

Jupiter und die galileischen Monde

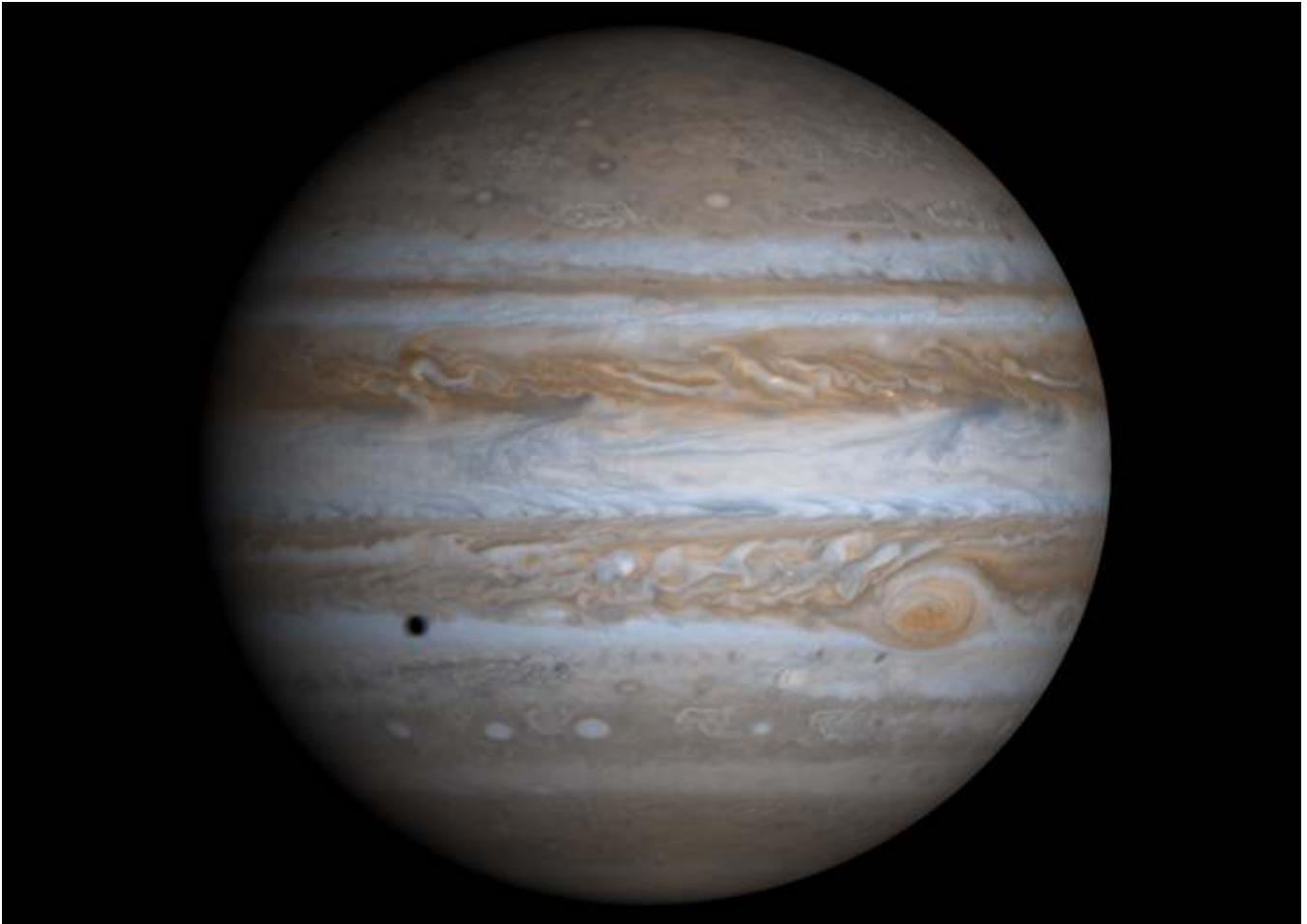


@KVHS Astro-Stammtisch

Reinhard Woltmann

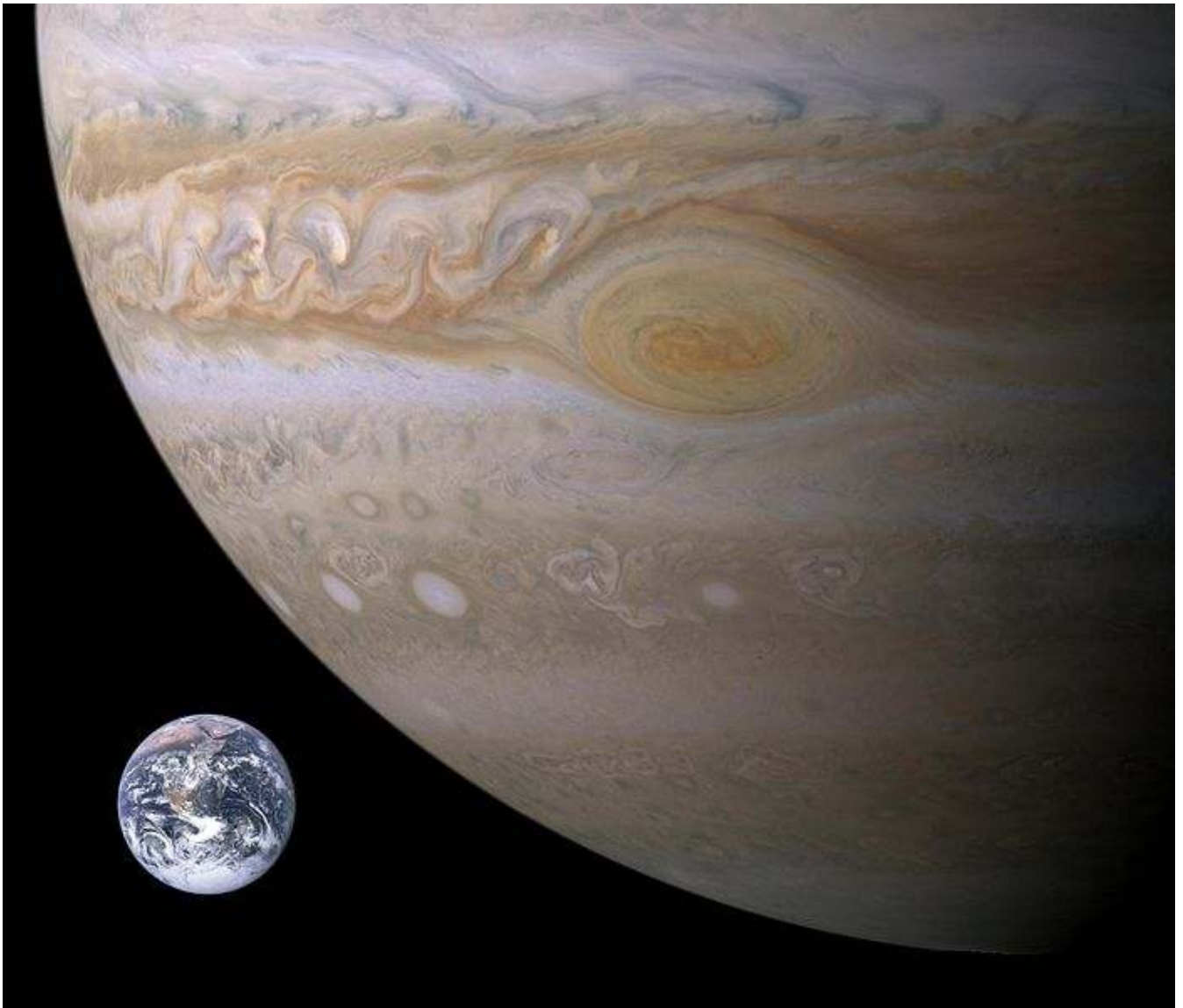
11.05.2012

Jupiter ist der fünfte Planet von der Sonne aus und bei weitem der größte in unserem Sonnensystem.



Er ist nach Sonne, Mond und Venus das vierthellste Objekt am Himmel und seit prähistorischer Zeit als „Wanderstern“ (die altgriechische Bezeichnung für Planet) bekannt. Galilei entdeckte als Erster mit seinem selbstgebaute Teleskop im Jahre 1610 seine vier größten Monde Io, Europa, Ganymed und Kallisto, die seither auch als galileische Monde bekannt sind.

Jupiter ist ein Gigant, fasst man alle anderen Planeten unseres Sonnensystems zusammen, so wäre die erhaltene Masse immer noch geringer als die von Jupiter. Mit $1,9 \times 10^{27}$ Kg ist er mit Abstand der größte Planet des Sonnensystems. Ein Vergleich mit der Erde macht dies deutlich.



Größenvergleich Erde - Jupiter

Beim Jupiter treffen wir auf einen Planeten, der keine feste Oberfläche aufweist, eine Sonde könnte hier also nicht landen. Jupiter ist ein riesiger Gasball mit rund 142 980 km Durchmesser, der gegenüber den anderen Planeten des Sonnensystems eine Besonderheit aufweist: Er strahlt 1,9-mal mehr an Wärme in den Weltraum ab, als er von der Sonne empfängt. Das ist seltsam, denn nukleare Reaktionen können nicht in seinem Innern ablaufen, dazu ist seine Masse zu gering. Auch der radioaktive Zerfall instabiler Elemente kann nicht die Ursache sein. Eine plausible Erklärung dieses Phänomens ist noch nicht sicher, möglicherweise wird aber Wärme abgestrahlt, weil der Planet sich noch heute zusammenzieht. Damit wäre Gravitationsenergie die in Wärme umgewandelt wird die gesuchte Quelle.

Die wichtigsten Daten des Planeten in tabellarischer Form:

Planetendaten des Jupiter	
Masse	$1,900 \cdot 10^{27} \text{ kg}$
Mittl. Durchmesser	142 984 km
Mittl. Dichte	$1,33 \text{ g/cm}^3$
Entweichgeschwindigkeit	59,5 km/s
Rotationsperiode	9 [h] 50 [min] 30 [s] Äquator 9 [h] 55 [min] 40 [s] Pole
Umlaufzeit	4.332,71 Tage
Bahngeschwindigkeit	13,07 km/s
Bahnumfang	$4,9 \cdot 10^9 \text{ km}$
Neigung Jupiterachse zur Ekliptik	$3^\circ 13'$
Abstand zur Sonne	Perihel: $740,52 \cdot 10^6 \text{ km}$ Aphel: $816,62 \cdot 10^6 \text{ km}$
Exzentrizität	0,0484
Oberflächentemperatur	-121 °C (Mittel)
Atmosphärendruck	0,7 bar
Albedo	0,70
Magnetfeldstärke	$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ (Erde = $0,15 \cdot 10^{-3} \text{ T}$)

Jupiter umläuft die Sonne auf einer Ellipsenbahn, deren großer Halbmesser 778,4 Millionen km misst. Aus einer durchschnittlichen Bahngeschwindigkeit von 13,07 km/s resultiert eine siderische Umlaufzeit von 11,86 Jahren. Von der Sonne ist der Gasriese im Mittel 5,2 [AE] entfernt, der Erde kann er bis auf 588 Millionen km nahe kommen, sich aber auch bis zu 967 Millionen km von uns entfernen. Bei größter Annäherung steigt seine scheinbare Helligkeit auf bis zu $-2,5^m$ an, wodurch er heller als Sirius erscheint.

Jupiter hat eine wichtige Funktion in unserem Sonnensystem. Da er schwerer ist als alle anderen Planeten zusammen, bildet er eine wesentliche Komponente des Massengleichgewichtes im Sonnensystem. Er stabilisiert durch seine Masse den

Asteroidengürtel. Ohne Jupiter würde statistisch gesehen alle 100.000 Jahre ein Asteroid aus dem Asteroidengürtel die Erde treffen und Leben dadurch vermutlich unmöglich machen.

Das auffälligste Gebilde auf Jupiter ist der Große Rote Fleck. (GRF) Dabei handelt es sich um einen gewaltigen Sturm in der Jupiteratmosphäre, vergleichbar mit einem Hurrikan. Er wird seit etwa 300 Jahren beobachtet, wenngleich er vorübergehend auch kleiner und farbloser gewesen ist als derzeit.

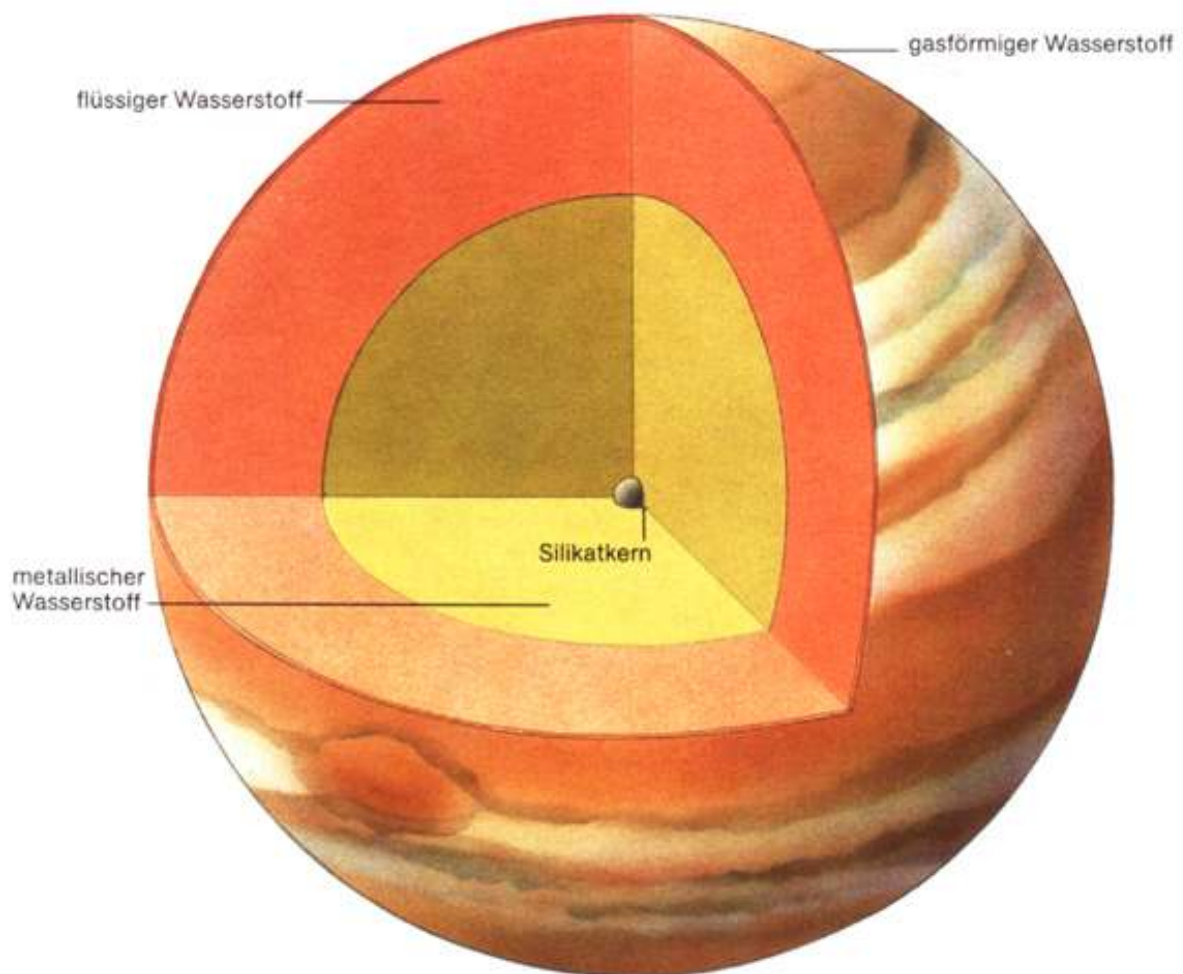


Der Große Rote Fleck ist etwa 26.000 x 13.000 Kilometer groß, viel größer also als die Erde. Seine Wolken ragen rund 8 Kilometer über die sonstige Umgebung hinaus. Vermutlich sind sie etwa 20 bis 40 Kilometer dick und bestehen größtenteils aus Ammoniak und Eis. Wir wissen nicht, warum sie rötlich erscheinen, vielleicht ist Phosphor im Spiel. Innerhalb des Großen Roten Flecks wirbeln die Wolken in sechs Tagen einmal um sich herum.

Der innere Aufbau des Jupiters:

Jupiter hat keine klar begrenzte Atmosphäre. Fast der ganze Planet besteht aus Gasen, und die Gashölle geht ohne Phasenübergang mit zunehmender Tiefe in einen flüssigen Zustand über.

Hauptbestandteile des Außenbereichs sind Wasserstoff zu etwa 89 Vol-% und Helium zu etwa 10 Vol-% sowie in geringerer Menge Methan und Ammoniak. Die Massenverteilung entspricht damit etwa 75 % Wasserstoff, 24 % Helium und 1 % andere Elemente. Des Weiteren wurden Spuren von chemischen Verbindungen der Elemente Sauerstoff, Kohlenstoff, Schwefel, aber auch von Edelgasen wie z. B. Neon gefunden.

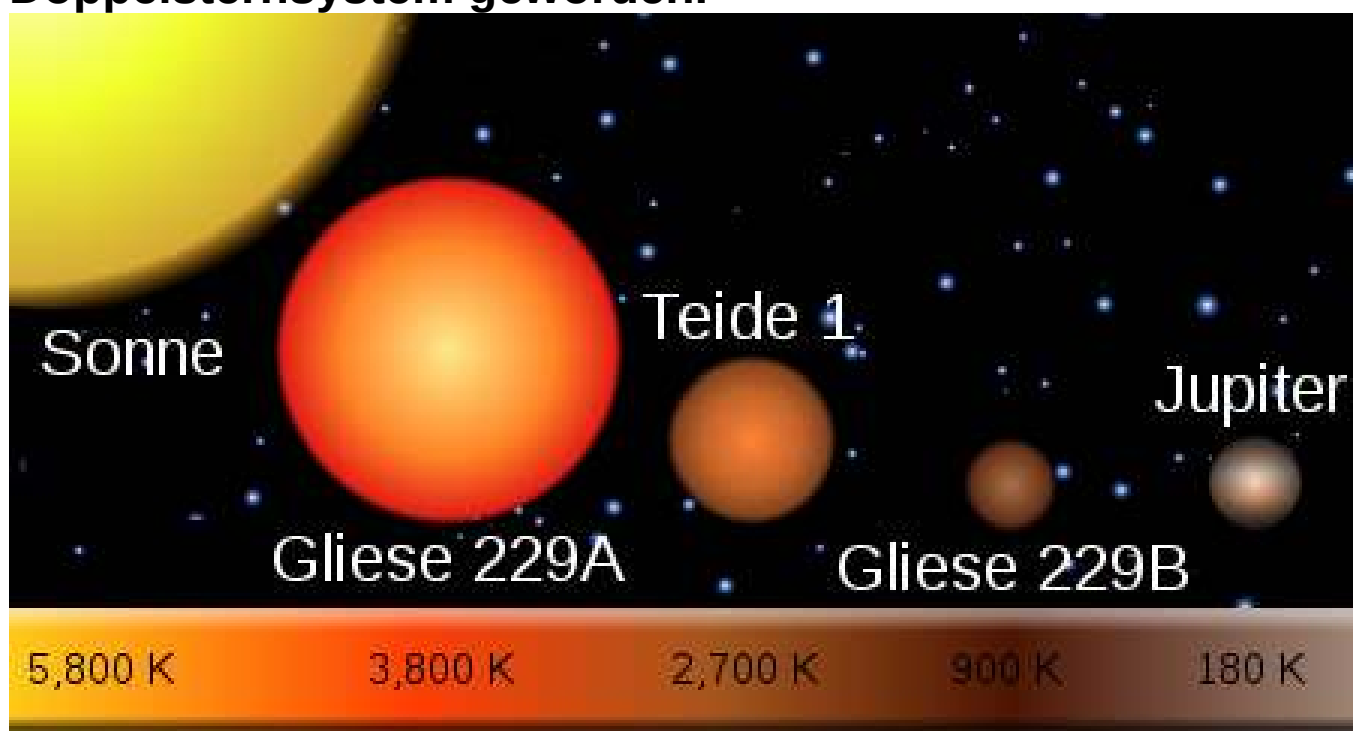


Mit zunehmender Tiefe geht wegen des hohen Drucks der Wasserstoff vom gasförmigen in den flüssigen Zustand über.

Es gibt dabei keinen Phasenübergang zwischen den Aggregatzuständen, da der Druck in den Tiefen des Planeten jenseits des kritischen Punktes ansteigt. Unter diesen Bedingungen ist die Unterscheidung zwischen Gas und Flüssigkeit nicht mehr möglich. Daher kann auch keine Oberfläche als Grenzfläche definiert werden.

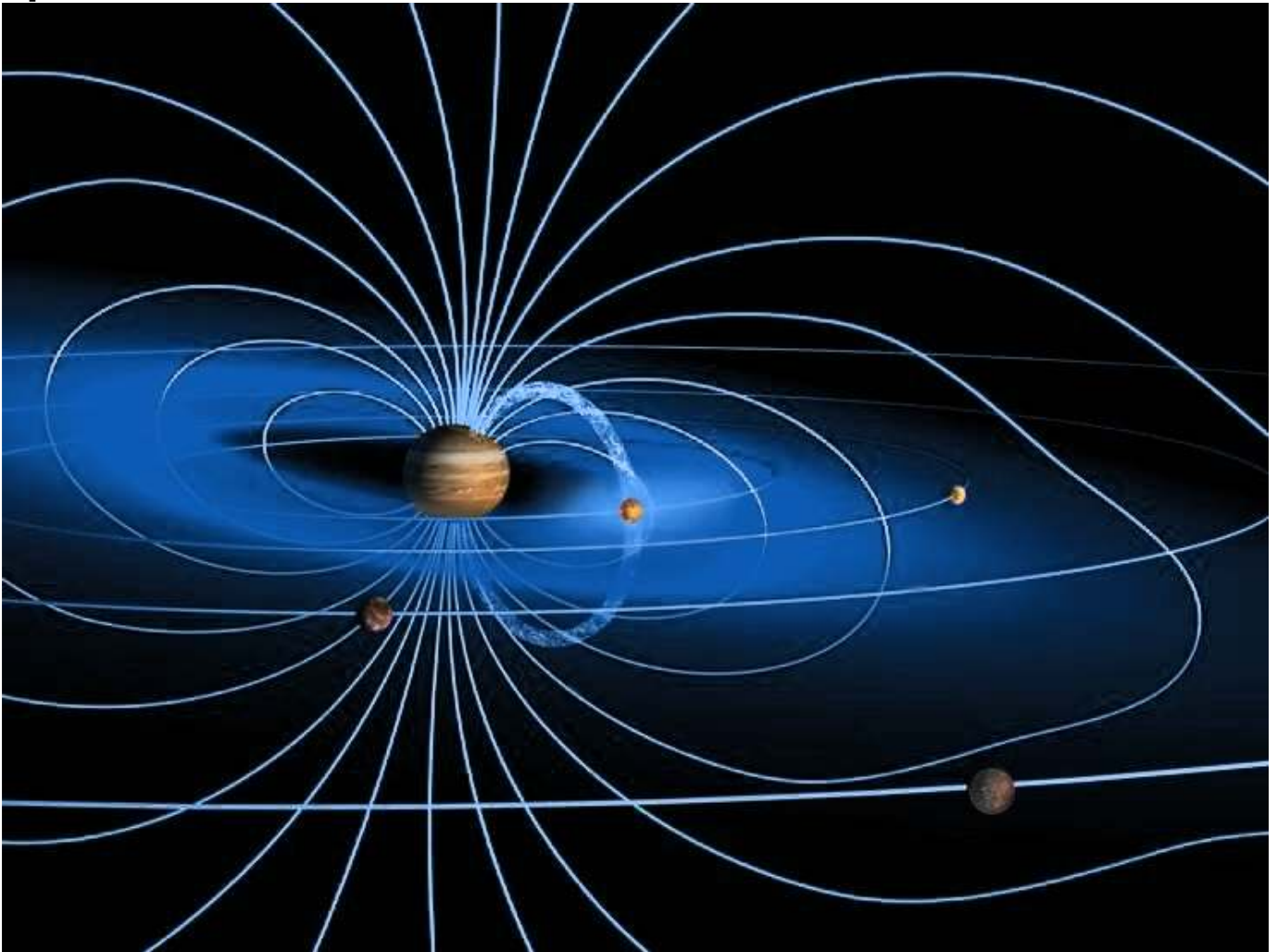
Unterhalb etwa 24 % des Jupiterradius geht der Wasserstoff bei einem Druck jenseits von 300 Millionen Erdatmosphären in eine metallische Form über. Es wird vermutet, dass Jupiter unterhalb dieser metallischen Wasserstoffschicht einen Gestein-Eis-Kern hat, der aus schweren Elementen besteht mit bis zu etwa 20 Erdmassen.

Insgesamt gleicht Jupiters Zusammensetzung sehr der Gasscheibe, aus der sich vor etwa 4,5 Milliarden Jahren die Sonne entwickelt hat. Wäre seinerzeit noch mehr Materie vorhanden gewesen, hätte sich u.U. aus Jupiter ein brauner, oder sogar ein roter Zwerg entwickeln können. Aus unserem Sonnensystem wäre dann ein Doppelsternsystem geworden.



Das Magnetfeld des Jupiters.

Sehr interessant ist das ausgeprägte Magnetfeld des Jupiter, das mit 1200 Mikrottesla fast zwanzigmal stärker als das der Erde ist. Die genaue Entstehung des Magnetfeldes ist bei Jupiter noch ungeklärt, jedoch gilt als gesichert, dass der metallische Wasserstoff sowie die schnelle Rotationsperiode Jupiters eine entscheidende Rolle spielten.



Während das Magnetfeld zur Sonne etwa 6 Millionen Km ausgedehnt ist, erstreckt es sich auf der Sonnenabgewandten Seite rund 700 Millionen Km bis weit über die Saturnbahn hinaus. Auf der Sonnenzugewandten Seite bildet sich eine Stossfront, wenn die elektrisch geladenen Teilchen des Sonnenwinds auf das Magnetfeld prallen und es zusammenstauchen. Auf der Sonnenabgewandten Seite wird es dagegen in die Länge

gezogen. Damit liegen auch die Monde Jupiters in seinem Magnetfeld, was einige Besonderheiten bewirkt. Den Raum, den das Magnetfeld ausfüllt, bezeichnet man als Magnetosphäre. Sie ist das größte Gebilde im ganzen Sonnensystem.

Das starke Magnetfeld fängt beständig geladene Teilchen ein, so dass sich Ringe und Scheiben aus geladenen Teilchen um Jupiter bilden. Diese geladenen Teilchen können zum Beispiel aus dem Sonnenwind stammen. Eine weitere Quelle für geladene Teilchen sind die Monde des Jupiters. So findet man beispielsweise einen Ring aus geladenen Schwefelatomen um Io herum, während sich um Europa herum ein Torus aus Wassermolekülen gebildet hat.

Die Ringe des Jupiters.

Jupiter hat ein sehr schwach ausgeprägtes Ringsystem, das schon seit der Pioneer 11-Mission 1974 vermutet wurde und 1979 von Voyager 1 erstmals fotografiert werden konnte. Als die Sonde am 5. März 1979 in den Jupiterschatten eintauchte, waren die Ringe im Gegenlicht zu erkennen.



Hauptring fotografiert am 9. November 1996 von Galileo

Lange Zeit blieb die Herkunft der Ringe unbekannt, und eine erdgebundene Beobachtung erwies sich als außerordentlich schwierig, da die Ringe aus Staubkörnchen bestehen, die zum Großteil nicht größer sind als die Partikel des Rauches einer Zigarette. Hinzu

kommt, dass die Staubteilchen nahezu schwarz und daher kaum sichtbar sind: Sie haben eine Albedo von lediglich 5 %, verschlucken also 95 % des auftreffenden, dort ohnehin schon schwachen Sonnenlichts.

Ein weiterer Grund für die geringen Ausmaße der Ringe ist die Tatsache, dass sich die Ringe langsam spiralförmig auf Jupiter zu bewegen und in ferner Zukunft schließlich von ihm aufgesaugt werden. Die spiralförmige Rotation hat unterschiedliche Ursachen. Zum einen bewirkt das starke Magnetfeld Jupiters ein elektrisches Aufladen der Staubteilchen. Diese stoßen mit anderen geladenen Teilchen zusammen, die Jupiter zum Beispiel aus dem Sonnenwind einfängt, was schließlich zu einer Abbremsung der Teilchen führt. Dieser Effekt bewirkt, dass der Staub innerhalb eines Zeitraumes von etwa 100.000 Jahren ganz aus den Ringen verschwinden wird.



Der Ursprung der Ringe konnte erst durch die Galileo-Mission geklärt werden. Der feine Staub stammt wahrscheinlich von den kleinen felsigen Monden Jupiters. Die Monde werden ständig von kleinen Meteoriten bombardiert. Durch die geringe Schwerkraft der Monde wird ein Großteil des Auswurfs in die Jupiterumlaufbahn geschleudert und füllt damit die Ringe ständig wieder auf.

Die galileischen Monde

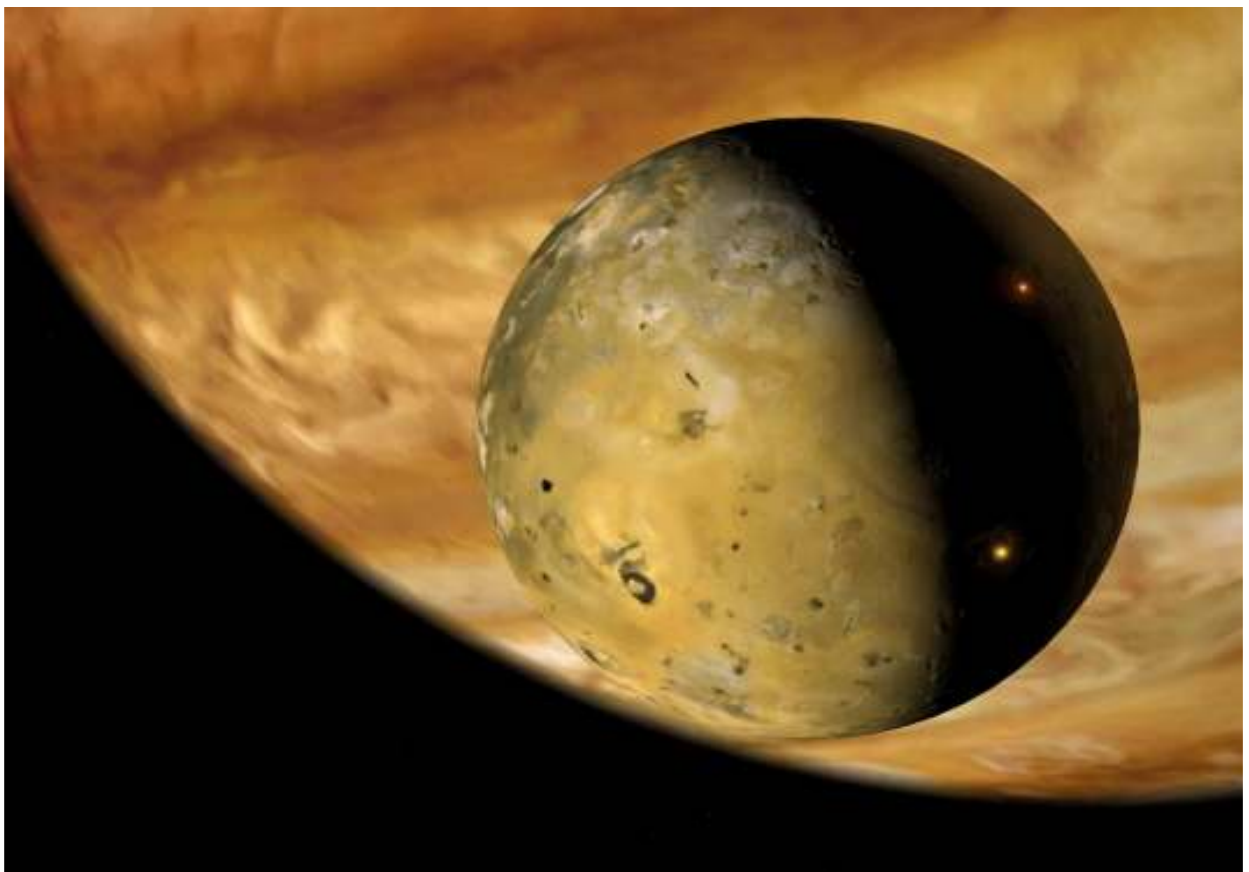
Mond Io

Io umkreist Jupiter in einer Distanz von 421 600 Km (große Halbachse) auf einer leicht elliptischen Bahn. Einen Umlauf um den Jupiter erledigt Io in nur 1 Tag, 18 Stunden und 27,5 Minuten.



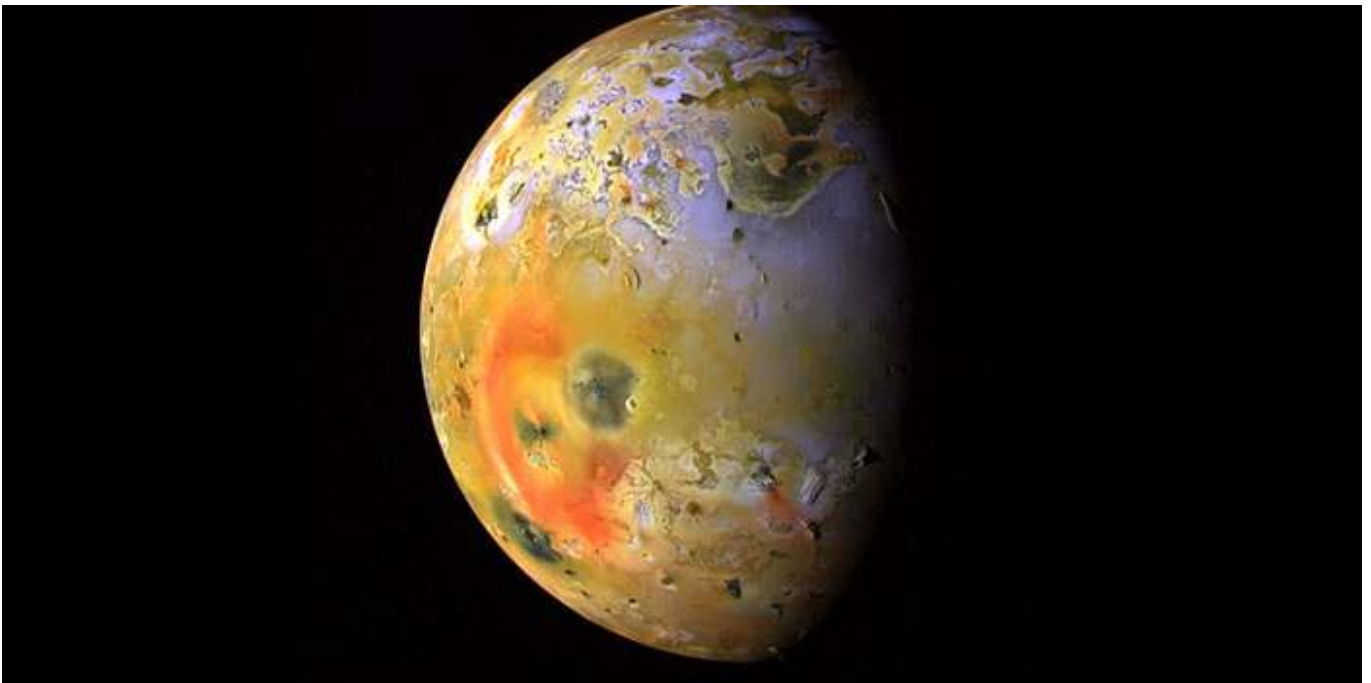
Wie bei unserem Erdmond ist die Rotation gebunden, was bedeutet, dass Io sich während eines Umlaufs einmal um sich selbst dreht und damit Jupiter stets dieselbe Seite zuwendet. Mit $8,94 \times 10^{22}$ Kg ist er etwas schwerer als unser Mond.

Obwohl Io keine Atmosphäre besitzt, stellen wir erstaunt fest, dass die Oberfläche längst nicht so pockennarbig aussieht wie die unseres Mondes oder von Merkur.



Die Ursache ist die Vulkanaktivität dieses Mondes. Io ist der vulkanisch aktivste Körper im ganzen Sonnensystem. Das Auswurfmaterial der Vulkane wird nahezu 200 - 300 Km hoch geschleudert. Wenn es auf den Mond zurück fällt, bildet es große Niederschlagsringe, die bis über 1000 Km Durchmesser erreichen können. Auf diese Weise sind längst alle Einschlagkrater eingeebnet. Neue Einschläge durch Kometen oder Asteroiden werden schnell wieder durch Auswurfmaterial aufgefüllt und nach relativ kurzer sind sie nicht mehr erkennbar.

Das Element Schwefel ist die Ursache für die unterschiedlichen weißen, gelben, roten oder braunen Farbtöne auf der Oberfläche, denn es tritt bei verschiedenen Temperaturen in unterschiedlichen Modifikationen auf.



Damit müssen wir uns nun fragen, worin der äußerst aktive Vulkanismus begründet ist. Schließlich ist Io nur ein paar Kilometer größer als unser völlig inaktiver Erdmond! Des Rätsels Lösung ist in den starken Gezeitenkräften zu finden. Nicht nur Jupiter mit seiner riesigen Masse zerrt an ihm, auch die Nachbarn Europa und Ganymed helfen fleißig mit, Io regelrecht durchzuwalken.

Die Gezeitenkräfte bewirken ein regelmäßiges, wechselseitiges Zusammenpressen und Entspannen des Mondinnern. Hierdurch entstehen große Reibungskräfte, die letztendlich in Wärme umgewandelt werden. Die freigesetzte Wärmemenge ist so hoch, dass große Teile der Materie im Innern aufschmelzen. Aus dieser Quelle, letztendlich in Wärme umgewandelte Gravitationsenergie, beziehen die Vulkane ihren ständigen Nachschub an frischer Magma.

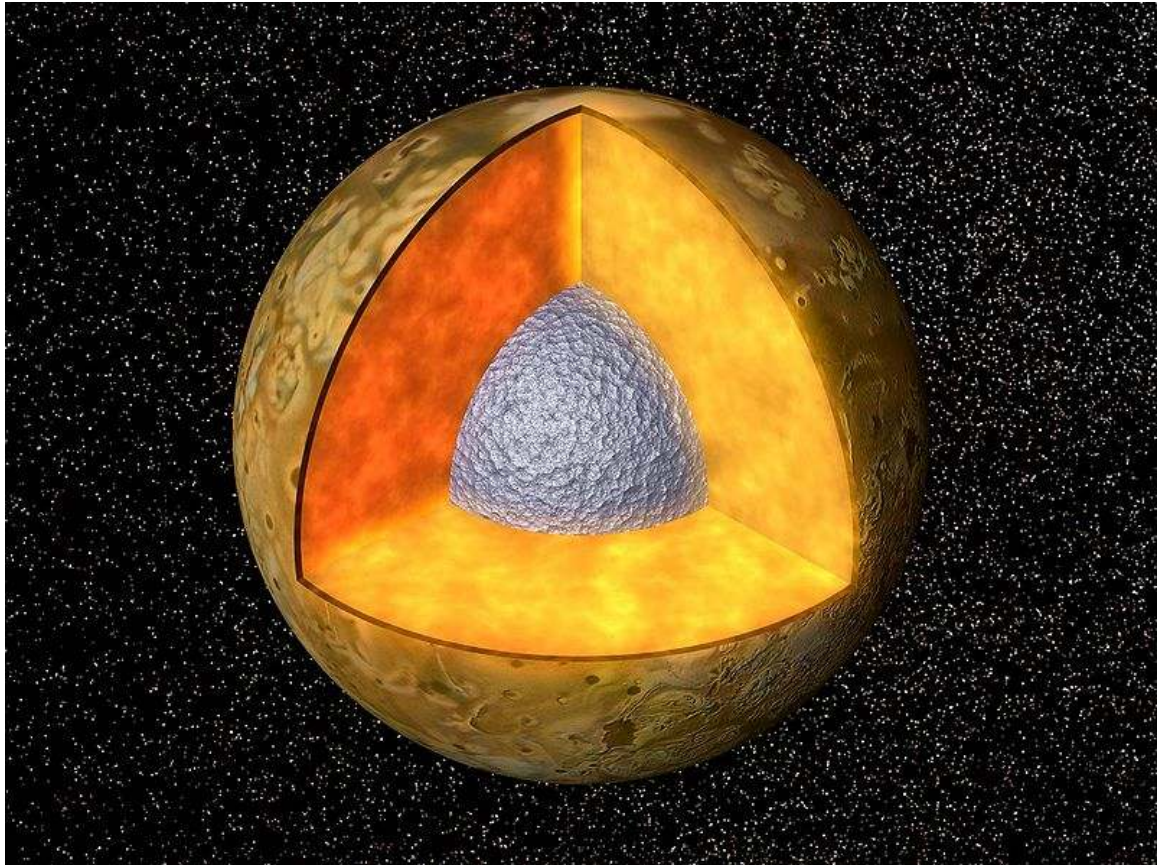
In dieser Aufnahme der Sonde New Horizons aus dem Jahr 2007 sehen wir am oberen Rand von Io eine etwa 330 km hohe Eruptionswolke eines Vulkans. Der helle Punkt darunter ist glühende Lava in der Caldera des Vulkans.



Die heftigen Vulkanausbrüche werfen neben schwefelhaltigen Stoffen, die wieder auf den Boden abregnen, auch gasförmiges Schwefeldioxid aus. Dieses verteilt sich längs der Iobahn zu einem torusförmigen Ring, in welchem Schwefel-, Sauerstoff- und sogar Natriumionen

nachgewiesen wurden. Auf diese Weise verliert Io ständig an Masse.

Von der Dichte her gesehen, $3,53 \text{ g/cm}^3$, muss man Io zu den erdartigen, planetaren Körpern zählen.



Den inneren Aufbau von Io kann man in etwa ableiten aus ihrem Gravitationsfeld und den Messungen ihres Magnetfeldes durch die Galileo- Raumsonde. Im Zentrum vermutet man einen Kern, der aus einer Eisen-Nickel-Legierung bestehen dürfte. Der Kern ist umgeben von einer Schale aus silikatischem Gestein, welche die Hauptmasse des Mondes darstellt. Die vom Vulkanismus gezeichnete Kruste hat vermutlich längst flüchtige Verbindungen wie z.B. Wasser, Kohlendioxid oder Stickstoff verloren.

Mond Europa

Als nächster Nachbar von Io umkreist Europa den Jupiter auf eine Ellipsenbahn, deren großer Halbmesser 670 900 Km misst und eine Exzentrizität von nur 0,01 hat. Für einen

Umlauf benötigt Europa 3 Tage, 13 Stunden und 13,7 Minuten. Wie Io weist auch Europa eine gebundene Rotation auf. Mit ihrem Durchmesser von 3138 Km ist Europa etwas mehr als 300 Km kleiner als unser Mond, auch die Masse von $4,87 \times 10^{22}$ Kg und die Dichte von $3,01 \text{ g/cm}^3$ liegen ein wenig darunter.



Aufgrund dieser Daten zählt auch Europa zu den erdartigen Himmelskörpern.

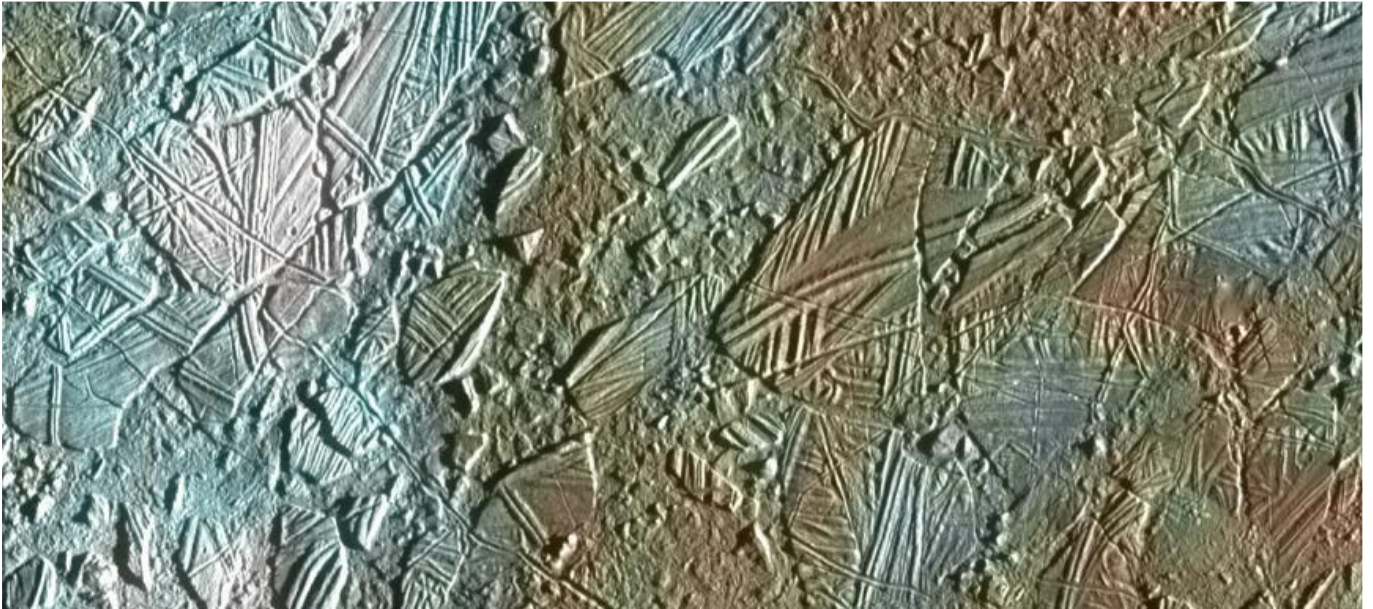
Betrachtet man die Oberfläche von Europa, gewinnt man den Eindruck als schaue man auf gesprungenes Glas: Das ist auch kein Wunder, ist doch Europa von einer 10 bis 30 Km dicken Kruste aus Wassereis überzogen. Am auffälligsten sind jedoch die langen, dunklen Streifen. Sie können sich bis über 3000 Km weit erstrecken. Die braun erscheinenden Gebiete deuten auf gesteinsartiges Material hin, das entweder aus dem Mondinnern aufgeschwemmt wurde (Schlammauswurf) oder von eingesammelten Kleinkörpern stammt.



Insgesamt ist Europa topografisch gesehen eher langweilig. Gebirge oder Täler sucht man hier vergebens. Lediglich 3 größere Einschlagkrater bieten ein wenig Abwechslung. Die Ursache für die relativ ebene Oberfläche ist darin zu suchen, dass der Eispanzer in der Vergangenheit mindestens einmal geschmolzen war, das Wasser hat dabei alle Bodenformationen überdeckt. Die Energie für die Eisschmelze lieferten wieder die Gezeitenkräfte: Jupiter und die Nachbarmonde Io und Ganymed pressen und entspannen Europa ständig durch ihre Gravitationskräfte.

Wie ein großer Eiskristall sieht die Oberfläche Europas aus, hier die so genannte Conamara- Region. Die weißen und blauen Farben stellen Zonen dar, die mit einer dünnen Staubschicht aus Eiskristallen bedeckt sind. Der Staub entstand bei der Erzeugung eines Kraters, der allerdings einige Tausend Kilometer weiter südlich liegt. Durch den Einschlag sind bei seiner Bildung auch große Eisblöcke

fortgeschleudert worden, die beim Auftreffen auf die Oberfläche weitere kleine, unter 500 Meter durchmessende Krater schlugen. Die dunkleren Zonen im Bild sind mit Mineralien überzogen, die mit dem beim Impakt gebildeten Wasserdampf aus dem Mondinnern zutage befördert wurden.

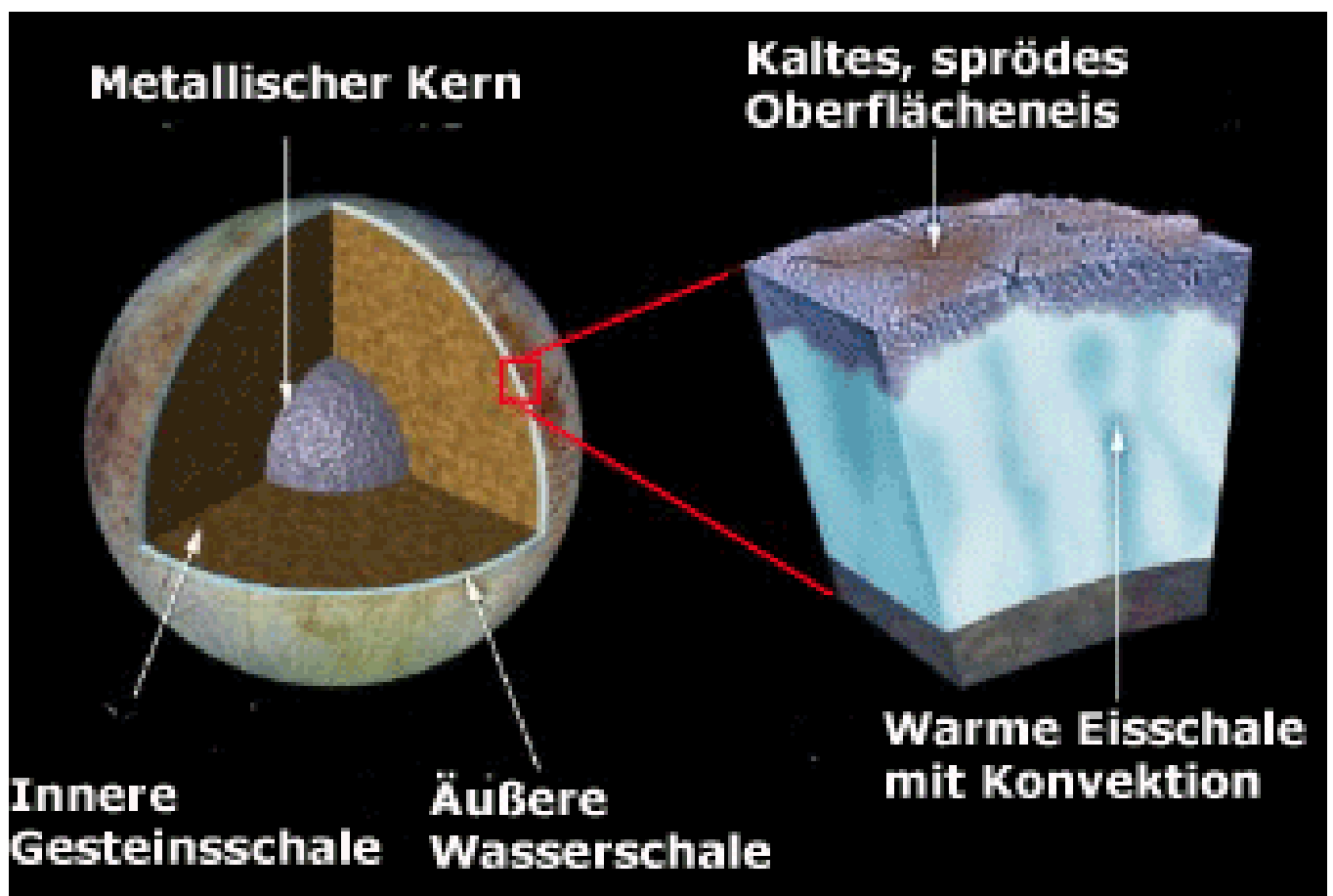


Astrobiologen halten es für möglich, dass tief unterhalb des Eispanzers Ozeane aus flüssigem Wasser vorhanden sind, in denen sich sogar Leben entwickelt haben könnte. Ähnliches vermutet man in der Antarktis, wo man tief unter dem ewigen Eis einen See aus flüssigem Wasser nachgewiesen hat. Dieser See ist vor langer Zeit völlig von der Außenwelt abgeschnitten worden, jedoch könnten darin Mikroben aus der Frühzeit der Erdgeschichte überlebt haben. Die NASA plant, durch absolut sterile Bohrungen an den See zu gelangen und Proben des Wassers nach oben zu befördern. Sollte das eines Tages gelingen, so wird womöglich einmal eine Sonde auf Europa landen, die einen ähnlichen Versuch durchführen wird. Bis dahin gilt es allerdings noch einiges zu überdenken. Die Galileo- Sonde hat zum Schluss ihrer Mission ermittelt, dass möglicherweise auf Europa Wasserstoffperoxyd (H_2O_2) und Schwefelsäure (H_2SO_4) in hohen Konzentrationen vorkommen könnten. Diese beiden

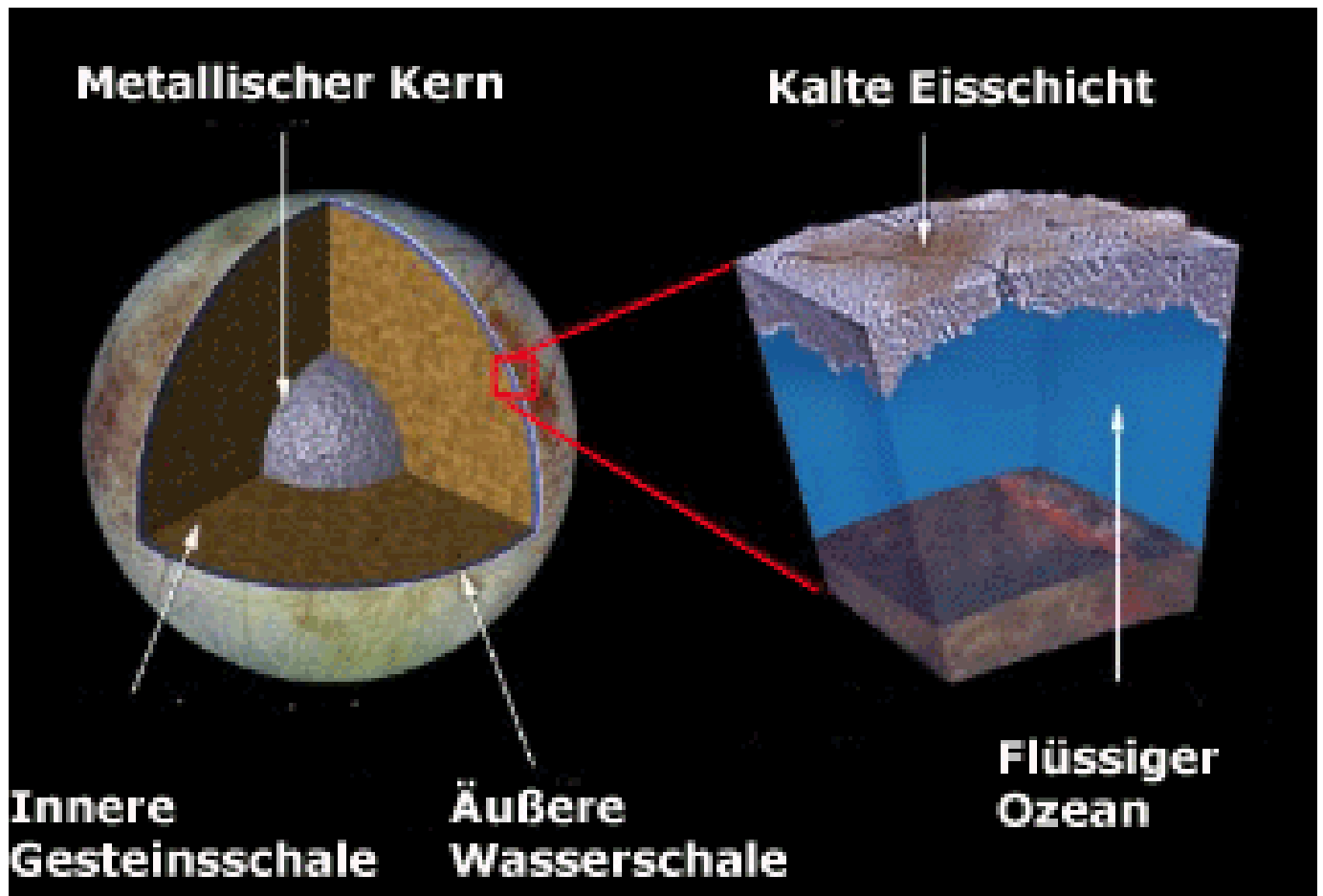
Substanzen sind jedoch pures Gift für lebende Organismen. Zwar wird das Wasserstoffperoxyd nur direkt auf der Eisoberfläche durch Reaktion des Wassers mit der intensiven Bestrahlung aus dem Jupitermagnetfeld erzeugt, so dass unterhalb des Eispanzers doch freundlichere Bedingungen für Mikroben herrschen könnten.

Aus den Messungen der Galileo- Sonde konnte man auch einige Schlüsse ziehen über den inneren Aufbau Europas.

Demnach schlägt man zwei Modelle für das innere geologische Gefüge vor. Beiden gemeinsam ist ein metallischer Kern, dessen Hauptbestandteile Eisen und Nickel sein dürften. Darüber schließt sich ein dicker Gesteinsmantel an. Wesentliche Unterschiede bestehen aber bei der möglichen Gestaltung der äußeren Schichten. Das erste Modell geht von einer "warmen" Eisschicht aus, in der Bewegungen durch Konvektion möglich sind. Obenauf befindet sich eine Kruste aus kaltem, sprödem Eis.



Das zweite, vielleicht interessantere Modell vermutet einen 100 Km tiefen Ozean aus flüssigem Wasser, auf dem die etwa 15 bis 30 Km dicke Eiskruste schwimmt. Insgesamt dürfte Europa in beiden Fällen mehr als doppelt so viel Wasser aufweisen wie die Erde. So wie die Ozeane der Erde gelöstes Natriumchlorid (Kochsalz) enthalten, ist in Europas Ozean und Eispanzer Magnesiumsulfat enthalten.



Unter diesen unwirtlichen Bedingungen erscheint es doch eher unwahrscheinlich, dass sich selbst primitivstes Leben entwickeln konnte.

Mond Ganymed

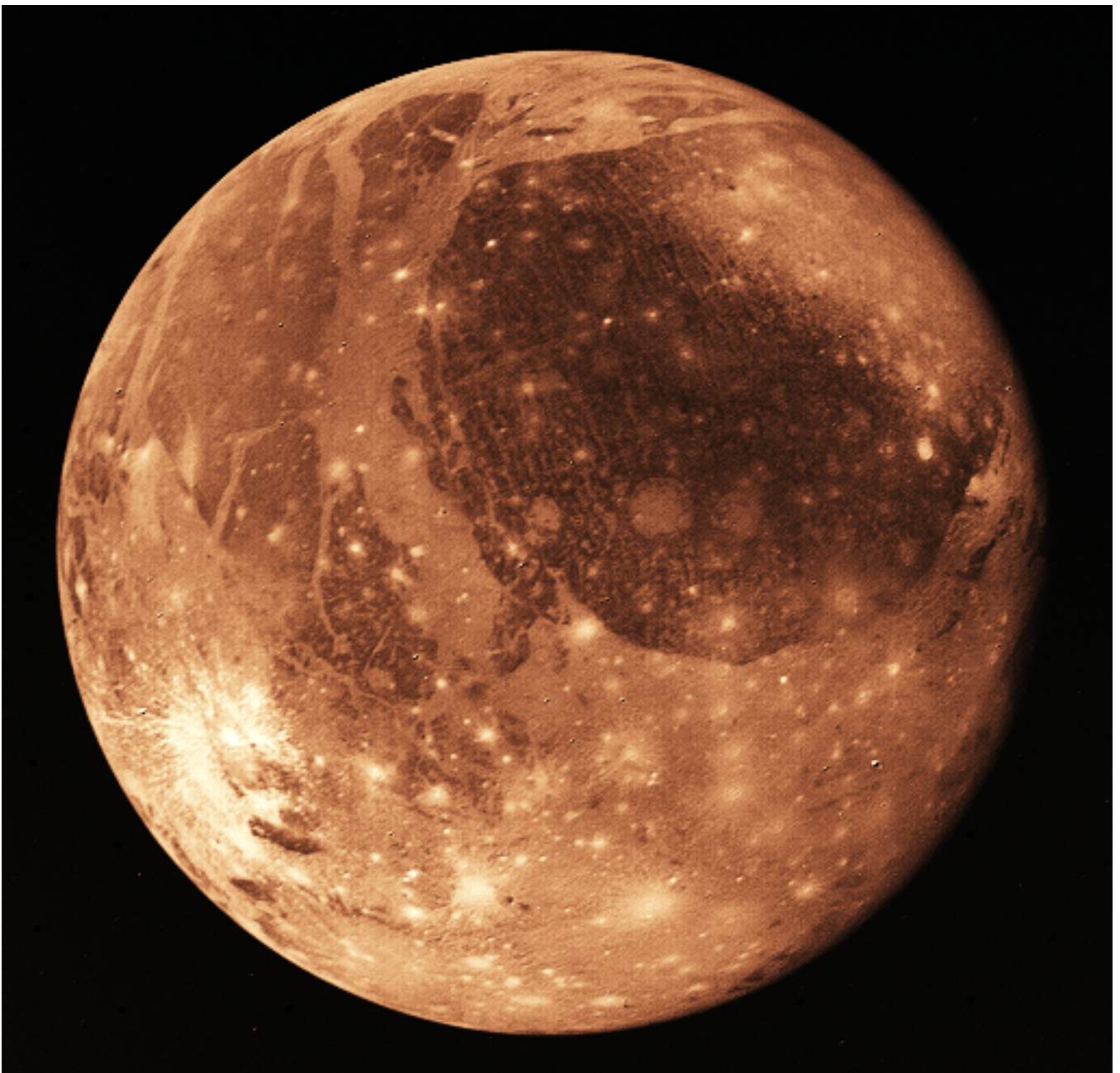
Der nächste zu betrachtende Mond des Jupiter ist Ganymed, der zugleich größter Trabant im gesamten Sonnensystem ist. Mit einem Durchmesser von 5262 km übertrifft er sogar den Merkur. Würde er allein die Sonne umkreisen, müsste man ihn zu den Planeten zählen.



Aufgrund seiner geringen Dichte von nur $1,93 \text{ g/cm}^3$ ist seine Masse mit $1,49 \times 10^{23} \text{ Kg}$ aber nicht einmal halb so groß wie die des Merkur. Seinen Mutterplanet umkreist Ganymed auf einer elliptischen Bahn mit einer großen Halbachse von 1 070 000 km und einer sehr geringen Exzentrizität von nur 0,001. Wie seine beiden Geschwistermonde weist auch er eine gebundene Rotation auf, das heißt in 7 Tagen, 3 Stunden und $42\frac{1}{2}$ Minuten umläuft er Jupiter und dreht sich dabei einmal um seine Achse. Das bedeutet, wie wir wissen, dass er dem Planeten stets dieselbe Seite zuwendet.

Erst seit den Besuchen von Voyager 1 und 2 wissen wir etwas über die Beschaffenheit der Oberfläche Ganymeds.

Auf den ersten Blick sieht Ganymed der Oberfläche unseres Mondes recht ähnlich. Man findet Gebirge und Täler, Einschlagkrater, Rillen und lavaüberschwemmte Gebiete.



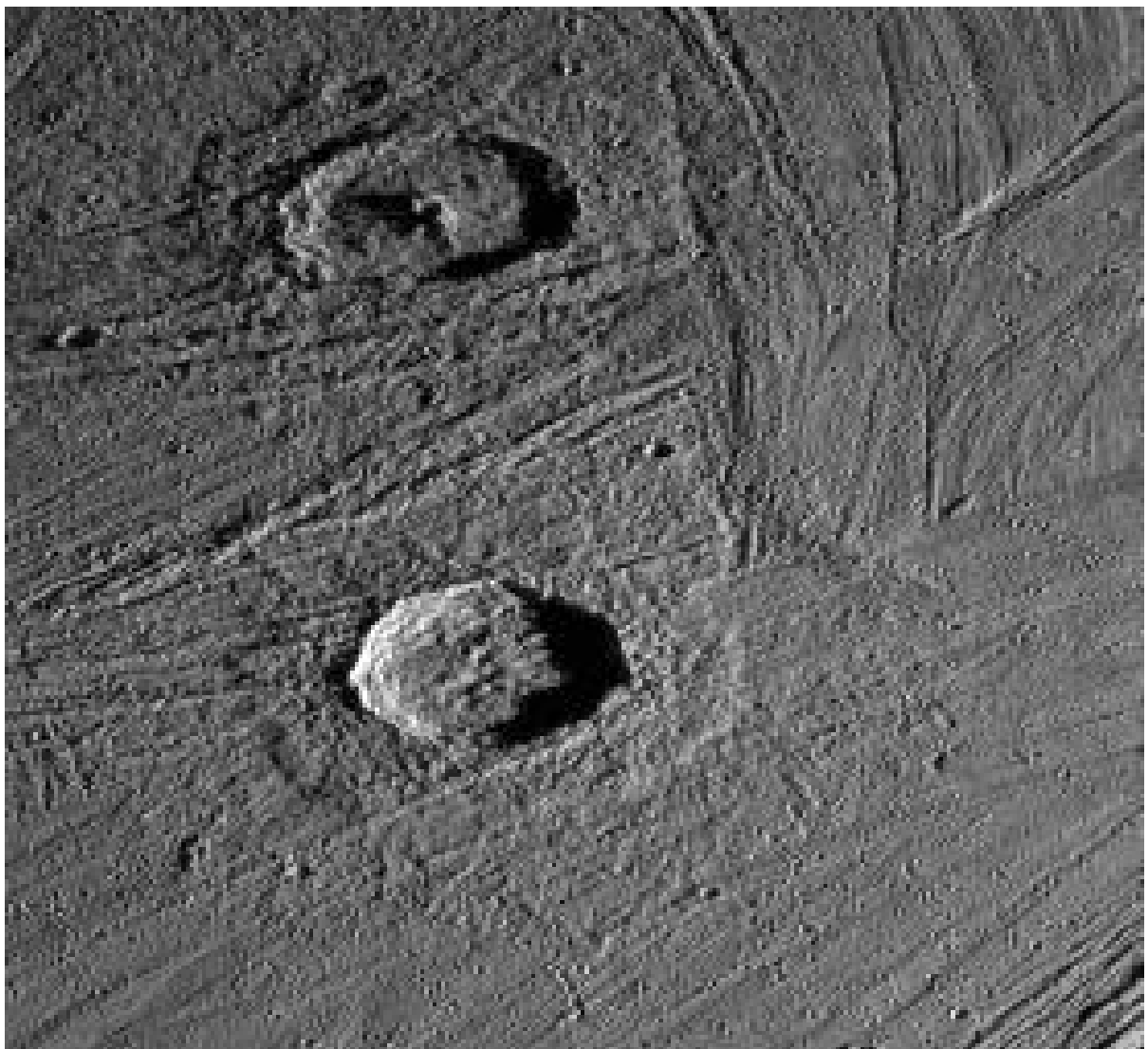
Die große dunkle Fläche nennt man Galileo- Region, die teilweise eisüberzogen ist und eine Ausdehnung von 3200 [Km] aufweist. Als helle Flecken erscheinen junge Einschlagkrater. Insgesamt ergibt sich eine komplexe Oberflächenstruktur, die im Schnitt einige hundert Meter Höhendifferenz aufweist. Die helleren Gebiete entstanden allem Anschein nach viel später als die dunkel erscheinenden Zonen. Hier spielten wohl tektonische Vorgänge eine Rolle, die tatsächliche Ursache ist allerdings noch völlig unbekannt. Die Oberflächentemperatur ist nicht sehr einladend, sie liegt im Durchschnitt bei -160°C .

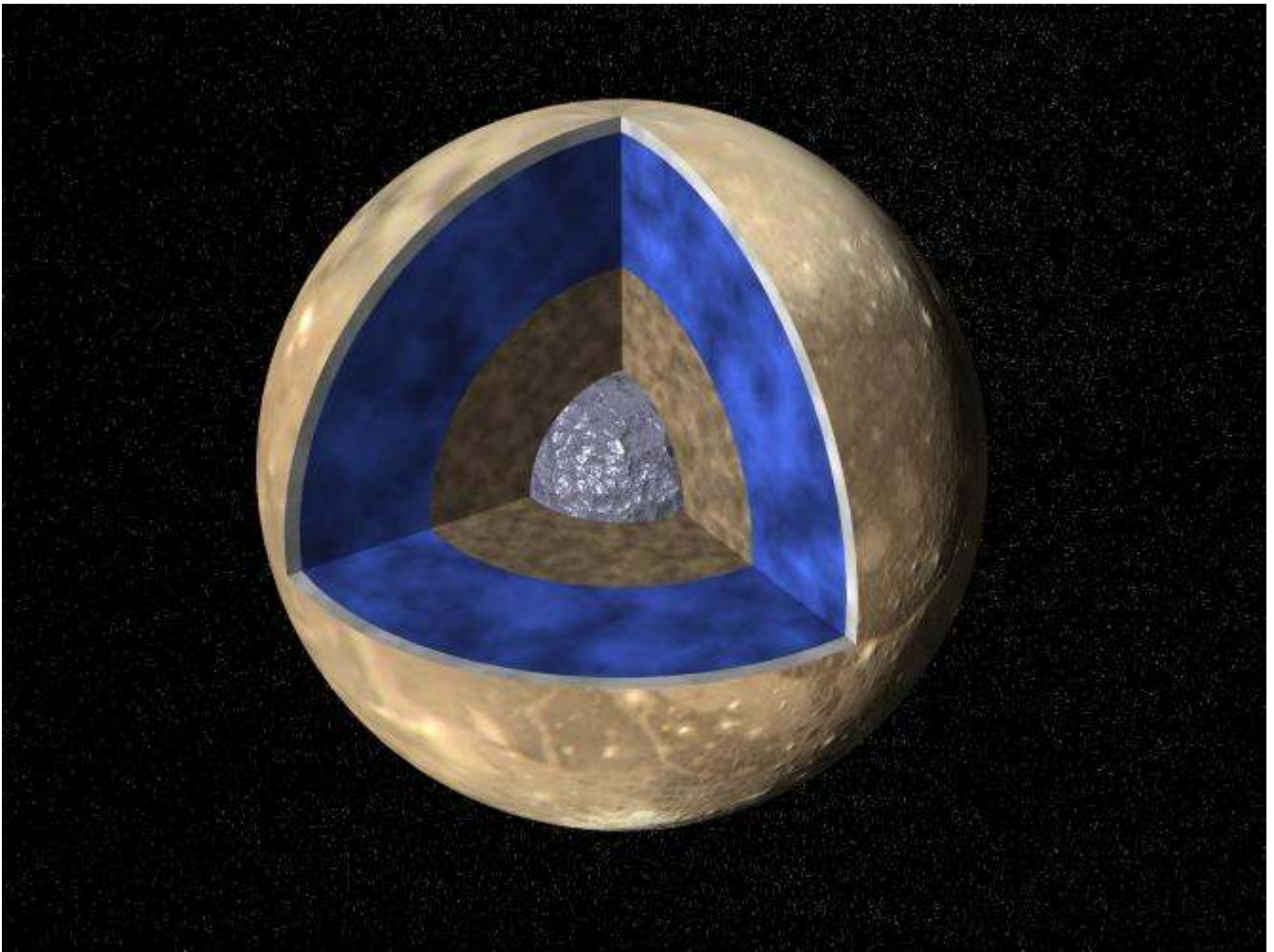
Die geringe Dichte des Ganymed sowie Untersuchungen der Raumsonde Galileo weisen darauf hin, dass die Oberfläche aus einer Gesteins- Wassereismischung beschaffen ist. Zudem folgt daraus, dass der Kern des Mondes mindestens 50% des Durchmessers ausmachen wird. Sicher ist, dass Ganymed keine nennenswerte Atmosphäre besitzt. Allerdings wurde durch Untersuchungen des Hubble- Weltraumteleskops Ozon auf der Mondoberfläche entdeckt, in viel geringerer Konzentration als auf der Erde. Diese energiereiche Sauerstoffverbindung entsteht durch den andauernden Beschuss mit den vom Jupitermagnetfeld eingefangenen geladenen Teilchen. Sie brechen die Moleküle des Wassereises auf und es entsteht eine sehr dünne Atmosphäre, wie man sie auch auf Europa nachgewiesen hat.



Auf Ganymed werden längst nicht solche Höhen wie auf dem Erdmond erreicht. Die meisten der Krater erscheinen recht flach und befinden sich in unterschiedlichen Erosionsstadien. Allerdings handelt es sich hier nicht um eine Erosion durch Wind und Wasser wie auf der Erde, sondern durch Bewegungen innerhalb der stark eishaltigen Kruste. Der helle Fleck ist ein völlig eingeebeter ehemaliger Einschlagkrater.

Die dunklen Gebiete des Mondes sind relativ alte Regionen, denn hier finden wir eine große Anzahl von Kratern pro Flächeneinheit. In den jüngeren, hellen Zonen ist die Kraterhäufigkeit wesentlich geringer. Hier könnten Aufschmelzungen des Eises, Fließvorgänge der viskosen Kruste und plattentektonische Vorgänge zu Veränderungen der Oberflächenstrukturen führen.





Ganymeds innerer Aufbau besteht möglicherweise aus 4 Teilen. Weil der eisige Mond ein Magnetfeld besitzt, wird in seinem Zentrum ein sehr dichter Kern versteckt sein, vermutlich aus Eisen, welcher in der Vergangenheit sicher einmal heiß war. Darüber könnte sich ein Gesteinsmantel befinden, über dem eine Schale "warmen" Eises liegt. Die äußere Kruste ist eine Gesteins- Wassereismischung. Der Kern könnte einem anderen Modell zufolge allerdings auch aus einer undifferenzierten Eis- Gesteinsmischung bestehen und von einer Schicht warmen, weichen Eises umgeben sein, auf der wiederum die Kruste ruht.

Ganymed zählt man in jedem Fall aufgrund seiner Dichte zu den eisartigen Körpern des Sonnensystems.

Mond Kallisto

Kallisto umkreist Jupiter in einem mittleren Abstand von 1.833.000 km in 16 Tagen 16 Stunden und 32,2 Minuten.

Als der äußerste der Galileischen Monde ist Kallisto von der Umlaufbahn des nächstinneren und größeren Ganymed über 800.000 km entfernt

Kallisto rotiert in 16 Tagen 16 Stunden und 32,2 Minuten um die eigene Achse und weist damit, wie der Erdmond und die übrigen inneren Jupitermonde, eine gebundene Rotation auf.

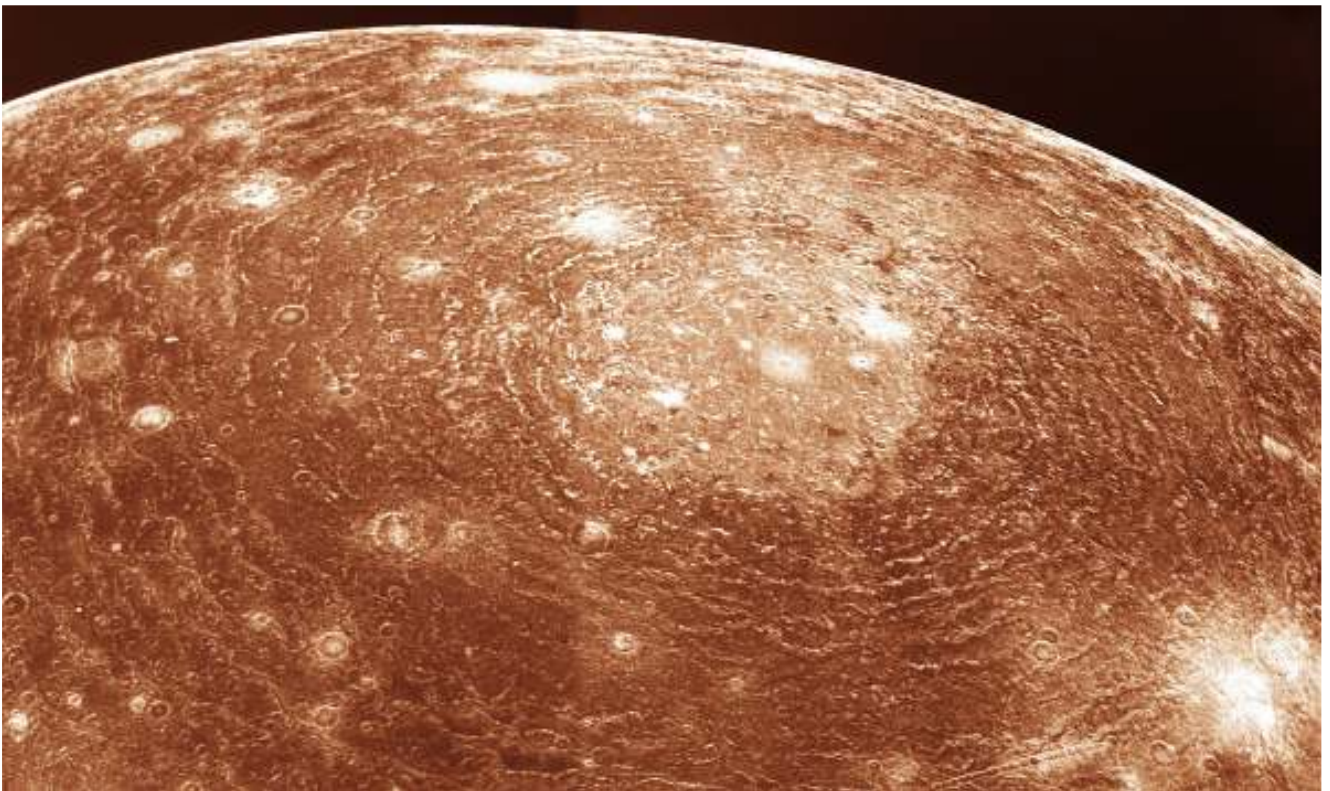
Kallisto hat einen mittleren Durchmesser von 4821 km und ist damit fast genauso groß wie der Planet Merkur (4878 km). Die Dichte ist mit etwa $1,83 \text{ g/cm}^3$ etwas kleiner als die von Ganymed, aber deutlich kleiner als die der beiden anderen Galileischen Monde Europa und Io.



Sie hat im Vergleich zu den anderen Galileischen Monden eine sehr dunkle Oberfläche. Die Oberflächentemperatur beträgt im Schnitt -139 Grad Celsius.

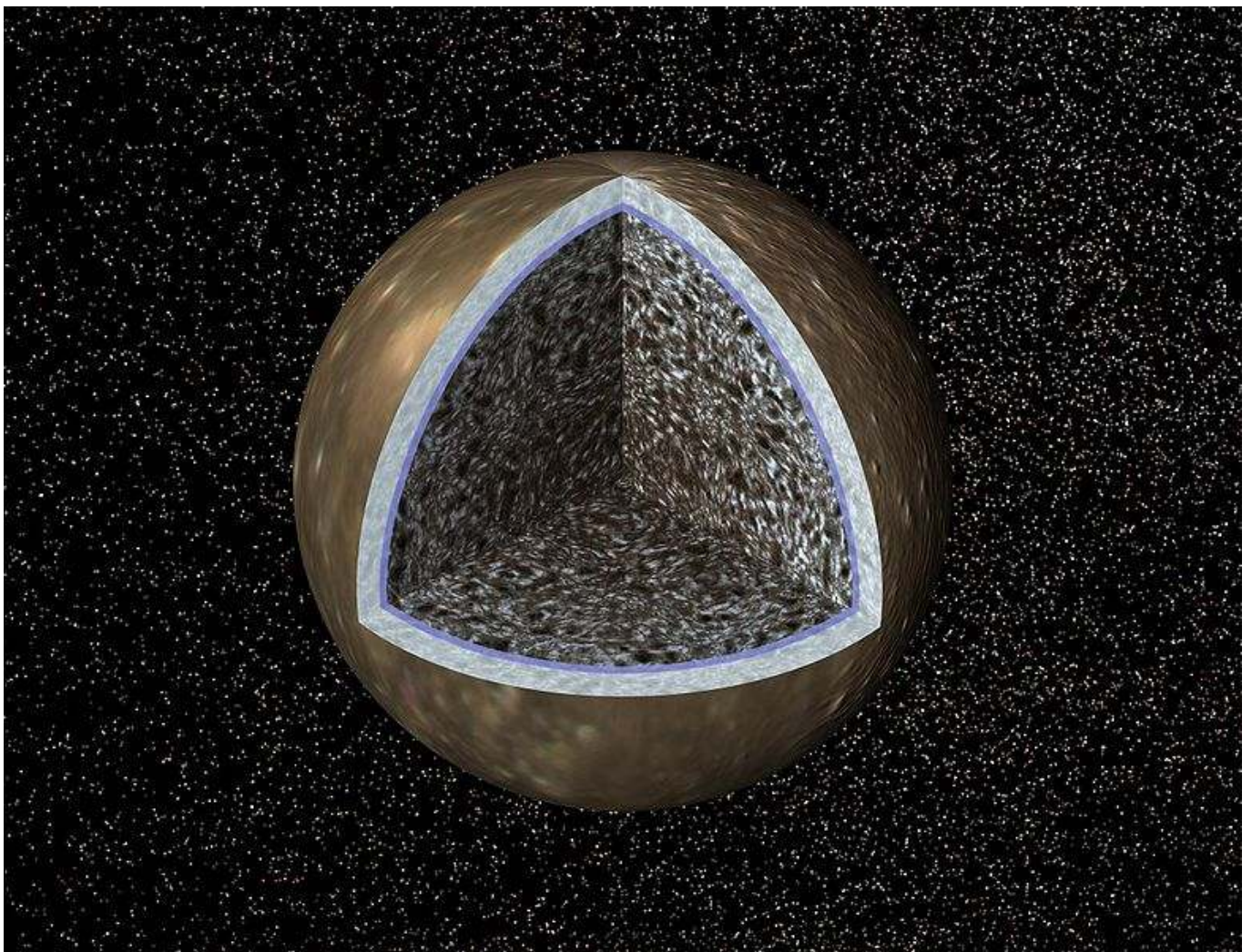
Kallisto weist die höchste Dichte an Impaktkratern im ganzen Sonnensystem auf. Krater und bei deren Einschlag entstandene konzentrische ringförmige Erhebungen prägen die Oberfläche; größere Gebirgszüge sind nicht vorhanden. Dies lässt darauf schließen, dass Kallistos Oberfläche überwiegend aus Wassereis zusammengesetzt ist. Die Eiskruste hat über geologische Zeiträume hinweg nachgegeben, wobei ältere Krater und Gebirgszüge eingeebnet wurden.

Zwei riesige Einschlagsbecken, umgeben von konzentrischen Ringwällen, sind die auffälligsten Strukturen auf Kallisto. Das größte Becken, Valhalla genannt, hat einen Durchmesser von 600 km, eine helle Zentralregion und Ringe, die sich über 3000 km ausdehnen.



Das Alter der Oberfläche Kallistos wird auf 4 Milliarden Jahre datiert. Sie war seit der Frühzeit der Entstehung des Sonnensystems keinen größeren Veränderungen unterworfen, was bedeutet, dass der Mond seit dieser Zeit geologisch nicht mehr aktiv war. Anders als der benachbarte Ganymed mit seiner auffälligen Oberfläche weist Kallisto keine Anzeichen von Plattentektonik auf.

Die geologische Entwicklung verlief hier offensichtlich wesentlich einfacher, beziehungsweise war nach relativ kurzer Zeit abgeschlossen, während in den übrigen Galileischen Monden komplexere Vorgänge stattfanden. Die sichtbare Oberfläche liegt auf einer Eisschicht, die eine geschätzte Mächtigkeit von 200 km aufweist. Darunter befindet sich vermutlich ein 10 km tiefer Ozean aus flüssigem Salzwasser, worauf magnetische Messungen der Raumsonde Galileo hinweisen. Ein weiteres Indiz für flüssiges Wasser ist die Tatsache, dass auf der Entgegengesetzten Seite des Kraters Valhalla keine Brüche und Verwerfungen sichtbar sind, wie sie auf massiven Körpern, wie dem Erdmond oder dem Planeten Merkur beobachtet werden können. Eine Schicht flüssigen Wassers hat offensichtlich die seismischen Schockwellen gedämpft, bevor sie sich durch das Mondinnere bewegten.



Das Innere Kallistos ist demnach aus etwa 60 % silikatischem Gestein und 40 % Wassereis aufgebaut, wobei mit zunehmender Tiefe der Silikatanteil ansteigt. Von ihrer Zusammensetzung her ähnelt Kallisto dem Saturnmond Titan und dem Neptunmond Triton. Die Masse beträgt daher trotz ihrer Größe nur knapp ein Drittel der Masse des Merkur.

Mögliche bemannte Missionen

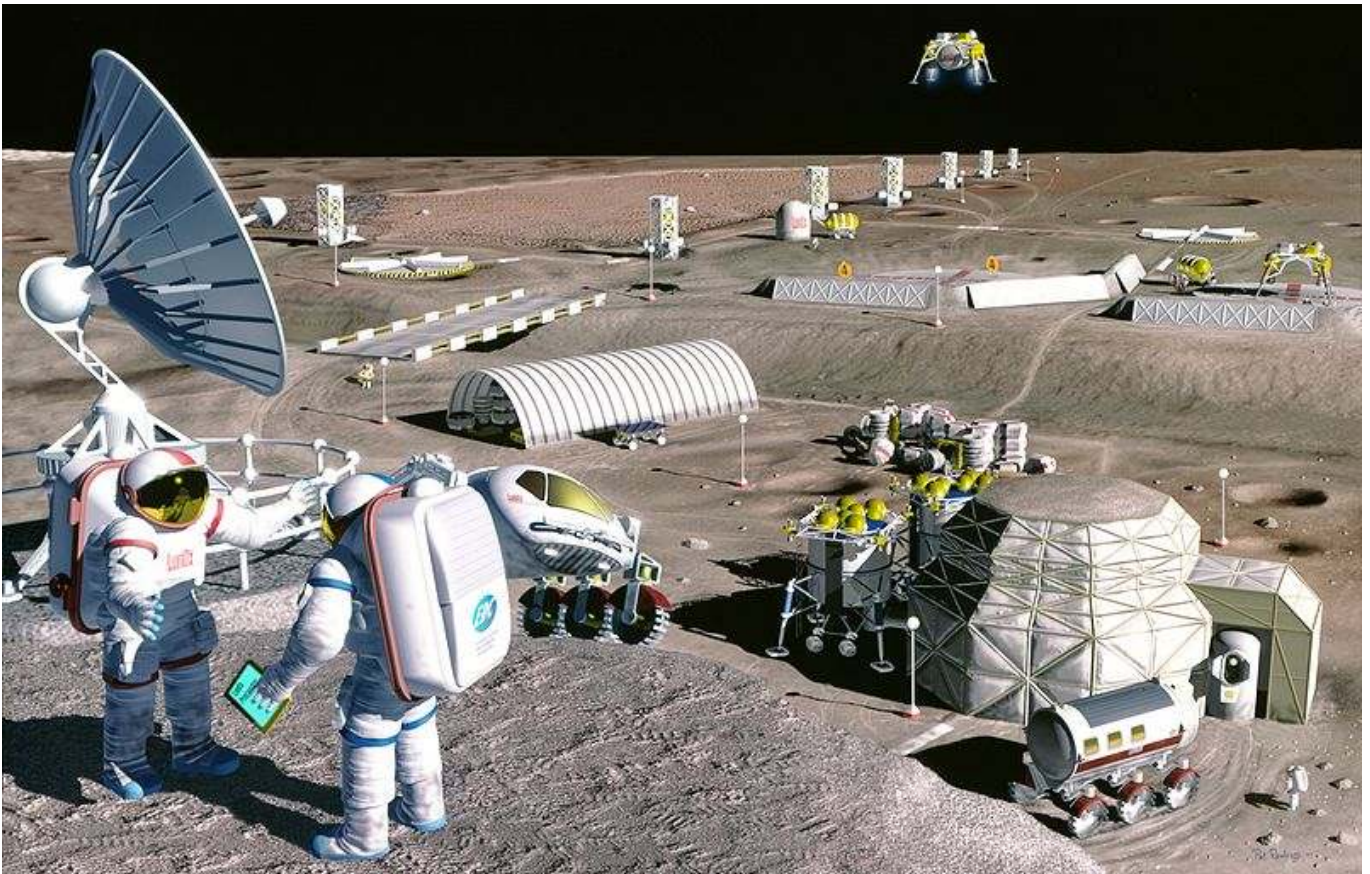
Spätestens seit den 1980er Jahren gelten die galileischen Monde als mögliches Ziel bemannter Raumflüge für die Zeit nach einem bemannten Marsflug, Als vorrangiges Ziel gilt dabei der Mond Kallisto, da er außerhalb des Strahlengürtels um den Jupiter liegt.

Im Jahr 2003 veröffentlichte die NASA eine Studie mit dem Titel „HOPE“ deutsch etwa *Revolutionäre Konzepte zur Erkundung der äußeren Planeten durch Menschen*, die eine solche Mission – mit Start ab 2045 – in verschiedenen Varianten diskutiert.

Als Gründe für die Wahl von Kallisto als Ziel wurden zum einen die stabile Geologie und die vergleichsweise geringe Entfernung zur Erde genannt. Weiterhin könne das Eis auf der Oberfläche zur Gewinnung von Wasser und Treibstoff genutzt werden. Als weiterer Vorteil wurde die geringe Distanz zum Mond Europa bezeichnet, dies ermögliche es, Roboter auf diesem wissenschaftlich äußerst interessanten Mond nahezu in Echtzeit ferngesteuert abzusetzen, ohne der Strahlung ausgesetzt zu sein.

Als Voraussetzung für die Durchführung der Mission nennt die Studie eine intensive Erkundung durch unbemannte Sonden ab etwa 2025. Je nach gewähltem und verfügbarem Antrieb würde die eigentliche Mission mit ein bis drei Raumschiffen starten, wobei jeweils eines die Besatzung und die übrigen die Bodenstation, eine Anlage zur Wassergewinnung und einen Reaktor zur Energieerzeugung transportieren. Die Missionsdauer liegt

zwischen zwei und fünf Jahren mit einer Aufenthaltsdauer von 2-3 Monaten auf dem Mond.



Die Studie kommt zu dem Schluss, dass eine bemannte Jupiter-Mond-Mission ab dem Jahr 2045 grundsätzlich möglich sei und benennt eine Reihe von Technologien, die bis dahin noch entwickelt werden müsste. Es gibt also viel zu tun, packen wir's an.

Benutzte Quellen für Texte, Grafiken und Bildmaterial:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet))

<http://abenteuer-universum.de/planeten/jupiter.html>

<http://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Jupiter>

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/solar-system/jupiter/>

<http://www.solarviews.com/germ/jupiter.htm>

Die Ausarbeitung dient keiner kommerziellen Nutzung sondern wurde ausschließlich zu Informationszwecken bei unserem Astro-Stammtisch benutzt. Etwaige Copyright-Verletzungen wären unbeabsichtigt, der Verfasser bittet dies zu Entschuldigen.