Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft

Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft

Band: 82 (1985)

Artikel: Unser Sonnensystem : ein Führer zum Planeten-Wanderweg St. Gallen-Steinach (Bodensee)

Autor: Keller, Oskar

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-832595

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

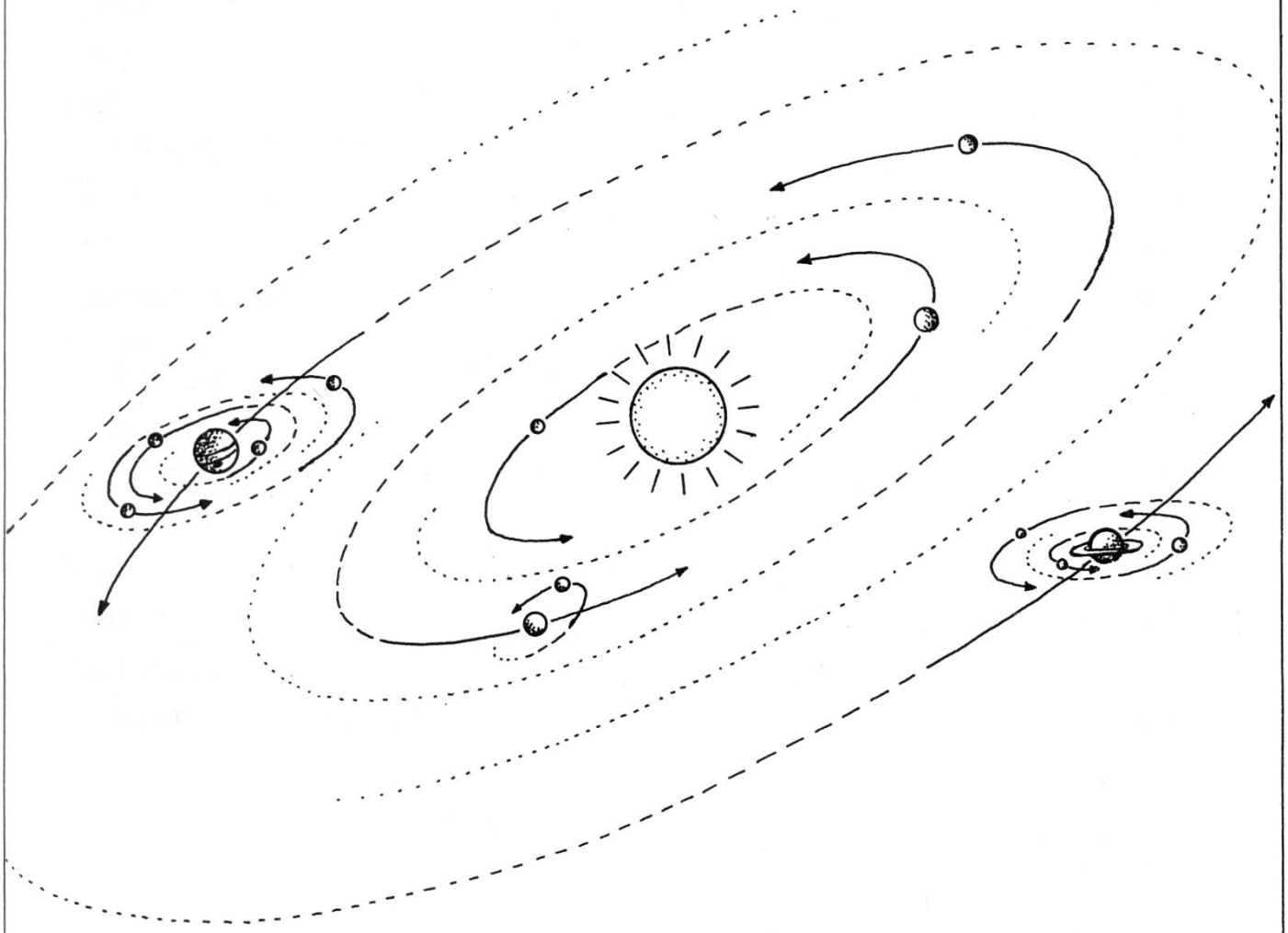
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

UNSER SONNENSYSTEM

EIN FÜHRER ZUM PLANETEN-WANDERWEG ST. GALLEN-STEINACH (BODENSEE)



OSKAR KELLER

1985

Inhaltsverzeichnis

Einführung 172

Der Wanderweg 173

Das Sonnen-Planeten-System 175
- Vorgeschichte 175
- Die Frage nach der Entstehung 175
- Entwicklungstheorie 177

Die Sonne 180

Merkur 181

Venus 182

Erde 183
- Die Erde ist ein Sonderfall 184

Mond 186

Mars 187

Ceres (Planetoid) 188

Jupiter 189
- Monde des Jupiter 190

Saturn 192
- Monde des Saturn 193

Uranus 194

Neptun 195

Pluto 196

Rückblick und Ausblick 196

Weiterführende Literatur 197

Adresse des Verfassers:
Dr. Oskar Keller, Sonderstrasse 22, CH-9034 Eggersriet

Einführung

Trotz Raumfahrt und allgemein zunehmendem Interesse für die Welt der Sterne ist für die meisten Menschen das Universum immer noch ungeheuerlich und unbegreiflich. Selbst über den Teil des Weltalls, zu dem die von uns bewohnte Erde gehört, über das Sonnen-Planeten-System, können wir uns ohne Modell kaum eine Vorstellung machen.

Als geeignete Veranschaulichung bietet sich ein Planeten-Wanderweg an: Im Gelände werden Sonne und Planeten als Stationen eines zu erwandernden Weges modellmässig dargestellt und zwar so, dass Abmessungen und Zwischendistanzen der Gestirne den Grössenverhältnissen im Sonnensystem massstabsgetreu entsprechen. Ein solcher Planetenweg führt von St. Gallen nach Steinach am Bodensee. An den einzelnen Stationen lassen sich von den erläuternden Tafeln die Charakteristiken des jeweiligen Gestirns ablesen, sodass die beliebte Wanderung von St. Gallen zum See mit der Aneignung von astronomischem Grundwissen verbunden werden kann.

Die vorliegende Schrift ist einerseits als etwas ausführlichere Wegleitung für den «Planeten-Wanderer», anderseits auch als allgemeine Einführung in die Welt unseres Sonnensystems gedacht. Es wurde versucht, zu jedem Gestirn eine Art Steckbrief zu verfassen, aber auch darauf geachtet, spezielle Eigenheiten zu erklären und die jüngsten Erkenntnisse der Planetenforschung einfliessen zu lassen. Zudem werden Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems nach den heutigen Vorstellungen aufgezeigt.

Das Modell des Planetensystems wurde im Herbst 1979 durch eine Astronomiegruppe von Schülern der Mittelschule Talhof provisorisch erstellt, wobei dies nur dank dem Verständnis der Grundbesitzer verwirklicht werden konnte. Die endgültige Realisierung dieser Idee aber wurde durch die tatkräftige und finanzielle Unterstützung der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft möglich. Als besonders wertvoll für die Anlage des Planetenweges erweist sich der Botanische Garten, indem ein Teil der Modelle durch das Entgegenkommen der Verwaltung, vorab durch Herrn Göldi, darin aufgestellt werden durfte. Nicht zu vergessen ist auch die uneigennützige und oft sogar unentgeltliche Arbeit und Mithilfe von Handwerkern und Bauleuten. Allen diesen direkten und indirekten Helfern gebührt ein herzlicher Dank.

Ein Vandalenakt im Frühsommer 1983 erforderte die Neuerstellung der Hälfte aller Modelle und Tafeln. Die hiezu nötigen Geldmittel wurden in grosszügiger Weise hauptsächlich von der Vereinigung der Freunde des Botanischen Gartens, aber auch von der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, zur Verfügung gestellt. Beiden Vereinen sei diese namhafte Unterstützung bestens verdankt.

Für die Zukunft kann im Interesse der Wanderer nur gehofft werden, dass weitere mutwillige Zerstörungen und ein «Diebstahl von Gestirnen» unterbleiben.

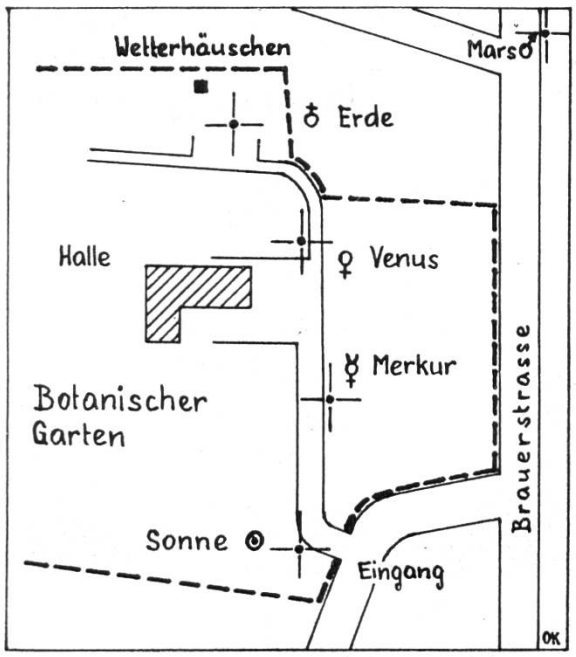
Der Wanderweg

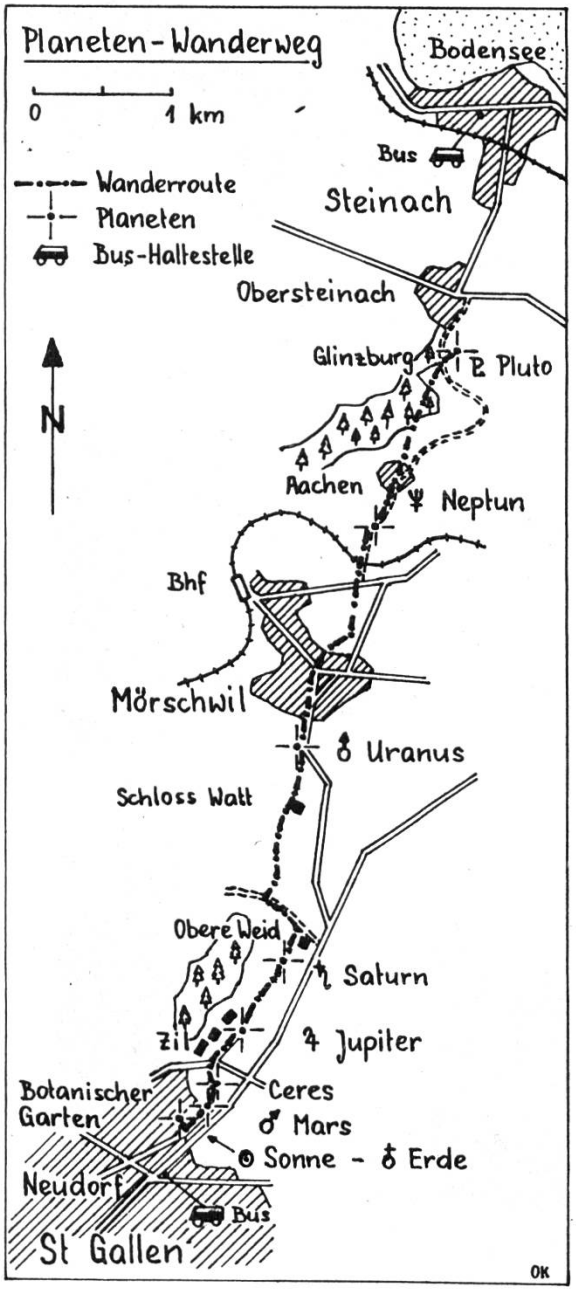
Die Wanderung durch unser Sonnen-Planeten-System beginnt im Botanischen Garten im Osten von St. Gallen mit dem Sonnenmodell und endet auf der Glinzburg bei Obersteinach mit dem entferntesten Planeten Pluto. Die Modelle und die Distanzen sind eine Verkleinerung im Massstab 1:1 Milliarde: 1000 km in der Wirklichkeit entsprechen 1 mm am Modell, jeder Meter unseres Wanderweges steht für eine Reise von 1 Million km im Weltraum und entspricht 3 Lichtsekunden.

Der Botanische Garten kann mit dem Bus der städtischen Verkehrsbetriebe Linie 1, Neudorf, erreicht werden. Ab Steinach besteht die Möglichkeit zur Rückfahrt nach St. Gallen mit der SBB von Arbon über Rorschach oder mit direkten Postautokursen.

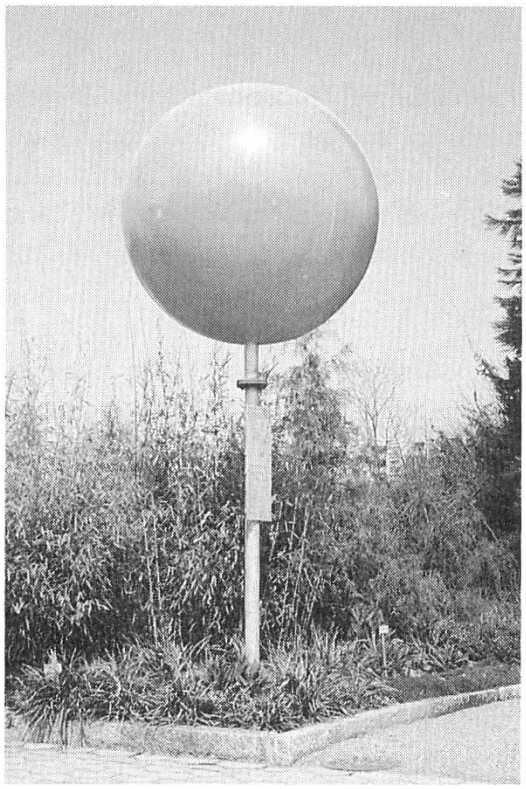
Der Planetenweg gliedert sich in zwei Abschnitte. Der erste umfasst die Gestirne von der Sonne bis zur Erde und verläuft als kleiner Spaziergang innerhalb des Botanischen Gartens. Im zweiten Abschnitt, längs des eigentlichen Wanderweges nach Obersteinach, sind die übrigen Planeten aufgestellt. Vergleiche dazu die beiden Kartenskizzen.

Für die rund 8 km Weg muss mit etwa 2 Stunden reiner Wanderzeit gerechnet werden.

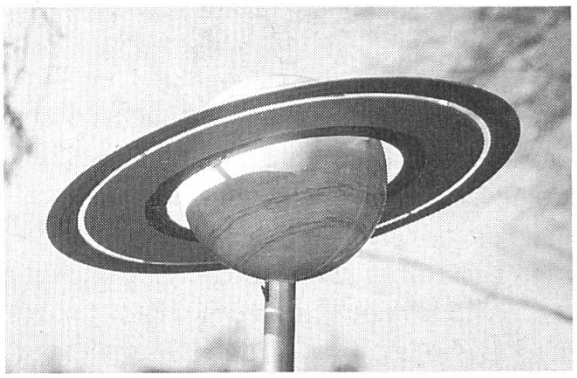




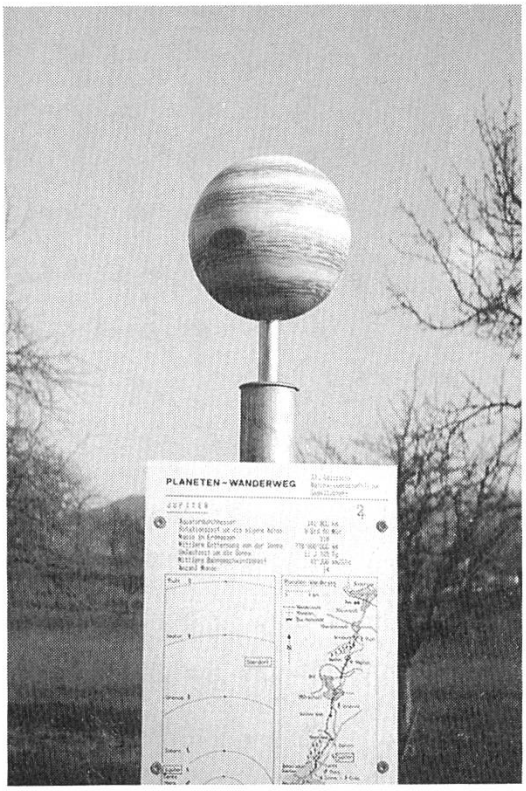
Abbildungen einiger Modelle



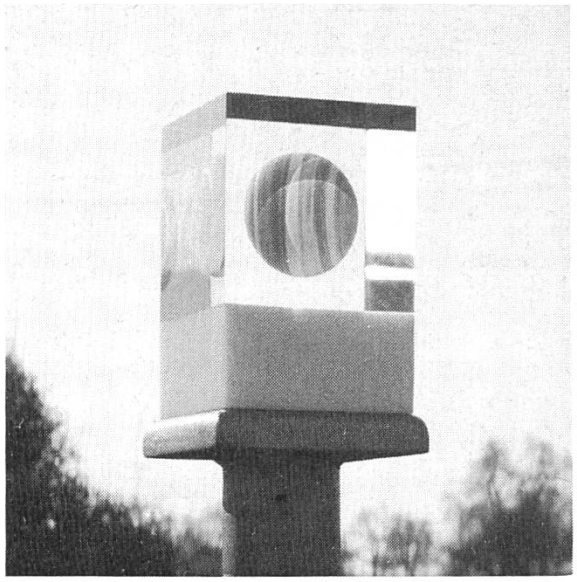
Sonnenmodell (∅ 1,4 m)
im Botanischen Garten



Saturn (∅ 12 cm)
mit seinem Ringsystem



Jupiter (∅ 14 cm)
mit Erläuterungstafel



Uranus (∅ 5 cm) frei schwebend
in glasklaren Kunststoff eingegossen

Das Sonnen-Planeten-System

Vorgeschichte

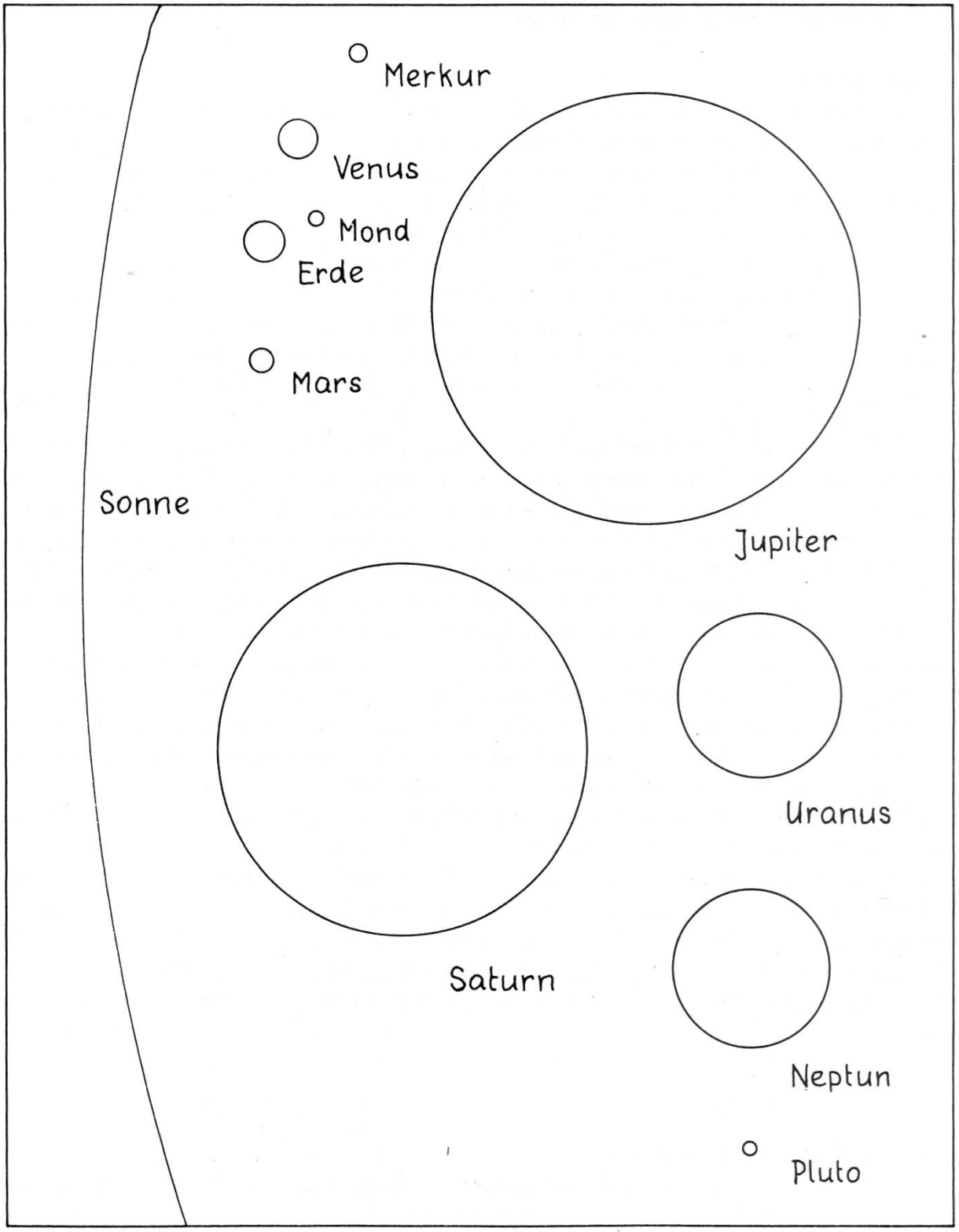
Licht durchflutet die Welt, in der wir leben; und wenn die Natur nachts auf dunkel umstellt, dann versuchen wir, unsere Umgebung mit künstlichem Licht zu erhellen. Dunkelheit ist uns Menschen zuwider, es bereitet uns Mühe, uns mit unseren Sinnen in ihr zurecht zu finden. Jeden Morgen, wenn die Sonne aufgeht und die uns umgebende Erde in ihr gleissendes Licht taucht, erleben wir eine Art Lichtwerdung. Doch auch nachts strahlt Licht vom Himmel, sei es der milde Schein des Mondes, das Flackern des Abend- oder Morgensterns oder ein besonders helles Gestirn, das hoch am Himmel funkelt. Immer wieder staunend, wenn in einer klaren Nacht Tausende von Lichtpunkten am Firmament glitzern, spüren wir einen Hauch der Unendlichkeit von Raum und Zeit. Der sternenübersäte Himmel ist, wohl seit es denkende Menschen gibt, der Inbegriff des Unfassbaren, des Göttlichen.

Aus den himmlischen Lichtern und ihrer Ordnung den Willen der Götter zu erfahren, war die Triebfeder der Astronomen früher Kulturvölker in China, Indien, in Mesopotamien und Ägypten, aber auch der Azteken und Mayas in Mittelamerika, die Sternenwelt zu erforschen. Schon früh wurde erkannt, dass neben den fix am Himmel stehenden Gestirnen (Fixsterne) solche zu finden sind, die ihren Standort laufend ändern. Man hat sie als Wandelsterne (griechisch: Planeten) besonders beobachtet und studiert. Zu erkennen, dass innerhalb der unzählbaren Fülle winziger Sternenpunkte die Erde nicht im Zentrum steht, war die Menschheit erst im 16. Jahrhundert reif, nachdem der Globus umsegelt und in seiner Grösse und Gestalt bekannt war. Bedeutende Geister wie Kopernikus, Kepler und Galilei formulierten die neue Vorstellung, nach der die Sonne das Zentralgestirn aller Planeten und der Erde ist (heliozentrisches Weltsystem) und verhalfen ihr durch ihre Forschungen zum Durchbruch.

Bald wurde auch klar, dass die Sonne, wie Milliarden andere, ein ausserordentlich heisses und daher selbstleuchtendes Gestirn, ein Fixstern, ist. Im Gegensatz dazu erweist sich das sichtbare Äussere der Planeten als kalt und dunkel; ihr Leuchten beruht einzig auf der Reflexion des sie treffenden Sonnenlichtes. Da alle Planeten zusammen nur einen winzigen Bruchteil der Sonnenmasse umfassen, werden sie in ihren Bewegungen von der Sonne beherrscht. Sie umlaufen diese auf kreisähnlichen Ellipsenbahnen (Kepler, 1611) und werden dabei durch die Gravitation (Newton, 1687) auf ihren Bahnen gehalten.

Die Frage nach der Entstehung

Waren einmal die Zusammenhänge innerhalb des Systems Sonne-Planeten erkannt, so stellte sich bald einmal die Frage: Wie und wann ist diese Sternenfamilie entstanden, die derart scheinbar verschiedene Mitglieder umfasst wie Sonne, Erde, Venus, Jupiter oder den Mond? Viele Astronomen haben darüber nachgedacht und Theorien aufgestellt. Der Vorstoss des Menschen mit Raumfahrten zum Mond und mit unbemannten Sonden zu einzelnen Planeten hat in den letzten Jahrzehnten eine ungeheure Fülle neuer Erkenntnisse gebracht. Etliche Eigenarten des gesamten Sonnensystems bilden die Grundlage der heute gängigen und von den meisten Astronomen anerkannten Theorie der Entstehung von Sonne und Planeten. Es sind dies:



Die «Sonnenfamilie» umfasst, nebst dem Zentralgestirn der Sonne, 9 Planeten, die ihrerseits 42 bekannte Monde (1981) besitzen. Zum System gehören ferner Asteroide (Kleinplaneten), Kometen und Meteore. Die Darstellung zeigt die Grössenverhältnisse unter den Planeten inklusive Sonne und Erdenmond.

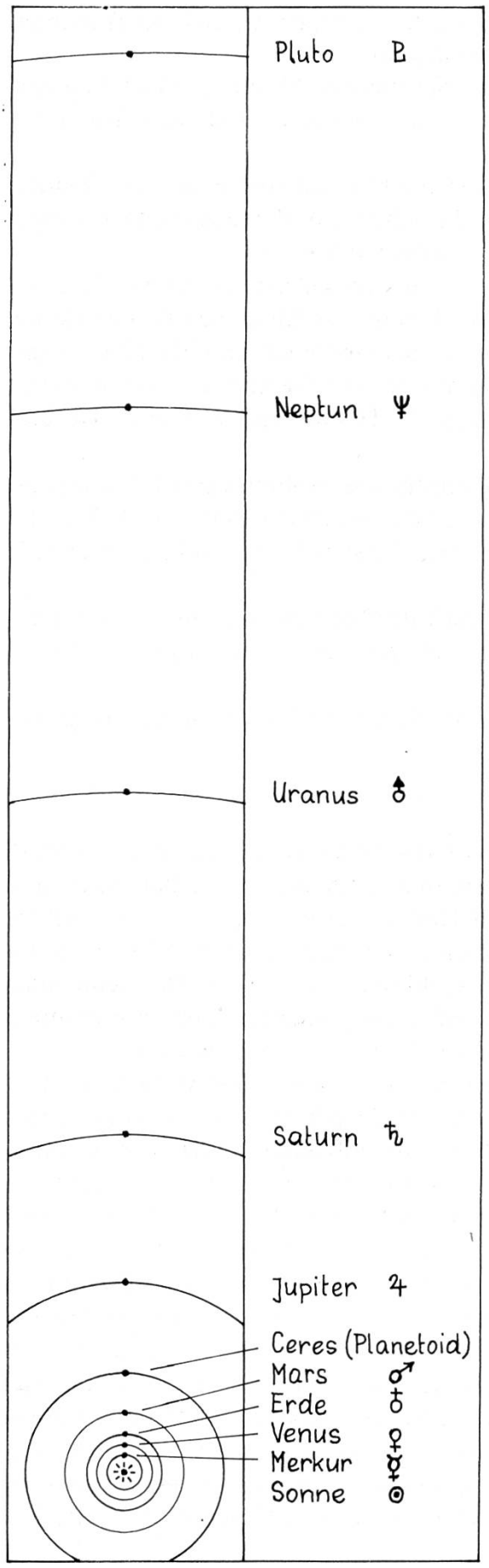
1. Die Bahnen aller Planeten (ausser Pluto) und auch diejenigen der meisten Trabanten (Monde) liegen nahezu in einer Ebene im Weltraum.
2. Der Umlaufsinn der Planeten um die Sonne, der meisten Monde um ihre Planeten und die Eigenrotation der Sonne, der Planeten (ausser Venus) und vieler Trabanten zeigt dieselbe Richtung.
3. Direkte und indirekte Altersbestimmungen der festen Kruste der Erde, des Mondes, von weiteren Planeten und Trabanten sowie das Alter von Meteoritenmaterial ergeben Maximalwerte von 3,7 bis 4,6 Mia (Milliarden) Jahre.
4. Die Planeten lassen sich in eine innere und eine äussere Gruppe aufteilen, die unter sich in vielerlei Hinsicht vergleichbar sind. Die inneren, erdähnlichen Wandelsterne, haben eine hohe Dichte und sind überwiegend aus Gesteinen und Metallen aufgebaut. Die äusseren, jupiterähnlichen weisen nur geringe Dichten auf und bestehen aus kaum veränderter Sonnenmaterie (Wasserstoff, Helium und Wasserstoffverbindungen).
5. Die Sonne vereinigt auf sich 99,9% der Gesamtmasse, während nur 0,1% auf die Planeten entfallen. Umgekehrt aber steuert die Gesamtheit der Planeten 99,5% zum Drehimpuls des Systems (Rotationsenergie) bei, die sich relativ langsam drehende Sonne aber nur 0,5%.
6. Das Sonnen-Planeten-System bildet gesamthaft im Weltraum eine mehr oder weniger in sich abgeschlossene Einheit und setzt sich deutlich von den (auch nächsten) Fixsternen ab.

Alle diese Punkte lassen kaum einen andern als den Schluss auf gemeinsame und gleichzeitige Entstehung zu.

Entwicklungstheorie

Wo heute das Sonnensystem in einem Seitenast der Milchstrasse durch das Weltall treibt, schwebte vor 5 Mia Jahren eine sich langsam drehende interstellare Gas- und Staubwolke. Vorwiegend aus Wasserstoff und Helium zusammengesetzt, enthielt sie auch Atome und Staubpartikel schwererer Elemente, darunter vor allem Eisen (das stabilste Element), aber auch Aluminium, Nickel, Gold oder Uran. Diese Bausteine müssen Überreste längst vergangener Riesensterne sein, die explodierten, denn nur in ihrem Innern können durch Kernfusion Atome so hoher Ordnungszahl entstehen.

Vor 4,6 Mia Jahren begann sich diese kosmische Wolke von etwa 3000 Mia km Ausdehnung unter dem Einfluss der eigenen Gravitation (Schwerkraft) zusammenzuziehen. Welche Kräfte den einsetzenden Kollaps auslösten, ist unbekannt. Vielleicht waren es die Schockwellen einer nicht sehr weit entfernten Riesensternexplosion (Supernova). Die in sich zusammenfallende Wolke musste immer schneller rotieren und nahm dabei nach einigen 100'000 Jahren Scheibenform von etwa dem Durchmesser des heutigen Systems an (10 Mia km). Der innerste Bereich verdichtete sich durch die zum Zentrum des Systems einstürzenden Partikel weiter zur Ursonne, um die herum die übrige Materie sich als Sonnennebel aus gas- und staubförmigen Teilchen drehte. Während die sich weiter zusammenballende Ursonne durch Kontraktion immer mehr sich erhitzte, kühlte sich der Urnebel zusehends ab. Dabei wurden zuerst die schweren Metalle, vor allem Eisen und Nickel, zu Klumpen, grösseren Brocken und schliesslich zu Urplaneten zusammengeschweisst. Bei der weiteren Abkühlung des Nebels kondensierende Minerale, vor allem Silikate, wurden in der Folge durch die wachsenden Gravitationskräfte den jungen Planeten einverleibt.



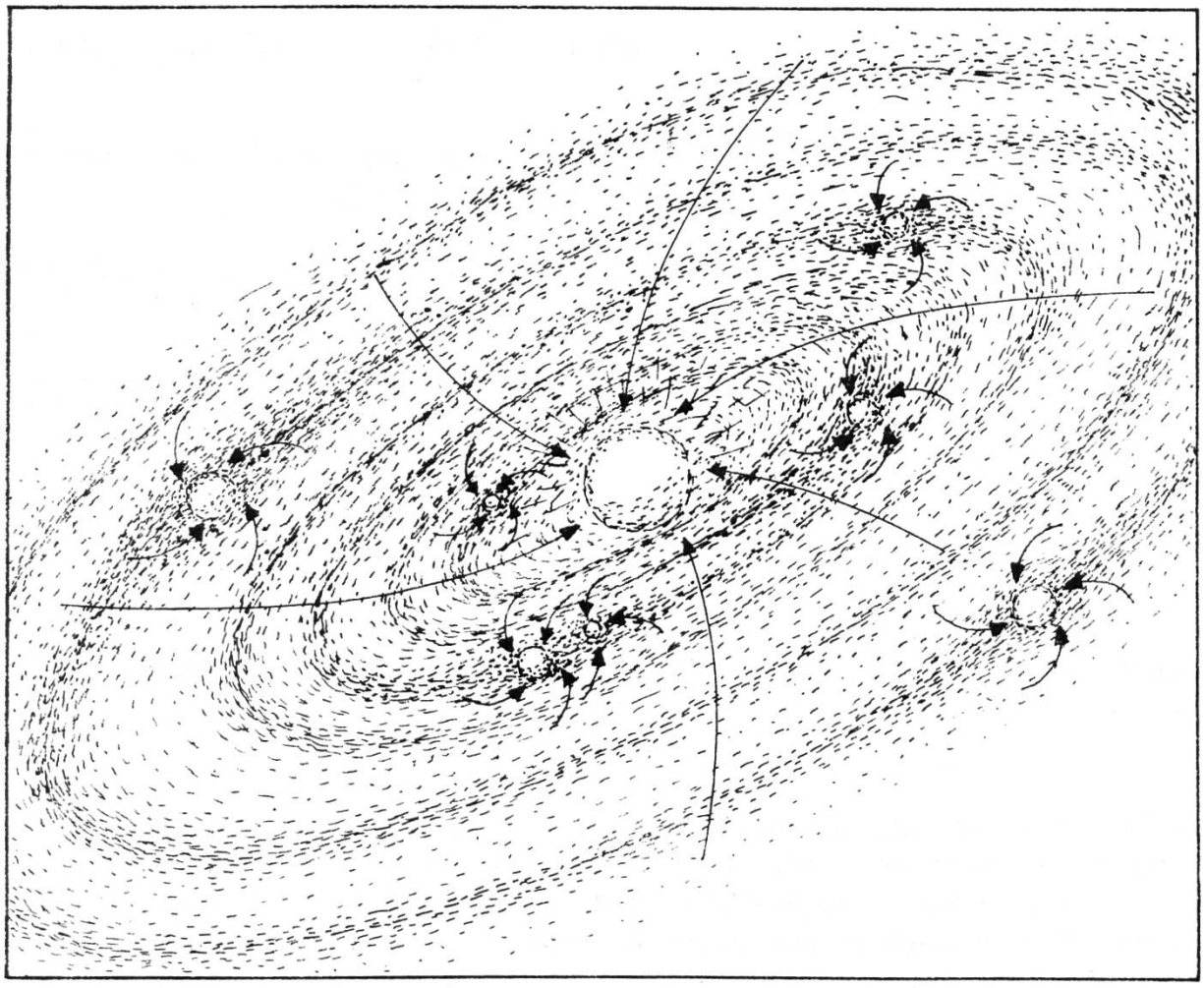
Im sonnennahen Bereich der erdähnlichen Planeten begann sich vor knapp 4,5 Mia Jahren das Aufheizen des Zentralgestirns bemerkbar zu machen. Die aus leichtern Elementen aufgebauten Partikel und Gase verdampften und wurden durch den Sonnenwind aus dem System in den Weltraum hinausgetrieben. Eine unzählbare Menge fester Brocken von Metergrösse und Miniplaneten mit Durchmessern bis über 1000 km umrundete die Ursonne weiterhin auf meist exzentrisch elliptischen Bahnen.

Im äusseren Bereich kondensierten bei niedrigen Temperaturen Gase wie Methan, Ammoniak und Wasserdampf an den bereits vorhandenen Gesteins- und Metallklumpen zu Eis, welche dadurch zu stetig grösser werdenden Körpern heranwuchsen. Die Riesen unter ihnen, nämlich Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun, vermochten zudem Helium und Wasserstoff in enormen Gashüllen an sich zu binden.

Bereits vor nahezu 4,5 Mia Jahren dürften die Planeten und ihre Monde im wesentlichen aufgebaut gewesen sein. Die inneren Planeten inklusive Erdenmond heizten sich derart auf, dass sie schmolzen und dabei eine innere Differenzierung in Kern und Mantel durchmachten. Der enorme Temperaturanstieg wurde einerseits durch die Verdichtung unter dem gewaltigen inneren Druck und anderseits durch die radioaktiven Prozesse der beim Wachstum aufgenommenen instabilen Isotope ausgelöst und durch die bei Einschlägen von Meteoriten frei werdende Energie verstärkt. Nach wenigen Mio Jahren bildete der sich wieder abkühlende Mond seine feste Kruste, während dies bei der massereicheren Erde erst vor etwa 4 Mia Jahren eintrat.

Die Reihenfolge der Planeten und ihre mittleren Abstände von der Sonne in massstäblich korrekter Verkleinerung. Ceres ist der Hauptvertreter der Planetoiden (Kleinplaneten).

Die auf extremen Bahnen ziehenden Tausende von Kleinstplaneten kollidierten mit den nahezu kreisförmig umlaufenden Urplaneten, womit ein rund 500 Mio Jahre dauerndes kosmisches Bombardement einsetzte, dessen Einschläge auf den erstarrten Krusten der inneren Planeten, auf dem Erdenmond und auf den meisten Jupiter- und Saturnmonden bleibende Narben in Form kraterübersäter Oberflächen hinterliessen. Ziemlich abrupt muss dann vor 4 Mia Jahren der katastrophale Granatenhagel zu Ende gegangen sein. Parallel zu den Vorgängen im Sonnennebel, in dem eben vor 4,5 Mia Jahren die Urplaneten geboren worden waren, erhöhte sich im Kern der Ursonne die Temperatur weiter. Als schliesslich einige Millionen Grad erreicht waren, erfolgte die Zündung der thermonuklearen Reaktionen, die auch heute noch ablaufen. Der Wasserstoff als atomarer Brennstoff fusioniert dabei zu Helium, wobei unvorstellbar gewaltige Energiemengen freigesetzt werden. Vor etwas mehr als 4 Mia Jahren war dann die Zeit gekommen, da die Ursonne aufzuleuchten begann und das Planetensystem aus dem Dunkel der Weltallnacht heraushob und mit ihrem Licht überflutete. Ein Stern war geboren. Die Masse aller Planeten um das 300'000fache übertreffend, wurde die Sonne zur absoluten, hell leuchtenden Herrscherin in ihrer Familie.



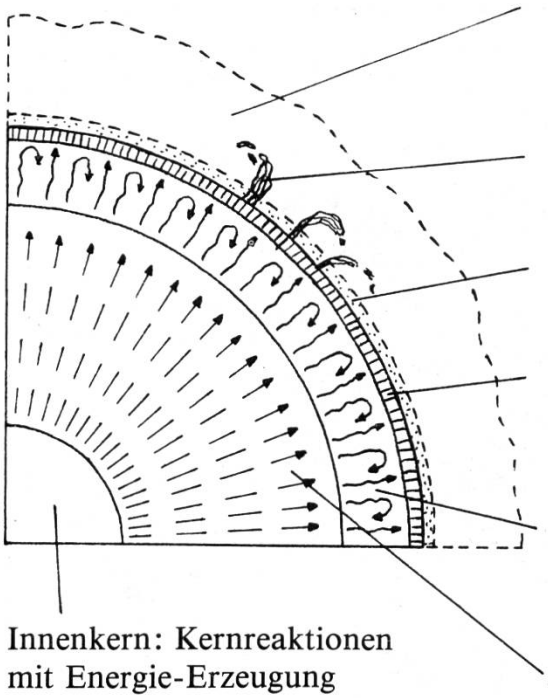
Das werdende Sonnen-Planeten-System.
Im Zentrum des rotierenden Sonnennebels beginnt die Ursonne aufzuleuchten. Gas- und Staubwolken umhüllen sie als flache Scheibe. Bereits sind aus der interstellaren Materie die Kerne der Planeten auskondensiert. Sonne und Planeten nehmen weiterhin Partikel aus den Nebelringen auf, bis diese verschwunden sind.

Die Sonne

Äquatordurchmesser	1'392'000	km
Rotationszeit am Äquator	25	Tage
Masse in Erdmassen	333'000	
Dichte in g/cm³	1,4	
Oberflächentemperatur	6000	Grad Celsius

Seit über 4 Milliarden Jahren beleuchtet und erwärmt die Sonne die Erde. Sie wirkt dadurch als grundlegender Motor für alles irdische Leben. Sie hält aber auch den Kreislauf des Wassers in Gang und ist gleichzeitig Hauptursache für Klima und Wetter. Von der in den Weltraum ausgestrahlten Energie trifft die Erde nur 1 Zweimilliardstel. Die Sonne besteht aus 75% Wasserstoff, 23% Helium und nur 2% schwereren Elementen.

Aufbau der Sonne



Korona: Schicht aus dünn verteilten Gasen, die sich bis 17 Mio km in den Weltraum erstrecken.

Protuberanzen: Wasserstoff-Eruptionen bis über 100'000 km Höhe.

Chromosphäre: rot leuchtende äussere Atmosphäre.

Photosphäre: untere Atmosphäre, bildet die sichtbare Oberfläche mit 6000 Grad C.

Konvektionszone: aufsteigende Gase transportieren die Energie nach oben und sinken wieder zurück.

Aussenkern: Energietransport von Materieteilchen zu Materieteilchen.

Innenkern: Kernreaktionen mit Energie-Erzeugung bei ca. 15 Mio Grad C.

Die im Sonnenzentrum ablaufenden Kernreaktionen erzeugen unvorstellbar hohe Temperaturen. Dabei werden pro Sekunde 300 Mio Tonnen Wasserstoff in Helium verwandelt. Die frei werdende Energie wird nach aussen transportiert und in Form von Licht, Wärme, Röntgenstrahlung, usw. in den Weltraum abgestrahlt. Die Kernfusionen haben einen gewaltigen Massenverlust von 4 Mio Tonnen je Sekunde zur Folge. Trotzdem wird die Sonne noch weitere 10 Milliarden Jahre so weiterstrahlen können. Die Sonnenflecken sind Zonen mit etwas tieferer Temperatur (4500°), weshalb sie dem Betrachter dunkel erscheinen. Sie treten in einem 11-Jahreszyklus auf. Ihre elektromagnetische Strahlung scheint unser Wetter zu beeinflussen.

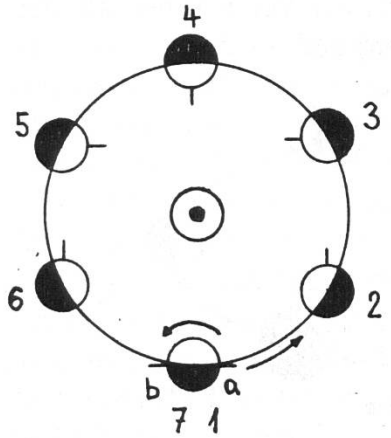
Merkur

Äquatordurchmesser	4840	km
Rotationszeit um die eigene Achse	59	Tage
Masse in Erdmassen	0,06	
Dichte in g/cm³	5,4	
Mittlere Entfernung von der Sonne	57'900'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	88	Tage
Mittlere Bahngeschwindigkeit	172'400	km/Std
Anzahl Monde	—	

Der sonnennächste Planet Merkur kann heller leuchten als der hellste Fixstern, ist aber nur in der Dämmerung zu beobachten. Er steht der Sonne so nahe, dass ihr blendendes Licht seine Beobachtung erschwert. Er ist dann sichtbar, wenn er ganz niedrig über dem Horizont steht, also kurz vor Sonnenauf- oder Sonnenuntergang. Weil Merkur zwischen Sonne und Erde steht, weist er Phasen wie der Mond auf; so erscheint er bei seiner grössten Helligkeit im Fernrohr als Sichel. Er kann sich der Erde bis auf 76 Mio km nähern.

Mit seinen 4840 km Durchmesser ist Merkur nur wenig grösser als der Mond. Wie die amerikanische Sonde Mariner 10 1974/75 enthüllte, ähnelt die Landschaft auf dem Merkur verblüffend derjenigen des Mondes, indem er ebenfalls mit Kratern, Ringgebirgen und Rillen übersät ist. Nebst dem Mars ist er der einzige Planet, auf dem man auch mit Fernrohren Einzelheiten erkennen kann, denn seine Atmosphäre ist ausserordentlich dünn. Deshalb und wegen der Sonnennähe kommen extreme Temperaturschwankungen vor: Auf der der Sonne zugewandten Seite steigt die Temperatur bis auf 425° C an, während sie auf der Nachtseite auf —183° C absinkt.

Auf dem Merkur dauert der Tag (von Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenaufgang) 176 Erdentage, das heisst etwa halb so lang wie ein irdisches Jahr. Da die Eigenrotation des Merkur 59 Erdentage, also ⅔ der Umlaufzeit um die Sonne, beträgt, hat ein Ort auf diesem Planeten während einem Sonnenumlauf andauernd Tag, anschliessend aber während dem nächsten Umlauf dauernd Nacht (s. Darstellung).



Jahr und Tag auf dem Merkur

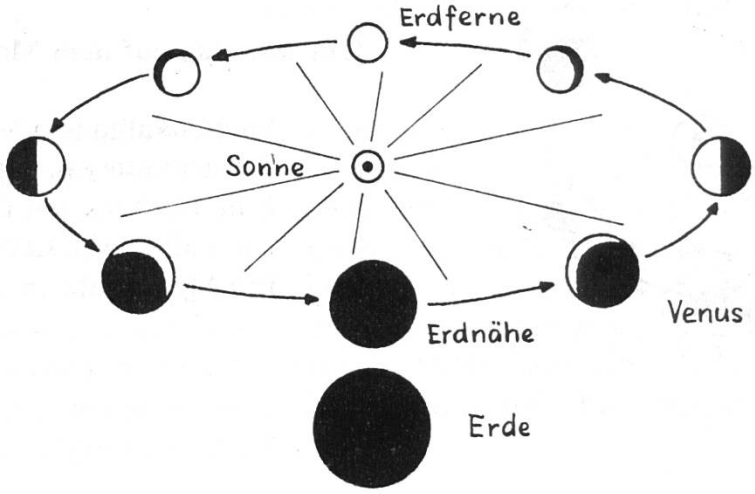
a	Sonnenaufgang eines Ortes am Äquator
b	Sonnenuntergang eines Ortes am Äquator
1—5	Eine Drehung um die eigene Achse
1—7	Ein halber Merkurtag = Tagzeit
1—7	Ein Merkurjahr = 1 Umlauf um die Sonne

Venus

Äquatordurchmesser	12'100	km
Rotationszeit	243	Tage
Masse in Erdmassen	0,82	
Dichte in g/cm³	5,2	
Mittlere Entfernung von der Sonne	108'200'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	225	Tage
Mittlere Bahngeschwindigkeit	126'200	km/Std
Anzahl Monde	—	

Die Venus ist derjenige Planet, der von allen der Erde am nächsten stehen und auch die grösste Helligkeit erreichen kann. Sie leuchtet entweder als Abend- oder als Morgenstern am Himmel. Sie besitzt eine ausserordentlich dichte Atmosphäre aus 95% Kohlendioxid, ferner Stickstoff, Kohlenmonoxid, nur 0,4% Sauerstoff und Spuren von Wasserdampf. Da ihre feste Oberfläche unter einer undurchsichtigen Decke gelblichweisser Wolken vorwiegend aus Schwefelsäure und Schwefeldioxid liegt, konnten die Wissenschaftler erst anfangs der 60er Jahre feststellen, wie lange die Venus für eine Umdrehung um die eigene Achse braucht (243 Tage). Sie dreht sich aufgrund neuester Radarmessungen vermutlich auf die andere Seite als alle übrigen Planeten. Seit 1978 kartiert eine Pioneer-Sonde mit einem Radar-Höhenmesser die Venus-Oberfläche. Aufgrund der Ähnlichkeit mit der Erde würde man auf diesem Schwesterplaneten ähnliche tektonische Vorgänge wie auf der Erde erwarten, z. B. Auffaltung von Gebirgen, Bildung von tiefen Gräben, Verschiebung von Kontinenten. Die Bilder aber zeigen Strukturen, die auf eine starre, zusammenhängende Kruste, aber sehr aktiven Vulkanismus mit Schildvulkanen bis 10'000 m Höhe, schliessen lassen. Da die physikalischen Daten (Masse, Volumen, Dichte) denen der Erde erstaunlich ähnlich sind, wurde unter anderem die Frage aufgeworfen, ob auf der Venus einfaches Leben möglich sei. 1970 drangen zwei sowjetische Raumsonden durch die Atmosphäre auf die Oberfläche der Venus vor. Sie meldeten über Funk und Fernsehen, dass dort eine Hitze von rund 500° C und ein Druck von 100 Atmosphären (auf der Erde 1 Atmosphäre) herrschen. Die extrem hohen Temperaturen sind eine Folge des Treibhauseffektes, der durch die Kohlendioxid-Atmosphäre hervorgerufen wird. Ferner vermutet man Orkane, die bis 6fache Windgeschwindigkeiten irdischer Wirbelstürme erreichen. Somit kann selbst mit niedrigem Leben kaum gerechnet werden. Wegen der Umlaufbahn der Venus innerhalb der Erdbahn weist die Venus wie Merkur Lichtgestalten (Phasen) auf.

Entstehung der Venus-Phasen

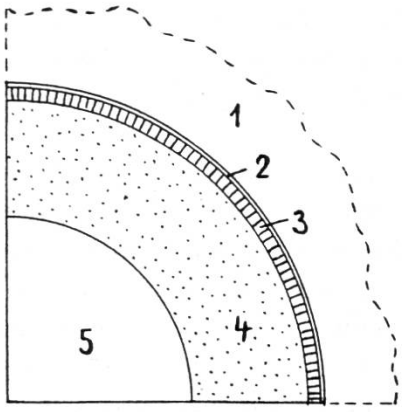


Erde

Äquatordurchmesser	12'756	km
Rotationszeit um die eigene Achse	23 Std 56	Min
Masse in Erdmassen	1	
Dichte in g/cm³	5,5	
Mittlere Entfernung von der Sonne	149'600'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	365 Tg 57	Min
Mittlere Bahngeschwindigkeit	107'280	km/Std
Anzahl Monde	1	

Die Erde kreist wie alle Planeten auf einer ellipsenförmigen Bahn um die Sonne und wird ständig vom Mond begleitet. Aus dem Weltraum betrachtet erschiene uns die Erde als Doppelplanet, denn der Mond verfügt mit mehr als ¼ Erddurchmesser über eine beachtliche Grösse. Die Erde stellt keine Kugel, sondern ein Rotationsellipsoid dar; sie ist an den Polen um 43 km abgeplattet.
Die Erdoberfläche hat eine Ausdehnung von 510 Mio km², wovon die Ozeane 71% bedecken. Das Wasser, das nur auf unserem Planeten in flüssiger Form vorkommt, ist die Grundlage, dass auf der Erde Leben entstehen konnte.

Schalenbau der Erde



1 Atmosphäre
2 Wasserhülle im Mittel 3 km
3 Lithosphäre ~100 km
4 Erdmantel 2800 km
5 Erdkern 3600 km

Das Innere der Erde ist schalenförmig aufgebaut: Die Lithosphäre bildet die Gesteinshülle der Erde mit der Erdkruste als fester äusserer Haut. Diese ist vergleichsweise dünner als eine Eischale. Unter den Kontinenten liegen Krustengesteine in einer Mächtigkeit von 20-40 km. Sie weisen eine etwas geringere Dichte auf als die basaltischen, die die nur 5 km dicke Kruste unter den Ozeanen aufbauen. Die gesamte Lithosphäre bildet ein Mosaik von Platten, die sich entlang ihrer Ränder gegenseitig bewegen (Plattentektonik). Der Erdmantel ist eine zähe, 1000-3700° C heisse Masse aus schweren Mineralien mit vorwiegend Eisen-Sizilium, Magnesium und Calzium. Der Erdkern aus sehr dichtem Eisen und Nickel dürfte über 4000° C aufweisen. Der Erdmagnetismus entsteht vermutlich in der Grenzzone zwischen Mantel und Kern. Die Atmosphäre umhüllt die Erde in mehreren Schichten. In der untersten, der Troposphäre, spielen sich die eigentlichen Wettervorgänge ab. Ihre obere Grenze liegt zwischen 10-17 km Höhe. Sie setzt sich aus 76% Stickstoff, 23% Sauerstoff, 1% Edelgasen sowie 0,045% Kohlen-

dioxid zusammen. Darüber folgt die Stratosphäre, wo sich zwischen 30-50 km Höhe eine Ozonschicht gebildet hat, die die UV-Einstrahlung grösstenteils absorbiert. Von der Exosphäre, der Übergangszone in den Weltraum, nimmt man an, dass sie in Form vereinzelter Wasserstoffteilchen bis in 200'000 km Höhe reicht.

Die Erde ist ein Sonderfall

Wie eingangs dargelegt worden ist, entstand die Erde gleichzeitig mit den übrigen Planeten vor 4,5 Mia Jahren. Sie ist ein typischer Vertreter der erdähnlichen Gesteins- und Metallplaneten. Aus diesen allgemeinen Merkmalen zu schliessen, ist sie kein aussergewöhnlicher Wandelstern. Bei näherer Kontrolle aber setzt sie sich trotzdem von sämtlichen anderen Gestirnen des Sonnensystems deutlich ab: Ihre Kruste ist auch heute noch nicht stabil, sondern wird durch plattentektonische Vorgänge dauernd verändert. Ihre Oberfläche wird zu ⅔ von flüssigem Wasser, den Ozeanen, bedeckt. Ihre Atmosphäre enthält einen hohen Prozentsatz freien Sauerstoffs (O_2) und eine Schicht Ozon (O_3). Sie besitzt eine Biosphäre, das heisst eine Hülle, in der sich Leben entwickelt hat.

Diese wichtigsten Besonderheiten stehen im Planetensystem einzigartig da und sind daher einige Erklärungen wert. Sie sind eine Folge der Entfernung der Erde von der Sonne, indem diese auf der Erde eben die Strahlungsintensität entwickelt, die zu einem Temperaturspektrum führt, in welchem das Wasser vorwiegend in der flüssigen Phase (0°-100°) auftritt. Zudem liegen Volumen und Masse innerhalb einer kritischen Spanne, in der das Innere heiss und zähplastisch gehalten wird, aber doch eine kühle Oberfläche möglich ist. Die Erdmasse erzeugt genügend grosse Gravitationskräfte, um Gase und Dampf einer Lufthülle festhalten zu können. Aus all dem geht hervor, dass die Erde parallel zu der normalen, üblichen Entwicklung eine ihr eigene Evolution durchgemacht haben muss.

Entgegen älteren Auffassungen begann die Erde ihre Laufbahn vor 4,5 Mia Jahren nicht als glühende, flüssige Kugel, sondern als «kühler», aus Materiebrocken zusammengestückelter Körper. In dieser Frühphase dürfte die Erde von einer solaren Gasatmosphäre aus Wasserstoff und Helium eingehüllt gewesen sein. Mit der zunehmenden Erhitzung der Ursonne und dem einsetzenden Sonnenwind wurde diese aber wohl bereits vor 4,4 Mia Jahren regelrecht in den Weltraum hinausgefegt. Durch Einverleiben einschlagender Meteore und durch Anschweissen kleinerer Sonnennebel-Partikel wuchs die Protoerde bis vor 4 Mia Jahren auf nahezu ihre heutige Grösse heran. Die Massenzunahme liess die Gravitation und damit auch Druck und Temperatur im Erdkern stark ansteigen. Die Einverleibung von Brocken mit radioaktiven Isotopen und die Umwandlung der während des 500 Mio Jahre dauernden Meteoren-Bombardements erzeugten Aufprallenergie führte zu zusätzlicher Erhitzung. Nach wenigen 100 Mio Jahren war der Schmelzpunkt des Eisens erreicht, worauf der Kern und in der Folge die gesamte Erdkugel aufschmolzen. Diese Prozesse führten zu einer Differenzierung der Materiemassen der Erde, indem die schweren Metalle in den Kern absanken, während die leichteren Gesteinsschmelzen nach oben stiegen, in sich wieder nach Dichte gegliedert. Die Grobstruktur des Schalenbaus war damit hergestellt.

Die thermischen Umwälzungen im Erdinnern bewirkten auch eine Entgasung der Schmelzen. Vor 4 Mia Jahren setzte als Folge der Beruhigung im Erdinnern und der von aussen eindringenden Abkühlung die Bildung der Erdkruste ein, während sich die ausgestossenen Gase zu einer zweiten, diesmal erdeigenen Atmosphäre aus H_2O, H_2,

CO, CO_2, N_2 vereinigten. Diese Lufthülle war noch ohne Sauerstoff, enthielt aber bald soviel Wasserdampf (H_2O), dass er abzuregnen begann und die Erde rascher abkühlte. Die tiefen Becken der Erdoberfläche füllten sich mit Wasser, der Ur-Ozean war geboren. Vor vielleicht 3,5 Mia Jahren war ein Entwicklungsstand erreicht, der für die Entstehung von Leben ein günstiges Milieu aufwies: Komplexe Kohlenwasserstoffe hatten sich im Ozean angereichert. Sein Wasser wies genügend hohe Temperaturen für biologische Aktivitäten auf. Die Wolkendecke war nicht mehr geschlossen und liess Sonnenlicht durchstrahlen. Wie dann aber in und aus dieser «Ursuppe» Leben mit seiner hochorganisierten inneren Ordnung entstehen konnte, ist noch immer weitgehend rätselhaft. Die ältesten heute bekannten Strukturen in Gesteinen, die auf Organismen oder auf komplexe organische Stoffe hinweisen, sind auf etwas mehr als 3 Mia Jahre datiert worden.

Der von den frühen Lebewesen produzierte Sauerstoff reicherte sich vorerst im Ozean an und begann vor 2 Mia Jahren in die Atmosphäre zu diffundieren. Als er rund 1% der Gase der Lufthülle ausmachte, wurde daraus unter Einwirkung der Sonnenstrahlung die Ozonschicht aufgebaut. Damit war es vor 700 Mio Jahren möglich geworden, dass die Organismen die Meeresoberfläche und schliesslich das Festland besiedelten. Angeregt durch die vielen neu erschlossenen Lebensräume setzte vor 600 Mio Jahren eine sprunghafte Evolution der Lebewesen ein. Kurz hintereinander treten Frühformen aller heutiger Tierstämme auf. Die ersten ausgedehnten Wälder vor 420 Mio Jahren lassen keinen Zweifel daran, dass das heutige Sauerstoffniveau erreicht war.

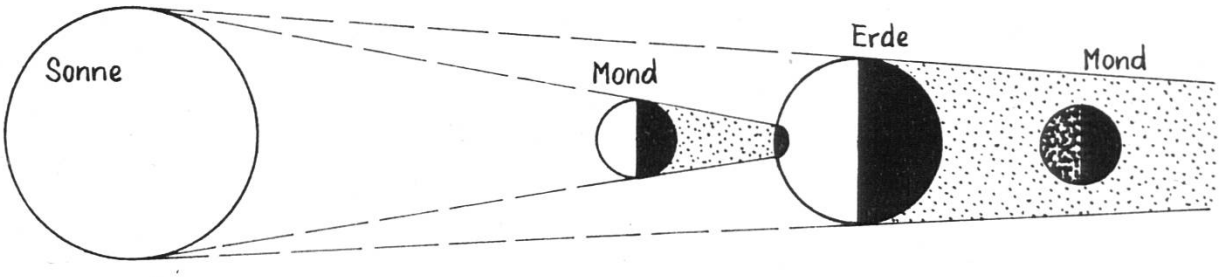
Seither, also während mehr als 400 Mio Jahren, muss ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen den Gasen der Atmosphäre und den sie verbrauchenden oder produzierenden Organismen geherrscht haben. Und heute? Heute ist der Mensch dabei, dieses labile Gleichgewicht durch den ungeheuerlichen Ausstoss an schädlichen Stoffen ins Wanken zu bringen.

Mond

Äquatordurchmesser	3476 km
Rotationszeit um die eigene Achse	27 Tg 7 Std
Masse in Erdmassen	0,012
Dichte in g/cm³	3,3
Mittlere Entfernung von der Erde	384'400 km
Umlaufzeit um die Erde	27 Tg 7 Std
Mittlere Bahngeschwindigkeit	3670 km/Std

Der Mond kreist um die Erde und mit ihr um die Sonne. Er hat weder Lufthülle noch Wasser; darum ist auch kein Leben möglich. Die Oberfläche zeigt Täler, Ebenen und bis zu 11'000 m hohe Gebirge. Sie ist übersät mit Tausenden kleiner und grosser Krater, die fast ausschliesslich auf Meteoriteneinschläge zurückzuführen sind. Diese Impaktereignisse gehen auf das kosmische Bombardement vor 4,5-4 Mia Jahren zurück. Viele Ringgebirge, die bis mehrere Hundert km Durchmesser aufweisen können, sind von der Erde aus schon mit einem Feldstecher erkennbar. Gewaltige Ausflüsse von Magma führten vor 3,8-2,8 Mia Jahren zur Entstehung der «Mondmeere», welche als dunkle Flecken schon von blossem Auge sichtbar sind. Zwischen 1969 und 1972 landeten 12 Astronauten auf dem Mond. Anhand der von ihnen gesammelten Gesteinsproben konnte festgestellt werden, dass das Mondgestein ähnliche Zusammensetzungen aufweist wie das Erdgestein: blasige, kristalline und magmatische Gesteine, vor allem Basalte, und Mondstaub mit Teilchen auch unter 1 cm Grösse. Aus magnetisierten und eingeregelten Mineralkörnern kann geschlossen werden, das der Mond ähnlich der Erde einen eisenhaltigen Metallkern besitzt, der aber bereits vor 3-2,5 Mia Jahren erstarrt ist. Wegen der geringen Masse beträgt die Anziehungskraft des Mondes nur ⅙ derjenigen der Erde. Auf der Sonnenseite herrschen Temperaturen bis zu +120° C, auf der Nachtseite aber bis —150° C, da schützende Wolkendecke und Atmosphäre fehlen. Mondjahr und Mondtag dauern gleich lang, weil sich der Erdtrabant während eines Umlaufs um die Erde gerade einmal um seine Achse dreht; aus diesem Grunde wendet er uns immer dieselbe Seite zu. Da er nicht selbst leuchtet, sondern nur das Sonnenlicht reflektiert, durchläuft er während eines Mondjahres alle Lichtgestalten von Neumond über Vollmond wieder zu Neumond. Besondere Stellungen des Mondes zu Sonne und Erde führen zu Finsternissen (s. unten).

Finsternisse Sonnenfinsternis Mondfinsternis

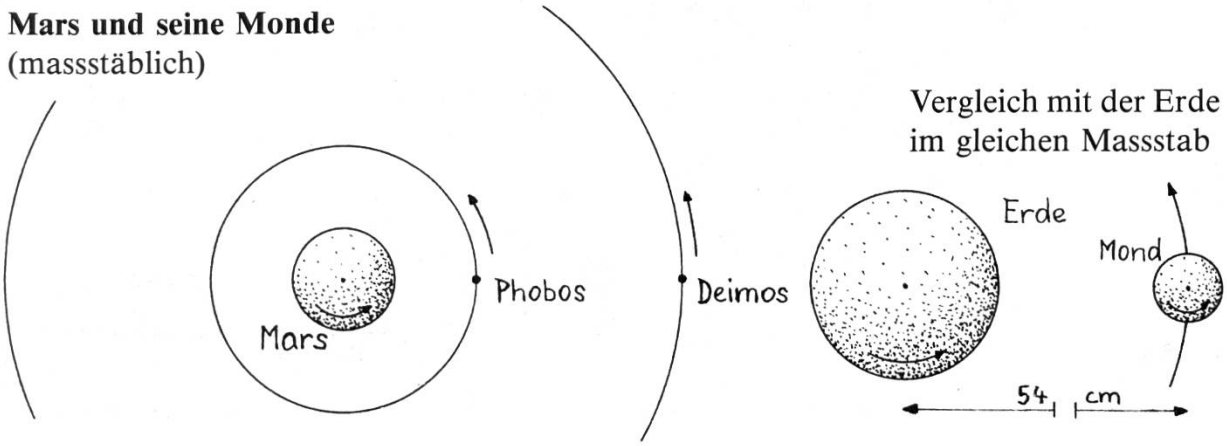


Mars

Äquatordurchmesser	6800	km
Rotationszeit um die eigene Achse	24 Std 37	Min
Masse in Erdmassen	0,11	
Dichte in g/cm³	3,9	
Mittlere Entfernung von der Sonne	228'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	1 J 322	Tg
Mittlere Bahngeschwindigkeit	87'000	km/Std
Anzahl Monde	2	

Mars erinnert in vielerlei Hinsicht an unsere Erde, weshalb man Leben auf diesem Planeten als möglich erachtete. Erst seit 1965, als die erste Sonde zum Mars geschickt worden war, kennt man die Marsatmosphäre und die Struktur der Oberfläche genauer. Dabei erwiesen sich die berühmten Marskanäle, die intelligente Wesen erbaut hätten, als nicht existent. Die rötliche Farbe des Planeten wird vermutlich durch Eisenoxide (Rost-ähnliche Verbindungen) hervorgerufen. Die dunklen Flecken, die von den ersten Beobachtern für Meere gehalten wurden, sind wie auf dem Mond Magmaergüsse. Nebst vielen Meteoritenkratern besitzt Mars auch Vulkane; Olympus Mons ist mit 25'000 m Höhe der gewaltigste bekannte Vulkan des Sonnensystems. Es gibt keine Anzeichen für flüssiges Wasser; die ganze Oberfläche ist Wüste. Hingegen deuten trocken liegende Flusstäler auf ehemaliges Vorhandensein von Wasser. An beiden Polen finden sich weisse Polkappen, die einerseits aus Wassereis wie die Eiskappen auf der Erde, anderseits aber auch aus Trockeneis (Kohlendioxideis) bestehen. Ganz allgemein ist im Marsboden in Form von Permafrosteis viel Wasser gespeichert.
Mars besitzt eine Atmosphäre, die allerdings 125mal dünner ist als die irdische. Sie besteht grösstenteils aus Kohlendioxid (95%) und enthält ferner 3% Stickstoff sowie 0,4% Sauerstoff. Damit erklären sich auch die grossen Temperatur-Schwankungen von wenig über 0° C Tageshöchstwerten bis —123° C nachts. Die zahlreichen gewaltigen Trockentäler und kolossale Erdrutsche an Bergflanken deuten darauf hin, dass Mars vor Jahrmilliarden in eine dichte, wasserdampfreiche Atmosphäre eingehüllt war.
Zwei Monde umkreisen Mars: Phobos und Deimos. Ihre mittleren Durchmesser betragen 20 und 13 km. Deimos benötigt für einen Umlauf um den Mutterplaneten 30 Std 18 Min, Phobos schafft es in 7 Std 39 Min. Wahrscheinlich handelt es sich bei diesen Minimonden um eingefangene Planetoiden.

Mars und seine Monde
(massstäblich)

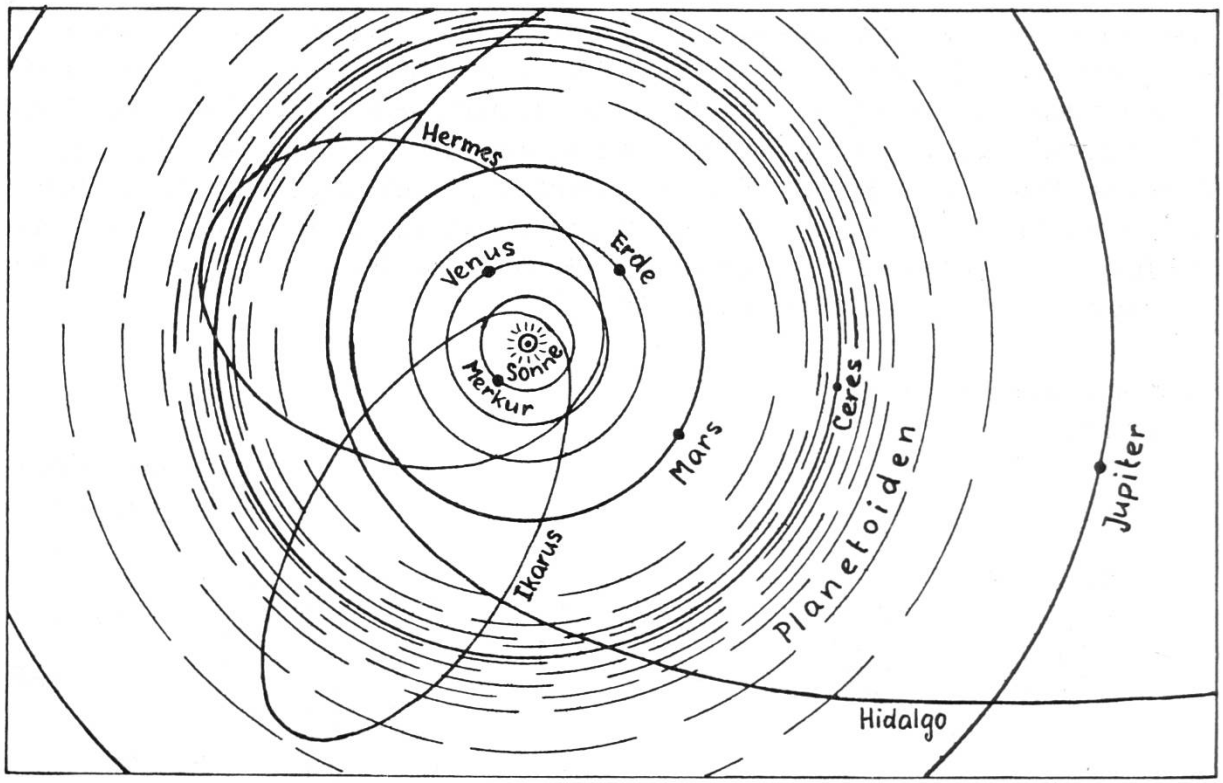


Ceres (Planetoid)

Äquatordurchmesser	1000	km
Rotationszeit um die eigene Achse	9	Std
Mittlere Entfernung von der Sonne	414'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	4 J 221	Tg
Geschätzte Anzahl Planetoiden	40'000-100'000	Stück
Beobachtete Anzahl Planetoiden	7000	Stück
Gesamte Masse (unsicher)	1/100-1/10	Erdmasse
Dichte in g/cm³ (Ceres)	5	

In der Lücke zwischen Mars und Jupiter laufen Tausende kleiner Weltkörper von der Grösse weniger bis 1000 km als Kleinplaneten oder Planetoiden um die Sonne. Es handelt sich durchwegs um unregelmässig geformte Felsbrocken, die mit Kratern bedeckt sind. Ihre Splitterform, ihre grosse Zahl und ihre Häufung zwischen Mars und Jupiter legten die Vermutung nahe, dass es sich um die Überreste eines durch eine Naturkatastrophe zersprengten Planeten handeln könnte. Heute neigt man dazu, sie als unfertige Planeten, als Zusammenballungen von Materie des Sonnennebels aufzufassen.
Der grösste dieser Kleinplaneten, Ceres, wurde erstmals 1801 beobachtet. Seither wurden in jedem Jahr mehrere neue Planetoiden entdeckt. Viele dieser Himmelskörper halten sich nicht an den Planetoiden-Gürtel, sondern beschreiben exzentrische Bahnen, indem sie andere Planetenbahnen überkreuzen (s. Darstellung). Ein grösserer Teil der die Erde treffenden Meteoriten scheint aus ihrem Bereich zu stammen.

Planetoiden-Bahnen mit Sonderfällen (massstäblich)



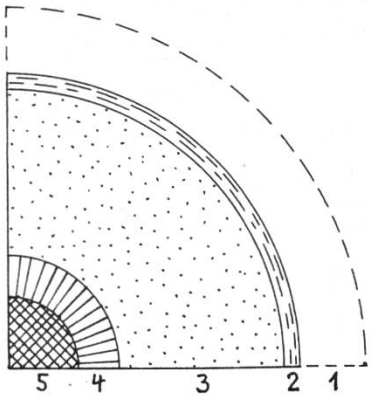
Jupiter

4

Äquatordurchmesser	142'800	km
Rotationszeit um die eigene Achse	9 Std 50	Min
Masse in Erdmassen	318	
Dichte in g/cm³	1,3	
Mittlere Entfernung von der Sonne	778'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	11 J 315	Tg
Mittlere Bahngeschwindigkeit	47'200	km/Std
Anzahl Monde	14	

Jupiter ist nicht nur der grösste, sondern auch der lebhafteste Planet: Er rotiert in weniger als 10 Std einmal, das heisst in kürzerer Zeit als alle andern Planeten. Er übertrifft die Erde im Durchmesser 11mal, an Masse 320mal und an Volumen über 1000mal. Im weitern beträgt seine Masse mehr als das Doppelte derjenigen aller übrigen Planeten. In der Wolkenhülle des Riesenplaneten zeichnen sich farbige Gase in gut sichtbaren Streifen ab, die sich dauernd verändern. Südlich des Äquators schwebt seit einem Jahrhundert ein riesiger roter Fleck, der grösser ist als die Erde und dessen Ursprung erst Jupitersonden klären konnten: Es muss sich um einen gewaltigen Orkan in der Atmosphäre handeln. Seine rote Farbe dürfte auf roten Phosphor zurückzuführen sein. Die Oberseite der Wolkenhülle weist maximale Temperaturen von —145° C auf. Die Zusammensetzung der Atmosphäre und das Innere des Riesenplaneten weichen völlig von den erdähnlichen Planeten ab (s. Darstellung).

Mutmasslicher Aufbau von Jupiter



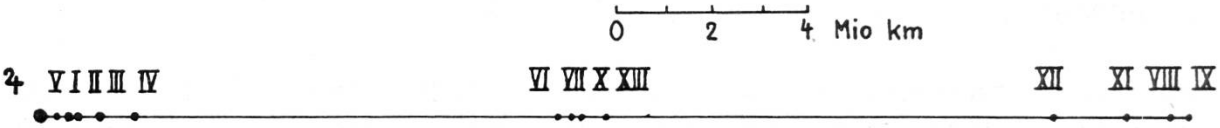
1 Atmosphäre: zur Hauptsache Wasserstoff und Helium, ferner Ammoniak und Methan
2 Übergangszone: flüssiger Wasserstoff
3 Mantel: Wasserstoff und Helium, verfestigt mit «metallischem Charakter»
4 Äusserer Kern: Gefrorenes Methan, Ammoniak und Wasser
5 Innerer Kern: Metalle und Gesteine

Die Sonde Voyager I fotographierte 1979 einen «Jupiterring», der allerdings viel weniger ausgeprägt ist als derjenige des Saturn. Er umgürtet den Jupiter 57'000 km über dem Wolkenmeer, ist rund 6000 km breit und nur einige km dick. Er ist so lichtschwach, dass er von der Erde aus durch den Planeten überstrahlt wird. Vermutlich setzt er sich aus Gesteins- und Eisbrocken zusammen. Der Ring könnte einem innersten Jupitermond entsprechen, der sich nicht zu einem grösseren Körper verdichtet hat.

Monde des Jupiter

Jupiter bildet mit seinen vielen Satelliten, wobei die grössten Planetenausmasse wie Mars und Merkur erreichen, eine Art «Miniatur-Sonnensystem». Bereits Galilei entdeckte 1610 die 4 bedeutendsten Monde. Der jüngste Satellit XIV wurde erst 1975 aufgefunden; seine Bahnelemente konnten noch nicht festgelegt werden. Gesamthaft ergeben sich 3 Gruppen verschiedener Monde.

Das System der Jupitermonde (Distanzen massstäblich)



innere Monde
gross, Kugelform (ausser V);
Durchmesser bis über 5000 km;
vergleichbar mit Erdenmond;
kreisförmige Umlaufbahnen in der Äquatorebene Jupiters;
rechtläufig (Drehsinn des ♃);
echte, ursprüngliche ♃-Monde;

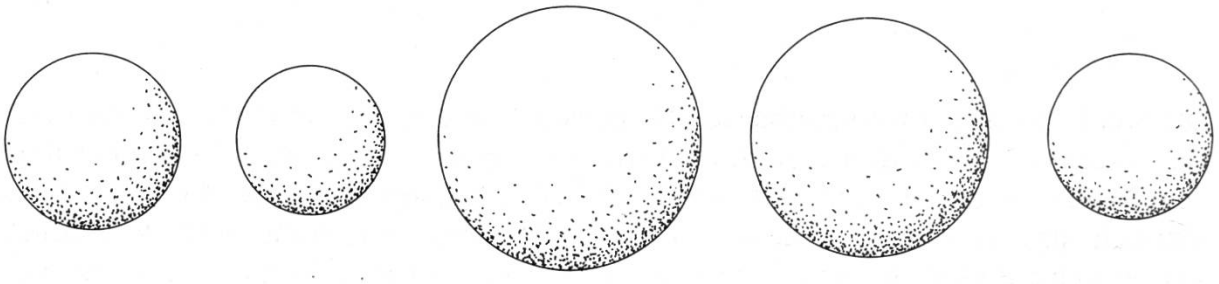
mittlere Monde
klein, unregelmässig, «Felsbrocken;
Durchmesser zwischen 10 und 170 km;
ähnlich Planetoiden oder Marsmonde;
stärker elliptische Umlaufbahnen, Bahnen bis 30° zur Äquatorebene geneigt;
rechtläufig;
vermutlich eingefangene Planetoiden;

äussere Monde
rückläufig;

Die 4 galileischen Monde
Diese 4 grossen Trabanten lassen sich mit ihren Bewegungen bereits mit einem Feldstecher gut beobachten.

Nr.	*Name*	*Durchmesser*	*Abstand von ♃ (⊕)*	*Umlaufzeit um ♃ (⊕)*	*Dichte*	*Reflexion (Albedo)*	*Temp. am Äquator*	
							mittags	*nachts*
I	Io	3636 km	422'000 km	1,8 Tage	3,5 g/cm³	63%	—133° C	—190° C
II	Europa	3066	671'000	3,6	3,0	64	—133	—190
III	Ganymed	5216	1'071'000	7,1	1,9	43	—119	—190
IV	Kallisto	4890	1'844'000	16,1	1,8	17	—106	—190
Vgl. Erdenmond		3476	384'000	27,3	3,3	7	+120	—150

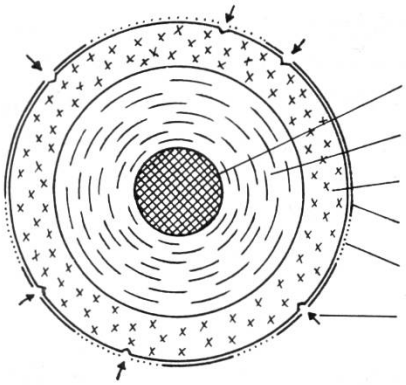
Grössenvergleich



Io Europa Ganymed Kallisto Erdenmond

Die galileischen Monde geben Hinweise auf die Entstehungsgeschichte des Sonnensystems. In den frühesten Jahrmillionen müssen gewaltige Mengen Meteoriten auf die noch jungen Planeten und ihre Satelliten niedergeprasselt sein. Der von Jupiter weit entfernte Mond *Kallisto* ist bereits in dieser Frühphase erstarrt, ist er doch mit Einschlägen und Riesenkratern geradezu übersät. Je näher die Trabanten Jupiter umlaufen, umso stärker werden sie von diesem beeinflusst und desto später sind sie ausgefroren. In den letzten 4 Milliarden Jahren war die Meteoritenhäufigkeit nur noch gering, sodass die Zahl der Astrobleme äusserst klein geworden ist.

Aufbau des Ganymed



1 fester, metallischer Kern
2 Mantel: Ozean aus heissem Wasser
3 Kruste: gefrorenes Wasser, Eispanzer
4 dunkle Platten, dicke Schichten Meteoritenstaub
5 helle Zonen, dünne Schichten Meteoritenmaterial
6 Einschlagkrater, weiss, reichen bis auf den Eispanzer

Ganymed hat bereits ausgedehnte helle Gebiete, die nur dünn mit Meteoritenstaub bedeckt sind. Einschlagskrater sind weniger häufig und kleiner. *Europa* weist nur noch eine geringe Zahl kleiner Krater sowie unbedeutend Meteoritenstaub auf. Überall ist der weisse Eispanzer erkennbar, weshalb die Albedo (Reflexionsvermögen) sehr hoch ist. Die Oberfläche von *Io* ist mit Salzpfannen, Schwefelverbindungen und Lavaergüssen, welche die grellen Farben des Mondes erzeugen, bedeckt. Einschläge fehlen ganz; Io zeigt im Gegenteil äusserst aktiven Vulkanismus, wie er im Sonnensystem einzig dasteht. Die Nähe Jupiters ruft starke Gezeitenkräfte hervor, durch die das Innere dieses Trabanten ständig aufgeheizt wird.
Je weiter aussen der Satellit, desto geringer seine Dichte, d.h. sein Erstarren erfolgte so rasch, dass auf ihm auch noch leichter flüchtige Substanzen einfrieren konnten. In Jupiternähe verlief die Abkühlung viel langsamer, da auch der Riesenplanet seine Wärme (in der Frühphase war er oberflächlich ca. 1500° C heiss) nur langsam abgegeben hat. Bei langsamer Abkühlung und hohem Gezeitendruck in Jupiternähe wurden den inneren Monden mehr leichte Elemente und Substanzen ausgetrieben; ihre Dichte ist denn auch wesentlich höher.
Im Gefolge der Auswertungen der Voyager-Flüge dürften in nächster Zukunft noch weitere aufschlussreiche Resultate zu erwarten sein.

Saturn

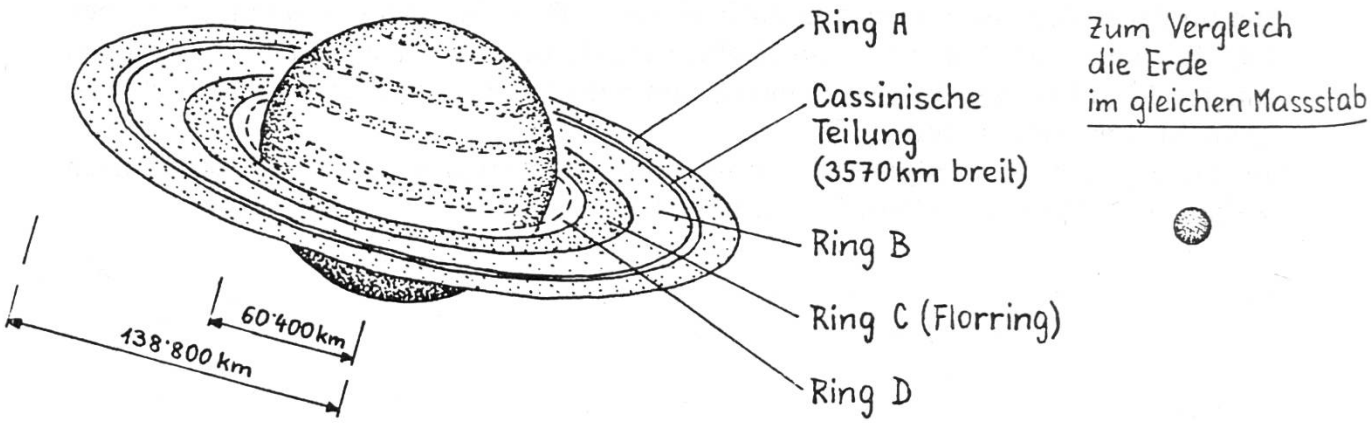
Äquatordurchmesser	120'800	km
Rotationszeit um die eigene Achse	10 Std 39	Min
Masse in Erdmassen	95	
Dichte in g/cm³	0,7	
Mittlere Entfernung von der Sonne	1'427'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	29 J 167	Tg
Mittlere Bahngeschwindigkeit	34'600	km/Std
Anzahl Monde	17	

Der zweitgrösste Planet in unserem Sonnensystem und einzig in seiner Art ist Saturn. Er hat den 10fachen Durchmesser der Erde und rotiert doppelt so schnell um seine Achse, weshalb er an den Polen stark abgeplattet ist. Der innere Aufbau des Saturn ist jupiterähnlich. Er hat mit 0,7 g/cm³ die geringste mittlere Dichte aller Planeten (Erde 5,5 g/cm³). Seine Atmosphäre enthält über 80% Wasserstoff und über 10% Helium. Die Wolkenhülle aus Methan und Ammoniak zeigt wie bei Jupiter wirbelförmige Strömungen; am Äquator herrschen Windgeschwindigkeiten bis 1700 km/h. Die Temperaturen liegen bei —180° C.

Die Saturnringe

Diese auffällige Besonderheit des Riesenplaneten ist kein festes oder starres Gebilde, sondern setzt sich aus einzelnen Partikeln zusammen, denn die äusseren Partien rotieren langsamer als die inneren. Es handelt sich um feinen Staub und um Eiskristalle aus Methan und Ammoniak; ein grosser Teil aber sind Gesteins- und Eisbrocken von cm bis 10 m Durchmesser. Die Raumsonde Voyager I lieferte 1980 spektakuläre Bilder. Darnach sind die bisher bekannten Ringe (s. Darstellung) in Hunderte von Einzelringen unterteilt, was den Eindruck einer gigantischen Schallplatte erweckt. Das Ringsystem liegt genau in der Äquatorebene des Planeten und ist nur 1-3 km dick.

Ansicht des Saturn



Monde des Saturn

Das System der Saturnmonde, das durch teleskopische Entdeckungen bis 1966 auf 10 Satelliten angewachsen war, wurde durch die Flüge von Pioneer 11, Voyager I 1980 und Voyager II 1981 um 7 Trabanten erweitert; Saturn ist mit 17 Begleitern am reichsten an Monden.

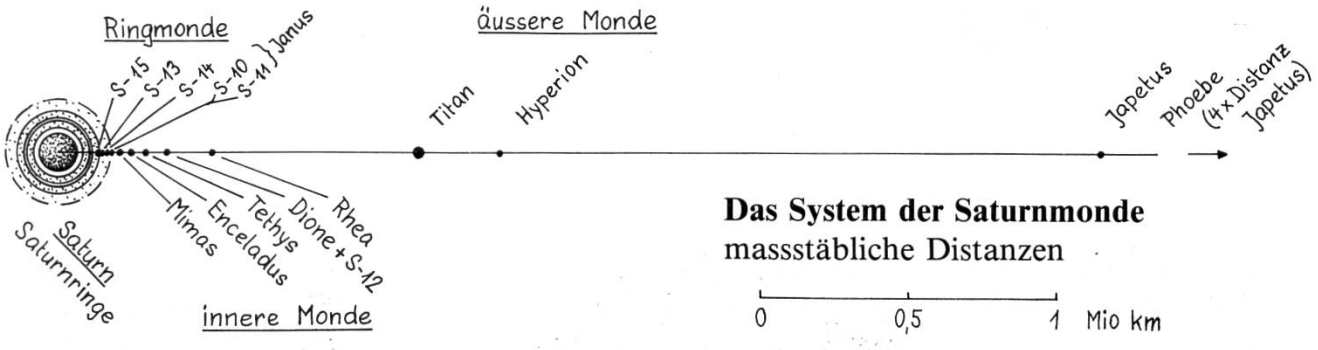
Die 7 *Ringmonde* bewegen sich an den Grenzlinien einzelner Ringe und spielen die Rolle von Wachhunden, indem sie durch Gravitation und Energieaustausch die Partikel innerhalb der Ringstreifen halten.

Die 6 *inneren Monde* weisen eine geringe Dichte von wenig über 1 g/cm³ auf; sie werden vorwiegend aus Wassereis mit einem Gesteinskern aufgebaut. Ähnlich dem Erdenmond sind sie mit Kratern übersät.

Die 4 *äusseren Monde* zeigen ausser Titan mit den innern vergleichbare Merkmale: geringe Dichte, viel Wassereis, Meteoriteneinschläge.

Titan ist mit 5140 km Durchmesser der zweitgrösste Mond im Sonnensystem und deutlich grösser als der Planet Merkur. Als einziger Saturntrabant besitzt er eine Wolkenhülle, die orange-rot und vollkommen dicht ist. Sie besteht aus höheren Kohlenwasserstoffen (Äthan, Äthylen, Acetylen) und Cyanwasserstoffen. Die Atmosphäre enthält über 80% Stickstoff und zudem Methan. Damit scheint sie ähnlich zusammengesetzt zu sein wie die Uratmosphäre der Erde. Die Temperaturen an der Wolkenoberseite betragen —198° C.

Titan ist aufgrund der Dichte von 2 g/cm³ je etwa zur Hälfte aus Silikatgestein (Kern) und Eis (Mantel) aufgebaut. An der Mondoberfläche liegen die Temperaturen bei —180° C, weshalb das Methan teils flüssig, teils im festen Zustand vorkommen dürfte. Dieser Kohlenwasserstoff könnte auf Titan die entsprechende Rolle spielen wie auf der Erde das Wasser, d. h. man vermutet Flüsse und Seen aus flüssigem und Gletscher aus gefrorenem Methan. Cyanwasserstoff ist eine wichtige Vorstufe beim Aufbau von Aminosäuren, die ihrerseits die chemischen Bausteine der lebenden Substanz bilden. Für eine Synthese komplexer organischer Moleküle dürften aber die Temperaturen zu niedrig sein.

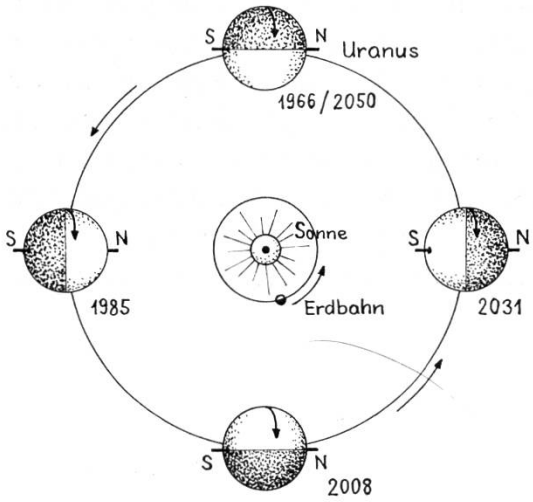


Uranus

Äquatordurchmesser	50'800	km
Rotationszeit um die eigene Achse	10 Std 49	Min
Masse in Erdmassen	14,6	
Dichte in g/cm³	1,3	
Mittlere Entfernung von der Sonne	2'870'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	84 J 5	Tg
Mittlere Bahngeschwindigkeit	24'500	km/Std
Anzahl Monde	5	

Uranus wurde im Jahre 1781 zufällig vom Astronom Herschel entdeckt. Der Planet hat eine dichte, leicht grünlich leuchtende Atmosphäre aus Wasserstoff, Helium und Methan, deren Wolken keinen Blick auf seine Oberfläche gestatten. Der Ammoniak ist bei den tiefen Temperaturen um —170° C ausgefroren. 1977 stellte man fest, dass Uranus, ähnlich wie Saturn, aber weniger auffällig, von Ringen umgeben ist.

Folgen der Achsenneigung des Uranus



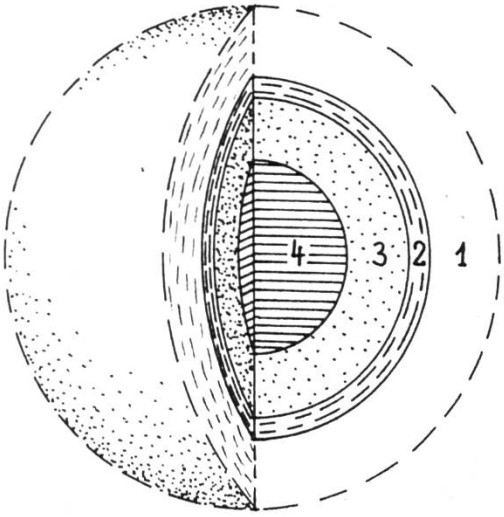
Eigenartig ist die Neigung der Rotationsachse. Während diese bei den andern Planeten beinahe senkrecht zur Umlaufbahn steht, liegt sie beim Uranus nahezu in der Bahnebene, so dass der Planet gleichsam auf dieser abrollt. So ergibt sich, dass jede Polregion während eines halben Uranus-Jahres dauernd Tag, dann ebenso lang Nacht hat.

Uranus wird von 5 Monden begleitet: Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon. Diese haben Durchmesser von 550 (Miranda) bis 1630 km (Oberon) und sind damit wesentlich kleiner als der Erdenmond. Anhand des von ihnen reflektierten Sonnenlichtes und ihrer Massen muss angenommen werden, dass sie zu 60% aus Wassereis und zu 40% aus Felsgestein bestehen.
Die amerikanische Raumsonde Voyager II, die 1981 den Saturn erkundet hat, wird 1986 auch an Uranus vorbeifliegen. Von ihr erhofft man sich neue, aufschlussreiche Daten über diesen fernen Riesenplaneten und seine Monde.

Neptun

Äquatordurchmesser	48'600	km
Rotationszeit um die eigene Achse	15 Std 40	Min
Masse in Erdmassen	17,2	
Dichte in g/cm³	1,7	
Mittlere Entfernung von der Sonne	4'500'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	164 J 288	Tg
Mittlere Bahngeschwindigkeit	19'400	km/Std
Anzahl Monde	2	

Auf Grund von Bahnstörungen, die sich bei Uranus zu Beginn des 19. Jahrhunderts zeigten, berechneten zwei Mathematiker, Leverrier und Adams, unabhängig voneinander die Bahn eines weiteren Planeten ausserhalb Uranus, der dann 1846 vom Astronom Galle in Berlin gefunden wurde. Neptun hat eine Atmosphäre, die derjenigen des Jupiter gleicht, aber mit höherem Methan-Anteil. Seine Farbe ist bläulich-grün.
Am 22. Juli 1984 wurde, während Neptun vor einem Fixstern vorbeizog, noch vor der eigentlichen Bedeckung ein kurzfristiger Abfall der Lichtintensität des Sterns um 35% registriert. Die Analyse ergab, dass ein etwa 15 km breiter Partikelring 50'000 km über der Neptun-Oberfläche die Lichtabsorption hervorgerufen haben müsse. Damit weist auch der äusserste Riesenplanet ähnlich wie Saturn ein allerdings bescheidenes Ringsystem auf.



Das Wildt'sche Neptunmodell

1 Atmosphäre
2 Mantel aus verfestigten Gasen
3 Eisschicht, gefrorenes Methan
4 Steinkern

Der ebenfalls 1846 entdeckte erste Neptunmond Triton gehört mit 4000 km Durchmesser zu den grössten Trabanten unseres Sonnensystems. Sein Abstand von Neptun beträgt 353'600 km. Grösse und Abstand sind gut mit dem Erdenmond vergleichbar. Allerdings bewegt sich Triton rückläufig und viel schneller als dieser, nämlich in 5 Tg 21 Std um seinen Zentralplaneten. Möglicherweise besitzt Triton, was bei Monden eine Ausnahme ist, eine Atmosphäre wie der Saturnmond Titan. 1949 wurde der zweite Mond Nereide entdeckt. Er ist nur 300 km gross, im Mittel 5'560'000 km von Neptun entfernt und umläuft diesen in 359 Tg 21 Std Nereide ist rechtläufig, weist aber für einen Mond eine einmalig exzentrische Bahn auf.

Pluto

Äquatordurchmesser	2700	km
Rotationszeit um die eigene Achse	6 Tg 9	Std
Masse in Erdmassen	0,0026	
Dichte in g/cm³	~2	
Grösste Entfernung von der Sonne	7'400'000'000	km
Kleinste Entfernung von der Sonne	4'400'000'000	km
Umlaufzeit um die Sonne	247,7	J
Mittlere Bahngeschwindigkeit	16'900	km/Std
Anzahl Monde	1	

Pluto ist der kleinste und leichteste Planet in unserem Sonnensystem. Er wurde 1930 aufgrund von Berechnungen entdeckt. Da Pluto wegen seiner stark elliptischen Bahn sogar diejenige von Neptun schneidet, nehmen Astronomen an, dass er eventuell einmal ein Trabant Neptuns war, den dieser bereits bei der Entstehung des Planetensystems verloren hat. An seiner Oberfläche herrschen Temperaturen um —220° C.
Ganz überraschend entdeckte man im Juli 1978 einen Plutomond, für den der Name «Charon» vorgeschlagen wurde. In der griechischen Mythologie ist «Charon» der «Fährmann der Unterwelt». Dieser Trabant hat einen Durchmesser von 850 km und umkreist seinen Zentralstern gleich schnell, wie dieser rotiert. Das bedeutet, dass vom Pluto aus gesehen der Mond immer an derselben Stelle am Himmel steht.

Rückblick und Ausblick

Der Planeten-Wanderweg endet mit dem äussersten Wandelstern, dem Pluto. Rückblickend wird ein Wanderer sich sagen müssen: Erstaunlich, dass die Sonne (6 km entfernt im Botanischen Garten) über eine derartige Distanz immer noch soviel Macht und Kraft besitzt, dass sie das winzige Kügelchen Pluto in ihrem Bann halten und zwingen kann, unaufhörlich auf elliptischer Bahn um sie zu reisen!
Doch wie ginge die Reise ins Weltall nun weiter? Der nächste Fixstern, der vielleicht wie die Sonne auch ein Planetensystem beherrscht, liegt im Sternbild Kentauer und ist rund 4 Lichtjahre von uns entfernt. Dies ergäbe in unserem Modell 40'000 km, was bedeutet, dass ein Wanderer die ganze Erde umrunden müsste, um dorthin zu gelangen. Dazwischen fände er nichts als die Leere und Weite des Weltalls. Und trotzdem leuchten in unserer Milchstrasse 100'000 Millionen Sonnen und es existieren Millionen Milchstrassen. Lässt uns da der Sternenhimmel nicht wieder staunen und bescheiden werden?

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

BAKER, D. und HARDY, D. (1979): Der Kosmos-Sternführer; Planeten, Sterne, Galaxien. — Kosmos, Stuttgart.

EYNERN, P. von (1977): Die faszinierende Welt der Sterne. — Heyne, München.

HABER, H. (1965): Unser blauer Planet. — Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart.

HERRMANN, J. (1977): dtv-Atlas zur Astronomie. — Deutscher Taschenbuch Verlag, München.

RYAN, P. und PESEK, L. (1981): Das Sonnensystem. — List, München.

STANEK, B. (1977): Das Sonnensystem. — Hallwag, Bern.

— (1979): Planeten Lexikon. — Hallwag, Bern und Stuttgart.

STANEK, B. und PESEK, L. (1976): Neuland Mars; Erkundung eines Planeten. — Hallwag, Bern und Stuttgart.

STÖRIG, H.J. (1972): Knaurs moderne Astronomie. — Droemer Knaur, München und Zürich.