

**Astronomie und Astrophysik**

# **Der Planet Jupiter**

**von**

**Andreas Schwarz**



**Stand: 28.12.2016**

## **0.0 Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Der Aufbau des Jupiters.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Die Atmosphäre des Jupiters.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Die Bahnbewegung des Jupiters.....</b>	<b>7</b>
<b>5 Die Monde und die Ringe des Jupiters.....</b>	<b>8</b>
<b>6 Raumfahrtmissionen zum Jupiter.....</b>	<b>10</b>
<b>7 Schlusswort.....</b>	<b>11</b>
<b>8 Literatur- und Bilderverzeichnis.....</b>	<b>12</b>

## 1 Einleitung

Der Jupiter ist der größte und massereichste Planet im Sonnensystem. Der Äquatordurchmesser des Jupiters beträgt 142.984 km. Seine Masse beträgt etwa 318 Erdmassen bzw. 1/1000 Sonnenmassen. Der Jupiter rotiert nicht wie ein starrer Körper, sondern differenziell. Am Äquator rotiert der Jupiter einmal in  $9^{\text{h}} 50^{\text{m}} 30^{\text{s}}$  um seine eigene Achse, in den Polregionen einmal in  $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 41^{\text{s}}$ . Infolge der schnellen Rotation ist der Jupiter zu seinen Polen hin deutlich abgeplattet. Sein Poldurchmesser beträgt 133.700 km. Der Jupiter ist ein sogenannter Gasplanet und hat eine Dichte von  $1,33 \text{ g/cm}^3$ . Die Rotationsachse des Jupiters ist um  $3,13^\circ$  gegenüber seiner Bahnebene geneigt, so dass keine jahreszeitlich bedingten Änderungen auftreten.

Die Entfernung des Jupiters zur Sonne beträgt im Perihel (sonnennächsten Punkt) seiner Bahn 740 Millionen km, im Aphel (sonnenfernsten Punkt) sind es 815 Millionen km. Die Jupiterbahn hat eine Exzentrizität von  $e = 0,0489$  und eine Neigung von  $1^\circ 18'$  gegenüber der Ekliptik. Die mittlere Entfernung des Jupiters von der Sonne beträgt rund 778 Millionen Kilometer. Der Abstand des Jupiters von der Erde schwankt zwischen 588 und 950 Millionen Kilometer. Die scheinbare Größe der Planetenscheibe schwankt entsprechend zwischen 49 und 30 Bogensekunden. Die maximale Oppositionshelligkeit beträgt  $2^{\text{m}},9$ . Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Jupiter 11 Jahre und 315 Tage.

Der Jupiter verfügt über eine dichte Atmosphäre, welche zu 89 Prozent aus Wasserstoff (H bzw.  $\text{H}_2$ ) und zu knapp 11 Prozent aus Helium (He) besteht. In geringen Anteilen kommen auch Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), Methan ( $\text{CH}_4$ ), Ethan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), Ethin (Acetylen) ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), Ammoniumhydrosulfid ( $\text{NH}_4\text{SH}$ ), Germaniumwasserstoff ( $\text{GeH}_4$ ), Phosphin ( $\text{PH}_3$ ), Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ) vor. In der obersten Atmosphärenschicht beträgt der Druck 0,1 Atmosphären und die Temperatur  $-145^\circ\text{C}$ . Mit zunehmender Tiefe steigen Druck und Temperatur extrem an. In zirka 1.000 km Tiefe geht die gasförmige Atmosphäre bei einem Druck von 500 Atmosphären und einer Temperatur in einige flüssige Phase über. In einer Tiefe von rund 30.000 km, bei einem Druck von drei Millionen Atmosphären und einer Temperatur von  $11.000^\circ\text{C}$ , geht der Wasserstoff in einen metallischen Zustand über. Die Protonen (Atomkerne des Wasserstoffatoms) bilden dann ein Gitter, während sich die Elektronen frei zwischen den Atomrümpfen bewegen. Ähnlich ist auch ein Metallgitter aufgebaut, daher wird von einem metallischen Wasserstoff gesprochen. Die Schicht aus metallischem Wasserstoff dürfte über 35.000 km dick sein und ist aufgrund der freien Elektronen hoch leitend. Es fließt ein elektrischer Strom. Aufgrund der relativ schnellen Rotation des Jupiters kommt es zu einem Dynamo-Effekt, welcher ein starkes Magnetfeld generiert. Die Stärke dieses Magnetfeldes ist rund 20.000-mal größer als die des Erdmagnetfeldes.

In der Jupiteratmosphäre gibt es verschiedene Strukturen: Flecken, Bänder und Streifen verschiedenster Farbe. Das sind alles dynamische Vorgänge in der Jupiteratmosphäre, so ist z.B. der Große Rote Fleck ein langwieriger Wirbelsturm. Der Planet strahlt 1,7 Prozent mehr Energie aus, als er von der Sonne erhält. Zum einen ist es Restwärme aus der Entstehungszeit des Planeten, zum anderen kontrahiert der Planet und dabei wird potentielle Energie frei.

Der Jupiter besteht auch aus einem Gesteinskern, welcher einen Durchmesser von 14.000 km haben dürfte und von einer etwa 7.000 km dicken (Hochdruck-)Eisschicht umgeben ist. Der Kern dürfte etwa 28 Erdmassen haben. Die Masse des Gesteinskerns hat damit einen Anteil von 9 Prozent an der Gesamtmasse des Planeten. Der Gesteinskern besteht aus Silikaten sowie Eisen, Nickel und Kobalt. Der Gesteinskern ist einem Druck von 30 Millionen Atmosphären und einer Temperatur von  $20.000^\circ\text{C}$  ausgesetzt. Unter diesen Bedingungen hat die Materie des Gesteinskerns keine kristalline Struktur, sondern besteht aus einer amorphen, zähflüssigen Masse.

Der Jupiter verfügt nach derzeitigem Wissensstand über rund 70 Monde. Die vier bekanntesten sind die galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Kallisto. Des Weiteren verfügt der Jupiter über ein Ringsystem, welches bei weitem nicht so auffällig wie das des Saturns ist.

## 2 Der Aufbau des Jupiters

Der Aufbau des Jupiters unterscheidet sich deutlich von dem der terrestrischen Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Bei den terrestrischen Planeten handelt es sich um Gesteinsplaneten, welche aus einer Kruste, einem Mantel und einem Kern bestehen. Auch die Atmosphären der terrestrischen Planeten sind im Vergleich zur Jupiteratmosphäre deutlich weniger mächtig. Der Jupiter besteht aus einer sehr dichten Atmosphäre, welche hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium besteht. In Spuren kommen noch andere Elemente, wie Ammoniak und Methan, vor. In einigen tausend Kilometern geht der Wasserstoff in einen metallischen Zustand über, bei dem die Kerne der Wasserstoffatome, die Protonen, ein Gitter bilden. Die Elektronen bewegen sich frei zwischen den Atomrümpfen umher. Der Kern des Planeten besteht wiederum aus Gestein und Eis. Allerdings macht dieser Kern nur etwa 9 Prozent der Gesamtmasse aus. Vom oberen Rand der Atmosphäre bis zu seinem Kern nehmen der Druck und die Temperatur massiv zu.

Es gibt keine feste Oberfläche oder Ozeanfläche, so dass keine scharfe Grenzschicht definiert ist. Als Nulllinie wird daher die Atmosphärenschicht bzw. Isobaren-Schicht definiert, bei der ein Druck von einer Atmosphäre herrscht. In der äußersten Atmosphärenschicht, oberhalb der Tropopause, liegen der Druck bei etwa 0,03 Atmosphären und die Temperatur bei  $-120^{\circ}\text{C}$ . In der obersten Wolkenschicht steigt der Druck auf 0,1 Atmosphären während die Temperatur zunächst noch ein Minimum von  $-145^{\circ}\text{C}$  erreicht. Von da an nehmen Druck und Temperatur kontinuierlich zu. Zirka 60 km unterhalb der obersten Wolkenschicht liegt die mittlere Wolkenschicht. Die Temperatur ist dann bereits auf  $-75^{\circ}\text{C}$  angestiegen. Die Wolken dieser Schicht bestehen hauptsächlich aus Ammoniumhydrosulfid. Die unterste Wolkenschicht liegt etwa 100 km unterhalb der mittleren Wolkenschicht. Die Wolken dieser Schicht bestehen aus Wassereiskristallen, Wasserdampf, Kohlenwasserstoffen, Schwefel- und Phosphorverbindungen. Die Schwefel- und Phosphorverbindungen sind für die vielfältigen Farberscheinungen in der Jupiteratmosphäre verantwortlich, welche von braun über rot, orange, gelb bis ins Bläuliche gehen. Diese Schicht erscheint auf dem Jupiter als sichtbare dunkle Bänder. Die Temperatur in der unteren Wolkenschicht liegt zwischen  $-50^{\circ}\text{C}$  und  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Mit zunehmender Tiefe steigen der Druck und die Temperatur weiter an, wobei die Temperatur pro Kilometer um etwa  $2^{\circ}\text{C}$  zunimmt. In 160 km Tiefe herrscht ein Druck von 22 Atmosphären und eine Temperatur von  $+152^{\circ}\text{C}$ . Bis zu dieser Tiefe drang die Atmosphärensonde vom Jupiter-Orbiter Galileo ein als sie aufhörte zu senden. In 1.000 km Tiefe steigen der Druck auf 500 Atmosphären und die Temperatur auf  $2.000^{\circ}\text{C}$  an. In etwa dieser Tiefe geht der gasförmige Wasserstoff in seinem flüssigen Zustand über. Dieser Bereich gilt auch als untere Grenze für die Atmosphäre, womit die Jupiteratmosphäre eine Dicke von rund 1.000 km hat.

Der flüssige Wasserstoff dürfte wahrscheinlich keine scharfe Oberfläche haben wie z.B. ein Ozean auf der Erde. Vielmehr dürfte es einen mehrere Dutzend Kilometer dicken Übergangsbereich mit einer konvektiven Grenzschicht geben. Ab einer Tiefe von 22.000 bis 30.000 km, mit einem Druck von drei Millionen Atmosphären und einer Temperatur von  $11.000^{\circ}\text{C}$ , ändert sich die Struktur der Materie signifikant. Die bisherigen Atom- und Molekülstrukturen werden unter diesen Bedingungen förmlich zerquetscht. Die Bindung zwischen Elektronen und Protonen im Wasserstoffatom wird aufgehoben. Die Wasserstoffkerne bzw. die Protonen bilden ein Gitter, die Elektronen bewegen sich frei zwischen diesen Kernen. Ähnlich verhält es sich auch in einem Metall, so dass von metallischem Wasserstoff gesprochen wird. Dieser metallische Wasserstoff ist ein guter elektrischer Leiter und Wärmeleiter. Die freien Elektronen bilden einen elektrischen Strom. In Verbindung mit der hohen Rotation des Jupiters kommt es zu einem Dynamo-Effekt, welcher ein starkes Magnetfeld generiert. Die Schicht aus metallischem Wasserstoff dürfte etwa 37.000 bis 45.000 km dick sein. Nach der Schicht aus metallischem Wasserstoff kommt eine Schicht aus Hochdruckeis, welche etwa 7.000 km dick ist. In dieser Schichttiefe liegt die Temperatur bereits deutlich über  $10.000^{\circ}\text{C}$ . Aufgrund des enormen Druckes verdampft das Eis jedoch nicht, so dass von einem sogenannten Hochdruckeis gesprochen wird.

Im Zentrum des Jupiters dürfte es eine Gesteinskugel mit einem Durchmesser von 14.000 km und einer Masse von 28 Erdmassen (entspricht 9 % der Gesamtmasse des Jupiter) geben. Diese Gesteinskugel besteht aus Silikaten sowie aus Eisen, Nickel und Kobalt. Der Druck und die Temperatur im Jupiterzentrum liegen bei 30 Millionen Atmosphären und 20.000°C.

Unter diesen Bedingungen hat die Gesteinskugel keinen harten, kristallinen Aufbau. Vielmehr handelt es sich um eine amorphe und zähe Masse, vergleichbar mit Teer.

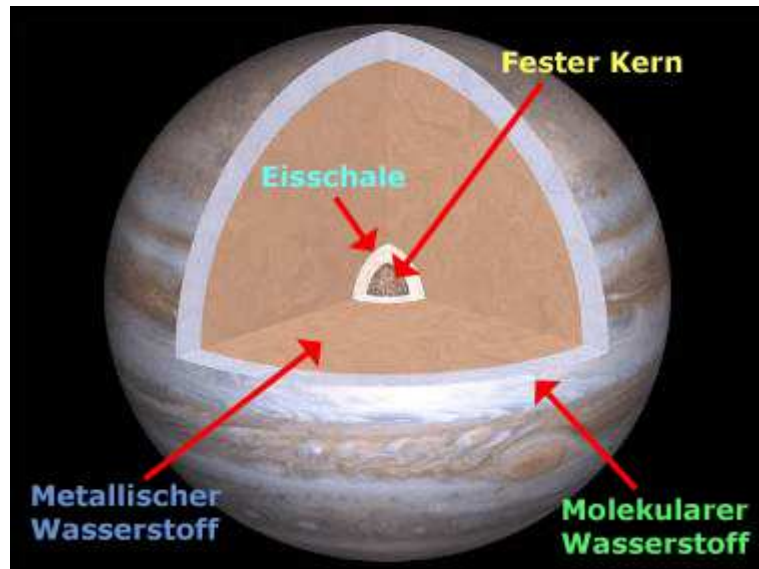


Bild 1: Der Aufbau des Jupiters / Copyright Calvin J. Hamilton, [www.solarviews.com](http://www.solarviews.com)

Im Jahre 1950 wurde festgestellt, dass der Jupiter Synchrotronstrahlung im Radiobereich aussendet. Diese Strahlung entsteht, wenn sich geladene Teilchen mit hohen Geschwindigkeiten spiralförmig an Magnetfeldlinien entlang bewegen. Die geladenen Teilchen stammen von der solaren Komponente der Kosmischen Strahlung (Sonnenwind), aus der Jupiteratmosphäre und von den inneren Jupitermonden. Im Falle der Monde als Quelle werden die geladenen Teilchen durch den Einfall von hochenergetischen Ionen herausgeschlagen oder stammen vom aktiven Vulkanismus auf dem Jupitermond Io. Im Ergebnis war klar, dass der Jupiter über ein gewaltiges Magnetfeld verfügen muss. Über die Entstehung des Magnetfeldes haben wir bereits weiter oben geschrieben. Im metallischen Wasserstoff, welcher aus einem Gitter aus Protonen und freien Elektronen besteht, bilden die Elektronen einen elektrischen Strom. Im Zusammenspiel mit der schnellen Rotation des Jupiters kommt es zu einem starken Dynamo-Effekt, welcher ein Magnetfeld induziert. Die Stärke des Jupitermagnetfeldes beträgt etwa 12 Gauß, was die 20-fache Stärke des irdischen Magnetfeldes ist. Die Magnetfeldachse ist gegenüber der Rotationsachse des Jupiters um 10° geneigt und 18.000 km gegenüber dem Zentrum verschoben.

### 3 Die Atmosphäre des Jupiters

Der Planet Jupiter ist von einer dichten, etwa 1.000 km dicken Atmosphäre umgeben. Sie besteht zu 89 Prozent aus Wasserstoff (H bzw. H<sub>2</sub>) und zu knapp 11 Prozent aus Helium (He). In geringen Anteilen kommen auch Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Ethan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Ethin (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), Ammoniumhydrosulfid (NH<sub>4</sub>SH), Germaniumwasserstoff (GeH<sub>4</sub>), Phosphin (PH<sub>3</sub>), Wasser (H<sub>2</sub>O) und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) vor. Die verschiedenen in der Atmosphäre vorkommenden Farben haben ihre Ursache unter anderem aufgrund verschiedener Formen des molekularen Schwefels. Diese bilden braune und gelbe Teilchen. Die Wolken in der obersten Schicht leuchten rot, in den darunter liegenden Schichten kommen zunächst weiße und dann braune Wolken vor. Der Hauptbestandteil der oberen Wolken ist hauptsächlich Ammoniak. Diese Wolken bilden die Obergrenze der sogenannten konvektiven Wolkenschicht. Die darunter liegenden Wolken bestehen aus Ammoniumhydrosulfid, noch weiter unten bestehen sie aus Wasser.



Aufgrund der hohen Rotationsgeschwindigkeit des Jupiters sind vor allem Strömungen in Ost-West-Richtung bedeutsam, während Strömungen in Nord-Süd-Richtung kaum vorherrschend und daher vernachlässigbar sind. In Ost-West-Richtung bildete sich ein Muster von dunklen Bändern und hellen Zonen. In den hellen Zonen strömt das Gas nach oben und erreicht den Höhepunkt in den Wolken aus Ammoniak. In den dunklen Bändern strömt kühleres Gas wieder nach unten. Dort gibt es weniger Wolken aus Ammoniak, sondern hauptsächlich welche aus Ammoniumhydrosulfid. Der Vorgang des Aufsteigens von wärmerem Gas und des Absteigens von kühlerem Gas wird als Konvektion bezeichnet. Die Bänder und Zonen sind sehr beständig und haben daher auch eigene Bezeichnungen erhalten. Es gibt ein Äquatorband, eine nördliche und südliche Tropenzone, eine nördliche und südliche gemäßigte Zone sowie eine nördliche und südliche Polarzone.

Wegen der geringen Neigung der Rotationsachse des Jupiters gibt es in der Atmosphäre keine jahreszeitlich bedingten Änderungen. Es gibt jedoch beständige Hochdruckregionen auf dem Jupiter, welche von außen als ovale Flecken erscheinen. Aufgrund der fehlenden festen Oberfläche bleibt eine Reibung aus, so dass diese Systeme sehr beständig sind und zum Teil einige Jahrhunderte lang Bestand haben. Ein Beispiel hierfür ist der Große Rote Fleck, welcher einen Durchmesser von 30.000 km hat. Dieser verändert seine Farben allerdings. Manchmal sieht er rosafarben, dann wieder Lachsrot oder gelblich aus. Heute ist klar, dass der Große Rote Fleck ein beständiger Wirbelsturm ist, dessen Wolkentürme sich etwa acht Kilometer über die durchschnittliche oberste Wolkenschicht erheben.



Bild 2: Die Jupiteratmosphäre mit dem Großen Roten Fleck / NASA

Allerdings ist dieser Wirbelsturm ein Hochdrucksystem, während die Wirbelstürme auf der Erde Tiefdrucksysteme sind. Es gibt auf dem Jupiter weitere Zyklone oder sich bildende Zyklone. Die differenzielle Rotation des Jupiters, der Jupiter rotiert an seinem Äquator etwa fünf Minuten schneller als an seinen Polen, bewirkt entsprechende Verwirblungen in der Jupiteratmosphäre. Die Antizyklone und Zyklone entstehen im Ergebnis aufgrund der differentiellen Geschwindigkeitsunterschiede und der durch die schnelle Rotation des Planeten hervorgerufenen Coriolis-Kräfte. Die höhere Rotationsgeschwindigkeit am Äquator ist auf die gewaltige atmosphärische Strömung in Rotationsrichtung des Jupiters zurückzuführen.

Die zahlreichen Muster und Strukturen in der Jupiteratmosphäre werden durch Stürme hervorgerufen, welche sowohl in Ost- als auch in Westrichtung verlaufen. Sie erreichen als

Jetstreams Geschwindigkeiten von 500 bis 560 km/h, wobei die höchsten Geschwindigkeiten an der Äquatorzone des Jupiters erreicht werden und in westlicher Richtung verlaufen. Die Stürme an den Bändergrenzen haben ebenfalls höhere Geschwindigkeiten in Nähe der Äquatorzone als in hiervon entfernteren Zonen auf dem Jupiter. Des Weiteren gibt es auch Gewitterstürme in der Jupiteratmosphäre. Dabei treten gewaltige elektrische Entladungen in Form von gigantischen Blitzen auf, welche im Radiowellenbereich beobachtet werden können. Der Jupiter ist neben der Sonne die stärkste Radioquelle im Sonnensystem.

Im Gegensatz zur Erde und zum Mars ist nicht die Sonne die Hauptenergiequelle für das Wettergeschehen auf dem Jupiter. Auf dem Jupiter kommt pro Flächeneinheit nur vier Prozent der Sonnenstrahlung an, welche auf die Erde trifft. Der Jupiter strahlt insgesamt das 1,7-fache an der von der Sonne empfangenen Energie ab. Hierfür kommen zwei Quellen in Frage. Zunächst strahlt der Jupiter thermische Energie ab, welche noch aus seiner Entstehungszeit stammt. Infolge kühlt der Jupiter aus. Des Weiteren kontrahiert der Jupiter, d.h. er schrumpft. Dabei wird potentielle Energie in thermische Energie umgewandelt und abgestrahlt. Das Maximum der Abstrahlung erfolgt im infraroten Bereich. Aufgrund der fehlenden Jahreszeiten gibt es in gleichen Höhenschichten zwischen der Äquatorzone und den Polarregionen kaum Temperaturunterschiede. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht betragen aufgrund der schnellen Rotation ebenfalls nur 4°C.

Es werden auf dem Jupiter Klimazyklen mit einer Periode von 70 Jahren vermutet, während der die Aktivität der Stürme zunimmt und wieder abflaut. So soll bis zum Jahre 2011 die Aktivität der Stürme in der Jupiteratmosphäre abgenommen haben und seitdem wieder zunehmen.

#### **4 Die Bahnbewegung des Jupiters**

Zwischen der Bahn des vierten Planeten Mars und des fünften Planeten Jupiter klafft zunächst eine größere Lücke, welche von dem sogenannten Asteroidengürtel bzw. Planetoidengürtel gefüllt wird. Dieser besteht aus sehr vielen Kleinplaneten und dem Zwergplaneten Ceres. Ein Planet dürfte sich aufgrund des Einflusses des massereichen Jupiters zwischen Mars und Jupiter nicht gebildet haben können.

Die mittlere Entfernung des Jupiters von der Sonne beträgt rund 778 Millionen Kilometer. Im Perihel (sonnennächsten Punkt) seiner Bahn beträgt die Entfernung des Jupiters von der Sonne rund 740 Millionen km, im Aphel (sonnenfernsten Punkt) sind es rund 815 Millionen km. Die Jupiterbahn hat eine Exzentrizität von  $e = 0,0489$  und eine Neigung von  $1^{\circ}18'$  gegenüber der Ekliptik. Der Abstand des Jupiters von der Erde schwankt zwischen 588 und 950 Millionen Kilometer. Die scheinbare Größe der Planetenscheibe schwankt entsprechend zwischen 49 und 30 Bogensekunden. Die maximale Oppositionshelligkeit beträgt  $2^m,9$ . Bei einer Oppositionsstellung im Perihel seiner Bahn ist der Jupiter 588 Millionen km von der Erde entfernt. Bei entsprechender Oppositionsstellung im Aphel 667 Millionen km.

Die mittlere Bahngeschwindigkeit des Jupiters beträgt 13 km/s. Für einen Umlauf um die Sonne benötigt der Jupiter 11 Jahre und 315 Tage, das sind rund 12 Jahre. Das ist die sogenannte siderische Umlaufzeit, welche sich auf die Hintergrundsterne bezieht. Im Durchschnitt hält sich der Jupiter am Sternhimmel jeweils etwa ein Jahr in einem Tierkreiszeichen auf. Die synodische Umlaufzeit bezieht sich hingegen darauf, wann Erde, Jupiter und Sonne jeweils in gleicher Position zueinander stehen. Diese beträgt 398,88 Tage. Das ist die Zeit zwischen zwei Oppositionsstellungen des Jupiters, bei der Sonne – Erde – Jupiter in einer Linie zueinander stehen, d.h. die Erde steht zwischen der Sonne und dem Jupiter. Es gibt mehrere Punkte (Lagrange-Punkte) auf der Jupiterbahn, in denen sich die Anziehungskräfte zwischen der Sonne und dem Jupiter gerade kompensieren. In zwei dieser Punkte befinden sich Planetoiden, die sogenannten Trojaner, welche dem Jupiter jeweils um  $60^{\circ}$  vorauslaufen oder nachlaufen.

## 5 Die Monde und die Ringe des Jupiters

Der Jupiter besitzt nach derzeitigem Stand rund 70 Monde. Die Durchmesser dieser Monde bewegen sich zwischen 2 km und 5.262 km. Bereits 1610 entdeckte Galilei die nach ihm benannten galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Kallisto. Die Monde Io (Durchmesser: 3.643 km) und Europa (Durchmesser: 3.122 km) sind vergleichbar mit der Größe unseres Mondes (Durchmesser: 3.476 km). Hingegen sind die Monde Ganymed (Durchmesser: 5.262 km) und Kallisto (Durchmesser: 4.821 km) bereits größer als der Planet Merkur (Durchmesser: 4.880 km). Die großen Monde dürften zusammen mit dem Jupiter entstanden sein. Bei den äußeren, kleinen Monden dürfte es sich um eingefangene Kleinplaneten handeln.

Die Monde des Jupiters lassen sich vier Gruppen einteilen:

- Die vier innersten Monde sind bis auf der Mond Amalthea (Durchmesser: 240 km) unregelmäßig geformte Körper, auf denen keine besondere Strukturen erkennbar sind.
- Die vier galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Kallisto mit Durchmessern zwischen 3.122 bis 5.262 km sind kugelsymmetrisch geformte Körper, welche sich mit einem Abstand von 6 bis 26 Jupiterradien um den Jupiter bewegen. Sie befinden sich dabei in der Äquatorebene und innerhalb der Magnetosphäre des Planeten. Sie sind äußerst interessante Objekte und werden daher weiter unten ausführlicher behandelt.
- Die vier Monde der mittleren Gruppe bewegen sich mit Abständen von 155 bis 164 Jupiterradien um den Planeten. Ihre Bahnen sind um  $29^\circ$  gegenüber der Äquatorebene des Jupiters geneigt und haben Exzentrizitäten von 0,13 bis 0,21. Die größten Objekte sind Himalia (Durchmesser: 170 km) und Elare (Durchmesser: 80 km).
- Die äußere Gruppe der Monde hat Durchmesser von 10 bis 30 km und bewegt sich in Abständen von 290 bis 332 Jupiterradien um den Planeten. Die Bahnen haben große Bahnneigungen ( $147$  bis  $163^\circ$ ) und hohen Exzentrizitäten. Wahrscheinlich handelt es sich um eingefangene Kleinplaneten.

Aufgrund ihrer Bedeutung und besonderen Stellung in der Systematik der Jupitermonde soll auf die galileischen Monde nachfolgend ausführlicher eingegangen werden.

Der Jupitermond Io hat einen aktiven Vulkanismus. Die Ursache hierfür ist die Gezeitenwirkung durch den Jupiter, welche das Innere des Mondes förmlich aufheizt und durchknetet. Die Entfernung zwischen Io und dem Jupiter ist vergleichbar mit der Entfernung zwischen Erde und Mond, doch hat der Jupiter eine 318-mal größere Masse als die Erde, so dass extreme Gezeitenkräfte wirken.

Der Jupitermond Europa ist von einem mächtigen Eispanzer umgeben. Er erscheint daher als weiß leuchtende Kugel, auf der dunkle Streifen zu sehen sind. Bei den dunklen Streifen könnte es sich um Risse handeln, welche vielleicht durch Erwärmung von innen heraus entstanden sind. Die Erwärmung könnte durch den Zerfall von radioaktiven Stoffen entstanden sein. Wenn das aufgeschmolzene Eis wieder erstarrt, können entsprechende Risse entstehen. Aufgrund der Gezeitenwirkung durch den Jupiter dürfte es auch unterhalb des dicken Eispanzers von Europa zu Aufheizungen kommen. In Folge könnte es unter dem dicken Eispanzer auch flüssiges Wasser geben. In diesem könnte wiederum einfache Lebensformen entstanden sein. Verifiziert ist diese These allerdings noch nicht. Europa hat ein schwaches, sich änderndes Magnetfeld, was ein starkes Indiz für einen salzhaltigen Ozean unter der Oberfläche ist. Die Oberflächentemperatur auf Europa liegt bei etwa  $-150^\circ\text{C}$ . Es sind nur weniger Einschlagkrater auf der Oberfläche von Europa zu finden, so dass diese etwa ein Alter von 30 Millionen Jahren haben dürfte.

Der Jupitermond Ganymed ist mit einem Durchmesser von 5.262 km der größte Mond im Sonnensystem. Auf seiner sonst strukturlosen Oberfläche zeigen sich auffällige Rillenmuster. Diese dürften von einer Restrukturierung seiner Oberfläche herrühren, welche etwa eine Milliarde Jahre nach seiner Entstehung stattgefunden haben soll. Die mögliche Ursache hierfür konnte allerdings



noch nicht verifiziert werden. Ebenso wie Europa hat auch Ganymed ein schwaches sich änderndes Magnetfeld, was ebenfalls von einem salzhaltigen Ozean herrühren dürfte. Ebenso wie auf Europa könnten dort einfache Formen von Leben entstanden sein, wobei auch diese These bisher nicht verifiziert worden ist.

Der Jupitermond Kallisto hat eine relativ alte Oberfläche, welche von Kratern übersät ist. Da es sich um einen Eismond handelt, welcher aus Gestein und Eis besteht, verlaufen die Krater flacher als zum Beispiel auf dem Mond oder dem Merkur. Der Eiskruste des Mondes erhitzt sich auf bis zu  $-143^{\circ}\text{C}$ , so dass das Eis bei einem Impakt weniger Widerstand hat und die Einschlagspuren daher flacher verlaufen.

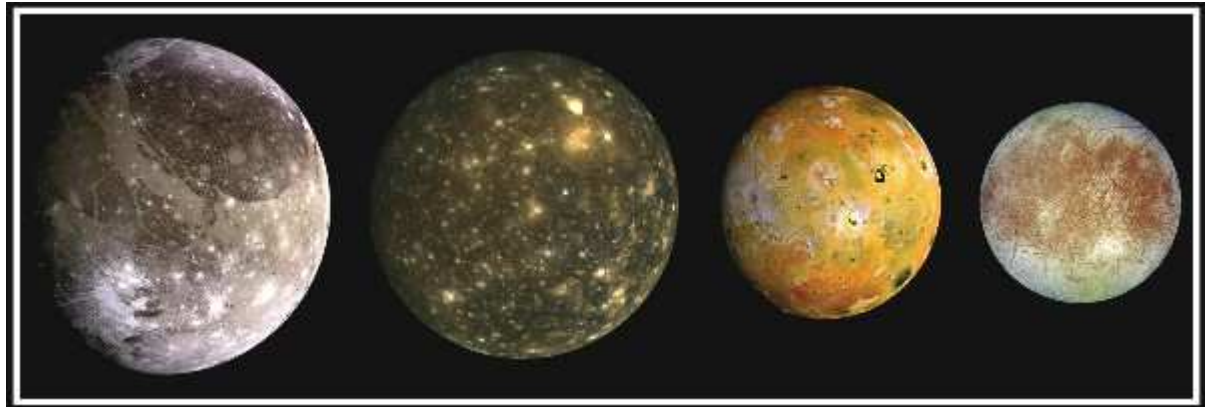


Bild 3: Von links nach rechts die vier galileischen Monde Ganymed, Kallisto, Io und Europa /  
Quelle: <https://astrokramkiste.de/jupiter> / NASA

Der Jupiter verfügt auch über ein Ringsystem, welches 1977 bei einer Sternbedeckung durch den Jupiter entdeckt und 1979 erstmals durch die US-Raumsonde Voyager 1 fotografiert wurde.

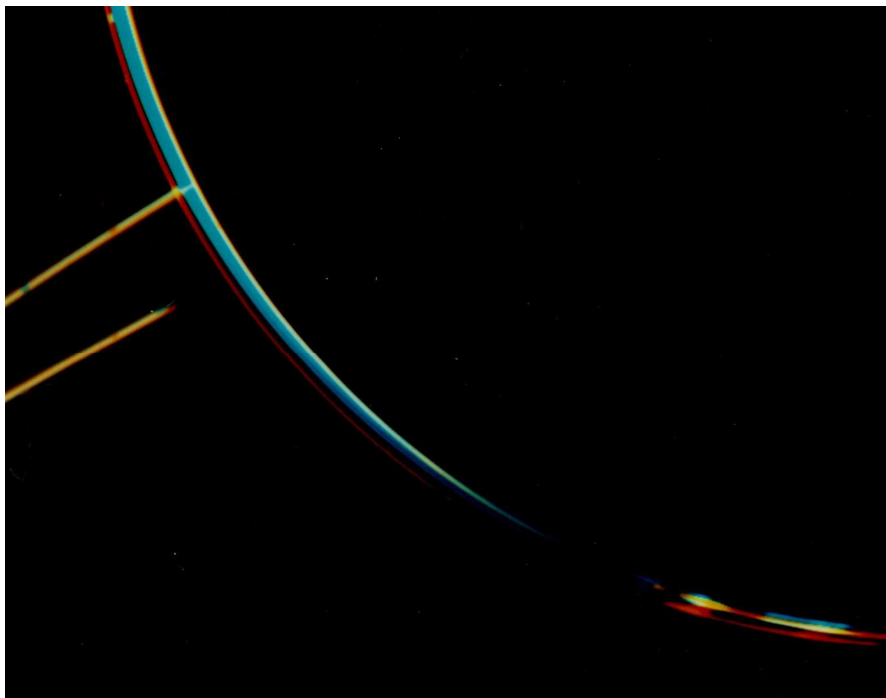


Bild 4: Der Ring um den Jupiter / <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>

Die Ringe des Jupiters sind bei weitem nicht so imposant wie die Ringe des Saturns und bestehen aus winzigen schwarzen Staubpartikeln. Das Ringmaterial stammt aus Staub, welcher bei Impakten von kleinen Meteoriten auf die innersten Jupitermonde freigesetzt wurde. So erzeugen die Monde Adrastea und Metis den Hauptring, während z.B. die Monde Amalthea und Theben für die beiden schwächeren Gossamer-Ringe verantwortlich sind. In zirka 10.000 Jahren stürzen die feinen Staubteilchen durch den Verlust ihres Bahndrehimpulses spiralförmig in den Jupiter. Den Bahndrehimpuls verlieren sie dabei auf verschiedene Weise. So stoßen die Partikel zusammen und verlieren dadurch an Drehimpuls. Des Weiteren laden sich die Staubteilchen im Magnetfeld auf und werden dadurch ebenfalls abgebremst. Auch durch Absorption und Reemission von Strahlung verlieren sie Drehimpuls. Letzterer Vorgang wird als Poynting-Robertson-Effekt bezeichnet.

## 6 Raumfahrtmissionen zum Jupiter

Mit Pionier 10 und 11 starteten die USA / NASA ihre Raumfahrtmissionen zum Jupiter. Pionier 10 wurde am 03. März 1972 gestartet und flog am 03. Dezember 1973 am Jupiter vorbei. Im Rahmen dieser Mission wurden vor allem Erkenntnisse über die Atmosphäre und das Magnetfeld des Jupiters gewonnen. Pionier 11 wurde am 06. April 1973 gestartet und flog am 03. Dezember 1974 am Jupiter vorbei. Im Rahmen dieser Mission wurden unter anderem die ersten Bilder von der Polregion des Jupiters und detaillierte Aufnahmen vom Großen Roten Fleck gemacht. Durch ein sogenanntes Swing-by-Manöver, bei dem die Sonde durch das Gravitationsfeld des Jupiters einen zusätzlich Schwung und eine Richtungsänderung bekommt, wurde Pionier 11 auf den Weg zum Saturn gebracht. Diesen Planeten erreichte sie am 01. September 1979.

Die US-Raumsonde Voyager 1 wurde erst nach der Raumsonde Voyager 2 am 05. September 1977 gestartet und flog allerdings noch vor Voyager 2 am 05. März 1979 an Jupiter vorbei. Im Rahmen dieser Mission wurden erstmals die Ringe des Jupiters fotografiert und der Vulkanismus auf dem Mond Io entdeckt. Die US-Raumsonde Voyager 2 wurde zwar vor der Raumsonde Voyager 1 am 20. August 1977 gestartet, flog allerdings erst nach Voyager 1 am 09. Juli 1977 am Jupiter vorbei. Im Rahmen dieser Mission wurden auf Basis der Ergebnisse von Voyager 1 weitere Messungen durchgeführt. Startzeitpunkt und Bahn von Voyager 2 wurden so gewählt, dass die Raumsonde 1979 am Saturn, 1986 am Uranus und 1989 am Neptun vorbei flog. Dies erklärt auch, warum die Raumsonde trotz des früheren Startzeitpunktes erst zirka zwei Monate nach Voyager 1 am Jupiter vorbei flog.

Die Mission Galileo war ein Gemeinschaftsunternehmen der NASA / USA und der DLR / Deutschland. Gestartet wurde die Sonde am 18. Oktober 1989. Um Energie zu sparen wurde ein komplizierterer Reiseweg genutzt, der über mehrere Umwege, welche an anderen Himmelskörpern vorbeiführten, erst im Jahre 1995 zum Jupiter führte. Am 07. Dezember 1995 trat die Sonde in eine Umlaufbahn um den Jupiter ein und war damit der erste Jupiter-Orbiter. Bereits am 12. Juli 1995 wurde eine Tochtersonde abgetrennt, welche am 07. Dezember 1995 in die Jupiteratmosphäre eindrang. Bei ihrem Abstieg wurden verschiedene Messungen durchgeführt, darunter des Druckes und der Temperatur. In 160 km Tiefe, bei einem Druck von 22 Atmosphären und einer Temperatur von +152°C, stellte die Atmosphärensonde ihre Sendungen ein.

Die nächsten drei Raumfahrtmissionen hatten andere Ziele, führten allerdings unter anderem auch am Jupiter vorbei. Die Mission Ulysses war ein Gemeinschaftsprojekt von NASA / USA und ESA / Europa, welche am 06. Oktober 1990 gestartet wurde. Am 08. Februar 1992 wurde ein Swing-by-Manöver am Jupiter durchgeführt, bevor die Raumsonde in eine Umlaufbahn um die Sonne mit hoher Inklination (Neigung) zur Ekliptik gebracht wurde. Die Sonde erforschte von dieser Umlaufbahn aus die Pole der Sonne. Die Mission Cassini-Huygens war ein Gemeinschaftsprojekt von NASA / USA, ESA / Europa und ASI (Italien), welche am 15. Oktober 1997 gestartet wurde. Auch hier wurde aus energetischen Gründen eine Flugbahn mit mehreren Swing-by-Manövern gewählt. Eines dieser Manöver wurde Ende 2000 am Jupiter durchgeführt, wo hoch aufgelöste

Aufnahmen vom Jupiter erstellt wurden. Die Sonde trat am 30. Juni 2004 als erster Orbiter in eine Umlaufbahn um den Saturn ein. Ein Lander setzte am 14. Januar 2005 erfolgreich auf dem Saturnmond Titan auf. Die US-Raumsonde New Horizons wurde am 19. Januar 2006 gestartet. Ihr Ziel war der Zwergplanet Pluto, den sie am 14. Juli 2015 erreichte. Zuvor führte die Raumsonde am 28. Februar 2007 ein Swing-by-Manöver beim Jupiter durch. New Horizons wird weiter durch den Kuiper-Gürtel fliegen und danach das Sonnensystem verlassen.

Die NASA- bzw. US-Raumsonde Juno wurde am 05. August 2011 gestartet und trat am 04. Juli 2016 in eine polare Umlaufbahn um den Jupiter ein. Während der für 20 Monate geplanten Missionsdauer soll insbesondere die Atmosphäre und die Magnetosphäre des Jupiters erforscht werden.

Es sind noch weitere Missionen zum Jupiter geplant, in deren Rahmen auch die Jupitermonde untersucht werden sollen. Hierbei dürften vor allem die Monde Europa und Ganymed von Interesse sein, da sie wie bereits im vorangehenden Kapitel beschrieben über flüssiges Wasser und einfache Formen von Leben verfügen könnten. Im Falle von möglichen Missionen mit Mond-Landern müssen dann besondere Vorkehrungen getroffen werden, um eine mögliche Kontamination dieser Monde mit irdischen Bakterien zu verhindern.

## 7 Schlusswort

Der Jupiter ist ein wahrer Gigant im Sonnensystem. Mit 318 Erdmassen übersteigt der Planet die Summe der Massen aller anderen Planeten des Sonnensystems um das 2,5-fache. Auch von seiner Größe ist der Planet gewaltig. Sein Äquatordurchmesser beträgt 142.984 km. Aneinandergereiht würde die Erde dort 11-mal Platz finden. Innerhalb des Jupitervolumens würde das Volumen der Erdkugel sogar 1.300-mal hineinpassen. Von der Erde aus gesehen hat das Scheibchen des Jupiters eine Größe zwischen 30 und 49 Bogensekunden, so dass bei einer Sichtbarkeit des Planeten immer Einzelheiten in seiner Atmosphäre beobachtet werden können.



Bild 5: Der Jupiter mit dem Großen Roten Fleck und einem Mond vor der Planetenscheibe /  
Foto: Ralf Schmidt

Im Sonnensystem gibt es zwei Arten von Planeten. Die inneren vier terrestrischen Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars sowie die äußeren vier Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Der Jupiter führt die Klasse der äußeren Gasplaneten an, so dass auch von jupiterartigen Planeten gesprochen wird. Die Zusammensetzung der Jupiteratmosphäre mit 89 Prozent Wasserstoff, 11 Prozent Helium und Spuren von anderen Stoffen entspricht in etwa der Zusammensetzung der Sonne. Allerdings hätte der Jupiter das 75-fache seiner Masse haben müssen, um als Stern strahlen zu können. Die Grenze zum Braunen Zwergen liegt etwa beim 13-fachen der Jupitermasse. Ein Brauner Zwerg würde sich optisch also nicht zu sehr von einem Gasplaneten unterscheiden. Allerdings reicht die Masse eines Braunen Zwergen aus, um das sogenannte Deuteriumbrennen zu starten. Das ist die Fusion von Wasserstoff (ein Proton im Kern) und schwerem Wasserstoff (Deuterium, ein Proton und ein Neutron im Kern) zum Helium-3-Isotop (zwei Protonen und ein Neutron im Kern). Das unterscheidet die Braunen Zwerg von Planeten. Im Falle des Jupiters ist die Masse zu gering, um das Deuteriumbrennen zu zünden. Von einem Stern unterscheidet sich der Braune Zwerg, da seine Masse wiederum zu gering ist, das Wasserstoffbrennen, die Fusion von Wasserstoff zu Helium-4 (zwei Protonen und zwei Neutronen im Kern), zu starten.

Im Sonnensystem nimmt der Jupiter auch eine ordnende Stellung ein. Er lenkt aufgrund seiner großen Masse Kleinkörper im Sonnensystem, etwa Kometen oder Planetoiden, von den inneren Planeten ab. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit von Impakten auf die terrestrischen Planeten und ist damit eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung und Existenz von Leben auf der Erde. Im Juli 1994 konnte der Einsturz von etwa zwei Dutzend Trümmerstücken des Kometen Shoemaker-Levy in die Jupiteratmosphäre beobachtet werden. Dabei wurden große Energiemengen freigesetzt, welche von der kinetischen Energie der Impaktkörper herrühren. Wochenlang konnten die Spuren dieser Einschläge als dunkle Flecken im optischen Bereich bzw. als helle Flecken im infraroten Bereich beobachtet werden. Mittlerweile wurden weitere Einschläge beobachtet. Dass sich zwischen dem Mars und dem Jupiter kein Planet entwickelt hat, dürfte ebenfalls auf die Wirkung des Jupiters zurückgegangen sein.

Diese Abhandlung über den Jupiter ist das Ergebnis einer Literaturrecherche. Die hierfür verwendete Literatur ist im Literaturverzeichnis aufgeführt und eignet sich auch zur Vertiefung der Thematik. Ich möchte allen sehr danken, welcher mir beim Erstellen der Abhandlung geholfen haben. Dies gilt vor allem für das Korrekturlesen und die Zurverfügungstellung von Bildern.

## 8 Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

- 1) Arnold Hanslmeier, Einführung in die Astronomie und Astrophysik, 2013.
- 2) Hans Ulrich Keller, Das Himmelsjahr 2014 – Monatsthema: Jupiter – Gigant des Sonnensystems, 2013.
- 3) A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, 2009.
- 4) Kenneth R. Lang / Charles A. Whitney, Planeten – Wanderer im All, 1993
- 5) Rudolf Kippenhahn, Unheimliche Welten, 1987.
- 6) <http://www.planetenkunde.de/>, abgerufen im Dezember 2016

Bilderverzeichnis:

Titelbild: NASA

Bild 1: Copyright Calvin J. Hamilton, [www.solarviews.com](http://www.solarviews.com)

Bild 2: NASA

Bild 3: <https://astrokramkiste.de/jupiter/> / NASA

Bild 4: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/>

Bild 5: Ralf Schmidt