	2 (Phobos + Deimos)

Der Mars hat im Vergleich zu den anderen Planeten eine eher elliptische Umlaufbahn. Da der Mars sich dabei der Sonne annähert und sich wieder von ihr entfernt, variieren die Temperaturen am Mars sehr stark. Im Winter hat es auf der Polregion nur eisige  $-133^{\circ}\text{C}$  während es im Sommer auf der Tagseite angenehme  $27^{\circ}\text{C}$  haben kann. Aber nicht nur wegen der Temperatur ist der Mars lebensfeindlich: Es existiert auch kein Magnetfeld, so dass die schädliche UV-Strahlung und auch die kosmische Strahlung ungehindert eindringen können. Es gibt am Mars kaum Wasser und die dünne Atmosphäre besteht zu mehr als 95% aus  $\text{CO}_2$ . Als wäre das noch nicht schlimm genug, wehen am Mars regelmäßig Stürme mit  $200\text{km/h}$ , die Windspitzen können sogar  $500\text{km/h}$  erreichen. Die Staubstürme sind mit maximal  $40\text{km/h}$  dagegen ziemlich harmlos. Die Ursache für diese starken Stürme liegt an den starken Temperaturunterschieden. Wenn sich der Äquator erwärmt, steigt die warme Luft auf und die kalte vom Pol sinkt ab. In den Polregionen kann es dadurch zu großräumigen Stürmen kommen.

Im Frühling, wenn es wärmer wird, geht das feste  $\text{CO}_2$ -Eis in den gasförmigen Zustand über. Das führt, ähnlich wie auf der Venus, zu mehr Druck und höheren Temperaturen.

Am Mars befindet sich auch der Olympus Mons, der größte Vulkan unseres Sonnensystems. Er ist  $27\text{km}$  hoch und damit mehr als 3 mal so hoch wie der Mount Everest. Seine Caldera, also die Öffnung aus der Magma herausquillt, ist  $100\text{km}$  breit, das ist so weit wie die Strecke von Wien nach Bratislava. Gefahr geht jedoch keine von ihm aus: Er schläft schon lange, sein letzter Ausbruch dürfte vor 20 bis 200 Jahren gewesen sein. Neben dem Olympus Mons gibt es noch zahlreiche kleinere Vulkane.

Aufgrund des hohen Drucks und der niedrigen Temperaturen kommt Wasser auf dem Mars nur in fester Form vor und zwar im Schatten von Kratern und auf den Polen.

### Marsmonde

Der Mars hat sich 2 Asteroiden eingefangen, die jetzt als Monde um ihn kreisen:

	Deimos	Phobos
<b>Masse/Schwerkraft</b>	Ein Milliardstel der Erde	Ein 50-Millionstel der Erde
<b>Größe</b>	$5 \times 8 \text{ km}$	$9 \times 13 \text{ km}$
<b>Dichte</b>	Ein Fünftel der Erde	Ein Fünftel der Erde
<b>Drehung um den Mars</b>	4 Jahre	8 Stunden

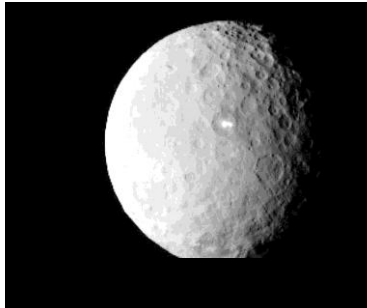
### Asteroidengürtel

Der Asteroidengürtel ist eine Ansammlung kleiner Gesteinsbrocken, sogenannter Asteroiden, die zwischen dem Mars und dem Jupiter um die Sonne kreisen. Man schätzt, dass es mehrere Millionen von solchen Gesteinsbrocken gibt. Trotzdem liegen sie weit auseinander, weil dieses Gebiet so groß ist. Insgesamt machen diese Gesteinsbrocken nur 4% der Masse unseres Mondes aus. Die Gesteinsbrocken sind keinesfalls gleichmäßig im Asteroidengürtel verteilt. Es gibt Teile des Gürtels, sogenannte Resonanzen, wo überhaupt kein Asteroid kreist, weil dort die Gravitation des Jupiter wirkt. Seine Gravitation ist auch der Grund dafür, dass sich aus den Gesteinsbrocken noch nie ein Himmelskörper formen konnte.

Die größeren Asteroiden haben Namen, die kleineren werden nach ihren spektralen Eigenschaften identifiziert. Der C-Typ ist extrem leuchtschwach und nicht einmal ein richtiger Gesteinsbrocken. Er ist eher so wie ein Nebel. Der S-Typ und der M-Typ sind heller, wobei der


M-Typ ausschließlich aus Eisen und Nickel besteht, während sich beim S-Typ auch andere Materialien wie zum Beispiel Magnesium-Silikate dazuschwindeln.

### Ceres

	Masse/Schwerkraft	Ein Tausendstel von der Erde
	Größe	1000 x 900 km
	Dichte	Hälfte der Erde
	Drehung um die eigene Achse	9 Stunden
	Drehung um die Sonne	8 Stunden
	Abstand von der Sonne	Doppelt so viel wie die Erde
	Bahnneigung	11°
	Exzentrizität	0,08
	Monde	Keine

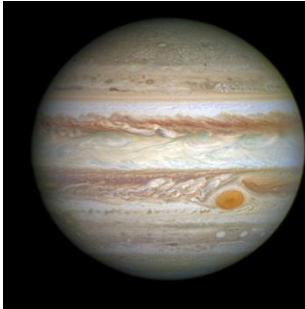
Der Ceres ist der größte Himmelskörper im Asteroidengürtel. Ähnlich wie der Pluto wurde er zuerst als Planet eingestuft und dann zurückgestuft, als man erkannte, dass in seiner Bahn viele fast gleich große Objekte existieren. Man kann helle Flecken auf der Oberfläche erkennen und manche Forscher vermuten daher Wassereis auf seiner Oberfläche.

### Eros

	Masse/Schwerkraft	Ein Millionstel von der Erde
	Größe	13 x 13 x 33 km
	Dichte	Hälfte der Erde
	Drehung um die eigene Achse	5 Stunden
	Drehung um die Sonne	2 Jahre
	Abstand von der Sonne	1,5-facher Erdbstand
	Bahnneigung	11°
	Exzentrizität	0,22
	Monde	Keine

Der Eros gehört ebenfalls zum Asteroidengürtel, seine Umlaufbahn ist jedoch so elliptisch, dass sie auch die Marsbahn kreuzt und der Erdbahn näher als 0,2 AU kommt. Das ist natürlich praktisch, weil man diesen Asteroiden so besonders leicht mit einer Raumsonde erreichen kann. Man schickte auch tatsächlich eine Raumsonde hin und entdeckte eine Oberfläche mit vielen herumliegenden Gesteinsbrocken. Diese sind wahrscheinlich bei einem Einschlag vor einer Milliarde Jahren entstanden. Durch die elliptische Umlaufbahn ist der Eros großen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Die Temperatur schwankt zwischen -150°C und +100°C.

## Jupiter

	Masse/Schwerkraft	300-fache Erdmasse
	Radius	11-facher Erdradius
	Dichte	Ein Fünftel der Erde
	Drehung um die eigene Achse	10 Stunden
	Drehung um die Sonne	12 Jahre
	Abstand von der Sonne	5-facher Erdbstand
	Bahnneigung	1,3°
	Exzentrizität	0,05
	Monde	Mehr als 67 (z.B. Europa, Io,)

Der Jupiter ist der größte Planet unseres Sonnensystems. So wie jeder Gasplanet hat er keine feste Oberfläche, sondern besteht zu einem Großteil aus einer Gashölle mit viel Wasserstoff und etwas Helium. Erst 1000km unterhalb der Wolkendecke beginnt der Wasserstoff aufgrund des Druckes flüssig zu werden. Wegen des Treibhauseffektes wird es in Richtung Zentrum immer wärmer. Gleichzeitig nimmt auch der Druck zu, schließlich haben die darüberliegenden Stoffe immer mehr Masse.


Ähnlich wie die Erde, verfügt auch der Jupiter über ein Magnetfeld. Es ist im Vergleich zur Drehachse um 10° geneigt und so stark, dass der Jupiter elektrisch leitfähig ist. Im Gegensatz zur Erde interagiert das Magnetfeld auf dem Jupiter auch mit den Monden. So wie auf der Erde können auch auf dem Jupiter Polarlichter entstehen, wenn der Sonnenwind auf das Magnetfeld trifft.

Wie auf allen Gasplaneten gibt es auf dem Jupiter viele große und lang anhaltende Wirbelstürme. Der bekannteste von ihnen ist wohl der große Rote Fleck, ein Wirbelsturm der vor 400 Jahren entdeckt wurde und bis heute besteht. Er ist so groß, dass die Hälfte der Erde hineinpassen würde. Warum er so auffällig rot gefärbt ist, wissen wir noch nicht.

### Galilei'sche Monde

Die 4 größten Monde des Jupiter (Io, Europa, Ganymed und Callisto) heißen Gallileische Monde, weil sie erstmals von Galileo Galilei entdeckt worden sind. Das besondere daran ist, dass man bis dahin noch nie einen anderen Mond als den Erdmond beobachtet hat. Durch diese Entdeckung hat sich gezeigt, dass es entgegen der Behauptung der Kirche Himmelskörper gibt, die nicht um die Erde kreisen. Somit wurde auch das Heliozentrische Weltbild durch diese Entdeckung gestärkt.

#### Io

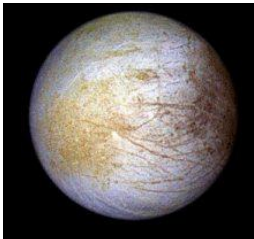
	Masse/Schwerkraft	Ein Siebtel der Erde
	Radius	Ein Fünftel der Erde
	Dichte	Ein Drittel der Erde
	Drehung um den Jupiter	2 Tage
	Abstand zum Jupiter	200.000km
	Bahnneigung	0,04°
	Exzentrizität	0,004

Der Io wird sehr stark durch die Gezeiten des Jupiter beeinflusst. Die Oberfläche kann sich damit um mehrere 100 Meter verschieben. Besonders dominant ist auf Io der Vulkanismus. Es gibt mehr als 200 aktive Regionen und der größte Vulkan Pelé hat eine Caldera von mehr als

10km Durchmesser. Die Temperaturen der Lava können bis zu 1700°C erreichen. Zum Vergleich: Auf der Oberfläche des Io hat es normalerweise -200°C.

Anhand des Io wurde nachgewiesen, dass sich Licht mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet. Eigentlich wollte Olè Römer die Rotation des Io berechnen, aber die Umlaufzeit des Io wies Unregelmäßigkeiten auf. Der Grund: Je nachdem, ob sich der Io auf derselben oder auf einer anderen Seite der Sonne befindet, benötigt das Licht unterschiedlich viel Zeit um zum Beobachter auf der Erde zu kommen. Der Beobachter hat dann den Eindruck, dass der Io „nachgeht“, wenn der Jupiter weit weg ist, weil das Licht vom Io länger bis zu seinem Auge braucht.

### Europa

	Masse/Schwerkraft	Ein Zwölftel der Erde
	Radius	Ein Fünftel der Erde
	Dichte	Ein Drittel der Erde
	Drehung um den Jupiter	4 Tage
	Abstand zum Jupiter	300.000km
	Bahnneigung	0,5°
	Exzentrizität	0,01


Europa hat eine dicke Oberfläche aus Eis, Aufgrund des Gravitationsfeldes und des Magnetfeldes vermutet man, dass Europa unterhalb des Eispanzers einen 100km tiefen Ozean aus Salzwasser besitzt, der um den ganzen Mond geht. Das wäre der größte Ozean des Sonnensystems und er würde sogar mehr Wasser beinhalten, als die gesamte Erde. Das ist möglich, weil der Druck unterhalb des Eispanzers so groß ist, dass Wasser selbst bei dreistelligen Minusgraden noch flüssig ist. Durch Temperaturschwankungen dehnt sich das Wasser aus oder zieht sich zusammen. Dadurch verschiebt sich auch die Oberfläche und es entstehen zahlreiche Risse und Furchen im Eis. Unterhalb vom Ozean hat Europa vermutlich einen Kern aus Eisen.

### Ganymed

	Masse/Schwerkraft	Ein Fünftel der Erde
	Radius	Ein Drittel der Erde
	Dichte	Ein Viertel der Erde
	Drehung um den Jupiter	7 Tage
	Abstand zum Jupiter	500.000km
	Bahnneigung	0,2°
	Exzentrizität	0,002

Ganymed ist der größte Mond des Sonnensystems und damit sogar größer als der Merkur. Als einziger Mond besitzt er ein ausgeprägtes Magnetfeld und sogar eine dünne Atmosphäre aus Sauerstoff. Ganymed besteht aus zwei Kontinentalplatten. Eine ist aktiv und dadurch von zahlreichen Schluchten und Verwerfungen geprägt. Die andere ist nicht mehr aktiv. Auf ihr befinden sich zahlreiche Meteoritenkrater.

### Kallisto


	Masse/Schwerkraft	Ein Sechstel der Erde
	Radius	Ein Viertel der Erde
	Dichte	Ein Viertel der Erde
	Drehung um den Jupiter	17 Tage
	Abstand zum Jupiter	900.000km
	Bahnneigung	0,5°
	Exzentrizität	0,007

Kallisto hat im Verhältnis zu seiner Oberfläche die meisten Krater im Sonnensystem. Das hat mehrere Gründe: Einerseits besteht die Oberfläche des Planeten hauptsächlich aus Wassereis, das bei Meteoriteneinschlägen besonders leicht nachgibt. Andererseits ist der Mond schon lange geologisch inaktiv, sodass Meteoritenkrater über Jahrtausende hinweg erhalten blieben. Auch Kallisto könnte unterhalb seiner Oberfläche einen 10km tiefen Ozean aus Salzwasser besitzen.

### Trojaner des Jupiter

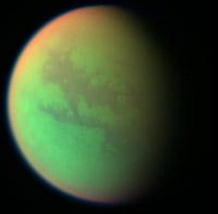
Die Trojaner des Jupiter sind Gesteinsbrocken die 60° vor und hinter dem Jupiter auf fast derselben Umlaufbahn wie der Jupiter fliegen. Nur die Gravitation des Saturn lenkt die Trojaner etwas ab. Oft handelt es sich dabei um eingefangene Kometen aus Staub, Eis oder Gestein. Der Jupiter ist aber nicht der einzige Planet der Trojaner hat: Selbst die Erde hat einen Trojaner.

## Saturn

	Masse/Schwerkraft	100-fache Erdmasse
	Radius	10-facher Erdradius
	Dichte	Zehntel der Erddichte
	Drehung um die eigene Achse	11 Stunden
	Drehung um die Sonne	29 Jahre
	Abstand von der Sonne	10-facher Erdbstand
	Bahnneigung	2,5°
	Exzentrizität	0,05
	Monde	Mehr als 62 (z.B. Titan)

Der Aufbau des Saturn ähnelt sehr stark jenem vom Jupiter. Saturn wird geprägt von langlebigen Stürmen, die mit durchschnittlich 550km/h über den Planeten fegen.

### Titan

	Masse/Schwerkraft	Sechstel der Erdmasse
	Radius	Hälfte vom Erdradius
	Dichte	Drittel der Erde
	Drehung um den Saturn	16 Tage
	Abstand vom Saturn	1 Million km
	Bahnneigung	0,34°
	Exzentrizität	0,02



Titan ist der größte Mond des Saturn. Er hat als einziger Mond eine dichte Atmosphäre aus Stickstoff. Die Oberfläche des Titan ist eher eben. Den größten Höhenunterschied machen Sanddünen mit 150 Metern aus, das ist nur so groß wie der Donauturm. Das flüssige Methan spielt eine ähnliche Rolle, wie bei uns das Wasser: Es regnet, bildet Seen und Flüsse. Es gibt Vulkane, die aber nicht so wie bei uns Magma speien. Was sie speien, weiß man nicht so genau, die wahrscheinlichste Vermutung ist, dass es sich um eine Mischung aus Wasser und Ammoniak handelt.

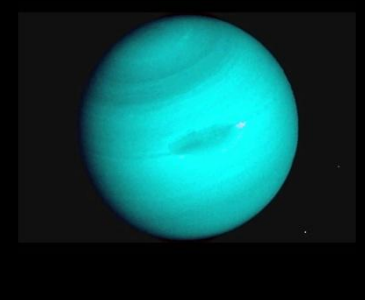
### Encecladus

Encecladus ist ein Eisplanet der ähnlich wie Europa Wasser unter seiner Oberfläche verbirgt. Hier spritzt es aber auch in Form von Geysiren heraus. Aufgrund der geringen Gravitation fällt das Wasser nicht immer auf Encecladus zurück, sondern vertschüssst sich in einen Ring des Jupiter. Durch die Gezeitenkräfte des Saturn schmilzt Eis vom Encecladus und füllt den Wasserozean unter der Oberfläche wieder auf.

### Ringe

Der Saturn hat die hellsten und somit auffälligsten Ringe unseres Sonnensystems. Die Ringe befinden sich alle innerhalb der Rochegrenze, weil dort die Wirkung der Gezeiten des Saturn stärker ist als die Gravitation der Gesteinsbrocken der Ringe selber. Wären sie außerhalb der Rochegrenze, würden sich die Gesteinsbrocken gegenseitig anziehen und zusammen einen Mond bilden. Durch die Gravitation des Saturn und von den Saturnmonden Prometheus und Pandora fliegen diese Gesteinsbrocken nicht irgendwo umher, sondern werden auf 6 Bahnen, die sogenannten Ringe, gelenkt. Sie werden nacheinander mit Buchstaben bezeichnet, der innerste Ring ist also der A-Ring, danach folgt der B-Ring und so weiter. Es gibt mehrere Möglichkeiten wie solche Ringe entstanden sein könnten. Es kann zum Beispiel sein, dass ein Komet eingefangen und durch die Gravitation des Saturn zerrissen worden ist oder dass ein Asteroid in den Saturnmond eingeschlagen hat, und diesen dabei in viele kleine Teilchen zerschmettert hat.

## Uranus

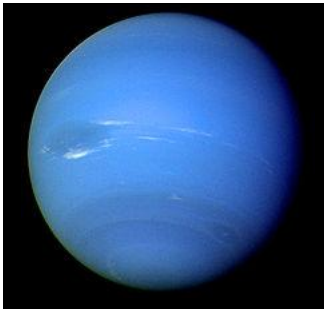
	Masse/Schwerkraft	15 Erdmassen
	Radius	4 Erdradien
	Dichte	Ein Fünftel der Erde
	Drehung um die eigene Achse	17 Stunden
	Drehung um die Sonne	84 Jahre
	Abstand von der Sonne	19-facher Erdbabstand
	Bahnneigung	0,8°
	Exzentrizität	0,04
	Monde	Mehr als 27 (z.B. Ariel)

Beim Uranus ist am auffälligsten, dass er um etwa 90° geneigt ist, also im Gegensatz zu den anderen Planeten „eiert“ er auf seiner Umlaufbahn herum. Das wirkt sich auch auf sein Magnetfeld aus, das fast um 60° geneigt ist. Ähnlich wie Saturn hat auch Uranus Ringe, nur sind sie um einiges leuchtschwächer als jene des Saturn, sodass sie erst 1977 entdeckt wur-



den. Die Ringe bestehen genauso wie die Saturnringe aus Gesteinsbrocken, die genauso wie beim Saturn durch zwei Monde und die Gravitation des Uranus auf ihren Bahnen gehalten werden. Die größten Teilchen innerhalb der Uranusringe sind nur 10 Meter groß.

## Neptun

	Masse/Schwerkraft	17 Erdmassen
	Radius	4 Erdradien
	Dichte	0,3 Erddichten
	Drehung um die eigene Achse	16 Stunden
	Drehung um die Sonne	165 Jahre
	Abstand von der Sonne	40-facher Erdbstand
	Bahnneigung	2°
	Exzentrizität	0,08
	Monde	Mehr als 14 (z.B. Triton)

Der Neptun ist der äußerste Planet unseres Sonnensystems. Wie auf allen Gasplaneten herrschen hier gigantische Wirbelstürme. In den Polregionen können die Stürme mehr als 2000km/h erreichen, am Äquator ist es mit 1200km/h nicht ganz so schlimm.

## Triton

	Masse/Schwerkraft	Zwanzigstel der Erde
	Radius	Fünftel Erdradius
	Dichte	Halbe Erddichte
	Drehung um den Neptun	6 Tage
	Abstand vom Neptun	350.000km
	Bahnneigung	157°
	Exzentrizität	0

Der Triton ist mit Abstand der größte Mond des Neptun. Seine Atmosphäre ist dünn und auf seiner Oberfläche ist es extrem kalt, so kalt, dass Stoffe wie Methan oder Stickstoff in fester Form vorliegen. Auf Triton gibt es Gräben, die um einiges tiefer als der Grand Canyon sind und es gibt geysirartige Eruptionen. Daneben werden auch Stickstoff und Staubteilchen ausgeworfen.

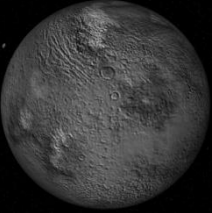
## Kuipergürtel

[Mehr interessante Daten über den Kuipergürtel ↗](#)

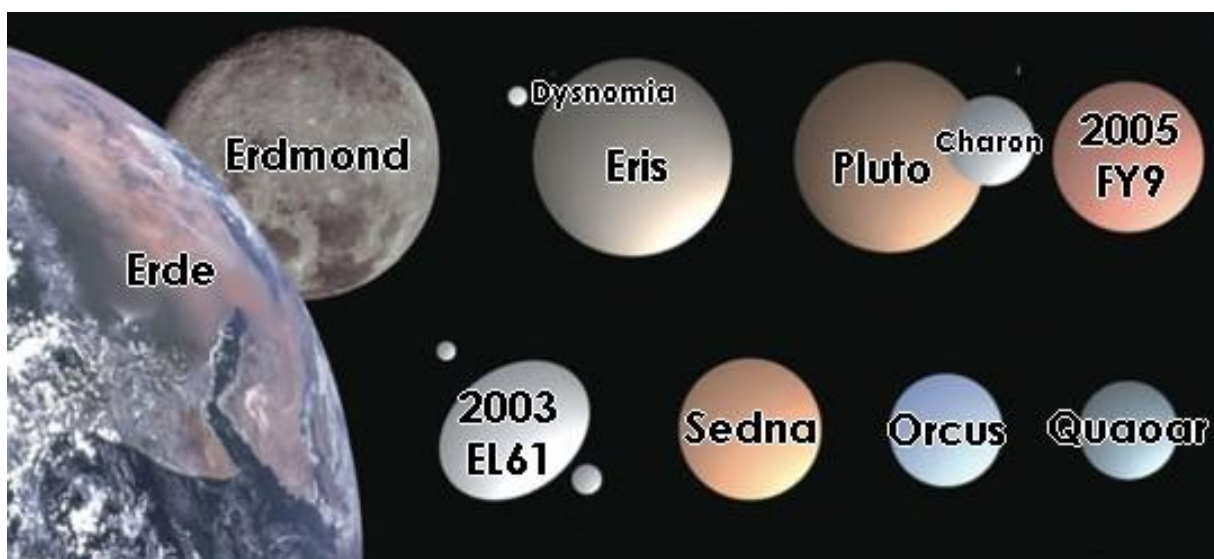
Der Kuipergürtel ist ein Gesteinsgürtel am Rand unseres Sonnensystems (30 – 50 AU von der Sonne entfernt), der ähnlich wie der Asteroidengürtel aufgebaut ist. In ihm befinden sich 70.000 Objekte, die man Trans-Neptun-Objekte nennt. Sie sind ähnlich wie Asteroiden, die größeren von ihnen werden aber auch als Zwergplaneten charakterisiert. Teilweise besitzen sie sogar Monde. Statt der Gravitation des Jupiter sorgt hier jene des Neptun dafür, dass die

Objekte auf ihren Bahnen bleiben. So wie es Asteroiden gibt, die die Marsbahn kreuzen, gibt es auch Trans-Neptun-Objekte, die die Neptunbahn kreuzen. Die Objekte des Kuipergürtels reflektieren die Sonnenstrahlen nur sehr schwach, weshalb der Kuipergürtel extrem schwer zu entdecken war.

### Eris

	Masse/Schwerkraft	Ein zwanzigstel der Erde
	Radius	Ein sechstel der Erde
	Dichte	Ein 2000stel der Erde
	Drehung um die eigene Achse	557 Jahre
	Drehung um die Sonne	204 Tage
	Abstand von der Sonne	68-facher Erdbabstand
	Bahnneigung	45°
	Exzentrizität	0,4
	Monde	1 (Dysnomia)


Der Eris ist der größte Zwergplanet im Kuipergürtel. Seine Entdeckung hat zur Einführung einer neuen Planetendefinition geführt.



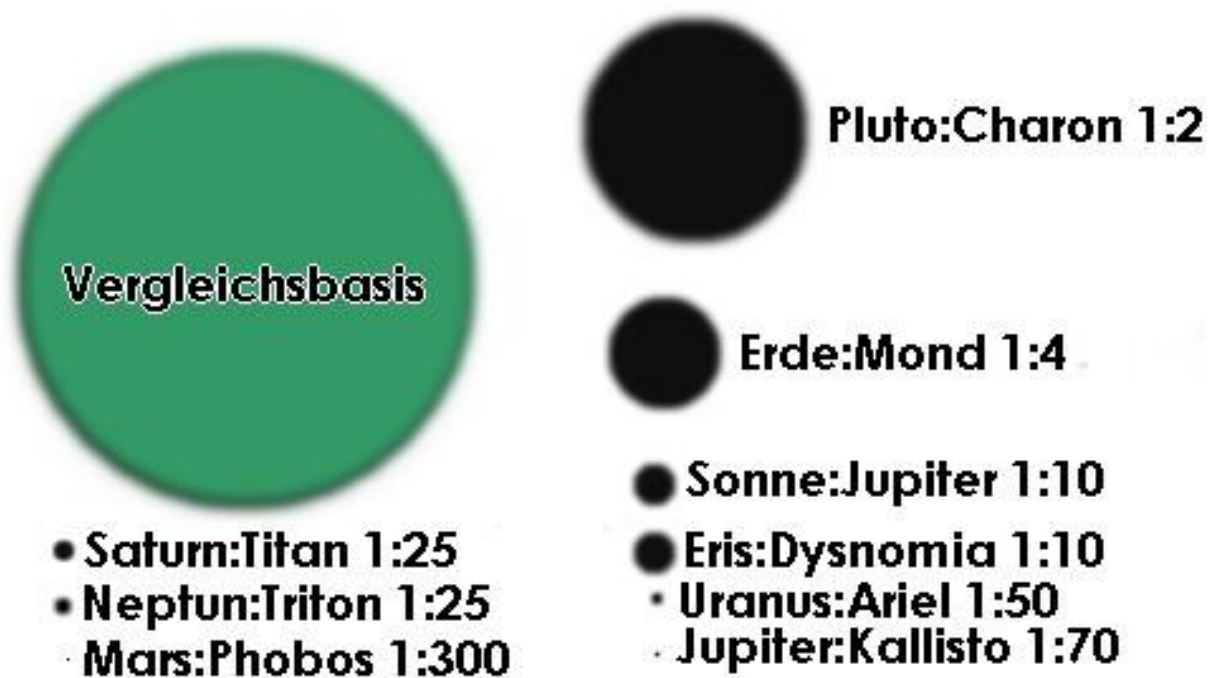
### Abb.3.9.: Zwergplaneten

Ursprünglich hat Pluto (oben Mitte) als einziger Himmelskörper im Kuipergürtel als Planet gezählt, weil alle anderen Himmelskörper noch nicht bekannt waren. In der Abbildung erkennt man jedoch, dass sich Pluto größenmäßig nicht stark von den anderen Objekten im Kuipergürtel unterscheidet und sogar kleiner als unser Mond ist. Die Entdeckung von Eris (oben links), einem Objekt im Kuipergürtel, das größer als Pluto ist, nahm man zum Anlass, zur Planetendefinition zusätzlich die Bedingung, dass ein Planet wesentlich größer als die anderen Objekte in seiner Bahn sein muss, dazu zu nehmen. Damit war klar, dass weder Pluto noch sonst ein Objekt im Kuipergürtel den Planetenstatus erfüllt. Sie wurden stattdessen als Zwergplaneten definiert.

### Pluto

	Masse/Schwerkraft	Ein 500stel der Erde
	Radius	Ein fünftel der Erde
	Dichte	Ein drittel der Erde
	Drehung um die eigene Achse	6 Tage
	Drehung um die Sonne	248 Jahre
	Abstand von der Sonne	40-facher Erdabstand
	Bahnneigung	17°
	Exzentrizität	0,2
	Monde	5 (z.B. Charon)

Pluto ist der zweitgrößte Zwergplanet in unserem Sonnensystem. Von manchen Leuten wird er auch als Doppelzwergplanet bezeichnet, weil der größte Plutomond Charon immerhin ein Drittel der Plutogröße hat. Somit drehen sich Pluto und Charon gegenseitig umeinander. Dass auch die Himmelskörper aufgrund der Rotation ihrer Monde rotieren ist ja normal, aber bei Pluto und Charon befindet sich der Schwerpunkt, um den die beiden Himmelskörper kreisen, außerhalb des Pluto und das ist in unserem Sonnensystem einzigartig.



**Ab. 3.10.: Das Verhältnis ausgewählter Himmelskörper zu ihrem größten Mond**

In dieser Abbildung ist die Größe der Monde, wenn ihr Planet so groß wäre, wie die Kugel links oben, aufgezeichnet. Man erkennt, dass kein Mond im Verhältnis zu seinem Planeten so groß ist, wie Charon im Verhältnis zum Pluto. Unser Mond kommt übrigens in der Statistik auf Platz 2.

## Planet 9

Aufgrund der hohen Exzentrizität der Objekte im Kuipergürtel vermutet man noch einen weiteren Planeten, der 800-mal so weit von der Sonne entfernt sein würde, wie die Erde. Dadurch bräuchte dieser Planet auch sehr lange um die Sonne zu umkreisen: Ein Jahr auf Planet 9 würde so lange wie 20.000 Erdenjahre dauern. Er wäre laut Berechnungen ein Gasplanet und 1000mal so massereich wie die Erde. Die Vermutung, dass außerhalb des Neptun noch ein weiterer Planet existieren würde, ist keinesfalls neu. Bereits 1905 sagt Percival Lowell so einen Planeten voraus, als er danach suchte, entdeckte er jedoch lediglich den Zwergplaneten Pluto, der viel zu klein für seine Vorhersage war. Auch Eris war viel zu klein für seine Hypothese. Zwischenzeitlich vermuteten Forscher auch, dass die Gravitation von einem unbekannten Stern dafür verantwortlich wäre, aber es wurde das Gegenteil bewiesen. 2016 wurde schließlich die Umlaufbahn des Planet 9 berechnet.

## Oort'sche Wolke

In 1,6 Lichtjahren Entfernung vermuten Forscher, dass sich die so genannte Oort'sche Wolke, eine Ansammlung von kleinen Kometen, befindet, die das Sonnensystem vollständig umkreisen. Es gibt Kometen, die aufgrund des Kräftegleichgewichtes zwischen der Sonne und dem nächsten Stern in der Oort'schen Wolke bleiben und andere die eine elliptische Bahn haben, die sie in der Nähe der Sonne vorbeiführt und die auf der anderen Seite in der Oort'schen Wolke umdrehen. Ähnlich wie im Asteroidengürtel sind auch die Kometen in der Oort'schen Wolke sehr weit voneinander entfernt. Wenn die Umlaufbahn der Erde um die Sonne 1 Meter groß und in Wien wäre, würde sich die Oort'sche Wolke in Bratislava befinden.

## Wo endet unser Sonnensystem?

Die Frage wo unser Sonnensystem endet ist nicht klar zu beantworten, weil gar nicht klar definiert ist, was unser Sonnensystem ist. In einer Entfernung von 30 AU liegt der Neptun, der äußerste Planet den wir nachgewiesen haben. Aber auch der Kuipergürtel und die Oort'sche Wolke sind gravitativ ans Sonnensystem gebunden und wahrscheinlich zählt auch noch der Planet 9 weit außen dazu. Das äußerste Objekt, das gravitativ ans Sonnensystem gebunden ist, ist Sedna mit 544 AU Entfernung zur Sonne. Theoretisch reicht die Gravitation der Sonne aber unendlich weit, nur wird sie immer schwächer und die Gravitation der anderen Sterne immer stärker. Eine andere Möglichkeit, das Sonnensystem zu definieren, ist das Ende der Wirksamkeit der Sonnenwinde. Der Sonnenwind kann sich maximal 150 AU von der Sonne entfernen.

Ob die Raumsonde Voyager, das am weitesten entfernte Objekt der Menschheit, das Sonnensystem verlassen hat, ist dadurch ebenfalls unklar. Sie befindet sich in einem Bereich, wo nur noch sehr wenig Sonnenwinde hinkommen, aber noch weit innerhalb der Umlaufbahn des Sedna und ungefähr in dem Bereich, wo der Planet 9 vorhergesagt wurde.

## Kometen

Ein Komet besteht aus 2 Teilen, dem Kern und dem Koma. Den Schweif zählt man normalerweise nicht mehr zum Kometen dazu.

### Kern

Der Kern ist so aufgebaut, wie bei einem Asteroiden. Er ist nur einige Kilometer groß, besteht aus Eis, CO<sub>2</sub>, Methan und/oder Staubteilchen, hat weniger als ein Milliardstel der Erdmasse und eine Dichte, die etwas weniger dicht oder auch 20 mal dichter als jene auf der Erde sein kann.

### Koma

In der Nähe der Sonne verdampfen Bestandteile des Kometen und steigen auf. Diese Stoffe werden als Koma bezeichnet. Aufgrund der Trägheit steigen sie aber nicht irgendwohin auf, sondern bleiben zurück. Da die Gravitation des Kometen gering ist, vertschüssen sie sich nach und nach in den Weltraum. Das Koma kann 50.000 – 150.000km lang sein und damit um einiges länger als der Kern.

### Schweif

Das Koma bleibt nicht einfach so stehen, sondern wird vom Sonnenwind aufgegriffen. Diesen Vorgang kann man auf der Erde als Schweif beobachten. Er ist gut sichtbar, weil sich die Sonnenstrahlen darin streuen. Die Krümmung kommt dadurch zustande, dass der Schweif von der Sonne angezogen wird und sich somit in ihre Richtung krümmt. Der Schweif eines Kometen kann so lang werden, wie der Abstand zwischen Sonne und Erde.

[Fachbegriffe über Kometen ↗](#)

## Entdeckung

Die Mission SOHO wurde gestartet, um Kometen zu entdecken. Die Mission hat bisher schon fast 20.000 Kometen entdeckt. Die meisten Kometen sind aus einem ehemaligen größeren Kometen namens Perihel entstanden. Es gab auch weitere größere Kometen, aus denen einige der kleineren entstanden sind.

## Bahnen

Die Kometen können eine langgestreckte elliptische Bahn um die Sonne haben oder sie beschreiben die Form einer Parabel oder Hyperbel. (Parabeln und Hyperbeln sind nicht geschlossen, das heißt, diese Kometen fliegen nur einmal an der Sonne vorbei und kommen nicht wieder). Es gibt auch Kometen, die überhaupt keine Bahnen haben, weil sie in der Oort'schen Wolke verweilen.

### Halley



Größe	15 x 7 x 7 km
Volumen	400 km <sup>3</sup>
Oberfläche	300 km <sup>2</sup>
Staubemission	10 – 15%
Aktive Regionen	10km <sup>2</sup>
Materialverlust in Sonnennähe	6m
Anzahl der Jets	3
Staub-Gas-Verhältnis	2:1
Umlaufzeit	6 Jahre

Halley ist der Komet, der am nächsten bei der Erde vorbeifliegt. Deshalb wurde er auch als erster Komet von einer Raumsonde (Giotto) angefliegen. Es hat mit Absicht eine Raumsonde abstürzen lassen, weil dadurch viel Material ins Weltall ausgeschleudert wurde. Dieses Material konnte Giotto dann analysieren.

### Tschuriumov Gerasimenko

Ein weiterer Komet, der angefliegen wurde, ist der Tschuriumov Gerasimenko (kurz: Tschuri). Auf ihm ist sogar eine Raumsonde gelandet, allerdings hatte sie aufgrund der geringen Gravitation Schwierigkeiten sich am Kometen zu fixieren.