

Kapitel 1

Die Erde: Ein ganz besonderer Planet

Die Erde ist der einzige Planet im Sonnensystem, auf dem sich komplexes Leben über Milliarden von Jahren hinweg entwickelt und erhalten hat. Seit der ersten Entdeckung von Planeten außerhalb des Sonnensystems im Jahr 1995, wurden über 4.000 Exoplaneten entdeckt. Jedoch gilt nur etwa ein Dutzend von ihnen als potenziell lebensfreundlich. Daraus folgt, dass Planeten, auf denen Leben möglich erscheint, selten sind und ganz besondere Eigenschaften aufweisen müssen. Die Erkenntnis wie viele scheinbar zufällige Ereignisse zusammenkommen müssen, damit ein Planet wie die Erde entsteht, zeigt wie besonders unser Heimatplanet wirklich ist! Deshalb beginnt unser Handbuch mit der Beschreibung der astronomischen Besonderheiten der Erde.

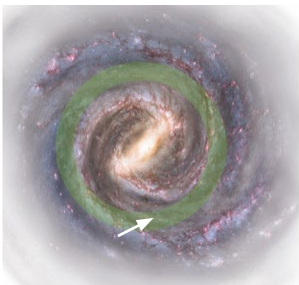


Abbildung 1 – Illustration der Lage des Sonnensystems in der Galaxis (Credits: Mandaro/Anpassung Scorza)

1.1. Ein ruhiger Ort in der Galaxis

Unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, ist eine Spiralgalaxie, die ca. 200 Milliarden Sterne beherbergt. Der für die Erde wichtigste Stern, die Sonne, befindet sich in einer ruhigen Region der Milchstraße, außerhalb eines Spiralarmes und weit weg vom galaktischen Zentrum (siehe Abbildung 1). Sie liegt damit auch weit entfernt von Gebieten mit hoher Sternendichte und damit außer Reichweite von Sternen, die als Supernova explodieren und mit ihrer Gammastrahlung das Leben auf der Erde vernichten könnten. Diese Zone wird „Habitable Zone der Galaxis“ genannt.

Aktivität 1

1.2. Die Lebenszone des Sonnensystems

Unser Sonnensystem besteht aus einem Stern (Sonne), vier Gesteinsplaneten (Merkur, Venus, Erde und Mars), vier Gasplaneten (Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun), einigen Zwergplaneten (z.B. Pluto), den Monden der Planeten, Asteroiden und

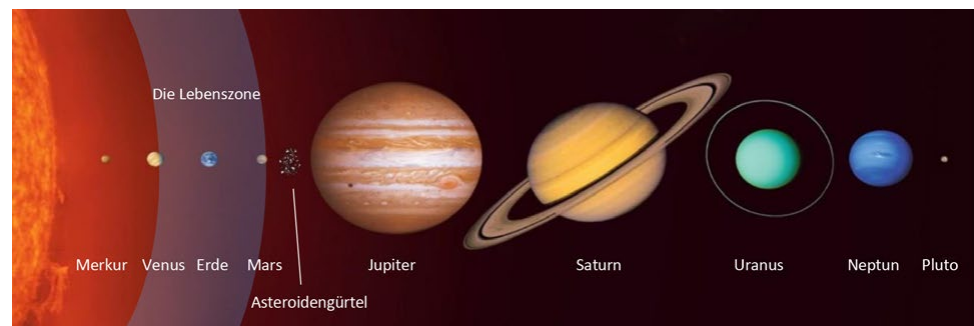


Abbildung 2 – Die Erde liegt inmitten der Lebenszone des Sonnensystems. Achtung: Im Gegensatz zu den Planetengrößen sind die Entfernungen nicht maßstabsgerecht! (Credits: NASA/verändert Scorza)

Kometen. Ein Maß für die Lebensfreundlichkeit eines Planeten ist seine Entfernung zum Mutterstern: Befindet sich der Planet in der Lebenszone des Sterns, also dort wo Wasser in flüssiger Form bestehen kann, steigert dies die Chance, dass sich Leben entwickelt. Im Sonnensystem liegt die Venus gerade außerhalb der Lebenszone, der Mars gerade noch darin [1] (siehe Abbildung 2). Die Erde befindet sich mittendrin.

1.3. Die Entstehung des Sonnensystems und der Erde

Trotz aller Unterschiede zwischen ihnen sind die Planeten des Sonnensystems zusammen mit der Sonne vor etwa viereinhalb Milliarden Jahren alle aus einer protoplanetaren Gas- und Staubscheibe (siehe Abbildung 3) entstanden. Diese formte sich aus Restmaterie einer Supernova-Explosion, in der alle Elemente, die im Kern des Sterns durch Kernfusion und während der Supernova-Explosion erzeugt wurden, vorhanden waren: von Helium über Kohlenstoff bis Eisen, Gold und Uran. Diese Elemente und auch feiner Staub (bestehend aus Silikaten und Graphit) mischten sich nach der Supernova-Explosion mit wasserstoffhaltigen Gaswolken in der Umgebung.

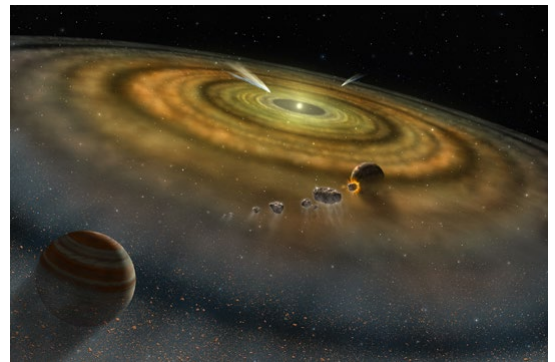


Abbildung 3 – Die Entstehung des Sonnensystems
(Credits: NASA)

Zuerst entstanden in dieser protoplanetaren Scheibe die Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Da dies weit entfernt von der Sonne geschah, konnten sie aufgrund der niedrigen Temperaturen mithilfe der Kraft der Gravitation relativ schnell große Mengen an Gas um ihre großen Gesteinskerne binden. Später formten sich aus feinem Staub die Kerne der Gesteinsplaneten Merkur, Venus, Erde und Mars, die in der Folgezeit über zahllose Einschläge anderer Himmelskörper Material ansammelten und auf Planetengröße anwuchsen. Dieser Entstehungsprozess dauerte ca. 100 Millionen Jahre.

1.4. Nur die Erde behielt ihr Wasser

Aufgrund der vielen heftigen Kollisionen in der frühen Entstehungsphase des Sonnensystems sind alle Gesteinsplaneten als sehr heiße, glühende Kugeln entstanden. Einmal abgekühlt waren sie deshalb trocken. Aber woher kam dann das Wasser?

Wasser kam bereits in der protoplanetaren Scheibe vor. Das kostbare Element sammelte sich in entlegenen Gebieten jenseits der Marsbahn (näher an der Sonne wäre es schnell verdunstet) in Form von Eis unter anderem in porösen Asteroiden und Kometen an.

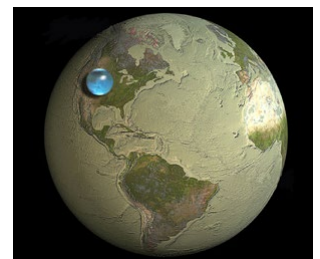


Abbildung 4 – Der maßstabsgereue kugelförmige Wassertropfen enthält das komplette Wasser der Erde (Credits: Perlman&Cook)

Aufgrund von Wanderbewegungen der Gasriesen Jupiter und Saturn wurden viele wasserhaltige Asteroiden aus ihren Bahnen herauskatapultiert. Einige wurde von der Sonne angezogen, schlugen auf der Oberfläche der inneren Gesteinsplaneten ein und brachten ihnen so das Wasser.

Dieses sammelte sich auf den drei Planeten in der Lebenszone (Venus, Erde und Mars) in Form von Wasserdampf an. Bedingt durch ihre Nähe zur Sonne wurde der Wasserdampf in der Venusatmosphäre von der UV-Strahlung der Sonne gespalten und die flüchtige Wasserstoffkomponente entwich ins All. Der Mars hingegen konnte den Wasserdampf aufgrund seiner zu kleinen Masse nicht halten. Nur auf der Erde sammelte sich im Laufe der Zeit immer mehr Wasserdampf in der Atmosphäre an. Dadurch erhöhte sich der atmosphärische Druck und als die Erdoberfläche abkühlte, fiel das Wasser als Regen auf die Oberfläche. Auf der Erde entstanden auf diese Weise die Meere und Ozeane. Große Mengen an CO_2 wurden aus der Luft vom Regen ausgespült und auf dem Meeresboden in Form von Kalkgestein gelagert. So hat der Regen die Atmosphäre der Erde lebensfreundlicher gemacht. Als viel später die Pflanzen begannen, weiteres CO_2 aufzunehmen und über Photosynthese in Sauerstoff umzuwandeln, bildete sich eine Ozonschicht, welche die Erdoberfläche vor UV-Strahlung schützte – eine wichtige Voraussetzung für die biologische Vielfalt auf der Erde.

1.5. Wie der Mond die Erde lebensfreundlich machte

Unser Mond formte sich vor etwa 4,5 Milliarden Jahren aus der Kollision der Erde mit dem Protoplaneten Theia, der doppelt so schwer war wie der Mars. Nach dem Zusammenprall sammelte sich ein großer Teil der abgeschlagenen Materie und ballte sich in einer Umlaufbahn um die Erde zusammen – der Mond war geboren.

Zuvor benötigte die Erde nur drei bis vier Stunden für eine Umdrehung und ihre Drehachse taumelte hin und her. Auf einer Erde, die so schnell rotiert, würden die Winde mit bis zu 500 Kilometern pro Stunde über die Oberfläche hinwegfegen. Erst die Anwesenheit unseres Trabanten verlangsamte die Drehbewegung der Erde auf die heutigen 24 Stunden pro Umdrehung. Auch die Drehachse wurde durch den Mond stabilisiert und liegt heute leicht geneigt bei $23,4^\circ$ im Bezug zur Ekliptik. Diese Neigung verursacht die Jahreszeiten und schwächt die Wetterschwankungen der Erde ab.



Abbildung 5 – Zusammenprall von Theia mit der Erde – die Entstehung des Mondes (Credits: NASA)

Exkurs: Der Ursprung des Wassers

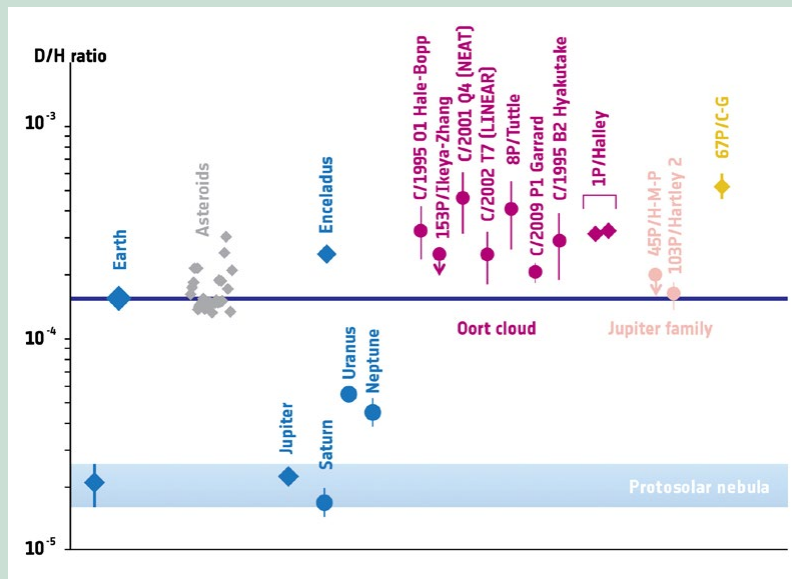


Abbildung 6 – Deuterium zu Wasserstoff (H/D) im Sonnensystem
(Credits: ESA, nach: Altwegg, K. et al., Science 10.1126/science.1261952, 2014, fig. 3)

Ein Indiz für den Ursprung des Wassers auf der Erde liefert seine chemische Analyse: Unser H_2O weist ein charakteristisches Massenverhältnis von normalem Wasserstoff zu Deuterium (schwerer Wasserstoff) von $H:D = 1:1,5 \cdot 10^{-4}$ auf, das man auch im Wasser von (kohlenstoffhaltig chondritartigen) Asteroiden findet.

1.6. Ein Magnetfeld als Schutzschild der Erde

Viele Planeten haben ein schwaches permanentes Magnetfeld. Die Erde dagegen besitzt ein dynamisches Magnetfeld, welches durch Prozesse im Erdinneren aufrechterhalten wird. Bei diesen wird, ähnlich wie bei einem Dynamo, Bewegungsenergie in elektromagnetische Energie umgewandelt. Die zugrundeliegende Physik ist nicht einfach nachvollziehbar. Grob erklärt lässt die Hitze im Erdinneren mehrere tausend Grad heißen und eisenhaltigen Gesteinsbrei in Richtung Erdoberfläche aufsteigen. Dieser kühlt dabei ab, sinkt teilweise wieder, wird von der Corioliskraft auf Schraubenbahnen gezwungen und erzeugt so das Magnetfeld. Warum besitzt ausgerechnet die Erde ein so starkes und dynamisches Magnetfeld?

Höchstwahrscheinlich spielt die Einschlagsenergie des Proto-planeten Theia eine wichtige Rolle. Sein Eisenkern versank beim Zusammenprall praktisch komplett im Zentrum der Erde. Damit ist er mitverantwortlich für die Hitze im Erdinneren und ermöglicht den Aufbau eines magnetischen Feldes.

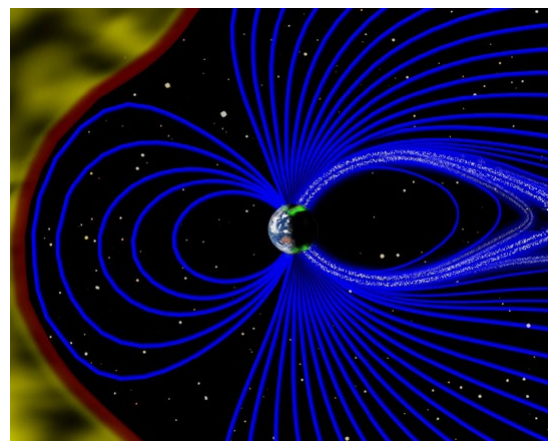


Abbildung 7 – Das Magnetfeld der Erde (Credits: NASA)

Ohne diesen Schutzschild wäre die Erdoberfläche dem sogenannten Sonnenwind schutzlos ausgeliefert. Dieser besteht aus hochenergetischen geladenen Teilchen, die Moleküle zerstören können und den Aufbau von komplexeren Lebewesen unmöglich machen. Unser Erdmagnetfeld schützt uns vor dieser kosmischen Gefahr, denn die geladenen Teilchen des Sonnenwindes werden von ihm abgelenkt. Manchmal kann man im hohen Norden und auch in der Antarktis den Himmel leuchten sehen, das sind die Nord- und Südlichter. Sie entstehen bei Stürmen des Sonnenwindes. Man sieht dann praktisch das Erdmagnetfeld bei seiner Arbeit als Schutzschild. Die Bewegungsenergie der Sonnenwindteilchen wird von den magnetischen Feldlinien der Erde aufgenommen. Als elektrische Ströme in der Hochatmosphäre bringen sie die Luft zum Leuchten, wie bei einer Leuchtstoffröhre. Kleine Anmerkung: Sollte jemand vorhaben, den Mars zu besuchen – er hat kein Magnetfeld. Gefährliche Sache so ein Marsaufenthalt.

Alle oben beschriebenen astronomischen Ereignisse und geologischen Prozesse führten dazu, dass aus einem trockenen Gesteinsplanet eine bewohnbare Welt wurde.