

Das Sonnensystem 2003

Das Skript zum Film, Version 2. 6. 2007.

Sonnensystem — ein kleiner Teil vom Weltall, weiter, nahezu leerer Raum. Eine für den Menschen feindliche Umgebung — fast ohne Umluft, ohne festen Boden unter den Füßen.

Die Sonne, Planeten und ihre Monde, Asteroiden und Kometen sind gewisse Insel, in welche die Masse konzentriert ist. Zum Sonnensystem rechnen wir jedoch auch kleinere Körper — die Meteoriden, den zwischenplanetaren Staub und Gas, oder Strahlkörper — die Photonen.

Unter allen wirkt gegenseitige Anziehungskraft, Gravitationskraft, welche ihre Bewegungen bestimmt. Weitaus am schwierigsten ist die Sonne, und deshalb laufen alle anderen um sie. Je näher zur Sonne, mit desto größerer Umlaufgeschwindigkeit bewegt sich de Körper.

Der äuerste Planet ist Neptun, gefolgt mit Uran, Saturn, Jupiter, Mars, Erde, Venus und Merkur. Die Mittelentfernung zwischen der Sonne und Erde, die man *astronomische Einheit* nennt, beträgt 150 Mio. Kilometer; das Licht legt diese Strecke in 8 Minuten und 20 Sekunden zurück. Der Erdedurchmesser beträgt nur 13 000 km.

Die Planeten und Monde leuchten mit keinem eigenen sichtbaren Licht, sie widerspiegeln nur eien Teil der Sonnenlicht. Dagegen ist die Sonne ein Stern und strahlt als solcher mit ihrer ganzen Oberfläche in ale Richtungen.

Manchmal können wir am dunklen Nachthimmel eine von den kleinsten Partikeln des zwischenplanetarischen **Staubs** abgestrahlte Strahlung beobachten — Diese Erscheinung nennen wir *Sodiakales Licht*.

Die **Meteoroiden**, also steinerne Bruchstücke mir einer Gröe von einem Milimeter bis zu Einige Meter, kann man in dem Augenblick gut beobachten, wenn sie in die Umluft unseres Planeten fliegen. Bei einer gegenseitigen Geschwindigkeit um 50 km/s beginnen sie sich durch reibung mit der Luft in Höhen von 150 km über der Erde zu erwärmen. Wir sehen dann am Himmel eine erwärmte, leuchtende Spalte von ionisierter Luft, die man umgangssprachlich *Meteor* nennt (wir sagen, dass die "Sterne fallen").

Mehrmals am Jahr, zum Beispiel um den 12. August, oder 18. November geht de Erde durch Ströme von kometaren Meteorsteinen, was wir am Himmel als *Meteorenschwarm* betrachten.

Die größeren und festeren Meteoriten können den Durchflug durch die Atmosphäre "überleben" und als *Meteoriten* auf die Erde fallen.

Die größeren Körper sind **Asteroiden**. Typisch haben sie eine unregelmäßige Form, und sie bestehen aus Steinmaterial. Im Hauptstreifen zwischen dem Mars und Jupiter umläuft zirka eine Million von Asteroiden, welche größer als 1 km sind.

Die kleinen **Monde von Planeten**, zum Beispiel Fobos oder Amalthea, ähneln den Asteroiden sehr.

Die großen Monde kann man mit Planetoiden vergleichen: Ganymedes, der Mond von Jupiter, ist sogar größer als Merkur. Körper mit einem Durchmesser über 1 000 km haben meistens eine regelmäßige, Kugel-, oder Ellipsenform.

Die vier sonnennächsten Planeten — Merkur, Venus, Erde und Mars — nennt man die **erdähnlichen Planeten**. Sie sind sich relativ ähnlich: größtenteils bestehen sie aus Steinmaterial mit fester Oberfläche und mit Ausnahme von Merkur sind sie mit einer dünnen Gasschicht bedeckt- man nennt diese Schicht Atmosphäre. Die üblichsten chemischen Elemente im Erdkörper sind Eisen, Sauerstoff, Silicium und Magnesium.

Die weiteren Planeten, Uran und Neptun, gehören zu einer anderen Gruppe, wo die Eis(en) von Wasser, Methan und Ammoniak, oder Mischung aus Wasserstoff, Helium und Stein den wesentlichsten Bestandteil bilden.. Diese Planeten nennen wir Auenplaneten, oder **Eisriesen**.

Jupiter und Saturn sind die **Gasriesen**. Wie nennen sie Planeten des Jupiter-Types. Ihr relativ kleiner Kern besteht wahrscheinlich aus Stein und Eis, die umfangreiche Hülle besteht aus dem Eisen- und molekularen Wasserstoff und Helium.

Alle großen Planeten haben Ringe (auch wenn man sie nur beim Saturn mit bloem Auge betrachten kann) und zahlreiche Familien von regelmäßigen und unregelmäßigen Monde.

Die **Sonne**. Eine glühende Gaskugel mit einer Oberflächentemperatur von ca. 6 000 °C. Darin ist ein natürlicher termonuklearer Reaktor, in dem die Atomkerne von Wasserstoff und zu Atomkernen von Helium umgewandelt werden, wobei Photonen und Neutrinos freigesetzt werden. Diese Energiequelle funktioniert bereits 4,5 Milliarden Jahren.

Eine wesentliche Erscheinung von Änderungen auf der Sonne sind die *Sonnenflecken und Eruptionen*. Beide davon werden durch starkes *Magnetfeld* der Sonne verursacht, das die Bewegung der Sonnenmasse beeinflusst — d.h. elektrisch leitenden ionisierten Gasen, oder *Plasma*.

Die umfangreichsten Objekte des Sonnensystems können die **Kometen** sein. Ihr Kern aus Eis und Steinen ist zwar winzig, (meistens mit einem Durchmesser von einigen Kilometern), doch wenn sie sich der Sonne nähern, beginnt das Eis zu sublimieren und die entweichenden Gase bilden zusammen mit dem mitgerissenen Staub Koma und Schwanz. Ihre dünnflüssige Wasserstoffhülle kann bis zu 100 Mio. Kilometer groß werden.

Die Kometenschwänze richten sich immer ungefähr sonnenaußenwärts. Die Gasmolekülen und Staubkörner interagieren nämlich mit der Strahlung und dem Sonnenwind, einem Strom von geladenen Partikeln, welche sich aus der Sonne in den zwischenplanetaren Raum mit einer Geschwindigkeit von bis 500 km/s ausbreiten.

Merkur, der erste Planet, bekommt von der Sonne die meiste strahlende Energie. Auf der beleuchteten Halbkugel erreicht die Temperatur über 300 °C, doch die abgewandte Halbkugel kühlt sehr schnell auf –200 °C ab. Die Oberfläche ist mit *impakten Kratern* bedeckt, welche nach Stößen mit Asteroiden oder Kometen entstehen. Ein großer Teil der Oberfläche wurde bis heute von keiner kosmischen Sonde beobachtet.

Die **Venus** ist immer mit einer dichten Atmosphäre umhüllt (der Druck bei der Oberfläche ist 90 Mal höher als auf der Erde). Obwohl die Venus zweimal weiter als Merkur um die Sonne läuft und dazu zwei Drittel der Sonnenstrahlung widerspiegelt, beträgt die Oberflächentemperatur einen unglaublichen Wert von 460 °C. Die Ursache dafür ist ein starker *Glashauseffekt* — der Kohlendioxid in der Umluft lässt die sichtbare Sonnenstrahlung zu Oberfläche, doch absorbiert die aus der Oberfläche ausgestrahlte UV-Strahlung und verhindert dadurch die Oberflächenabkühlung.

Die Radare haben uns ermöglicht, unter die undurchsichtige Atmosphäre nachzusehen — sie haben eine Oberfläche festgestellt, die durch *Brüche und Vulkane* charakterisiert ist. Aus der Anzahl von impakten Kratern kann man ableiten, dass die vulkanische Tätigkeit die meiste Venus-Oberfläche vor 700–500 Mio. Jahren geändert hat.

Der dritte Planet von der Sonne ist die **Erde**. Sie hat eine passende Größe und Entfernung von der Sonne, damit auf ihrer Oberfläche nicht nur Wasserdampf oder Eis, sondern auch *Flüssigwasser* vorkommen können — eine der Voraussetzungen für Entstehung des Lebens. Die urzuständige Umluft wurde durch Tätigkeiten von lebendigen Organismen völlig verändert und enthält heutzutage vor allem Stickstoff und Sauerstoff.

Sie weicht von allen anderen Planeten auch durch ihre *Platten-Tektonik* — die zu einzelnen Platten zerrissenen Erdkruste, welche sich auf der Auenhülle bewegen können. Die Ozeanböden entstehen ständig in den Ozeankämmen durch vulkanische Tätigkeit und verschwinden durch Schiebungen unter andere Platten. Bei Kollisionen der Platten werden neue Streifen- Bergzüge gefaltet. Dies kann eine große Bedeutung für das Leben am Festland haben, da sonst die Erosion alle Gebirge allmählich verwischen könnte und die Erdoberfläche wäre mit Ozean verdeckt.

Die Erde wird vom **Mond** begleitet. Auch er hat für das Leben auf der Erde eine Bedeutung: durch die Gezeiten bewirkt er zusammen mit der Sonne den Wechsel von Ebbe und Flut. Langfristig stabilisiert der Mond die Rotationsachse der Erde und verhindert so plötzliche, extreme Klimaänderungen.

Von der Erde aus können wir nur eine Mond-Halbkugel beobachten, da der Mond sich um seine Achse mit der gleichen Periode dreht, wie er um die Erde umläuft. Diese Erscheinung nennen wir *gebundene Rotation*.

Der Mond wurde vor ungefähr 4,45 Milliarden Jahren geformt, als mit der Protoerde ein wie Mars größer Körper gestoßen ist. Bei der Kollision ist eine riesige Menge an Brüchen entstanden, wovon die meisten zurück auf die Erde gefallen sind, doch ein Teil bildete einen Ring um die Erde. Dieser Ring hat sich binnen einer sehr kurzen Zeit, vielleicht einigen Wochen, zu einem Satellit zusammengeschlossen — nämlich unseren Mond.

In der Nähe der Erde können auch kleine Körper auftauchen — Asteroiden. Im Schnitt kommt es einmal pro 1 000 Jahre zum Zusammenstoß der Erde mit einem Asteroiden, der größer als 100 Meter ist. Einmal in mehrere Zehn Millionen Jahren kann eine Kollision mit einem 10 km-Asteroiden bei großen Aussterben von Lebewesen und Pflanzenarten mitwirken. Das bekannteste Beispiel dafür ist das Aussterben der Dinosaurier vor 65 Mio. Jahren.

Mars. Ein Planet, das durch seine rote Farbe charakterisiert ist, die durch Eisenoxide verursacht wird.

Die Höhenkarte und Verteilung des Kraters auf der Oberfläche deuten darauf hin, dass die ganze nördliche Halbkugel von Mars vor ca. 3. Milliarden Jahren wahrscheinlich mit Ozean bedeckt war.

Erinnerung an die Tätigkeit des flüssigen Wassers sind die Erosionsformen in zahlreichen Tälern. Der größte von allen ist Vallis Marineris, 4000 km lang, 7 km tief.

Das Tal leitete das Wasser ab aus dem erhöhten Gebiet von Tharsis. Tharsis hat einen vulkanischen Ursprung und man findet da die größten Vulkane des Sonnensystems — zum Beispiel Olympus Mons mit der Höhe von 27 km und Grundlage mit einem Durchmesser von 600 km.

Die letzten 2 Milliarden Jahre ist Mars aus der geologischen Sicht ein eher ruhiger Planet. Ein schwacher Wind "tändelt" in der dünnen Atmosphäre mit kleinen Sandkörnchen, Saisonänderungen führen zur regelmäßigen Vergrößerung von Polarspitzen im Winter und zu ihrer Verkleinerung im Sommer.

Auf der Bahn zwischen Mars und Jupiter können wir zum Beispiel einen Asteroiden Nummer (243) **Ida** finden. Dieser 50 km Asteroid gehört in die Familie Koronis, was man nach den ähnlichen Bahnen und ähnlichen Farben der Mitglieder erkennen kann. Einst bildeten diese Asteroiden einen einzigen Körper, der jedoch bei irgendeinem großen Impakt zersplittert hat. Dabei entstand wahrscheinlich auch der gegenwärtige Mond von Ida — der ein Kilometer große Dactyl.

Jupiter; er hat ein größeres Gewicht als alle anderen Planeten sowie kleinere Körper im Sonnensystem zusammen. Er strahlt doppelt so viel Energie aus, als er von der Sonne empfängt. Die Quelle dafür ist wahrscheinlich die winzige Planeverkleinerung und Umwandlung der Rotationsenergie in Wärme. In der Atmosphäre von Jupiter beobachten wir seit mehreren Jahrhunderten einen großen Sturm, genannt *großer roter Fleck*.

Aus Zehn Monden von Jupiter sind wahrscheinlich *Io* und *Europa* die beachtungswürdigen. Die Gezeiten von Jupiter sind auf dem Io dermaßen stark, dass sie den ganzen Mond deformieren und seinen Kern zu mehreren Tausend Grad Celsius erwärmen. Auf der Oberfläche erscheint dies als eine ununterbrochene vulkanische Tätigkeit. Die Vulkane werfen den Schwefelstoff mehrere Hundert Kilometer hoch aus und ändern so unheimlich schnell die Oberfläche.

Europa ist umgekehrt ein sehr glatter Mond, bedeckt mit Wasser-Eis. Die Rissstruktur und die magnetometrischen Messungen weisen jedoch auf Existenz eines unterirdischen flüssigen Ozeans hin.

Saturn. Wurde berühmt durch die Schönheit seiner *Ringe*. Obwohl sie einen Halbmesser über 100 000 km haben, sind sie höchstens einige Hunderte Meter stark. Vom weiten aus sehen sie als eine Reihe von Tausenden klaren und verschieden durchsichtigen Ringen aus, doch in der Wirklichkeit setzen sie sich zusammen aus einzelnen Eis-Stein-Bruchstücken mit einem typischen Durchmesser von 10 cm. "Die Lücken" und andere Strukturen in den Ringen werden durch Gravitationsstörungen der kleinen Monde verursacht, welche direkt in den Ringen oder außerhalb von ihnen umlaufen. Für die auffälligste Teilung von Cassini kann der Mond Mimas.

Uran; man kann ihn mit bloem Auge auf dem Himmel kaum mehr sehen. Er wurde 1781 von William Herschel zufällig mit einem Fernglas entdeckt. Interessant ist seine Rotationsachse, welche fast in der Ebene seiner Umlaufbahn liegt und Uran dreht so zur Sonne abwechselnd seinen Nord- und Südpol.

Die Entdeckung von **Neptun** war einer der größten Triumphe der Himmelmechanik im 19. Jh.: aus den beobachteten Umlaufbahnstörungen von Uran gelang es den Herren Adams und Le Verrier, die Lage eines unbekannteten Planeten zu berechnen, welche nachfolgend Galle tatsächlich auf dem Himmel gefunden hat. Genauso wie bei anderen großen Planeten beobachten wir in den oberen Atmosphärenschichten einen Wind mit Geschwindigkeit von mehreren Hundert Metern pro Sekunde. Ähnlich wie bei Jupiter und Saturn Jupiteru (nicht Uran) kommen auf Neptun Flecken und Stürme vor, welche wahrscheinlich über eine interne Wärmequelle zeugen.

Pluto und Charon wurden bisher von keiner Sonde besucht. Auch die besten irdischen Ferngläser unterscheiden auf ihnen nur einige hellen und dunklen Gebiete.

Es ist jedoch gelungen, hinter Neptun Hunderte von anderen Körpern zu entdecken, die eine ähnliche Bahn wie Pluto oder noch weiter haben. Die ganze Population nennen wir **Kuipergürtel**. Es handelt sich um Eiskörper, oft sehr dunkel, die um 4% der Sonnenstrahlung widerspiegeln. Die standssichere Temperatur auf ihren Oberflächen beträgt mehrere Zehn Grade über der absoluten Null (d.h. -273°C).

Um das Sonnensystem befindet sich noch die sphärische **Oortsche Wolke**. Man kann sie nicht direkt beobachten, doch wir schließen auf sie aus neuen langperiodischen Kometen, welche in das Systeminnere gleichmäßig aus allen Richtungen anfliegen.

Weiter ist schon ein Gebiet, wo langsam die Anziehungskraft fremder Sterne überwiegt. . .

Auer acht Planeten im Sonnensystem kennen wir noch einige Hunderte **extrasolare Planeten**, welche um die fremdem Sterne laufen. Die gegenwärtigen astronomischen Geräte ermöglichen uns nicht, diese entfernten Planeten direkt zu beobachten, aber ihre Eigenschaften werden aus den fotometrischen, oder astrometrischen Messungen der Muttersterne berechnet. Die meisten bisher entdeckten extrasolaren Planeten sind größer als Jupiter und laufen gleichzeitig in einer kleineren Entfernung um als die Erde um Sonne.

Nur in unserer Galaxie gibt es Hunderte von Milliarden Sterne.

Im ganzen wahrnehmbaren All gibt es mehrere Zehn Billionen von Galaxien.

Wie ist die Vergangenheit und Zukunft des Sonnensystems?

Durch Zerfallsanalyse von radioaktiven Elementen in primitivem Meteoriten haben wir erfahren, dass diese Meteoriten vor *4,56 Milliarden Jahren* erstarrt sind. In der selben Zeit ist die Sonne entstanden und das ganze planetarische System hat sich geformt.

Sterne, eigentlich ganze Sternenkuppel, entstehen aus *zwischensternartigen Gas-Staub-Wolken* (mit dem Hauptbestandteil molekularer Wasserstoff). In ihren kältesten Teilen, bei Temperaturen nur einige Grad über der absoluten Null, kommt es zum *Gravitationskollaps* — zu einer starken Verdichtung, folgender Druck- und Temperaturerhöhung und Zündung von *thermonuklearen Reaktionen*. Eben dann entsteht ein neuer Stern. Um ihn bildet sich eine *flache Scheibe* aus dem übrigen Material.

In der Scheibe kommt es oft zu *Zusammenstößen*, welche zur allmählichen Verbindung von kleinen Körpern in größere führen. Zum Schluss bleiben nur einige große Körper, in denen sich der meiste Gewicht konzentriert. Diesen Prozess nennen wir *Akretion*.

Die Ansätze von Planeten, die *Planetesimalen*, erwärmen sich weiter wegen der Wärme aus dem radioaktiven Abfall der unstabilen Elemente. Dazu tragen auch die erwähnten Kollisionen bei. Die größeren Körper werden teilweise oder völlig *umgeschmolzen*, wodurch ihre kugelförmige Form entsteht. Durch *Differenzierung* entsteht dann der Kern aus dichteren Gesteinen, während im Mantel und in der Kruste die weniger dichteren Gesteine bleiben.

In größeren Entfernungen von der Sonne können Kerne von groen Planeten entstehen, da hier genügend Eisplanetoiden sind, welche nah zur Sonne existieren können. Überschreitet das Kerngewicht einen bestimmten kritischen Wert, beginnt es sehr schnell das umliegende Gas an sich zu ziehen und das Planetengewicht vergrößert sich mehrfach.

Zum Schlu verursachen die starke UV-Strahlung und der Sternwind, dass sich der keimfähige Nebelfleck erwärmt und in den umliegenden Raum "zerblasen wird". Das Sonnensystem bekommt damit fast die gegenwärtige Gestaltung.

Der ganze Prozess dauerte gröenmäßig 100 Mio. Jahre.

Wie wir aus der Beobachtung von anderen Sternen und aus dem Modell der Sternentwicklung wissen, wird die Sonne ruhig noch ungefähr Milliarden Jahren scheinen. Dann werden die Wasserstoffvorräte im Kern ausgeschöpft und es kommt zum "Umbau" des ganzen Sonneninneren und die Sonne wird zum *roten Riesen*. Die innenliegenden Planeten können völlig verschwinden. In den weiteren Phasen explodiert der rote Riese als eine Nova, wirft seine Hülle weg, die man noch kurz als einen *Planetarischen Nebel* beobachten kann. Nach der Sonne bleibt dann nur der bloe abkühlende Kern übrig — der *weie Zwerg*.

In der Forschung von planetaren Systemen gibt es immer sehr viele offene Fragen. Was erwartet uns in den nächsten Jahren?

Die Sonde Cassini wird den Saturn und seinen Mondsystem detailliert untersuchen, die Untersuchung von Mars wird zum Beispiel mit den Sonden Mars Express und Mars Exploration Rover fortgesetzt, Merkur werden Sonden Messenger und BepiColombo untersuchen, zum Pluto fliegt die Sonde New Horizons. Die Sonde Stardust soll auf die Erde zum ersten Mal Stabproben aus dem Kometen Wild 2 bringen, Hayabusa soll eine kleine Probe aus dem nahirdischen Asteroiden Itokawa gewinnen, die zwischenplanetarische Sonde Dawn wird zum Trabant der Asteroiden Vesta und Ceres.

Wir werden wahrscheinlich Hunderte von weiteren extrasolaren Planeten entdecken, manche nur so klein wie unsere Erde. Die künftigen kosmischen Ferngläser ermöglichen es, die Spektren ihrer Atmosphären zu gewinnen. Wenn wir in den Spektren die zu Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen gehörenden Teile finden werden, können wir hoffen, dass auf den entfernten Planeten eine Biosphäre existieren könnte.

Tausende von weiteren überraschenden Entdeckungen kann man jedoch nicht voraussagen. . .