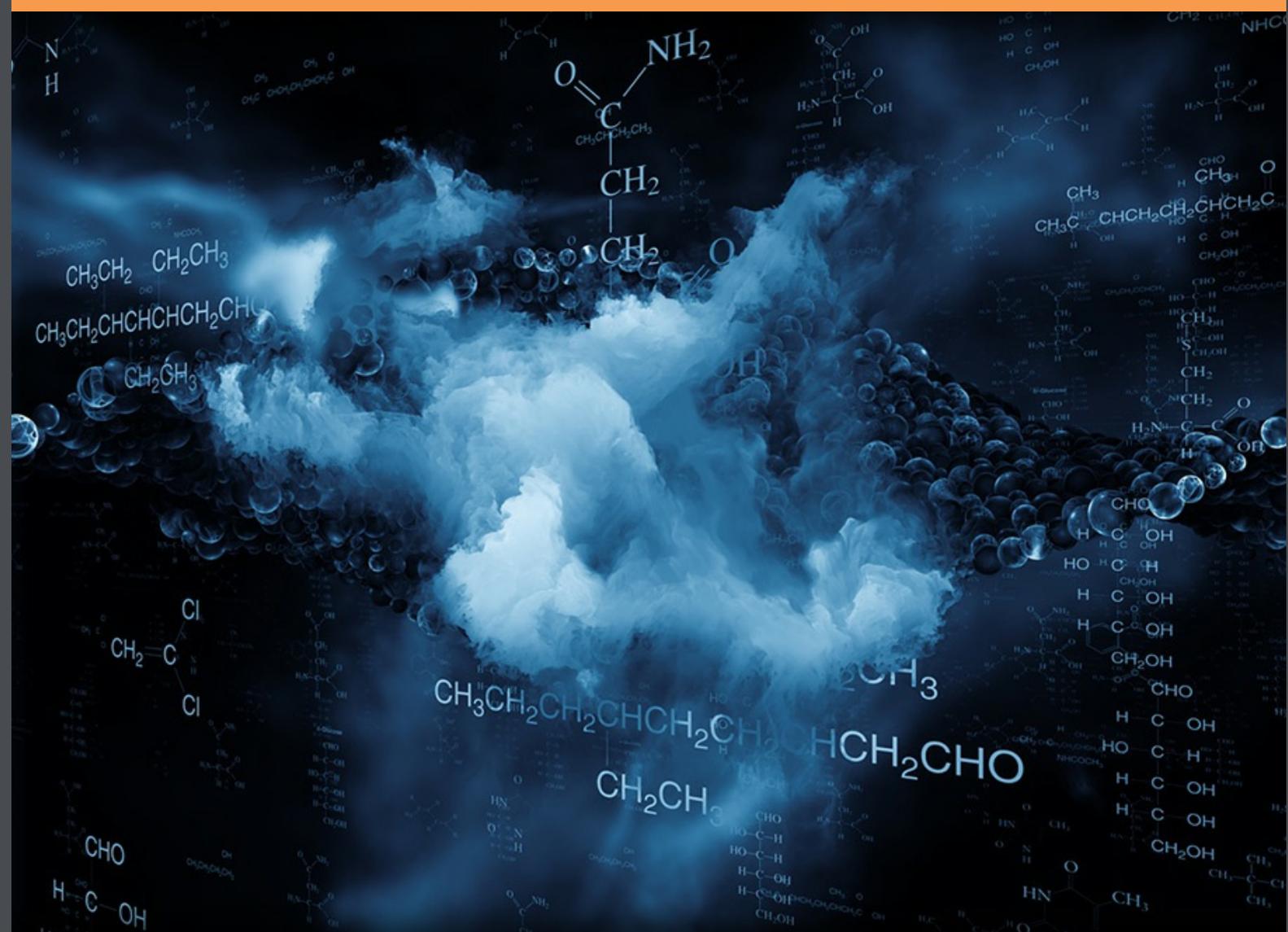


Die Suche nach Leben im Universum: Astrobiologie

Prof. Dr. Arnold Hanslmeier



Download free books at

Arnold Hanslmeier

Die Suche nach Leben im Universum: Astrobiologie

Die Suche nach Leben im Universum: Astrobiologie

1st edition

© 2015 Arnold Hanslmeier & bookboon.com

ISBN 978-87-403-1075-7

Contents

1	Was ist Astrobiologie	9
1.1	Was ist Leben?	9
1.2	Habitable Zone	18
1.3	Sterne und habitable Zonen	22
1.4	Planeten	23
2	Das Universum – Entstehung der Elemente 29	29
2.1	Der Urknall, Big Bang	29
2.2	Der heiße Urknall, Entstehung der Elemente	32
2.3	Die ersten Sterne	42
3	Galaxien und interstellare Materie	45
3.1	Interstellare Materie	45
3.2	Die Milchstraße	51
3.3	Galaxien	57

Wenn ein

Server

für Sie kein
Wassersportler
ist...

trendence
DEUTSCHLANDS
100
Top-Arbeitsgeber

IT-Jobs bei Lidl
it-bei-lidl.com



4	Die Erde als habitabler Planet	67
4.1	Rotation und Bahn der Erde	67
4.2	Erdatmosphäre	70
4.3	Das Magnetfeld der Erde	74
4.4	Evolution des Lebens auf der Erde	81
5	Sterne als Energiequellen für Leben	87
5.1	Eigenschaften der Sterne	87
5.2	Aufbau und Nukleosynthese der Sterne	91
5.3	Entstehung und Entwicklung der Sterne	94
6	Das Sonnensystem	103
6.1	Planeten	103
6.2	Planetenatmosphäre	117
6.3	Die Suche nach Leben bei Venus und Mars	129
6.4	Gasplaneten	143
6.5	Die Monde der Planeten	151
6.6	Kometen	170
6.7	Zwergplaneten	173

EY
Building a better
working world

**So müsste er
aussehen: unser
Firmenwagen
für Einsteiger.**

www.de.ey.com/karriere
[#BuildersWanted](https://twitter.com/BuildersWanted)

„EY“ und „wir“ beziehen sich auf alle deutschen Mitgliedsunternehmen von Ernst & Young Global Limited, einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach englischem Recht. ED/Nonë.



7	Die Suche nach Exoplaneten	175
7.1	Exoplaneten um Neutronensterne	175
7.2	Entdeckung von Exoplaneten	183
7.3	Radialgeschwindigkeitsmethode	201
7.4	Direkte Beobachtung	216
7.5	Statistik von Exoplaneten	229
8	Die Suche nach der zweiten Erde	235
8.1	Exoplaneten-Einteilung	235
8.2	Die zweite Erde	241
9	Die aktive Suche nach Leben auf Exoplaneten	245
9.1	Atmosphären von Exoplaneten	245
9.2	Biomarker	248
9.3	Ausbreitung des Lebens von der Erde?	255
9.4	Aktive Suche nach Leben	257
10	Index	266
11	Literaturverzeichnis	273



MEINE TO DO'S

- Wohnung suchen
- Mit Mama zu IKEA fahren
- Stundenplan erstellen
- Nebenjob auf Jobmensa.de finden

Entdecke jetzt deutschland's größtes Jobportal für Studenten

Die Suche nach Leben im Universum versucht eine der spannendsten Fragen der modernen Naturwissenschaft zu klären: Sind wir alleine im Universum, gibt es Leben auf anderen Planeten? Bis vor wenigen Jahrzehnten war noch völlig unklar, ob es Planeten um andere Sterne gibt, obwohl von der Theorie der Entstehung der Planeten unseres Sonnensystems diese Frage eher mit ja zu beantworten war. Um 1990 wurden dann die ersten Exoplaneten, also Planeten außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt. Bedingt durch die beschränkten Beobachtungsmöglichkeiten sind die meisten dieser Planeten jedoch total verschieden von denen, die wir in unserem Sonnensystem kennen. Aber auch die Entdeckung von Leben in extremen Umgebungen auf unserem Planeten hat dem neuen Forschungsfeld, der Astrobiologie, einen zusätzlichen Aufschwung beschert. Leben kann bei Temperaturen von mehr als 70 Grad Celsius, bei extrem tiefen Temperaturen, in salzigen Umgebungen usw. existieren.

Es gibt gerade bei diesem Thema eine schnell wachsende Literatur. Forschungsartikel findet man z.B. in der eigens erscheinenden Zeitschrift *Astrobiology* [25]. Der interdisziplinäre Aspekt von Astrobiologie wird in [2] diskutiert.

In den einzelnen Kapiteln wird immer wieder auf Literatur verwiesen und zwar auf eher allgemein verständliche Werke sowie auf Review-Artikel.

Dieses Buch ist aus einer Vorlesung entstanden und ich danke den Studierenden der Vorlesung, insbesondere Herrn Thomas Bretterbauer, Herrn Georg Jäger, Herrn Dario Knebl, Frau Natalija Novak, Herrn Günter W. Riedler, Herrn Robert Schütky, Herrn Mannel Thurid, Herrn Jürgen Waxenegger, und Frau Sandra Weitenthaler - de Brito e Cunha für Korrekturen und kritische Anmerkungen.

Meine Lebenspartnerin Anita danke ich für zahlreiche Diskussionen und gemeinsame Sternabende, ebenso meinen Kindern Roland, Christina und Alina.

Kapitel 1

Was ist Astrobiologie

Astrobiologie ist die Suche nach Leben im Universum. Sind wir alleine im Universum oder zumindest in unserer Galaxis? Kann es Leben auf anderen Planeten geben? Können wir dieses Leben überhaupt entdecken?

Literatur: Da Astrobiologie ein aktuelles Forschungsthema ist, gibt es eine Vielzahl von Büchern darüber.

Eine allgemeine Übersicht über Astrobiologie für Einsteiger findet man bei [19] sowie bei [6]. Eine allgemeine englischsprachige Einführung findet man bei [16].

1.1 Was ist Leben?

In diesem Abschnitt wenden wir uns der grundsätzlichen und nicht einfach zu beantwortenden Frage zu, wie Leben überhaupt definiert werden kann und welche Vorstellungen es von der Entstehung des Lebens auf der Erde gibt. Dies ist Basis für die Suche nach Leben im Universum.

Die chemische Evolution und der Ursprung des Lebens werden in [21] diskutiert.

1.1.1 Was ist Leben?

1.1.2 Leben - physikalisch gesehen

Wie kann man abstrakt Leben definieren? Leben unterscheidet sich von unbelebter Materie durch:

- Stoffwechsel, Metabolismus
- Zellen - von einzelligen bis mehrzelligen Lebewesen
- Wachstum
- Vermehrung

Für die Änderung der Entropie S in einem abgeschlossenem physikalischen System gilt:

$$\Delta S \geq 0 \quad (1.1)$$

- $\Delta S = 0$ System ist umkehrbar, reversibel,
- $\Delta S > 0$ System ist irreversibel, nicht umkehrbar.

Es gilt:

$$dQ = T dS \quad (1.2)$$

dQ Wärme, T Temperatur eines Körpers.

Physikalisch gesehen ist Leben ein Prozess bei dem **Entropie** lokal verringert wird,

$$\Delta S \leq 0 \quad (1.3)$$

Die Entropiezunahme ist ein Grundprinzip der Physik und ist durch unzählige Experimente bestätigt. → Die Entropieabnahme lebender Organismen erfolgt auf Kosten der Entropiezunahme von außen.

Lebewesen: hoher Ordnungsgrad, „niedrige Entropie“, Tod: thermodynamisches Gleichgewicht wird hergestellt, Entropie wird größer.

Die Organismen benötigen **Energie**. Diese Energiezufuhr stammt von

- einem Zentralstern, wenn Leben auf einem Planeten zu finden ist. Dies ist im Falle der Erde realisiert, ohne Energiezufuhr von der Sonne könnten wir nicht existieren.
- einem Planeten, wenn Leben auf einem der Monde des Planeten zu finden ist. Dies könnte auf einigen Satelliten des Jupiter (wichtigster Kandidat der Mond Europa) und des Saturn (Titan, Enceladus) realisiert sein.

Man unterteilt die Lebewesen in folgende Domänen:

- Prokaryoten: Bakterien und Archaeen, kein Zellkern¹.
- Eukaryoten: größere Zellen mit Zellkern².

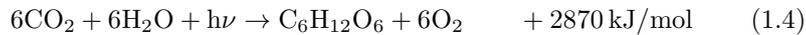
¹karyon griech Nuss, Kern

²eu griech gut, echt

1.1.3 Energieerzeugung der Lebewesen

Die beiden wichtigsten Prozesse sind:

- Photosynthese: vereinfacht lautet die Gleichung:



Oxygene Photosynthese wird von Cyanobakterien und allen eukaryotischen phototrophen³ Lebewesen betrieben, z.B. grüne Pflanzen, Algen (Protisten). Die Abhängigkeit der Photosynthese von der Wellenlänge des Lichtes ist in Abbildung 1.1 gezeigt. Wellenlängen oberhalb 700 nm und unterhalb 400 nm tragen nichts bei, ebenso wenig der grüne Bereich.

Durch die Photosynthese werden:

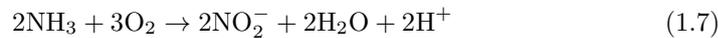
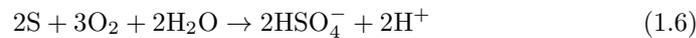
- organische Stoffe produziert, die chemoheterotrophen Lebewesen als Energiequelle dienen (auch für Baustoffe), sowie
 - Sauerstoff frei, der für aerobe Lebewesen notwendig ist.
- Bei der Atmung passiert:



³Nutzung von Licht als Energiequelle

Leben auf der Erde: Pflanzen produzieren durch Photosynthese den Sauerstoff der für die anderen Lebewesen zur Atmung notwendig ist.

Es gibt Mikroorganismen, die nicht nur organische sondern auch anorganische Stoffe oxidieren können, Beispiele sind:



Schwefeloxidation z.B. bei dem Archaeon *Acidianus ambivalens*, Oxidation von Ammoniak bei Bakterien und Archaeen.

Bei der anaeroben Atmung werden anstelle von Sauerstoff andere Oxidationsmittel verwendet. Beispiele sind Nitratatmung, Eisenatmung, Manganreduktion, Kobaltreduktion, Uranreduktion, Sulfatatmung, Methanogenese usw.

Bei der Methanogenese dient meist Kohlenstoffdioxid als Substrat und Wasserstoff als Reduktionsmittel:



Dabei wird eine Energie von etwa -130 kJ/mol frei.

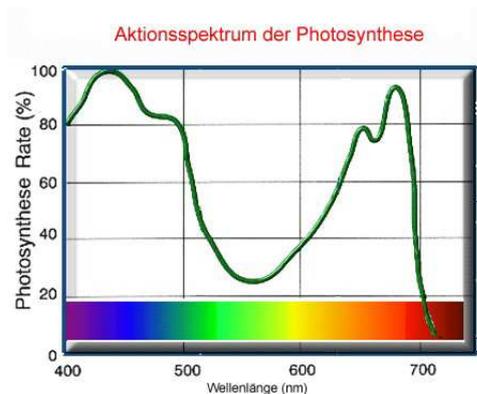


Abbildung 1.1: Die Abhängigkeit der Photosynthese von der Wellenlänge der einfallenden Strahlung. Sichtbares Licht im Rot- und Blaubereich wirkt am effizientesten.

1.1.4 Leben unter extremen Bedingungen

Als extremophil bezeichnet man Organismen, die unter extremen Bedingungen existieren können (die man früher nicht für möglich gehalten hätte). Eine Einführung in die Thematik findet sich bei [7].

Die meisten gehören zu den Archaeen, es gibt auch extremophile Bakterien und Eukaryoten; viele sind Einzeller. Wir bringen einige Beispiele:

1. Thermophile: entwickeln sich bei Temperaturen von mehr als 80 Grad C.
2. Psychrophile: bei niedrigen Temperaturen, weniger als 15 Grad C.
3. Kryophile: bei Temperaturen unterhalb -10 Grad C.
4. Halophile: bei sehr hoher Salzkonzentration.
5. Methanophile: bei hohen Methankonzentrationen.
6. Alkaliphile: bei einem hohen pH-Wert (> 9).
7. Acidophile: bei niedrigem pH-Wert (< 3).
8. Barophile: bei hohem Druck.
9. Radiophile: bei hoher Strahlung; Bsp.: *Deinococcus radiodurans*; melaninreiche Pilzarten, wurden am Reaktor in Tschernobyl beobachtet.
10. Endolithe: leben im Inneren von Gesteinen.
11. Oligotrophe: leben in nährstoffarmer Umgebung.
12. Toxitolerante: widerstehen hoher Konzentration an Giftstoffen oder Strahlung.
13. Xerotolerante: in wasserarmer Umgebung.

Betrachten wir das *Deinococcus radiodurans* (Abb. 1.2): es ist gegen hohe Dosen ionisierender Strahlung resistent, es kann noch bei Dosen von 60 Gy^4 pro Stunde wachsen, die letale Dosis liegt bei über 10.000 Gy. Beim Menschen liegt die letale Dosis bei etwa 6 Gy! Eine Übersicht über ionisierende Strahlung und deren Auswirkung auf Leben findet man bei [4].

1.1.5 Entstehung des Lebens

Die Frage ist: wie entstehen aus organischen Stoffen Lebewesen? Dazu braucht man zunächst die chemische Evolution, die Entstehung des Lebens aus unbelebter Materie.

Eine Einführung findet man bei [12].

Junge Erde: etwa 200 Mio. Jahre nach der Bildung der Erde gab es Ozeane, $T=100$ Grad C, $\text{pH}=5,8$. Letztere steigerte sich aber rasch. Die frühe Erde hatte keine Kontinente, es gab zahlreiche Einschläge von bis zu 500 km großen Körpern. Abiogenesis ist der Prozess der Entstehung des Lebens aus unbelebter Materie. Das Leben auf der Erde ist vor 3,8 bis 4 Mrd. Jahren entstanden.

Als LUCA bezeichnet man den last universal common ancestor, also das erste Lebewesen von dem alle abstammen.

Alte Funde: Fossilien von Mikroorganismen in 3,48 Mrd. Jahre altem Sandstein in West-Australien, Graphitablagerungen in Gestein in West-Grönland

⁴Gray

Seit der Antike wurde diskutiert, ob Leben spontan entstehen kann. Die spontane Strukturbildung durch Autokatalyse spielt eine zentrale Rolle. Bis in das 19. Jhdt. glaubte man, Leben entstehe spontan als Mikroben in bestimmten nährstoffhaltigen Medien (Biogenese). Bekannt sind einige Versuche L. Pasteurs⁵. Pasteur machte Versuche zur Gärung. Beispiel für alkoholische Gärung:



Es wird eine Energie von -218 kJ/mol frei (etwa 1/10 gegenüber Atmung).

Pasteur kommt zu dem Schluss, dass eine Spontanerzeugung von Leben nicht möglich sei.

Thomas Huxley (1825-1895) spricht ebenfalls von einer Abiogenese, seiner Ansicht nach wäre der gesamte Meeresboden von einer Art Urschleim überzogen aus denen sich Leben entwickelt hat..

Sehr bekannt ist das Experiment von Miller und Urey (Abb. 1.3). Die Bedingungen einer möglichen Uratmosphäre werden simuliert: Wasser, Methan, Ammoniak und Kohlenmonoxid. Durch elektrische Entladungen (Blitze) entstanden nach kurzer Zeit einfache organische Moleküle wie z.B.:

- Ameisensäure $\text{H} - \text{COOH}$
- Glycin $\text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$, eine proteinogene Aminosäure. Proteine sind biologische Makromoleküle, die aus Aminosäuren aufgebaut sind.

Problem: die Aminosäuren entstehen als 1:1 Racematgemische (siehe auch Abb. 1.4). In den Organismen findet man jedoch nur die L-Aminosäuren. Möglicherweise fungieren hier Mineralien als Katalysator.

Für die Entstehung des Lebens auf der Erde gibt es mehrere Theorien. Im Jahre 1924 veröffentlichte A. Oparin ein Buch über die Entstehung des Lebens. Er geht von einer spontanen Entstehung aus, die allerdings nur in der Uratmosphäre der Erde möglich war. Er beschrieb die Bildung von organischen Verbindungen durch die UV-Strahlung der Sonne in einer sauerstofflosen Atmosphäre. Später hat R. Shapiro dies zusammengefasst:

- Frühe Erde: reduzierende Atmosphäre,
- Bildung von einfachen organischen Verbindungen, Monomere.
- Diese Verbindungen konzentrierten sich, organische „Suppe“.
- aus den Monomeren entstanden komplexe Polymere.

Das Stanley Miller und Harold Urey Experiment erhärtete die obigen Annahmen, nach einer Woche fand man 10 bis 15 % des Kohlenstoffs in einer razemischen Mischung von organischem Material, Aminosäuren, die die Bausteine der Proteine sind.

⁵1822-1895

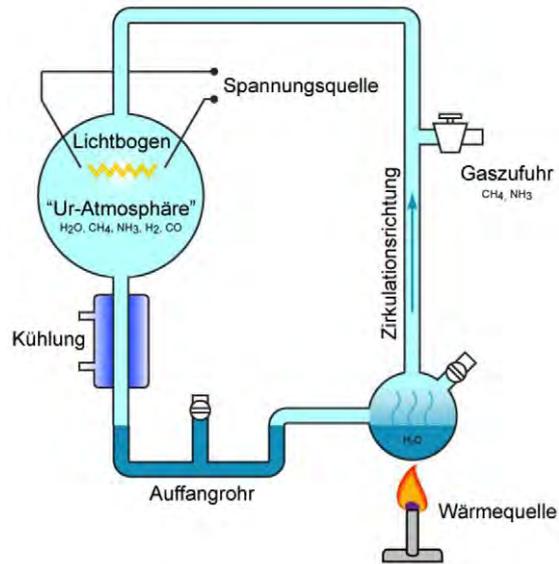


Abbildung 1.3: Das Miller-Urey-Experiment.

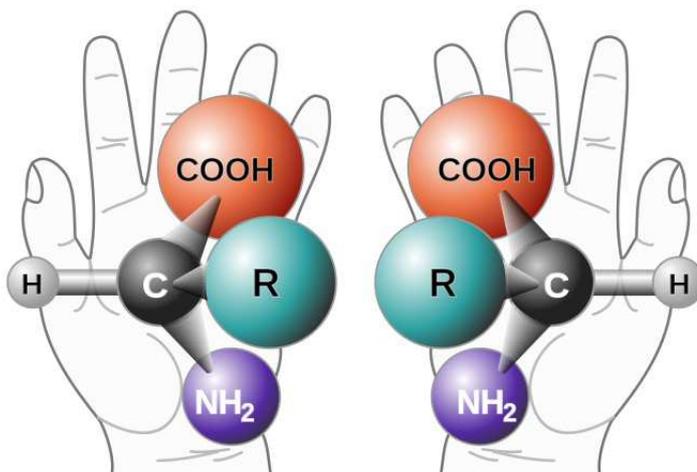


Abbildung 1.4: Zueinander spiegelbildlich aufgebaute Moleküle, Enantiomere, die Verbindung ist links- rechts chiral (griech. händisch).

Man konnte zeigen, dass sich RNA Moleküle spontan um hydrothermische Quellen, Unterwassergeysire (engl. hydrothermal vents) bilden. Für die Entstehung bestimmter Verbindungen ist entweder Hitze notwendig (Adenin) oder Kälte (sieben Aminosäuren).

Eine große Rolle spielt auch die Autokatalyse.

Homochiralität: Lebende Organismen haben praktisch immer dieselbe Chiralität, die Aminosäuren sind linkshändig, die Nukleotiden und Zucker rechtshändig. Normalerweise entstehen 50/50 links- und rechtshändige Moleküle (Enantiomer).

Deloitte.

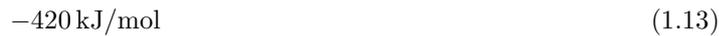
Calling for Berlin Technology Advisory kennenlernen

Consulting hautnah erleben
5.–7. November 2015
www.deloitte.com/de/calling-for-berlin

© 2015 Deloitte Consulting GmbH



Nach Wächterhäuser⁶ begann das Leben in Unterwassergeysiren, black smokers (Abb. 1.5). An den Black Smokers wird bis zu 400 Grad heißes Wasser nach oben transportiert. Dieses trifft mit etwa 2 Grad kaltem Wasser zusammen. Schwefelwasserstoff, H₂S, und andere Mineralien lagern sich ab, organische Substanzen werden angereichert. Es werden also Mineralien ausgefällt. Mögliche Reaktionen:



Eine andere Theorie geht von einer RNA-Welt aus, die vor der DNA-Welt war.

Die Schritte zu Leben scheinen also zu sein (Skizze Abb. 1.6):

1. Anorganische Moleküle
2. Organische Moleküle
3. Biopolymere
4. Protobionten
5. RNA
6. Prokaryoten

1.2 Habitable Zone

Wir kennen nur ein einziges Beispiel für Leben im Universum:
Leben auf unserem Planeten.

1.2.1 Habitable Zone - wo Leben möglich ist.

Wir definieren also eine **habitable Zone** als den Bereich um einen

- Stern oder
- Planeten

um den herum die Bedingungen für Leben günstig sind. Wobei wir wie gesagt unter Leben nur biologische Vorgänge verstehen, wie wir sie von der Erde her kennen.

Daraus folgt: eine habitable Zone hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab:

⁶Um 1980

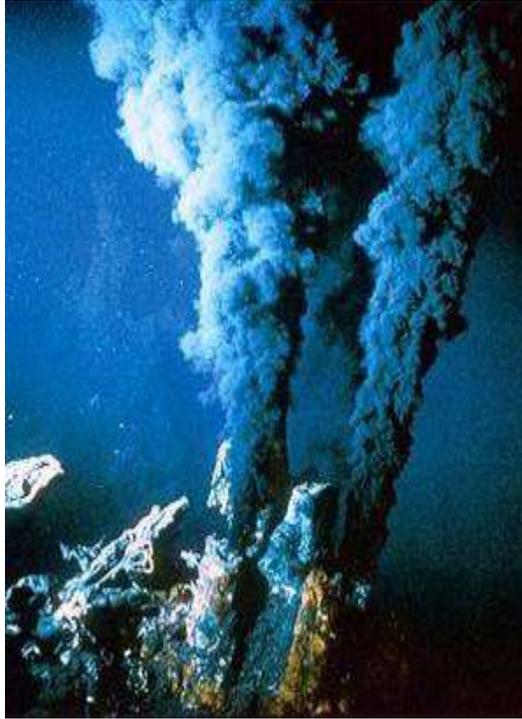


Abbildung 1.5: Black smokers, Unterwassergeysire, an denen nach Wächtershäuser Leben entstanden sein könnte.

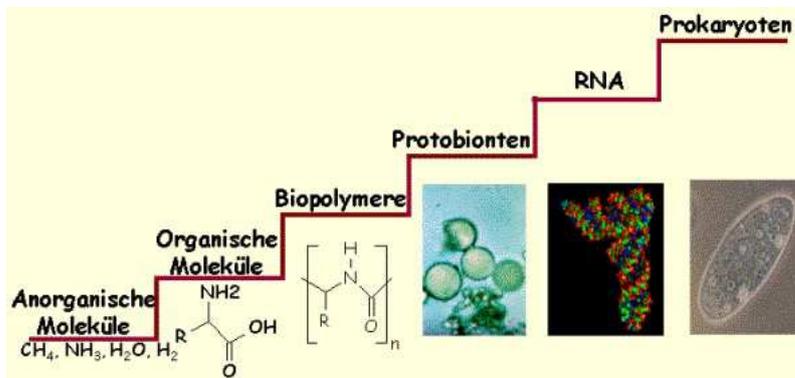


Abbildung 1.6: Die Schritte der chemischen Evolution zu Leben. Univ. Bayreuth.

1. Entwicklung des Muttersternes (engl. host star)
2. Wie aktiv ist der Mutterstern? Bei der Sonne wissen wir, dass es mitunter intensive Strahlungs- und Teilchenausbrüche gibt, die zumindest unsere hochtechnisierte Zivilisation bedrohen (Funkausfälle, Stromnetze, die zusammenbrechen, Satellitenabstürze).
3. Beschaffenheit der Atmosphäre bzw. Magnetosphäre des Planeten. Nicht alle Planeten besitzen ein Magnetfeld, welches vor energiereichen Teilchen schützt. Auch die Atmosphäre eines Planeten kann sich im Laufe seiner Entwicklung ändern.
4. Stabilität eines Planetensystems. Da die Entwicklung höheren Lebens auf der Erde einige Milliarden Jahre gedauert hat, muss das Planetensystem über diesen Zeitraum hinweg stabil gewesen sein.
5. Wo in der Galaxis befindet sich der Stern mit seinen Planeten. Zu nahe beim galaktischen Zentrum ist die Gefahr einer Supernovaexplosion, die Leben auslöschen kann, zu groß.

Wir sehen daher: die Ausdehnung einer habitablen Zone hängt von vielen Faktoren ab.



Mein Wissen rund um Big Data und SAP möchte ich sinnvoll einsetzen. Bin ich bei euch richtig, E.ON?

Lieber Herr Bennett, mit Ihren Fachkenntnissen können Sie bei uns viel bewegen.

Bringen Sie Ihr Know-how in zukunftsweisende Projekte und Applikationen ein: Ob bei der energetischen Vernetzung von Smart Homes, der Steuerung virtueller Kraftwerke oder der Realisierung anspruchsvoller Logistik-Konzepte – der Energiesektor bietet vielfältige Herausforderungen für IT-Consultants, -Architekten und -Projektmanager. Entfalten Sie Ihre Kompetenz und geben Sie Ihrer Karriere neue Impulse.

Ihre Energie gestaltet Zukunft.

top ARBEITGEBER DEUTSCHLAND 2015
CERTIFIED EXCELLENCE IN EMPLOYEE CONDITIONS

www.eon-karriere.com

e.on



1.2.2 Energieerzeugung in Sternen

Wodurch wird die Energie in einem Stern erzeugt? Sterne leuchten hauptsächlich, weil im Inneren eine Kernfusion stattfindet. Bei sonnenähnlichen Sternen entsteht aus vier Wasserstoffkernen ${}^1\text{H}$ ein Heliumkern ${}^4\text{He}$.



Weshalb wird dabei Energie freigesetzt? Die Masse des durch die Fusion entstandenen He-Kerns ist um 0,7% geringer als die der vier Wasserstoffkerne. Diese Massendifferenz wird gemäß der von Einstein gefundenen Beziehung

$$E = mc^2 \quad (1.15)$$

in Energie umgewandelt.

→ Sterne, wie unsere Sonne, können bis zu etwa 10 Milliarden Jahre lang nahezu konstant Energie abstrahlen. Die Entwicklung des Lebens in habitablen Zonen um solche Sterne herum hat also genügend Zeit.

Auch Planeten wie die Erde strahlen Energie ab. Im Inneren der Erde erfolgt radioaktiver Zerfall und aus der Bildung der Erde vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren ist ebenso noch Restwärme vorhanden. Die in den oberen 5 km der Erdkruste enthaltene geothermische Energie ist riesig, sie beträgt etwa das 40millionenfache der Energie, die in den bekannten Öl- und Gasreserven vorhanden ist.

→ Die von der Erde erzeugte Wärme reicht nicht aus um den Planeten signifikant zu erwärmen, sie beträgt lediglich 1/20.000 der von der Sonne erhaltenen Wärme. Ohne Sonne wäre die Erde ein gefrorener Planet ohne Leben.

Außer Energie benötigt Leben noch gewisse andere Elemente. Leben, wie wir es von der Erde her kennen, ist an das Vorhandensein von

- Wasser in flüssiger Form (→ Lösungsmittel) sowie,
- Kohlenstoff gebunden. Nur Kohlenstoff kann bei den Temperaturen, die flüssiges Wasser ermöglichen, komplexe lange Molekülketten bilden (organische Chemie).

1.2.3 Habitable Zone - Leben wie wir es kennen

Geht man von Leben, wie wir es von der Erde her kennen, aus, dann ist eine habitable Zone wie folgt definiert:

Eine habitable Zone um einen Stern oder Planeten ist der Bereich innerhalb dessen sich auf einem hypothetischen Planeten oder Mond Wasser in flüssiger Form an der Oberfläche oder nahe der Oberfläche findet und Kohlenstoff vorhanden ist.

1.3 Sterne und habitable Zonen

Sterne sind im Vergleich zu Planeten wesentlich größer und leuchten selbst. Nachdem die Strahlung bzw. die Energiezufuhr von Sternen zu Planeten sehr wichtig ist für die Entstehung des Lebens, betrachten wir kurz, von welchen Faktoren die Leuchtkraft eines Sternes abhängt.

1.3.1 Wie hell leuchten Sterne?

In der Astrophysik definiert man den Begriff **Leuchtkraft** eines Sternes. Damit ist die Strahlungsleistung gemeint, also von der Dimension her in Watt gegeben.

Die Strahlungsleistung unserer Sonne beträgt

$$L_{\odot} = 3,86 \times 10^{26} \text{ W} \quad (1.16)$$

Die Leuchtkraft eines Sternes hängt ab von

- seiner Oberfläche: $4\pi R^2$,
- unter der Annahme, Sterne strahlen wie schwarze Körper, gilt für die pro Flächeneinheit gegebene Abstrahlung $E = \sigma T^4$, d.h. sie hängt nur von der vierten Potenz der Temperatur ab \rightarrow Stefan-Boltzmann Gesetz!
 $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

1 Ziel:
*Du entwickelst unsere Zukunft.
Wir Deine.*

IT-Traineeprogramm

In 18 Monaten durchläufst Du 3 verschiedene Stationen, wirst von einer Führungskraft als Mentor betreut und profitierst von einem breiten Seminarangebot. Anschließend kannst Du eine Fach- oder Führungslaufbahn einschlagen.

www.perspektiven.allianz.de

Allianz Karriere

Allianz



Daher ist die Leuchtkraft gegeben mit

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (1.17)$$

Beispiele: Betrachten wir einen Stern derselben Temperatur wie die Sonne aber mit doppeltem Radius, dann wird seine Leuchtkraft $L_* = 4L_\odot$. Besitzt der Stern denselben Radius aber die doppelte Temperatur wie die Sonne, dann beträgt seine Leuchtkraft das 16-Fache der Sonne.

Für viele Sterne (etwa 80%) gilt eine Beziehung zwischen ihrer Leuchtkraft L und ihrer Masse M , die empirische Masse-Leuchtkraft-Beziehung:

$$L = M^{3,5} \quad (1.18)$$

1.3.2 Kühle und heiße Sterne

Die Masse eines Sterns bestimmt also seine Leuchtkraft. Je geringer die Leuchtkraft eines Sternes, desto näher rückt die habitable Zone zum Stern.

→ Die Mehrzahl aller Sterne besitzt Massen geringer als eine Sonnenmasse; die habitablen Zonen dieser Sterne sind also näher als im Falle unserer Sonne.

Im Laufe ihrer von der Masse abhängigen Entwicklung werden Sterne langsam heller, die habitable Zone rückt also im Laufe der Entwicklung langsam nach außen, weiter weg vom Stern.

1.4 Planeten

Planeten sind kleiner als Sterne. Der größte Planet unseres Sonnensystems, Jupiter, besitzt nur etwa 1/10 des Durchmessers der Sonne und 1/1000 ihrer Masse. Wir betrachten einige grundlegende Eigenschaften der Planeten.

1.4.1 Oberflächentemperatur

Leben benötigt flüssiges Wasser an der Oberfläche (oder darunter). Betrachten wir, von welchen Faktoren die Temperatur eines Planeten abhängt.

Die **Albedo** A eines Objekts ist ein Maß für das Rückstrahlungsvermögen. Eine Albedo von nahe 1 bedeutet, dass sämtliches einfallendes (Sonnen)licht wieder reflektiert wird, der Planet erscheint also extrem hell, eine Albedo, die sehr klein ist, bedeutet, dass ein Großteil der einfallenden Strahlung absorbiert wird, der Planet erscheint also dunkel.

→ Je größer A , desto mehr wird in den Weltraum reflektiert, die Oberflächentemperatur wird geringer.

Hohe Albedowerte: Eis, Wolken. Vegetation beeinflusst Albedo.

Sei $S(r)$ der von einem Stern emittierte Strahlungsfluss, r die Entfernung Planet zum Stern, S_0 der Oberflächenfluss also die Strahlungsleistung an der

Oberfläche eines Sterns. Der am Ort des Planeten (Entfernung vom Stern r) gemessene Strahlungsfluss ergibt sich aus:

$$S(r) = \frac{S_0}{4\pi r^2} \quad (1.19)$$

R sei der Radius des Planeten mit der Albedo A . Der Planet absorbiert den Betrag

$$S(r)(1 - A)\pi R^2 \quad (1.20)$$

Und nach dem Stefan-Boltzmann Gesetz strahlt der Planet:

$$\pi R^2(1 - A)S(r) = 4\pi R^2\sigma T^4 \quad (1.21)$$

Besitzt der Planet eine starke innere Wärmequelle, muss man auf der linken Seite der Gleichung noch $4\pi R^2Q$ addieren, Q die innere Wärmemenge. Für die Erde beträgt diese nur 0,06 Watt pro Quadratmeter.

- Erde erhält von der Sonne pro Quadratmeter 1360 Watt,
- Erde strahlt infolge innerer Wärmequellen pro Quadratmeter den Betrag 0,06 Watt ab.

→ Riesenplaneten wie Jupiter können mehr abstrahlen als sie von der Sonne bekommen.

Berechnen wir nun die Temperatur der Erde: $S_0 = 3,86 \times 10^{26}$ W. Distanz Erde-Sonne = 150×10^9 m, Radius der Erde $R = 6,4 \times 10^6$ m.

$$T = \left[\frac{1 - A}{\sigma} \frac{3,86 \times 10^{26}}{4\pi(1,5 \times 10^{11})^2} \right]^{1/4} \quad (1.22)$$

und mit einer Albedo von $A = 0,3$ finden wir für die Oberflächentemperatur der Erde: $T = 254,5$ K.

Die gemessene mittlere globale Temperatur der Erde T_{gl} liegt darüber, also $T_{gl} = T + \Delta T$, und es folgt $\Delta T = 35$ K. Diese Temperaturdifferenz entsteht durch den natürlichen Treibhauseffekt. Wasserdampf ist das effektivste Treibhausgas.

→ ohne natürlichen Treibhauseffekt wäre Leben auf der Erde nicht möglich, ihre Oberflächentemperatur würde etwa 15 Grad unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegen.

1.4.2 Habitable Zonen um Sterne

Definiert man das Zentrum der habitablen Zone für unser Sonnensystem so, dass die Erde sich genau dort befindet, dann gilt für den Abstand d der habitablen Zone von einem Stern der Leuchtkraft L_*

$$d = \sqrt{\frac{L_*}{L_\odot}} \quad (1.23)$$

Es ist klar, dass für $L_* = L_\odot$ der Wert $d = 1$ (in astronomischen Einheiten⁷) folgt.

Bsp.: das Zentrum der habitable Zone für einen Stern von $0,25 L_\odot$ liegt bei $0,5$ astron. Einheiten (AE). Ein Stern mit $2 L_\odot$ hat eine habitable Zone bei $d = 1,41$ AE.

Betrachten wir noch die Strahlungsflüsse: F : diese variieren mit $1/r^2$, r ist der Abstand Planet-Stern.

- Venus: Distanz von der Sonne $0,7$ AE, daher

$$F_{\text{Venus}} = \frac{1}{0,7^2} \sim 2 \quad (1.24)$$

- Mars: $d = 1,4$ AE, also

$$F_{\text{Mars}} = \frac{1}{1,4^2} = 0,5 \quad (1.25)$$

Die habitable Zone ist auf einen kleinen Bereich beschränkt. Die Ausdehnung der habitablen Zone nimmt für schwächer leuchtende massearme Sterne ab und rückt näher zum Stern (Abb. 1.7).

⁷Eine astronomische Einheit ist die mittlere Entfernung Erde-Sonne=150 Mio. km



Sind Sie bereit für IBM?

Lieben Sie Herausforderungen?
Möchten Sie innovative Lösungen für führende Unternehmen entwickeln?
Wollen Sie dem weltweit größten Beratungsunternehmen angehören?

Entdecken Sie Ihre vielfältigen Karrieremöglichkeiten. IBM ist auf der Suche nach den besten und hellsten Köpfen. Nach Menschen, die Möglichkeiten entdecken, wo andere nur Probleme sehen. Nach Mitarbeitern, die auch Mitgestalter sein wollen. Wir suchen diese Menschen aus dem Anspruch heraus, die Welt täglich ein bisschen besser zu machen. Sie sind ideengetrieben, zukunftsorientiert und möchten schon heute an den Lösungen von morgen arbeiten? Dann sollten wir uns kennenlernen!

Machen wir den Planeten ein bisschen smarter.
ibm.com/start/de

Alle Bezeichnungen, die in der männlichen Sprachform verwendet werden, schließen sowohl Frauen als auch Männer ein. IBM schafft ein offenes und tolerantes Arbeitsklima und ist stolz darauf, ein Arbeitgeber zu sein, der für Chancengleichheit steht. IBM, das IBM Logo und ibm.com sind Marken oder eingetragte Marken der International Business Machines Corp. in den Vereinigten Staaten und/oder anderen Ländern. Andere Namen von Firmen, Produkten und Dienstleistungen können Marken oder eingetragte Marken ihrer jeweiligen Inhaber sein. © 2010 IBM Corp. Alle Rechte vorbehalten.

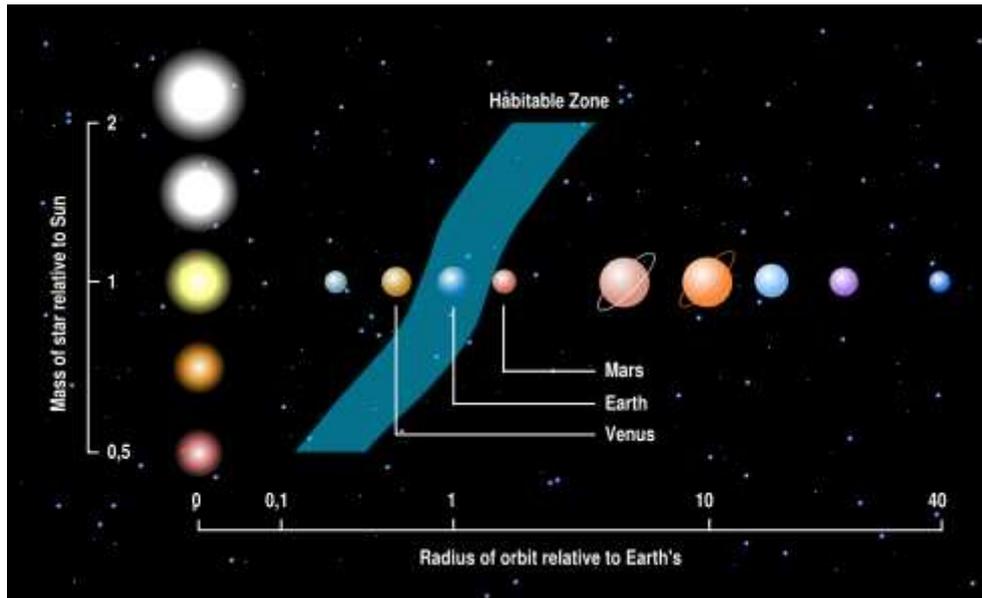


Abbildung 1.7: Die habitable Zone um Sterne verschiedener Masse bzw. Leuchtkraft. Als Referenz ist unser Sonnensystem eingezeichnet.

1.4.3 Änderung der Sonnenleuchtkraft

Man nimmt an, dass die frühe junge Sonne nur etwa 75% der heutigen Leuchtkraft hatte. Deshalb wanderte auch die habitable Zone langsam weiter nach außen im Sonnensystem bzw. Planeten wie die Erde mussten sich anpassen um habitabel zu bleiben.

Für die Entstehung des Lebens ist daher eine kontinuierliche habitable Zone wesentlich. In dieser bleibt ein Planet eine lange Zeit hindurch habitabel (τ_h).

Die Evolution intelligenten Lebens auf der Erde benötigte etwa 4 Mrd. Jahre. Dies ist der einzig bekannte Wert für τ_h .

Für die Evolution mikrobiologischen Lebens kann man von $\tau_h = 10^9$ Jahre ausgehen.

Wenn r_i die innere Grenze und r_o die äußere Grenze einer kontinuierlichen habitablen Zone sind, kann man für das Verhältnis dieser beiden Werte angeben:

$$r_o/r_i = [L(3,5)/L(1,0)]^{1/2} \quad (1.26)$$

Dabei ist $L(t)$ die Leuchtkraft nach t Mrd. Jahren.

Die Abschätzung zeigt: r_o/r_i geht gegen 1 für Sterne geringer Masse. Möglicherweise besitzen kühle Sterne keine kontinuierliche habitable Zone.

1.4.4 UV-Strahlung

Leben auf der Erde wird durch Strahlung im Bereich 200 bis 300 nm zerstört. Ohne entsprechenden Schutz vor dieser Strahlung kann kein Leben auf der Erdoberfläche existieren.

- Heute: Ozonschicht schützt Erdoberfläche vor UV-Strahlung; die Bildung von Ozon erfordert freien Sauerstoff in der Erdatmosphäre.
- Früher: kein freier Sauerstoff in Atmosphäre, keine Ozonschicht → Leben entstand in den Ozeanen.
- UV-Strahlung ist zwar schädlich für Organismen aber wesentlich für die Bildung organischer Verbindungen.

Da die frühe Erde noch keine schützende Ozonschicht hatte, konnte sich Leben nur in den Ozeanen entwickeln.

**JETZT BEWERBUNG
AUFPOLIEREN.**

Bereiten Sie sich optimal auf den Bewerbungsprozess vor und geben Sie Ihrem Profil den letzten Schliff. Nutzen Sie unsere Tipps, Persönlichkeitstests und kostenlosen E-Books zu Studium, Business und Karriere.

[rwe.com/
Bewerberakademie](http://rwe.com/Bewerberakademie)

**HIERMIT
PRÄSENTIERE ICH:
MICH!**

VORWEG GEHEN



Kapitel 2

Das Universum – Entstehung der Elemente

In diesem Abschnitt behandeln wir den Ursprung des Universums und zeigen, wie die ersten chemischen Elemente entstanden sind. Leben, wie wir es auf der Erde kennen, ist vor allem an folgende Elemente bzw. Verbindungen gebunden:

- Wasserstoff
- Sauerstoff
- Kohlenstoff

Wasserstoff und Sauerstoff ergeben Wasser H_2O , und dieses stellt als Lösungsmittel eine wichtige Basis für Leben dar. Kohlenstoff kann sehr komplexe Molekülketten bilden. Doch woher stammen diese chemischen Elemente eigentlich?

Die ersten Phasen der Entwicklung des Universums werden z.B. in [9] beschrieben.

2.1 Der Urknall, Big Bang

2.1.1 Wie groß ist das Universum

Die Sonne und damit das Sonnensystem mit den acht großen Planeten einschließlich der Erde ist einer von mehreren 100 Milliarden Sternen der Galaxis. Schon vor Beginn des 20. Jhdts. kannte man zahlreiche zum Teil spiralförmige „Nebelfleckchen“ am Himmel, so z.B. den Andromedanebel. Es war jedoch umstritten, ob es sich hierbei um eigene Galaxien handelte oder ob diese Objekte zu unserer Milchstraße gehörten.

Um 1900 dachte man, das Universum habe in etwa die Ausdehnung unserer Milchstraße, der Galaxis. Die Milchstraße sieht man als zartleuchtendes Band am Himmel¹. Bereits Demokrit (geb. um 460 v. Chr.) äußerte die Vermutung,

¹Von Europa aus besonders gut im Sommer und Herbst

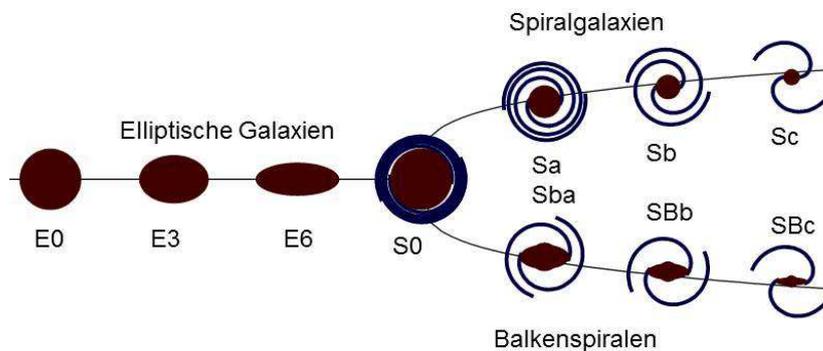


Abbildung 2.1: Einteilung der Galaxien in Spiralgalaxien, elliptische und irreguläre Galaxien (in diesem Schema nicht gezeigt).

dass das Band der Milchstraße kein Gasnebel ist sondern aus vielen weit von uns entfernten Sternen besteht.

E. Hubble (1889-1953) versuchte dann mit dem damals größten Teleskop, dem 2,5-Meter Mount-Wilson-Teleskop, die Entfernung des Andromedanebels zu bestimmen, und er kam auf einen Wert von etwa 700.000 Lichtjahren. Damit war klar, der Andromedanebel ist eine eigenständige Galaxie.

Galaxien sind Bausteine des Universums. Neben unserer Galaxis gibt es einige 100 Milliarden anderer Galaxien, viele davon sind spiralförmig, einige elliptisch, die meisten irregulär.

Heute wissen wir: die Andromedagalaxie ist etwa 2,5 Mio. Lichtjahre von uns entfernt.

Die Einteilung der Galaxien ist in Abb. 2.1 gezeigt.

2.1.2 Das Universums dehnt sich aus

Hubble hatte jedoch noch eine weitere geniale Idee. Mit Hilfe des Dopplereffekts konnte er die Geschwindigkeiten der Galaxien messen. Dabei fand er heraus:

- Die Galaxien bewegen sich von uns fort,
- Die Geschwindigkeit, mit der sie sich von uns entfernen ist proportional zu ihrer Entfernung.

Das Hubble-Gesetz lautet also:

$$v = RH \quad (2.1)$$

v ... Geschwindigkeit mit der sich eine Galaxie bewegt, R ... Entfernung der Galaxie zu uns, H ... Hubble-Konstante. Der Wert der Hubble-Konstanten beträgt etwa

$$H = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

Ein Megaparsec (Mpc) = 1.000.000 pc (parsec); 1 parsec entspricht 3,26 Lichtjahren.

© 2013 Accenture. All rights reserved.

be > your degree

Bring your talent and passion to a global organization at the forefront of business, technology and innovation. Discover how great you can be.

Visit accenture.com/bookboon

Be greater than.
consulting | technology | outsourcing

accenture
High performance. Delivered.

Weshalb entfernen sich die Galaxien von uns? Sind wir im Zentrum des Universums? Man kann diese sogenannte Galaxienflucht leicht mit der Expansion des Universums erklären. Diese ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

Galaxienflucht → Universum dehnt sich aus

Egal von welcher Galaxie im Universum aus man die anderen betrachtet, man wird immer den Eindruck haben, dass sich die anderen Galaxien von der ausgewählten aus betrachtet entfernen.

Analogie: Galaxien seien Punkte auf einem Luftballon der den Raum darstelle. Bläst man den Luftballon auf, entfernen sich alle Galaxien voneinander. Das Aufblasen des Luftballons entspricht der Expansion des Universums.

2.1.3 Von der Expansion zum Urknall

Man kann die Expansion zurückrechnen, und so den Zeitpunkt finden, als das Universum extrem klein und dicht war. Von diesem singulären Punkt aus hat es sich durch den sogenannten Urknall entwickelt.

Das Weltalter lässt sich einfach aus der Hubble-Konstanten bestimmen: die Dimension von H ist $1/s$, daher muss $1/H$ die Dimension einer Zeit haben, die als Hubble-Zeit bezeichnet wird und ein Maß für das Alter des Universums darstellt².

Bsp.: Schätzen wir das Weltalter für verschiedene Werte der Hubble-Konstanten ab. Dabei muss man nur die Einheit Mpc in km umrechnen und diesen Wert durch die angenommenen Hubble-Konstante dividieren. $1 \text{ Mpc} = 10^6 \times 3,26 \times 10^{13} \text{ km}$. Für $H = 70$ findet man 14,7 Milliarden Jahre.

Das tatsächliche Weltalter beträgt etwa 13,65 Milliarden Jahre, das ist weniger als $1/H$ da die Expansion nicht gleichmäßig verlief.

Damit haben wir den ersten Beweis für den Urknall.

2.2 Der heiße Urknall, Entstehung der Elemente

2.2.1 Adiabatische Expansion

Bei einer adiabatischen Expansion kommt es zu keinem Wärmeaustausch mit der Umgebung. In einem Kühlschrank wird z.B. durch einen Kompressor Gas hochverdichtet und dann zur Expansion gebracht, dabei kühlt es sich ab, da Arbeit für die Expansion aufgewendet wird, was auf Kosten der kinetischen Energie der Gasmoleküle geht.

²Gilt eigentlich nur unter der Annahme einer gleichmäßigen Expansion

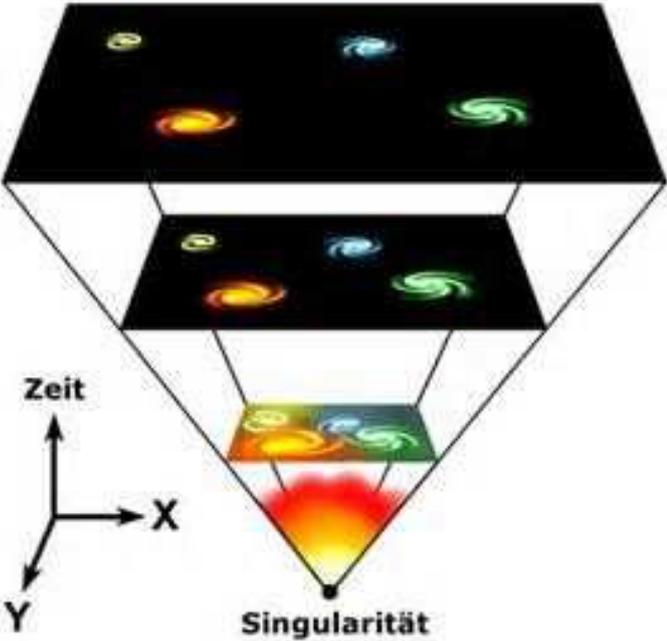


Abbildung 2.2: Skizze zur Expansion des Universums

Erster Hauptsatz der Thermodynamik:

$$dU = \delta W + \delta Q \quad (2.2)$$

U ...Innere Energie eines Systems, W ... Arbeit, Q ... mit der Umgebung ausgetauschte Wärme. Wenn $\delta Q = 0$ liegt eine adiabatische Zustandsänderung vor. Bsp.: Luftpumpe; erwärmt sich, Gas wird dichter. Die Arbeit, die an der Luftpumpe verrichtet wird, erhöht die innere Energie der Gasmoleküle und dies ist die Erwärmung.

Die Innere Energie beträgt pro Freiheitsgrad:

$$U = \frac{1}{2} N k T \quad (2.3)$$

N ... Gasteilchen, $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ Boltzmannkonstante, T ... Temperatur.

Man findet: wenn V_1, T_1 die Temperatur bzw. das Volumen des Universums zu einem Zeitpunkt 1 ist und V_2, T_2 zu einem Zeitpunkt 2, $\kappa = c_p/c_v$, das Verhältnis der spezifischen Wärmen bei konstantem Volumen (c_v) bzw. konstantem Druck (c_p):

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1} \quad (2.4)$$



McKinsey & Company

**Start
your
engines.**

McKinsey sucht Ingenieure.
Nutzen Sie Ihr Potenzial
und starten Sie durch.

Mehr auf [mckinsey.de/ingenieure](https://www.mckinsey.de/ingenieure)



2.2. DER HEISSE URKNALL, ENTSTEHUNG DER ELEMENTE 35

Adiabatische Zustandsänderung: Je kleiner das Volumen, desto höher die Temperatur.

Daraus folgt:

Das Universum muss früher extrem heiß gewesen sein.

2.2.2 Die Entdeckung der Hintergrundstrahlung

Wenn sich das Universum adiabatisch ausdehnt, muss es früher sehr heiß gewesen sein.

Deshalb vermutete bereits Gamow³ im Jahre 1948, dass das Universum einen heißen Anfangszustand hatte und er sagte voraus, dass sich diese heiße Strahlung durch die Ausdehnung des Universums bis zum heutigen Zeitpunkt extrem abgekühlt haben musste.

Die Strahlung eines Objekts wird durch ein Planck-Gesetz beschrieben, je heißer das Objekt, desto mehr verschiebt sich das Strahlungsmaximum in den kurzwelligeren Bereich. Die endgültige Entdeckung dieser sogenannten *kosmischen Hintergrundstrahlung* erfolgte 1964 durch A. Penzias und R. Wilson durch einen Zufall.

Die kosmische Hintergrundstrahlung ist isotrop und erfüllt das gesamte Universum, sie entspricht der Strahlung eines schwarzen Körpers mit 2,7 K. Genaue Messungen dieser Mikrowellenstrahlung gelangen später mit mehreren Satelliten, darunter COBE (Cosmic Background Explorer), Abbildung 2.3.

Woher stammt diese Hintergrundstrahlung? Als das Universum noch extrem heiß war, gab es nur freie Ionen und Elektronen. Durch die Expansion des Universums kühlte es sich ab, die freien Elektronen konnten mit den Atomkernen rekombinieren. Dies geschah, als die Temperatur etwa 3000 K betrug und das Alter des Universums etwa 400.000 Jahre war.

Die Hintergrundstrahlung ist der Überrest aus der heißen Anfangsphase des Universums. Sie stammt aus einer Zeit, als das Universum etwa 400.000 Jahre alt war.

Vor dem Zeitpunkt $t = 400.000$ Jahre war das Universum undurchsichtig, die Photonen wurden an den freien Elektronen gestreut.

2.2.3 Entwicklung des Universums

Die Entwicklung des Universums vom Zeitpunkt $t = 0$ bis heute ist in Abbildung 2.4 skizziert.

Markante Punkte in der Entwicklung des Universums sind:

³1904-1968

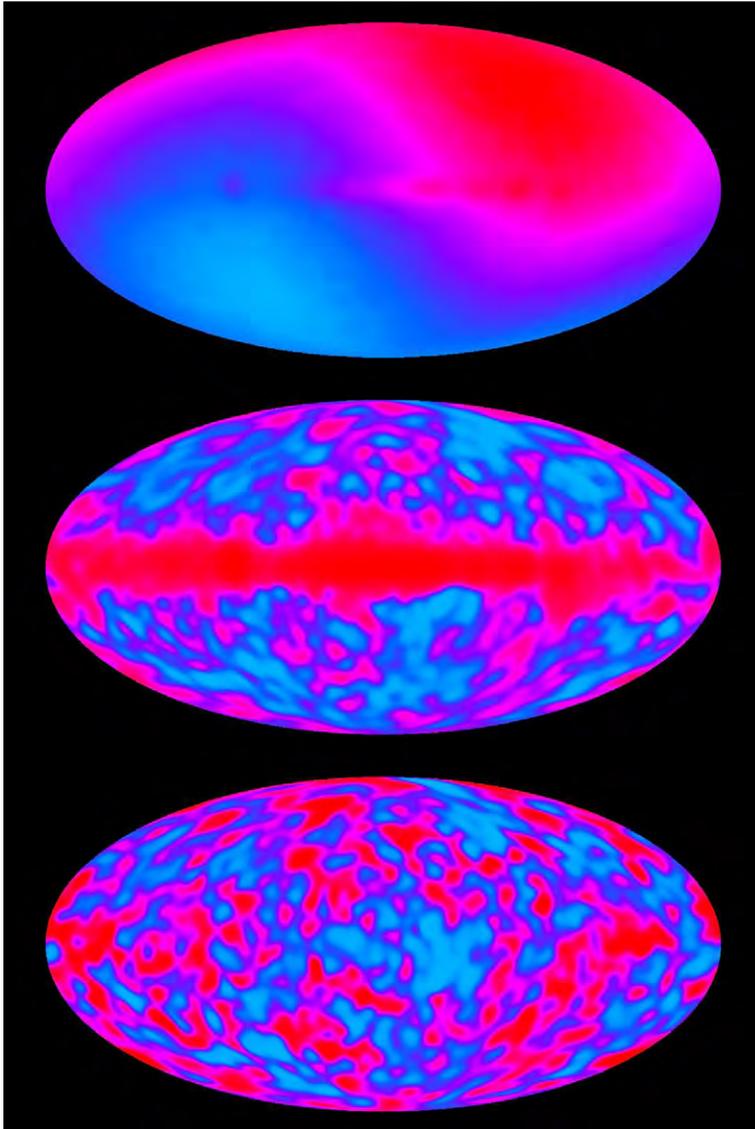


Abbildung 2.3: Messungen des Satelliten COBE zeigen kleine Unregelmäßigkeiten der Hintergrundstrahlung, die roten Bereiche sind um wenige Millionstel Grad heißer als die blauen. Ganz oben sind die Messungen verzerrt durch die Eigenbewegung der Sonne, in der Mitte findet man die Milchstraße, unten wurde dieser Bereich weggefiltert. NASA.

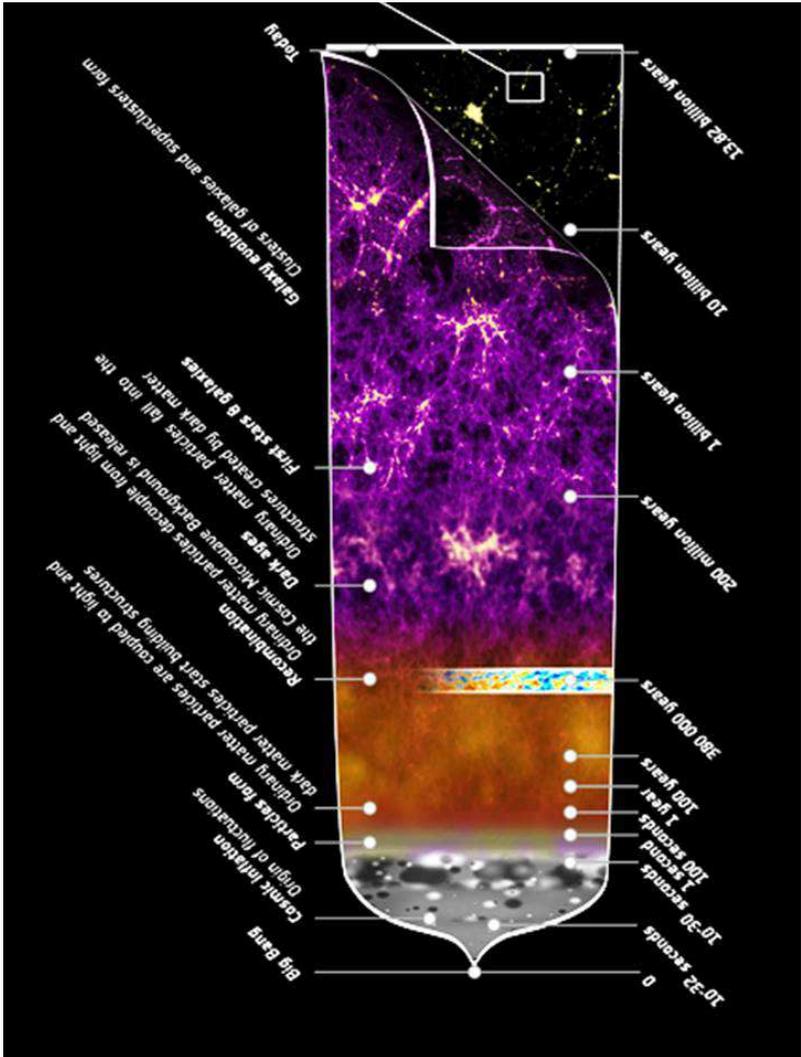


Abbildung 2.4: Die Entwicklung des Universums. NASA.

- Urknall, Big Bang vor etwa 13,65 Mrd. Jahren, Zeitpunkt $t = 0$.
- Inflationäre Phase der Expansion: bei $t = 10^{-32}$ s. Das Universum dehnt sich extrem schnell aus. Dies erklärt die heute beobachtete weitgehende Homogenität und Isotropie.
- Rekombination: $t = 380.000$ Jahre. Vereinigung der freien Elektronen mit den Atomkernen, Universum wird durchsichtig.
- Die ersten Galaxien entstanden zum Zeitpunkt $t = 200$ Mio. Jahre.

Die Entwicklung des Universums als Zeitlinie ist in Abbildung 2.5 skizziert.



IELTS  UNIVERSITY OF CAMBRIDGE  **TOEFL iBT**

**GEWINNE EINEN
SPRACHKURS IN MIAMI MIT
EXAMENSVORBEREITUNG**

Bereite Dich mit EF Sprachreisen auf ein international anerkanntes Sprachzertifikat wie TOEFL, Cambridge oder IELTS vor.

www.ef.com/bookboon

JETZT TEILNEHMEN!


Education First

Download free eBooks at bookboon.com



Click on the ad to read more

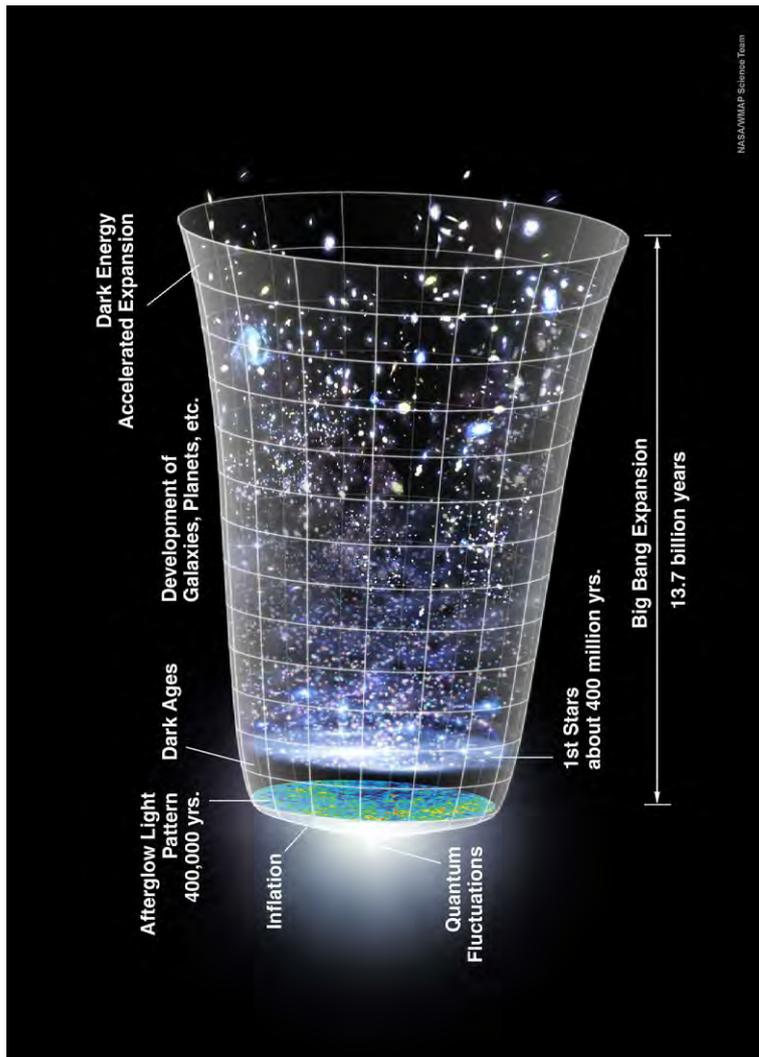


Abbildung 2.5: Zeitlinie der Entwicklung des Universums, man beachte das dunkle Zeitalter (zwischen 400.000 und 400 Mill. Jahren, als sich die ersten Sterne bildeten), sowie die Phase der Re-Ionisation. NASA.

2.2.4 Wasserstoff und Helium

Die Protonen und Neutronen bestehen aus noch kleineren Teilchen, den Quarks, die es in unterschiedlichen Variationen gibt.

- Proton: besteht aus einem down (d) und zwei up (u) Quarks. Die u Quarks besitzen die Ladung $+2/3 e$, das down-Quark die Ladung $-1/3 e$. e steht für die Elementarladung, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$. Die Masse des Protons beträgt $1,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
Die Quarks werden durch die Gluonen zusammengehalten, es wirkt die starke Kraft, die um den Faktor 10^{40} mal stärker ist als die Gravitation.
- Neutron: besteht aus zwei Down- und einem Up-Quark und ist elektrisch neutral.

Die Quarks konnten Protonen und Neutronen formen, als das Universum genügend abgekühlt war. Die Temperatur betrug zu diesem Zeitpunkt etwa 10 Mrd. K.

Als das Universum weniger als 10^{10} K heiß war, kondensierten die Protonen und Neutronen aus dem Quark-Gluonen Plasma aus.

Für uns entscheidend sind die ersten Minuten in der Geschichte des Universums. Die Temperatur und Dichte erreichten Werte, die eine kurzzeitige Kernfusion ermöglichten. Aus vier Protonen entwickelten sich zunächst ein zwei Deuteriumkerne und dann ein Heliumkern.

Betrachten wir die Phasen genauer:

- Eine Sekunde nach dem Urknall, $t = 1 \text{ s}$: die Temperatur betrug 600 Mio. K. Die Neutrinos entkoppelten sich von der Materie, Elektronen und Positronen zerstrahlten. Das Verhältnis der Neutronen zu den Protonen war auf 1 zu 6 gesunken. Man beachte: ein freies Neutron hat eine Halbwertszeit von 10 Minuten.
- Wegen der Halbwertszeit des Neutrons war das Verhältnis Neutronen zu Protonen auf $1/7$ gesunken zur Zeit $t = 1 \text{ min}$. Die Temperatur betrug nun 60 Mio. K (80 keV). Die verbleibenden Neutronen wurden zu 99,99 % in ^4He gebunden. Dieses hat eine hohe Bindungsenergie und wird kaum abgebaut. In sehr geringem Maße wurde noch ^7Li gebildet.
- Primordiale Nukleosynthese: durch die Fusion der Protonen erklärt sich die Zusammensetzung des Universums, 75 % Wasserstoff (Proton) und fast 25 % He. Auch die anderen relativen Häufigkeiten von ^3He und ^7Li werden gut erklärt. Die ältesten Sterne zeigen fast exakt diese primordiale Elementhäufigkeiten.
- Zur Zeit $t = 5 \text{ min}$ war die Teilchendichte des Universums bereits so abgesunken, dass die primordiale Nukleosynthese zu Ende ging. Es gab nur noch Spuren von Deuterium und Tritium. Die freien Neutronen zerfielen.

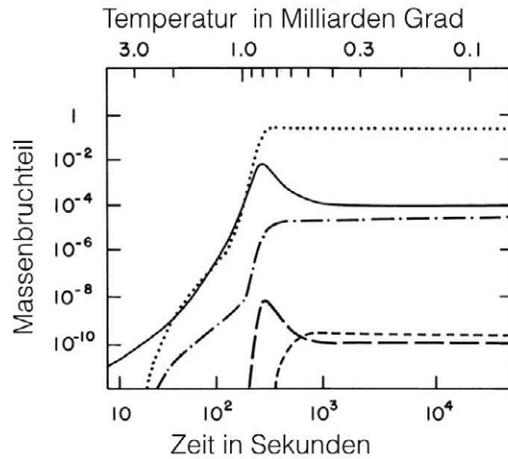


Abbildung 2.6: Die kosmische Nukleosynthese. Die punktierte Linie stellt ^4He dar, die ausgezogene Linie Deuterium, die strich-punktierte Linie ^3He , die Linie mit den langen Strichen ist ^7Li und die Linie mit den kurzen Strichen ist ^7Be .

Eine Übersicht über die Nukleosynthese während der ersten Minuten zeigt die Abbildung 2.6.

START UP - MEHR ALS EIN TRAINEE-PROGRAMM. JETZT BEWERBEN!

Die Antwort auf fast alles.
Antworten auf Ihre Karrierefragen finden Sie hier: www.telekom.com/absolventen

Jetzt bewerben!

T... **ERLEBEN, WAS VERBINDET.**



Die primordiale Nukleosynthese ist ein weiterer Beweis für die Richtigkeit der Urknalltheorie.

Wir sehen, dass in der frühen Phase des Universums lediglich Wasserstoff vorhanden war, der für viele Verbindungen wichtig ist und für Leben eine wichtige Rolle spielt (Kohlenwasserstoffe). Alle anderen Elemente wie Stickstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff wurden erst viel später im Innern der Sterne durch Fusion gebildet.

2.3 Die ersten Sterne

Nach der Entstehung der Elemente Wasserstoff und Sauerstoff dehnte sich das Universum weiter aus. Wann gab es die ersten Sterne bzw. Galaxien?

2.3.1 Das dunkle Universum, dark age

Zur Zeit $t = 400.00$ Jahre wurde das Universum durchsichtig, da sich die freien Elektronen mit den Atomkernen rekombinierten. Aber nun beginnt das dunkle Zeitalter des Universums. Es gab weder Sterne noch Galaxien. Dieses dunkle Zeitalter dauerte etwa 400 Millionen Jahre.

2.3.2 Population-III-Sterne

Am Ende des dunklen Zeitalters bildeten sich die ersten Sterne. Sie waren zwischen 30 und 300 mal massereicher als unsere Sonne. Ihre Leuchtkraft übertraf die der Sonne um das Millionenfache. Je mehr Sterne entstanden desto mehr Wasserstoff wurde auch wieder ionisiert, man spricht von der Epoche der Re-ionisation. Man nennt diese Sterne auch Population III-Sterne.

Die ersten massereichen Sterne hatten nur eine sehr kurze Lebensdauer und sie kollabierten zu schwarzen Löchern. Diese schwarze Löcher zogen weitere Materie an sich und wurden massiv und entwickelten sich zu einer Art Mini-Quasar. Man findet heute in den Zentren der meisten Galaxien supermassive schwarze Löcher mit mehreren Millionen Sonnenmassen. Diese könnten die schwarzen Löcher sein, die sich aus den sehr massiven Sternen gebildet haben am Ende deren Entwicklung.

Die Rotverschiebung z ist definiert als

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}} - 1 \quad (2.5)$$

Dabei ist v die Geschwindigkeit des Objekts, c die Lichtgeschwindigkeit und $\Delta\lambda$ die Wellenlängenverschiebung.

Je größer z , desto weiter entfernt ist das Objekt. Die ersten Sterne dürften eine Rotverschiebung von $z = 20 \dots 30$ haben.

Ein Möglichkeit, Population III-Sterne zu testen ist deren Supernovaexplosionen zu detektieren. Wegen ihrer großen Masse müssten diese Explosionen zu einer wesentlich höheren Leuchtkraft geführt haben, als die Supernovaexplosionen, die wir jetzt kennen. Außerdem waren, falls überhaupt vorhanden, die ersten Galaxien, in denen sich diese Sterne befanden, nicht sehr reich an Sternen, sodass die Supernovae der Population III-Sterne diese Galaxien noch mehr überstrahlten als Supernovae, die wir heute kennen.

Wegen der hohen Rotverschiebung erhofft man sich, diese Supernovae im Infraroten zu detektieren, z.B. mit dem JWST, dem James-Webb-Teleskop (Weltraumteleskop, 6,5 Meter Durchmesser, Start 2018).

Numerische Modelle zeigen, dass die ersten Sterne in $10^5 - 10^6 M_{\odot}$ Halos, aus dunkler Materie bestehend, entstanden sein könnten. Dunkle Materie leuchtet nicht, ist daher nicht detektierbar, sie wirkt jedoch gravitativ.

Für das Ende eines Population-III-Sterns gibt es zwei Möglichkeiten, die von seiner Masse abhängen:

- $15 - 40 M_{\odot}$: core-collapse Supernova, cc-SN. Der Eisenkern kollabiert am Ende der Sternentwicklung. Dies werden wir bei der Sternentwicklung noch kurz besprechen.
- $140 - 260 M_{\odot}$: PI-Supernova, pair instability supernovae. Sie sind 100-mal leuchtkräftiger als der cc-Typ.

Beweise für dieses Szenario: man hat metallarme Sterne gefunden, deren Elementhäufigkeiten mit dem Szenario übereinstimmen.

Die Paar-Instabilität kann man sich so erklären: Bei Massen von Population-III-Sternen oberhalb von $65 M_{\odot}$ kommt es nach dem Kohlenstoffbrennen im Kern zur Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren. Damit fehlt der Druck und der Stern kollabiert. Es kommt zu Explosionen und Sauerstoff und Silizium entstehen. Oberhalb $140 M_{\odot}$ wird der Stern vollständig aufgelöst und es bleibt kein schwarzes Loch zurück. Oberhalb $260 M_{\odot}$ sind die Temperaturen so hoch, dass die Alpha-Teilchen durch Photodisintegration zerfallen, damit wird soviel Energie aufgebraucht, wie vorher durch die Fusion erzeugt wurde. Der Stern kollabiert dann. Die PI-Supernovae sind die energiereichsten thermonuklearen Prozesse im Universum. Ein Stern mit 260 Sonnenmassen setzt 10^{53} erg frei.

Wie häufig sind PI-Supernovae? Es gibt Abschätzungen von PI-SN-Explosionen zwischen 0,1 bis 1,5 pro Quadratgrad und pro Jahr bei $z=25$. Das Problem bei der Beobachtung ist die Absorption im Lyman-Bereich⁴ durch die interstellare Materie. Der Lyman Bereich liegt im UV, und ist durch die hohe Rotverschiebung in den optischen bzw. IR-Bereich gewandert.

2.3.3 Expansion als Test für Gravitationstheorien

Es gibt verschiedene Ansätze um die Gravitation zu verstehen. Die Expansionsrate des Universums ist proportional zur Gravitationskonstanten:

$$t^{-1} \propto G^{1/2} \quad (2.6)$$

⁴Übergang im Wasserstoffatom auf die Elektronenschale $n = 1$

Die primordiale Nukelosynthese setzt hier eine Grenze: zu rasche Expansion oder zu langsame Expansion hätte eine zu rasche oder zu langsame Temperatur- bzw. Dichteabnahme zur Folge. Daher müsste sich die primordiale Zusammensetzung des Universums ändern. Man nimmt eine Änderung der Gravitationskonstante im Verlaufe der Entwicklung des Universums von maximal

$$G \propto t^{-x}, \quad x < 0,005 \quad (2.7)$$

an. Ansonsten würde sich die beobachtete primordiale Zusammensetzung nicht erklären lassen.

In den ersten Minuten nach der Entstehung des Universums entstanden die Elemente Wasserstoff und Helium. Am Ende des dunklen Zeitalters, als das Universum einige 100 Millionen Jahre alt war, entstanden nach den ersten Supernovaexplosionen der Population III-Sterne auch die schwereren Elemente bis zum Eisen. Es dauerte jedoch weitere Mrd. Jahre ehe es einen genügend hohen Anteil an schweren Elementen gegeben hat, sodass die Bausteine für Leben vorhanden waren.



Machen Sie die Zukunft sichtbar

Kleine Chips, große Wirkung: Heute schon sorgt in rund der Hälfte aller Pässe und Ausweise weltweit ein Infineon Sicherheitscontroller für den Schutz ihrer Daten. Gleichzeitig sind unsere Halbleiterlösungen der Schlüssel zur Sicherheit von übermorgen. So machen wir die Zukunft sichtbar.

Was wir dafür brauchen? Ihre Leidenschaft, Kompetenz und frische Ideen. Kommen Sie zu uns ins Team! Freuen Sie sich auf Raum für Kreativität und Praxiserfahrung mit neuester Technologie. Egal ob Praktikum, Studienjob oder Abschlussarbeit: Bei uns nehmen Sie Ihre Zukunft in die Hand.

Für Studierende und Absolventen (w/m):

- > Ingenieurwissenschaften
- > Naturwissenschaften
- > Informatik
- > Wirtschaftswissenschaften



www.infineon.com/karriere



charta der vielfalt



Kapitel 3

Galaxien und interstellare Materie

Nachdem wir die Entstehung des Universums beschrieben haben, sowie die Bildung der Elemente Wasserstoff und Helium und der ersten Sterne, wenden wir uns nun den großen Bausteinen des Universums, den Galaxien, zu bzw. der Materie zwischen den Sternen. Eine Übersicht über Galaxien findet sich in den entsprechenden Kapiteln des Buches [10].

3.1 Interstellare Materie

Bereits mit bloßem Auge erkennt man in dem zartschimmernden Band der Milchstraße dunkle Wolken. Es handelt sich um Staubwolken, die das Licht dahinter gelegener Sterne abschwächen. Die interstellare Materie hat große Bedeutung für die Entstehung neuer Sterne und Planetensysteme.

3.1.1 Interstellarer Staub

Interstellarer Staub absorbiert das Licht. Die Staubkonzentration ist allerdings meist sehr gering und es gibt keine Spektrallinien, aus denen man auf die physikalischen Parameter schließen könnte.

Wichtige Eigenschaften der interstellaren Staubkörner sind die Extinktion, die Verfärbung, die Polarisation sowie die Reflexion des Sternenlichtes.

Dass sich der Staub vorwiegend in der Ebene der Milchstraße befindet, folgt aus Zählungen von Galaxien. Man findet in der Nähe der galaktischen Ebene nur wenige Galaxien. Dort muss die Extinktion am größten sein. Die Streuung ist für interstellaren Staub gegeben durch das Verhältnis $d/\lambda \sim 1$, wobei d der Durchmesser der Staubteilchen ist und λ die Wellenlänge, bei der man beobachtet. Die Streuung ist

$$\propto \lambda^{-1} \tag{3.1}$$

→ Die Staubteilchen haben einen Durchmesser von einigen 100 Nanometern. Woraus bestehen die Staubteilchen? Aus der Extinktionskurve folgt durch Vergleich mit Extinktionskurven bekannter Verbindungen, dass es sich hauptsächlich um Graphit- und Silikateilchen handelt.

Typische Eigenschaften einer Staubwolke: Dichte etwa 1 Teilchen pro 100 m^3 , Durchmesser etwa 30 Lj^1 , Temperatur etwa 100 K.

Die Staubteilchen führen zu einer Polarisation des Sternenlichtes. Sie sind länglich und durch das Magnetfeld der Milchstraße ausgerichtet. In der Nähe früher junger Sterne reflektieren sie das Licht dieser Sterne und erscheinen als weiß leuchtende Nebel.

Für die Astrobiologie sind Staubteilchen sehr wichtig. An den Teilchen können sich Moleküle heften und so komplexere Verbindungen bilden. Außerdem bieten Staubwolken einen gewissen Schutz gegen Strahlung, die die Moleküle zerstören würde. Man findet in den Staubteilchen auch Siliziumverbindungen (z.B. SiC), Aluminiumoxid und Graphit. Diese Verbindungen können nur bei hohen Temperaturen während einer Supernovaexplosion entstanden sein. Setzt man polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Abb. 3.1) interstellaren Bedingungen aus, dann bilden sich komplexere organische Verbindungen, Vorstufen von Aminosäuren.

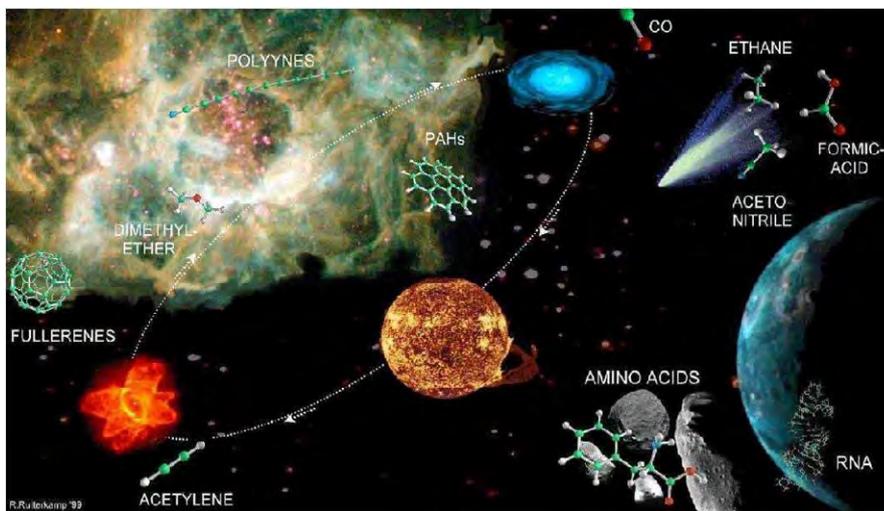


Abbildung 3.1: Interstellare Moleküle. Credit: Ruiterkamp.

Der Staub im protosolaren Nebel, aus dem sich Sonne und Planeten bildeten, enthielt organisches Material, ohne dieses wäre Leben auf der Erde wahrscheinlich niemals entstanden.

¹Lj... Lichtjahr = 10^{13} km.

3.1.2 Interstellares Gas

Das Verhältnis Gas zu Staub beträgt 100:1. Wasserstoff ist das wichtigste Element, er umfasst 70 % der Masse und 90 % der Teilchen. Man findet den Wasserstoff als:

- Neutraler Wasserstoff, H-I: Die Verteilung des neutralen Wasserstoffs in der Galaxis kann mit Hilfe der 21-cm Linie im Radiobereich untersucht werden. Diese Linie entsteht beim Hyperfeinübergang von Kernspin parallel Elektronenspin \rightarrow Kernspin antiparallel Elektronenspin im Wasserstoffatom (Frequenz 1440 Mhz) (Abb. 3.2) .

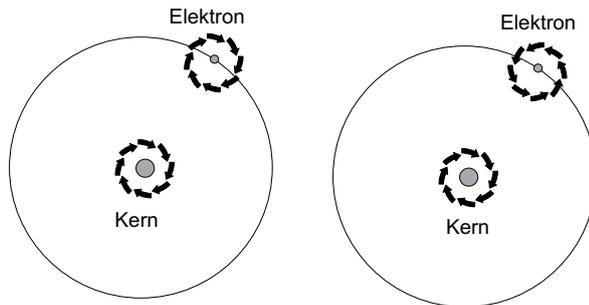


Abbildung 3.2: Übergang Kernspin parallel und antiparallel zu Elektronenspin.

SIEMENS

EIGENVERANTWORTUNG
KREATIVE TEAMPLAYER
NEUGIERDE
OFFENHEIT
INNOVATION ERFINDERGEIST
ENGAGEMENT
PERSPEKTIVEN CHANCEN
ENTSCHLOSSENHEIT
WELTWEITE MÖGLICHKEITEN
WORK-LIFE-BALANCE

Verwirklichen, worauf es ankommt –
mit einer Karriere bei Siemens.

siemens.de/karriere



- Ionisierter Wasserstoff, H-II-Regionen: Bekannte Beispiele für wunderschön leuchtende Emissionsnebel sind der Orionnebel oder der Nordamerikanebel. Die Strahlung stammt aus den in diesen Nebeln eingebetteten Sternen. Man beobachtet kräftige Emissionslinien, die aus verbotenen Übergängen von Atomen wie O^+ , O^{++} , N^+ stammen. Die Anregung auf sogenannte verbotene Niveaus erfolgt durch unelastische Elektronenstöße und wegen der geringen Dichte der interstellaren Materie ist die Lebenszeit der metastabilen Niveaus kürzer als die Zeit zwischen zwei Stößen, man beobachtet daher einen Strahlungsübergang. Die Ausdehnung einer H-II-Region um einen sehr heißen Stern herum kann bis zu mehr als 300 Lichtjahre betragen.

3.1.3 Molekülwolken und Bausteine des Lebens

Die interstellaren Molekülwolken sind besonders interessant für die Astrobiologie, weil man in ihnen unzählige Moleküle, darunter auch wichtige Moleküle, die Bausteine des Lebens sind, findet.

Wie kann man sich die Bildung von Molekülen vorstellen? Eine wichtige Rolle spielt dabei der interstellare Staub. Betrachten wir ein typisches Staubteilchen mit einer Ausdehnung von 10^{-5} cm. Nehmen wir an, ein Wasserstoffatom trifft auf dieses Teilchen und bleibt daran haften. Dieses Atom kann sich entlang der Oberfläche des Staubteilchens bewegen und auf ein anderes Wasserstoffatom treffen. Die beiden bilden dann ein H_2 Molekül. Weitere Moleküle wie CO oder Ammoniak NH_3 oder Formaldehyd H_2CO bilden sich ähnlich. Wichtig ist, dass sich derartige Moleküle nur in dichteren Staubwolken bilden können, da sonst die Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen Atomen und Staubkörnern zu gering ist.

Betrachten wir die Bildung eines Wassermoleküls:

- Ein schnelles Proton trifft auf ein H-Atom und ionisiert dieses: $p + H \rightarrow p + p + e^-$, wobei das vom ionisierten H-Atom übrig gebliebene Proton langsam ist.
- Das langsame Proton trifft auf ein Sauerstoff-Atom, ionisiert dieses und das freie Elektron bildet wieder ein Wasserstoffatom.
- Das ionisierte Sauerstoff-Atom trifft auf ein H_2 -Molekül, es bildet sich ein OH-Molekül und ein Wasserstoffatom.
- Das OH-Molekül trifft auf ein H_2 -Molekül und bildet ein Wassermolekül, H_2O sowie ein Wasserstoffatom.

In weiterer Folge entsteht durch Zusammentreffen des Wassermoleküls mit einem Wasserstoffmolekül:



und schließlich dann als Endprodukte:

- $\text{H}_2\text{O} + \text{H-Atom}$ und
- $\text{OH} + \text{H}_2$.

Somit haben wir die Bildung von Wasser im interstellaren Raum!

3.1.4 Organische Moleküle im Orionnebel

Ein bekanntes Beispiel für eine interstellare Molekülwolke ist der Orionnebel. Es handelt sich hierbei um die nächstgelegene Sternentstehungsregion in unserer Milchstraße. Mit dem ESA-Herschel Teleskop wurde nach organischen Molekülen in dieser Region gesucht. Mit dem Heterogen Instrument für den Fern-Infrarotbereich (HIFI) wurde die Wolke beobachtet. Dabei hat man z.B. im Orionnebel Moleküle wie CN, CO und $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ gefunden. Letzteres Molekül ist Ethyl-Alkohol. Eine Besonderheit im Spektrum des Orion-Nebels ist seine Reichhaltigkeit: unter den identifizierten Molekülen finden sich Wasser, Kohlenmonoxid, Formaldehyd, Methanol, Dimethyläther, Zyanwasserstoff, Schwefeldioxid, Schwefeldioxid.

Komplexe Verbindungen wurden auch in der Nähe des galaktischen Zentrums beobachtet (Abb. 3.3).

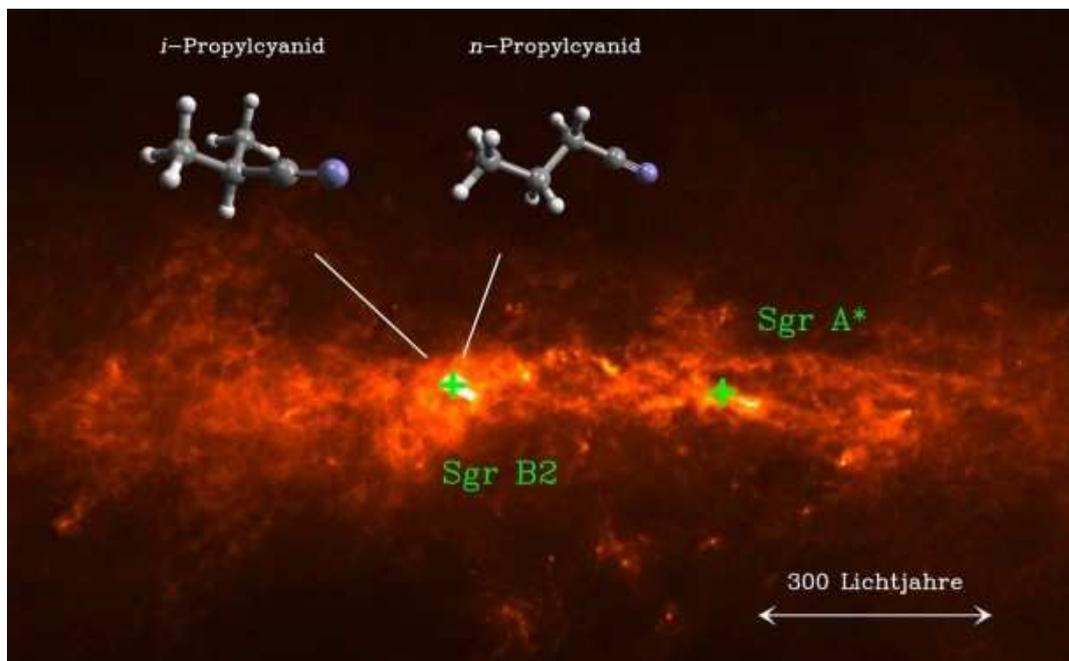


Abbildung 3.3: Komplexe Verbindungen in der Nähe des galaktischen Zentrums.

Man sieht, dass sich aus diesen Verbindungen auch Aminosäuren herstellen lassen. Anhand ihrer charakteristischen Spektrallinien ließ sich die einfachste der

20 Aminosäuren, Glycin, in drei Molekülwolken unserer Milchstraße nachweisen.

Interstellare Molekülwolken enthalten Grundbausteine organischer Verbindungen die für die Entstehung des Lebens essentiell sind.

3.1.5 Präbiotische Moleküle

Im Sternhaufens IC 348 im Sternbild Perseus gelang der erste Nachweis des Kohlenwasserstoffs Anthracen (Abb. ??). Im Spektrum findet man Bänder von positiv geladenen Molekülen des Anthracens, auch als Paranaphthalin bezeichnet. Der aus drei aneinanderhängenden Ringen bestehende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoff mit der Summenformel $C_{14}H_{10}$ war bisher nur in Meteoriten, nicht aber in interstellarer Materie nachgewiesen worden. Oxidierte Formen dieses Moleküls kommen häufig in lebenden Systemen vor und sind biochemisch sehr aktiv. Auf der Erde findet sich Anthracen in Steinkohlenteer, ist aber auch ein sekundärer Inhaltsstoff der Aloe-Pflanze.



Jonas von Malottki Finance Accounting IT Solutions, Deutschland (Stuttgart)
Hortense Denise Kirby HR Business Partner, USA (Dallas/Fort Worth)
Yu Chang Engineering Support Office, China (Peking)

Fünf Kontinente. Jede Menge Platz zur persönlichen Entfaltung. Das sind wir.

Hier geht es für Sie weiter: www.career.daimler.com

DAIMLER

Die Daimler AG ist eines der erfolgreichsten Automobilunternehmen der Welt. Zum Markenportfolio gehören Mercedes-Benz, smart, Freightliner, Western Star, BharatBenz, Fuso, Setra, Thomas Built Buses sowie die Mercedes-Benz Bank, Mercedes-Benz Financial und Truck Financial.



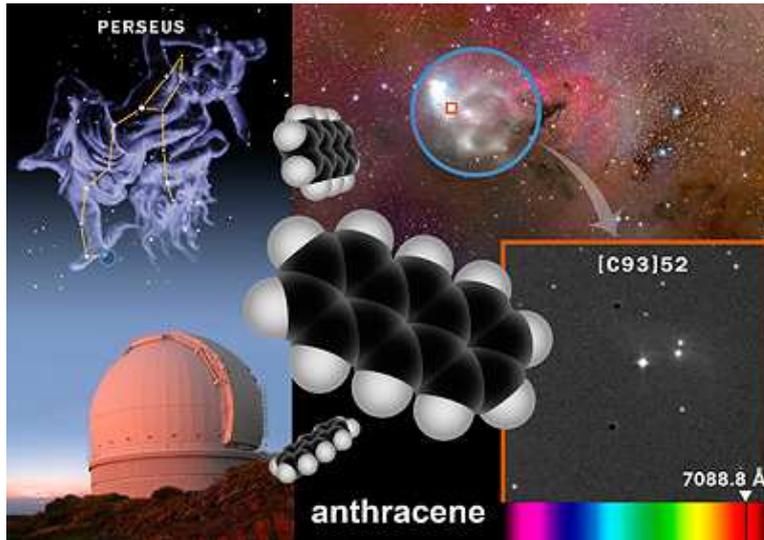


Abbildung 3.4: Anthracen im Sternhaufen, rechts unten die spektrale Signatur.

Moleküle wie Anthracen gelten als präbiotisch, sind daher mögliche Vorformen für Biomoleküle und damit für die Entstehung des Lebens bedeutsam. Werden sie in Gegenwart von Wasser und Ammoniak ultravioletter Strahlung ausgesetzt, können aus ihnen Aminosäuren und andere Lebensbausteine entstehen.

3.2 Die Milchstraße

Galaxien sind die Bausteine des Universums. Unsere Heimatgalaxie ist die Milchstraße.

3.2.1 Was ist die Milchstraße?

In einer klaren dunklen Nacht, abseits von künstliche Lichtquellen, sieht man besonders im Sommer und Herbst das zart leuchtende Band der Milchstraße. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wusste man:

- die Milchstraße, Galaxis, besteht aus mehreren 100 Milliarden Sternen,
- unsere Sonne, und damit das Sonnensystem ist etwa 27.000 Lichtjahre vom galaktischen Zentrum entfernt,

- die Milchstraße erscheint von der Seite betrachtet wie eine Scheibe, die etwa 100.000 Lichtjahre ausgedehnt ist. Von oben betrachtet, würde sie wie eine riesige Spirale erscheinen.

Eine Darstellung unserer Milchstraße ist in Abbildung 3.5 gegeben.

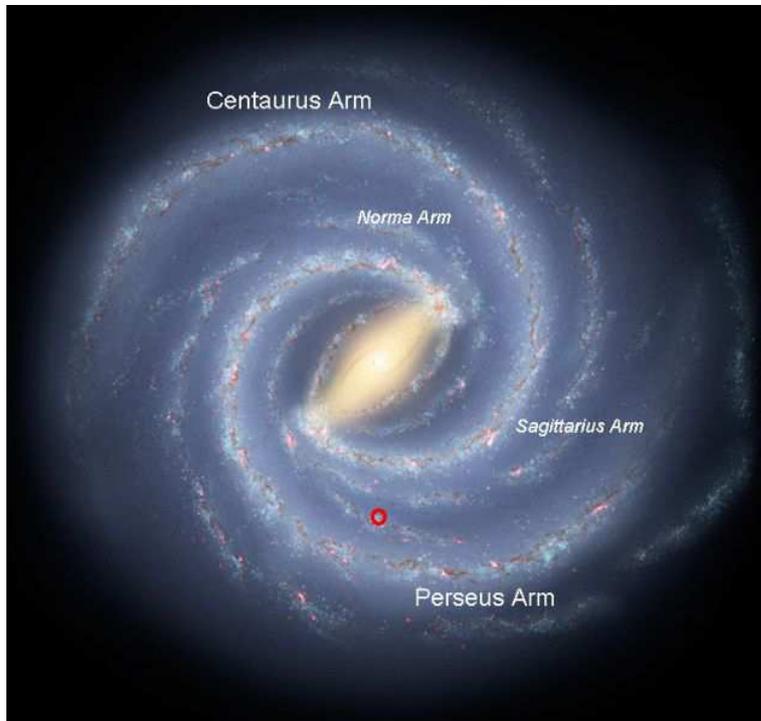


Abbildung 3.5: Unsere Milchstraße, die Galaxis, von oben gesehen. Der Ort unserer Sonne bzw. des Sonnensystems ist eingetragen. Die Spiralarms sind nach den Sternbildern benannt in denen sie zu finden sind.

3.2.2 Typische Eigenschaften der Milchstraße

Die Masse unserer Milchstraße lässt sich aus dem dritten Keplergesetz ableiten. Sei d der Abstand der Sonne vom galaktischen Zentrum, T die Umlaufdauer der Sonne um das Zentrum, dann folgt für die Masse der Sterne innerhalb der Sonnenbahn:

$$\frac{d^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M_{\text{Galax}} + M_{\odot}) \quad (3.3)$$

Dabei kann man die Masse der Sonne vernachlässigen. Andere Abschätzungen der Masse ergeben sich durch Sternzählungen oder unter Verwendung des Virialsatzes. Die Galaxis besitzt zwei Zwerggalaxien als Begleiter: die am südlichen Sternenhimmel sichtbare große und kleine Magellan'sche Wolke.

Um Informationen über den Aufbau der Galaxis zu bekommen, muss man die Entfernung der Sterne kennen. Eine einfache Methode ist die Bestimmung der jährlichen Parallaxe eines Sterns (Abb. 3.6). Betrachtet man einen nahen Stern im Laufe eines Jahres relativ zu weit entfernten Hintergrundsternen, so scheint sich dessen Position zu ändern. Aus der Parallaxe π bestimmt man die Entfernung:

Wenn a die große Bahnhalbachse der Erdbahn und r die gesuchte Entfernung des Sterns ist, dann gilt für die Parallaxe π des Sterns:

$$\sin \pi = \frac{a}{r} \quad (3.4)$$

Nehmen Sie die nächsten 50 Stufen Ihrer Karriereleiter doch gleich auf einmal.

Das gibt es nur bei JobStairs: Auf einer Seite alle favorisierten Top Unternehmen sehen und sich bequem bei allen gleichzeitig bewerben. Ideale Bedingungen also, um Ihren persönlichen Karriereaufstieg erfolgreich in Angriff zu nehmen.

Und hier geht's direkt zu Ihren Top Jobs:

JobStairs
The Top Company Portal

Logos of various companies including: Allianz, Audi, BASF, Bayer, Bertelsmann, Bertrandt, BMW Group, Boehringer Ingelheim, Bosch, Brose, Commerzbank, Continental, Daimler, DB, Deutsche Post DHL, Dräger, E.ON, EY, Ferchau, Fresenius, Hannover Messe, Henkel, KfW, KPMG, LuftHansa, Merck, Munich RE, P&G, Pöchlmann, Porsche, PwC, Rewe, Volkswagen, SAP, SEW, Siemens, Stihl, Targobank, Wabco, Wacker, ZF.



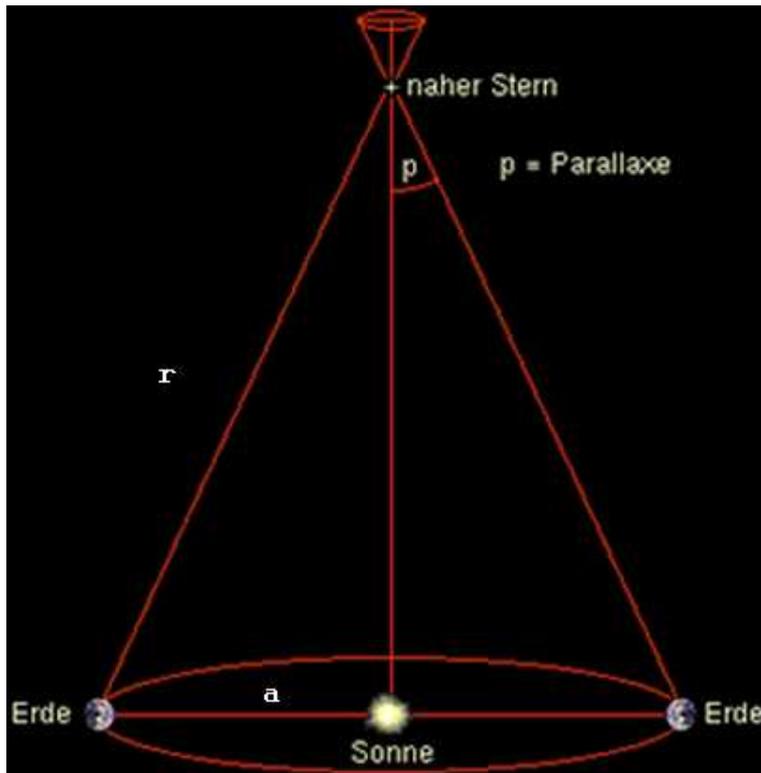


Abbildung 3.6: Die jährliche Parallaxe eines Sterns ergibt sich aus dem Umlauf der Erde um die Sonne.

Man beachte:

- Diese sogenannte jährliche Parallaxe ist ein sehr kleiner Winkel $< 1''$. Deshalb $\sin \pi \sim \pi$.
- Wenn $\pi = 1''$, dann sagt man, die Entfernung des Sterns betrage ein Parsec (pc).
- Der nächste Stern (abgesehen von der Sonne) hat eine Parallaxe von $0,737''$ → seine Entfernung beträgt daher:

$$r[\text{pc}] = \frac{1}{\pi['']} \quad (3.5)$$

- Umrechnung pc in Lichtjahre: $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lj}$.

Da sich unsere Sonne bewegt, ergibt sich auch eine sogenannte säkulare Parallaxe, die mit der Zeit immer größer wird. Schließlich sei noch die Methode der Sternstromparallaxe erwähnt. Die Mitglieder eines Sternhaufens bewegen

sich zu einem Punkt am Himmel. Aus der Radialgeschwindigkeit der Sterne, die sich aus dem Dopplereffekt ergibt, sowie aus der gemessenen Eigenbewegung am Himmel, ergibt sich die gesuchte Entfernung. Damit kann man Entfernungen bis 2000 pc messen. Diese Methode wurde z.B. bei dem erst 600 Mio. Jahre alten Sternhaufen Hyaden angewandt, der 153 Lj (47 pc) von uns entfernt ist.

3.2.3 Aufbau der Galaxis



Abbildung 3.7: Unsere Milchstraße von der Seite her betrachtet. Man erkennt deutlich den zentralen Bulge.

Die wichtigsten Komponenten (Abb. 3.7) sind:

- Galaktische Scheibe; die Dicke beträgt etwa 3000 Lj, 1 kpc.
- Kern; das Zentrum befindet sich im Sternbild Sagittarius (Schütze) und ist durch dunkle Staub- und Gaswolken im sichtbaren Licht nicht beobachtbar. Es enthält eine sehr starke Radioquelle.
- Supermassives schwarzes Loch im Kern; dieses besitzt eine Masse von etwa 4 Mio. Sonnenmassen; man konnte den Umlauf eines Sternes, der nur 17 Lichtstunden vom Zentrum des schwarzen Lochs entfernt ist beobachten, er benötigt für einen Umlauf etwa 15 Jahre.
- in der galaktischen Scheibe die Spiralarme. Die galaktische Scheibe enthält vorwiegend jüngere, metallreichere Sterne der Population I. Durch Wechselwirkung mit den Magellan'schen Wolken ist die galaktische Scheibe gebogen.
- zentrale Verdickung, galaktischer Bulge. Die Dicke beträgt bis zu 16.000 Lj.

- galaktischer Halo: Ausdehnung bis zu 165.000 Lj (50 kpc). In diesem befinden sich die sehr alten metallarmen Kugelsternhaufen, sowie RR-Lyrae-Sterne und andere alte Sterne.

In den Spiralarmlen findet man neben Sternen auch interstellare Materie, die entweder als Gas- oder Staubwolken vorkommt. Befinden sich helle leuchtkräftige Sterne in der Nähe des Gases, wird dieses zum Leuchten angeregt (H-II-Gebiete). Die Gasmassen leuchten meist im roten Licht der Wasserstofflinie H-Alpha. Diese entsteht beim Übergang des Elektrons im Wasserstoffatom vom Zustand $n = 3$ zum Zustand $n = 2$ und ist bei einer Wellenlänge von 656,3 nm.

3.2.4 Modell der Galaxis

Eine Vorstellung von den Größenverhältnissen der Galaxis bekommt man, wenn man folgendes Modell macht:

Die Milchstraße befindet sich in einem Raum von $10 \times 10 \times 1$ km. In diesem Modell hätte die Ausdehnung unseres Planetensystems die Größe von etwa 0,1 mm. Pro Kubikmeter würde man dann etwa 3 Sterne finden!

ICH BEI ZF. INFORMATIKER UND OUTDOOR-PROFI.

www.ich-bei-zf.com

ZF MOTION AND MOBILITY

100 YEARS MOTION AND MOBILITY

Scan den Code und erfahre mehr über mich und die Arbeit bei ZF:

WALTER LAUTER
IT-Spezialist Serversysteme
ZF Friedrichshafen AG

3.3 Galaxien

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war unklar, ob es außer unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße, noch weitere Galaxien gibt. Deshalb war es eines der Ziele von E.P. Hubble (1889 - 1953) die Entfernung von Spiralnebeln zu bestimmen, beispielsweise des Andromedanebels. Entfernungen von Galaxien bestimmt man am besten durch Verwendung von sog. Standardkerzen, das sind Objekte, deren tatsächliche Helligkeit bekannt ist. Man versteht unter **absoluter Helligkeit** die scheinbare Helligkeit eines Objekts in einer gedachten Entfernung von 10 pc. Ein pc, parsec, entspricht 3,26 Lichtjahren. Die jährliche Parallaxe eines Sterns, die sich aus dem Umlauf der Erde um die Sonne ergibt, wäre für eine Entfernung 1 pc genau eine Bogensekunde. Die scheinbare Helligkeit eines Objekts, das wir am Himmel beobachten wird mit m (steht für Größenklasse, magnitudo) bezeichnet. Die Sonne hat auf dieser Skala die Helligkeit -26 , der Vollmond etwa -12 , helle Sterne am Himmel $+1$, die schwächsten gerade noch mit freiem Auge sichtbaren Sterne $+6$. Mit den größten Teleskopen kann man Sterne bis zur Größenklasse $+24$ und etwas mehr erkennen.

→ die scheinbare Helligkeit m hängt ab von

- wahrer Helligkeit M ,
- Entfernung d des Objekts.

Es gilt folgende Beziehung:

Entfernungsmodul:

$$m - M = 5 \log d - 5 \quad (3.6)$$

Kennt man also die wahre Helligkeit M , dann folgt zusammen mit der leicht messbaren scheinbaren Helligkeit die Entfernung.

Die absolute Helligkeit M ist für viele Objekte bekannt:

- Cepheiden: Pulsationsveränderliche Sterne, die sich aufblähen und wieder zusammenziehen. Aus der Periode des Helligkeitswechsels folgt die absolute Helligkeit.

$$M = -2,78 \log P - 1,32 \quad [P] = d \quad (3.7)$$

wobei P die Periode des Helligkeitswechsels in Tagen gegeben ist.

- Supernovae: Massereiche Sterne explodieren am Ende ihrer Entwicklung zu einer Supernova. Dies tritt bei einer definierten Masse von 1,4 Sonnenmassen auf, deshalb sind alle Supernovae gleich hell: $M = -18^m$.
- Man kennt die absolute Helligkeit von anderen veränderlichen Sternen, so z.B. RR-Lyrae-Sterne.

Hubble bestimmte in den Jahren 1922-1923 die Entfernung des Andromedanebels (Abb. 3.8) und erkannte, dass es sich dabei um eine eigenständige Galaxie handeln muss. Er publizierte diese Erkenntnis in den New York Times am 23. Nov. 1924.



Abbildung 3.8: Die Andromedagalaxie M31 befindet sich in einer Entfernung von 2,45 Mio Lj. und enthält etwa dieselbe Masse wie unsere Galaxie.

Bsp.: Bestimmung der Entfernung der Andromedagalaxie. Zuerst muss man Cepheiden finden, dann folgt aus deren Periode die absolute Helligkeit und durch Vergleich mit der scheinbaren Helligkeit die Entfernung.

In der Abbildung 3.9 sind mit dem Hubble-Weltraumteleskop beobachtete Cepheiden in den Randbereichen der Andromeda-Galaxie zu erkennen.

Bsp.: Die Entfernung der Andromedagalaxie beträgt etwa 700 kpc. Die absolute Helligkeit einer Supernova beträgt -18^m . Wie hell sieht man die Supernova aufleuchten?

$$\text{Lsg.: } m - (-18) = 5 \log(700.000) - 5$$

3.3.1 Typen von Galaxien

Nachdem man erkannt hatte, dass es neben unserer Galaxis, der Milchstraße, noch viele weitere Galaxien gibt, hat man diese nach der Form ihres Aussehens in Gruppen eingeteilt.

Man unterscheidet also:

- Spiralgalaxien. Hier unterteilt man noch in normale Spiralen S und Balkenspiralen SB (Kern balkenförmig). Unsere Milchstraße gehört zum Typ

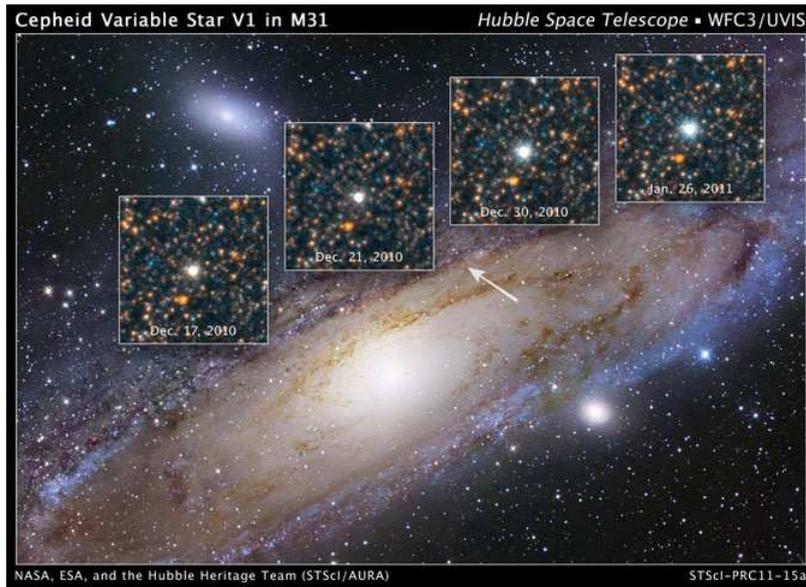


Abbildung 3.9: Der Helligkeitswechsel eines Cepheiden in der Andromedagalaxie M31.

der Balkenspiralen, also SB. Je nach Öffnung der Spiralen wird noch in die Unterklassen *a*, *b*, *c* unterteilt.

Consorsbank!
by BNP PARIBAS

DEINE SCHNITTSTELLE ZUM ERFOLG.
HIER BIST DU RICHTIG VERBUNDEN!

Die Consorsbank ist eine der führenden Direktbanken Europas. Lege jetzt als Werkstudent oder Praktikant bei uns den Grundstein für deine erfolgreiche Karriere.

Einfach online bewerben unter:
www.consorsbank.de/karriere



- Elliptische Galaxien *E*. Diese werden nach Grad der Elliptizität dezimal unterteilt. (Bsp. Abb. 3.10). Sie enthalten meist massearme alte Sterne und nur wenig interstellare Materie. Für die Astrobiologie dürften sie keine Rolle spielen.
- Irreguläre Galaxien, *Irr*.

Am häufigsten kommen die irregulären Galaxien vor, allerdings sind viele davon klein und können nur in Nähe unserer Milchstraße entdeckt werden. Wichtig für die Astrobiologie sind natürlich Planeten. Zur Entstehung erdähnlicher Planeten mit einer festen Oberfläche braucht es schwere Elemente wie Kohlenstoff, Sauerstoff, Silizium usw. In elliptischen Galaxien findet man meist sehr alte, metallarme Sterne.

Unter Metallen versteht man in der Astrophysik alle Elemente schwerer als Helium. Wenn es also in Galaxien nur wenige Metalle gibt dann ist die Wahrscheinlichkeit der Entstehung erdähnlicher Planeten gering.

Sterne der Population II sind alte Sterne, die arm an Metallen sind, Sterne der Population I sind reicher an Metallen, der Metallgehalt ist aber immer unter 1%.

Ein irreguläre Galaxie, NGC 2363 ist in Abb. 3.11 gezeigt. Im rechten Bild sieht man eine rot leuchtende Sternentstehungsregion.

3.3.2 Galaxien und Haufen

Galaxien kommen in Haufen vor und diese ordnen sich wiederum zu Superhaufen an. Unsere Galaxis gehört mit der Andromedagalaxie und etwa 20 anderen kleineren Galaxien zur lokalen Gruppe. Diese wiederum ist Bestandteil des Virgohaufens. Größere Galaxienhaufen enthalten bis zu 1000 Galaxien.

Abbildung 3.12 zeigt den Galaxienhaufen Abell 2744.

Die großräumige Struktur des Universums ist also: Galaxien-Galaxienhaufen-Superhaufen. Eine typische Galaxie enthält etwa 100 Milliarden Sterne sowie interstellare Materie.

3.3.3 Die galaktische habitable Zone

In einer Galaxie gibt es einen Metallgradienten. Alte Sterne der Population II bestehen aus Material der primordialen Zusammensetzung des Universums, sind also arm an Metallen. Wo findet man Sterne der Population II in einer Galaxie wie unserer Milchstraße?

Metallarme Sterne der Population II findet man vorwiegend in

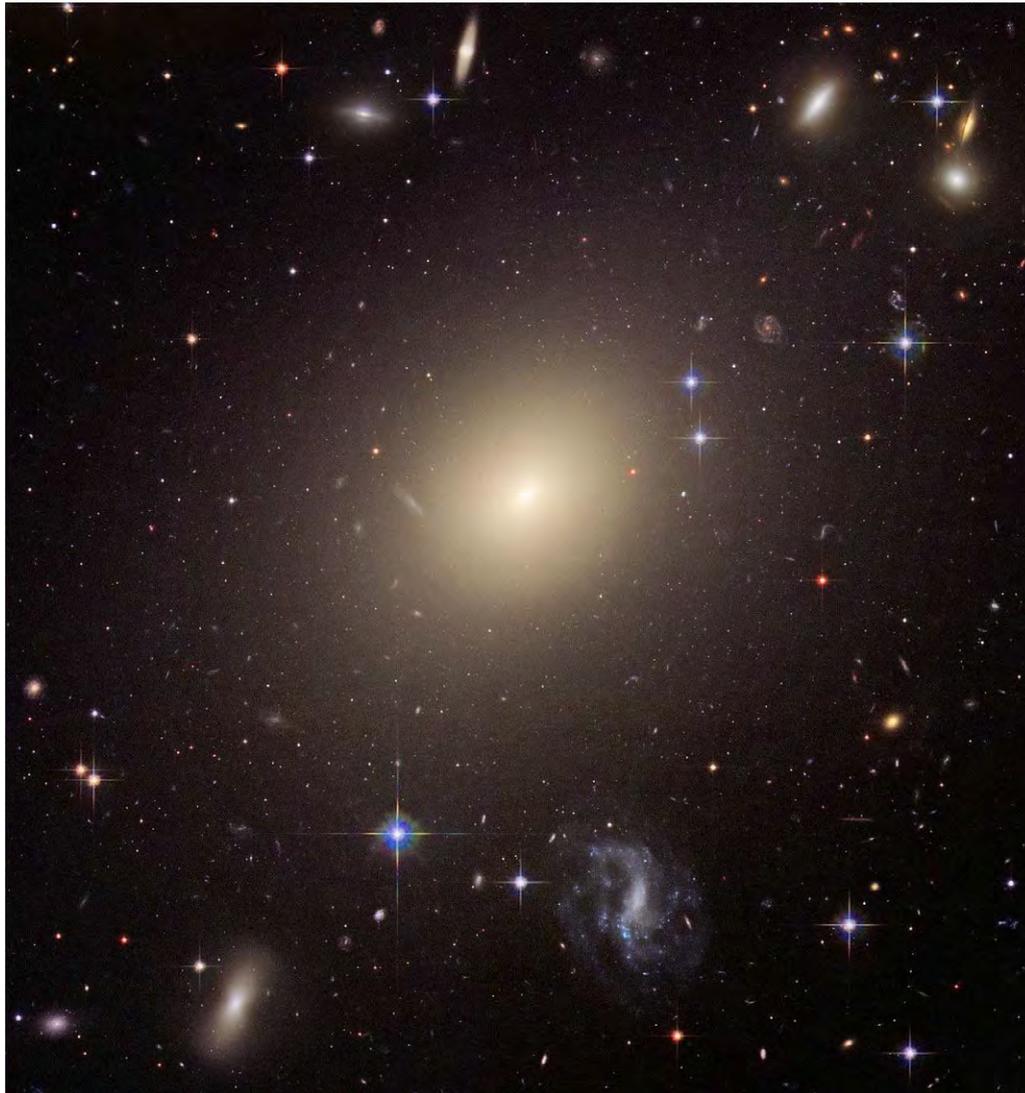


Abbildung 3.10: Eine elliptische Galaxie ESO 325-G004. ESA/NASA

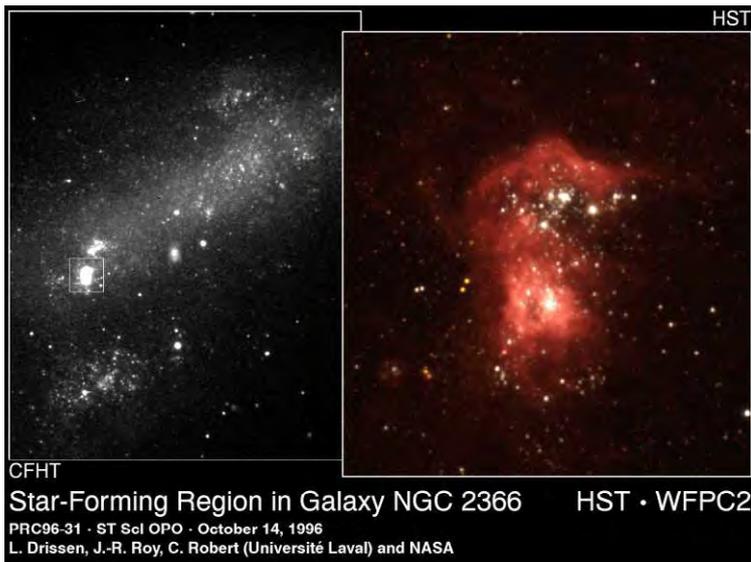


Abbildung 3.11: Die Galaxie NGC 2363 enthält eine rot leuchtende Sternentstehungsregion.

- Halo von Spiralgalaxien (also auch unserer Milchstraße). In diesem Halo gibt es vorwiegend die Kugelsternhaufen (Abb. 3.13). Planeten und damit Leben in den Außenbereichen einer Galaxie ist damit sehr unwahrscheinlich.

AOK
Die Gesundheitskasse.

AOK-Liveonline – Powerstart für die Zukunft

Entdecken Sie die innovativen LIVEONLINE Vorträge der AOK. Wir bieten drei Themenfelder: Strategische Karriereplanung, Überzeugen im Auswahlverfahren sowie Study-Life-Balance. Jetzt schnell anmelden unter:

Gesundheit in besten Händen aok-on.de/nordost/studierende

AOK Studenten-Service



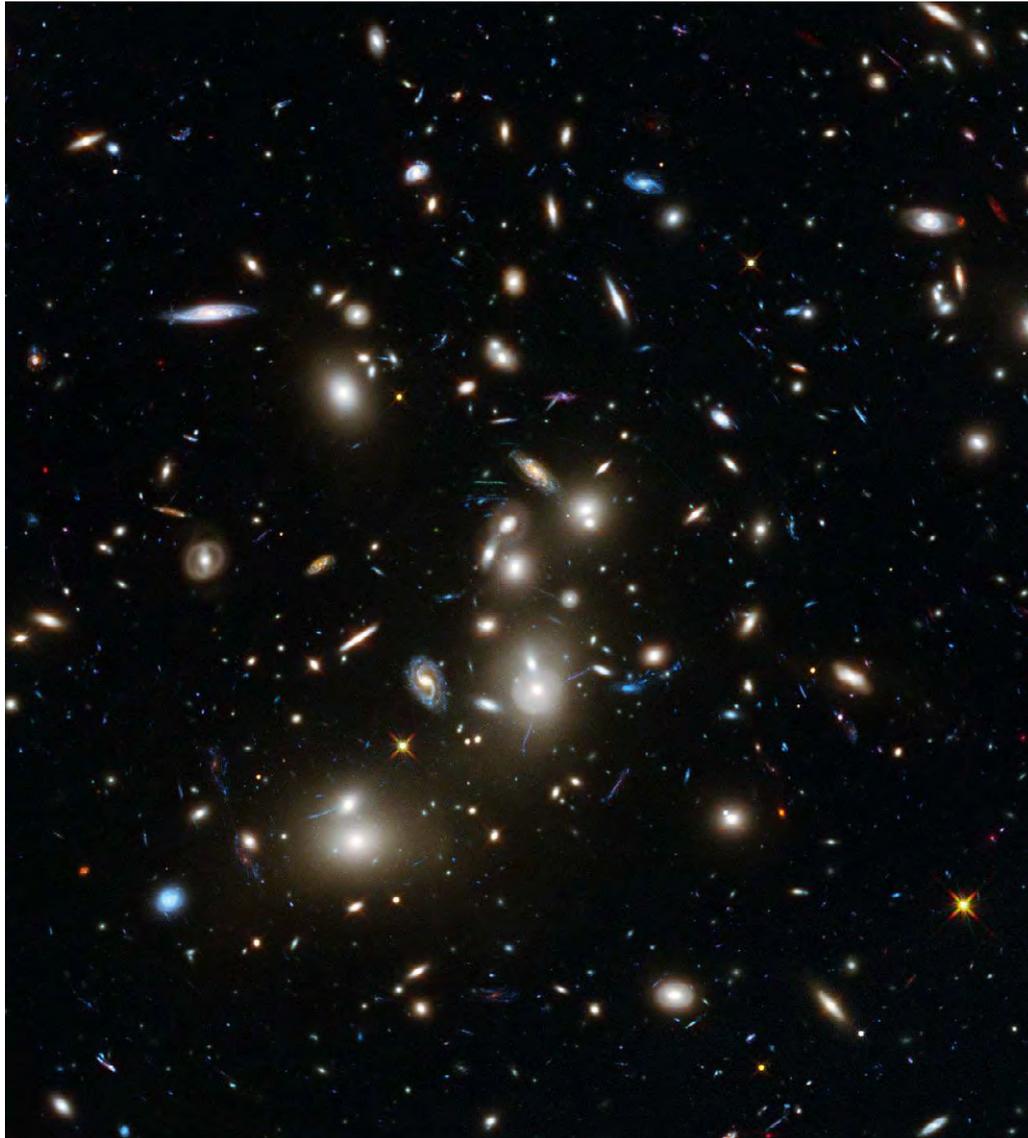


Abbildung 3.12: Der Galaxienhaufen Abell 2744.

- Elliptische Galaxien: enthalten wenig Staub und vorwiegend alte Sterne, daher ist Leben dort sehr unwahrscheinlich.



Abbildung 3.13: Ein Kugelsternhaufen enthält einige 100.000 Sterne, die sehr alt sind. Wegen der hohen Sterndichte bzw. des geringen Metallgehalts sind Planeten und damit Leben in solchen Sternhaufen sehr unwahrscheinlich.

Sterne der jüngeren Population I findet man in einer Spiralgalaxie in der galaktischen Scheibe. Unser Sonnensystem befindet sich etwas nördlich der galaktischen Ebene (galaktischer Äquator).

Sterne, die sich in der galaktischen Scheibe zu weit vom Zentrum entfernt befinden, gehören oft zur Population II, hier ist die Bildung von Planetensystemen unwahrscheinlich. Zu nahe beim galaktischen Zentrum kann es infolge der größeren Sterndichte zu nahen Vorbeigängen zwischen den Sternen kommen. Wenn Sterne, wie unser Sonnensystem, von einer Kometenwolke umhüllt sind, könnten Kometenschauer durch diese Störungen ausgelöst werden, und die in das Innere des Systems eindringenden Kometen könnten auf die sich dort befindlichen Planeten stürzen und so Leben auslöschen.

→ Deshalb gibt es nur einen bestimmten Bereich in dem sich Leben ausbilden kann. Man spricht von einer **galaktischen habitablen Zone** (Abb. 3.14):

- Innere Grenze der galaktischen habitablen Zone: hohe Sterndichte, Katastrophen (Einschläge) wahrscheinlich.

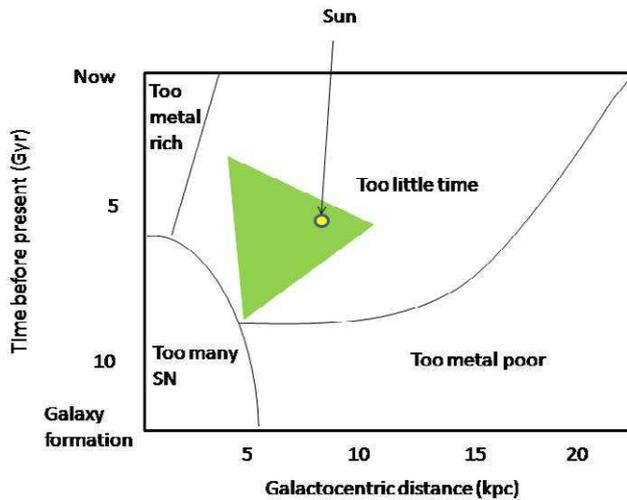


Abbildung 3.14: Die galaktische habitable Zone

- Äußere Grenze: zu wenige Metalle, Planetenbildung unwahrscheinlich.
- Durch die Entwicklung einer Galaxie wandert die galaktische habitable Zone langsam nach außen.

Gegenwärtig befindet sich die galaktische habitable Zone in einem Bereich zwischen 7-9 kpc Entfernung vom galaktischen Zentrum (Abb. 3.15). Sie dehnt sich langsam aus und besteht aus Sternen im Alter zwischen 4 und 8 Milliarden Jahren.

Etwa 75 % aller Sterne in der galaktischen habitablen Zone sind älter als die Sonne. Demnach gehören wir eher zu den jüngeren Zivilisationen in der galaktischen habitablen Zone.

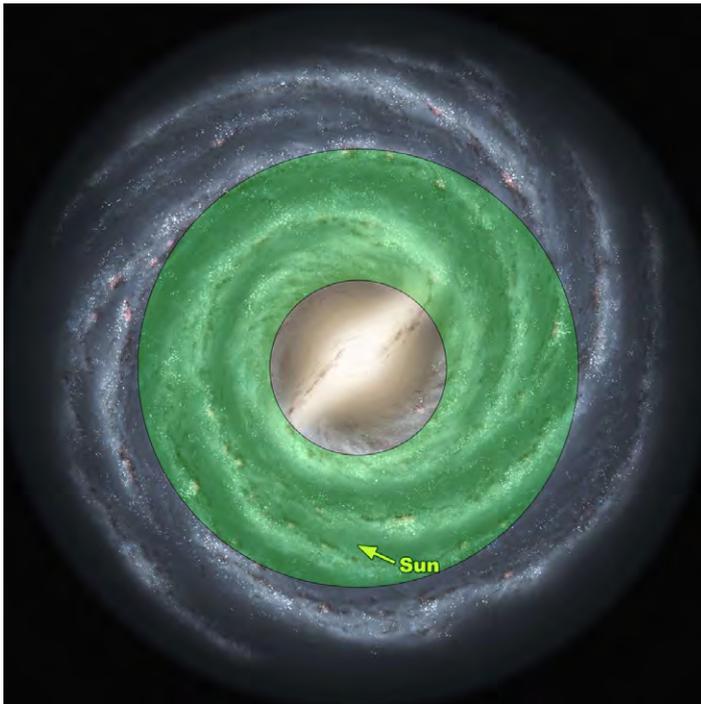


Abbildung 3.15: Die galaktische habitable Zone als grüner Bereich markiert.

Gemeinsam nachhaltig zum Erfolg.

Denn bei der REWE Group, einem der führenden Handels- und Touristikkonzerne Europas, ist Bewegung drin. Dafür sorgen unsere ca. 330.000 Mitarbeiter Tag für Tag: Sie liefern Tonnen von Waren, schicken Urlauber zu fernen Zielen oder verhandeln die günstigsten Preise. Sie halten die Welt am Laufen. Werden Sie Teil einer großen Gemeinschaft, die Großes bewirkt. Freuen Sie sich auf die Zusammenarbeit mit sympathischen Kollegen auf internationaler Ebene und erleben Sie, was Sie in unserer vielfältigen Marken- und Arbeitswelt bewegen können. Und durch individuelle Förderung bewegt sich auch Ihre Karriere, wohin immer Sie wollen.

Was bewegen Sie?

www.rewe-group.com/karriere
www.facebook.com/REWEGroupKarriere

Du bewegst.

330.000 Mitarbeiter
523 Berufe
1 Zukunft

REWE 
GROUP

REWE

nahkauf

PENNY

toom! DER BAUMARKT

BILLA

MERKUR

BIPA

DER Touristik



Kapitel 4

Die Erde als habitabler Planet

In diesem Abschnitt behandeln wir die für die Entstehung des Lebens auf der Erde wichtigen Eigenschaften dieses Planeten. Wenn man davon ausgeht, dass sich Leben nur in ähnlicher Art und Weise entwickelt, wie auf der Erde, müssen wir uns bei der Suche nach habitablen Planeten bzw. habitablen Monden von Planeten auf Objekte beschränken, die sich durch ähnliche Eigenschaften auszeichnen.

Eine ausführliche Einführung in die Meteorologie bietet [11], eine Einführung in die Geophysik findet man bei [3]. Eine englischsprachige Übersicht ist [13].

4.1 Rotation und Bahn der Erde

4.1.1 Jahreszeiten

Die Jahreszeiten auf der Erde entstehen durch die Neigung der Rotationsachse der Erde bezüglich der Senkrechten auf die Erdbahn. Dadurch erfährt eine Hemisphäre während des Sommerhalbjahres eine stärkere Einstrahlung als während des Winterhalbjahres. Gegenwärtig beträgt dieser Winkel $\epsilon = 23,5$ Grad (siehe Abb. 4.1).

- Nimmt die Neigung ϵ zu, dann nimmt der Unterschied zwischen den Jahreszeiten zu.
- Planeten mit sehr kleiner Neigung zeigen keine jahreszeitlichen Effekte (Bsp. Jupiter).

Die Erde besitzt im Vergleich zu ihrer Größe einen großen Mond. Dieser bewirkt durch seine Gravitation eine Stabilisierung der Erdachse. Ohne Mond würde die Neigung der Erdachse infolge der Störungen, die die anderen Planeten auf diese ausüben, starken Schwankungen unterliegen und die Unterschiede zwischen den

Jahreszeiten würden sehr groß werden, was zu dramatischen Klimaänderungen führen würde.

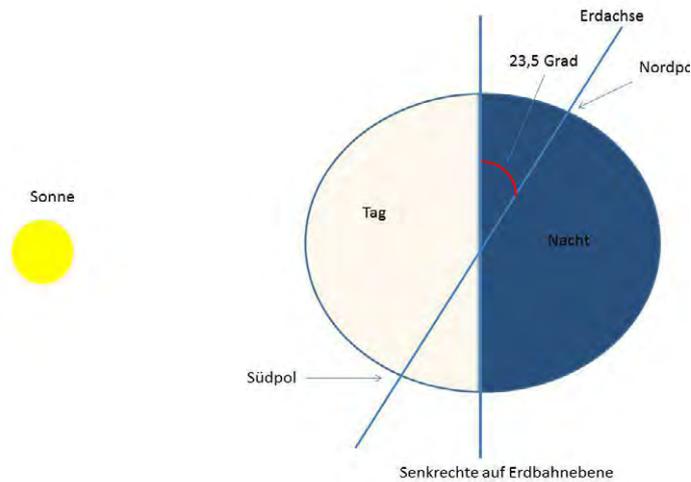


Abbildung 4.1: Die Neigung der Erdachse.

 Bundesnachrichtendienst

einzigartige **Lösungen**
einzigartiger **Auftrag**

Sie sind einzigartig? Wir auch!

einzigartige **Ideen**
einzigartige **Vielfalt**

einzigartiger **Arbeitgeber**

Wir suchen
Ingenieure/innen der Elektro- und Informationstechnik
Informatiker/innen
mit den Abschlüssen **FH/Bachelor**

Mehr Informationen zum Thema Karriere beim BND unter
www.bundesnachrichtendienst.de (Karriere)



4.1.2 Rotation der Erde

Bezüglich der Sterne beträgt die Rotationsdauer der Erde 23 Stunden und 56 Minuten. Pro Tag gehen die Sterne daher um 4 Minuten früher auf (Siderische Rotation). Durch den relativ großen Mond wird die Rotation der Erde abgebremst. Mond und Sonne bewirken die Gezeiten. Ein Flutberg wandert im Laufe eines Tages zweimal um die Erdoberfläche. Durch die 400mal größere Entfernung beträgt der Einfluss der Sonne auf die Gezeiten nur etwa die Hälfte des Mondes.

Die Gezeiten bremsen die Rotation der Erde ab, die Erde rotierte früher schneller als heute. Infolge der Erhaltung des Gesamtdrehimpulses des Systems Erde-Mond entfernt sich der Mond wegen der Abbremsung der Erdrotation jährlich um etwa 1 cm von der Erde. → Gezeiten: Abbremsung der Erdrotation bei gleichzeitiger Zunahme der Mondentfernung.

Die Gezeiten dürften eine wichtige Rolle bei der Ausbreitung des Lebens vom Wasser auf das Land gespielt haben; im Wasser lebende Organismen wurden wiederholt an Land ausgesetzt und mussten sich anpassen.

4.1.3 Präzession der Erdachse

Sonne, Mond und Planeten befinden sich nahezu in der Ekliptikebene (Erdbahnebene). Sie üben ein Drehmoment auf die dazu geneigte Erdachse aus (Abb. 4.2). Die Erdachse reagiert ähnlich wie ein angestoßener sich drehender Kreisel. Es kommt zu einer Präzessionsbewegung. Die Richtung der Erdachse ändert sich, der Winkel zur Senkrechten der Erdbahn bleibt zunächst erhalten. Ein kompletter Umlauf der Richtung der Erdachse, die einen Kegel mit einem Öffnungswinkel von $2 \times \epsilon$ beschreibt, dauert etwa 26.000 Jahre. Gegenwärtig zeigt die Erdachse in Richtung eines Sterns im Sternbild Kleiner Bär, der als Polarstern bezeichnet wird. Vor etwa 2000 Jahren diente ein anderer Stern als Polarstern.

4.1.4 Erdbahn

Die mittlere Entfernung Erde-Sonne beträgt 150 Mio km.

Die Bahn der Erde um die Sonne ist elliptisch; gegenwärtig befindet sich die Erde Anfang Januar in Sonnennähe (Perihel) und Anfang Juli in Sonnenferne (Aphel). Der Unterschied zwischen Perihel und Aphel spielt aber bei den Jahreszeiten gegenwärtig keine Rolle. Durch Störungen von anderen Planeten ändert sich die Elliptizität der Erdbahn. Bei größerer Elliptizität sind die Unterschiede zwischen Perihel und Aphel größer. Die genauen Daten, wann Perihel und Aphel im Laufe eines Jahres (Erdumlauf) erreicht werden, ändern sich durch den Einfluss von anderen Planeten. Wenn die Erdbahn stark elliptisch ist und der Perihelpunkt mit dem Sommerbeginn zusammenfällt, dann ist der Sommer auf der betreffenden Hemisphäre besonders stark ausgeprägt.

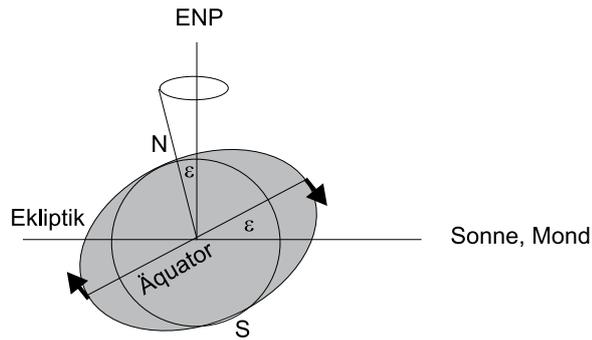


Abbildung 4.2: Präzession der Erdatmosphäre; Sonne und Mond üben auf den Äquatorwulst der Erde ein Drehmoment aus.

→ Die Erde ist zahlreichen Störungen ausgesetzt:

- Präzession der Erdatmosphäre, 26.000 Jahre,
- Änderungen der Exzentrizität der Erdbahn, Periode etwa 100.000 Jahre,
- Änderungen der Neigung der Erdatmosphäre, Periode etwa 40.000 Jahre.

Ein Zusammenfallen dieser Perioden verstärkt Klimaschwankungen und ist nach der Theorie von Milankovic (1879-1958) für die Entstehung der Eiszeiten verantwortlich.

4.2 Erdatmosphäre

4.2.1 Zusammensetzung

Die gegenwärtige Zusammensetzung der Erdatmosphäre ist in Tabelle 4.1 gegeben.

Tabelle 4.1: Gegenwärtige Zusammensetzung der Erdatmosphäre.

Molekularer Stickstoff, N ₂	78 %
Molekularer Sauerstoff O ₂	21 %
Argon, Ar	1 %
Wasserdampf (variabel)	ca. 1 %
Kohlendioxid, CO ₂	0,037 % = 370 ppm
Methan, CH ₄	0,00015 % = 1,5 ppm

Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre ist bis zu einer Höhe von etwa 100 km konstant → Homosphäre. Bei $h > 100$ km befinden sich schwerere Moleküle weiter unten, leichtere weiter oben. Der Gehalt an Wasserdampf und Ozon ist stark variabel.

Freier Sauerstoff in der Erdatmosphäre muss ständig nachgeliefert werden durch Photosynthese von Pflanzen, ansonsten würde der Sauerstoff Verbindungen mit anderen Elementen eingehen und verschwinden. Die Atmosphäre der frühen Erde enthielt praktisch keinen freien Sauerstoff.

Deshalb wurde vorgeschlagen, dass das Vorhandensein von freiem Sauerstoff in der Atmosphäre eines Planeten ein Beweis für Leben dort ist, welches Photosynthese zur Erzeugung der lebensnotwendigen Energie verwendet.

■ Biomarker: freier Sauerstoff in der Atmosphäre eines Planeten.

CAREER Venture
eine Marke von MSW & Partner

facebook.com/CareerVenture
google.com/+Career-VentureDe
twitter.com/CareerVenture

Haben Sie Potenzial?

women fall
in Kooperation mit Jobguide
30. November/01. Dezember 2015 Seeheim
Bewerbungsschluss: 01.11.2015

Auszug unserer Referenzen:

Deloitte. **DB** Mobility Networks Logistics **BOSCH** Technik fürs Leben Struktur Management Partner **TATA** TATA CONSULTANCY SERVICES

career-venture.de



4.2.2 Einteilung der Erdatmosphäre

Es gibt verschiedene Einteilungen, z.B. die schon besprochene Einteilung in Homo- und Heterosphäre. Sehr häufig teilt man die Erdatmosphäre in folgende Schichten auf:

Die Troposphäre reicht nahe des Erdäquators vom Erdboden bis in 20 km Höhe, nahe der Pole bis etwa 7 km Höhe. Sie ist der dichteste Bereich der Erdatmosphäre, etwa 75 % der Gesamtmasse ist in ihr enthalten. Hier spielt sich das Wettergeschehen ab, praktisch den gesamten Wasserdampf und die Aerosole findet man in der Troposphäre.

Die Temperatur nimmt ab von 17 Grad (Durchschnittswert) auf etwa -50 Grad.

Die Abnahme des Drucks errechnet sich aus:

$$\frac{dp}{dh} = -g\rho = -\frac{pg}{R_g T} \quad (4.1)$$

ρ ist die Dichte, h die Höhe, g die Schwerebeschleunigung, die Gaskonstante $R_g = 8,31 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ und T die Temperatur. Wenn g konstant bleibt, dann folgt die bekannte Höhenformel:

$$p(h) = p(h = 0) \exp(-gh/R_g T) \quad (4.2)$$

Infolge adiabatischer Abkühlung kommt es in der Troposphäre zu einer Temperaturabnahme um etwa 6,5 Grad pro 1000 m. In der Troposphäre gibt es konvektive Luftbewegungen. Heiße Luft steigt nach oben, dehnt sich aus und kühlt dabei ab (wegen der Arbeit die bei der Ausdehnung gegenüber der Umgebung verrichtet wird).

Auf der Erde gibt es ein globales Zirkulationsmuster. Warme, feuchte Luft steigt am Äquator nach oben bis zur Obergrenze der Troposphäre (Tropopause). Bei etwa 30 Grad geographischer Breite sinken die Luftmassen ab (Hochdruckgebiet). Es werden dabei auch die Westwinde (Trade winds) erzeugt. Dieses Zirkulationsmuster bezeichnet man als Hadley-Zelle. Bei etwa 60 Grad nördlich und südlich des Erdäquators steigt wiederum erwärmte Luft nach oben und sinkt an den Polen wieder ab (=trockene Hochdruckgebiete). Diese globale Zirkulationsmuster (Abb. 4.3) sind wichtig für das Verständnis des Erdklimas.

Oberhalb der Troposphäre reicht bis in etwa 50 Kilometer Höhe die Stratosphäre. Hier gibt es keine konvektiven Luftströmungen mehr, nur mehr horizontale Strömungen (jet streams). In der Stratosphäre nimmt die Temperatur zu infolge Absorption kurzwelliger UV-Strahlung durch die Ozonschicht.



An die Tropopause schließt dann die Mesosphäre an, die ihre Obergrenze an der Mesopause bei 80-90 km Höhe erreicht. In der Mesosphäre nimmt die

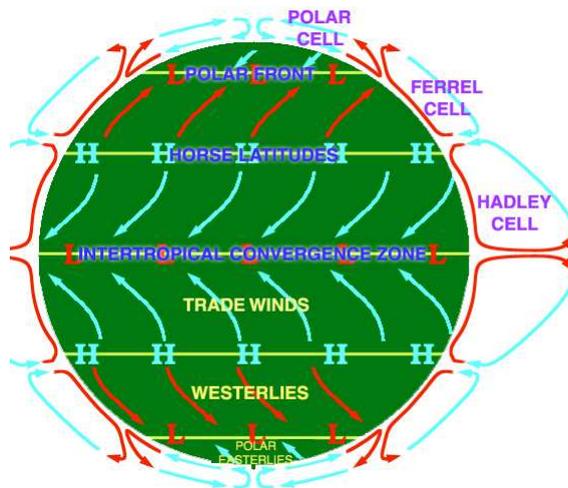


Abbildung 4.3: Globales Zirkulationsmuster der Erdatmosphäre.

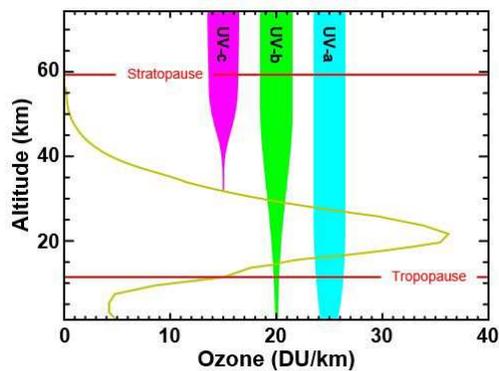


Abbildung 4.4: Eindringtiefe verschiedener Komponenten der UV-Strahlung in der Erdatmosphäre. UV-c ist die energiereichste Strahlung (kürzeste Wellenlänge). DU ist die Dobson Einheit, ein Maß für die Stärke der Ozonschicht.

Temperatur wieder ab und das Temperaturminimum an der Mesopause liegt bei -93 Grad.

Mesosphäre und Stratosphäre fasst man als mittlere Atmosphäre zusammen.

Oberhalb der Mesopause nimmt die Temperatur wieder zu. Kurzwellige UV-Strahlung wird absorbiert (Abb. 4.4) und führt zur Ionisation. Daher spricht man auch von der Ionosphäre, die bis zu 600 km hoch reicht und in der Temperaturen bis zu 1700 Grad vorkommen¹.

Die Eindringtiefe verschiedener Komponenten der Strahlung in die Erdatmosphäre ist in Abb. 4.5 gezeigt.

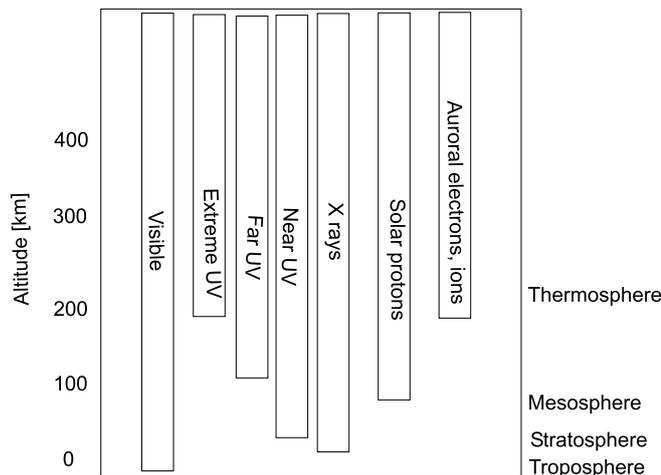


Abbildung 4.5: Eindringtiefe verschiedener Komponenten der elektromagnetischen Strahlung in die Erdatmosphäre.

4.3 Das Magnetfeld der Erde

4.3.1 Form des Magnetfeldes

Das Magnetfeld der Erde gleich aus der Nähe betrachtet einem Dipolfeld, d.h. es besitzt einen magnetischen Nord- und Südpol. Die Lage der Pole schwankt und es gab in der Vergangenheit mehrere Umpolungen. Gegenwärtig befindet sich der magnetische Nordpol auf der Südhemisphäre der Erde und der magnetische Südpol in Kanada, auf der Nordhemisphäre der Erde.

Von weiter weg betrachtet erkennt man, dass das Erdmagnetfeld auf der der Sonne zugewandten Seite durch den Sonnenwind zusammengestaucht ist (Abb. 4.6). Die Ausdehnung des Erdmagnetfeldes beträgt grob:

- auf der Seite, die zur Sonne zeigt: etwa 70.000 km (etwa 10-12 R_{Erde}). Die Grenze der Magnetosphäre bezeichnet man als Magnetopause. Sie wird

¹Temperatur bedeutet hier einfach kinetische Energie der Teilchen

durch den von der Sonne ständig ankommenden, jedoch mit der Aktivität der Sonne variablen Sonnenwind beeinflusst und die mittlere Distanz liegt bei etwa 15 Erdradien.

- auf der Nachtseite der Erde erstreckt sich das Magnetfeld der Erde zylinderförmig, die Länge beträgt etwa $200 R_{\text{Erde}}$, der Radius des Zylinders etwa $20\text{-}25 R_{\text{Erde}}$. Dies bezeichnet man als Magnetschweif, magnetotail.

Der Sonnenwind stammt aus der Korona der Sonne und besteht zu 95 % aus Protonen, 4 % aus Alphateilchen (Heliumkernen) und der Rest sind schwerere Teilchen, sowie Elektronen. Die Geschwindigkeit dieser Teilchen am Sonnenäquator beträgt 400 km/s, nahe den Polen der Sonne bis zu 800 km/s.

Die Ionendichte in Erddistanz zur Sonne liegt bei 6 pro cm^3 . Das interplanetare Magnetfeld, das dadurch verursacht wird, hat eine Stärke von 2-5 nT.



SEW-EURODRIVE—Driving the world

**SEW
EURODRIVE**

Gestalten Sie die Technologien der Zukunft!

Clevere Köpfe mit Lust auf Neues gesucht.
Wir sind einer der Innovationsführer weltweit im Bereich Antriebstechnologie und bieten Studierenden der Fachrichtungen Elektrotechnik, Maschinenbau, Mechatronik, (Wirtschafts-) Informatik oder auch Wirtschaftsingenieurwesen zahlreiche attraktive Einsatzgebiete. Sie möchten uns zeigen, was in Ihnen steckt? Dann herzlich willkommen bei SEW-EURODRIVE!

Jährlich 120 Praktika und Abschlussarbeiten

www.karriere.sew-eurodrive.de



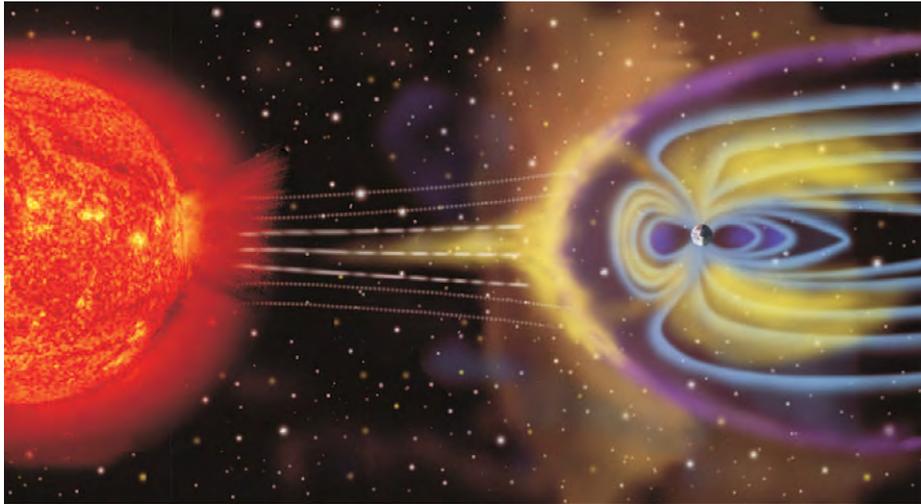


Abbildung 4.6: Das Magnetfeld der Erde wird auf der der Sonne zugewandten Seite vom Sonnenwind zusammengestaucht.

4.3.2 Entstehung und Variabilität des Erdmagnetfeldes

Das Erdmagnetfeld wird durch einen Dynamomechanismus aufrecht erhalten. Die dabei fließenden Ströme findet man im flüssigen Magma im Erdinneren.

Nur Planeten, die so aufgebaut sind, dass im Inneren Ladungen=Ströme fließen, erzeugen durch einen Dynamomechanismus ihr Magnetfeld.

Die Stärke des Dipolfeldes an der Erdoberfläche beträgt zwischen $30 - 60 \times 10^3$ nT. Die Intensität variiert proportional zu $1/r^3$.

4.3.3 Der Schutz durch das Magnetfeld

Für Astrobiologie ist das Erdmagnetfeld von sehr großer Bedeutung und es ist unsicher, ob es überhaupt möglich ist, dass sich Leben auf anderen Planeten oder Monden ohne ein Magnetfeld entwickeln konnte.

Aus der Physik weiß man, dass elektrisch geladene Teilchen je nach Ladungsvorzeichen durch Magnetfelder abgelenkt werden bzw. die Magnetfeldlinien nicht durchdringen können (Abb. 4.7).

Das Erdmagnetfeld schützt uns vor den geladenen Teilchen der Sonne.

Zur sogenannten magnetischen Rekonnexion (Abb. 4.8) kommt es, wenn die Feldlinien des interplanetaren Magnetfeldes und des Erdmagnetfeldes gegensei-

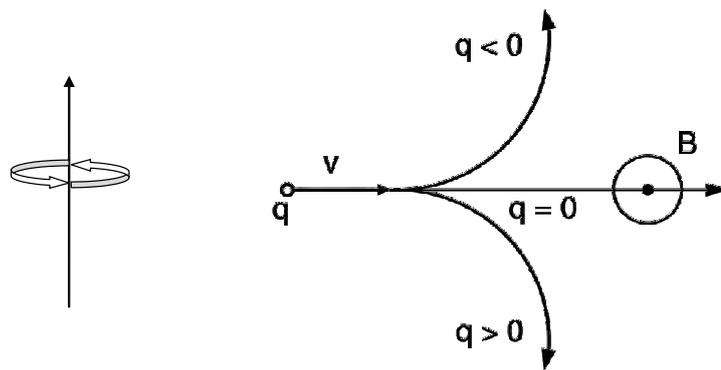


Abbildung 4.7: Links: Ein Strom geladener Teilchen erzeugt ein Magnetfeld. Rechts: Je nach Ladungsvorzeichen werden geladene Teilchen q vom Magnetfeld abgelenkt. Das Magnetfeld ragt in dieser Zeichnung aus der Buchseite nach oben. heraus

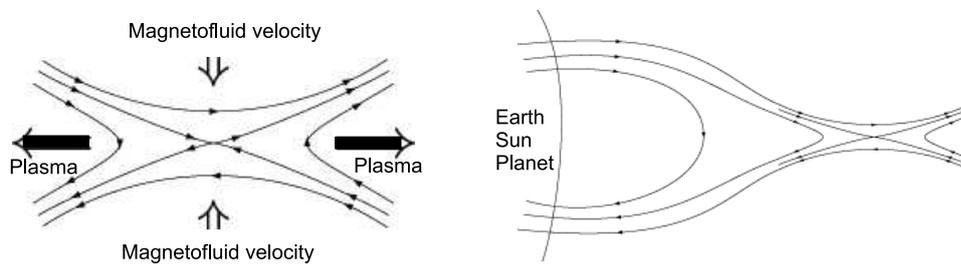


Abbildung 4.8: Prinzip der magnetischen Rekonnexion.

tig orientiert sind und sich beim Aneinandertreffen auslösen. Dann wird magnetische Energie an das Erdmagnetfeld übertragen, es entstehen magnetische Stürme. B_z sei die Nord-Süd-Komponente des interplanetaren Magnetfeldes. Wenn diese vom Betrag her groß ist und nach Süden zeigt, ist sie antiparallel zum Erdmagnetfeld. Es kommt zu einer Rekonnexion.

Rekonnexion kann aber auch im Magnetschweif der Erde stattfinden und dadurch können Teilchen in Richtung der magnetischen Pole beschleunigt werden. In einem Oval um die Magnetpole herum entstehen so beim Eindringen energiereicher Teilchen in die Erdatmosphäre die Polarlichter.

→ Ohne Magnetfeld der Erde, würde die Erdoberfläche schutzlos dem Strom der geladenen Teilchen ausgesetzt sein.

Bei bemannten Raumflügen zum Mond und weiter muss man auch die Strahlungsgürtel der Erde durchdringen, Bereiche, in denen geladene Teilchen verstärkt auftreten (Abb. 4.9). In diesen Bereichen (**Van Allen Gürtel**) sind Astronauten einer erhöhten Strahlungsbelastung ausgesetzt. Der innere Gürtel befindet sich in einem Bereich um $1,5 R_{\text{Erde}}$ und enthält Protonen mit Energien zwischen 10 und 100 MeV. Der äußere Gürtel liegt zwischen 2,5 und 8 Erdradien. Der Bereich hoher Energien heißt äußerer Gürtel ($E > 1 \text{ MeV}$), der Bereich geringer Energien ($E \sim > 65 \text{ keV}$) heißt auch Ringplasma. Der äußere und innere Bereich sind stark durch durchdringende elektrische Felder gestört.



> **Apply now**

REDEFINE YOUR FUTURE
**AXA GLOBAL GRADUATE
PROGRAM 2015**

redefining / standards 

agence edg © Photonistop



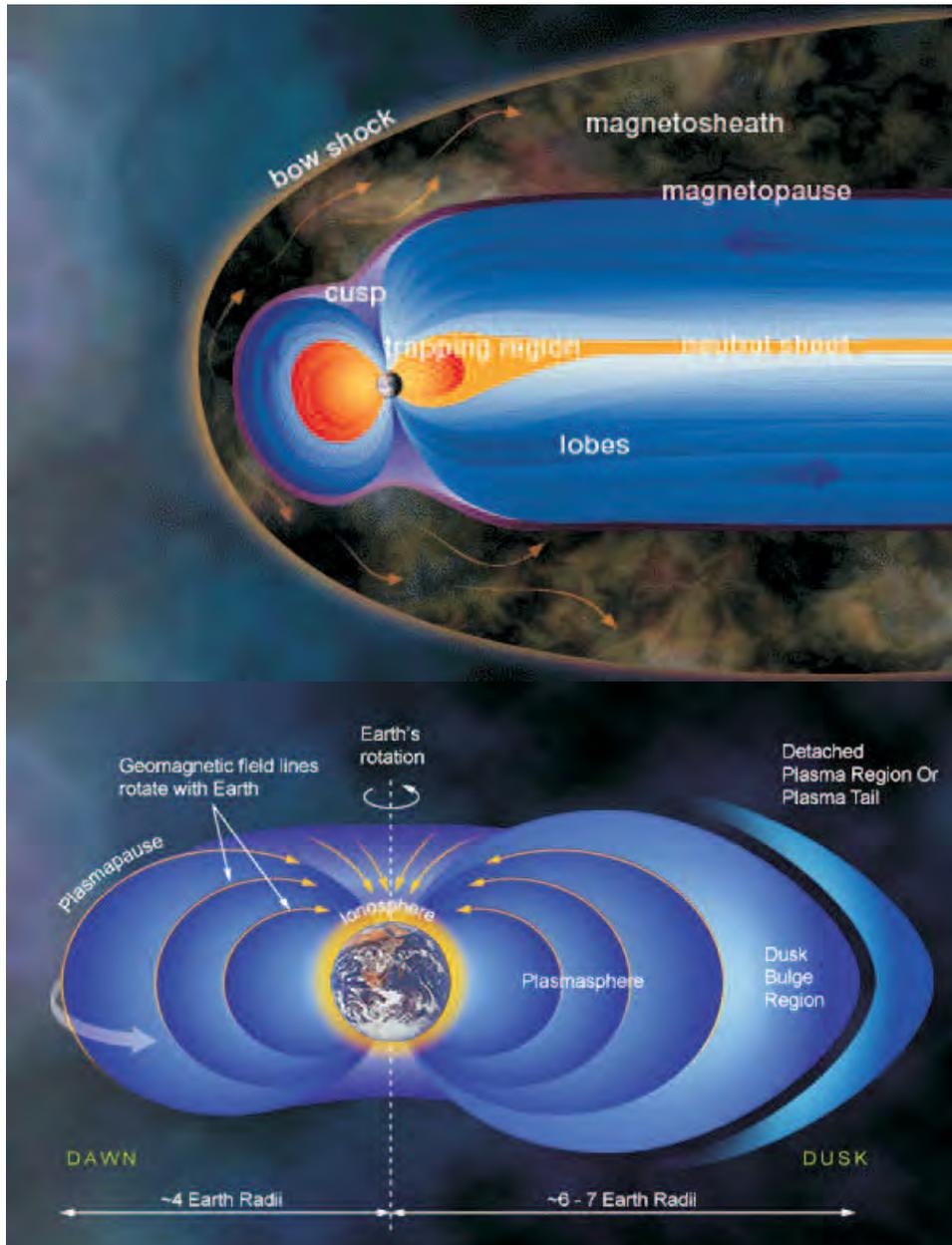


Abbildung 4.9: Das Magnetfeld der Erde (oben) und die Strahlungsgürtel um die Erde (unten).

4.3.4 Variationen der Magnetosphäre

Die Magnetosphäre ist nicht konstant. Die Orientierung des Erdmagnetfeldes kann sich ändern. Man kann das Magnetfeld der Vergangenheit durch ferromagnetische Materialien rekonstruieren, die sich verfestigten bzw. sedimentierten → eingefrorenes Magnetfeld.

Die Richtung des Erdmagnetfeldes kehrt sich in unregelmäßigen Intervallen um (Bereich $10^4 \dots 10^6$ Jahre). Die mittlere Periode dieser Umpolungen liegt bei 250.000 Jahren. Die letzte Umkehrung ereignet sich vor 780.000 Jahren (Brunhes Matuyama-Umkehrung).

→ Während der Umpolungen des Magnetfeldes ist der Schutz auf der Erdoberfläche vor den geladenen Teilchen geringer aber anstatt eines Dipolfeldes beobachtet man dann mehrere Magnetpole. Kleinere Zu- bzw. Abnahmen bezeichnet man als geomagnetische Abweichungen und diese führen nicht zu einer Polumkehr. Gegenwärtig kommt es zu einer Abnahme der mittleren Feldstärke. Seit den ersten Messungen von C. F. Gauß (um 1845) hat die Stärke um etwa 10 % abgenommen.

Über dem Südatlantik gibt es eine Anomalie geringer Feldstärke, hervorgerufen durch die Neigung der Magnetfeldachse zur Rotationsachse der Erde.



» Ich habe den Weg zur KfW-Förderung verkürzt: von drei Wochen auf fünf Minuten.

Wir suchen kluge Köpfe, die nachhaltig etwas bewegen und verändern wollen. So wie Kerstin Kronenberger: Als IT-Projektmanagerin bei der KfW hat sie in einem interdisziplinären Team erreicht, dass Bauherren schon während des Beratungsgesprächs erfahren, ob die Wäremdämmung ihres Eigenheims gefördert werden kann. Damit leistet sie täglich einen innovativen Beitrag für mehr Kundennähe und den Klimaschutz. Und wann fangen Sie an?

Jetzt informieren auf www.kfw.de/karriere

Bank aus Verantwortung **KfW**



4.3.5 Einfluss des Erdmagnetfeldes auf die Evolution

Im Verlaufe der Erdgeschichte gab es Zeitabschnitte innerhalb derer ein Großteil des Lebens ausgestorben ist, sogenannte Massensterben (mass extinction). Während dieser Phasen findet man eine stark erhöhte Zunahme der magnetischen Umpolungen mit einer Periode von 30 Mio. Jahren. Vor 10, 40 und 70 Mio. Jahren gab es solche Phasen erhöhter magnetischer Umpolungen. Es lässt sich jedoch keine eindeutige Korrelationen zwischen diesen Umpolungen und den Massensterben herstellen, das letzte große Massensterben auf der Erde gab es vor etwa 65 Mio. Jahren (Aussterben der Saurier bzw. etwa 80 % aller Arten). Dieses K-T-Ereignis² wird aber auf den Einschlag eines Asteroiden zurückgeführt.

4.4 Evolution des Lebens auf der Erde

4.4.1 Die kambrische Explosion

Zu Beginn des Kambriums, vor etwa 543 Mio. Jahren, entwickelten sich innerhalb von nur 5 bis 10 Mio. Jahren fast alle Vorgänger aller heute bekannten Tier- und Pflanzenstämme. Erstmals treten Tiere auf, die harte Schalen oder ein Skelett besitzen.

Die Ursachen für die kambrische Explosion könnten sein:

- biologisches Wettrüsten. Tiere mit Schalen bzw. Skeletten hätten Vorteile gegenüber anderen, sie können sich schneller fortbewegen und sind besser vor Räuber geschützt.
- abiotische Bedingungen: hier gibt es viele Theorien. Bsp.: vor der kambrischen Explosion war der Sauerstoffgehalt des Meeres zu gering; andere Meerestemperaturen, anderer Salzgehalt usw.

Das Time Magazin schreibt auch vom Big Bang des Lebens auf der Erde.

Sehr viele Fossilien aus dieser Zeit findet man im kanadischen Burgess-Schiefer (Abb. 4.10).

In Abbildung 4.11 ist die Entwicklung des Lebens auf der Erde seit der kambrischen Explosion vor etwa 540 Mio. Jahren dargestellt.

4.4.2 Leben vor dem Kambrium

Das Ediacarium dauerte von 635-541 Mio. Jahren vor heute. Die damals lebenden Organismen besaßen keine Hartteile bis auf wenige Ausnahmen. Deshalb findet man heute nur mehr selten Fossilien aus dieser Zeit. Die ersten Organismen mit Hartteilen erschienen erst etwa vor 550 Mio. Jahren. Die meisten Vertreter der Diacar-Fauna starben zu Beginn des Kambriums aus.

Vor dem Ediacarium gab es das Cyrogenium (850-635 Mio. Jahre vor heute). In dieser Periode war ein Großteil der Erde vereist (Sturtische und Marinoische

²Kreide-Tertiär-Grenze



Abbildung 4.10: Burgess-Schiefer in Kanada, wo besonders viele Fossilien aus der Zeit der kambrischen Explosion gefunden werden.

Karriere als IT-Experte. Hier ist Ihre Chance.

Karriere gestalten als Praktikant, Trainee m/w oder per Direkteinstieg.

Ohne Jungheinrich bliebe Ihr Einkaufswagen vermutlich leer. Und nicht nur der. Täglich bewegen unsere Geräte Millionen von Waren in Logistikzentren auf der ganzen Welt.

Unter den Flurförderzeugherstellern zählen wir zu den Top 3 weltweit, sind in über 30 Ländern mit Direktvertrieb vertreten – und sehr neugierig auf Ihre Bewerbung.



www.jungheinrich.de/karriere

JUNGHEINRICH
Machines. Ideas. Solutions.



History of the Earth			
Praecambrian	570 Mill. BP	One celled organisms, prokaryotes	
Paleozoic	570-240 Mill. BP		
	570-500	Cambrian	Multicellular life
	500-435	Ordovician	Primitive life on land, vertebrates in ocean
	435-410	Silurian	First plants, insects on land
	410-360	Devonian	Spiders, mites, amphibians
	360-290	Carboniferous	First true reptiles, coals begin to form
	290-240	Permian	Mysterious mass extinction of life; 90 % of all organisms die out; reptiles inherit Earth
Mesozoic	240-65 Mill. BP		
	240-205	Triassic	Small dinosaurs, ichtyosaurs, first true mammals
	205-138	Jurassic	Huge dinosaurs, flying pterosaurs, oldest known birds
	138-65	Cretaceous	Global warming, spread of dinosaurs. At the end sudden mass extinction (asteroid impact), 70 % of all organisms died
Cenozoic	65 Mill. BP - present		
	65-1.6	Tertiary	
		65-55	Paleocene
		55-38	Eocene
			Mammals inherit Earth
			Ancestral forms of horses, rhinoceros, camel and others like bats, primates. Mammals adapt to marine life.
		38-24	Oligocene
			Elephants, cats, dogs, monkeys
		24-5	Miocene
			Global climate cools; establishment of the Antarctic ice sheet; large apes in Africa and southern Europe
		5-1.6	Pliocene
			Climate becomes cooler and drier. Mammals dominant life form; ancestors of modern humans.
	1.6-present	Quaternary	
		1.6 Mill-10000 y	Pleistocene
			Most recent global ice age; glacier ice spreads out over more than 25 % of Earth's land surface; modern humans arise
		10000 y-present	Holocene
			Global climate moderates; ice sheet retreat from Europe and North America; rise of sea levels

Abbildung 4.11: Entwicklung des Lebens auf der Erde seit der kambrischen Explosion.

Eiszeit), allerdings wahrscheinlich nicht vollständig zugefroren. Grund für diese Vereisung war das Auseinanderbrechen des Superkontinents Rodinia (Abb. 4.12). Es gab verstärkt Niederschläge, das in der Luft befindliche Kohlendioxid wurde ausgewaschen und chemisch im Erdboden gebunden. Somit reduzierte sich der natürliche Treibhauseffekt der Erde.

Die Antwort ist 42.
Oder Baden-Württemberg.



BW-jetzt.de



facebook.com/BWjetzt



@BWjetzt



Baden-Württemberg

Wir können alles. Außer Hochdeutsch.



Man findet drei sehr große Vereisungsperioden der Erde (snowball Earth):

- Sturtische Eiszeit: 715-680 Mio. Jahre vor heute;
- Marinoische Eiszeit: 660-635 Mio. Jahre vor heute;
- Huronische Eiszeit: vor etwa 2,3 bis 2,2 Mrd. Jahren vor heute.

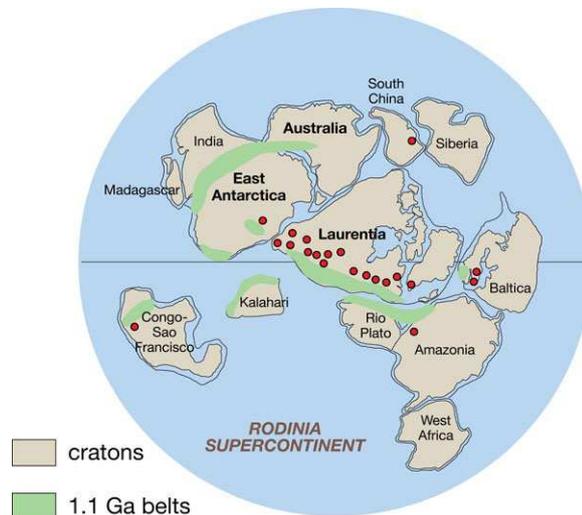


Abbildung 4.12: Der Superkontinent Rodinia. Kratone sind alte stabile sich kaum verändernde Teile der Lithosphäre.

Durch die Plattentektonik kam es aber später wieder zu einer verstärkten Vulkantätigkeit auf der Erde. Kohlendioxid wurde freigesetzt und so der natürliche Treibhauseffekt verstärkt, Ende der Eiszeiten.

→ Auf der Erde hatte die Plattentektonik einen wesentlichen Einfluss auf das Klima und somit auf die Entwicklung des Lebens. Es könnte sein, dass Planeten ohne Plattentektonik kein Leben, zumindest kein höher entwickeltes haben.

Die Rolle der Plattentektonik für die Entstehung des Lebens auf der Erde:

- Stabilisierung des Klimas,
- Veränderung der Meeresströmungen,
- Subduktion: eine Platte taucht unter eine andere,
- Bindung und Freigabe von Kohlendioxid.

Damit Plattentektonik funktioniert, muss radiogene Wärme zur Verfügung stehen, die sich aus dem radioaktiven Zerfall abschätzen lässt:

$$F_{rg} = R\rho \exp(-\lambda t) \quad (4.5)$$

$\lambda = 1,5 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ist die Zerfallskonstante für ^{238}U . R ist der Radius und ρ die Dichte.

Wegen seiner geringen Masse und Dichte wurde Mars vor etwa 2 Mrd. Jahren tektonisch inaktiv. Damit ein Planet über einen sehr langen Zeitraum hinweg tektonisch aktiv bleibt, muss seine Masse etwa 0,23 Erdmassen betragen.

MASTER OF SCIENCE IN MANAGEMENT

BUSINESS GAME

23 & 24 May 2014

- Work on a business case
- Interact with students & alumni
- Stay a night at our campus

www.nyenrode.nl/businessgame

BEST MASTER

NYENRODE
BUSINESS UNIVERSITEIT

The Master of Science in Management has been voted the Best Master 2014 in the Netherlands for the fifth time running. This could only be achieved because of our remarkable students. Our students distinguish themselves by having the courage to take on challenges and through the development of the leadership, entrepreneurship and stewardship skills. This makes the

Master program at Nyenrode an achievement, from which you can benefit for the rest of your life. During this program you will not only learn in class, you will also develop your soft skills by living on campus and by working together in the student association. Do you think this program is something for you? Then it is our pleasure to invite you to Nyenrode. Go to www.nyenrode.nl/msc or call +31 346 291 291.

NYENRODE. A REWARD FOR LIFE



Kapitel 5

Sterne als Energiequellen für Leben

Leben benötigt Energie. Diese Energie kommt von den Sternen, ohne ihren Mutterstern wären Planeten gefrorene Himmelskörper, auf denen sich kein Leben entwickeln kann.

5.1 Eigenschaften der Sterne

Wir haben bereits den Begriff „habitable Zone“ um einen Stern herum kennengelernt. Als habitabel wollen wir einen hypothetischen Planeten in einer bestimmten Entfernung von einem Stern dann einstufen, wenn auf seiner Oberfläche die Bedingungen derartig sind, dass Wasser in flüssiger Form möglich ist. Eine Einführung in die Astrophysik ist das Buch [10]. Ein englischsprachige Einführung ist [20]. Die astrophysikalischen Bedingungen für planetare Habitabilität sind in [8] diskutiert.

5.1.1 Einteilung der Sterne, Hertzsprung-Russell-Diagramm

Im Hertzsprung-Russell-Diagramm, HRD trägt man die Temperatur der Sterne gegen ihre tatsächliche Leuchtkraft L auf und es zeigt sich:

- Die Sterne befinden sich nicht an beliebigen Punkten im HRD (Abb. 5.1),
- die Mehrzahl der Sterne (etwa 80 %) befindet sich auf einer Diagonalen. Diese wird auch als Hauptreihe bezeichnet, main sequence.
- Einige Sterne befinden sich rechts oberhalb der Hauptreihe. Da diese Sterne bei der selben Temperatur wie Hauptreihensterne wesentlich höhere Leuchtkräfte zeigen, müssen sie gemäß der Beziehung

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (5.1)$$

(L ist die Leuchtkraft, R der Radius und T die Temperatur eines Sterns) eine größere Oberfläche besitzen, es handelt sich um Riesensterne.

- Links unten im HRD findet man sehr heiße aber leuchtschwache Sterne; diese müssen also sehr klein sein, man nennt sie weiße Zwerge.

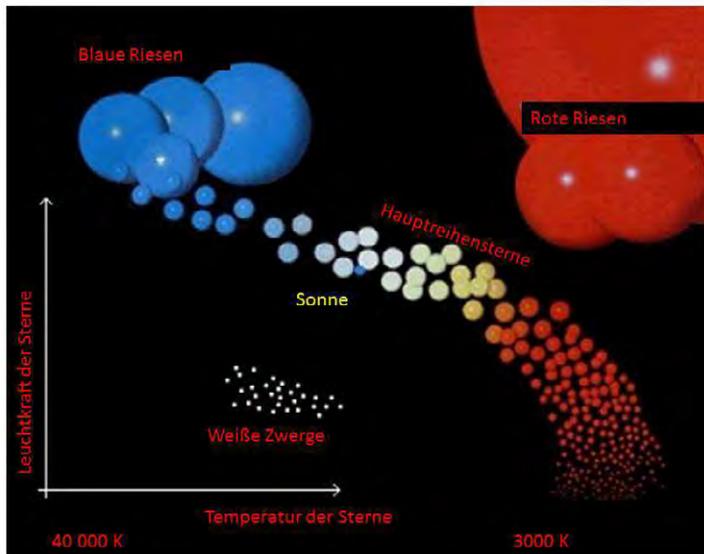


Abbildung 5.1: Das Hertzsprung-Russell-Diagramm.

Think Umeå. Get a Master's degree!

- modern campus • world class research • international atmosphere
- 36 000 students • top class teachers • no tuition fees

Master's programmes:

- Architecture • Industrial Design • Science • Engineering

Umeå University
Sweden
www.umu.se

APPLY NOW!



Man teilt die Sterne auch in Spektralklassen ein (die ihrerseits noch dezimal unterteilt werden). Der Zusammenhang Spektralklassen-Temperatur ist in Tabelle 5.1 gegeben.

Tabelle 5.1: Zusammenhang Spektralklasse und Temperatur der Sterne.

Spektraltyp	O	B0	A0	F0	G0	K0	M0
T [K]	50.000	25.000	11.000	7.600	6.000	5.100	3.600

Man spricht von:

- Frühen Sternen: O, B, A
- Späten Sternen: K, M
- Sonnenähnlichen Sternen: G

Diese Bezeichnung hat nichts mit der Entwicklung der Sterne selbst zu tun.

Neben dem Spektraltyp werden Sterne noch nach Leuchtkraftklassen eingeteilt.

I steht für Überriesen, II für helle Riesen, III für normale Riesen, IV für Unterriesen und V für Hauptreihensterne.

Unsere Sonne hat den Spektraltyp G2 V.

Spektraltyp und Leuchtkraftklasse legen Sterne eindeutig im HRD fest.

5.1.2 Faktoren, die die zirkumstellare habitable Zone beeinflussen

Welche Faktoren bzw. physikalischen Parameter beeinflussen eine zirkumstellare habitable Zone?

1. Alter der Sterne: junge Sterne sind meist wesentlich aktiver als ältere. Hat sich Leben in einer zirkumstellaren habitable Zone um einen jungen Stern entwickelt, so könnte dieses durch große Aktivitätsausbrüche des Sterns wieder ausgelöscht werden.
2. Masse der Sterne: Die Masse eines Sterns bestimmt seine Lebensdauer auf der Hauptreihe (siehe unten). Sterne auf der Hauptreihe im Hertzsprung-Russell-Diagramm sind relativ stabil und je länger diese Phase in der Sternentwicklung dauert, desto größer ist die Chance, dass sich in der zirkumstellaren habitablen Zone Leben entwickelt und diese Entwicklung auch zu höheren Lebensformen geht.
3. Temperatur der Sterne: je heißer die Sterne, desto massereicher und desto kürzer ihre Lebensdauer. Für heißere Sterne sinkt damit die Chance für die Entstehung des Lebens.

4. Chemische Zusammensetzung der Sterne: diese spielt keine große Rolle, da sie für nahezu alle Sterne dieselbe ist.
5. Magnetfeld der Sterne: dieses bestimmt die Aktivität der Sterne; es bildet auch einen Schutz der nahen Planeten um die Sterne vor der eintreffenden energiereichen kosmischen Strahlung.
6. Rotation der Sterne: Sterne, die schnell rotieren, haben eine größere Aktivität als Sterne, die langsam rotieren.

5.1.3 Die Lebensdauer der Sterne

Lebensdauer und Entwicklung der Sterne hängen von einer einzigen Größe ab: der Sternmasse. Je größer die Masse, desto größer die Leuchtkraft; für Sterne der Hauptreihe gilt die empirische Masse-Leuchtkraft-Beziehung:

$$L \sim M^{3,5} \quad (5.2)$$

Sterne hoher Leuchtkraft verbrauchen mehr Energie und haben deshalb eine kürzere Lebenszeit. Generell kann man sagen, dass Sterne die meiste Lebensdauer auf der Hauptreihe verbringen.

Die Hauptreihen-Lebenszeit eines Sternes beträgt:

$$\frac{t_*}{t_\odot} = \frac{M_*}{M_\odot} \frac{L_*}{L_\odot} = \left(\frac{M_*}{M_\odot} \right)^{-2,3} \quad (5.3)$$

Diese Formel kann man auch schreiben als:

$$\tau_* \sim 10^{10} \left(\frac{M_\odot}{M_*} \right)^{2,5} \quad [\text{a}] \quad (5.4)$$

Die Hauptreihenlebensdauer ergibt sich in Jahren, a.

Die Masse eines Sterns bestimmt dessen Lebensdauer und hat wesentlichen Einfluss auf die Entstehung des Lebens in einer habitablen Zone um den Stern.

In Tabelle 5.2 sind die habitablen Zonen *HZ* mit deren Ausdehnung in astronomischen Einheiten, die Häufigkeit der Sterne, die Lebensdauer auf der Hauptreihe sowie deren effektive Temperatur je nach Spektraltyp gegeben.

Man erkennt aus der Tabelle, dass Sterne vom Spektraltyp unserer Sonne, G2 V mit einer Häufigkeit von weniger als 10 % vorkommen. Bei sehr heißen Sternen liegt die habitable Zone viel weiter entfernt vom Stern als bei kühlen Sternen.

Habitable Zonen um

- F-Sterne sind ausgedehnter und weiter vom Stern entfernt als im Falle des Sonnensystems.
- K- und M-Sterne sind näher am Stern und schmaler.

Tabelle 5.2: Effektive Temperatur, Lebensdauer auf der Hauptreihe, Häufigkeit und zentrale Lage der habitablen Zone für Sterne unterschiedlichen Spektraltyps

Spektralklasse	T	Lebensdauer (a)	Häufigkeit (%)	HZ (AE)
O6V	41.000	10^6	4×10^{-5}	450-900
B5V	15.400	8×10^7	0,1	20-40
A5V	8200	10^9	0,7	2,6-5,2
F5V	6400	4×10^9	4	1,3-2,5
G5V	5800	2×10^{10}	9	0,7-1,4
K5V	4400	7×10^{10}	14	0,3-0,5
M5V	3200	3×10^{11}	72	0,07-0,15

5.2 Aufbau und Nukleosynthese der Sterne

In den Kernregionen der Sterne finden thermonukleare Reaktionen statt. Alle Elemente schwerer als Helium mussten im Inneren der Sterne durch Kernfusion erzeugt und später bei der Explosion oder dem Abstoßen von Schichten des Sternes freigesetzt werden.

Capgemini
CONSULTING. TECHNOLOGY. OUTSOURCING

INTERNATIONAL BUSINESS INTELLIGENCE
SOFTWARE ENGINEERING
NETWORK COMMUNICATION LIFECYCLE
FORMATIVE BUSINESS TRAINING
MENTOR

Jetzt **bewerben** und jederzeit einsteigen!

FastTrack
IT-Einsteigerprogramm für Bachelor- und Masterabsolventen

Durchstarten in Ihre IT-Karriere

Unser 18-monatiges Programm bildet die perfekte Grundlage für Ihren beruflichen Erfolg: Arbeit in Top-Projekten, Ausbildung in fachlichen und Soft-Skill-Trainings, Betreuung durch einen persönlichen Mentor und Austausch mit Kollegen aus aller Welt. Ihren Schwerpunkt wählen Sie selbst:

- **Business Technology Consulting**
- **Individuelle Softwarelösungen**
- **Lösungen auf Basis von Standardsoftware**
- **Business Information Management**
- **Application Lifecycle Services**

Mehr Informationen auf www.capgemini.de/karriere

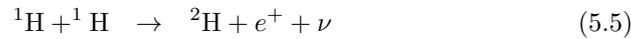
f XING

People matter, results count.



5.2.1 Wasserstoffbrennen

Bei der Wasserstoff-Kernfusion entstehen aus Wasserstoffatomen Heliumatome. Die beiden Grundreaktionen des pp-Zyklus lauten:



Von hier an gibt es Verzweigungen:

- pp1:



- weiters:

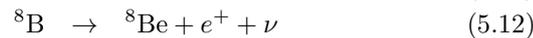


und von hier aus die Verzweigungen:

- pp2:



- pp3:



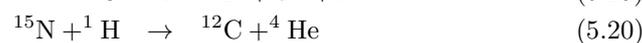
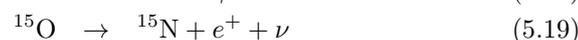
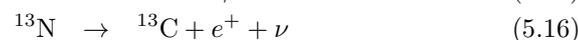
Die Energieproduktionsrate ϵ ist gegeben durch:

$$\epsilon \sim \rho T^5 \quad (5.14)$$

Das Wasserstoffbrennen dominiert bei Temperaturen zwischen 5 und 15×10^6 K im Kern von Sternen. Das sind massearme Sterne mit Massen $M \leq M_{\odot}$.

5.2.2 CNO-Zyklus

Hier dient der Kohlenstoff als Katalysator. CNO-Zyklus wird bei heißeren Sternen wichtig. Man hat folgende 6 Reaktionsstufen:

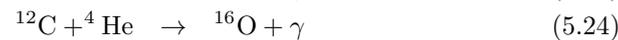


Hier ist die Energieproduktionsrate bereits noch stärker von der Temperatur abhängig:

$$\epsilon_{\text{CNO}} \sim \rho T^{12 \dots 18} \quad (5.21)$$

5.2.3 Heliumbrennen

Sobald im Zentralgebiet des Sterns der gesamte Wasserstoff zu Helium fusioniert ist, erlöschen die thermonuklearen Reaktionen. Die Temperatur ist noch zu gering für die Zündung weiterer Reaktionen. Erst wenn sie auf 10^8 K durch Kontraktion gestiegen ist (vgl. Virialsatz), setzt das Heliumbrennen ein:



Bei der ersten Reaktion entsteht ein ${}^8\text{Be}$ -Kern, der instabil ist, und nach 10^{-16} s zerfällt. Nur wenn er innerhalb dieser kurzen Lebenszeit mit einem dritten ${}^4\text{He}$ -Kern reagiert, kommt es zum Aufbau eines stabilen ${}^{12}\text{C}$ -Kerns. Dazu sind hohe Dichten notwendig. Einige ${}^{16}\text{O}$ -Kerne reagieren noch mit ${}^4\text{He}$ und bilden ${}^{20}\text{Ne}$.

Die Energieproduktionsrate beträgt:

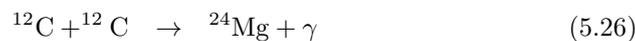
$$\epsilon_{\text{He}} \sim \rho^2 T^\nu \quad (5.25)$$

mit $\nu = 20 \dots 30$.

→ Die Energieproduktionsrate beim He-Brennen ist wesentlich stärker von der Temperatur abhängig, als beim Wasserstoffbrennen.

5.2.4 Kohlenstoffbrennen

Sobald He verbrannt ist, und die Temperatur genügend hoch ist, setzen bei $5 \times 10^8 \dots 10^9$ K folgende Reaktionen ein:



Wir haben somit bei diesen Temperaturen Elemente bis Magnesium erzeugt.

5.2.5 Siliziumbrennen

Ab $T \sim 2 \times 10^9$ K kommt es zu vielen Reaktionen, wobei die wichtigste der Aufbau von Eisen ist



Damit sind wir am Ende der Kernfusionskette angelangt. Weitere Fusionen setzen keine Energie mehr frei, sondern verbrauchen sie.

Durch thermonukleare Fusionen im Inneren der Sterne entstanden alle Elemente bis zum Eisen, also auch die für das Leben so wichtigen Elemente Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff.

5.3 Entstehung und Entwicklung der Sterne

Da die Sterne die Hauptenergielieferanten für Planeten sind, ist ihre Entwicklung für die zirkumstellare habitable Zone von zentraler Bedeutung.

Im Prinzip gibt es die folgenden Stufen in der Sternentwicklung:

- Protostern,
- Vorhauptreihenentwicklung,
- Hauptreihe,
- Nach-Hauptreihendasein.

Deutsche Bank
db.com/careers

Können Banktechnologien die Welt verändern?

Ein wacher Verstand weiß, dass dies längst Alltag ist

Ihr Weg zu Group Technology & Operations (GTO)

Technologie ist der Motor der Finanzindustrie. Sie ermöglicht Geschäfte über Zeitzonen hinweg, liefert wichtige Entscheidungshilfen und schafft die Verbindung zu anderen Banken und unseren Kunden. Ohne Technologie – und damit bald ohne Sie – wäre die Welt eine andere. Ob als Praktikant oder Trainee: Sie erschließen mit uns neue technische Einsatzfelder, lösen komplexe Aufgaben und überschreiten die Grenzen des technisch Möglichen: ob Sie Ihre Zukunft in der Entwicklung, Analyse oder im Management sehen.

Entdecken Sie den Unterschied auf db.com/careers/jobs

Leistung aus Leidenschaft



5.3.1 Sternentstehung

Sterne entstehen durch Kontraktion aus interstellaren Wolken, die aus Gas und Staub bestehen. Die bei der Kontraktion frei werdende potentielle Energie wird zur Hälfte in thermische Energie umgewandelt, erwärmt also den Stern, und zur anderen Hälfte abgestrahlt (Virialsatz).

Betrachten wir den Kollaps einer derartigen Gaswolke. Die Masse der Wolke sei M , der Radius R , die Gesamtanzahl der Teilchen N , die mittlere Teilchenmasse \bar{m} und die Temperatur T .

Die potentielle Gravitationsenergie beträgt somit:

$$U = -const \frac{GMN\bar{m}}{R} \quad (5.31)$$

Der Wert der Konstanten hängt von der inneren Materieverteilung in der Wolke ab.

Die kinetische Energie beträgt:

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2}NkT \quad (5.32)$$

Die Wolke wird dann kontrahieren, wenn

$$|U| > E_{\text{kin}} \quad (5.33)$$

Dies nennt man das *Jeans-Kriterium*. Die Jeans-Masse beträgt:

$$M_J = \frac{kT}{G\bar{m}}R \quad (5.34)$$

und die Jeans Dichte:

$$\rho_J = \frac{1}{\pi M^2} \left[\frac{kT}{G\bar{m}} \right]^3 \quad (5.35)$$

Typische Werte: $M = 2 \times 10^{34}$ kg, also 10 000 Sonnenmassen, $T \sim 30$ K, $\rho_J = 10^{-23}$ kg/m³. Es können also nur große Massen gravitationsinstabil werden. Die freie Fallzeit gibt an, wie lange es dauert bis eine Gashölle, die sich nicht im hydrostatischen Gleichgewicht befindet, kollabiert.

Nehmen wir an, dass $\Delta E_{\text{kin}} = \Delta U$ (Virialsatz) und

$$1/2(dr/dt)^2 = Gm_0/r - Gm_0/r_0,$$

dann finden wir für die *freie Fallzeit*:

$$\begin{aligned} t_{\text{ff}} &= \int_{r_0}^0 (dt/dr) dr = - \int_{r_0}^0 \frac{dr}{\sqrt{Gm_0/r - Gm_0/r_0}} \\ x &= r/r_0 \\ t_{\text{ff}} &= [r_0^3/(2Gm_0)]^{1/2} \int_0^1 [x/(1-x)]^{1/2} dx \\ x &= \sin^2 \Theta \\ t_{\text{ff}} &= \sqrt{\frac{3\pi}{32G\rho}} \end{aligned} \quad (5.36)$$

Bsp.: Berechne die freie Fallzeit für obige Wolke mit $R = 10^{15}$ m zu einem Radius mit $R = 10^{11}$ m. Lsg.: 20.000 Jahre.

Bevor im Inneren eines Sterns die Temperatur groß genug ist, um Kernreaktionen zu zünden, spricht man von einem *Protostern* oder auch der Vorhauptreihenentwicklung.

Die Entwicklungswege für Protosterne im HRD hängen von deren Masse ab. Man hat 4 Stufen:

1. Kollaps im freien Fall – die Teilchen kollidieren nicht miteinander während des freien Falls, der innere Druck ist gleich Null.
2. Die Kernregionen kollabieren rascher als die äußeren Teile.
3. Sobald sich der Kern gebildet hat, kommt es zu einer Akkretion der Hülle.
4. Sobald das den Kern umgebende Material aufgebraucht ist, wird der Stern sichtbar.

5.3.2 Sterne auf der Hauptreihe

Wie erwähnt, verbringen Sterne etwa 80 % ihrer Lebensdauer auf der Hauptreihe. Im Inneren der Sterne nimmt der Wasserstoffgehalt durch die Kernfusion ab, das mittlere Molekulargewicht erhöht sich und der Druck:

$$p = \frac{R_g T}{\mu} \quad (5.37)$$

mit R_g ... Gaskonstante, μ ... mittleres Molekulargewicht, nimmt ab, da μ zunimmt. Damit der Stern stabil bleibt, muss seine Temperatur im Zentrum ansteigen. Da die Energieproduktionsraten der verschiedenen Kernreaktionen stark von der Temperatur abhängen, nimmt die nukleare Energieproduktion zu, der Stern wird leuchtkräftiger und heller. Die habitable Zone um den Stern herum wandert so langsam nach außen.

Auf Grund der Sternentwicklung verschiebt sich die Lage der habitablen Zone noch weiter weg vom Stern.

5.3.3 Die Sonne wird zum roten Riesen

Wie bereits oben erwähnt, erreicht ein Stern mit 1 Sonnenmasse die Nullalterhauptreihe (engl. *zero age main sequence*, *ZAMS*), sobald die pp-Kette zündet. Nach etwa 9-10 Mrd. Jahren endet sein Hauptreihendasein, fast der gesamte Wasserstoff im Kern wurde in Helium umgewandelt, der Stern expandiert leicht, wodurch sich die Energieproduktion erhöht, da im Inneren seine Temperatur zunimmt und auch die Leuchtkraft, da die Oberfläche größer wird.

Die Kernreaktionen im Zentrum erlöschen schließlich, aber die Fusion von Wasserstoff zu Helium geht in einer Schale um den Kern herum weiter (Schalenbrennen).

Der Sternradius nimmt nun beträchtlich zu: Der Kern kontrahiert, somit entsteht Wärme (vgl. Virialsatz) und die wasserstoffbrennende Schale erhitzt sich – es wird mehr Energie produziert und der Stern expandiert.

→ Der Stern entwickelt sich zum Roten Riesen und wandert schräg rechts nach oben im HRD. Es kommt zur Zündung des Triple-Alphaprozesses:



Der Triple-Alpha Prozess ist sehr stark von der Temperatur abhängig und es kommt zu sog. thermischen Pulsen, die in Wirklichkeit riesige thermonukleare Explosionen darstellen. Derartige Explosionen passieren alle $\sim 10^3$ Jahre und führen zu Leuchtkraftänderungen des Sterns um bis zu 50 % während einiger Jahre. Der Stern befindet sich am asymptotischen Riesenast im HRD (*asymptotic giant branch, AGB*).



UPPSALA
UNIVERSITET

Develop the tools we need for Life Science Masters Degree in Bioinformatics

Bioinformatics is the exciting field where biology, computer science, and mathematics meet.

We solve problems from biology and medicine using methods and tools from computer science and mathematics.

Read more about this and our other international masters degree programmes at www.uu.se/master



In diesen Phasen gibt es auch sehr starke *Sternenwinde* und in einigen 1000 Jahren wird die Hülle vollständig weggeblasen - es bildet sich eine expandierende Hülle um den Stern herum, die vom heißen Kern erhitzt wird und zum Leuchten angeregt wird; dies bezeichnet man als *Planetarischen Nebel*.

5.3.4 Das Endstadium der Sonne: weißer Zwerg

Weißer Zwerge entwickeln sich aus Roten Riesen.

- Sterne mit $\leq 0,5 M_{\odot}$ bilden He-Weiße Zwerge, da die Kerntemperatur niemals ausreicht, um das Helium zu zünden.
- Sterne mit Massen zwischen $0,5 \dots 5,0 M_{\odot}$ lassen C-O-Sterne zurück und
- Sterne mit Massen zwischen $5 \dots 7 M_{\odot}$ O-Ne-Mg reiche weiße Zwerge.

Die hier angegebenen Massenwerte beziehen sich auf die Anfangsmasse des Sterns. Bei den weißen Zwergen (engl. WD, *white dwarfs*) ist die Materie so dicht gepackt, dass sich die Elektronen nicht mehr frei bewegen können, sondern ein entartetes Elektronengas bilden.

Weißer Zwerge als Endstadium gibt es allerdings nur bis zu $1,4 M_{\odot}$, die *Chandrasekhar Grenzmasse*, bei größeren Massen reicht der Druck der entarteten Elektronen nicht mehr aus um der Gravitation entgegenzuwirken.

Weißer Zwerge leuchten durch Auskühlung: Die thermische Energie ist gegeben durch $E_{th} = 3/2 NkT$. Betrachten wir einen Stern mit $0,8 M_{\odot}$ und einer Temperatur von 10^7 K, dann beträgt die thermische Energie 4×10^{40} J, und nehmen wir eine Leuchtkraft von $10^{-3} L_{\odot}$, dann ergibt sich folgende Abkühlzeit:

$$T_c = E_{\text{therm}}/L \sim 10^{40} \text{ J} / (10^{-3}) (3,8 \times 10^{26} \text{ J/s}) \sim 10^9 \text{ a}$$

Der erste weiße Zwerg wurde 1862 von *A. Clark* gefunden: *Sirius B*, ein heißer aber unscheinbarer Begleiter des *Sirius*.

5.3.5 Braune Zwerge

Im Gegensatz zu den weißen Zwergen stehen die braunen Zwerge nicht am Ende der Sternentwicklung, sondern bei ihnen kam es aufgrund der zu geringen Zentraltemperaturen nie zu einer Zündung des Wasserstoffbrennens.

Die Massengrenzen sind nicht genau definierbar, aber man spricht von:

- Planeten, wenn $M < 0,01 M_{\odot}$;
- Braunen Zwergen, wenn $0,01 M_{\odot} < M < 0,08 M_{\odot}$.

Bei braunen Zwergen (Abb. 5.2) nahe der $0,08$ Sonnenmassen-Grenze gibt es eine Phase des Deuteriumbrennens (einige 10 000 Jahre). Mit dem Hubble Space Teleskop hat man nach Braunen Zwergen gesucht. In diesem Zusammenhang soll auf das Objekt *Gliese 229* verwiesen werden. Der Stern ist ein Doppelsystem, der Hauptstern ein roter Zwerg und *Gliese 229B* ein brauner Zwerg mit mehr als 20 Jupitermassen. Der Begleiter befindet sich in einer Entfernung von 40 AU vom Hauptstern.

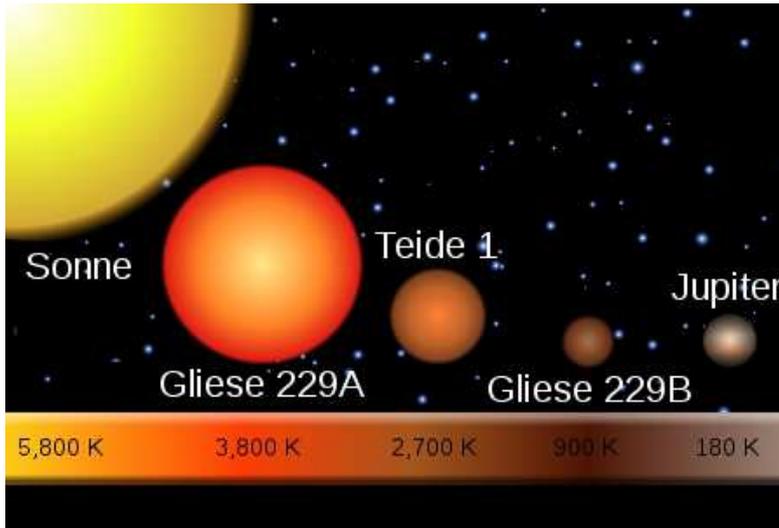


Abbildung 5.2: Massereiche Sterne, braune Zwerge, Planeten.

5.3.6 Massereiche Sterne

Sterne mit mehr als 1,4 Sonnenmassen als Endmasse entwickeln sich zu Neutronensternen, genauer gesagt, wenn die Masse des Eisenkerns mehr als 1,4 Sonnenmassen beträgt (Chandrasekhar-Grenze). Der Druck der entarteten Elektronen reicht nicht mehr aus, durch die Gravitation implodiert der Stern, die Elektronen vereinigen sich mit den Protonen zu Neutronen, inverser Betazerfall



man spricht von einem Neutronenstern. Durch die Implosion läuft eine Druckwelle nach außen, die äußeren Schichten werden abgestoßen, der Stern leuchtet als Supernova vom Typ II auf (Abb. 5.3).

Noch massereichere Sterne mit Endmassen ab etwa 4 Sonnenmassen entwickeln sich zu einem schwarzen Loch, wo die Gravitation so stark ist, dass nicht einmal Photonen entweichen können.

5.3.7 Zusammenfassung: Zeitskalen

Wir haben in Abhängigkeit von der Sternmasse folgende Zeitskalen der Sternentwicklung

- $1 M_{\odot}$:
 - Bildung: 1×10^8 y
 - Hauptreihe: 9×10^9 y

- Riesenphase: 10^9 y
- $5 M_{\odot}$:
 - Bildung: 5×10^6 y
 - Hauptreihe: 6×10^7 y
 - Riesenphase: 10^7 y
- $10 M_{\odot}$
 - Bildung: 6×10^5 y
 - Hauptreihe: 1×10^7 y
 - Riesenphase: 10^7 y

Der kosmische Materiezyklus ist in Abbildung 5.4 dargestellt.

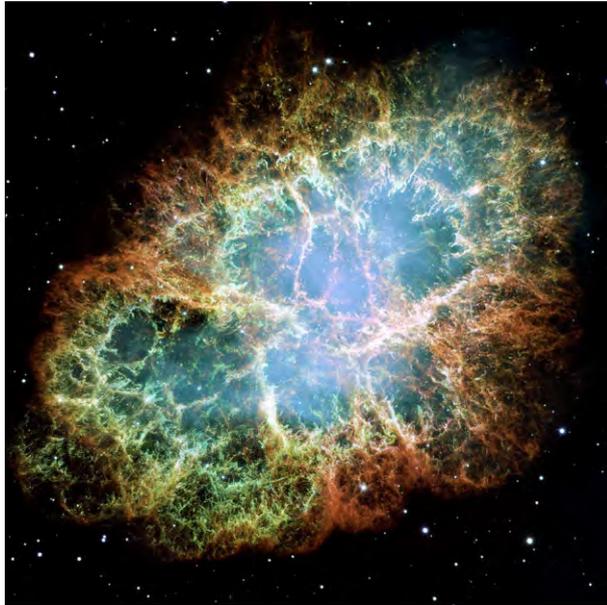


Abbildung 5.3: Der Crabnebel, Überrest einer im Jahre 1054 n. Chr. explodierten und beobachteten Supernova.

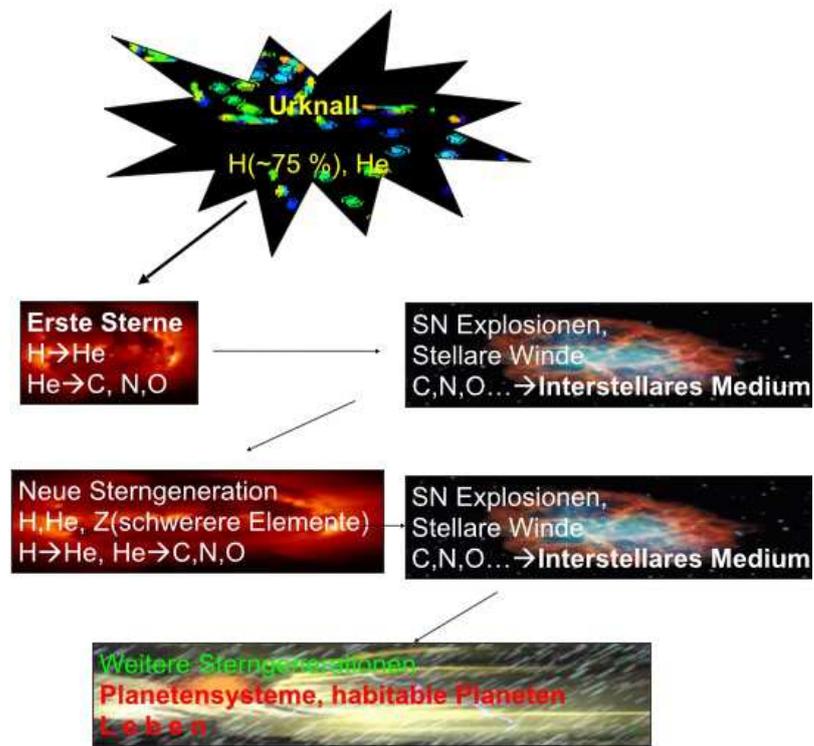


Abbildung 5.4: Der kosmische Materiezyklus.

A NEW FUTURE IS WAITING FOR YOU AT ERICSSON.

Look up for our continuous offers of graduate positions at our various locations within Germany (Backnang, Duesseldorf, Frankfurt, Herzogenrath/Aachen). We are looking forward to getting to know you! Apply via the internet: www.ericsson.com/careers

Kapitel 6

Das Sonnensystem

In diesem Abschnitt untersuchen wir, ob es Leben in unserem Sonnensystem auf anderen Planeten bzw. Monden von Planeten geben könnte.

Eine aktuelle Übersicht über die Planeten des Sonnensystems findet man bei [15].

6.1 Planeten

Von außen gesehen bestimmt die Masse der Sonne das gesamte Sonnensystem, 99,8 % der Gesamtmasse sind in ihr erhalten, der Drehimpuls ist jedoch auf die Planeten verteilt.

6.1.1 Einteilung

Die großen Planeten des Sonnensystems sind von der Sonne aus gesehen folgende: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Pluto wird nicht mehr zu den großen Planeten gezählt sondern er gehört zur Gruppe der Zwergplaneten:

Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn sind gut mit bloßem Auge sichtbar und waren seit dem Altertum bekannt. In Tabelle 6.1 sind einige Größen der 8 Planeten gegeben.

Die Planeten teilt man ein in:

- erdähnliche (terrestrische Planeten), Merkur, Venus, Erde und Mars. Sie besitzen eine feste Oberfläche und liegen im Größenbereich 5000 bis 13.000 km Durchmesser.
- Gasplaneten, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Sie besitzen keine feste Oberfläche sondern eine immer dichter werdende Atmosphäre, allerdings einen festen felsigen Kern. Die Größen liegen zwischen etwa 50.000 und 140.000 km.

Tabelle 6.1: Die großen Planeten. D : Äquatordurchmesser, v_e : Fluchtgeschwindigkeit.

Planet	D [km]	M [M_{Erde}]	ρ g/cm ³	Beschl. Erde = 1	v_e [km/s]
Merkur	4878	0,055	5,43	0,4	4,25
Venus	12.104	0,815	5,24	0,9	10,4
Erde	12.756	1,0	5,52	1,0	11,2
Mars	6794	0,107	3,93	0,4	5,02
Jupiter	142.796	317,8	1,33	2,4	57,6
Saturn	120.000	95,15	0,70	0,9	33,4
Uranus	50.800	14,56	1,27	0,9	20,6
Neptun	48.600	17,20	1,71	1,2	23,7

Tabelle 6.2: Modell des Sonnensystems, Maßstab 1:10⁹.

Objekt	Durchmesser	Entf. v. d. Sonne
Sonne	1,4 m	
Merkur	5 mm	60 m
Venus	12 mm	110 m
Erde	12 mm	150 m
Mars	7 mm	230 m
Jupiter	14 cm	800 m
Saturn	12 cm	1,5 km
Uranus	5 cm	3 km
Neptun	5 cm	4,5 km

Die Gruppe der Kleinplaneten (Asteroiden) umfasst mehrere 100.000 meist unregelmäßig geformte Körper, nur wenige sind größer als 100 km. Kometen besitzen Kerndurchmesser von einigen 10 Kilometern.

6.1.2 Modell des Sonnensystems

Die Dimensionen des Sonnensystems lassen sich mit dem in Tabelle 6.2 gegebenem Modell anschaulicher darstellen.

Sonne: Durchmesser von 1,4 Metern; die Erde würde in einer Entfernung von 150 Metern als 1,2 cm große Kugel die Sonne umkreisen. Der äußerste bekannte große Planet Neptun ist aber schon 4,5 km entfernt.

6.1.3 Drittes Keplergesetz

Wichtig für die Bestimmung der Massen im Sonnensystem ist das dritte Keplergesetz. Die genaue Form lautet: T sei die Umlaufdauer z.B. der Erde um die Sonne, a die große Bahnhalbachse der Erde, M_1 die Masse der Sonne und M_2

6.1. PLANETEN

105

die Masse der Erde. Dann gilt:

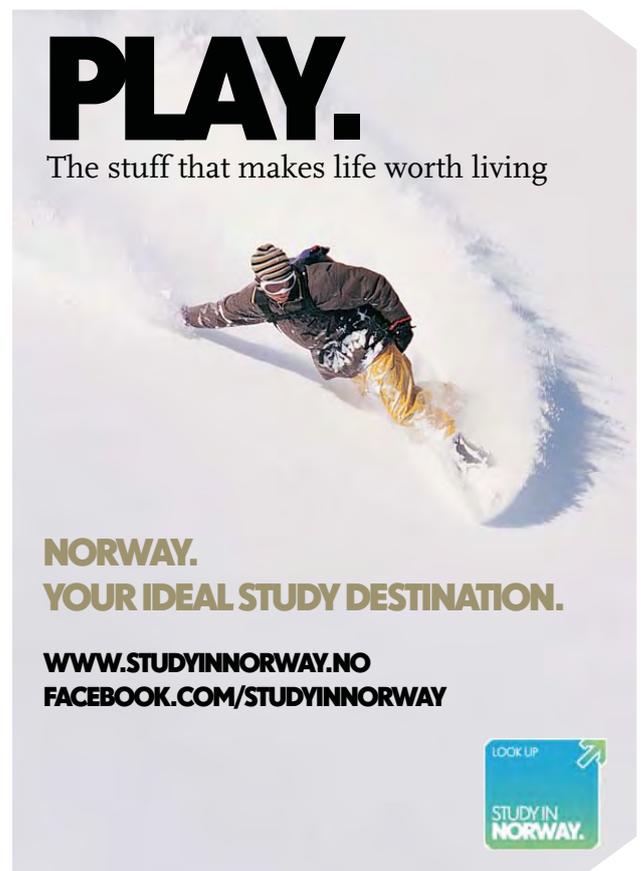
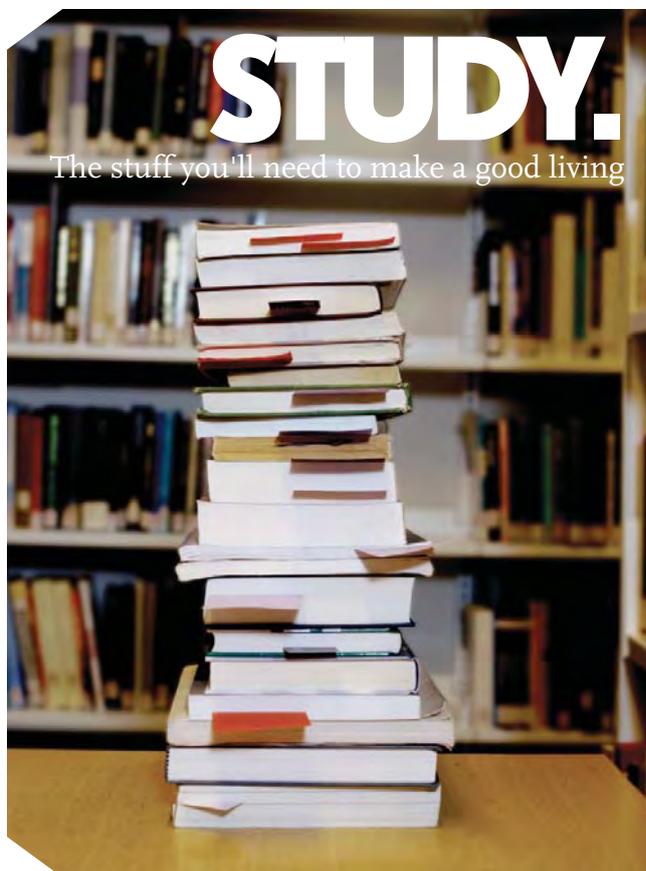
$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M_1 + M_2) \quad (6.1)$$

Daraus kann man die Masse der Sonne bestimmen, die Erdmasse, M_2 kann vernachlässigt werden. Generell gilt:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} \quad (6.2)$$

a_1, a_2 sind die großen Halbachsen der Planeten 1 und 2; T_1, T_2 sind deren Umlaufdauern.

Ist eine Entfernung im Sonnensystem bekannt, dann lassen sich alle anderen daraus bestimmen.



Download free eBooks at bookboon.com



Click on the ad to read more

Als Beispiel ist in Abbildung 6.1 die Bestimmung der Parallaxe und damit der Entfernung des Kleinplaneten Eros skizziert. Man bestimmt dessen Parallaxe durch Beobachtung von zwei möglichst weit entfernten Punkten A und B von der Erde aus und bestimmt seine Parallaxe und wenn man die Entfernung zwischen den Punkten A und B kennt, folgt die Entfernung von Eros.

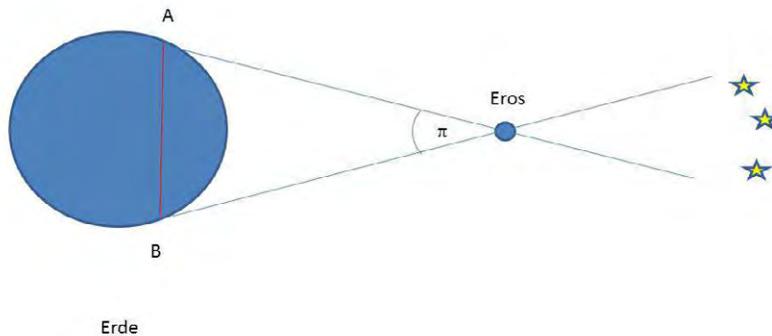


Abbildung 6.1: Bestimmung der Parallaxe des Kleinplaneten Eros, der der Erde wesentlich näher kommen kann als andere Planeten.

Entfernungen im Sonnensystem gibt man in astronomischen Einheiten, AE (engl. AU, astronomical unit) an. 1 AE entspricht der mittleren Entfernung Erde-Sonne:

$$1 \text{ AE} = 150.000.000 \text{ km}$$

Die Bahn- bzw. Rotationseigenschaften der Planeten findet man in Tabelle 6.3 .

6.1.4 Das Sonnensystem von außen gesehen

Der uns am nächsten liegende Stern, abgesehen von der Sonne ist α Cen. Er ist 4,3 Lichtjahre von uns entfernt. Könnte man von Alpha Centauri aus unser Sonnensystem beobachten bzw. entdecken, dass es dort Planeten gibt?

- die Sonne hätte eine scheinbare Helligkeit von $0,^m 4$, wäre somit ein auffälliger Stern am Himmel.

Tabelle 6.3: Die wichtigsten Eigenschaften der Planeten und von Pluto; d : Entfernung von der Sonne.

Planet	d [10^6 km]	Umlaufzeit	Rotationszeit	Äquator-Neigung [°]
Merkur	57,9	87,9 d	58,65 d	0
Venus	108,2	224,7 d	243,01 d	2,01
Erde	149,6	1,00 a	23h56 min	23,5
Mars	227,9	1,88 a	24h 37 min	24
Jupiter	779	11,87 a	9h 50 min – 9 h 56 min	3
Saturn	1432	29,63 a	10 h 14 min – 10 h 39 min	24
Uranus	2888	84,66 a	17 h 06 min	98
Neptun	4509	165,49 a	15 h 48 min	29
Pluto	5966	251,86 a	6,3 d	122,5

- die Erde hätte eine Helligkeit von $23,^m 4$ und wäre nur $0,^{\prime\prime} 76$ von der Sonne entfernt.
- Der größte Planet des Sonnensystems, der Jupiter, hätte eine Helligkeit von $22,^m 0$ und wäre $3,^{\prime\prime} 94$ von der Sonne entfernt.¹

→ Man könnte von Alpha Centauri aus die Erde und den Jupiter theoretisch mit sehr großen Teleskopen beobachten, jedoch wären diese Planeten durch die viel heller leuchtende Sonne überstrahlt. Planeten leuchten im Vergleich zu den Sternen sehr schwach und befinden sich von mehreren Lichtjahren Entfernung aus beobachtet, sehr nahe bei den Sternen. Deshalb ist es extrem schwierig Planeten neben Sternen direkt zu beobachten, Kontrasteffekt.

6.1.5 Aufbau der erdähnlichen Planeten

Der Aufbau der terrestrischen Planeten ist sehr ähnlich:

- dünne Kruste (zusammen mit dem oberen Mantel als Lithosphäre bezeichnet),
- dicker Mantel,
- Kern.

Dieser Aufbau lässt sich durch **Differentiation** erklären. Das Innere der Planeten muss heiß genug gewesen sein, dass es flüssig war, durch die Schwerkraft sind die schwereren Metalle nach unten in den Kern abgesunken.

¹Helligkeiten werden in Größenklassen, magnituden m angegeben. Helligkeit 0^m bedeutet sehr heller Stern, Helligkeit 6^m schwächster mit bloßem Auge erkennbarer Stern.

Erdähnliche Planeten durch Differentiation:

Leichte Materialien oben, schwere Metalle nahe dem Kern.

Die Ausdehnung dieser drei Bereiche hängt von der Größe des Planeten ab. Ein kleinerer Planet besitzt normalerweise einen kleineren Kern. Die Dicke der Lithosphäre hängt auch mit der Größe der Planeten zusammen. Kleine Planeten (Merkur, Mars) besitzen eine dünne Lithosphäre, Venus und Erde eine dickere Lithosphäre.

Merkur: relativ großer Kern. Möglicherweise gab es in der Frühphase der Entstehung des Merkur bzw. des Sonnensystems einen großen Einschlag auf Merkur, und dabei wurde ein Großteil des Mantels und der Kruste weggeschleudert.

Mond: Kern relativ klein → Mond entstand aus ausgeworfenem Material durch einen Einschlag auf der Erde.

Der Aufbau der **Erde** lässt sich durch die Ausbreitung von Erdbebenwellen bestimmen. Die Lava (Magma) aus Vulkanen stammt aus einer Zone teilweise geschmolzenen Materials unterhalb der Lithosphäre. Der einzige Teil des Erdinneren, der vollständig geschmolzen ist, ist der Bereich des äußeren flüssigen Erdkerns.



6.1.6 Das heiße Planeteninnere

Woher kommen die geologischen Unterschiede der terrestrischen Planeten?

- Merkur: keine erloschenen Vulkane,
- auf Mars und Venus findet man erloschene Vulkane,
- die Erde zeigt Plattentektonik und aktiven Vulkanismus.

Die Lava kommt vor als:

- leichtflüssige Lava breitet sich sehr rasch aus und bildet meist flache Lavaebenen. Ein Beispiel dafür sind die flachen Maria auf dem Mond.
- dickflüssige Lava wird fest, bevor sie sich ausgebreitet hat. Es bilden sich hohe Schildvulkane. Die hawaiianischen Inseln sowie der auf dem Mars befindliche Olympus Mons sind Beispiele dafür. Der Olympus Mons (Abb. 6.2) ist der höchste Berg in unserem Sonnensystem. Er wurde bereits 1879 von Schiaparelli entdeckt. Olympus Mons besitzt einen Basisdurchmesser von 600 km und ist 22 km hoch!

All diese Prozesse werden durch ein heißes Inneres des Planeten verursacht. Die Aufheizung des Planeteninneren kann durch folgende drei Prozesse erfolgen:

- Akkretion: Die Planeten sind vor etwa 4,5 Mrd. Jahren durch Akkretion, also das Aneinanderfügen, bzw. Kollision von Planetesimalen entstanden. Wenn kleinere Bruchstücke von einigen Metern bis Kilometern kollidieren, wird potentielle Energie frei, ähnlich wie die Energie eines zur Erde fallenden Steines beim Aufschlag in Wärme umgewandelt wird.
- Differentiation: Dichteres Material sinkt in einer geschmolzenen Umgebung nach unten. Auch dabei wird Energie frei (Gravitationsenergie).
- Radioaktiver Zerfall: Beim radioaktiven Zerfall fliegen Teilchen mit hoher Geschwindigkeit vom zerfallenden Atom weg und kollidieren mit benachbarten Atomen, die sich dadurch schneller bewegen. Temperatur entspricht der kinetischen Energie der Teilchen. Der radioaktive Zerfall ist eine sehr lange zur Verfügung stehende Wärmequelle, da das Erdinnere insgesamt eine große Menge an zerfallenden Atomkernen enthält.

Große Planeten konservieren die Wärme länger als kleine. Deshalb waren die relativ kleinen Objekte Merkur und unser Mond bereits nach etwa einer Milliarde Jahre ausgekühlt.



Abbildung 6.2: Olympus Mons, der höchste Berg im Sonnensystem. Credit: NASA

6.1.7 Planeten und Magnetfelder

Ein Kompass zeigt uns die Richtung des Erdmagnetfeldes an. Das Erdmagnetfeld kann man durch einen Prozess von Strömen, die durch fließende Ladungen entstehen, und Rotation der Erde erklären, es handelt sich also um einen sich selbst immer wieder erregenden Dynamoprozess.

Im Bereich des außen flüssigen Erdkerns gibt es geschmolzenes Metall und freie Elektronen. Wie wir aus der Physik wissen, wird um sich bewegende elektrische Ladungen ein Magnetfeld erzeugt.

Bei konstantem elektrischen Feld \mathbf{E} ergibt sich aus dem Strom \mathbf{j} ein magnetisches Wirbelfeld $\nabla \times \mathbf{B}$; μ ist die Induktionskonstante:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{j} \quad (6.3)$$

Außerdem steigen in diesem flüssigen Bereich heißer Gasblasen nach oben, man bezeichnet dies als Konvektion. Nun können wir sofort erklären weshalb die Erde das stärkste Magnetfeld aller terrestrischen Planeten besitzt.

- Nur bei der relativ großen und massereichen Erde ist der Außenkern flüssig und rotiert rasch genug.
- Venus hat wahrscheinlich ähnlich wie die Erde einen geschmolzenen Außenkern aber sie rotiert extrem langsam. Die Rotationsperiode beträgt 243 Tage. Es muss also eine Mindest-Rotationsgeschwindigkeit gegeben sein, damit Planeten ein Magnetfeld besitzen.
- Ein globales permanentes Magnetfeld auf Mars existiert heute nicht mehr, sein Kern ist erkaltet und fest.



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR

WILLST DU EINFLUSS AUF EINEN GESUNDEN LEBENSRAUM HABEN?

DANN DENKE AN DIE WAGENINGEN UNIVERSITY IN DEN NIEDERLANDEN

Bist du an einem Master auf dem Gebiet der innovativen Methoden und nachhaltigen Lösungen interessiert, um die Qualität unseres Lebensraumes zu verbessern? Dann denke an die Wageningen University. Hier findest du besondere Umweltstudien wie **Nachhaltiger Tourismus**, **Sozialökonomische Entwicklung**, **Umwelt** und **Innovative Technologien**. Diese multidisziplinäre Herangehensweise macht diese Masterstudiengänge einzigartig!



Um mehr Information zu erhalten, gehe zu www.wageningenuniversity.eu



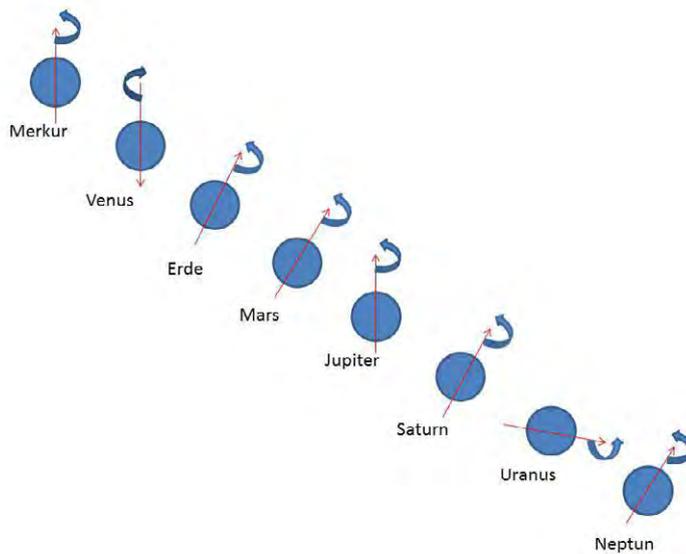


Abbildung 6.3: Neigungen der Rotationsachsen der Planeten. Man beachte die Neigung der Rotationsachse der Venus (retrograde Rotation) sowie des Uranus. Planeten in Reihenfolge von der Sonne aus gesehen. Die Größen sind nicht maßstäblich.

Erdähnliche Planeten besitzen nur dann ein Magnetfeld, wenn das Innere teils flüssig ist und sie schnell genug rotieren.

6.1.8 Rotationsachsenneigung, Jahreszeiten

Die Neigung der Rotationsachse zur Senkrechten auf die Bahnebene ist wesentlich für die Entstehung der Jahreszeiten. Je geringer die Neigung, desto geringer werden jahreszeitliche Effekte. In Abbildung 6.3 sind die Neigungen der Rotationsachse skizziert.

Die Rotation eines Planeten kann man bestimmen aus:

- Beobachtung von Oberflächendetails, die sich infolge der Rotation verändern. Dies geht nur im Falle des Mars und der Riesenplaneten Jupiter und Saturn.
- Spektroskopisch. Man legt den Spalt des Spektrographen auf den linken bzw. rechten Planetenrand und beobachtet blau- bzw. rotverschobene Spektrallinien, da sich eine Planetenhälfte auf uns zu, die andere jedoch von uns weg bewegt.
- Radarbeobachtungen: Durch Auswertung von Laufzeitdifferenzen der an der Oberfläche naher Planeten reflektierten Radarwellen.

Weder Venus (dichte Atmosphäre mit dichten Wolken) noch Merkur (zu weit entfernt bzw. zu nahe bei der Sonne um gut beobachtbar zu sein) zeigen von der Erde aus irgendwelche Oberflächendetails. Im Jahre 1964/65 konnte erstmals mit der 300 m großen Radioantenne bei Arecibo durch Empfang der ausgesandten und an den Planetenoberflächen reflektierten Radarsignale die Rotation von Merkur und Venus bestimmt werden. Venus rotiert retrograd, also in entgegengesetztem Sinne ihres Umlaufs um die Sonne. Uranus zeigt eine extreme Neigung seiner Achse.

6.1.9 Planetenoberflächen

Die Oberfläche eines Planeten hängt davon ab, ob der Planet eine dichte Atmosphäre besitzt oder nicht. Besonders in der Frühzeit des Sonnensystems schlugen viele Meteoriten auf die Planetenoberflächen ein, kosmisches Bombardment. Heute sieht man die Überreste noch auf Merkur (Abb. 6.4) und unserem Mond, da es auf beiden keine Atmosphäre und damit keine Erosion gibt und die Spuren der Einschläge praktisch unverändert erhalten geblieben sind. Mars besitzt eine dünne Atmosphäre und es gibt immer wieder ausgedehnte Staubstürme, sodass die Spuren alter Krater langsam verwischt werden. Die Venusatmosphäre ist sehr dicht, man findet kaum Krater; durch Erosion wurden auch die Krater auf der Erdoberfläche weitgehend unkenntlich.

Bei Objekten ohne Atmosphäre kann aus Kraterzählungen auf das Alter der Oberfläche geschlossen werden. Je älter die Oberfläche, desto mehr Krater sind vorhanden.

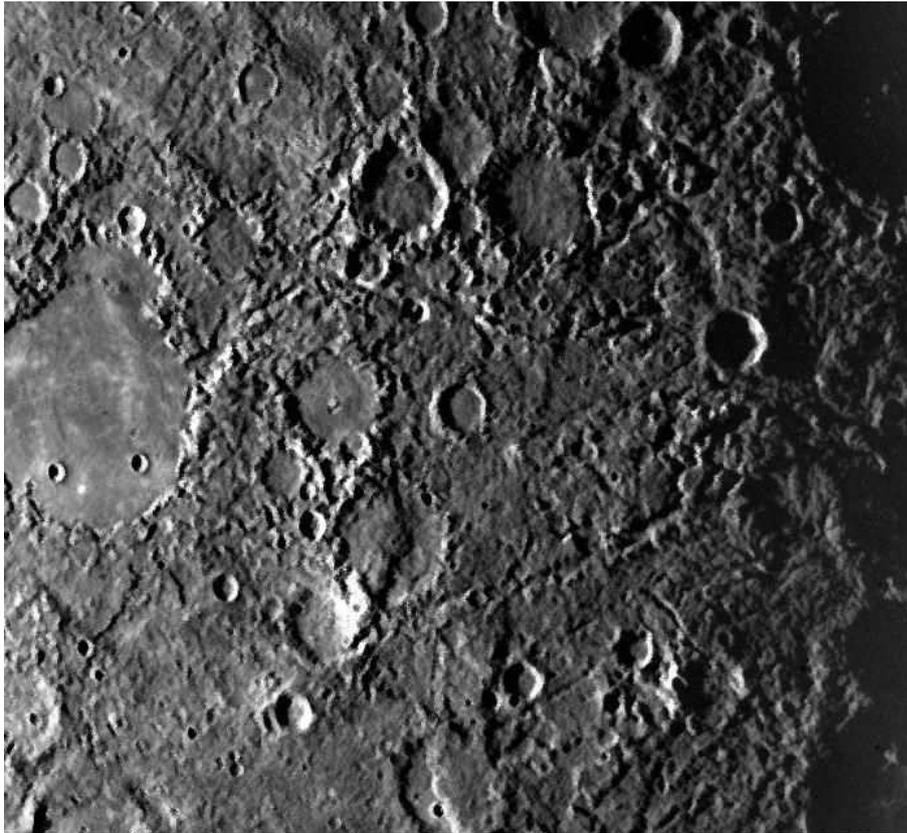


Abbildung 6.4: Merkur: Eine mit Kratern übersäte heiße Oberfläche. NASA.

LOCATION: ZÜRICH

ONE YOU One Credit Suisse

ROMY WOLLTE UNSERE IT-STRATEGIE MITGESTALTEN. WIR GABEN IHR DIE MÖGLICHKEIT DAZU. Im Frühling 2009 wurde Romy mit dem Aufbau einer IT-Management-Schulung betraut, um die Implementierung eines neuen Betriebsmodells zu begleiten. Heute ist diese Ausbildung ein strategisches Programm zur Prozessoptimierung. Die daraus resultierenden Impulse bedeuten für uns einen grossen Schritt – die Erfahrungen und Kontakte zum Top-Management für sie einen Karrieresprung. Lesen Sie Romys Geschichte unter [credit-suisse.com/careers](https://www.credit-suisse.com/careers)

CREDIT SUISSE 





Abbildung 6.5: Radarkarte der Venus aus Daten der US-Raumsonde Magellan.
NASA

Die Oberfläche des Merkur zeigt Anzeichen einer Schrumpfung. Auf Venus findet man höher gelegene Gebiete (vergleichbar unseren Kontinenten), Gebirge (z.B. die Maxwell Montes) und an Vulkane erinnernde Gebilde. Einige dieser Vulkane könnten aber innerhalb der letzten 100 Millionen Jahre noch aktiv gewesen sein, dafür spricht das Schwefeldioxid in der dichten Venusatmosphäre. Die Oberfläche der Venus kann man wegen ihrer extrem dichten Wolkenhülle nicht sehen.

Die Abbildung 6.5 zeigt die Oberfläche der Venus, erstellt durch Radarabtastungen der Raumsonde Magellan. Die Abbildung 6.6 zeigt die von den weich auf der Oberfläche von Venus gelandeten russischen Raumsonden Venera gemachten, bisher einzigen, Bilder der Venusoberfläche.

Derzeit scheint es jedoch auf Venus keine aktiven Vulkane mehr zu geben.

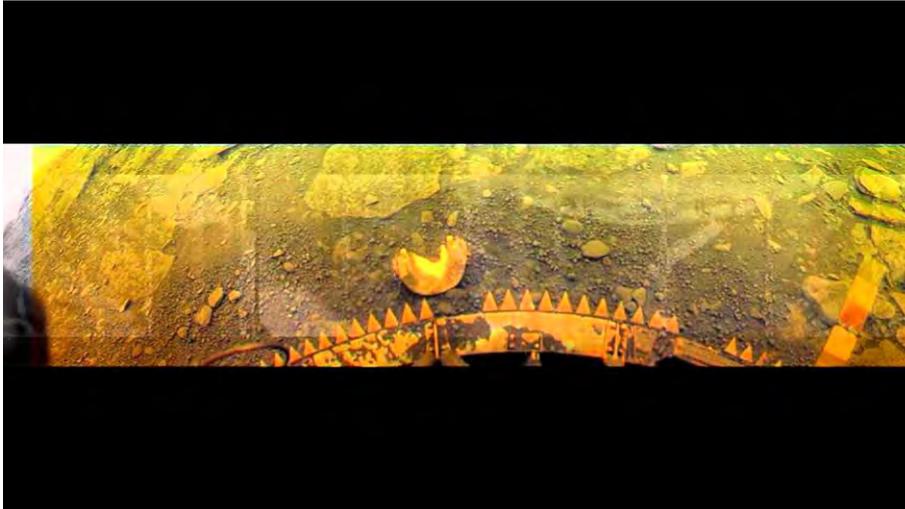


Abbildung 6.6: Die Oberfläche der Venus. Aufnahme sowjet. Raumsonde Venera.

Von den terrestrischen Planeten ist unsere Erde der Planet mit der größten Aktivität. Die großen Gebirge entstanden durch Auffaltungen von kollidierenden Platten. Die Plattentektonik veränderte im Laufe der Erdgeschichte die Meeresströmungen wesentlich, was zu großen Klimaschwankungen führte.

Realise your dreams and ambitions

Mid Sweden University offers a wide range of international programmes in English. This way, you can study, meet new, inspiring people and experience a different culture and environment at the same time. Invest in a first-class education which you will benefit from in years to come – an education that makes a difference.

Apply today!

Learn more at www.miun.se/eng



Mittuniversitetet

MID SWEDEN UNIVERSITY

Discover your opportunities



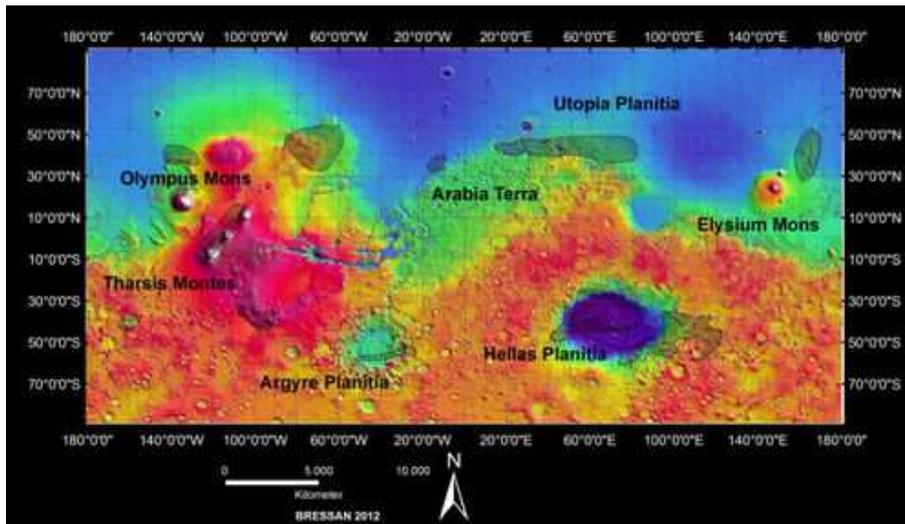


Abbildung 6.7: Karte des Mars.

Mars ist zwar nur etwa halb so groß wie die Erde doch ihr am ähnlichsten. Eine Karte der geologischen Formationen auf Mars ist in Abbildung 6.7 zu sehen. Man findet

- Einschlagkrater, besonders auf der südlichen Hemisphäre. Die südlichen Hochländer sind daher älter, da mehr Krater dort zu sehen sind.
- Vulkanismus: Es gibt einige hoch aufgetürmte Schildvulkane, darunter eben den Olympus Mons. Dieser höchste Berg des Sonnensystems, insgesamt 22 km hoch, befindet sich in der Tharsis Region, einer Gruppe von drei Schildvulkanen. Das Innere des Mars kühlt weiter ab, er wird geologisch gesehen immer inaktiver. Die letzten Lavaströme vom Olympus Mons dürfte es vor 180 Millionen Jahren gegeben haben.
- Tektonik: Das Valles Marineris (Abb. 6.8) hat eine Länge von der Breite des nordamerikanischen Kontinents und ist viermal tiefer als der Grand Canyon. Es könnte eine Folge tektonischer Spannungen sein.

6.2 Planetenatmosphäre

6.2.1 Wann besitzen Planeten eine Atmosphäre

Damit Planeten eine Atmosphäre besitzen, müssen mehrere Faktoren gegeben sein.

- Entgasungsprozesse an der Oberfläche

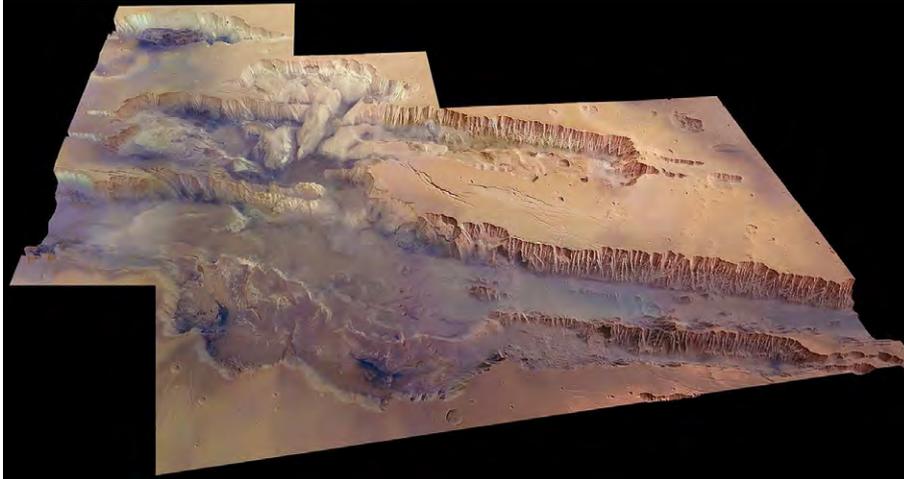


Abbildung 6.8: Das Valles Marineris, das große Marstal. Credit: NASA

- Geschwindigkeit der Gasmoleküle der Atmosphäre muss unterhalb der Fluchtgeschwindigkeit liegen.
- Der Einfluss geladener Teilchen bzw. kurzwelliger Strahlung des Muttersterns muss gering sein.

Wir betrachten Moleküle der Masse m eines Gases der Temperatur T . Aus der kinetischen Gastheorie ergibt sich die wahrscheinlichste Geschwindigkeit zu:

$$v_{\text{th}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (6.4)$$

Ein Molekül der Geschwindigkeit v kann von einem Planeten der Masse M entweichen, wenn gilt: Kinetische Energie des Moleküls $>$ Potenzielle Energie (bedingt durch die Schwerebeschleunigung des Planeten mit der Masse M).

$$v^2/2 \geq GM/R \quad (6.5)$$

Ein Planet kann nur dann eine Atmosphäre halten, wenn gilt:

- Seine Masse ist genügend groß;
- auf Grund der Temperatur an der Oberfläche ist v_{therm} genügend klein.

→ Deshalb können Mond (zu geringe Masse) und Merkur (zu geringe Masse, auf Grund der Sonnennähe zu hohe thermische Geschwindigkeit der Teilchen) keine Atmosphäre halten.

6.2.2 Hydrostatisches Gleichgewicht und Konvektion

Die Ausdehnung der Planetenatmosphäre sei klein gegenüber dem Planetenradius, man kann die Schwerebeschleunigung als konstant ansetzen. Planetenatmosphären befinden sich meist im Gleichgewicht zwischen dem nach oben gerichteten Gasdruck und der zur Planetenmitte gerichteten Schwerkraft. Je weiter man sich von der Planetenoberfläche entfernt, desto geringer wird der Druck. Ein Bar ist der Druck der Erdatmosphäre auf Meereshöhe und entspricht der Gewichtskraft von 1 kg pro cm^2 . Die gesamte Luft, die sich über einem Quadratzentimeter befindet, hätte ein Gewicht von ca. 1 kg.

Man betrachte eine Planetenatmosphäre im hydrostatischen Gleichgewicht.

$$p = \rho \frac{kT}{\bar{\mu} m_u} = \rho \mathfrak{R} T / M = nkT \quad (6.6)$$

Dabei ist $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ die Boltzmannkonstante, $\bar{\mu}$ das mittlere Molekulargewicht, $\mathfrak{R} = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ gleich der Gaskonstante und $m_u = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Daraus berechnen wir ρ und setzen dieses in die Bedingung für das hydrostatische Gleichgewicht ein.



Economy – Business – First
Ermitteln Sie Ihren Marktwert

 **Einfach einchecken unter www.alma-mater.de und Gehaltsstudie kostenlos downloaden!**

Damit Sie beim Verhandeln festen Boden unter den Füßen behalten.

Nutzen Sie Deutschlands großes Akademiker-Netzwerk für Praktika, Diplomarbeiten sowie Jobs für Absolventen und junge Berufserfahrene.

Welcome on Board: www.alma-mater.de



Dies führt auf:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g\bar{\mu}m_u}{kT}dh = -\frac{dh}{H} \quad (6.7)$$

wobei man hier die *Äquivalenzhöhe* (*Skalenhöhe*) H einführt:

$$H = \frac{kT}{g\bar{\mu}m_u} \quad (6.8)$$

Wenn wir annehmen, H ist konstant, so folgt die *barometrische Höhenformel*:

$$\ln p - \ln p_0 = -h/H \quad p = p_0 e^{-h/H} \quad (6.9)$$

Dabei ist p_0 der Druck am Boden ($h = 0$).

In der Erdatmosphäre ist die unterste Schicht die etwa 12 km hohe *Troposphäre* in der Konvektion der Luftmassen stattfindet. Man kann Konvektion als einen adiabatisch verlaufenden Prozess darstellen, die Bewegungen sollen so rasch nach oben erfolgen, dass es zu keinem Wärmeaustausch mit der Umgebung kommt.

Dann gilt die Adiabatengleichung:

$$T \approx p^{1-(1/\gamma)} \quad (6.10)$$

mit $\gamma = c_p/c_v$, dem Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten bei konstantem Druck (c_p) bzw. konstantem Volumen (c_v). Differenziert man dies logarithmisch nach h , so folgt:

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dh} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{1}{p} \frac{dp}{dh} \quad (6.11)$$

Hier setzen wir die hydrostatische Gleichung ein sowie die Bedingung

$$c_p - c_v = k/\bar{\mu}m_u$$

ein und bekommen für den *adiabatischen Temperaturgradienten*:

$$\frac{dT}{dh} = -\frac{g}{c_p} \quad (6.12)$$

Da $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $c_p = 1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ bekommt man einen Gradienten von $9,8 \text{ K km}^{-1}$. Dies gilt nur für trockene Luft. Bei feuchter Luft wird latente Wärme, die bei der Kondensation freigesetzt wird, den Gradienten um die Hälfte verringern. Wir bekommen so eine mittlere Temperaturabnahme mit der Höhe in der Erdatmosphäre von $6,5 \text{ K km}^{-1}$.

6.2.3 Treibhauseffekt

Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre unser Planet tiefgefroren. Die Funktionsweise des Treibhauseffektes ist einfach. Sichtbares Licht durchdringt die Erdatmosphäre bis zum Erdboden. Die Erdoberfläche absorbiert sichtbares Licht und gibt Wärme, d.h. Infrarotstrahlung ab. Die Treibhausgase absorbieren und reemittieren diese Infrarotstrahlung und heizen so die untere Atmosphäre auf. Die wichtigsten Treibhausgase sind

- Wasserdampf (H_2O),
- Kohlendioxid (CO_2) und
- Methan (CH_4).

Die Erdoberfläche emittiert IR-Photonen. Diese regen die oben angeführten Moleküle zu Schwingungen an oder auch zu Rotationen. Schwingungen und Rotationen sind jedoch gequantelt (vgl. Energieniveaus in einem Atom). Beim Übergang von einem bestimmten angeregten Schwingungszustand in den Grundzustand wird also ein Photon emittiert.

Für die Oberflächentemperatur eines Planeten ist seine Entfernung von der Sonne wichtig, sowie die Reflexionsfähigkeit (Albedo, A). Je höher dieser Wert ist, desto weniger Strahlung wird absorbiert, und der Planet ist kühler. In Tabelle 6.4 ist die Wirkung des Treibhauseffektes für die terrestrischen Planeten gegeben.

Die Einstrahlung von der Sonne in Erdentfernung (1 AE) bezeichnet man als Solarkonstante $S = 1,37 \text{ kW m}^{-2}$. Dieser Wert gilt allerdings nur bei senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlen und bei Vernachlässigung der Erdatmosphäre.

Befindet sich ein Planet in Entfernung r , so gilt für dessen Solarkonstante (Leistungsbetrag von der Sonne auf 1 m^2):

$$S(r) = S \left(\frac{r}{1 \text{ AE}} \right)^{-2} \quad (6.13)$$

Ein Planet mit Radius R nimmt davon den Betrag $\pi R^2(1 - A)S(r)$ auf. Die mittlere Albedo der Erde beträgt $A \approx 0,3$. Diese Albedo hängt bei der Erde wesentlich vom Wolkenanteil (Wolken: Albedo = 0,5) ab.

Erfolgt die Abstrahlung nach dem *Stefan-Boltzmann-Gesetz* für einen Schwarzen Körper, gilt für die Gesamtleistung:

$$4\pi R^2 \times \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \quad (6.14)$$

Weiterhin muss man noch den inneren Wärmestrom Q berücksichtigen, der aus inneren Wärmequellen eines Planeten stammt (radioaktiver Zerfall, Restwärme aus der Akkretionsphase).

→ Bilanz: Zustrahlung + Q = Abstrahlung:

Tabelle 6.4: Terrestrische Planeten und Treibhauseffekt. r Distanz von der Sonne, A Albedo, T_1 mittlere Temperatur ohne Treibhauseffekt, $T_{\text{Oberfl.}}$ tatsächliche Oberflächentemperatur, Differenz=Unterschied zwischen tatsächlicher Temperatur und Temperatur ohne Treibhauseffekt.

Planet	r [AE]	A [%]	T_1 [°C]	$T_{\text{Oberfl.}}$ [°C]	Differenz
Merkur	0,387	12	163	425 (Tag), -175(Nacht)	-
Venus	0,723	75	-40	470	510
Erde	1,00	29	-16	+15	31
Mond	1,00	12	-2	125 (Tag) , -175 (Nacht)	-
Mars	1,524	16	-56	-50	6

$$\pi R^2(1 - A)S(r) + 4\pi R^2Q = 4\pi R^2\sigma T^4 \quad (6.15)$$

Für die Erde beträgt $Q = 0,06 \text{ W m}^{-2}$. Die Infrarotmessungen zeigen, dass die Planeten Jupiter, Saturn und Neptun eine Wärmeausstrahlung haben, die die absorbierte Sonnenstrahlung um den Faktor 1,9 und 3,5 bzw. 2,4 übertrifft.



Für Ihren Karrierestart unbezahlbar. Für Sie kostenlos.



Karriere zum Download
Jetzt dem kostenlosen Staufenbiel Career Club beitreten und die aktuellste Ausgabe als ebook sichern: staufenbiel.de/ebooks

>>> Jetzt downloaden: staufenbiel.de/ebooks



Der Planet mit dem größten Treibhauseffekt ist Venus, dann folgen Erde und Mars.

Neben dem Treibhauseffekt spielt auch die Rotation eines Planeten sowie Windgeschwindigkeiten in der Atmosphäre eine Rolle für die Temperaturschichtung der Atmosphäre.

6.2.4 Schichtung einer Planetenatmosphäre

Planetenatmosphären kann man in folgende Schichten unterteilen, die jedoch nicht bei allen Planeten vorhanden sind:

- Troposphäre: unterste Schicht; die Temperatur nimmt mit der Höhe ab. Konvektion Bewegungen; Treibhauseffekt wirkt nur hier (falls überhaupt); → Wettergeschehen findet ausschließlich in der Troposphäre statt!
- Stratosphäre: Temperatur nimmt zu, erst in der oberen Stratosphäre nimmt sie wieder ab. Ursache der Temperaturzunahme: Absorption des UV-Lichts des Muttersterns durch Moleküle der Atmosphäre. Bei der Erde sind dies die Ozon-Moleküle.
- Thermosphäre: Temperatur nimmt zu.
- Exosphäre: oberste Schicht, hier geht die Atmosphäre in den Weltraum über.

Die Erde ist von den terrestrische Planeten der einzige, der eine Ozonschicht besitzt sodass lebensfeindliche UV-Strahlung nicht auf die Planetenoberfläche dringen kann.

6.2.5 Merkur

Wegen seiner Sonnennähe sind die Oberflächentemperaturen auf Merkur zu hoch um eine permanente Atmosphäre zu halten. Raummissionen zeigten, dass Merkur von einer dünnen Hülle aus He-Gas umgeben ist. Dieses Gas wird vom äußerst schwachen Magnetfeld des Merkur eingefangen, es handelt sich um doppelt positiv geladene Heliumkerne.

Für Exoplanetenforschung ist Merkur interessant als Beispiel eines Planeten, der extremen Einflüssen seines Muttersterns ausgesetzt ist.

6.2.6 Venus

An der Oberfläche von Venus herrschen kaum Winde (erst in der höheren Venusatmosphäre). Trotzdem gibt es auch Anzeichen von durch Winde bedingten Ablagerungen. Viele Einschlagkrater sind stark asymmetrisch – dies wird erklärt

durch den Einfluss der dichten Venusatmosphäre auf die Flugbahn der einschlagenden Meteore. Man findet auch Erosionstäler, die Flussbetten ähneln. Bei den hohen Temperaturen ist flüssiges Wasser auf der Oberfläche auszuschließen. Hier nimmt man dünnflüssige Lavaströme an.

Der Hauptbestandteil der Venusatmosphäre, CO_2 , wurde erstmals 1932 spektroskopisch durch erdgebundene Beobachtungen nachgewiesen.

Der Druck der Venusatmosphäre auf der Oberfläche entspricht dem Druck in 1000 m Meerestiefe auf der Erde. Es gibt eine Troposphäre, die sich bis in 50 km Höhe erstreckt. Innerhalb dieser wird, wie bei der Erde, das Gas unten erhitzt und zirkuliert langsam, es steigt im Äquatorbereich auf und fällt an den Polen nach unten. Da die Venus sehr langsam rotiert, ist diese Konvektionsströmung sehr beständig. Die Wolken befinden sich in mehr als 30–60 km Höhe und bestehen aus H_2SO_4 -Tröpfchen. Diese Schwefelsäure bildet sich aus der Reaktion von SO_2 – diese entsteht durch vulkanische Ausgasungen – und H_2O . Auf der Erde wird das SO_2 durch Niederschläge ausgewaschen, welche es auf Venus nicht gibt. Messungen mit der Raumsonde VEGA² zeigten, dass in einer Höhe von 53 km Zimmertemperatur herrscht bei einem Druck von 0,5 bar. Die hohe Oberflächentemperatur lässt sich mit dem Treibhauseffekt erklären. Die Venusatmosphäre enthält wesentlich mehr CO_2 als die Erdatmosphäre. Das diffuse Sonnenlicht erwärmt die Oberfläche, und das CO_2 reflektiert die entstehende IR-Strahlung vom Boden. Somit wird die Oberfläche weiter erwärmt, bis sie so viel Wärme emittiert, dass es zu einem Gleichgewicht mit dem eintreffenden Sonnenlicht kommt.

In den obersten Wolkenschichten (60–70 km Höhe) spaltet die UV-Strahlung der Sonne atmosphärisches SO_2 in molekulare Bestandteile, und diese Radikale durchlaufen verschiedene chemische Reaktionen, bis sie mit den ebenfalls gespaltenen Wassertröpfchen Schwefelsäuretröpfchen bilden. Diese sinken nach unten, stoßen mit anderen Tröpfchen zusammen, und unterhalb der Wolken zerfallen sie wieder zu SO_2 und H_2O , und der Prozess beginnt von vorn.

Die Winde auf der Venus werden durch eine Ost-West-Zirkulation bestimmt, die sich um den gesamten Planeten herum erstreckt, in der obersten Wolkenschicht mit 360 km/h. Wolkenformationen rotieren nur vier Erdtage um den Planeten. Die Venusatmosphäre rotiert also viel rascher als der Planet. Die Erdatmosphäre rotiert synchron mit der Erde. Die Sonneneinstrahlung treibt auf der Venus die atmosphärische Zirkulation an, es bilden sich Strömungsmuster in N-S-Richtung (*Hadley-Zellen*).

Die Oberflächentemperaturen auf der Venus ändern sich nur sehr wenig, auch nicht zwischen Tag und Nacht. Die untere Atmosphärenschicht besitzt ähnlich wie die Ozeane auf der Erde eine sehr große thermische Trägheit und speichert große Wärmemengen.

Der wichtigste Unterschied zwischen den Atmosphären von Venus und Erde ist folgender:

- Erde: unten kalt, oben heiß;

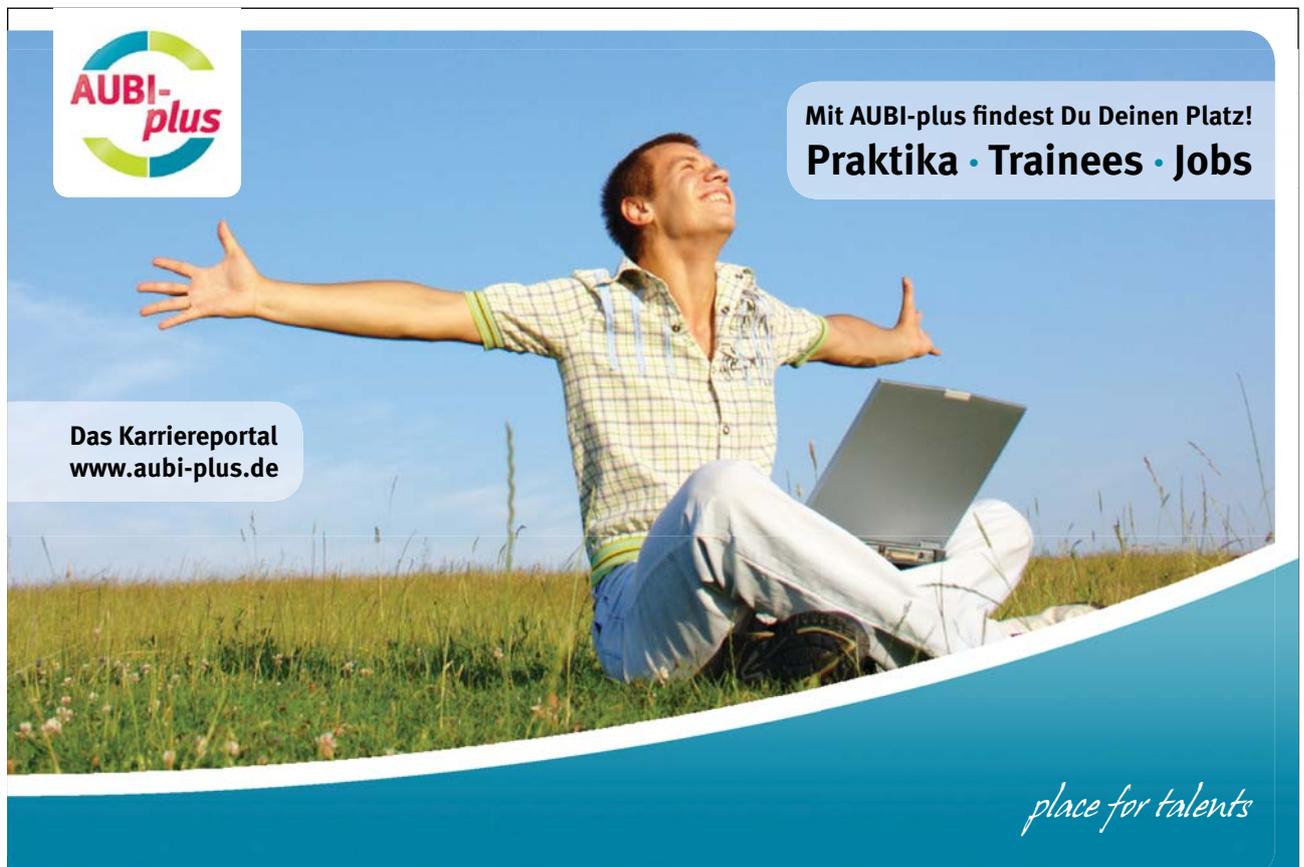
²UdSSR, 1985.

- Venus: unten heiß, oben kalt (Kryosphäre).
- Sonnenwind: Weil das Magnetfeld der Venus sehr schwach ist, wirkt dieser direkt auf die Atmosphäre ein. Auf der der Sonne zugewandten Seite werden neutrale Atome durch die hochenergetische UV-Strahlung ionisiert und vom Sonnenwind mitgerissen.

Aus der Bedeckung eines Sterns durch Venus konnte die Venus-Express-Mission der ESA Ozon in der Atmosphäre von Venus nachweisen. Durch das Ozon in der Venusatmosphäre wurde der UV-Anteil des von Venus bedeckten Sternes verringert (vgl. Absorption von UV-Strahlung durch die Ozonschicht in der Erdatmosphäre).

Während Ozon auf der Erde durch den Sauerstoff entsteht, der aus der Photosynthese von Pflanzen stammt, bildet sich Ozon in der Venusatmosphäre aus Aufspaltung von CO_2 -Molekülen durch UV-Sonnenlicht. Die aufgespaltenen Moleküle werden auch an die Nachtseite der Venusatmosphäre transportiert, wo Sauerstoffatome miteinander reagieren und entweder O_2 oder Ozon, O_3 , bilden. Die Ozon-Schicht befindet sich in 100 km Höhe.

Findet man also Ozon in der Atmosphäre eines Exponenten, so ist dies noch lange kein Beweis für Photosynthese von dort befindlichen Pflanzen.



AUBI-plus

Mit AUBI-plus findest Du Deinen Platz!
Praktika · Trainees · Jobs

Das Karriereportal
www.aubi-plus.de

place for talents



Tabelle 6.5: Vergleich der Atmosphären von Venus, Erde und Mars. Volumenanteile in %.

Gas	Venus	Erde	Mars
CO ₂	96,5	0,03	95,3
N ₂	3,5	78,1	2,7
Ar	0,006	0,93	1,6
O ₂	0,003	21,0	0,15
Ne	0,001	0,002	0,0003

6.2.7 Mars

Mars besitzt eine extrem dünne Atmosphäre. Man könnte auf dem Mars kaum Geräusche hören. Der Oberflächendruck beträgt nur 0,007 bar, also weniger als 1% des Drucks auf der Erdoberfläche, und 95% der Marsatmosphäre besteht aus CO₂. Es gibt verschiedene Arten von Wolken in der Marsatmosphäre:

- Staubwolken: Diese entstehen durch aufgewirbelten Staub des Marsbodens; Staubteilchen werden durch Winde in die Atmosphäre getrieben und können einen Großteil der Planetenoberfläche bedecken.
- Wolken aus Wassereis: Sie bilden sich um Berge herum, ähnlich wie auf der Erde.
- Wolken aus Kohlendioxid: Bilden Schleier aus Trockeneis.

In Tabelle 6.5 ist ein Vergleich der Zusammensetzungen der Atmosphären der terrestrischen Planeten gegeben.

In Abb. 6.9 ist ein Vergleich der Atmosphären der Planeten Venus, Erde und Mars gegeben. Die Atmosphären von Venus und Mars haben sich seit der Bildung der Planeten im Gegensatz zur Erde durch biologische Prozesse nicht verändert.

Bis zu 25% des Kohlendioxids der Marsatmosphäre kann auf der Marsoberfläche sublimieren vor allem während des Winters. Auch Wassereis lagert sich ab und wird von starken Winden mit bis zu 400 m/s weitertransportiert.

Auch Spuren von Methan wurden nachgewiesen (einige ppb). Methan besitzt eine Lebensdauer von etwa 4 Jahren in der Marsatmosphäre, auf Grund der UV-Strahlung würde man eine längere Lebensdauer des Methans in der Marsatmosphäre erwarten. Die Ursache für die rasche Zerstörung des Methans bzw. die damit verbundene Quelle ist unbekannt.

Es gibt Hinweise auf Klimaänderungen auf Mars: Ursache dafür sind starke Änderungen der Neigung seiner Rotationsachse. Weiters dürfte der Planet früher eine wesentlich dichtere Atmosphäre gehabt haben, deren Bodendruck ausreichte um Wasser fließen zu lassen. Gegenwärtig kommt Wasser nur entweder als Eis an der Marsoberfläche oder als Wasserdampf in der Atmosphäre vor.

Es gibt mehrere Gründe, weshalb Mars seine Atmosphäre so stark veränderte:

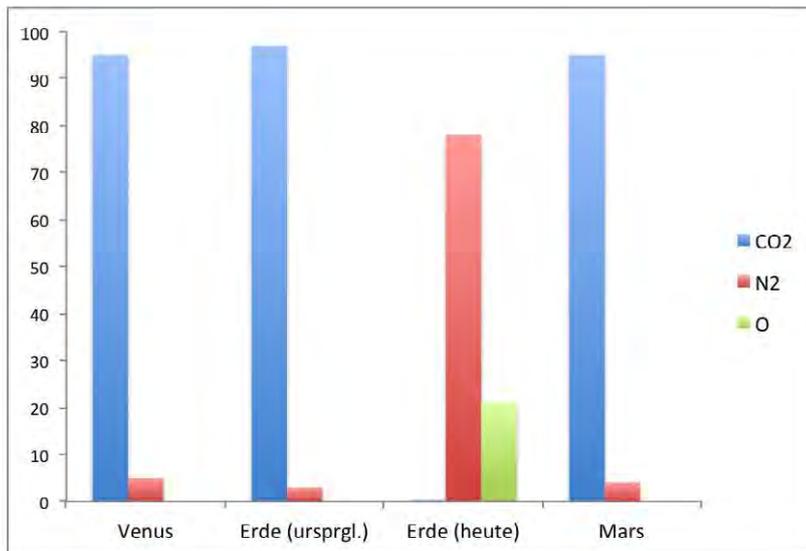


Abbildung 6.9: Vergleich der Atmosphären von Venus, Erde (bei der Entstehung), Erde (heute) sowie Mars.

- Erosion durch den Sonnenwind; dies wird begünstigt durch das schwache Magnetfeld des Planeten, welches heute nur mehr in lokal begrenzten Gebieten vorhanden ist.
- Kollision in der Frühphase der Marsgeschichte mit einem großen Objekt, wobei ein Teil der Atmosphäre des Mars verloren ging.
- Die Schwerkraft des Mars reicht nicht aus, um eine dichte Atmosphäre zu halten, Jeans escape.

Die Verteilung der Geschwindigkeiten der Gasmoleküle ist durch eine Maxwell-Verteilung gegeben. Die kinetische Energie eines Teilchen beträgt:

$$E_{\text{kin}} = \frac{3}{2}kT \quad (6.16)$$

Im sog. Schwanz der Maxwell-Verteilung können die Gasteilchen die Entweichgeschwindigkeit an der Stelle, wo die mittlere freie Weglänge vergleichbar der Skalenhöhe der Atmosphäre ist, erreichen → diese Teilchen werden entweichen und gehen der Atmosphäre verloren.

Wenn ein

Server

für Sie kein
Wassersportler
ist...

IT-Jobs bei Lidl
it-bei-lidl.com

trendence
DEUTSCHLANDS
100
Top-Arbeitsgeber



Die Maxwell-Verteilung lautet:

$$f(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} 4\pi v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (6.17)$$

daraus leitet sich die wahrscheinlichste Geschwindigkeit ab:

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (6.18)$$

k ist die Boltzmannkonstante $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$.

Die Entweichgeschwindigkeit ist:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad (6.19)$$

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$, r ist der Abstand vom Zentrum eines Planeten.
Vergleich der Entweichgeschwindigkeiten:

- Erde: $v_e = 11,2 \text{ km/s}$,
- Mars: $v_e = 5,0 \text{ km/s}$,
- Mond: $v_e = 2,4 \text{ km/s}$.

Betrachten wir die beiden Verbindungen Wasser, H_2O , und Kohlendioxid, CO_2 . Das Wassermolekül ist leichter als das Kohlendioxidmolekül, es bewegt sich bei gegebener Temperatur rascher. Wasserstoff ist noch leichter \rightarrow wird daher nur in den Atmosphären der Riesenplaneten mit großer Masse gehalten werden.

6.3 Die Suche nach Leben bei Venus und Mars

6.3.1 Venus

Von der Größe her ist Venus der Erde am ähnlichsten, ansonsten zeigt eher Mars Ähnlichkeiten mit der Erde. Sowohl Venus als auch Mars könnten in der Frühzeit nach ihrer Entstehung aus flüssigem Wasser bestehende Ozeane gehabt haben. Wohin ist dieses Wasser verschwunden?

Venus: das Wasser ging durch Photolyse von Wasserdampf verloren; die Sonne wurde langsam leuchtkräftiger und da Venus näher bei der Sonne liegt als die Erde, spielte die Zerlegung der Wassermoleküle durch UV-Photonen der Sonne eine große Rolle: $h\nu + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}$, der Wasserstoff H_2 entwich in den Welt- raum. Der Venusozean könnte eine Tiefe von 25 Metern gehabt und die gesamte Venusoberfläche bedeckt haben.

Durch die dichte CO_2 -Atmosphäre beträgt die globale Venustemperatur etwa 430 Grad. Gegenwärtig enthält die Venusatmosphäre nur sehr wenig Wasser,

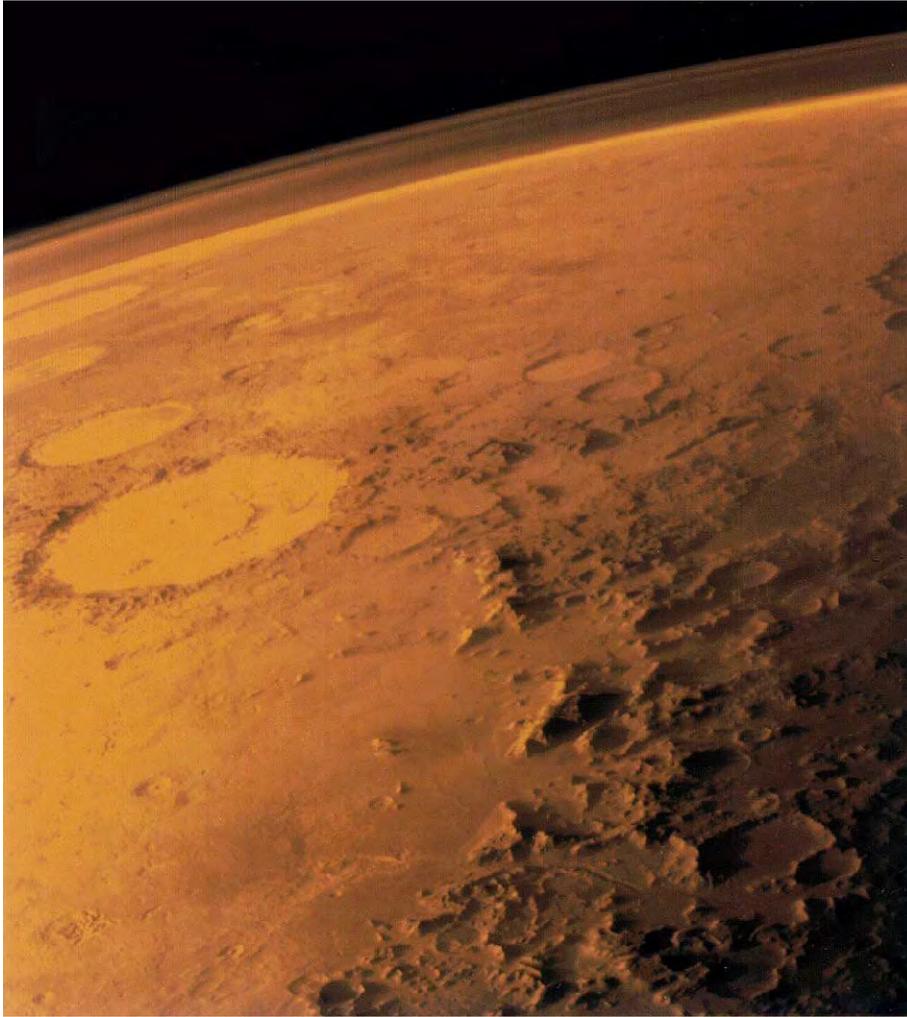


Abbildung 6.10: Oberflächendetails auf Mars sowie die dünne Atmosphäre.

und der Wassergehalt in der Venusatmosphäre würde ausreichen, den gesamten Planeten bis zu einer Tiefe von 3 cm einzuhüllen (bei der Erde 3 km). Die Raumsonde Venus-Express³ hat diesen noch immer anhaltenden Wasserverlust der Venus gemessen: in der Umgebung des Planeten hat man Wasserstoff- und Sauerstoffatome gemessen.

³Gestartet 9. Nov. 2005, Ankunft bei Venus am 11. April 2006, Umlaufbahn am 7. Mai 2006

EY
Building a better
working world

**So müsste er
aussehen: unser
Firmenwagen
für Einsteiger.**

www.de.ey.com/karriere
[#BuildersWanted](https://twitter.com/BuildersWanted)

„EY“ und „wir“ beziehen sich auf alle deutschen Mitgliedsunternehmen von Ernst & Young Global Limited, einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach englischem Recht. ED/Nonè.



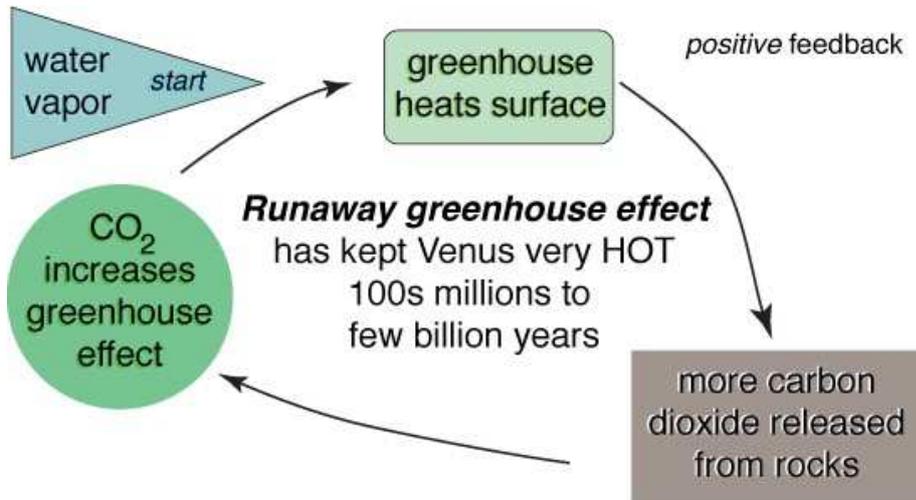


Abbildung 6.11: Skizze: Runaway-greenhouse effect.

Da Wasser aus 2 Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht, sollten sich doppelt soviel Wasserstoffatome als Sauerstoffatome feststellen lassen, was durch die Messungen bestätigt wurde.

Bei Venus könnte ein sog. runaway-Treibhauseffekt gewirkt haben. Je mehr Wasser verdunstet desto höher der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre, der Treibhauseffekt verstärkt sich dadurch noch mehr (Abb. 6.11).

Es gibt sogar die Vorstellung, dass Venus in der Frühphase einen Ozean aus superkritischem Kohlendioxid hatte. Eine superkritische Flüssigkeit verhält sich wie eine Flüssigkeit und ein Gas zugleich.

Es könnte sich also in der Frühphase der Venus Leben in einfacher Form entwickelt haben. Gegenwärtig schließt man selbst einfachste Lebensformen auf der Venusoberfläche aus: zu hohe Temperatur (mehr als 430 Grad) sowie zu hoher Atmosphärendruck. Für die hohen Venustemperaturen ist der hohe Kohlendioxidgehalt verantwortlich. Auf der Erde wurde das CO_2 durch Niederschläge quasi ausgewaschen, und findet sich in Sedimentablagerungen z.B. an Meeresböden, die wiederum durch Tektonik einer Umformung unterworfen sind, so kann eine Platte unter die andere tauchen.

Leben könnte, wenn überhaupt, in der Venusatmosphäre existieren. In einer Höhe von 50 bis 65 Kilometern herrschen ähnliche Bedingungen wie auf der Erde: ähnliche Temperaturen, Drücke, es gibt geringe Spuren von Wasserdampf, sogar Sauerstoff, Kohlendioxid usw. Man findet Schwefel in der Venusatmosphäre aber auch Verbindungen, die niemals zusammen auftreten sollten wie z.B. SO_2 und H_2S . Erzeugen Schwefelbakterien diese Verbindungen?

→ Leben könnte ursprünglich auf der Venusoberfläche entstanden sein, aber als die Bedingungen dort unwirtlich wurden, in die Venusatmosphäre gewandert sein.

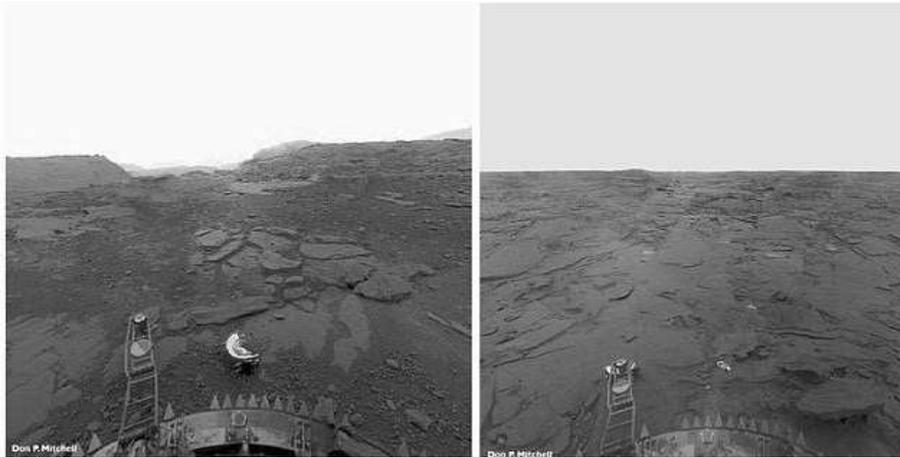


Abbildung 6.12: Keine Lebensform auf Venus, sondern eine Schutzkapsel, gefunden von der weich gelandeten russischen Raumsonde Venera.

6.3.2 Mars

Mars muss, wie schon erwähnt, früher an seiner Oberfläche wärmer gewesen sein, die Atmosphäre war ebenfalls dichter, sodass Wasser fließen konnte.

Der Atmosphärendruck des Mars an der Oberfläche beträgt nur weniger als 1 % des Drucks an der Erdoberfläche. Freies Wasser ist daher gegenwärtig nicht stabil.

Die globale Temperatur beträgt -50° C. Es fehlt eine Ozonschicht, daher gelangt ein Großteil der solaren UV-Strahlung auf die Marsoberfläche.

Die Neigung der Rotationsachse des Mars ist ähnlich wie die der Erde, es gibt Jahreszeiten. Die Marsbahn ist stark elliptisch, der Mars ist näher bei der Sonne, wenn auf der Südhalbkugel Sommer ist. Auch die Entfernung Erde-Mars um die Zeit seiner Opposition kann stark schwanken (Abb. 6.13).

Die Südhalbkugel hat daher extreme Jahreszeiten.

Charakteristisch für Mars: Winde; diese wehen vom sommerlichen Pol zum winterlichen Pol. Am winterlichen Pol fällt die Temperatur bis auf -180° C, Kohlendioxid resublimiert. Das gefrorene CO_2 sublimiert am sommerlichen Pol, und es bleibt nur eine kleine Polkappe aus Wassereis.

- Atmosphärendruck nimmt am sommerlichen Pol zu,
- Atmosphärendruck nimmt am winterlichen Pol ab.
- $1/3$ des in der Atmosphäre enthaltenen CO_2 bewegt sich im Verlauf der Jahreszeiten zwischen der nördlichen und südlichen Polkappe hin und her.

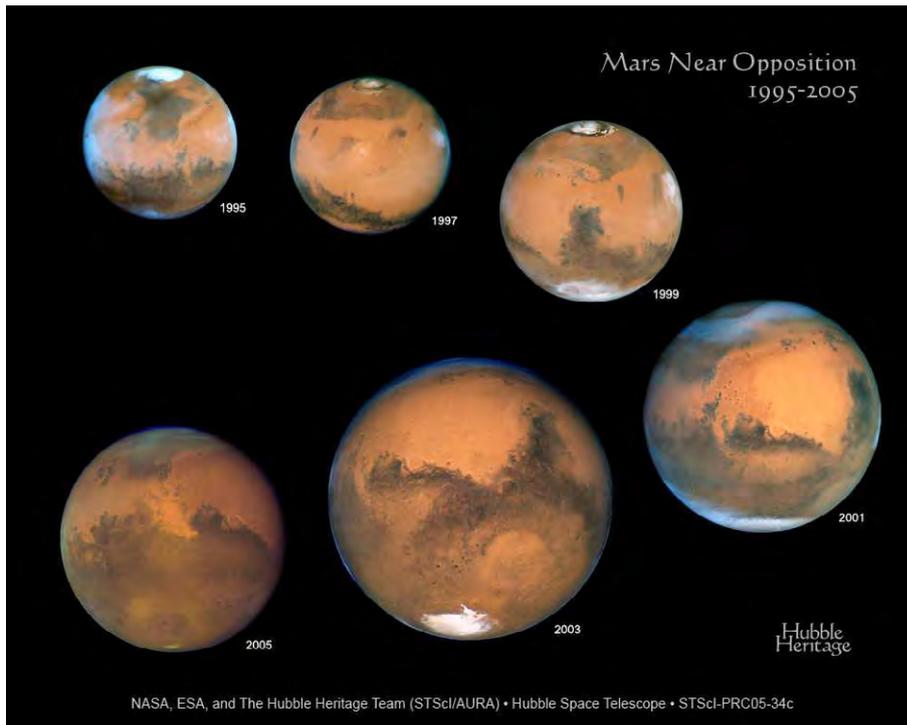


Abbildung 6.13: Mars um die Zeit seiner Opposition. NASA, Hubble-Teleskop.

Die polwärtigen Winde können auch riesige Staubstürme hervorrufen, manchmal ist die gesamte Marsoberfläche verhüllt. An den Polkappen gibt es soviel Wassereis (mit Staub gemischt), dass es bei einer totalen Aufschmelzung Mars global mit einem 11 m tiefen Ozean bedecken könnte. In unterirdischen Zonen könnte dieses Eis auch durch vulkanische Aktivität geschmolzen sein, also flüssiges Wasser.

Die schon erwähnten großen Schwankungen des Marsklimas gehen auf die Schwankungen der Neigung der Rotationsachse des Planeten zurück.

Die Neigung der Marsachse kann zwischen 0 und 60 Grad schwanken → starke Änderungen des Marsklimas.

Weshalb gibt es bei Mars so hohe Schwankungen?

- es fehlt ein großer Mond (vgl. Erde), der die Achse stabilisiert.
- Anziehungskraft des Jupiter.



The advertisement banner features a blue background with the Jobmensa logo in the top right corner. The main heading is 'MEINE TO DO'S' in large white letters. Below it is a list of four tasks, each with a circular icon: a checkmark in a dashed circle for 'Wohnung suchen', a checkmark in a dashed circle for 'Mit Mama zu IKEA fahren', a checkmark in a dashed circle for 'Stundenplan erstellen', and an empty dashed circle for 'Nebenjob auf Jobmensa.de finden'. At the bottom, there is a white italicized text line: 'Entdecke jetzt deutschland's größtes Jobportal für Studenten'.



Auswirkung der Schwankungen:

- geringe Neigung: Pole erwärmen sich nur wenig, Großteil des CO₂ bleibt ausgefroren, Atmosphäre sehr dünn, Treibhauseffekt schwächer.
- starke Neigung: der sommerliche Pol wird stark erwärmt, Druck in der Atmosphäre steigt an, ev. sogar flüssiges Wasser möglich.
- Um die Polregionen gibt es eine Schichtung aus Staub und Eis, die diese Klimaänderungen widerspiegeln (ähnlich wie bei Baumringen).

Wasser kann in flüssiger Form auf der Marsoberfläche existieren, wenn dessen Atmosphäre 400-mal dichter wäre als heute. Damit wäre dann der Druck an der Marsoberfläche etwa 3-mal höher als der auf der Erde. Das nötige CO₂ könnte durch starken Vulkanismus in die Atmosphäre gebracht worden sein. Ebenso wurde durch Vulkanismus auch Wasserdampf freigesetzt und ein Marsozean von einer Tiefe zwischen 10 und mehreren 100 m ist leicht erklärbar.

Weshalb enthält die Marsatmosphäre heute nur mehr einen geringen Anteil an CO₂, sodass der Treibhauseffekt gering ist?

- ein Teil ist resublimiert,
- ein Teil wurde chemisch in der Oberfläche gebunden,
- der Großteil ging durch Wechselwirkung mit dem Sonnenwind verloren. Mars besitzt kein globales Magnetfeld, daher kaum Schutz vor Sonnenwindteilchen.

Wie hat Mars sein Wasser verloren?

- Wechselwirkung Atmosphäre-Sonnenwind,
- UV-Strahlung, Photolyse; Mars besitzt keinen Schutz vor UV-Strahlung, keine Stratosphäre. Der bei der Photolyse entstandene Sauerstoff hat sich mit Gesteinen der Marsoberfläche verbunden → rostfarben.

Die Marsatmosphäre hat sich stark verändert. In der Frühphase durch Vulkanismus und Ausgasung genügend Wasser, Mars ist zu klein um dieses halten zu können. Kein Schutz durch globales Magnetfeld.

→ Für die Astrobiologie interessant: Es gab früher Wasser auf Mars. Eventuell konnte sich Leben auf einfacher Stufe entwickeln und ist bis heute erhalten geblieben?

In den 1970er Jahren gab es das amerikanische Viking Programm zur Erforschung der Marsoberfläche. Die Raumsonden Viking 1 und Viking 2 landeten am 20. Juli und 3. September 1976 weich auf der Oberfläche (Abb. 6.14, 6.15). Zur Suche nach Leben auf Mars wurden drei biologische Experimente durchgeführt:

- Pyrolytic release experiment, PR: es wurden Proben der Marsoberfläche mit Licht, Wasser und radioaktivem CO₂ versetzt. Man dachte, dass durch Lebewesen, die Photosynthese betreiben, ein Teil des radioaktiven CO₂ in Biomasse umgewandelt würde, und hat nach einigen Tagen Inkubationszeit den Gehalt an freiem CO₂ gemessen bzw. die Radioaktivität in der Probe nach Entfernung des CO₂.

strategy&

Bewirb Dich bis zum
18. Oktober 2015.

DATA EMERGENCY

&

**7. - 9. November 2015,
Berlin**

Gesundheitsbranche in der Datenkrise!
Deine innovativen Ideen und Strategien zum Thema e-Health sind gefragt.
Entwickle gemeinsam mit Strategy&-Beratern Hightech-Strategien für eine gesunde Zukunft.

Mehr Informationen unter www.strategyand.pwc.com/DBTAcademy

pwc

© 2015 PwC. All rights reserved.
PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity.
Please see www.pwc.com/structure for further details.



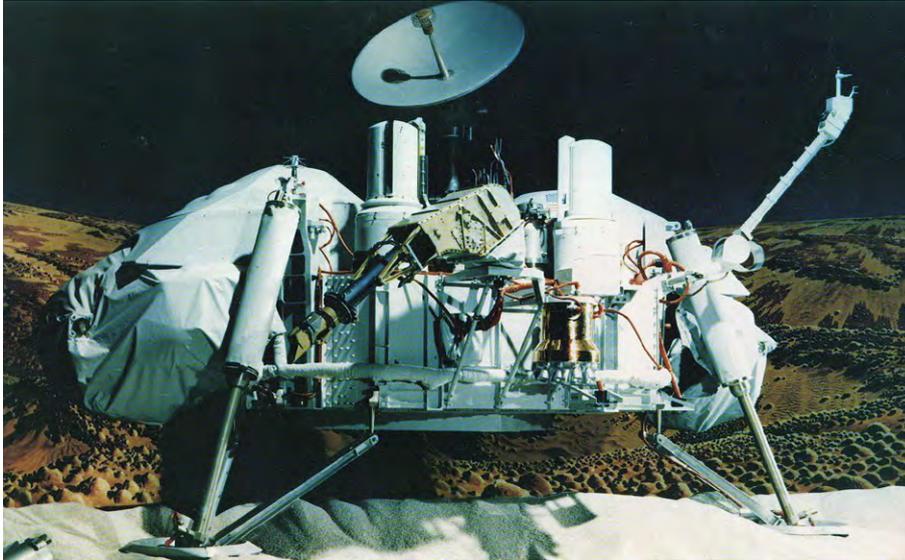


Abbildung 6.14: Viking Lander, Modell. NASA.

- Labeled release experiment, LR: eine Probe wurde mit einer radioaktiven Nährlösung versetzt und man erhoffte sich, dass diese radioaktives CO_2 freigegeben würde im Falle biologischer Aktivität, ähnlich wie bei der Atmung. Es ist also die Umkehrung des PR-Experiments.

- Gas exchange experiment, GEX: man setzte die Probe einem Gasgemisch aus und hoffte, durch biologische Aktivität einer Veränderung in diesem Gasgemisch zu messen.

Man beobachtete chemische Reaktionen, die man sich aber nicht durch biologische Prozesse erklärt.

Die weitere Erforschung der Marsoberfläche in situ erfolgte mit ferngesteu-

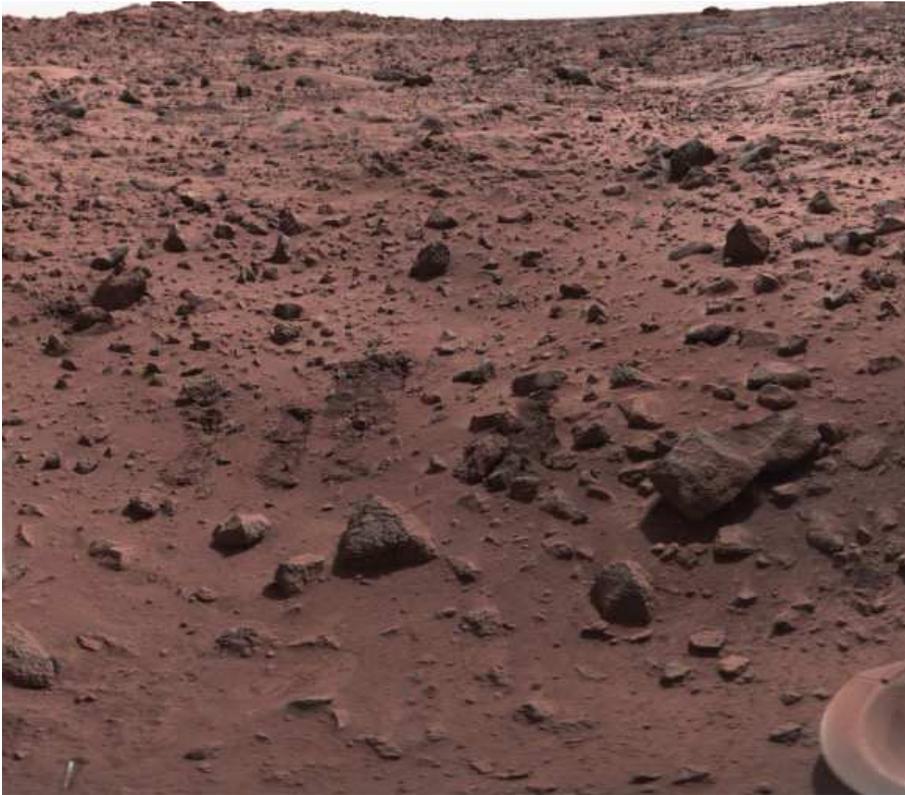


Abbildung 6.15: Landegebiet von Viking 1, Chryse Planitia. NASA.

ersten Rovern (Abb. 6.16).

Der Marsrover Sojourner arbeitete vom 4. Juli bis 27. September 1997. Spirit und Opportunity landeten 2004 auf Mars. Spirit funktionierte 6 Jahre lang, Opportunity länger. Das wesentlich größere Mars Science Laboratory Curiosity landete am 6. August 2012 auf Mars (Abb. 6.17).

Einen Beweis für das frühere Vorhandensein von flüssigem Wasser lieferte der Rover Opportunity z.B. mit der in Abb. 6.18 gezeigten Aufnahme eine Hämatitkonkretion. Der Rover legte bisher über 40 km auf der Marsoberfläche zurück.

Trotz vieler erfolgreicher in-situ Untersuchungen der Marsoberfläche ist die Frage nach möglichem Leben auf Mars noch nicht endgültig geklärt.

Deloitte.

Calling for Berlin
Technology Advisory kennenlernen

Consulting hautnah erleben
5.–7. November 2015
www.deloitte.com/de/calling-for-berlin

© 2015 Deloitte Consulting GmbH





Abbildung 6.16: Vergleich der drei Marsrover Spirit (links), Sojourner (mitte) und Curiosity (rechts). NASA.



Abbildung 6.17: Marsrover Curiosity. NASA.



Abbildung 6.18: Ein 3 cm großer Bildausschnitt aufgenommen vom Marsrover Opportunity. Eine der kugeligen Hämatitkonkretionen, blueberries genannt, die durch Ausfällung von Mineralien aus dem Wasser wuchsen. Die Kugel misst ca. 2 mm. NASA.

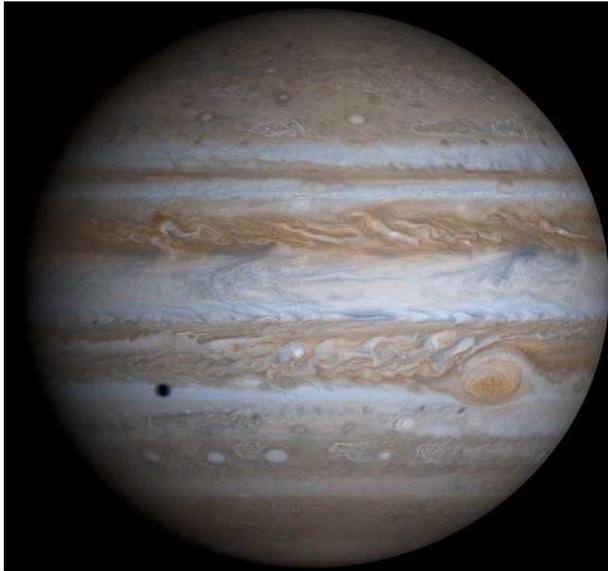


Abbildung 6.19: Jupiter. Cassini-Huygens, NASA.

6.4 Gasplaneten

Die Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun sind grundsätzlich anders aufgebaut als die terrestrischen Planeten.

Für die Entstehung der Gasplaneten gibt es zwei Hypothesen.

- Kollaps aus einer protoplanetaren Scheibe,
- Kern-Aggregation.

6.4.1 Jupiter

Betrachten wir als Beispiel eines Gasplaneten den Jupiter (Abb. 6.19):

→ Atmosphäre: Hauptbestandteile (in Stoffmenge bzw. Anzahl der Atome) des Außenbereichs sind Wasserstoff ($89,8 \pm 2$ Vol %) und Helium ($10,2 \pm 2$ Vol %) sowie in geringerer Menge Methan ($0,3 \pm 0,2$ Vol %) und Ammoniak (260 ± 40 Vol-ppm). Die Massenverteilung: etwa 75 % Wasserstoff, 24 % He und 1% andere Elemente. Man findet auch Spuren von Sauerstoff, Kohlenstoff und Schwefel. In den äußeren Bereichen der Atmosphäre auch Spuren von Wasserdampf sowie Ammoniakkristallen.

Jupiter gleicht in seiner Zusammensetzung sehr dem protostellaren Nebel, aus dem sich das Sonnensystem vor mehr als 4,5 Mrd. Jahren bildete.

Wegen des nach innen zunehmenden Drucks geht der Wasserstoff von gasförmig auf flüssig über und bei einer Tiefe von etwa 78 % des Jupiterradius nimmt der Wasserstoff metallische Eigenschaften an, d.h. er ist elektrisch leitfähig. Dies erklärt auch das sehr starke und weit ausgedehnte Magnetfeld Jupiters.

Jupiter besitzt eine Zone aus metallischem Wasserstoff im Inneren.

Der aus Gestein bestehende Kern des Jupiter umfasst etwa $1/4$ seines Radius, die Masse beträgt etwa 20 Erdmassen.

Jupiter strahlt doppelt soviel Wärme ab, als er von der Sonne empfängt. Man kann dies durch frei werdende Gravitationsenergie erklären, Jupiter kontrahiert langsam. Jupiter könnte in der Vergangenheit viel größer gewesen sein und hat seine Atmosphäre quasi aufgebläht.

Die Atmosphäre des Jupiter (Abb. 6.21) zeigt viele Details: helle und dunkle Bänder, großer roter Fleck (Antizyklon, etwa 2 Erddurchmesser).

Man beobachtet parallel zum Äquator angeordnete helle Zonen und dunkle Bänder. In den hellen Zonen sieht man Wolken aus Ammoniak, die Luft strömt nach oben, in den dunklen Bändern sinkt sie nach unten. Die helle Farbe der Zonen stammt von Ammoniakkristallen. Es gibt Wolken aus:

- 0,6-0,9 bar: Ammoniak Eis.
- 1-2 bar: Wolken aus Ammonium-Hydrosulfid oder Ammoniumsulfid
- noch tiefer bei einem Druck von 3-7 bar: Wasserwolken.

Die Färbung der Wolken stammt von Kohlenwasserstoffen, Schwefel und Phosphor. Die Tropopause reicht bis etwa 50 km über die Wolken, in höheren Schichten findet man Dunstschichten (auch in der Stratosphäre). Diese komplexen Verbindungen entstehen durch Photolyse von Methan durch solare UV-Strahlung. Die Messdaten stammen von der Galileo-Probe, die 1995 von der Hauptsonde getrennt wurde und in die Jupiteratmosphäre eindrang. Dabei musste die Probe 132 g^4 aushalten, das Hitzeschild verlor 80 kg an Masse beim

⁴1g = Erdbeschleunigung

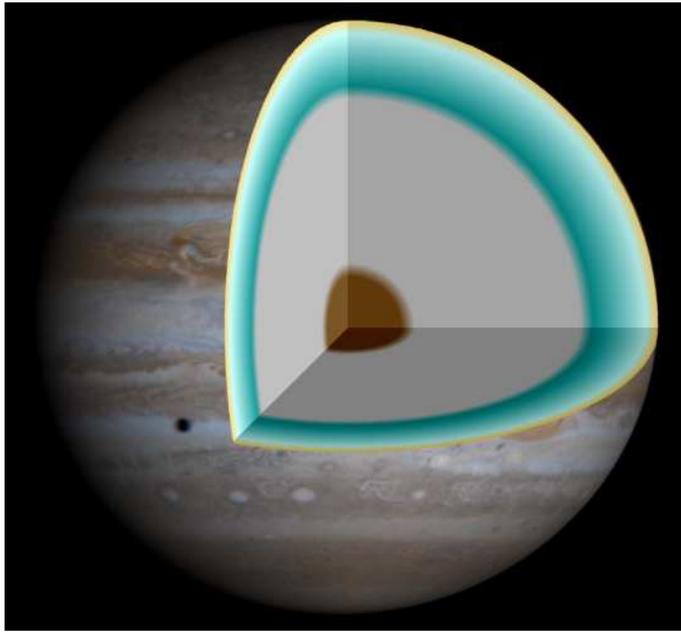


Abbildung 6.20: Innerer Aufbau des Jupiter. NASA.

Eintritt (vor dem Eintritt hatte es 152 kg).

Das Magnetfeld des Jupiter (Abb. 6.22) erstreckt sich über die Umlaufbahnen der Monde Io und Europa, und entlang deren Umlaufbahnen findet sich auch ein Plasmaschlauch (Abb. 6.23). Die energetic neutral atoms, ENAs, werden vom Plasmatorus Europas emittiert durch die Wechselwirkung zwischen eingefangenen Ionen mit neutralen Atomen.

Für die Astrobiologie ist der Schutz der Planetenoberflächen durch ein Magnetfeld wichtig. Jupiter besitzt das größte und stärkste Magnetfeld aller Planeten des Sonnensystems. Es ist 10- bis 20-mal so stark wie das Erdmagnetfeld (die Stärke des Erdmagnetfeldes beträgt etwa $30 \mu\text{T}$ am Äquator, $60 \mu\text{T}$ an den Polen), der magnetische Nordpol des Jupiter liegt wie der magnetische Nordpol der Erde nahe seinem geographischen Südpol.

Erklärung des starken Jupitermagnetfeldes: metallischer Wasserstoff in Kombination mit seiner schnellen Rotation.

Die Jupitermagnetosphäre wird wie das Erdmagnetfeld vom Sonnenwind gestaucht. Auf der sonnenabgewandten Seite ragt es bis zu 700 Mio. km von Jupiter weg, auf der sonnenzugewandten Seite nur bis 7 Mio. km (bei schwachem Sonnenwind bis 16 Mio. km). Durch Fluktuationen im Magnetfeld entsteht Synchrotronstrahlung. Die eingefangenen Teilchen stammen aus zwei Quellen:

- Sonnenwindteilchen,

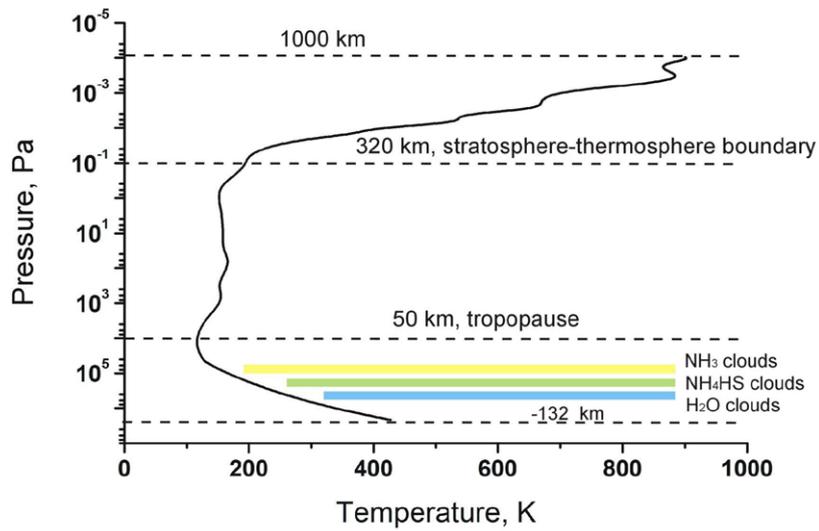


Abbildung 6.21: Die Atmosphäre des Jupiter. Die Daten stammen aus der Galileo atmospheric probe, die Messwerte bis zu einer Tiefe von 132 km unterhalb der 1-bar Grenze lieferte. NASA.

- von den beiden Jupitermonden Io (geladene Schwefel- und Sauerstoffatome) und Europa

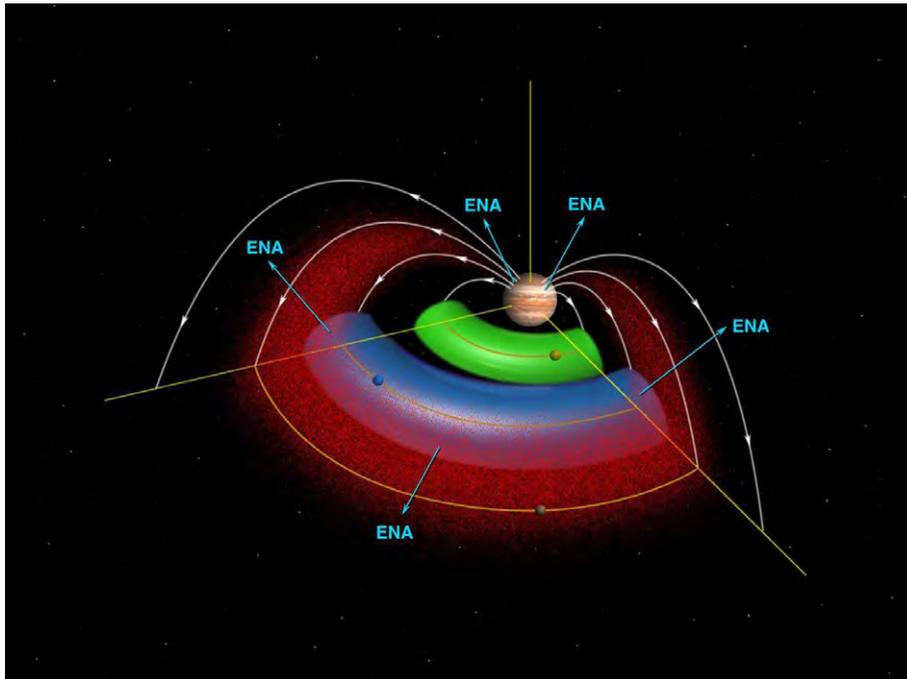


Abbildung 6.22: Magnetfeld des Jupiter. Die beiden Plasmascchläuche entlang der Umlaufbahn von Io (grün) und Europa (rot) sind eingezeichnet, man findet ENAs, das sind energetic neutral atoms. NASA.

Jupiter besitzt ein Ringsystem aus sehr kleinen Teilchen (rauchförmig, dunkel) welches erst 1979 von Voyager 1 fotografiert wurde. Im Jahre 2016 soll die Sonde Juno in nur 5000 km Höhe oberhalb der Wolkengrenze die Atmosphäre des Jupiter erforschen.

Jupiter und Leben? Im Jahre 1953 gab es das Miller-Urey Experiment. Man simulierte eine Atmosphäre aus Wasser, Methan, Ammoniak und molekularem Sauerstoff und setzte diese Mischung elektrischen Entladungen aus und demonstrierte die Entstehung einfacher organischer Verbindungen. All dies findet man auch in der Atmosphäre des Jupiter. Ausserdem gibt es auf Jupiter eine starke vertikale Zirkulation. Die entstandenen Verbindungen könnten so in tiefere Schichten gebracht werden. Dort ist die Temperatur höher und die Verbindungen brechen wieder auf. Leben erscheint daher extrem unwahrscheinlich.

6.4.2 Saturn

Etwas kleiner als Jupiter. Enthält 95 Erdmassen (Jupiter 300), aber nur 30 % der Jupitermasse. Neueste Messungen (Radio-Okkultation Cassini-Huygens) zeigen einen kleineren festen Kern als bisher vermutet. Der Wasserstoffanteil in der Atmosphäre ist höher als bei Jupiter. Saturn: 93% Wasserstoff, etwa

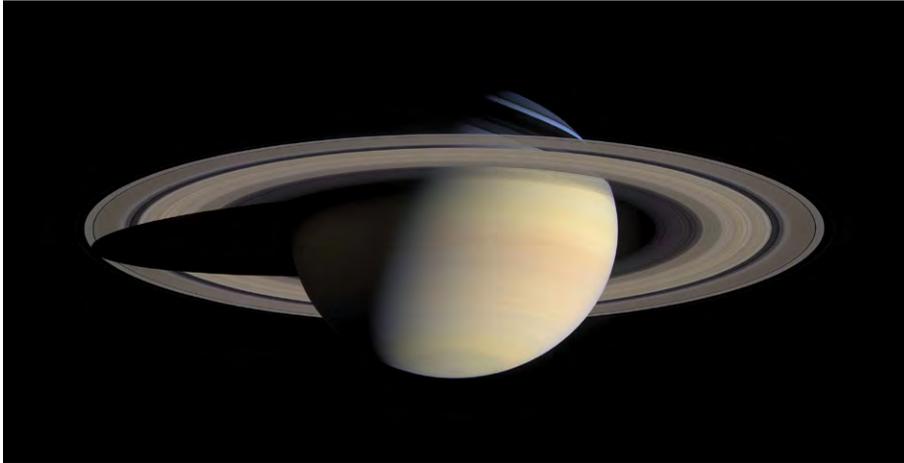


Abbildung 6.23: Saturn aufgenommen 2004 von der Raumsonde Cassini aus 6,3 Mio. km Entfernung. NASA.

7 % He, Spuren von Methan, Ammoniak. Die Wolkendecke enthält gefrorene Ammoniakkristalle.

Der innere Aufbau ist ähnlich wie der Jupiters. Die Zone mit metallischem Wasserstoff beginnt erst bei 0,47 Saturnradien. Der Fe-Si-Kern (bis zu 16 Erdmassen) ist sehr heiß, 12.000 K. Kelvin-Helmholtz-Mechanismus: langsame Kompression infolge Gravitation, Saturn strahlt 2,3-mal soviel Energie ab, wie er von der Sonne empfängt.

Saturn besitzt ein Magnetfeld, das etwa 20-mal schwächer ist als das Jupiterfeld.

Die 1610 von Galilei entdeckten Saturnringe bestehen aus Eisteilchen und bestehen aus 100.000 einzelnen Ringen. Zwischen Ringen gibt es wegen Resonanzeffekten mit Monden des Saturn Lücken, Cassini-Lücke, Encke-Lücke.

Saturn besitzt zwar große Mengen an Wasser, allerdings sind die Temperaturen noch tiefer als bei Jupiter und Leben extrem unwahrscheinlich.

6.4.3 Uranus, Neptun

Uranus besitzt eine gasförmige Atmosphäre, der Druck erhöht sich mit zunehmender Tiefe über dem kritischen Punkt, die Gashülle wird dann flüssig. In der 1-bar Ebene herrscht etwa 0,9 g. In der Atmosphäre findet man Aerosole wie Ammoniak, Wassereis, Methaneis. In den oberen Wolkenschichten wird Sonnenlicht reflektiert, darunter liegt eine Schicht aus Methan. Methan absorbiert den rötlichen Anteil des Sonnenlichts, deshalb erscheint Uranus grünlich. Uranus besitzt einen dicken Mantel aus Wasser, Methan und Ammoniak. Der Aufbau ist in Abbildung 6.24 skizziert. Die Flüssigkeit ist elektrisch leitfähig. Unterhalb des Mantels liegt ein Kern aus Si und Fe mit etwa einer Erdmasse.

Uranus besitzt im Gegensatz zu Jupiter, Saturn und Neptun keine innere

Wärmequelle.



Mein Wissen rund um Big Data und SAP möchte ich sinnvoll einsetzen. Bin ich bei euch richtig, E.ON?

Lieber Herr Bennett, mit Ihren Fachkenntnissen können Sie bei uns viel bewegen.

Bringen Sie Ihr Know-how in zukunftsweisende Projekte und Applikationen ein: Ob bei der energetischen Vernetzung von Smart Homes, der Steuerung virtueller Kraftwerke oder der Realisierung anspruchsvoller Logistik-Konzepte – der Energiesektor bietet vielfältige Herausforderungen für IT-Consultants, -Architekten und -Projektmanager. Entfalten Sie Ihre Kompetenz und geben Sie Ihrer Karriere neue Impulse.

Ihre Energie gestaltet Zukunft.

top ARBEITGEBER DEUTSCHLAND 2015
CERTIFIED EXCELLENCE IN EMPLOYEE CONDITIONS

e.on

www.eon-karriere.com



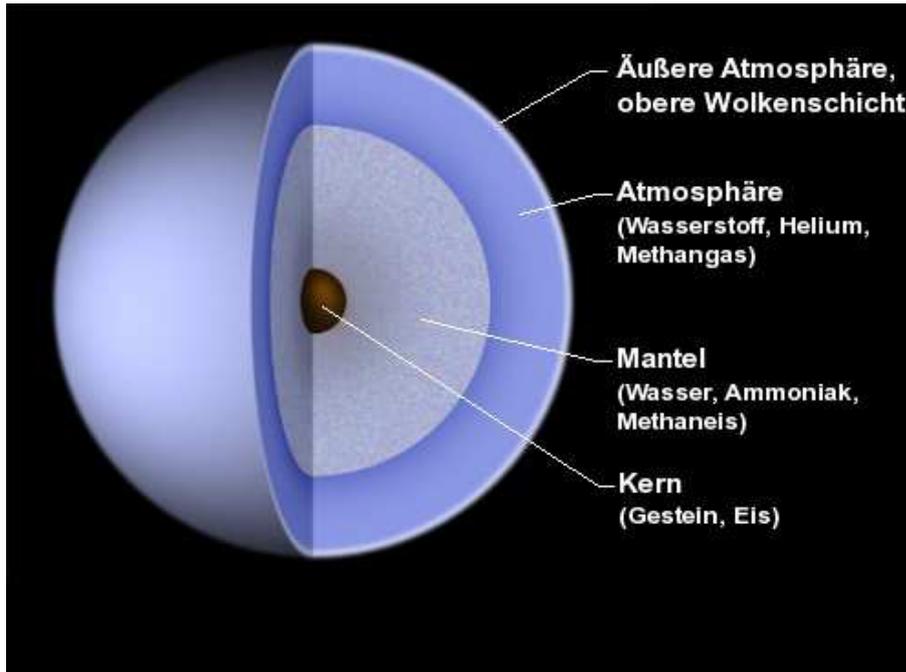


Abbildung 6.24: Innerer Aufbau des Planeten Uranus. NASA.

Seine stark geneigte Rotationsachse (98 Grad) lässt sich durch einen Einschlag in der Frühphase des Planeten erklären, ev. ging dabei auch ein Großteil der inneren Wärme verloren. Das sehr dunkle Ringsystem des Uranus wurde erst 1977 durch eine Sternbedeckung gefunden.

Neptun (Abb. 6.25) ist zwar vom Durchmesser her etwas kleiner als Uranus (50.000 km), besitzt aber infolge einer höheren Dichte ($1,64 \text{ g/cm}^3$) 17 Erdmassen. Neptuns blaue Farbe wird wie bei Uranus durch Absorption des Sonnenlichtes von Methan verursacht. Ähnlich wie Uranus kann Neptun als Eisriesen bezeichnet werden. Der den Kern umgebende Mantel aus Wasser, Ammoniak, Methan und Fels und hat etwa 10- bis 15-fache Erdmasse. Neptun strahlt das 2,7-Fache der Energie ab, die er von der Sonneneinstrahlung absorbiert. Das Magnetfeld hat die Form eines Quadrupols und ist sehr schwach. Weiters besitzt Neptun ein dunkles Ringsystem.

Uranus und Neptun werden auch als Eisriesen bezeichnet. Sie besitzen einen ausgedehnten Mantel aus Wassereis, ev. sogar einen Ozean.

Für die Astrobiologie interessant: man findet bei beiden Planeten Wasser und weitere Moleküle, die für Leben wichtig sind. Das Problem ist aber die Bildung von Biopolymeren, also Molekülen wie Proteinen oder Nukleinsäuren.

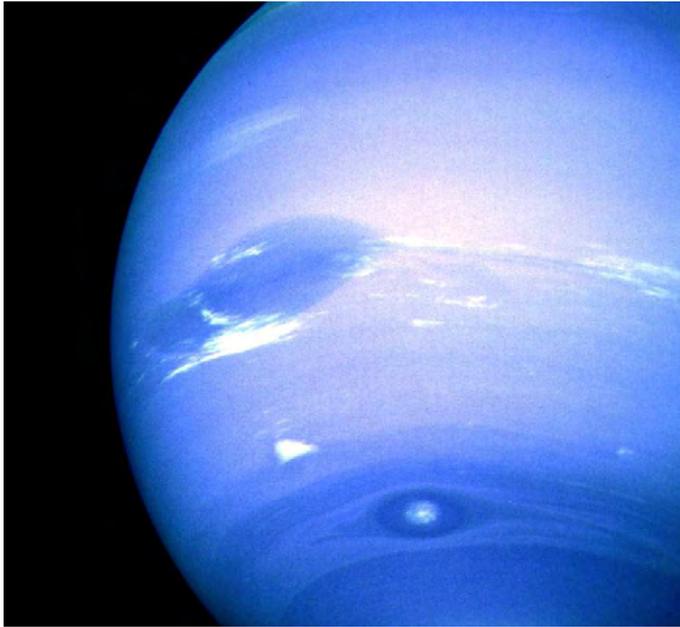


Abbildung 6.25: Details in der Neptunatmosphäre; großer dunkler Fleck, und weiße Wolken, Scooters. NASA.

Diese könnten bei den hohen Drücken nicht entstehen oder würden schnell wieder zerbrechen.

6.5 Die Monde der Planeten

6.5.1 Die Monde der terrestrischen Planeten

Von den terrestrischen Planeten besitzt nur die Erde einen Mond und Mars winzige Monde, Phobos und Deimos.

Erdmond: Im Vergleich zur Erde ist unser Mond relativ groß, man spricht manchmal auch vom Doppelplaneten Erde-Mond. Der Monddurchmesser beträgt 3476 km. Unser Mond ist vor mehr als 4,5 Milliarden Jahren durch eine Kollision der jungen Erde mit einem etwa marsgroßen Himmelskörper entstanden → Zusammensetzung des Mondgesteins ist ähnlich den Gesteinen der Erdkruste. Die mittlere Dichte beträgt $3,34 \text{ g/cm}^3$. Der Mond besitzt keine eigene Atmosphäre und kein Magnetfeld, seine Rotation ist an seine Umlaufdauer (27,32 Tage) um die Erde 1:1 gekoppelt, d.h. er wendet uns stets dieselbe Seite zu.

Wegen der fehlenden Atmosphäre gibt es extreme Temperaturgegensätze zwischen Tag und Nacht.

- Dort wo die Sonne hin scheint, beträgt die Temperatur etwa 130 Grad,

- dort wo Nacht ist liegt sie bei -160 Grad.

Der Mond übt Gezeitenkräfte auf die Erde aus und wegen der Gesamtdrehimpulserhaltung entfernt er sich langsam von der Erde:

Gezeitenwirkung des Mondes: Erdrotation verlangsamt sich um 1 s in 100.000 Jahren,

Bahndrehimpuls des Mondes nimmt zu, er entfernt sich von der Erde, um 3,8 cm pro Jahr. Dies wurde mit einem auf dem Mond zurückgelassen Reflektor exakt bestimmt (Abb. 6.26).

Endzustand: in etwa 5 Mrd. Jahren erreicht; Mond ist dann 560.000 km von der Erde entfernt; Umlaufperiode des Mondes beträgt dann 48 Tage = eine Erdrotation zu diesem Zeitpunkt. Mond = geostationärer Satellit.

Durch die langsame Rotation verliert die Erde ihr Magnetfeld → kein Schutz vor geladenen Teilchen.

Analysen von Mondgesteinen zeigen, dass der Mond früher ein Magnetfeld hatte, d.h. der Kern muss flüssig gewesen sein.

Es gibt Hinweise für gewisse Wasservorkommen auf dem Mond. Z.B. fand die indische Sonde Chandrayaan-1 in der Nähe des Nordpols Wasservorkommen, die bis zu 600 Mio. Tonnen betragen könnten (Eis). Insgesamt nehmen die dunklen Tiefebenen, lat. Maria, etwa 16,9 % der Mondoberfläche ein, auf der Vorderseite gibt es deutlich mehr Maria.

The advertisement features a green background with white binary code (0s and 1s) scattered across it. On the left, a white sticky note contains handwritten text. On the right, a white box contains the program details. At the bottom, there is a dark blue bar with the Allianz logo and name.

1 Ziel:
*Du entwickelst unsere Zukunft.
Wir Deine.*

IT-Traineeprogramm

In 18 Monaten durchläufst Du 3 verschiedene Stationen, wirst von einer Führungskraft als Mentor betreut und profitierst von einem breiten Seminarangebot. Anschließend kannst Du eine Fach- oder Führungslaufbahn einschlagen.

www.perspektiven.allianz.de

Allianz Karriere

Allianz



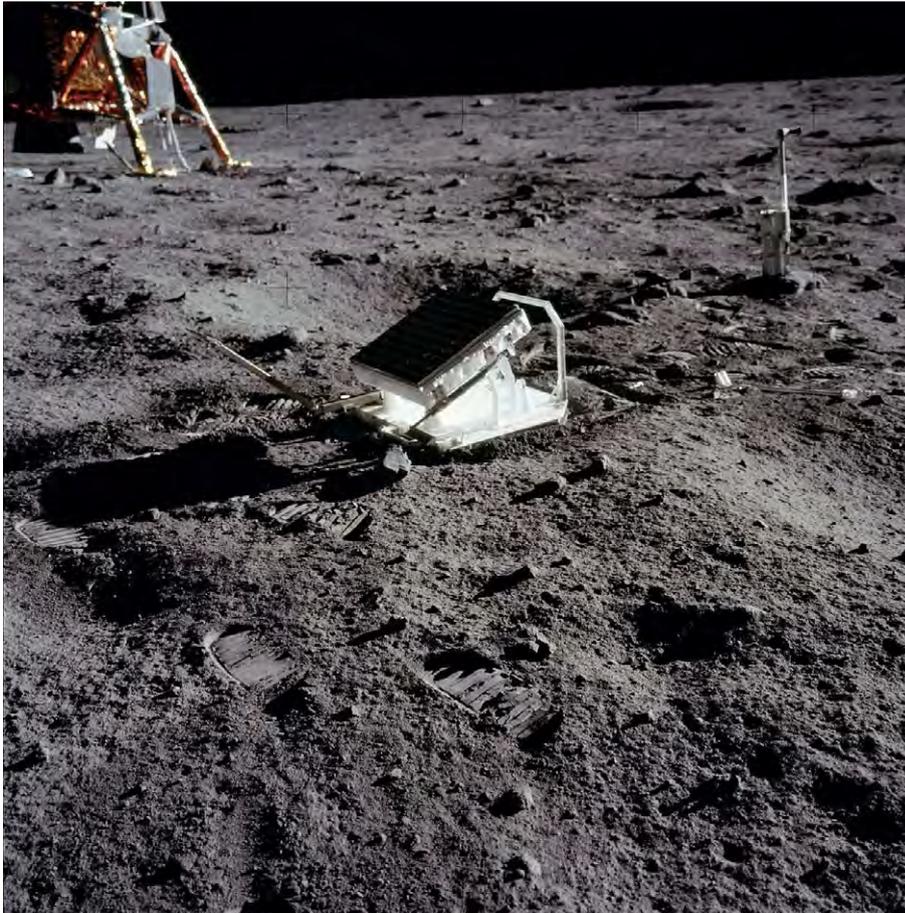


Abbildung 6.26: Der von Apollo 11 im Jahre 1969 auf dem Mond zurückgelassene Reflektor zur exakten Bestimmung der Entfernung Erde–Mond. NASA.

Der Mond wird von Zugvögeln und anderen Lebewesen (nachtaktive Insekten) zur Navigation während der Nacht verwendet.

Leben auf dem Mond scheint ausgeschlossen.

Marsmonde: Die Marsmonde Phobos und Deimos sind sehr klein. Deimos misst nur $15 \times 12,2 \times 10,4$ km und bewegt sich auf einer Kreisbahn von 23.459 km Radius in nur 1,262 Tagen um Mars. Er wurde 1877 von Hall entdeckt und ist von der Erde aus gesehen nur 53 Bogensekunden von Mars entfernt, wird also von diesem überstrahlt.

In Abbildung 6.27 sieht man einen Größenvergleich der beiden Monde. Phobos umläuft Mars in weniger als 6000 km Entfernung von dessen Oberfläche in nur 0,31 Tagen. Er ist größer als Deimos ($27 \times 22 \times 19$ km). Pro Jahrhundert nähert sich Phobos um 1,8 Meter dem Mars und würde so in 50 Mio. Jahren

abstürzen; er wird aber vorher durch die Gezeitenkräfte des Mars auseinander gerissen und aus seinem Material wird sich ein Ring um Mars bilden.

Phobos verursacht bei jedem Umlauf eine partielle Sonnenfinsternis auf dem Mars, er ist zu klein um die Sonne vollständig zu bedecken.

Beide Marsmonde dürften eingefangene Asteroiden sein. Leben ist auf beiden ausgeschlossen.

6.5.2 Die Monde des Jupiter

Die großen Monde des Jupiter haben sich durch Akkretion in der Gasscheibe gebildet, aus der auch Jupiter entstand - ähnlich wie bei den anderen Riesenplaneten. Die kleinen Monde sind eingefangene Asteroiden.

Die vier größten Jupitermonde wurden von Galilei entdeckt und werden als Galilei'sche Monde bezeichnet.

Tabelle 6.6: Daten der Galilei'sche Monde

Größe	Io	Europa	Ganymed	Kallisto	Erdmond
Durchm. (km)	3643	3121	5268	4820	3476
Masse (10^{22} kg)	8,94	4,88	14,82	10,76	7,34
Dichte (g/cm^3)	3,56	3,01	1,936	1,851	3,345
Albedo	0,61	0,64	0,43	0,2	0,12
Bahnradius (km)	421.600	670.900	1.070.600	1.883.000	384.400
Umlaufzeit (Tage)	1,76	3,55	7,16	16,69	27,32

Man kann sie bereits mit einem Fernglas um Jupiter herum sehen.




Sind Sie bereit für IBM?

Lieben Sie Herausforderungen?

Möchten Sie innovative Lösungen für führende Unternehmen entwickeln?

Wollen Sie dem weltweit größten Beratungsunternehmen angehören?

Entdecken Sie Ihre vielfältigen Karrieremöglichkeiten. IBM ist auf der Suche nach den besten und hellsten Köpfen. Nach Menschen, die Möglichkeiten entdecken, wo andere nur Probleme sehen. Nach Mitarbeitern, die auch Mitgestalter sein wollen. Wir suchen diese Menschen aus dem Anspruch heraus, die Welt täglich ein bisschen besser zu machen. Sie sind ideengetrieben, zukunftsorientiert und möchten schon heute an den Lösungen von morgen arbeiten? Dann sollten wir uns kennenlernen!

Machen wir den Planeten ein bisschen smarter.
ibm.com/start/de

Alle Bezeichnungen, die in der männlichen Sprachform verwendet werden, schließen sowohl Frauen als auch Männer ein. IBM schafft ein offenes und tolerantes Arbeitsklima und ist stolz darauf, ein Arbeitgeber zu sein, der für Chancengleichheit steht. IBM, das IBM Logo und ibm.com sind Marken oder einget. Marken der International Business Machines Corp. in den Vereinigten Staaten und/oder anderen Ländern. Andere Namen von Firmen, Produkten und Dienstleistungen können Marken oder einget. Marken ihrer jeweiligen Inhaber sein. © 2010 IBM Corp. Alle Rechte vorbehalten.



Abbildung 6.27: Größenvergleich der beiden Marsmonde Phobos (oben) und Deimos. NASA.

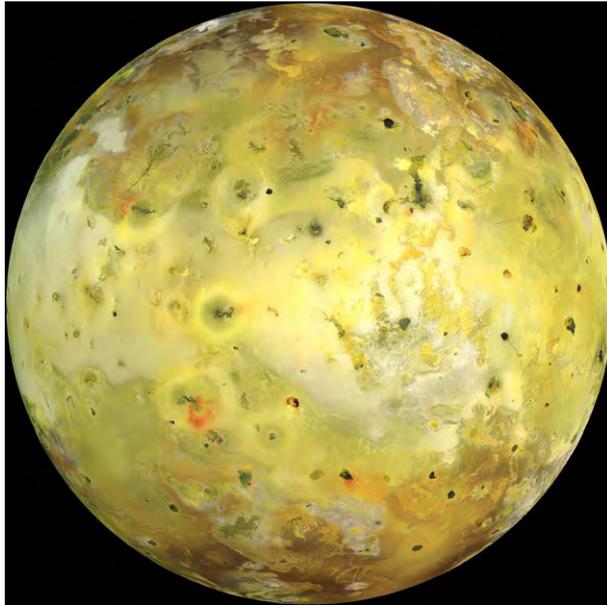


Abbildung 6.28: Jupitermond Io, der vulkanisch aktivste Körper im Sonnensystem. NASA.

In Tabelle 6.6 sind die wichtigsten Daten dieser Monde gegeben.

Io: durch starke Gezeitenkräfte Jupiters und den dadurch verursachten Vulkanismus eine junge Oberfläche, Vulkanismus (Abb. 6.28). Io ist der vulkanisch aktivster Körper des Sonnensystems. Bei den Ausbrüchen werden Schwefel und Schwefeldioxid, SO_2 freigesetzt. Ein Teil dieser Gase entweicht und bildet einen Plasmatorus entlang der Umlaufbahn, ein anderer Teil bildet eine extrem dünne Atmosphäre. Der Schwefel bewirkt die gelbe Färbung, Siliziumdioxid bildet weißen Frost. Die Gezeitenheizung bewirkt ein heißes Inneres von Io. Dies entsteht, weil die Umlaufbahn des Io um Jupiter elliptisch ist. Die Elliptizität der Umlaufbahn des Io lässt sich durch Resonanzeffekt mit Umlaufdauern von anderen Monden erklären: 4 Umläufe der Io entsprechen 2 Umläufe der Europa und 1 Umlauf des Ganymed. → Bahnresonanz.

Europa: die Oberfläche ist von Eis bedeckt. Man beobachtet zahlreiche Risse, was auf ein heißes Inneres deutet (Abb. 6.29). Es gibt eine Eiskruste von 5 bis 25 km Dicke darunter eine Zone flüssigen Wassers (durch Gezeitenheizung) oder zumindest konvektiven Eises (Abb. 6.30). Das Wasser könnte mehr als doppelt soviel wie alle irdischen Ozeane zusammen ausmachen. Ein weiterer Hinweis für einen Ozean unterhalb der Eiskruste ist das entdeckte Magnetfeld Europas welches sich mit der Rotation des Jupiter ändert. Zur Erklärung: es muss eine flüssige Schicht aus leitendem Material in Europa geben, im Ozean sind Salze gelöst. Die Raumsonde Galileo (1989 gestartet, 2003 Eintauchen in die Jupiteratmosphäre) hat auf der Oberfläche von Europa Salzablagerungen

gefunden. Auf Europa könnte es also Leben geben.

Ganymed: größter Mond des Sonnensystems. Dunkle mit Kratern bedeckte Oberfläche, aber auch helle Punkte wo erst vor kurzem flüssiges Wasser ausgetreten sein könnte. Eventuell gibt es auch hier einen Ozean aus flüssigem Wasser. Ganymed ist zwar weiter von Jupiter entfernt, was eine geringere Gezeitenwärmerung bedeutet, andererseits aber größer als die anderen Galilei'schen Monde und besitzt daher mehr innere Wärme. Der Ozean müsste aber etwa 150 km unterhalb der Oberfläche liegen.

Callisto: mit Kratern bedeckter Eisball. Er besitzt wie Europa und Ganymed ein Magnetfeld, was ebenfalls auf einen salzigen Ozean im Inneren deutet. Eventuell dämmt die dunkle Oberfläche des Callisto ein zu rasches Auskühlen.

In Abbildung 6.31 ist ein Vergleich der vier Galilei'schen Monde mit Jupiter gezeigt.

Der Jupitermond Europa ist für die Astrobiologie wegen des vermuteten unter einer Eisschicht liegenden flüssigen Wasserozeans interessant. Derartige Zonen aus flüssigem salzhaltigen Wasser werden auch bei den anderen Galilei'schen Monden vermutet.

JETZT BEWERBUNG AUFPOLIEREN.

Bereiten Sie sich optimal auf den Bewerbungsprozess vor und geben Sie Ihrem Profil den letzten Schliff. Nutzen Sie unsere Tipps, Persönlichkeitstests und kostenlosen E-Books zu Studium, Business und Karriere.



VORWEG GEHEN





Abbildung 6.29: Jupitermond Europa; ein 1,8 mal 4,8 km großes Gebiet. NASA.

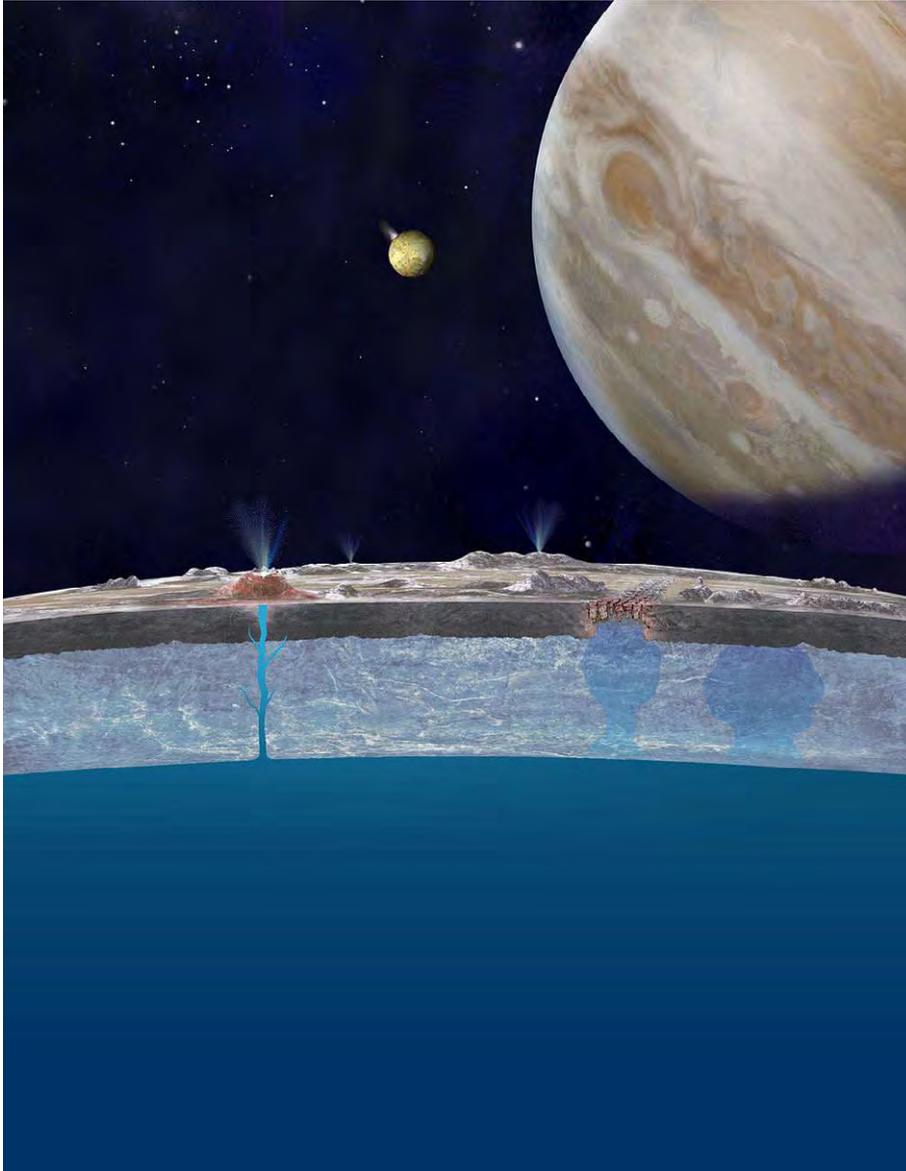


Abbildung 6.30: Jupitermond Europa; ein Ozean unterhalb der Eiskruste? NASA.



Abbildung 6.31: Photomontage: die vier Galilei'schen Monde und Jupiter. NASA.

© 2013 Accenture. All rights reserved.

be > your degree

Bring your talent and passion to a global organization at the forefront of business, technology and innovation. Discover how great you can be.

Visit accenture.com/bookboon

Be greater than.
consulting | technology | outsourcing

accenture
High performance. Delivered.



6.5.3 Saturnmonde



Abbildung 6.32: Größenvergleich Erdmond-Erde-Titan. NASA.

Titan

Der zweitgrößte Mond des Sonnensystems ist Titan: Durchmesser 5150 km, große Bahnhalbachse 1.221.830 km, Umlaufdauer um Saturn 15,945 Tage mittlere Dichte $1,88 \text{ g/cm}^3$, Oberflächentemperatur 94 K. Dieser größte Mond des Saturns wurde im Jahre 1655 von Chr. Huygens entdeckt. Titan ist um 50 % größer als der Erdmond (Abb. 6.32) und ist der einzige Satellit im Sonnensystem, der eine extrem dichte Atmosphäre besitzt.

Der Druck an der Oberfläche beträgt 1,5 bar. Die Atmosphäre enthält 98,4 % Stickstoff und 1,6 % Ar sowie Methan. Die Atmosphäre ist etwa 10-mal so weit ausgedehnt (infolge Titans geringerer Schwerkraft) wie die der Erde. Die Grenze der Troposphäre liegt bei 44 km Höhe. Die Stickstoffatmosphäre dürfte aus entgastem NH_3 entstanden sein, welches durch UV-Strahlung der Sonne zerlegt wurde und aus der H entwichen ist. Möglicherweise spielte auch das frühe Bombardement eine Rolle, die Oberfläche aus Ammoniak eis wurde zertrümmert und Stickstoff ist ausgetreten.

Die Atmosphäre sowie die Oberfläche Titans wurden mit einer von der Cassini-Sonde abgetrennten Landeeinheit, Huygens untersucht. Diese Sonde ist im Jänner 2005 weich auf der Oberfläche Titans gelandet. Die Huygens-Sonde hat zudem Mengenverhältnisse der Isotope von N und C gemessen. Das Isotopenverhältnis von ^{14}N zu ^{15}N legt nahe, dass ursprünglich die fünffache Menge an Stickstoff vorhanden war und das etwas leichtere ^{14}N überwiegend in das Weltall diffundierte. Das Mengenverhältnis von ^{12}C zu ^{13}C lässt darauf schließen, dass Methan in der Gashölle kontinuierlich neu gebildet wird. In Titans

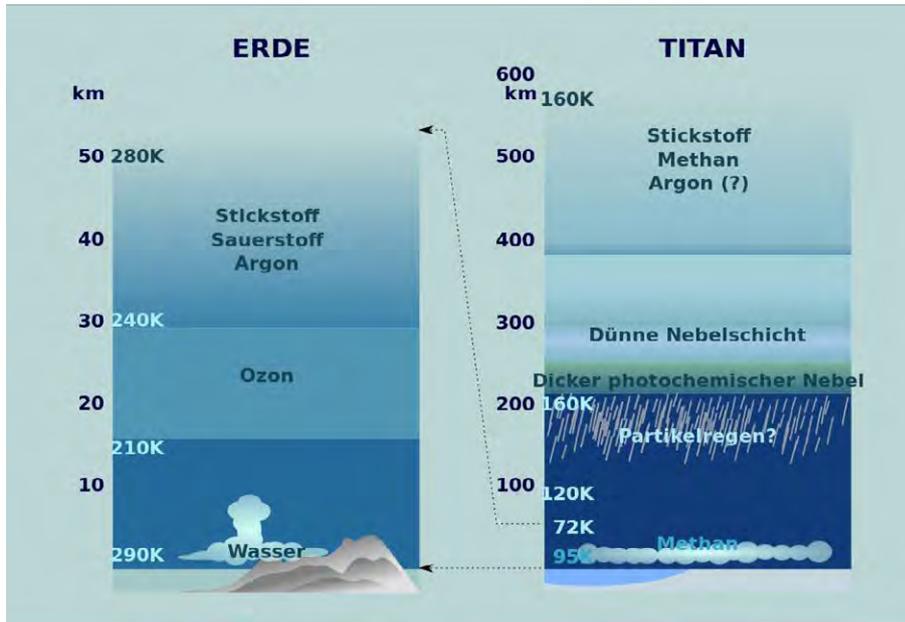


Abbildung 6.33: Vergleich der Atmosphären der Erde und Titans. NASA.

Atmosphäre finden sich Spuren von mindestens einem Dutzend anderer organischer Verbindungen, unter anderem Ethan, Propan, Ethin und Cyanwasserstoff. Helium, Kohlenstoffdioxid und Wasser wurden ebenfalls gefunden, jedoch praktisch kein freier Sauerstoff.

McKinsey & Company

Start your engines.

McKinsey sucht Ingenieure. Nutzen Sie Ihr Potenzial und starten Sie durch.

Mehr auf mckinsey.de/ingenieure



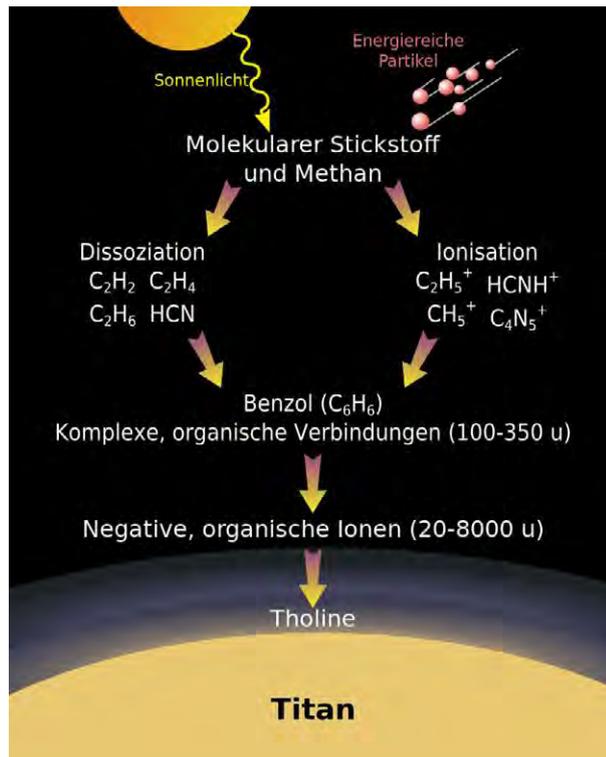


Abbildung 6.34: Reaktionen in Titans Atmosphäre. NASA.

Titan besitzt kein Magnetfeld, seine Atmosphäre wird daher von geladenen Teilchen des

- Sonnenwindes,
- der kosmischen Strahlung

beeinflusst. Die Stickstoffmoleküle und Methanmoleküle werden in Ionen und freie Radikale aufgespalten (Abb. 6.34) und es entstehen komplexe Stickstoff- und Kohlenstoff-Verbindungen, darunter auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Die schwereren Moleküle sinken langsam nach unten und bilden Nebel, sodass Titan orangefarben erscheint. Für diese Verbindungen hat man die Bezeichnung Tholine eingeführt.

Die glatte Oberfläche enthält um die Polregionen auch Seen aus Methan, ebenso gibt es Flüsse. Die größten Seen auf Titan sind mit dem Ontariosee (Fläche etwa 100.000 km^2) vergleichbar. Neben Methan ist auch flüssiges Ethan vorhanden.

Unter einer etwa 80 km dicken Eiskruste könnte sich ein Ozean aus Wasser befinden (mit Ammoniak vermischt). Der Aufbau Titans ist in Abb. 6.35 gezeigt.

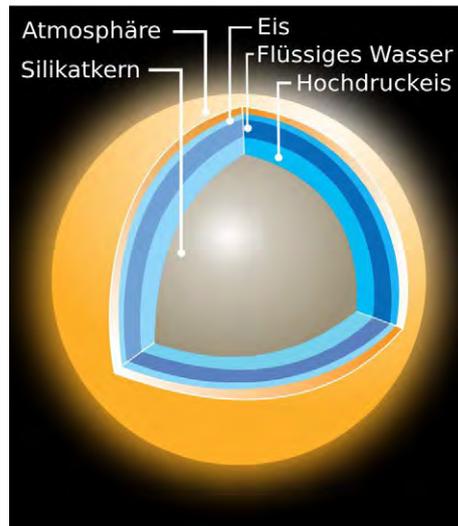


Abbildung 6.35: Der Aufbau Titans. NASA.

Leben auf Titan? Phospholipide (diese findet man in Zellmembranen auf der Erde) sowie Verbindungen, die in Wasser gelöst sind, findet man bei den tiefen Temperaturen an Titans Oberfläche (-179 Grad C) nur in fest gefrorenem Zustand. Leben auf Titan, falls überhaupt möglich, müsste daher anders als auf der Erde organisiert sein. Computersimulationen zeigen, dass sich Acrylonitril (ein Kohlenwasserstoff) in der Atmosphäre des Titans bilden kann (Skizze Abb. 6.36).

Die Formel lautet:



Diese Verbindung besitzt die Fähigkeit sich zu Strukturen zusammenzuschließen, ähnlich den Zellmembranen. Diese Acrylonitrile bilden hohle kugelförmige Körper, Azatosome. Diese verhalten sich ähnlich den Liposomen auf der Erde. Liposome setzen sich aus einem hydrophilen Kopf und zwei hydrophoben Kohlenwasserstoffschwänzen zusammen. Sie sind somit amphiphil (Abb. 6.37). Die unterschiedlichen möglichen Strukturen der Phospholipide in Wasser sind in Abbildung 6.38 dargestellt.

Deshalb könnten sie Leben in den Ethan-Methan-Seen Titans ermöglichen.

Enceladus

Der sechstgrößte Mond des Saturn, er wurde im August 1789 von W. Herschel entdeckt. Die große Bahnhalbachse beträgt 237.948 km, Periapsis (Saturnnähe) 236.830 km, Apoapsis (Saturnferne) 239.066 km. Die Umlaufzeit ist 1,37 Tage, der mittlere Durchmesser beträgt 504 km (513×502×496 km). Die Masse liegt bei $1,8 \times 10^{20}$ kg, die Oberfläche beträgt fast 800.000 km² (das ist etwa die Fläche

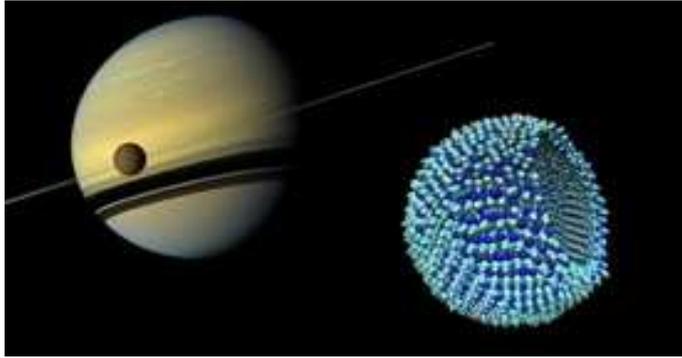


Abbildung 6.36: Acrylonitrile bilden sich auf Saturns größtem Mond Titan. NASA/JPL/Caltech/SSI.

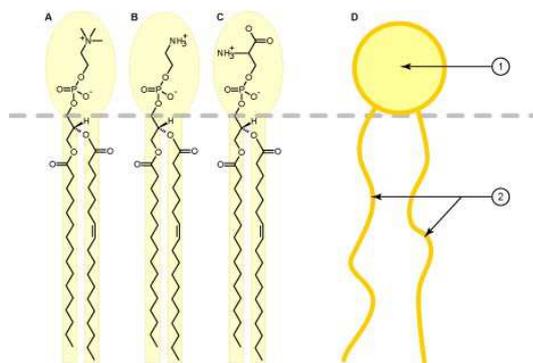


Abbildung 6.37: Phospholipide.

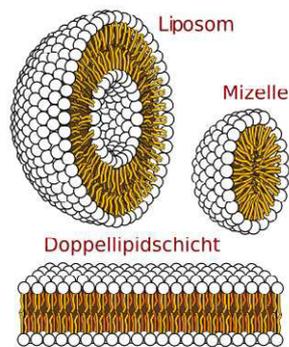


Abbildung 6.38: Unterschiedliche Strukturen die Phospholipide in wässrigen Lösungen annehmen können: Liposom, Mizelle, und Doppellipidschicht (Hauptbestandteil der Biomembran).

Frankreichs und Großbritanniens zusammen). Die Oberflächentemperatur liegt zwischen -198 und -128 Grad C bis -240 Grad C.

Enceladus (Abb. 6.39) befindet sich in einer 2:1 Bahnresonanz mit dem Saturnmond Dione sowie einer fast 3:2 Resonanz mit dem Mond Mimas und einer 4:3 Bahnresonanz mit Thetys.

Der äußerste Ring Saturns ist der E-Ring (Abb. 6.42). Die Ringpartikeln dieses breiten diffusen Rings stammen von Enceladus. Auf dem Südpol des Enceladus gibt es starke kryovulkanische Aktivität. Teilchen können der niedrigen Schwerkraft des Enceladus entkommen.



IELTS  UNIVERSITY OF CAMBRIDGE  **TOEFL iBT**

GEWINNE EINEN SPRACHKURS IN MIAMI MIT EXAMENSVORBEREITUNG

Bereite Dich mit EF Sprachreisen auf ein international anerkanntes Sprachzertifikat wie TOEFL, Cambridge oder IELTS vor.

www.ef.com/bookboon

JETZT TEILNEHMEN!



Download free eBooks at bookboon.com



Click on the ad to read more

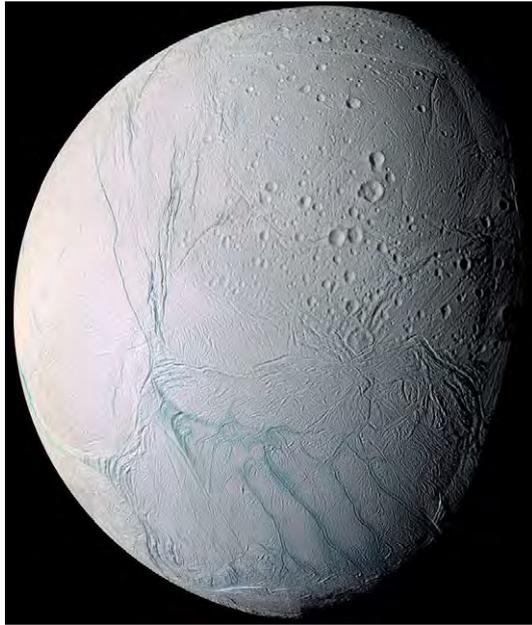


Abbildung 6.39: Saturnmond Enceladus. NASA/Cassini.

Eine andere Quelle des E-Rings sind durch auf Enceladus einfallende Mikrometeoriten herausgeschlagene Teilchen.

Nahe dem Südpol befindet sich eine warme Quelle. Gezeitenkräfte bewirken eine Erwärmung des Inneren. Durch gelösten Ammoniak ist das Innere flüssig. Man hat eine Antikorrelation zwischen der Ausstoßrate der Teilchen und der Entfernung des Enceladus vom Saturn festgestellt:

- Saturnnähe: weniger Ausstöße, Mond wird zusammengestaucht, weniger Teilchen können durch die Spalten entweichen.
- Saturnferne: 3-4 facher Ausstoß; Ausstoßspalten vergrößern sich.

Die Raumsonde Cassini hat den Mond im Jahre 2005 in nur 175 km Entfernung überflogen und hausgroße Eisbrocken an der Oberfläche gefunden.

Leben auf Enceladus? In den Kammern des Südpols könnte sich flüssiges Wasser befinden. Im März 2008 hat Cassini Enceladus in nur 23 km Entfernung überflogen. Mit dem Cosmic Dust Analyzer und dem Ion Neutral Mass Spectrometer wurden Wasserdampf, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid nachgewiesen, sowie organische Materialien (bei einer Sternbedeckung). Die gemessene Partikeldichte war 20-mal höher als erwartet. Es gibt also auf Enceladus Wasser, Wärme und organisches Material. (Abb. 6.40).

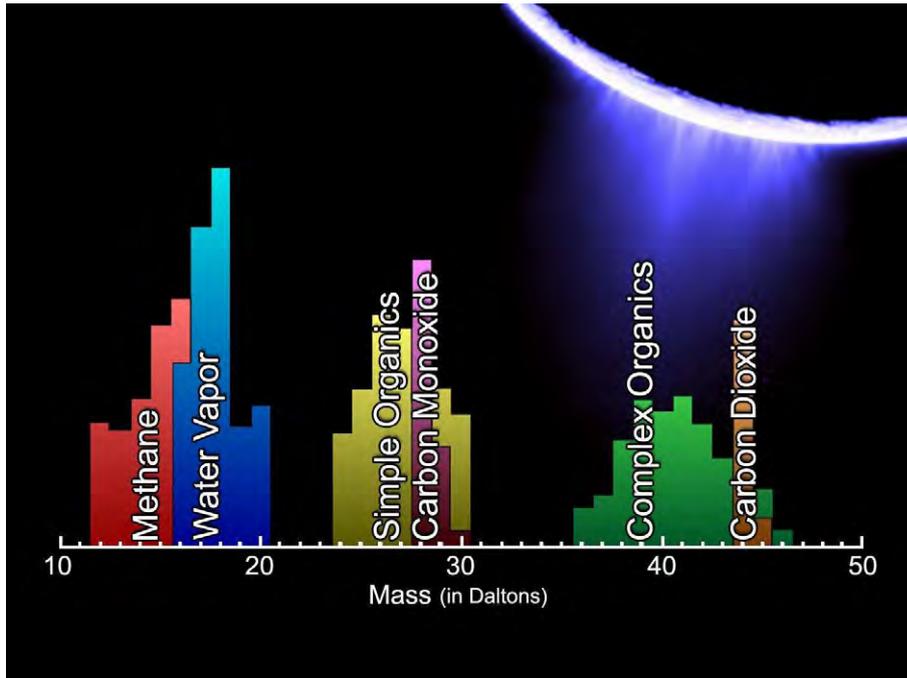


Abbildung 6.40: Vulkanische Aktivität nahe des Südpols von Enceladus und Zusammensetzung des ausgestoßenen Materials (Ion and Neutral Mass Spectrometer). NASA/Cassini.



Abbildung 6.41: Saturns E-Ring mit Ausstoß von Enceladus. NASA/Cassini.

Die beiden Saturnmonde Titan und Enceladus sind interessante Kandidaten für Leben im Sonnensystem.

**START UP - MEHR ALS EIN
TRAINEE-PROGRAMM.
JETZT BEWERBEN!**

Die Antwort auf fast alles.
Antworten auf Ihre Karrierefragen finden
Sie hier: www.telekom.com/absolventen

Jetzt bewerben!

T . . .

ERLEBEN, WAS VERBINDET.



6.5.4 Neptunmond Triton

Größter Mond Neptuns, Durchmesser 2707 km. Große Halbachse 354.759 km, fast nahezu kreisförmige Umlaufbahn, Umlaufzeit 5,87 Tage, erreicht eine scheinbare Helligkeit von 13,7 Größenklassen, die mittlere Dichte beträgt $2,06 \text{ g cm}^{-3}$, die Masse $2,147 \times 10^{22} \text{ kg}$. Er wurde erst im Jahre 1846 entdeckt. Triton umläuft Neptun retrograd, ist also ein eingefangenes Objekt des Kuipergürtels⁵. Er ist wegen seiner Nähe zu Neptun sehr starken Gezeitenkräften ausgesetzt und wird in den nächsten 100 Mio. Jahren die Roche-Grenze passieren und auseinanderbrechen und so ein spektakuläres Ringsystem bilden.

Die geringe Oberflächentemperatur von -237 Grad lässt eine dünne Atmosphäre zu, die zu 99 % aus Stickstoff besteht, 1% Methan und Spuren von Kohlenmonoxid. Der Druck entspricht etwa 1/70.000 des Drucks auf der Erdoberfläche. Es gibt Geysire, und das Material wird über die Oberfläche verteilt. Methan wandelt sich durch die Sonneneinstrahlung in organische Verbindungen um, was als dunkle Ablagerungen zu erkennen ist. Ähnlich wie der Zwergplanet Pluto ist Tritons Oberfläche zu 55 % mit gefrorenem Stickstoff, 15-35 % mit Wassereis und zu 10-20 % mit Trockeneis bedeckt.

Das Innere Tritons ist differenziert:

- Kern aus Silikaten
- eventuell ammoniakreicher Ozean; die dazu nötige Wärme stammt durch Gezeitenheizung und radioaktivem Zerfall. Der Ozean dürfte eine Temperatur von -90 Grad C haben.

6.6 Kometen

Kometen sind wie die Asteroiden Objekte, die sich seit der Bildung des Sonnensystems nicht mehr verändert haben. Aus diesem Grund ist ihre Untersuchung besonders wichtig.

6.6.1 Einteilung der Kometen

Bezüglich ihrer Umlaufzeiten kann man Kometen einteilen in aperiodische Kometen, sie befinden sich auf einer parabolischen oder hyperbolischen Bahn (meist ist die Bahn noch nicht genau genug bekannt) und periodische Kometen. Bei diesen kennt man die Bahnelemente und kann ihre Wiederkehr vorhersagen.

Langperiodische Kometen haben Umlaufzeiten > 200 Jahre, kommen von der Oort'schen Wolke⁶, ihre Bahnneigungen sind statistisch verteilt. Sie umlaufen die Sonne pro- und retrograd.

⁵Ein in der Ekliptik liegender Gürtel von vielen Asteroiden und auch Zwergplaneten, das bekannteste Objekt ist Pluto; befindet sich knapp außerhalb der Neptunumlaufbahn

⁶Eine Wolke aus vielen Milliarden kometenartigen Körpern die das Sonnensystem an der Außengrenze umhüllt

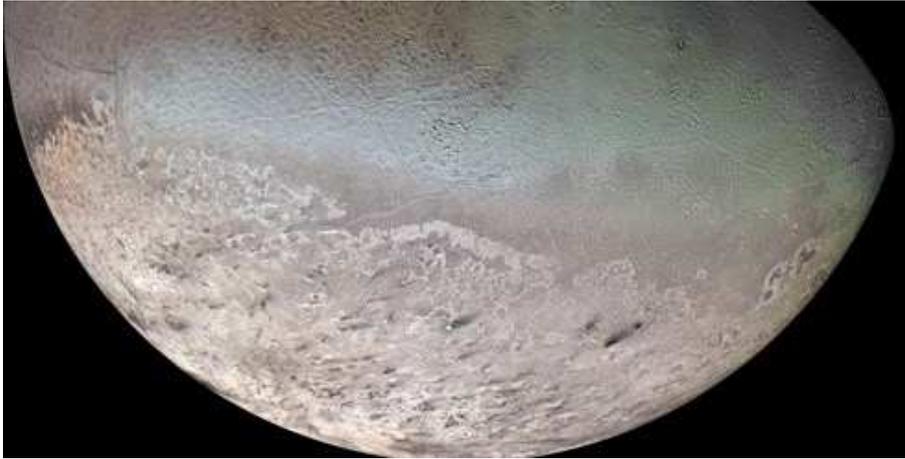


Abbildung 6.42: Triton, Aufnahme Voyager 2, 1989. Die rosafarbenen Ablagerungen bilden eine mächtige Polkappe (Südpol). Man erkennt die dunklen organischen Ablagerungen. NASA.

Kurzperiodische Kometen haben Umlaufzeiten < 200 Jahre und stammen aus dem Kuipergürtel. Sie bewegen sich meist prograd und sind selten mehr als 20 Grad von der Ekliptik entfernt.

Jupiterfamilie: Familie von Kometen deren größter Sonnenabstand in der Nähe der Jupiterbahn (5...6 AE) liegt. Ihre ursprüngliche Bahn wurde durch die starke Anziehung Jupiters geändert.



Machen Sie die Zukunft sichtbar

Kleine Chips, große Wirkung: Heute schon sorgt in rund der Hälfte aller Pässe und Ausweise weltweit ein Infineon Sicherheitscontroller für den Schutz ihrer Daten. Gleichzeitig sind unsere Halbleiterlösungen der Schlüssel zur Sicherheit von übermorgen. So machen wir die Zukunft sichtbar.

Was wir dafür brauchen? Ihre Leidenschaft, Kompetenz und frische Ideen. Kommen Sie zu uns ins Team! Freuen Sie sich auf Raum für Kreativität und Praxiserfahrung mit neuester Technologie. Egal ob Praktikum, Studienjob oder Abschlussarbeit: Bei uns nehmen Sie Ihre Zukunft in die Hand.

Für Studierende und Absolventen (w/m):

- › Ingenieurwissenschaften
- › Naturwissenschaften
- › Informatik
- › Wirtschaftswissenschaften



www.infineon.com/karriere



charta der vielfalt





Abbildung 6.43: Detailaufnahme des Kerns des Kometen Tschurjumow-Gerassimenko. Oben rechts sind einige organische Verbindungen skizziert, die Kometen durch Einstürze auf die Erde gebracht haben könnten.

Pro Jahr werden etwa 20 Kometen entdeckt. Kometen werden seit 1985 mit Raumsonden untersucht: 1986 erfolgte mit der Sonde Giotto der Vorbeiflug am Kometen Halley in nur 600 km Entfernung, 2014 landete Philae als Teil der Rosetta-Mission erfolgreich auf dem Kometen Tschurjumow-Gersassimenko.

6.6.2 Aufbau der Kometen

Kometen bestehen aus

- Kern: Eis (Wasser, gefrorenes Kohlendioxid, Methan, Ammoniak) mit Fels vermischt, „schmutziger Schneeball Modell“. Durchmesser der Kerne zwischen 1 und 100 km.
- Koma: sobald sich ein Komet der Sonne nähert setzt ab einer Entfernung von 5 AE die Bildung einer Koma ein, an 10-15 % der Kometenoberfläche kommt es zur Sublimation. Die Koma vergrößert sich durch Aufheizung, Ionisation und kann noch von einem Halo aus Wasserstoff umgeben sein, der bis 150 Mio. km reicht.
- Schweif. Der schmal langgestreckte Typ-I-Schweif besteht im wesentlichen aus Molekülonen, Plasmaschweif. Der Strahlungsdruck reicht nicht zur Er-

klärung aus, → Sonnenwind⁷. Der andere Teil ist ein diffuser gekrümmter Typ-II-Schweif, auch Staubschweif genannt. Er wird von Staubteilchen gebildet, auf die der Strahlungsdruck der Sonne wirkt.

Kommen neue Kometen zum ersten Mal in Sonnennähe, dann verlieren sie pro Sekunde zwischen 10 und 50 Tonnen Material. Dieser Massenverlust sinkt dann bei weiteren Sonnenannäherungen bis auf 0,1 Tonnen pro Sekunde.

6.6.3 Bedeutung der Kometen für die Erde

Es gibt mehr als 10.000 Objekte die die Erdbahn kreuzen, etwa 1 % dieser Erdbahnkreuzer sind Kometen, der Rest Asteroiden. Asteroiden zeigen im Gegensatz zu Kometen keine Entgasungsprozesse. Reisende der Transibirischen Eisenbahn berichten von einem hellen Feuerball nahe der Stadt Tunguska in Sibirien. Im Jahre 1978 wurde die These aufgestellt, dass das Tunguska-Ereignis des Jahres 1908 durch ein Fragment des Kometen Encke ausgelöst worden sein könnte.

In der Frühzeit der Erde gab es zahlreiche Kometeneinschläge und es wurden verschiedene Verbindungen auf die Erde gebracht, so z.B. eventuell auch ein großer Teil des Wassers und andere organische Verbindungen. So gesehen könnten Kometen also eine wesentliche Rolle für die Entstehung des Lebens auf der Erde gespielt haben.

Kometeneinschläge wurden auf Jupiter beobachtet. Der Komet Shoemaker Levy wurde 1993 entdeckt. Im Jahre 1992 wurde der Komet durch eine nahe Begegnung mit Jupiter in mehrere Bruchstücke auseinandergerissen, und diese Teile schlugen 1994 auf Jupiter ein. Im Jahre 1846 passierte der Komet Biela sein Perihel und zerbrach in zwei helle Kometen.

6.7 Zwergplaneten

6.7.1 Pluto

Pluto wurde im Jahre 1930 entdeckt und später, als weitere ähnlich große Objekte im Kuipergürtel gefunden wurden, wurde er als Vertreter der Klasse der Zwergplaneten eingestuft. Sein Durchmesser beträgt nur 2370 km, die mittlere Dichte $1,87 \text{ g/cm}^3$. Er besteht aus Gestein und Wassereis. Er besitzt eine sehr dünne Stickstoff-Atmosphäre. Am 14. Juli 2015 flog erstmal eine Raumsonde (New Horizons) in 12.500 km Entfernung an Pluto vorbei und zeigte eine überraschend glatte Oberfläche mit bis zu 3000 m hohen Eisbergen (Abb. 6.44). Ob es im Inneren einen Ozean aus flüssigem Wasser gibt, was den Zwergplaneten für die Suche nach Leben interessant machen würde, ist unbekannt. PlutoNew Horizons

⁷Biermann, 1951

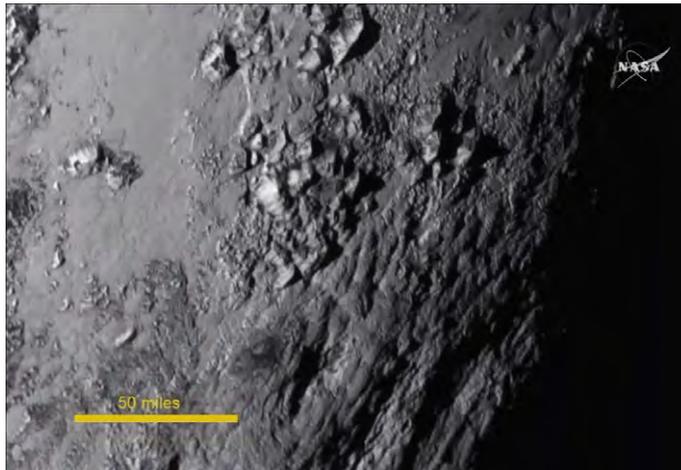


Abbildung 6.44: Detailaufnahme der Oberfläche des Zwergplaneten Pluto. NASA/New Horizons.

6.7.2 Weitere Zwergplaneten

Auch im Hauptgürtel der Asteroiden, zwischen Mars und Jupiter, gibt es einen Zwergplaneten, die Ceres, deren Durchmesser knapp 1000 km beträgt. Weitere Zwergplaneten findet man im Kuipergürtel jenseits der Umlaufbahn des Neptun.

SIEMENS

EIGENVERANTWORTUNG
KREATIVE TEAMPLAYER
NEUGIERDE
OFFENHEIT
INNOVATION ERFINDERGEIST
ENGAGEMENT
PERSPEKTIVEN CHANCEN
ENTSCHLOSSENHEIT
WELTWEITE MÖGLICHKEITEN
WORK-LIFE-BALANCE

Verwirklichen, worauf es ankommt –
mit einer Karriere bei Siemens.

siemens.de/karriere



Kapitel 7

Die Suche nach Exoplaneten

In diesem Kapitel widmen wir uns der Suche nach Planeten außerhalb unseres Sonnensystems. Von der Theorie der Sternentstehung war klar, dass sich Planetensysteme relativ häufig um andere Sterne bilden könnten, der erste Beweis für Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, **Exoplaneten** genannt, geht allerdings auf die 1990er Jahre zurück.

Die Methoden zum Auffinden von Exoplaneten werden auch in [22] beschrieben.

7.1 Exoplaneten um Neutronensterne

Die Entdeckung von Planeten um Neutronensterne wirft viele Fragen auf:

- haben diese Planeten die Supernovaexplosion überlebt?
- sind diese Planeten aus dem ausgestoßenem Material entstanden?

7.1.1 Was sind Neutronensterne

Wie wir bereits besprochen haben, sind Neutronensterne Endprodukte massereicher Sterne, deren Endmasse im Kern etwa 1,4 Sonnenmassen (Chandrasekhar-Grenze) übertrifft. Diese Sterne implodieren zunächst, eine Supernova vom Typ II entsteht. Das Innere des Sterns kollabiert zu extremer Dichte, die Elektronen vereinigen sich mit den Protonen zu Neutronen, es entsteht ein etwa 10-20 km großer Neutronenstern.

Bei Kontraktion: Erhaltung des Drehimpulses sowie des magnetischen Flusses BA , wobei A eine Fläche bedeutet:

- Neutronensterne rotieren sehr rasch (msec-Bereich),
- sehr starke Magnetfelder.

Leuchtturmeffekt: Rotationsachse fällt nicht mit magnet. Achse zusammen; Strahlung entlang Magnetfeldlinien gebündelt (Abb. 7.1), deshalb auch die Bezeichnung Pulsare.

Pulsare sind rasch rotierende Neutronensterne.

Ein Modell eines Pulsars ist in Abbildung 7.1 gezeigt.

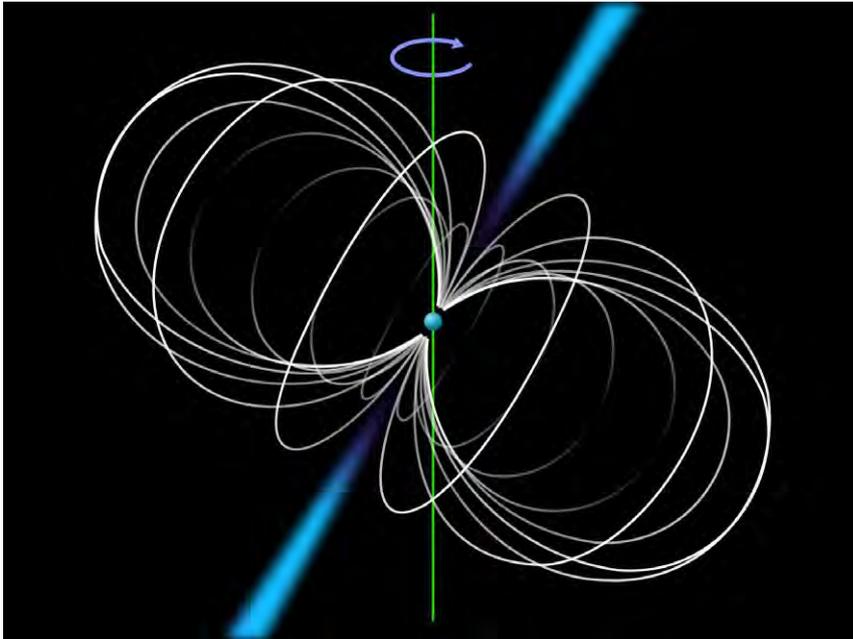


Abbildung 7.1: Modell eines Pulsars. Die Rotationsachse fällt nicht mit der Achse des Magnetfeldes zusammen. Die Strahlung ist durch das Magnetfeld gebündelt (blaue Kegel).

Bsp.: Crab-Pulsar, Crabnebel: Überrest einer Supernovaexplosion um 1054 n. Chr. In Abbildung 7.2 sieht man eine Überlagerung von zwei Aufnahmen des Crab-Pulsars im Zentrum des Crabnebels. Blau eingefärbt ist eine Aufnahme mit dem Röntgenteleskop Chandra, rot eingefärbt ist eine Aufnahme im sichtbaren Bereich.

7.1.2 Supernovaexplosionen – Gefahr für die Erde?

Wie viele Supernovaexplosionen ereignen sich pro Jahr in einer Galaxie? Die Supernovarate einer Galaxie hängt ab von

- Sternentstehungsrate,



Abbildung 7.2: Überlagerung von zwei Aufnahmen des Zentrums des Crabnebels. Dieser Nebel ist der Überrest einer im Jahre 1054 explodierten Supernova.

- Masse der Sterne, nur massereiche enden in einer Supernova.

A Daimler advertisement featuring a diverse group of employees in the foreground. In the background, there are images of a Mercedes-Benz truck, a car, and a computer monitor displaying a technical drawing. The background also includes abstract graphics like charts and gears. Text in the top right corner lists employee names and their locations: Jonas von Malottki (Finance Accounting IT Solutions, Deutschland (Stuttgart)), Hortense Denise Kirby (HR Business Partner, USA (Dallas/Fort Worth)), and Yu Chang (Engineering Support Office, China (Peking)).

Jonas von Malottki Finance Accounting IT Solutions, Deutschland (Stuttgart)
Hortense Denise Kirby HR Business Partner, USA (Dallas/Fort Worth)
Yu Chang Engineering Support Office, China (Peking)

Fünf Kontinente. Jede Menge Platz zur persönlichen Entfaltung. Das sind wir.

Hier geht es für Sie weiter: www.career.daimler.com

DAIMLER

Die Daimler AG ist eines der erfolgreichsten Automobilunternehmen der Welt. Zum Markenportfolio gehören Mercedes-Benz, smart, Freightliner, Western Star, BharatBenz, Fuso, Setra, Thomas Built Buses sowie die Mercedes-Benz Bank, Mercedes-Benz Financial und Truck Financial.



Für die Milchstraße werden etwa 20 ± 8 Supernovae pro Jahrtausend geschätzt, wovon im letzten Jahrtausend sechs beobachtet wurden. Etwa zwei Drittel der galaktischen Supernovae blieben durch die Extinktion der galaktischen Scheibe verborgen; die übrigen beobachteten Supernovae fanden sich in anderen Galaxien.

Man unterscheidet zwei Arten von Supernovae:

- Typ II: am Ende der Entwicklung eines massereichen Sterns; durch Kernfusion entstehen alle Elemente bis zum Eisen und wenn die Kernmasse die Chandrasekhar Masse von 1,4 Sonnenmassen überschreitet kollabiert der Kern zu einem Neutronenstern.
- Typ Ia: ein weißer Zwerg sammelt solange Materie (z.B. von einem Begleiterstern) bis seine Masse die Chandrasekhar Masse von $1,4 M_{\odot}$ überschreitet. Dann explodiert er.

Welche Auswirkungen hätte eine erdnahe Supernova?

Problem: beim Ausbruch werden große Mengen an kurzweiliger UV-, Röntgen- sowie Gammastrahlung und energiereiche Teilchen frei. Diese führen zu chemischen Reaktionen in der Atmosphäre: Bildung von Stickoxiden → Zerstörung der Ozonschicht. Leben auf der Erdoberfläche wäre dann nicht mehr möglich.

Eine solche erdnahe Supernovaexplosion könnte z.B. das Massensterben im oberen Ordovizium¹ verursacht haben, bei dem etwa 50 Prozent der ozeanischen Arten ausstarben. Möglicher Beweis: man fand im Tiefengestein des Pazifischen Ozeans Anreicherungen des Eisenisotops ^{60}Fe .

Während Supernovae vom Typ II weniger gefährlich sind, und bis in 26 Lj Entfernung aufleuchten können, ehe sie uns gefährlich werden, sind Supernovae vom Typ Ia gefährlicher. Sie gehen aus zunächst eher unauffälligen schwach leuchtenden weißen Zwergen hervor. Der Vorläufer einer solchen Supernova wäre daher auch in relativer Erdnähe unauffällig. Leuchtet eine Supernova vom Typ II in einer Entfernung von 26 Lj auf, würde sich die UV-Strahlung auf der Erde nur verdoppeln.

Einige Vorhersagen deuten darauf hin, dass eine solche Supernova noch in Entfernungen bis zu 3000 Lichtjahren die Erde beeinflussen könnte. Als erdnächster bekannter Kandidat für eine künftige Supernova dieses Typs gilt IK Pegasi in etwa 150 Lichtjahren Entfernung.

Supernovaexplosionen können durch die stark erhöhte kurzweilige Strahlung die Ozonschicht der Erde zerstören.

7.1.3 Planeten um Neutronensterne

Neutronensterne entstehen also am Ende der Sternentwicklung von Sternen mit mehr als 1,4 Sonnenmassen durch eine Supernovaexplosion.

¹Vor 485-443 Mio. Jahren

Planeten um Pulsare kann man nur durch Unregelmäßigkeiten in den Pulsen erkennen. Die Pulsfrequenz ändert sich infolge der Bewegung des Pulsars um den Schwerpunkt. Nehmen wir an, wir blicken genau auf die Kante einer Planetenbahn, die Masse des Pulsars betrage 1,35 Sonnenmassen, dann betragen die Abweichungen im Zeitsignal des Pulsars, hervorgerufen durch die Planetenbewegung

$$\tau_{pl} = 1,2 \left(\frac{M_{pl}}{M_{Erde}} \right) (P_{orb})^{2/3} \quad (7.1)$$

Dabei ist τ_{pl} in Millisekunden, M_{pl} die Masse des Planeten, P_{orb} die Umlaufperiode in Jahren. →

- Jupiterartige bzw. terrestrische Planeten kann man um langsamer rotierende Pulsare erkennen,
- Monde bzw. große Asteroiden folgen aus den Resten der Millisekunden Pulsare.

Nehmen Sie die nächsten 50 Stufen Ihrer Karriereleiter doch gleich auf einmal.

Das gibt es nur bei JobStairs: Auf einer Seite alle favorisierten Top Unternehmen sehen und sich bequem bei allen gleichzeitig bewerben. Ideale Bedingungen also, um Ihren persönlichen Karriereaufstieg erfolgreich in Angriff zu nehmen.



Und hier geht's direkt zu Ihren Top Jobs:





Im Jahre 1992 fanden A. Wolszczan and D. Frail ein Mehrfachplanetensystem um den Pulsar PSR 1257+12. Daten:

Rotationsperiode: 6,22 ms
Masse: $1,5 M_{\odot}$
Radius: $0,00002 R_{\odot}$
Sternbild: Virgo.

Daten des Planetensystems um diesen Pulsar findet man in Tabelle 7.1. Eine künstlerische Darstellung dieses Planetensystems findet man in Abbildung 7.3.

Tabelle 7.1: Daten des Planetensystems um den Pulsar PSR 1257+12

Planet	Masse Erde = 1	Bahnhalbchse (AE) AE	Umlaufperiode Tage	Exzentrizität Grad	Neigung Grad
A (b)	0,020	0.19	25,262	0,0	~ 50
B (c)	4,3	0,36	66,5419	0,0186	53
C (d)	3,9	0,46	98,2114	0,0252	47

Eine Liste der bisher entdeckten Planeten um Pulsare ist in Tabelle 7.2 gegeben. In dieser Tabelle ist das letzte Objekt noch unsicher. Wenn es dieses

Tabelle 7.2: Liste der bisher entdeckten Planeten um Pulsare. Die Objekte unterhalb der Querlinie sind noch nicht gesichert. a Bahnhalbchse, U Umlaufdauer.

Pulsar	Planet	Masse	a (AE) (AU)	U	Entdeckung
PSR B1620-26	b	$2.5 M_J$	23	100 a	2003
PSR B1257+12	A	$0.020 M_E$	0.19	25.262 d	1994
PSR B1257+12	B	$4.3 M_E$	0.36	66.5419 d	1992
PSR B1257+12	C	$3.90 M_E$	0.46	98.2114 d	1992
PSR J1719-1438	b	ca $1 M_J$	0.004	2.17 h	2011
Geminga	Geminga b	$1.7 M_E$	3.3	5.1 Jahre	1997
PSR B0329+54	A	$0.3 M_E$	2.3	1205 Tage	1979
PSR B0329+54	B	$2.2 M_E$	7.3	61 Tage	1979
PSR B1828-10	A	$3 M_E$	0.93	384.3 Tage	1992
PSR B1828-10	B	$12 M_E$	1.32	493 Tage	1992
PSR B1828-10	C	$8 M_E$?	?	1992

Objekt wirklich gibt, dann hätte es ganz spezielle Eigenschaften: die 23-fache Dichte von Wasser. Er könnte einen Kern aus einem einzigen Diamantkristall besitzen mit einem Gewicht von 10^{31} Karat.

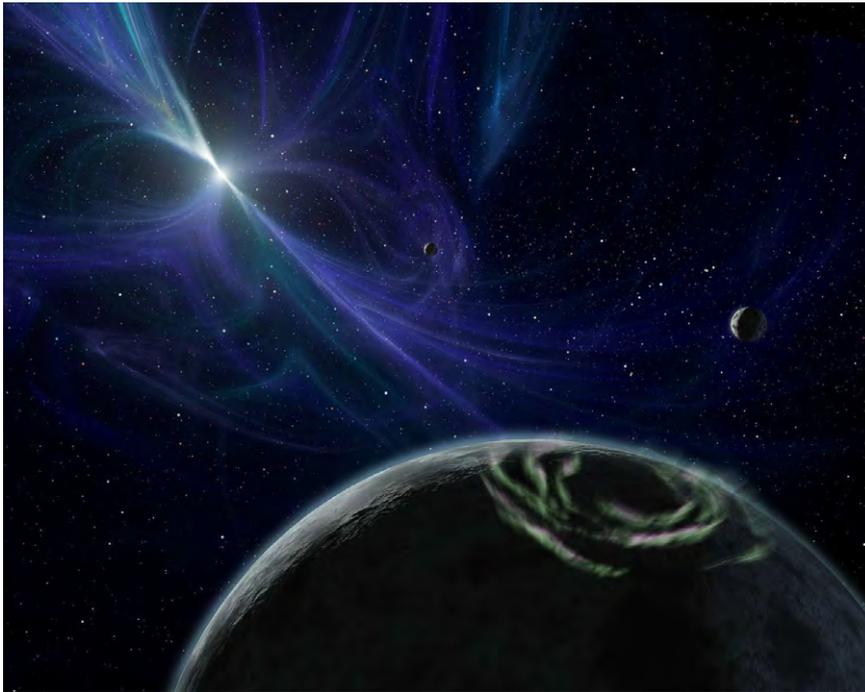


Abbildung 7.3: Künstlerische Impression des Planetensystems um den Pulsar PSR 1257+12. NASA

A large advertisement for ZF. The background is a photograph of a man in a red cycling jacket and helmet standing with his bicycle in a field of dry grass. The ad contains several text elements and logos:

- Top left: "ICH BEI ZF. INFORMATIKER UND OUTDOOR-PROFI." in white text on a tan background, with the URL "www.ich-bei-zf.com" below it.
- Middle left: ZF logo and "MOTION AND MOBILITY" text on a white background.
- Bottom left: "100 YEARS MOTION AND MOBILITY" logo.
- Bottom center: A blue box with the text "Scan den Code und erfahre mehr über mich und die Arbeit bei ZF:" next to a QR code.
- Bottom right: A white box featuring a photo of "WALTER LAUTER", his title "IT-Spezialist Serversysteme", and his company "ZF Friedrichshafen AG" with the ZF logo.

Download free eBooks at bookboon.com



7.1.4 Entstehung der Planeten um Neutronensterne

Wie kann man sich die Entstehung von Planeten um Pulsare vorstellen? Aus den wenigen Beobachtungen lassen sich drei Szenarien herauslesen:

- Die Planeten des Pulsars PSR B1257+12 könnten sich aus dem Überrest der Supernovaexplosion gebildet haben.
- Der Planet des Pulsars PSR B1257+12 ist der Überrest eines Begleiters, nachdem durch die Supernova und die intensive kurzweilige Strahlung die Außenhüllen des früher größeren und massereichen Planeten weggeblasen wurden.
- PSR B1620-26 b ist ein eingefangener Planet.

Nochmals sei betont, dass Planeten um Neutronensterne für die Astrobiologie wahrscheinlich kaum interessant sind, da die Lebensbedingungen dort extrem ungünstig sind:

- Planeten um Neutronensterne sind der äußerst intensiven Strahlung des Neutronensterns ausgesetzt. Da diese Strahlung jedoch durch das Magnetfeld gebündelt ist, stellt dies möglicherweise kein allzu großes Problem für etwaiges Leben dar.
- Ein wichtiger Punkt ist, dass Planeten sich offenbar relativ rasch aus Supernovaresten neu formieren können. Sollte der Stern vor seiner Explosion ein Planetensystem gehabt haben, wäre dieses mit Sicherheit durch die Explosion zerstört worden.
- Interessant ist auch die Tatsache, dass trotz der vielen bekannten Pulsare bisher nur sehr wenige Planeten um diese herum gefunden wurden.

7.2 Entdeckung von Exoplaneten

Wir wenden uns nun Exoplaneten um normale Hauptreihensterne zu. Eine direkte Beobachtung der Exoplaneten ist wegen der großen Helligkeitsdifferenz zwischen Stern und beleuchtetem Planeten nur in sehr seltenen Fällen möglich.

7.2.1 Transitmethode

Die einfachste Methode Exoplaneten zu finden, ist die Beobachtung eines Transits. Dabei liegen wir als Beobachter fast genau in der Bahnebene des Planeten und können daher beobachten, wie der Planet vor seinem Mutterstern vorbeizieht.

In unserem Sonnensystem gibt es von der Erde aus immer wieder zu beobachtende Transits von Merkur und Venus. Die Bahnebenen dieser beiden Planeten sind zur Erdbahn geneigt, → es findet nicht bei jeder unteren Konjunktion des Planeten, wenn sich also der Planet genau zwischen Sonne und Erde befindet, ein Transit statt. Venustransits kann man mit freiem Auge beobachten (Abb. 7.4), Merkurtransits nur mit einem Teleskop, da das Merkurscheibchen vor der Sonnenscheibe zu klein ist. Der nächste Venustransit findet allerdings erst am 11. Dezember 2117 statt.

In der Abbildung 7.5 ist der Transit eines Exoplaneten skizziert, darunter der zu beobachtende Helligkeitsabfall.

Vorhersagen über bekannte Transits von Exoplaneten findet man im Web unter dem Suchbegriff ETD, Exoplanet Transit data. Man gibt die Geographische Länge und Breite des Beobachtungsortes ein und bekommt eine Liste von an diesem Abend beobachtbaren Transits von Exoplaneten.

Der Betrag der Helligkeitsminderung während eines Transits hängt ab von:

- Größe des Planeten,



Abbildung 7.4: Venustransit.

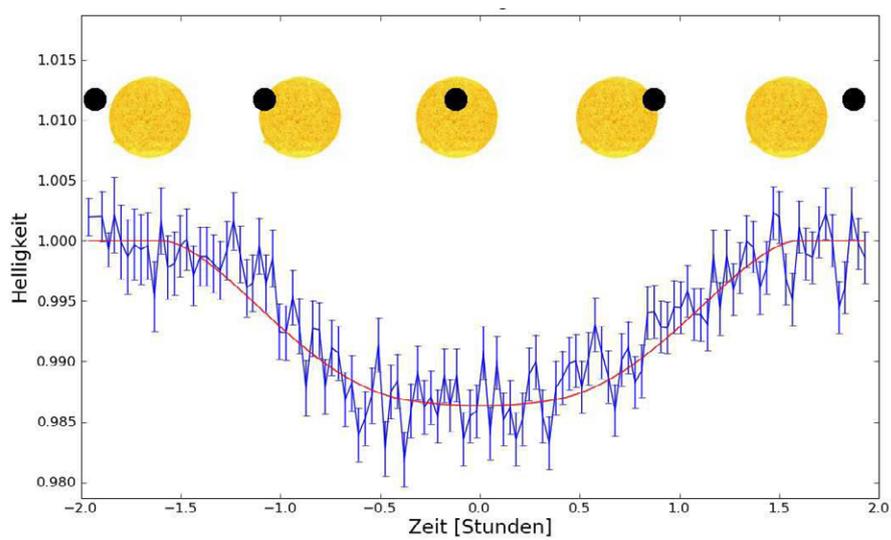


Abbildung 7.5: Bei der Beobachtung eines Transits eines Exoplaneten kommt es zu einem kleinen Helligkeitsabfall, den man messen kann.

- Größe des Sterns,
- Entfernung Planet-Stern; je weiter der Planet vom Stern entfernt ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit eines Transits.

Kennt man die Masse des Sterns, M_* , dann folgt aus der Umlaufperiode des Planeten (Zeit zwischen zwei Transits), die große Bahnhalbachse der Planetenbahn:

$$P^2 M_* = a^3 \quad (7.2)$$

Sei d_* der Durchmesser des Sterns in Einheiten der Sonne, die Einheit von M_{ast} ist die Sonnenmasse und von a die astronomische Einheit. Man kann die Zeitdauer eines Transits aus folgender Formel abschätzen:

$$\tau_{\text{Tr}} = 13d_* \sqrt{a/M_*} = 13\sqrt{a} \text{ h} \quad (7.3)$$



Consorsbank!
by BNP PARIBAS

DEINE SCHNITTSTELLE ZUM ERFOLG.
HIER BIST DU RICHTIG VERBUNDEN!

Die Consorsbank ist eine der führenden Direktbanken Europas. Lege jetzt als Werkstudent oder Praktikant bei uns den Grundstein für deine erfolgreiche Karriere.

Einfach online bewerben unter:
www.consorsbank.de/karriere



Die Transiteigenschaften der Planeten unseres Sonnensystems sind in Tabelle 7.3 gegeben.

Tabelle 7.3: Transiteigenschaften der Planeten unseres Sonnensystems

Planet	P $P^2 M_* = a^3$	a	$T(\text{h})$ $13\sqrt{a}$	D (%) $(d_p/d_*P)^2$	Prop d_*/D	Incl.
Merkur	0,241	0,39	8,1	0,0012	1,19	6,33
Venus	0,615	0,72	11,0	0,0076	0,65	2,16
Erde	1,0	1,0	13,0	0,0094	0,47	1,65
Mars	1,88	1,52	16,0	0,0024	0,31	1,71
Jupiter	11,86	5,2	29,6	1,10	0,089	0,39
Saturn	29,5	9,5	40,1	0,75	0,049	0,87
Uranus	84,0	19,2	57,0	0,135	0,024	1,09
Neptun	164,8	30,1	71,3	0,127	0,015	0,72

Infolge eines Transits kommt es zu einem Helligkeitsabfall des Sterns um den Planeten kreisen.

7.2.2 Spezielle Instrumente für Transitbeobachtungen

Es wurden spezielle erdgebundene Teleskope entwickelt, um Transits von Exoplaneten möglichst genau zu messen. Ein Beispiel dafür wäre SuperWASP (Super Wide Angle Search for Planets). Es handelt sich dabei um zwei Observatorien, eines befindet sich am Roque de los Muchachos, in La Palma, ein anderes in Südafrika. Man verwendet acht Teleobjektive, Canon 200mm, f1.8. Jedes Objektiv ist mit einer CCD-Kamera mit 2048x2048 Pixeln verbunden, die ein Bildfeld von 7,8x7,8 Grad liefern. In jeder Nacht sollen die Kameras etwa 800 jeweils 35 Sekunden lang belichtete Bilder machen. Die Helligkeiten der Sterne sollen zwischen 7. und 13. Größe mit 1 Prozent Genauigkeit (0,01 Größenklassen) bestimmt werden. Es wurden mehr als 30 Exoplaneten entdeckt.

Ein Beispiel: der Planet WASP 12b befindet sich nahe seinem Mutterstern und verliert Masse an diesen. Man schätzte ab, dass dieser Planet innerhalb der nächsten 10 Millionen Jahre von seinem Mutterstern quasi verschlungen wird. Gegenwärtig besitzt der Planet etwa die 1,5-fache Jupitermasse.

Eine Skizze der Umlaufbahn des Planeten WASP12b ist in Abbildung 7.7 gegeben. Messungen der Lichtkurve während eines Transits sieht man in Abbildung 7.8.

Die Bildrekonstruktion der WASP-Bilder ist in Abbildung 7.9 dargestellt.

- Rohaufnahme (großes Bild links),
- Flat Field Aufnahme: diese berücksichtigt z.B. die inhomogene Ausleuchtung des Feldes,



Abbildung 7.6: Die 8 Teleobjektive eines der beiden SuperWASP Observatorien. Auch mit relativ kleinen Teleskopen lässt sich heutzutage noch Forschung machen.

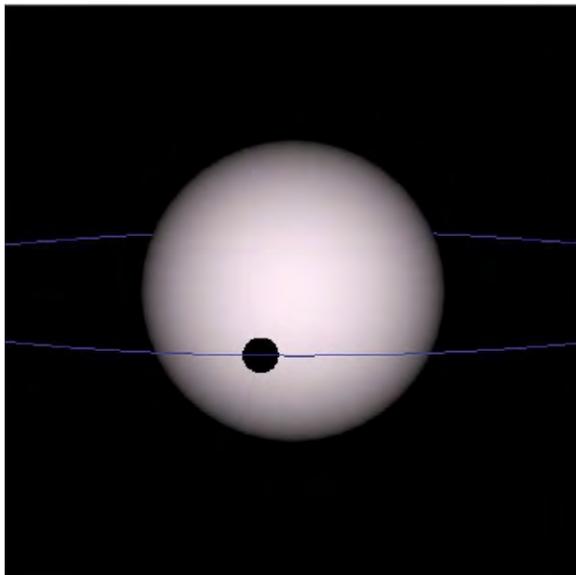


Abbildung 7.7: Skizze der Umlaufbahn des Planeten WASP12b. Man beachte das Größenverhältnis Planet/Stern.

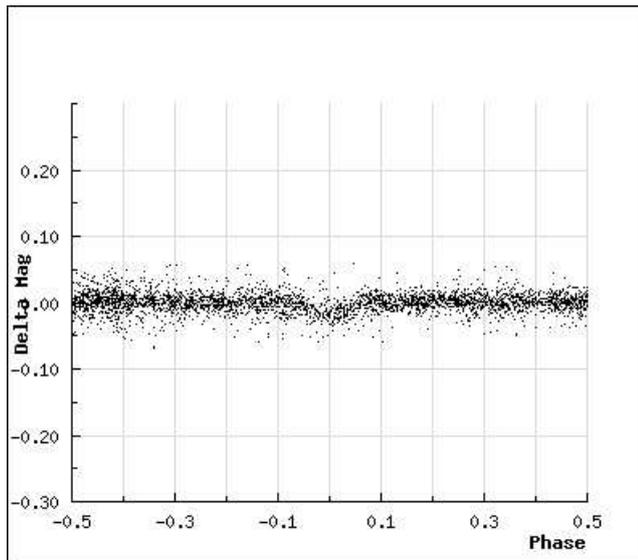


Abbildung 7.8: Lichtkurve des Planeten WASP 12b.

- BIAS,

AOK
Die Gesundheitskasse.

AOK-Liveonline – Powerstart für die Zukunft

Entdecken Sie die innovativen LIVEONLINE Vorträge der AOK. Wir bieten drei Themenfelder: Strategische Karriereplanung, Überzeugen im Auswahlverfahren sowie Study-Life-Balance. Jetzt schnell anmelden unter:

Gesundheit in besten Händen aok-on.de/nordost/studierende

AOK Studenten-Service



- Dunkelstrom, die unterschiedliche Empfindlichkeit einzelner Pixel der CCD wird ermittelt.
- Fertiges Bild (rechts groß) nach Abzug von Flat Field, Bias, und Dunkelstrom.

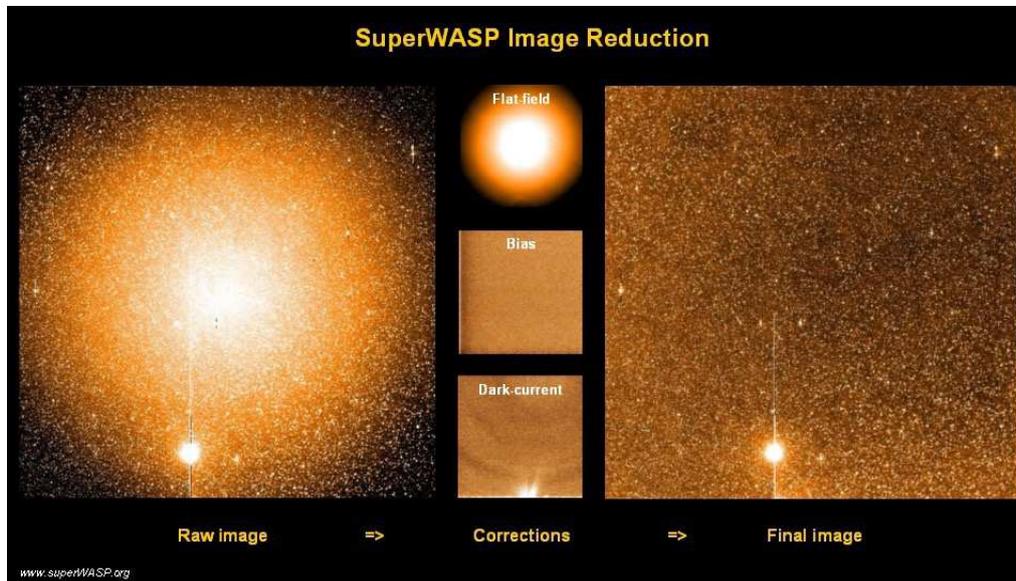


Abbildung 7.9: Bildrekonstruktion der WASP-Daten.

An erdgebundenen Projekten gibt es derzeit etwa 20 ähnliche Projekte, z.B. OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), STARE, PSST, HAT, TASS Sky Survey (TASS).

HAT: Hungarian Automated Telescope Network (HATNet) Project.

7.2.3 Satellitenmissionen

Der Satellit COROT steht für Convection, Rotation et Transits Planetaires. Dieses Weltraumteleskop wird von der französischen Raumfahrtbehörde CNES betrieben (Abb. 7.10). Der Start erfolgte am 27. Dezember 2006; infolge eines Computerdefekts liefert das Teleskop seit 2. November 2012 keine Daten mehr. Im Juli 2014 wurde der Satellit endgültig abgeschaltet. COROT besitzt eine Masse von 630 kg, der erdnächste Punkt seiner Bahn (Perigäum) liegt bei 602 km, der erdfernste (Apogäum) bei 892 km. Für uns interessant ist die Suche nach Exoplaneten mit der Transitmethode. Helligkeitsvariationen von hellen Sternen wurden systematisch untersucht, ebenso wurden 12.000 Sterne genauer überwacht. COROT besitzt ein Spiegelteleskop von 27 cm Durchmesser und man kann ein Gesichtsfeld von $2,8 \times 2,8$ Grad aufnehmen. Zur Aufnahme der

Daten dient eine Kamera mit vier CCDs, zwei dieser CCDs (A1, A2) dienen astroseismologischen Untersuchungen, die anderen beiden CCDs (E1, E2) dienen der Suche nach Exoplaneten. Für die Suche nach Exoplaneten werden gleichzeitig etwa 120.000 Sterne überwacht, deren scheinbare Helligkeiten zwischen 12,0 mag und 15,5 mag liegen. Ihr Licht wird mit einem Prisma in mehrere Farben zerlegt, um Bedeckungen durch Planeten besser von anderen Helligkeitsschwankungen unterscheiden zu können. Die untersuchten Sternfelder liegen in den Sternbildern Schlange und Einhorn.

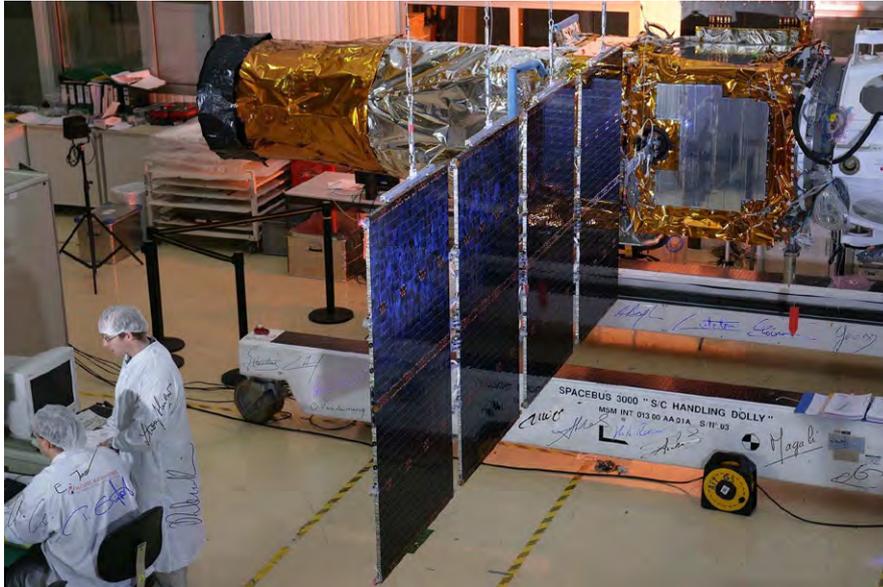


Abbildung 7.10: Das Weltraumteleskop COROT mit Sonnensegeln.

Im April/Mai 2007 hat COROT seinen ersten extrasolaren Planeten entdeckt. Es handelt sich dabei um einen Gasriesen mit dem Namen CoRoT-1 b. Er hat die 1,3-fache Masse des Jupiter und liegt rund 1.500 Lichtjahre von der Erde entfernt. Am 3. Februar 2009 wurde die Entdeckung eines weiteren Planeten, mit der Bezeichnung COROT-7 b, bekannt gegeben (Abb. 7.11). Der erdähnliche Planet ist etwa 4,8 mal massereicher als die Erde und hat einen Radius von etwa 1,75 Erdradien. Da somit die Dichte etwas über der der Erde liegt, gibt es starke Hinweise dafür, dass CoRoT-7 b ein erdähnlicher Planet möglicherweise felsigen Aufbaus ist (Gesteinsplanet). CoRoT-7b besitzt eine extrem hohe Umlaufgeschwindigkeit um den Zentralstern von mehr als 700.000 km/h und umkreist diesen damit in nur 11 Stunden.

Das Weltraumteleskop KEPLER wurde im März 2009 gestartet und beobachtet ein fixes Sternfeld im Sternbild Cygnus, Schwan. KEPLER beobachtet dabei etwa 190.000 Sterne. Das Teleskop läuft nicht um die Erde, sondern hinter der Erde her um die Sonne. Dadurch ist es möglich ungestört 24 Stunden lang

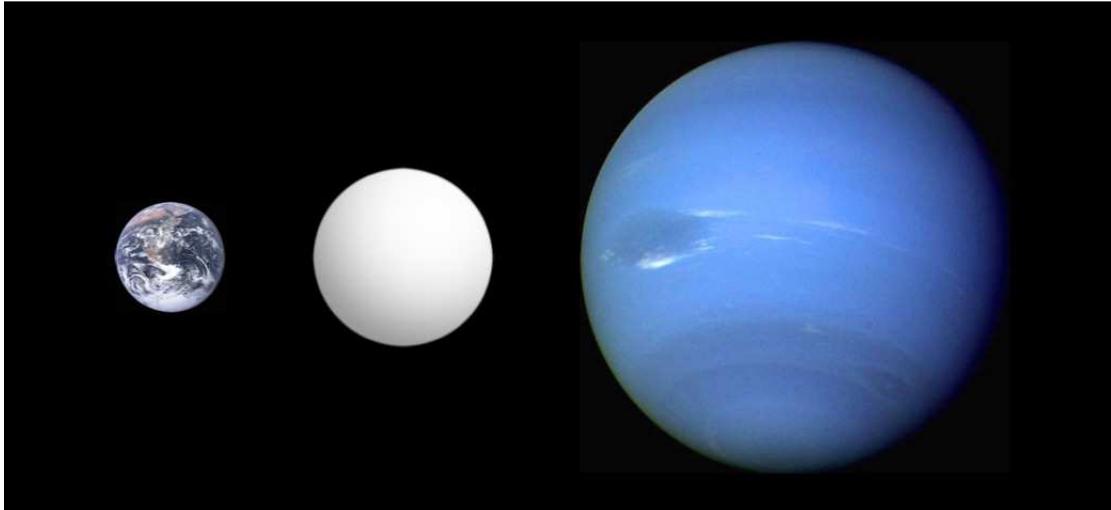


Abbildung 7.11: Größenvergleich Erde (links), COROT-7-b (Mitte), Neptun (rechts).

zu beobachten. Das Teleskop ist ein Schmidt-Teleskop, der Durchmesser der Schmidt-Platte beträgt 0,95 m, der Hauptspiegel hat etwa 1,4 m Durchmesser. Die 42 CCDs überwachen ein Feld von etwa 105 Quadratgrad, das entspricht etwa der Fläche der ausgestreckten Hand am Himmel.

Gemeinsam nachhaltig zum Erfolg.

Denn bei der REWE Group, einem der führenden Handels- und Touristikkonzerne Europas, ist Bewegung drin. Dafür sorgen unsere ca. 330.000 Mitarbeiter Tag für Tag: Sie liefern Tonnen von Waren, schicken Urlauber zu fernen Zielen oder verhandeln die günstigsten Preise. Sie halten die Welt am Laufen. Werden Sie Teil einer großen Gemeinschaft, die Großes bewirkt. Freuen Sie sich auf die Zusammenarbeit mit sympathischen Kollegen auf internationaler Ebene und erleben Sie, was Sie in unserer vielfältigen Marken- und Arbeitswelt bewegen können. Und durch individuelle Förderung bewegt sich auch Ihre Karriere, wohin immer Sie wollen.

Was bewegen Sie?

www.rewe-group.com/karriere
www.facebook.com/REWEGroupKarriere

Du bewegst.

330.000 Mitarbeiter
523 Berufe
1 Zukunft

REWE GROUP

REWE

nahkauf

PENNY

toom! DER BAUMARKT

BILLA

MERKUR

BIPA

DER Touristik



Jede Kamera verfügt über 95 Megapixel. Das Feld am Himmel, welches KEPLER abdeckt, ist in Abbildung 7.12 gezeigt.

Eine gute Übersicht über die KEPLER-Mission und die Suche nach Exoplaneten findet man bei [23].

Die Mission PLATO (PLANetary Transits and Oscillation of stars) steht für die Beobachtung von Planetentransits bzw. Oszillationen von Sternen.² PLATO soll die Arbeit von KEPLER und COROT fortsetzen. Die Raumsonde (Abb. 7.13, Abb. 7.14) ist mit 34 Teleskopen ausgerüstet (ein Beispiel ist in Abb. 7.15 gegeben) und soll vor allem auch erdähnliche Planeten entdecken. Der Start ist für 2024 geplant. Die wichtigsten Ziele sind:

- Untersuchung des Planeten- und Sterninneren (Seismologie),
- Planetenentstehung und Planetenevolution,
- Aussagen über das Alter von Planetensystemen,
- Aussuchen von Zielplaneten für spätere Spektroskopie.

Diese Ziele sollen durch eine hochpräzise Photometrie von hellen Sternen ($m_V < 11^m$) erreicht werden. Die Photometrie soll sich über mehrere Jahre erstrecken. Insgesamt werden 136 CCDs zur Datenaufnahme verwendet, die jeweils aus 4510×4510 Pixel bestehen. Die Größe des Gesichtsfeldes beträgt 2250 Quadratgrad. Der Start ist für 2024 geplant, die Sonde soll sich am Lagrange-Punkt L2 befinden³. Dies ist in Abbildung 7.16 skizziert. Der Punkt befindet sich hinter der Mondumlaufbahn.

Die Datentransferrate beträgt 109 Gb/Tag.

²Aus Oszillationen von Sternen kann man ähnlich wie bei der Seismologie der Erde auf das Innere der Sterne schließen.

³Hier heben sich die Anziehungskräfte von Erde und Mond auf

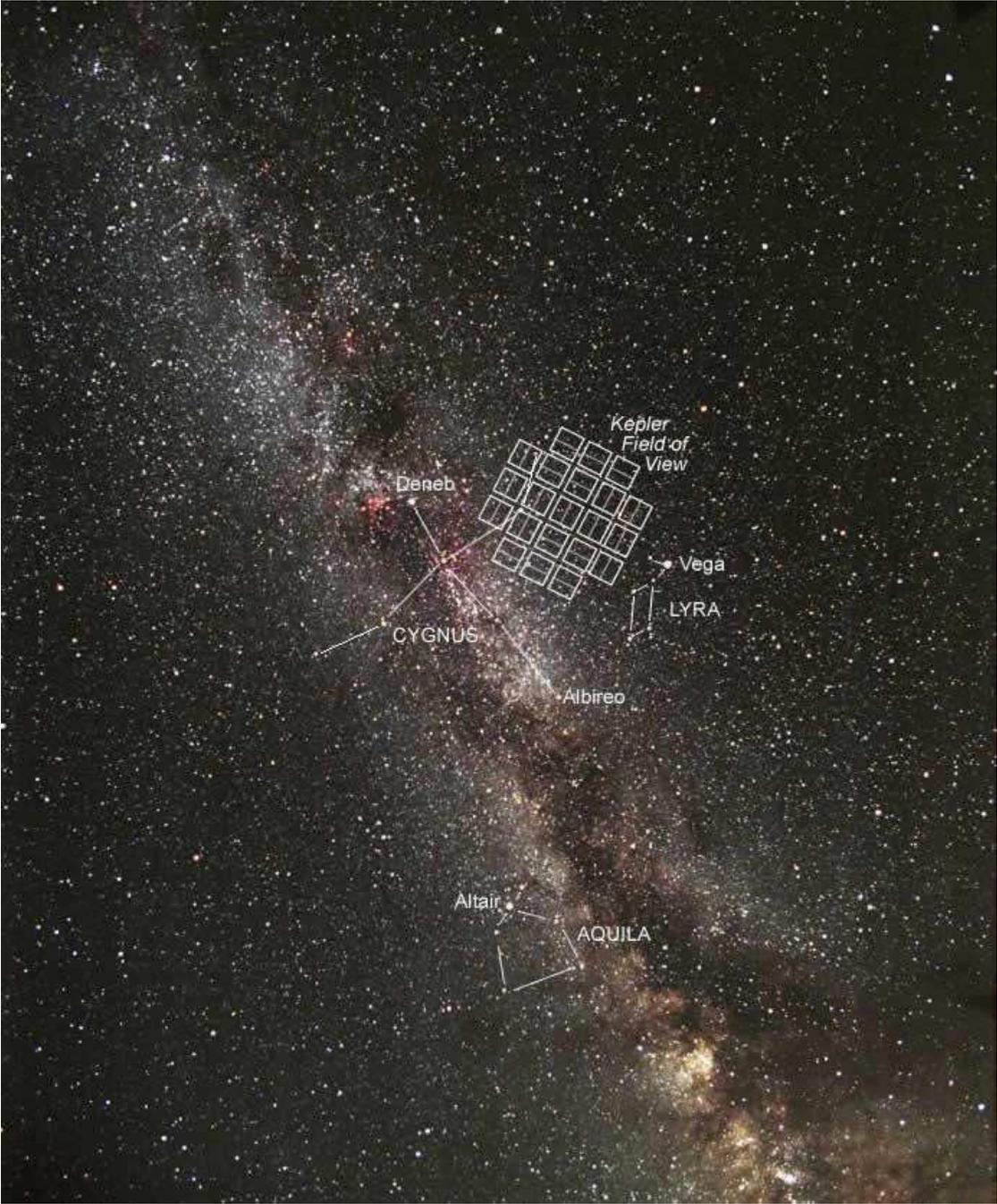


Abbildung 7.12: Das Himmelsfeld, welches KEPLER aufnimmt.



Abbildung 7.13: Konzeption von PLATO.

Für Astroseismologie werden etwa 80.000 Sterne untersucht (Abb. 7.17), man erhofft sich genaue Lichtkurven von etwa 1.000.000 Objekten und die Entdeckung von 100-1000 Supererden in der habitablen Zone von kühlen Zwergen sowie einige 1000 Mini-Neptune und Gasriesen.

 Bundesnachrichtendienst

Sie sind einzigartig? Wir auch!

einzigartige **Lösungen**
einzigartiger **Auftrag**

einzigartige **Ideen**
einzigartige **Vielfalt**

einzigartiger **Arbeitgeber**

Wir suchen
Ingenieure/innen der Elektro- und Informationstechnik
Informatiker/innen
mit den Abschlüssen **FH/Bachelor**

Mehr Informationen zum Thema Karriere beim BND unter
www.bundesnachrichtendienst.de (Karriere)



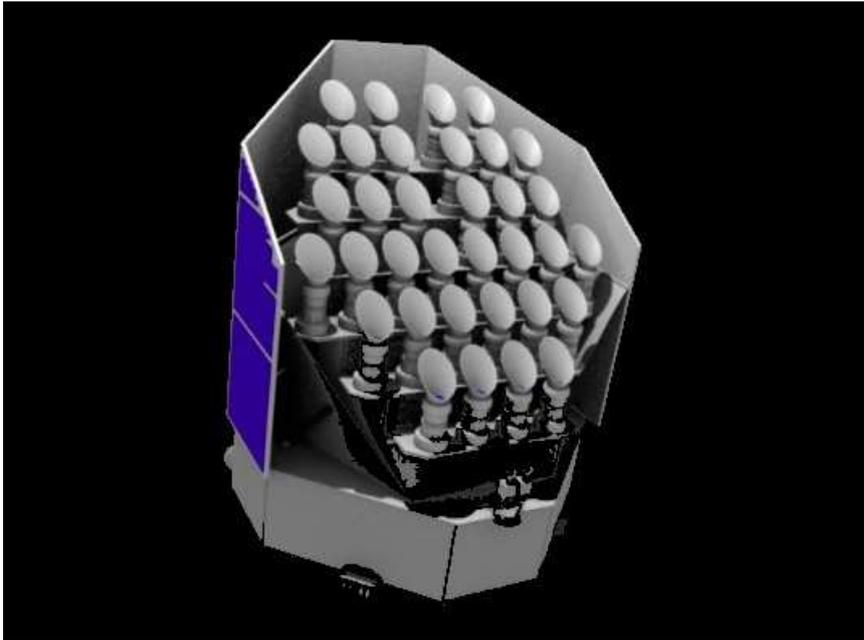


Abbildung 7.14: PLATO mit den Einzelteleskopen. Man erkennt auch den Sonnenschutzschild (links oberhalb).

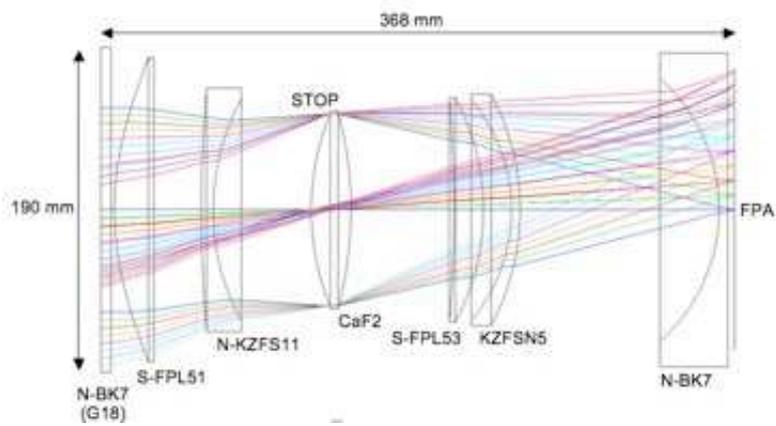


Abbildung 7.15: Konzeption einer der Kameras von PLATO.

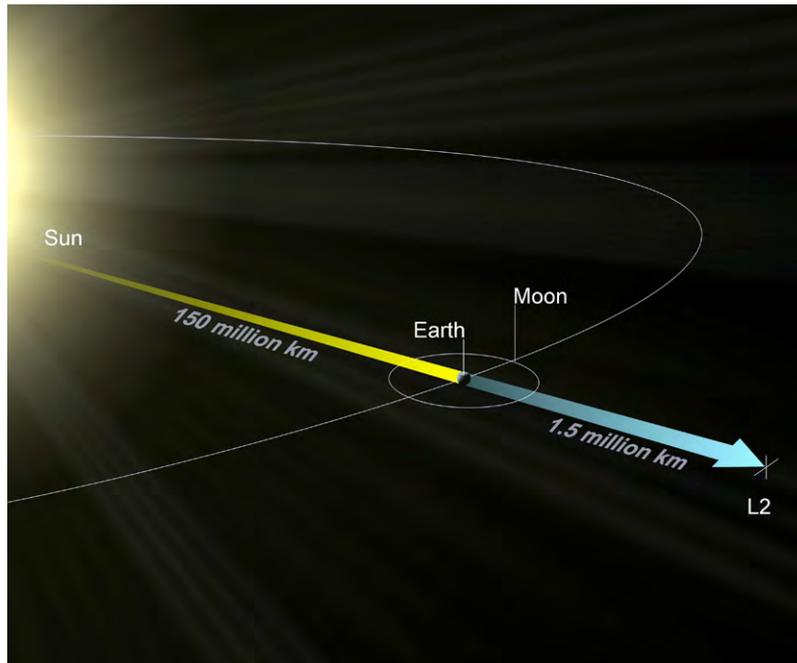


Abbildung 7.16: Lage des Lagrange-Punktes L2, hinter der Umlaufbahn des Mondes, wo PLATO positioniert wird.

Weiters könnten mit PLATO auch Exomonde sowie Ringe und Exokometen gefunden werden.

Die Mission GAIA (Abb. 7.18) wurde am 19. Dezember 2013 gestartet und befindet sich ebenso am Punkt L2. Dieser Punkt wurde am 8. Jänner 2014 erreicht. Streng genommen kreist GAIA in einer Lissajous-Figur, in einem Abstand von $263.000 \times 707.000 \times 370.000$ km um L2. Damit taucht die Sonde etwa 6 Jahre lang nicht in den Halbschatten der Erde ein. Dies würde einerseits die Energieversorgung gefährden, andererseits durch die thermische Ausdehnung auch die Messungen beeinflussen.

GAIA besitzt zwei rechteckige Primärspiegel von 145×50 cm Ausdehnung. Das am Himmel zu beobachtende Feld misst $1,4 \times 0,7$ Grad, überdeckt am Himmel also etwa die vierfache Fläche der Sonnen- bzw. Vollmondscheibe. Erfasst wird das Feld von insgesamt 106 CCD-Detektoren mit einer Auflösung von je 4500×1966 Pixel. Es werden ca. 1 Mrd. Sterne überwacht, Transit-Photometrie ist bei Sternen bis zur 16. Größenklasse möglich (Abb. 7.19).

CAREER Venture
eine Marke von MSW & Partner

facebook.com/CareerVenture
google.com/+Career-VentureDe
twitter.com/CareerVenture

Haben Sie Potenzial?

women fall
in Kooperation mit Jobguide
30. November/01. Dezember 2015 Seeheim
Bewerbungsschluss: 01.11.2015

Auszug unserer Referenzen:

Deloitte. **DB** Mobility Networks Logistics **BOSCH** Technik fürs Leben Struktur Management Partner **TATA** TATA CONSULTANCY SERVICES

career-venture.de



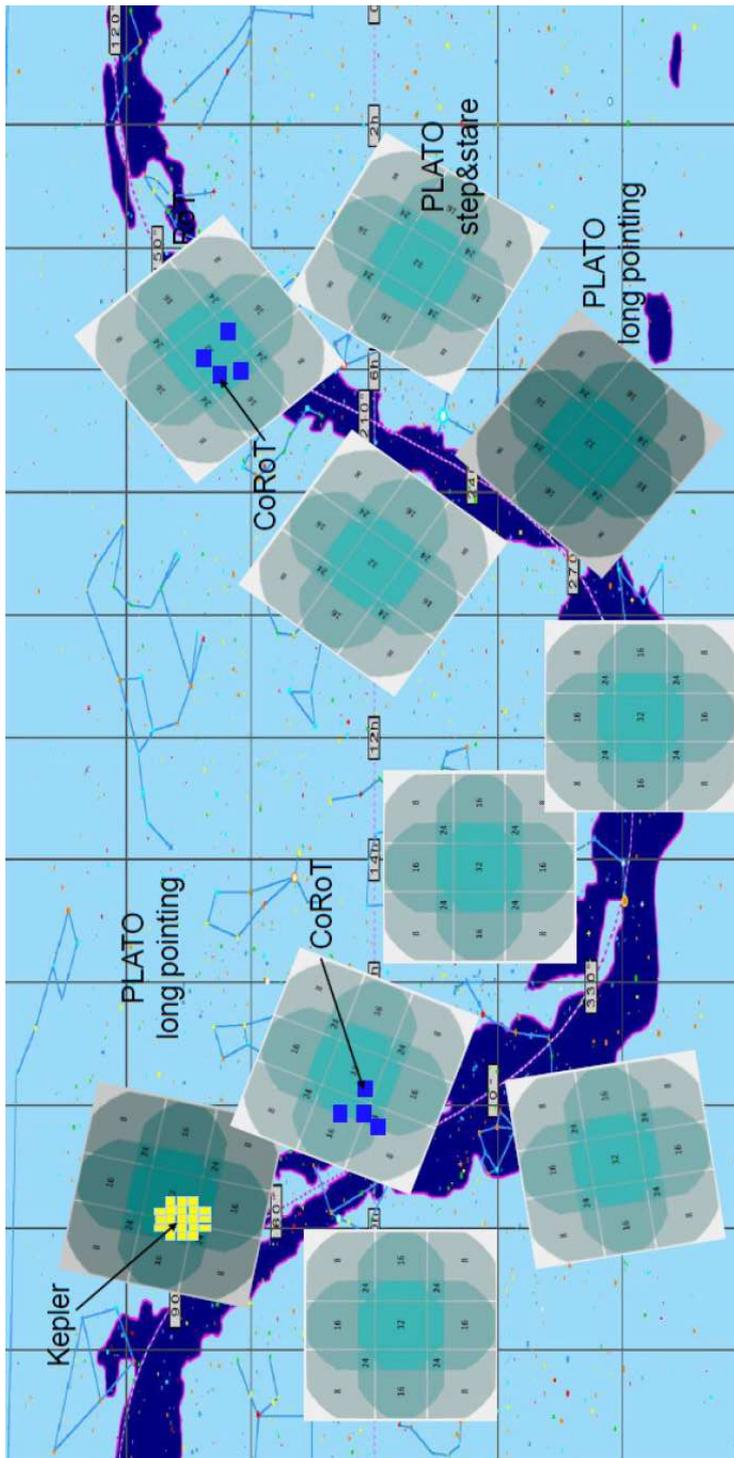


Abbildung 7.17: Die ausgewählten Himmelsfelder, die mit PLATO beobachtet werden sollen, befinden sich alle in der Ebene der Milchstraße.

Neben der Photometrie werden auch Sternspektren gemessen und somit die Radialgeschwindigkeiten.

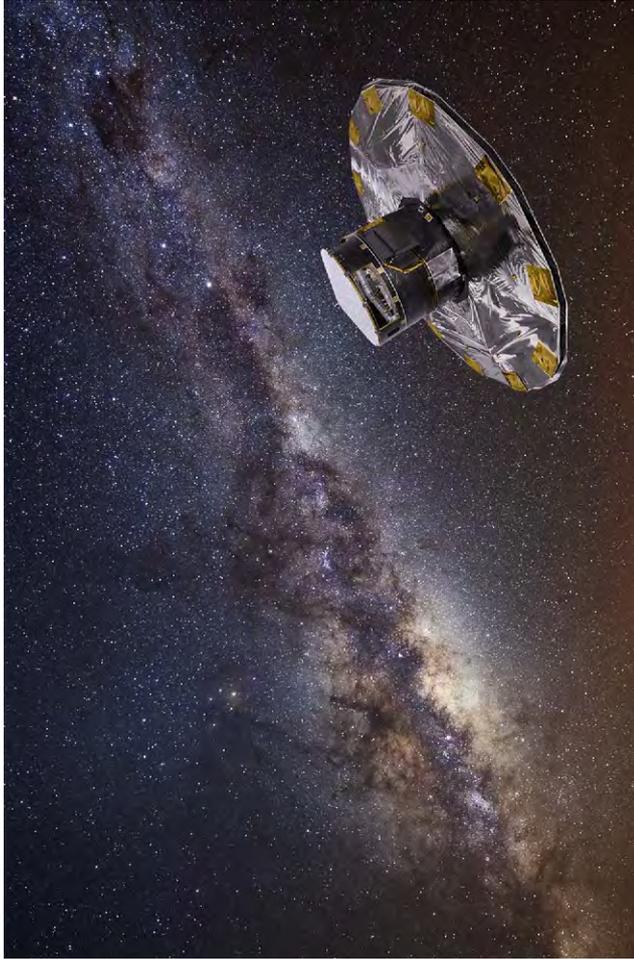


Abbildung 7.18: Mit der Mission GAIA werden etwa 1 % der Sterne der Galaxis untersucht.

Man erhofft sich mit GAIA folgende Objekte zu finden:

- bis zu einer Million Asteroiden und Kometen innerhalb unseres Sonnensystems
- dreißigtausend Planeten außerhalb unseres Sonnensystems

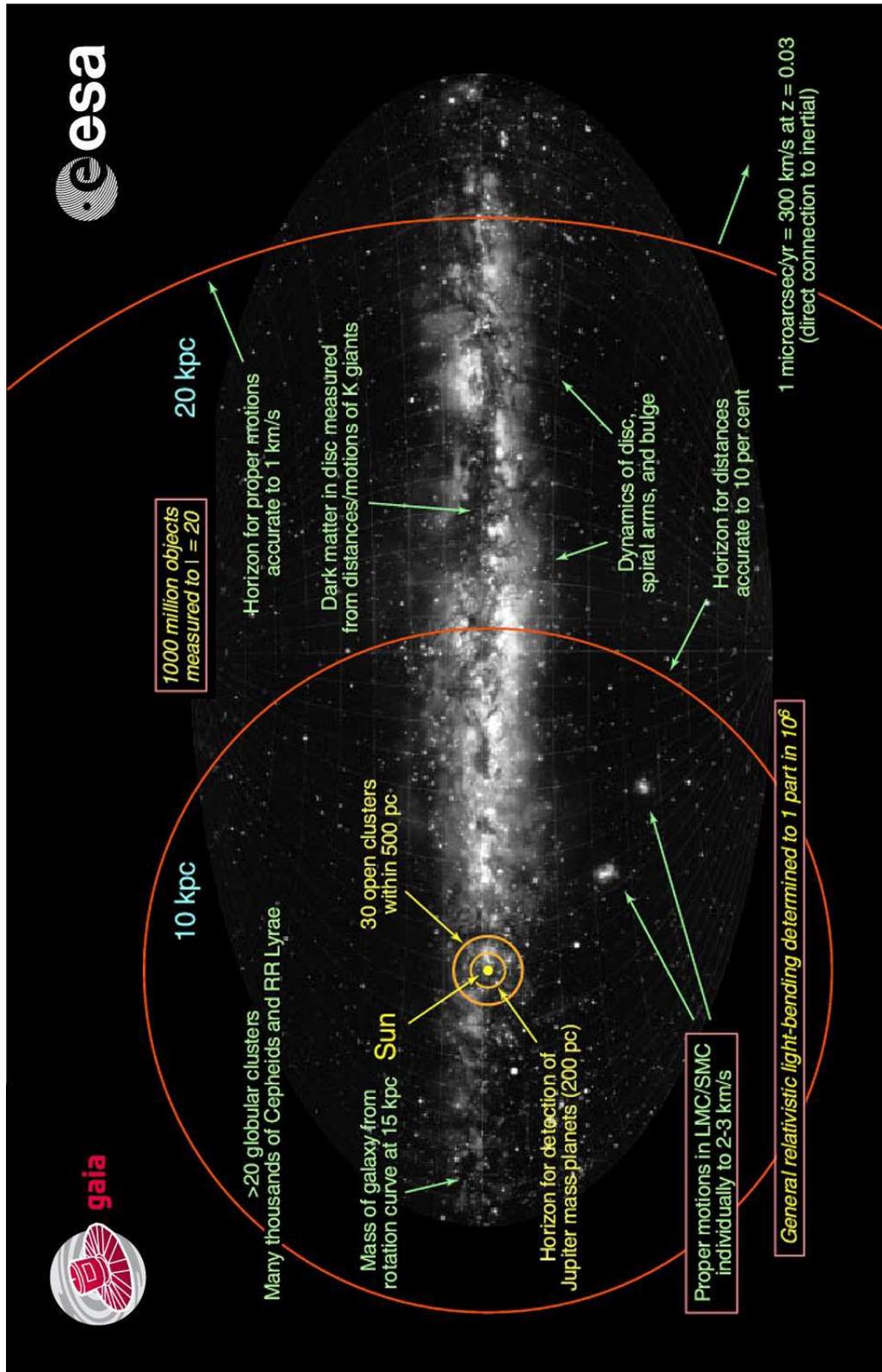


Abbildung 7.19: Die ausgewählten Bereiche der Milchstraße, welche mit GAIA untersucht werden können. Bis zu einer Entfernung von 200 pc sind jupiterähnliche Exoplaneten detektierbar.

7.3 Radialgeschwindigkeitsmethode

7.3.1 Baryzentrumsbewegung

Zwei Massen umkreisen einander um den gemeinsamen Schwerpunkt. Ist die Masse m_1 größer als m_2 , so liegt dieser Schwerpunkt näher bei m_1 .

Gegeben seien die Massen m_1, m_2 an den Orten $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$. Wenn M die Massensumme ist, dann gilt für den Vektor des Schwerpunkts:

$$\mathbf{R} = \frac{1}{M}(m_1\mathbf{r}_1 + m_2\mathbf{r}_2) \quad (7.4)$$

Bsp.:

Für Erde und Mond liegt das Baryzentrum knapp innerhalb der Erde. Sind r_E, r_M die Abstände Erde-Schwerpunkt bzw. Mond-Schwerpunkt, dann gilt:

$$r_E = r \frac{m_M}{m_E + m_M} \quad (7.5)$$

$$r_M = r \frac{m_E}{m_E + m_M} \quad (7.6)$$

r sei der gegenseitige Abstand Erde-Mond.



SEW-EURODRIVE—Driving the world

**SEW
EURODRIVE**

**Gestalten Sie die
Technologien der Zukunft!**

Clevere Köpfe mit Lust auf Neues gesucht.
Wir sind einer der Innovationsführer weltweit im Bereich Antriebstechnologie und bieten Studierenden der Fachrichtungen Elektrotechnik, Maschinenbau, Mechatronik, (Wirtschafts-) Informatik oder auch Wirtschaftsingenieurwesen zahlreiche attraktive Einsatzgebiete. Sie möchten uns zeigen, was in Ihnen steckt? Dann herzlich willkommen bei SEW-EURODRIVE!

**Jährlich 120 Praktika
und Abschlussarbeiten**

www.karriere.sew-eurodrive.de



Bsp.:

- Erde-Mond System: Massenverhältnis Erde-Mond 81:1, mittlere Entfernung Erde-Mond etwa 384.000 km
→ Der Schwerpunkt des Systems Erde-Mond liegt $384.000/81 = 4700$ km vom Erdzentrum entfernt in Richtung der Verbindungslinie Erde-Mond, also noch innerhalb des Erdmantels, etwa 1700 km unterhalb der Erdoberfläche.
- Sonnensystem: für die Bewegung der Sonne um das Baryzentrum des Sonnensystems sind vor allem die beiden Planeten Jupiter und Saturn wichtig auf Grund deren großen Massen. Die Bewegung des Baryzentrums (Abb. 7.20) zeigt, dass sich der Schwerpunkt des Sonnensystems eine Zeit lang auch außerhalb des Sonnenkörpers befinden kann.

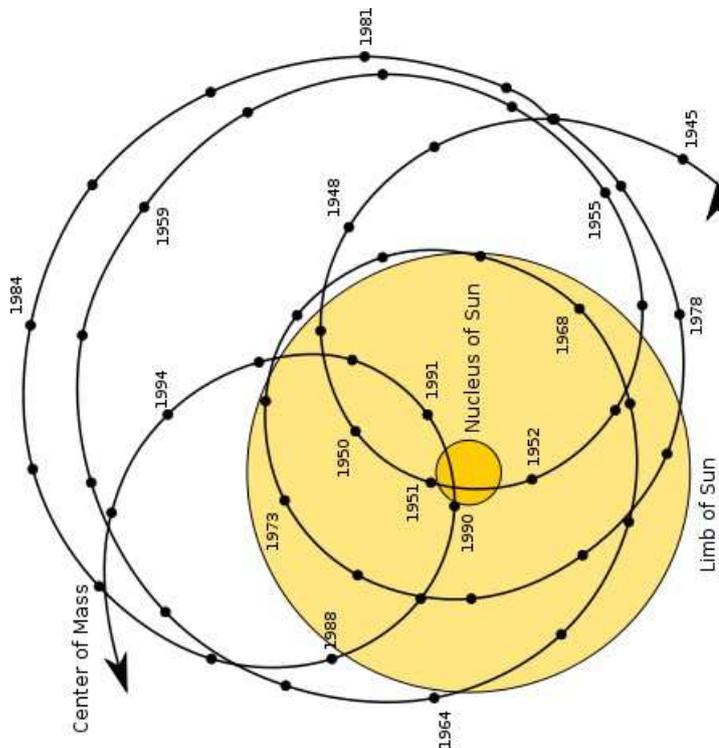


Abbildung 7.20: Die Veränderung des Baryzentrums des Sonnensystems.

- Betrachten wir das Beispiel Sonne-Jupiter: Masse der Sonne: 333.000 Erdmassen, Masse des Jupiter 318 Erdmassen oder etwa $(0.000955 M_{\odot})$, Abstand Jupiter Sonne etwa 778.000.000 km, Radius der Sonne 696.000 km;

daraus ergibt sich, dass der Schwerpunkt bei 742.000 km liegen würde⁴, d.h. bei $1.07 R_{\odot}$, also außerhalb des Sonnenkörpers.

Sei R_* der Radius eines Sterns, r_* der Abstand des Schwerpunkts im System M_* , M_{P1} , mit M_{P1} Masse eines Planeten um den Stern, a die große Bahnhalbachse des Planeten und wenn $M_* \gg M_{P1}$, dann liegt das Baryzentrum des Systems Stern-Planet außerhalb des Sterns, wenn gilt:

$$\frac{a}{R_*} \frac{M_{P1}}{M_*} > 1 \quad (7.7)$$

→ Schwerpunkt liegt immer dann außerhalb des Sterns, wenn der Planet schwer ist und weit entfernt ist.

- Betrachten wir Jupiter am Orbit des Merkur, d.h. Sonnenentfernung = 57.900.000 km: Der Schwerpunkt Sonne-Jupiter wäre dann nur 55.000 km vom Sonnenzentrum entfernt.

Ein Planet mit der Masse der Erde an der Position des Zwergplaneten Eris (68 AE) würde eine Verschiebung des Schwerpunktes Sonne-Planet um nur 30.000 km verursachen. Man beachte aber die lange Periode dieser Verschiebung.

Sind alle Planeten auf einer Seite der Sonne angeordnet, dann liegt der Schwerpunkt 500.000 km von der Oberfläche der Sonne entfernt. Die Bahnen der Planeten sind elliptisch, e sei die Exzentrizität. Das Verhältnis von r_1/R_1 bezeichnet das Verhältnis des Abstandes des Baryzentrums vom Sternmittelpunkt zum Radius R_1 des Sterns. Wenn $r_1/R_1 > 1$ liegt das Baryzentrum außerhalb der Oberfläche des Sterns.

Es gilt:

$$\frac{1}{1-e} > \frac{r_1}{R_1} > \frac{1}{1+e} \quad (7.8)$$

Bsp.: Jupiter $e = 0,0484$, und aus obiger Beziehung $r_1/R_1 = 1.07$ bzw. die Extremwerte 1,05; 0,954.

Aus der Schwerpunktsbewegung kann auf Planeten um einen Stern geschlossen werden. Die Amplitude der Bewegung hängt von dem Massenverhältnis der Planeten und dem Stern ab, sowie vom Abstand der Planeten.

7.3.2 Dopplereffekt

Die Bewegung eines Sterns relativ zum Baryzentrum des Systems kann man mit Hilfe des Dopplereffekts bestimmen. Sei v die radiale Geschwindigkeit relativ zum Beobachter, λ die beobachtete Wellenlänge einer Spektrallinie und λ_0 die Laborwellenlänge, sowie $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, dann gilt

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad (7.9)$$

⁴Gilt nur, wenn man von den übrigen Planeten absieht.

mit c der Lichtgeschwindigkeit. Daraus folgt:

- Blauverschiebung der Linien: Beobachter und Quelle nähern sich,
- Rotverschiebung der Linien: Beobachter und Quelle entfernen sich.

Das Prinzip ist in Abbildung 7.21 erklärt. Stern und Planet bewegen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt. Deshalb sind die Spektrallinie im Spektrum des Sterns nach rot bzw. blau verschoben, je nachdem ob sich der Stern vom Beobachter entfernt oder nähert.



> Apply now

REDEFINE YOUR FUTURE
**AXA GLOBAL GRADUATE
PROGRAM 2015**

redefining / standards 

agence.cdg. © Photonistop

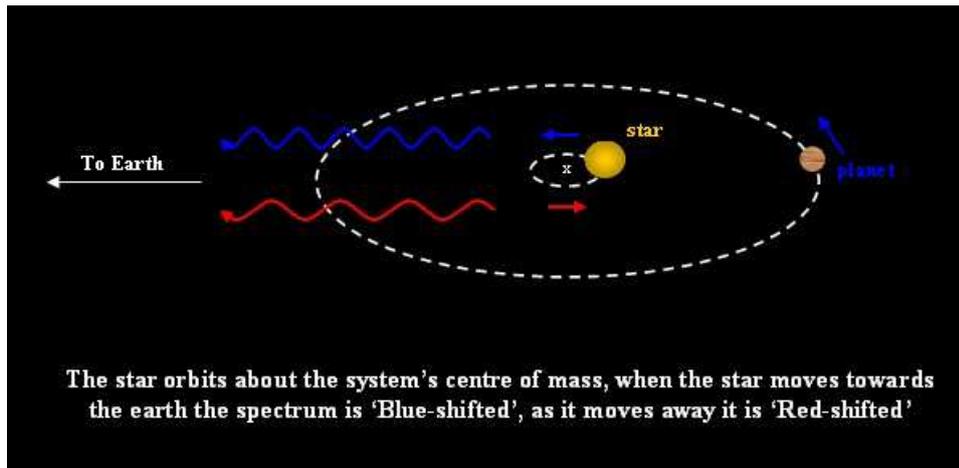


Abbildung 7.21: Dopplereffekt; die Spektrallinien des Hauptsterns sind wegen seiner Bewegung um den Schwerpunkt nach rot bzw. blau verschoben.

7.3.3 Vor- und Nachteile der Radialgeschwindigkeitsmethode

Bis zum Jahr 2014 war diese Methode die am häufigsten verwendete. Man kann mit modernen Spektrographen Geschwindigkeiten bis 1 m/s messen. Beispiele für moderne Spektrographen:

- High Accuracy Radial velocity Planet Searcher (HARPS): befindet sich am 3,6 Meter Teleskop der ESO in La Villa, Chile. Es wurden etwa 130 Exoplaneten gefunden. Man kann Geschwindigkeiten bis $0,975 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ messen. Der zu messende Stern und das Referenzspektrum (Thorium) werden gleichzeitig gemessen.

Die Abbildung 7.22 zeigt das 3,6 Meter Teleskop (oben) sowie den Spektrographen (unten).

HARPS wurde im Februar 2003 installiert und im Jahre 2012 verbessert. Man kann nun eine spezielle Kategorie von Exoplaneten untersuchen: Supererden (mit Massen von mehreren Erdmassen) in einer habitablen Zone um Sterne.

HARPS-N (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher for the Northern hemisphere) wurde auf der Kanareninsel La Palma am 3,6 Meter Telescopio Nazionale Galileo (Abb. 7.23) installiert. Man beobachtet damit vorwiegend Exoplanet-Kandidaten, die mit der KEPLER-Mission gefunden wurden. Die Beobachtungen begannen im August 2012.



Abbildung 7.22: Das 3,6 m ESO Teleskop, in welchem der Spektrograph HARPS zur genauen Messung von Radialgeschwindigkeiten untergebracht ist. ESO.

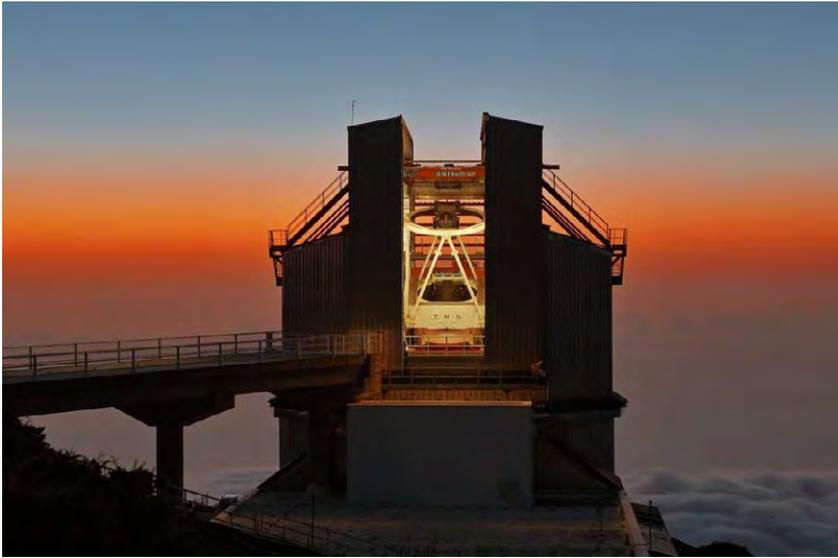


Abbildung 7.23: Das 3,6 m Telescopio Nazionale Galileo in La Palma, in dem HARPS-N installiert wurde.

- HIRES (High Resolution Echelle Spectrometer) befindet sich am Keck Observatorium, das aus 2 jeweils 10-Meter Teleskopen besteht und sich auf Hawaii befindet (Abb. 7.24).

An advertisement for KfW featuring a woman in a grey suit walking through a modern office space. In the background, three people are sitting at a table, engaged in a meeting. The office has large windows and a desk with a computer. The advertisement includes a quote, a paragraph of text, and the KfW logo.

» Ich habe den Weg zur KfW-Förderung verkürzt: von drei Wochen auf fünf Minuten.

Wir suchen kluge Köpfe, die nachhaltig etwas bewegen und verändern wollen. So wie Kerstin Kronenberger: Als IT-Projektmanagerin bei der KfW hat sie in einem interdisziplinären Team erreicht, dass Bauherren schon während des Beratungsgesprächs erfahren, ob die Wäremdämmung ihres Eigenheims gefördert werden kann. Damit leistet sie täglich einen innovativen Beitrag für mehr Kundennähe und den Klimaschutz. Und wann fangen Sie an?

Jetzt informieren auf www.kfw.de/karriere

Bank aus Verantwortung **KfW**



Bis zu einer Entfernung von einer astronomischen Einheit vom Zentralstern sind Planeten bis $1/5$ der Masse des Jupiter detektierbar. Das Teleskop befindet sich auf 4100 m Höhe und ging 1990 in Betrieb, der 10-Meter-Spiegel besteht aus 36 Einzelsegmenten.



Abbildung 7.24: Die beiden 10-Meter Keck Teleskope auf Hawaii.

Man kennt die Neigung i der Planetenbahn zum Beobachter nicht, daher kann man nur die Masse M_P bestimmen:

$$M_P = M_{\text{wahre Masse}} \sin i \quad (7.10)$$

Wenn man die Spektrallinie des Planeten von denen des Sterns unterscheiden kann, dann lässt sich auch die Bahnneigung und die wahre Masse ermitteln.

Man beachte:

Die Radialgeschwindigkeitsmethode ist unabhängig von der Entfernung des Objekts!

Probleme mit der Radialgeschwindigkeitsmethode: Die Geschwindigkeitssignale könnten auch andere Ursachen haben als eine Bewegung des Sterns um den Schwerpunkt.

- Oszillationen des Sterns,
- Starke Magnetfelder,
- Mehrfachplanetensysteme,

- Stellare Aktivitätszyklen.

Die Bestimmung so kleiner Geschwindigkeiten erfordert ein hohes Signal zu Rausch-Verhältnis in den Daten. Deshalb:

Die Radialgeschwindigkeitsmessungen funktionieren nur bis etwa 160 Lichtjahre Entfernung der Sterne.

7.3.4 Microlensing

Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ist der Raum um Massen gekrümmt. Die Verteilung von Massen bestimmt die Krümmung des Raumes. Generell hängen relativistische Effekte vom Verhältnis des Schwarzschildradius eines Objektes R_S zu seinem tatsächlichen Radius R ab: Der Schwarzschildradius ist der Radius, bei dem die Raumkrümmung unendlich wird. Er definiert einen Horizont, eine Art Grenzfläche. Ereignisse jenseits des Schwarzschildradius sind für uns nicht beobachtbar.

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} = 1,485 \times 10^{-27} \text{ m/kg} \quad (7.11)$$

Beispiele: Der Schwarzschildradius beträgt (rein hypothetisch):

- für die Sonne: 3 km,
- für die Erde 9 mm,
- für den Mount Everest: 1 nm.

Besonderheiten: Die Frequenz des Lichtes, das aus einem Gravitationsfeld zu einem entfernten Beobachter gelangt, wird zum roten Teil des Spektrums verschoben, dem Photon geht potenzielle Energie verloren. Am Ereignishorizont wird die Rotverschiebung unendlich groß.

- Wenn ein außenstehender Beobachter aus sicherer Entfernung zusieht, wie ein Objekt in ein schwarzes Loch fällt, hat er den Eindruck, dass dafür unendlich lange Zeit benötigt wird, das Objekt nähert sich asymptotisch dem Ereignishorizont.
- Dem Beobachter, der sich im freien Fall dem Ereignishorizont nähert, erscheint die Zeitdauer bis zum Erreichen als endlich.

Für rotierende schwarze Löcher gilt die Kerr-Metrik:

$$r_H = \frac{GM}{c^2} + \sqrt{(GM/c^2)^2 - a^2} \quad a = \frac{J}{Mc} \quad (7.12)$$

mit J Drehimpuls.

Man bekommt zwei Grenzfälle:

- $a \rightarrow 0$: nicht rotierendes schwarzes Loch, Schwarzschildmetrik, $r_H = 2GM/c^2$.
- wenn $a \rightarrow GM/c^2$ maximale Rotation, dann

$$r_H = \frac{GM}{c^2} \quad (7.13)$$

nennt man auch Gravitationsradius r_G .

Für den Nachweis von Exoplaneten ist besonders der Effekt der Lichtablenkung interessant.

Prinzip: Lichtablenkung
Licht wird von einer entfernten Quelle durch ein zwischen der Quelle und dem Beobachter liegendes Objekt abgelenkt.

Man unterscheidet:

1. Starker Gravitationslinseneffekt (Abb. 7.25): die hinter einer starken Gravitationslinse liegende Quelle erscheint in mehreren Bildern; erste Entdeckung durch sog. Doppelquasare.

Karriere als IT-Experte. Hier ist Ihre Chance.

Karriere gestalten als Praktikant, Trainee m/w oder per Direkteinstieg.

Ohne Jungheinrich bliebe Ihr Einkaufswagen vermutlich leer. Und nicht nur der. Täglich bewegen unsere Geräte Millionen von Waren in Logistikzentren auf der ganzen Welt.

Unter den Flurförderzeugherstellern zählen wir zu den Top 3 weltweit, sind in über 30 Ländern mit Direktvertrieb vertreten – und sehr neugierig auf Ihre Bewerbung.



www.jungheinrich.de/karriere

JUNGHEINRICH
Machines. Ideas. Solutions.



2. schwacher Gravitationslinseneffekt: die Anordnung der Galaxien eines Haufens wäre ohne Linse zufällig; durch die Linse kommt es jedoch zu einer scheinbaren Ausrichtung.
3. Microlensing: ein Einzelstern kann das Licht einer wesentlich schwächeren, dahinter gelegenen Quelle bündeln und verstärken.

Bei Anwesenheit von Planeten wird das Microlensing-Ereignis modifiziert. Dies ist in Abbildung 7.26 dargestellt.

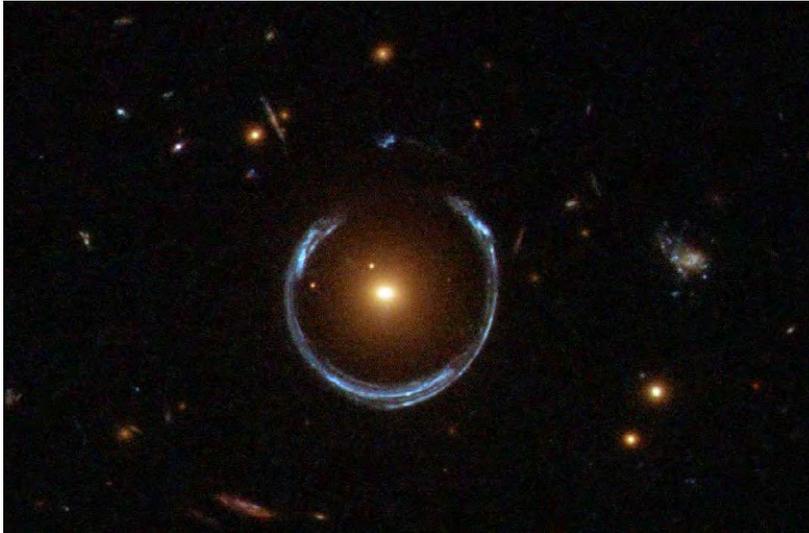


Abbildung 7.25: Starker Linseneffekt. Das Licht hinter einer Linse gelegenen weit entfernten Galaxien wurde hufeisenförmig verzerrt. NASA.

Sei D_L die Entfernung zwischen Beobachter O und Linse L ; D_{LS} die Entfernung zwischen Linse und Quelle und D_S die Entfernung zwischen Quelle und Beobachter. Eine Verstärkung des Lichts tritt dann auf, wenn sich das Objekt innerhalb des Einstein-Radius bewegt, Θ_E :

$$\Theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{D_{LS}}{D_L D_S}} \quad (7.14)$$

Man hat versucht mit dieser Methode Planeten nachzuweisen. Die Abkürzung MOA steht für Microlensing Observations in Astrophysics. Es handelt sich um eine Kooperation zwischen Japan und Neuseeland. Ein Beispiel für ein Teleskop des weltweiten MOA-Netzwerks (Abbildung 7.27) ist im Bild 7.28 gegeben.

Betrachten wir einige Extrembeispiele von mit Microlensing entdeckten Exoplaneten:

- massivster Planet: MOA-bin-1b; Masse beträgt $3,7 M_J$. Dabei bedeutet M_J die Masse des Jupiter.

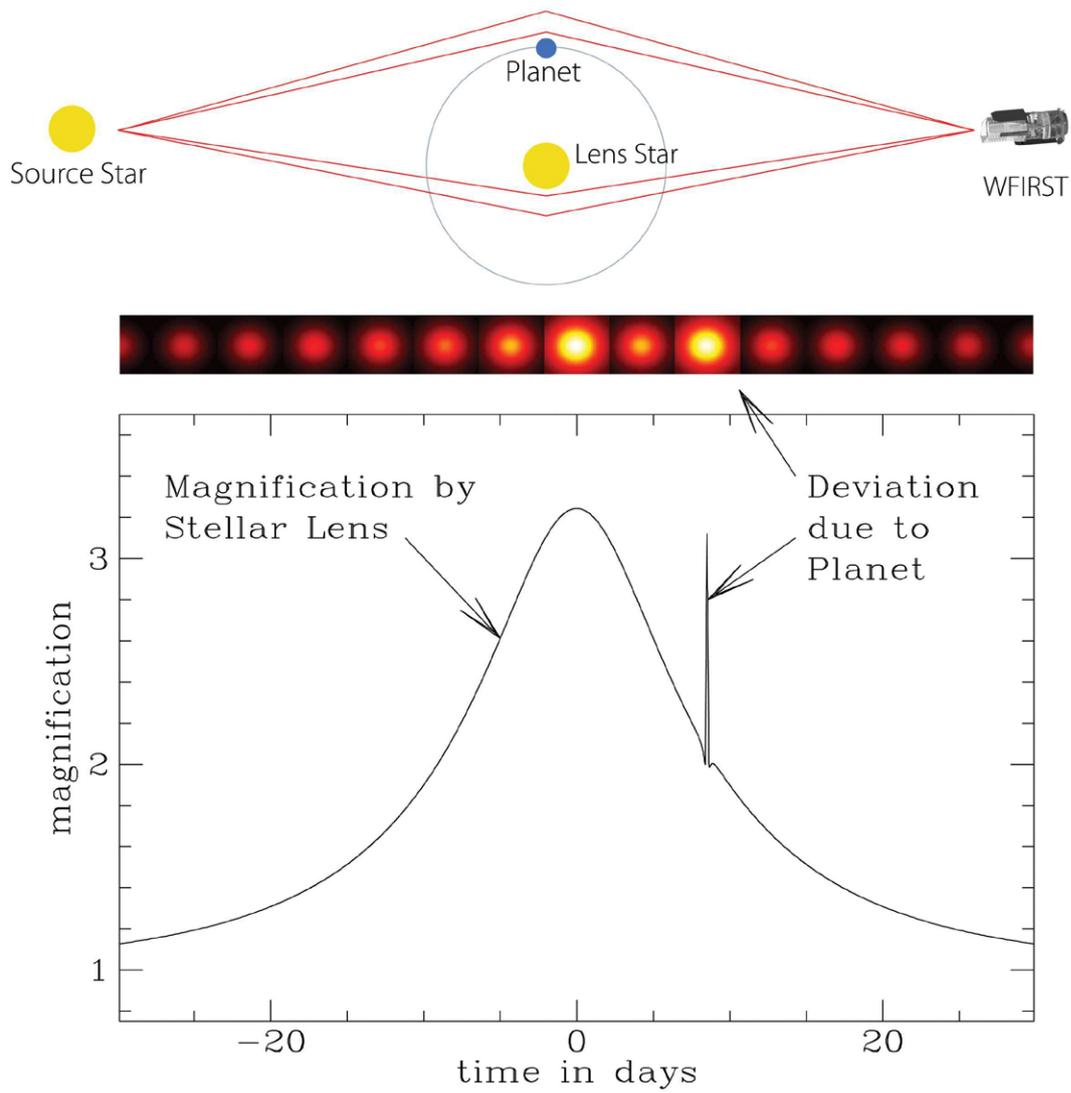


Abbildung 7.26: Microlensing. Die Helligkeit der Quelle nimmt zu, durch die Anwesenheit eines Planeten kommt es zu einem zusätzlichen Effekt. NASA.



Abbildung 7.27: Das weltweite Netzwerk MOA zur Beobachtung von Microlensing Events.



Abbildung 7.28: Eines der 1,8 Meter-Teleskope von MOA.

- masseärmster Planet: MOA-2007-BLG-192Lb, Masse $0,01 M_J = 3,3$ Erdmassen.
- größter Abstand Planet-Stern: MOA-bin-1b, 8,3 AE,
- kürzeste Distanz Planet-Stern: MOA-2007-BLG-192Lb, 0,66 AE.

Das Objekt MOA-2007-BLG-192Lb (auch als MOA-192b abgekürzt) ist etwa 3000 Lichtjahre von uns entfernt im Sternbild Sagittarius. Der Planet umkreist den braunen Zwergstern MOA-2007-BLG-192L, der nur etwa 0,06 Sonnenmassen enthält.

7.3.5 Lichtreflexion

Planeten reflektieren das Licht ihres Muttersterns.

Die Antwort ist 42.
Oder Baden-Württemberg.



BW-jetzt.de



facebook.com/BWjetzt



@BWjetzt



Baden-Württemberg

Wir können alles. Außer Hochdeutsch.



Die Reflexion (Streuung) hängt von verschiedenen Faktoren ab. Wir betrachten einen Planeten mit Radius R_P in einer Umlaufbahn mit großer Halbachse a und geometrischer Albedo $p(\lambda)$, f_P sei der zurückgestreute Strahlungsfluss, f_* der vom Stern empfangene Fluss. Dann gilt:

$$\epsilon = f_P/f_* = p(\lambda) \left(\frac{R_P}{a} \right)^2 \quad (7.15)$$

Bei der Albedo muss man unterscheiden:

- geometrische Albedo
- Bond'sche Albedo (berücksichtigt das gesamte von einem Körper zurückgestreute Licht bei allen Wellenlängen und Phasenwinkeln)

Die Zahlenwerte für Planeten unseres Sonnensystems findet man in Tabelle 7.4.

Tabelle 7.4: Albedowerte für Planeten des Sonnensystems

Objekt	Geometr. Albedo	Bond'sche Albedo
Merkur	0,138	0,119
Venus	0,84	0,75
Erde	0,37	0,29
Mond	0,113	0,123
Mars	0,15	0,16
Pluto	0,44-0,61	0,4
Jupiter		0,34
Saturn		0,34
Uranus		0,29
Neptun		0,31

Je höher der Albedowert, desto mehr wird reflektiert. Hohe Werte entstehen durch eine Oberfläche aus Eis, gefrorenen Gasen oder dichte Wolkenhülle.

Ein Exoplanet ist von uns aus gesehen in einer ähnlichen Situation wie die inneren Planeten Merkur und Venus. Er durchläuft Phasen. Steht er hinter dem Stern ist der Planet voll beleuchtet, steht er zwischen Stern und Erde sehen wir praktisch nur die unbeleuchtete Hälfte des Planeten. Dieser Phaseneffekt bietet eine Möglichkeit der Detektion. Phaseneffekte sind leichter detektierbar:

- im sichtbaren Licht, wenn der Planet eine hohe Albedo besitzt;
- im IR, wenn der Planet eine geringe Albedo besitzt, also ein sehr dunkler Körper ist.

Die beiden Planeten Kepler 70b und Kepler 70c waren die ersten mit dieser Methode gefundenen Objekte.

7.3.6 Relativistic Beaming

Prinzip: durch das Gravitationsfeld eines massereichen und dem Stern nahen Planeten wird das Licht durch den Umlauf des Planeten verzerrt. Vorteil: man benötigt keine Spektren und misst nur Helligkeitsvariationen, die allerdings extrem gering sind; deshalb ist diese Methode sehr beschränkt einsetzbar. Das erste mit dieser Methode entdeckte Objekt ist Kepler 76 b.

7.3.7 Verzerrungen von zirkumstellaren Scheiben

Scheiben um Sterne können im Infrarot beobachtet werden. Der in der Scheibe enthaltene Staub absorbiert Sternenlicht und reemittiert es als IR-Strahlung. Zirkumstellare Scheiben wurden um junge Sterne gefunden, z.B. T Tauri Sterne, aber auch in der Nähe alter Sterne. 70-80 % aller jungen Sterne im Orionnebel sind von solchen Scheiben umgeben.

Beobachtungen mit dem IRAS Satelliten⁵ zeigten, dass 15 % aller F-, G- und K-Hauptreihensterne einen IR-Exzess zeigen, d.h. deren IR Strahlung ist erhöht, (bis zu einem Faktor 100) gegenüber einer Planckkurve. Diese Strahlung muss demnach aus der Scheibe stammen.

Aus der Beobachtung von Scheiben folgt, dass sich planetenartige Objekte um solche Sterne gebildet haben, oder sich gerade bilden.

Die Sonne ist ebenfalls von einer Scheibe umgeben. Dies kann man als Zodiaklicht beobachten, eine Aufhellung längs der Ekliptik, die in unseren Breiten unter sehr guten Bedingungen am Abend- oder Morgenhimmel als Aufhellung längs der Ekliptik zu sehen ist, wenn der Himmel dunkel genug ist. Die Sonne hat in ihrer Frühzeit eine T-Tauri-Phase durchlaufen. Dabei gab es sehr intensive Sonnenwinde und das Material aus der Entstehungsphase des Sonnensystems wurde aus dem Sonnensystem entfernt. Die Staubteilchen des Zodiaklichts stammen vermutlich von späteren Kollisionen zwischen Asteroiden und Kometen.

Ein bekanntes Beispiel einer Staubscheibe um einen jungen Stern ist β Pictoris (Abb. 7.29). Genauere Untersuchungen zeigen eine verbogene Scheibe, was auf Planeten schließen lässt. Der Stern selbst wurde in der Aufnahme abgedunkelt.

7.4 Direkte Beobachtung

Problem: hoher Kontrast zwischen Planet und Mutterstern. Kontrast ist im IR geringer. Exoplaneten, die weit von ihrem Mutterstern entfernt stehen, erhalten nur wenig Licht vom Stern und erscheinen daher schwach. Am leichtesten wird man sehr große heiße Exoplaneten nahe bei ihrem Mutterstern finden. Es werden

⁵Infrarot-astronomischer Satellit; 1983

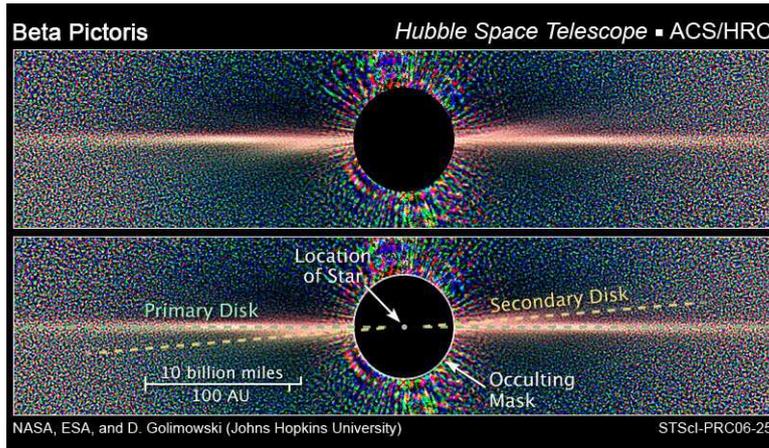


Abbildung 7.29: Staubscheiben um den abgedunkelten Stern β Pectoris. Die zweite um 4 Grad geneigte Staubscheibe könnte durch einen Planeten oder braunen Zwerg hervorgerufen worden sein.

Koronographen verwendet, d.h. man deckt den Stern selbst ab und beobachtet nur dessen Umgebung.

MASTER OF SCIENCE IN MANAGEMENT



BUSINESS GAME

23 & 24 May 2014

- Work on a business case
- Interact with students & alumni
- Stay a night at our campus

www.nyenrode.nl/businessgame



NYENRODE
BUSINESS UNIVERSITEIT

The Master of Science in Management has been voted the Best Master 2014 in the Netherlands for the fifth time running. This could only be achieved because of our remarkable students. Our students distinguish themselves by having the courage to take on challenges and through the development of the leadership, entrepreneurship and stewardship skills. This makes the

Master program at Nyenrode an achievement, from which you can benefit for the rest of your life. During this program you will not only learn in class, you will also develop your soft skills by living on campus and by working together in the student association. Do you think this program is something for you? Then it is our pleasure to invite you to Nyenrode. Go to www.nyenrode.nl/msc or call +31 346 291 291.



NYENRODE. A REWARD FOR LIFE



Koronographen wurden zuerst zur Beobachtung der Sonne entwickelt. Mit einer Scheibe wird die Sonne selbst abgedeckt und man kann die äußerste Schicht der Sonnenatmosphäre, die Korona, auch außerhalb einer totalen Sonnenfinsternis beobachten. Die Korona leuchtet trotz ihrer hohen Temperatur von mehreren Millionen Grad sehr schwach, der Grund ist ihre geringe Dichte. Deshalb kann sie nur bei exzellenten Beobachtungsbedingungen mit einem Koronographen gesehen werden, wenn das Streulicht in der Erdatmosphäre gering ist. Besser kann man die Korona vom Weltraum aus beobachten, ein Beispiel ist in Abbildung 7.30 gegeben.

In Abbildung 7.31 ist nochmals der Stern β Pictoris gezeigt, und man erkennt sogar einen Planeten um den Stern.

In Abbildung 7.32 ist der Stern HR8799 abgebildet, der selbst jedoch von einem Koronographen abgedeckt wird und nur die drei Planeten um ihn herum sind erkennbar. Die drei Planeten sind massereicher als Jupiter. Während sich Jupiter in fünffacher Entfernung Erde-Sonne befindet, sind diese drei Planeten 24-, 38-, bzw. 68-mal so weit entfernt wie die Erde von der Sonne. Der Zentralstern selbst ist etwa 120 Lichtjahre von uns entfernt.

Die Abbildung 7.33 zeigt das Objekt 2M1207.

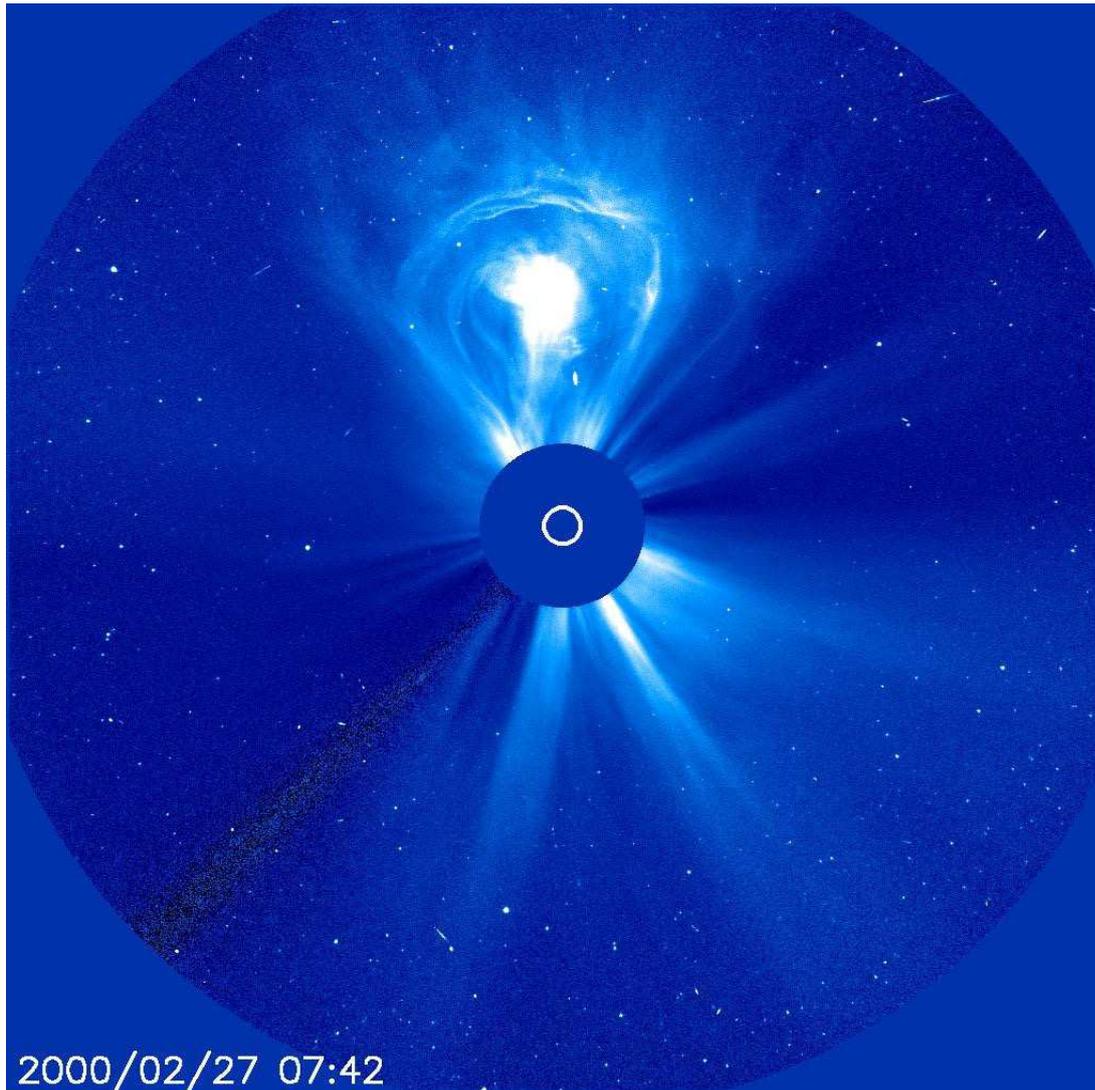


Abbildung 7.30: Beobachtung der Korona der Sonne mit einem Koronographen an Bord des Sonnensatelliten SOHO. Man erkennt einen sogenannten koronalen Massenausbruch.

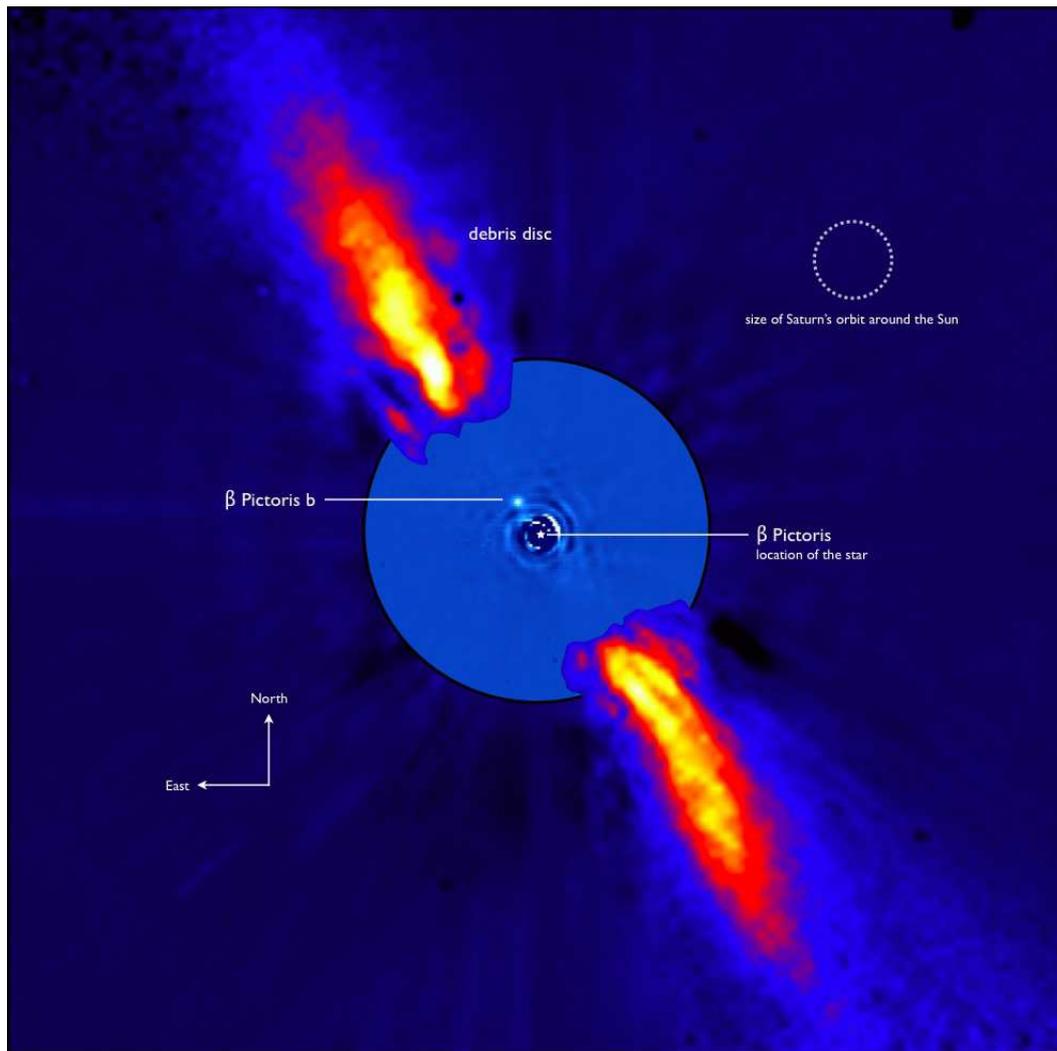


Abbildung 7.31: Durch einen Koronographen ist ein Planet um den Stern β Pictoris sichtbar. ESO.

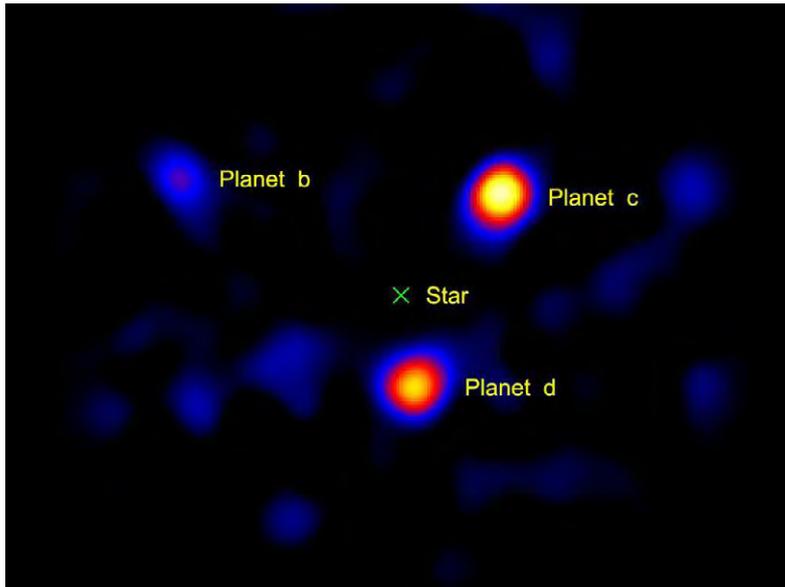


Abbildung 7.32: S3 Planeten um den Stern HR8799. Der Zentralstern selbst ist abgedeckt. 1,5-Meter Hale Teleskop.

Der Stern ist etwa 170 Lichtjahre von uns entfernt und vom Spektraltyp M8.

Think Umeå. Get a Master's degree!

- modern campus • world class research • international atmosphere
- 36 000 students • top class teachers • no tuition fees

Master's programmes:

- Architecture • Industrial Design • Science • Engineering

Umeå University
Sweden
www.umu.se

APPLY NOW!



Die Masse des Planeten 2M1207 b wurde mit etwa 4 Jupitermassen abgeschätzt und sein Radius dürfte nur etwa das 1,5-Fache der Erde betragen. Er befindet sich in ca 40 AE Entfernung von seinem Mutterstern, der ein brauner Zwerg ist⁶. Die Oberflächentemperatur beträgt etwa 1600 K. Es gibt Hinweise, dass dieser Planet von einer Akkretionsscheibe umgeben ist, andere Autoren bezweifeln überhaupt, dass es sich um einen Planeten im herkömmlichen Sinne handelt. Weshalb ist die Temperatur auf der Oberfläche von 2M1207 b so hoch? Mehrere Möglichkeiten wurden vorgeschlagen:

- Der Planet erzeugt etwa das 10-Fache an Wärme die er von seinem Mutterstern empfängt; die Wärmeerzeugung erfolgt durch Kontraktion.
- Der Planet ist erst kürzlich mit einem anderen zusammengestoßen, dabei wurde diese riesige Wärmemenge freigesetzt.

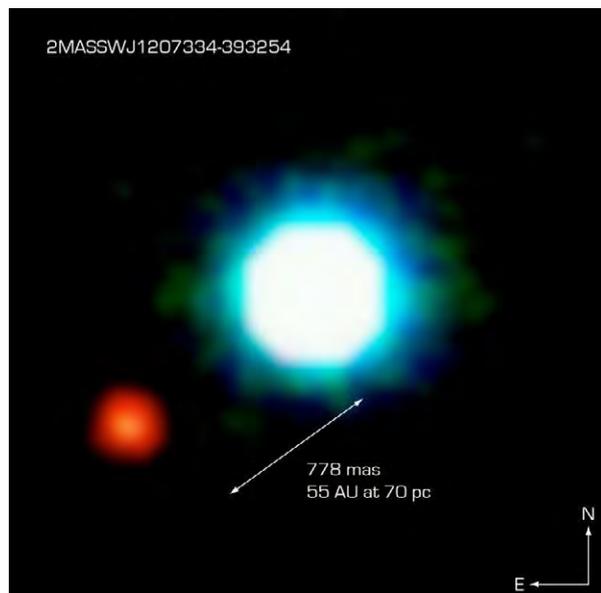


Abbildung 7.33: Infrarotaufnahme des Braunen Zwergs 2M1207 (blau) und seines Planeten 2M1207b (rot). Von uns aus gesehen sind die beiden Objekte nur etwa 1 Bogensekunden am Himmel getrennt. Die Aufnahme entstand mit dem 8,2 -Meter ESO Yepun-VLT.

In Abbildung 7.34 ist die Staubscheibe um den Stern Fomalhaut gezeigt. Die Abbildung wurde mit einem Koronographen erhalten. Weiters sieht man Planeten in dieser Scheibe. Man könnte diese Scheibe wahrscheinlich mit dem Kuiper-Gürtel des Sonnensystems vergleichen. Der Stern Fomalhaut ist ein junger Stern, etwa 100-300 Millionen Jahre alt; er besitzt die 1,9-fache Sonnenmasse und eine

⁶Entspricht in etwa der Entfernung Sonne-Pluto

Temperatur von 8590 K, Spektraltyp A. Seine Lebensdauer wird ca. eine Mrd. Jahre betragen. Die Entfernung beträgt etwa 25 Lichtjahre. Die Parameter des Systems Fomalhaut sind in Tabelle 7.5 gegeben. Die Aufnahme 7.35 zeigt eine Überlagerung von Hubble-Daten (blau) mit ALMA-Radioteleskopdaten.

Tabelle 7.5: Parameter des Systems um den Stern Fomalhaut. U ist die Umlaufperiode des Planeten in Jahren; i bedeutet die Neigung; e die Exzentrizität.

Begleiter	Masse	Gr. Halbachse (AE)	U	e	i
Innere heiße Scheibe		0,08-0,11			
Äußere heiße Scheibe		0,21-0,62 od. 0,88-1,08			
10 AE Gürtel		8-12			
Zwischengürtel (Staub)		35-133			
b	? M_J	177 ± 68	1700	0,8	-55°
Hauptgürtel		133-158			-66,1°
Hauptgürtel-Halo		158-209			



Jetzt **bewerben** und jederzeit einsteigen!

FastTrack

IT-Einsteigerprogramm für Bachelor- und Masterabsolventen

Durchstarten in Ihre IT-Karriere

Unser 18-monatiges Programm bildet die perfekte Grundlage für Ihren beruflichen Erfolg: Arbeit in Top-Projekten, Ausbildung in fachlichen und Soft-Skill-Trainings, Betreuung durch einen persönlichen Mentor und Austausch mit Kollegen aus aller Welt. Ihren Schwerpunkt wählen Sie selbst:

Mehr Informationen auf www.capgemini.de/karriere

- Business Technology Consulting
- Individuelle Softwarelösungen
- Lösungen auf Basis von Standardsoftware
- Business Information Management
- Application Lifecycle Services



People matter, results count.



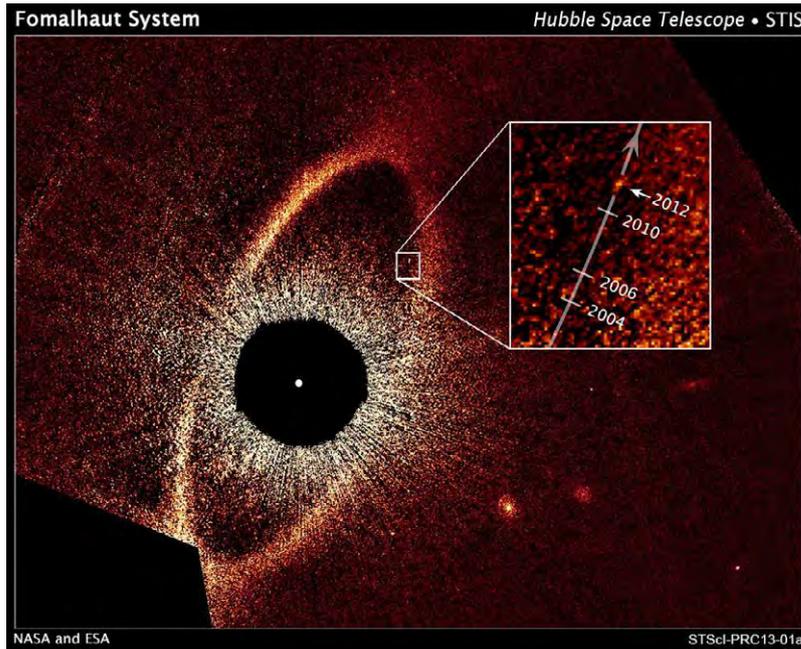


Abbildung 7.34: Aufnahme des Sterns Fomalhaut mit Staubscheibe. Daten: Hubble-Teleskop.

7.4.1 Polarisation

Eine weitere Möglichkeit Exoplaneten zu detektieren wären Polarisationsmessungen. Sternenlicht ist weitgehend unpolarisiert. Licht, das an den Molekülen einer Planetenatmosphäre reflektiert wird, ist teilweise polarisiert. Vorteil dieser Methode:

- Polarisation wird nicht vom Seeing der Erdatmosphäre beeinflusst.
- Man könnte mit dieser Methode auch grob die Zusammensetzung einer Planetenatmosphäre ermitteln.
- Die Methode funktioniert nur für Planeten mit Atmosphäre; der zu erwartende Polarisationsgrad beträgt 1 zu einer Million.

7.4.2 Zusammenfassung der Methoden

Eine Zusammenfassung der bis Ende 2014 entdeckten Exoplaneten mit den verschiedenen Methoden ist in Abbildung 7.37 gegeben. Die Farbe Dunkelblau bedeutet Entdeckung mit der Radialgeschwindigkeitsmethode, Grün bedeutet

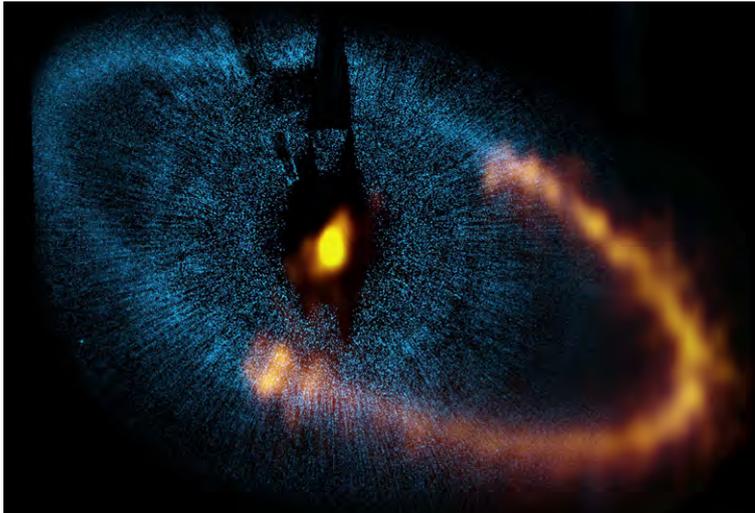


Abbildung 7.35: Aufnahme des Sterns Fomalhaut mit Staubscheibe mit ALMA, einem Array aus Radioteleskopen. Man erkennt den Staubring detailliert. Daten: ALMA-ESO.

Transitmethode, Dunkelgelb bedeutet Timing, Rot bedeutet direkte Beobachtung und Orange bedeutet Entdeckung mit der Microlensingmethode. Man sieht: im Jahre 2014 wurden die meisten Objekte durch Transit gefunden.

Deutsche Bank
db.com/careers

Können Banktechnologien die Welt verändern?

Ein wacher Verstand weiß, dass dies längst Alltag ist

Ihr Weg zu Group Technology & Operations (GTO)

Technologie ist der Motor der Finanzindustrie. Sie ermöglicht Geschäfte über Zeitzonen hinweg, liefert wichtige Entscheidungshilfen und schafft die Verbindung zu anderen Banken und unseren Kunden. Ohne Technologie – und damit bald ohne Sie – wäre die Welt eine andere. Ob als Praktikant oder Trainee: Sie erschließen mit uns neue technische Einsatzfelder, lösen komplexe Aufgaben und überschreiten die Grenzen des technisch Möglichen: ob Sie Ihre Zukunft in der Entwicklung, Analyse oder im Management sehen.

Entdecken Sie den Unterschied auf db.com/careers/jobs

Leistung aus Leidenschaft



Direkte Beobachtung von Exoplaneten ist wegen des hohen Kontrastes schwierig. Wenn man aber auch spektroskopisch arbeiten möchte, um z.B. Biomarker im Spektrum eines Exoplaneten zu finden, ist ein großes Teleskop notwendig um die entsprechende Lichtmenge einzusammeln. Einen Vergleich moderner existierender bzw. geplanter Großteleskope, die u.A. auch zur Erforschung der Exoplaneten eingesetzt werden, ist in Abbildung 7.36 gezeigt. Eine Möglichkeit der Beobachtung von Exoplaneten ist die Technik der „Nulling Interferometry“. Dabei wird interferometrisch das Licht des Zentralsternen ausgelöscht. Diese Technik wurde am Keck-Teleskop erprobt.

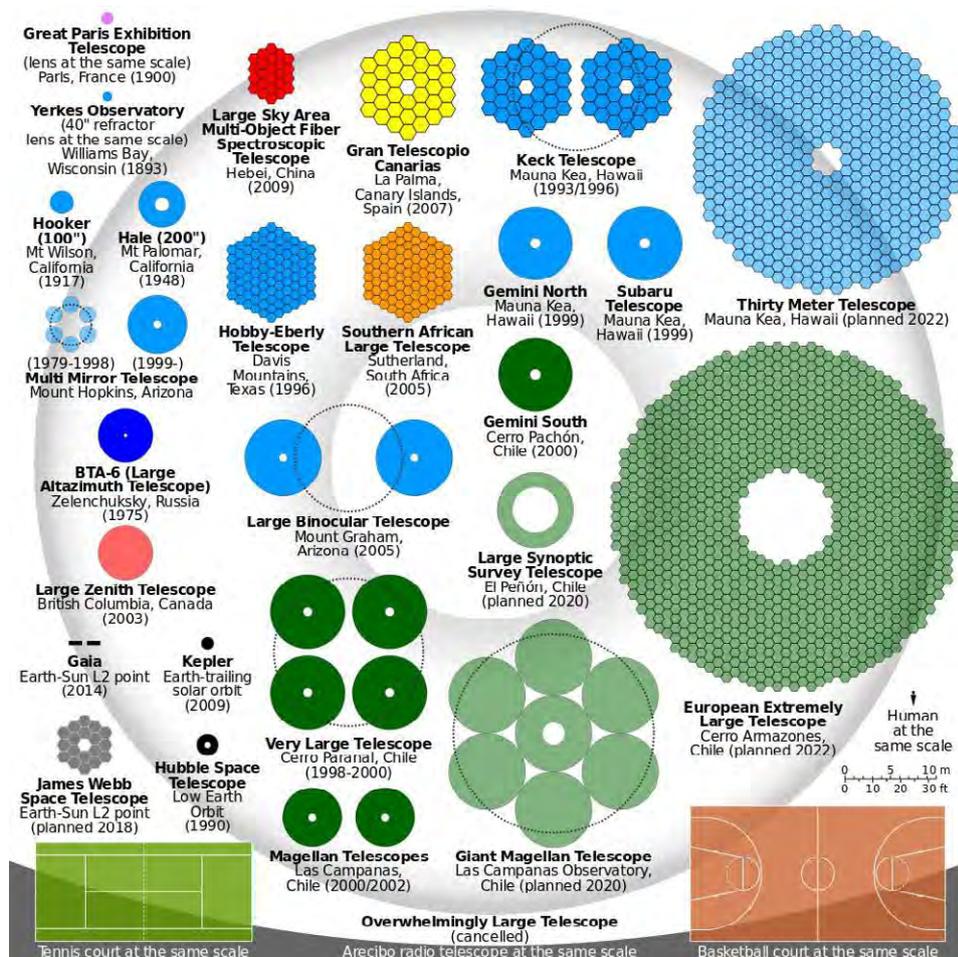


Abbildung 7.36: Vergleich moderner Großteleskope bzw. geplanter Projekte.

In Abbildung 7.38 findet man zwei Plots: auf der linken Seite ist die Umlaufperiode gegen die Masse der gefundenen Exoplaneten (in Einheiten der Erd-

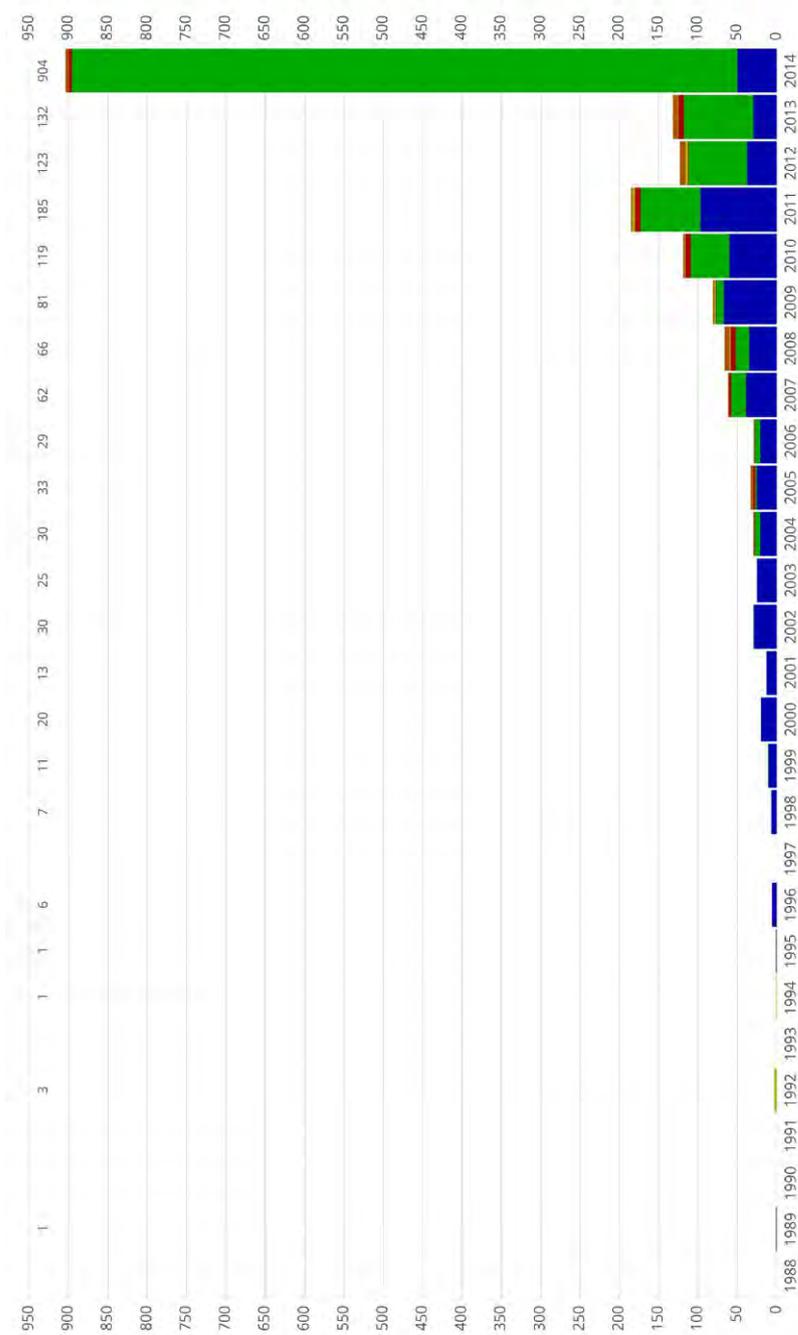


Abbildung 7.37: Bis Ende 2014 entdeckte Exoplaneten.

masse) aufgetragen. Man sieht deutlich, dass Transitbeobachtungen auf masse-reiche, sternnahe Planeten beschränkt sind, weil dort die Wahrscheinlichkeit eines Transits am größten ist (blaue Punkte). Die Radialgeschwindigkeitsmethode funktioniert gut bei massereichen Planeten mit großem Abstand vom Stern aber auch mit kleineren Planeten in der Nähe des Sterns (pinkfarbige Punkte). Die direkte Abbildung (direct imaging) funktioniert nur bei massereichen Planeten in großer Entfernung vom Stern (violette Punkte).

In der Abbildung rechts ist die Bahnperiode gegen den Planetenradius aufgetragen. Man erkennt, dass mit der Mission KEPLER einige Planeten gefunden wurden, deren Radius kleiner als der der Erde ist, diese Planeten sind aber wesentlich dichter als die Erde, besitzen also eine größere Masse.



UPPSALA
UNIVERSITET

Develop the tools we need for Life Science Masters Degree in Bioinformatics

A 3D rendered face of a woman's head, where the facial features are composed of glowing DNA base pairs (A, T, C, G). The background is a dark, textured surface with scattered DNA sequences in a golden-yellow color. The text is overlaid on the right side of the image.

Bioinformatics is the exciting field where biology, computer science, and mathematics meet.

We solve problems from biology and medicine using methods and tools from computer science and mathematics.

Read more about this and our other international masters degree programmes at www.uu.se/master



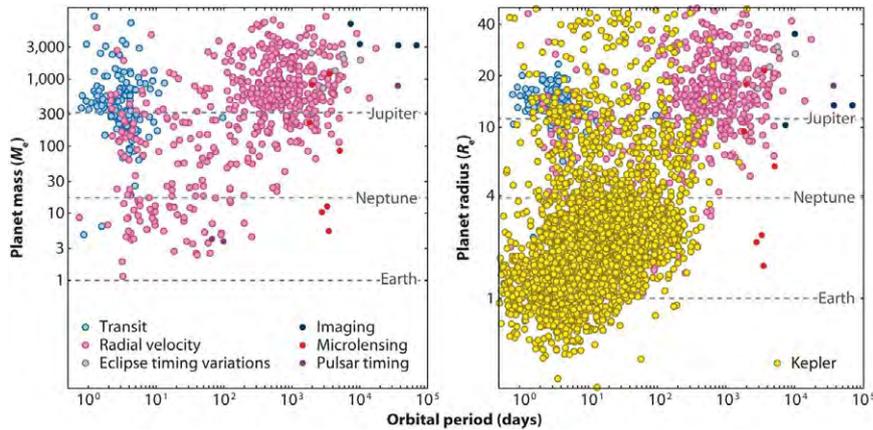


Abbildung 7.38: Gefundene Exoplaneten. Credit: N. Batalha, PNAS 2014.

7.5 Statistik von Exoplaneten

7.5.1 Umlaufperiode und Einstrahlung

Die Einstrahlung auf einem Exoplaneten hängt von zwei Faktoren ab:

- Helligkeit bzw. Masse des Muttersterns. Über die Masse–Leuchtkraft–Beziehung gilt:

$$L \sim M^{3,5} \quad (7.16)$$

- Entfernung des Exoplaneten vom Mutterstern. Über das dritte Keplergesetz hängt die Entfernung a mit der Umlaufperiode U zusammen:

$$a^3/U^2 \propto (M_* + M_{Pl}) \quad (7.17)$$

In Abbildung 7.39 ist aufgetragen: die Umlaufperiode in Tagen und die Einstrahlung auf den Planeten in Einheiten der Einstrahlung, die die Erde von der Sonne empfängt. Die unterschiedlichen Farben der Punkte zeigen die verschiedenen Detektionsmethoden der Exoplaneten an, wobei nur die Radialgeschwindigkeitsmethode (rot) sowie die Transitmethode (grün) interessant sind.

Die Einstrahlung errechnet sich aus:

$$Irr = \frac{R_*^2 \sigma T_{\text{eff}}^4}{a^2} 1366 \text{ W/m}^2 \quad (7.18)$$

a ... Halbachse der Planetenbahn, R_* Radius des Sterns, T_{eff} effektive Temperatur des Sterns, σ Stefan-Boltzmann-Konstante und 1366 W/m^2 der Wert der Einstrahlung auf der Erde.

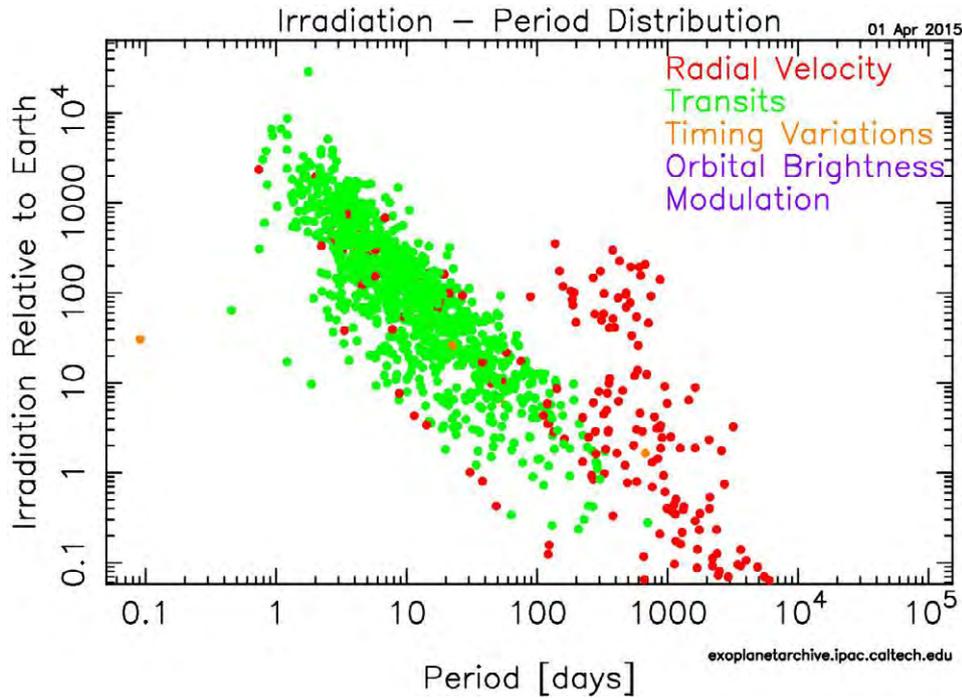


Abbildung 7.39: Exoplaneten: Umlaufperiode gegen Einstrahlung.

A NEW FUTURE
IS WAITING FOR
YOU AT ERICSSON.

Look up for our continuous offers of graduate positions at our various locations within Germany (Backnang, Duesseldorf, Frankfurt, Herzogenrath/Aachen). We are looking forward to getting to know you! Apply via the internet: www.ericsson.com/careers



In Abbildung 7.40 ist die Masse der detektierten Exoplaneten gegen ihre Umlaufperiode aufgetragen. Die grünen Punkte bezeichnen wieder Entdeckungen durch Transits. Hier sind die Massen relativ breit gestreut und die Umlaufperioden kurz, da die Planeten sich nahe bei ihrem Stern befinden. Für Planeten mit großer Distanz zum Mutterstern sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass wir einen Transit beobachten können sehr schnell ab. Die Wahrscheinlichkeit den Planeten durch Imaging zu beobachten nimmt mit zunehmender Entfernung zu. Allerdings sieht man hier praktisch nur große Planeten mit etwa der zehnfachen Jupitermasse. Für Planeten mit kleiner Umlaufperiode und kleiner Masse überlappen sich die Radialgeschwindigkeitsmethoden und Transitbeobachtungen.

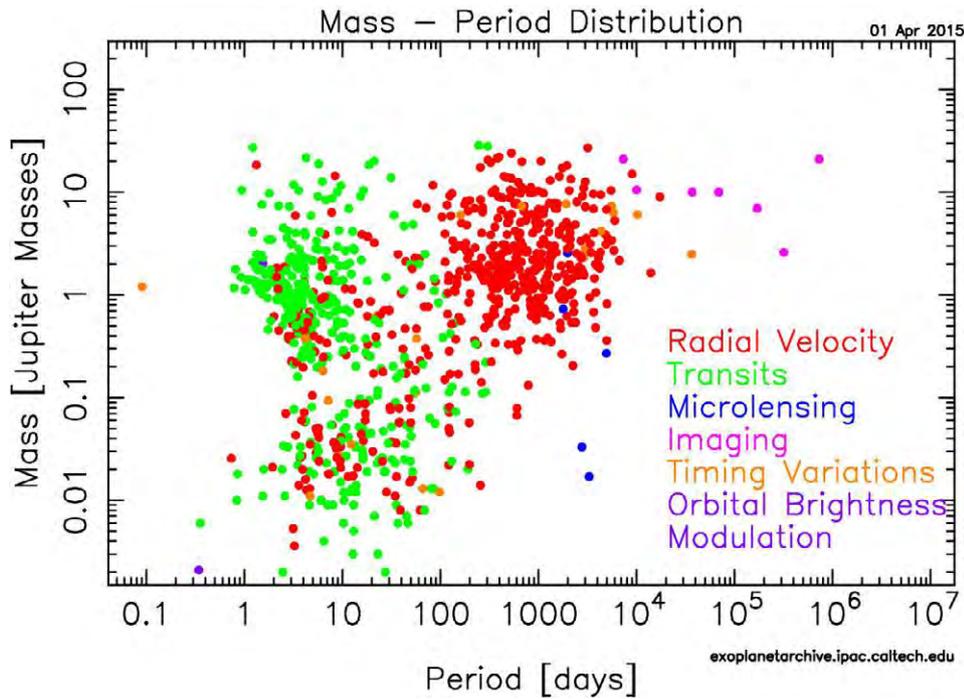


Abbildung 7.40: Exoplaneten: Masse gegen Umlaufperiode.

In Abbildung 7.41 sind vom Satelliten KEPLER gefundene Exoplaneten eingetragen. Die Detektion erfolgte mit der Radialgeschwindigkeitsmethode. Es sind die Radien der Exoplaneten gegen ihre Gleichgewichtstemperatur aufgetragen. Das ist diejenige Temperatur, die man auf der Oberfläche eines atmosphärenlosen Planeten erwarten würde. Im vergrößerten Ausschnitt oben rechts sieht man Planeten mit Radien zwischen 1 und 2 Erdradien und Oberflächentemperaturen zwischen 200 und 300 K.

Die Masse von Exoplaneten in Einheiten der Erdmasse gegen deren Radius (Erde = 1) ist in Abb. 7.42 aufgetragen.

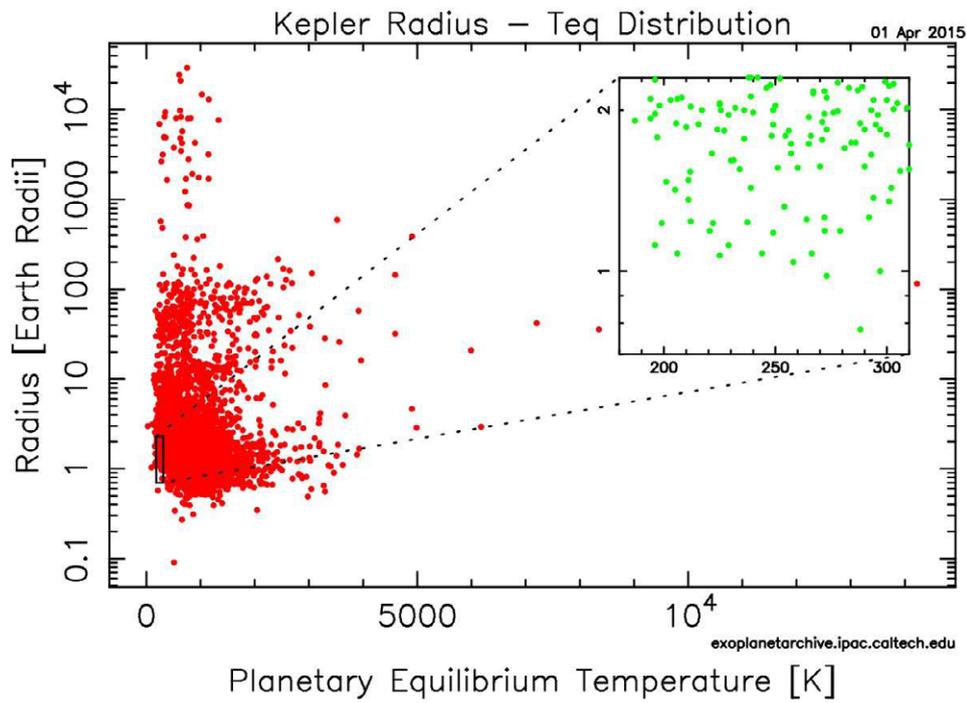


Abbildung 7.41: Exoplaneten: Beobachtete Objekte mit dem Satelliten KEPLER.
Der Radius ist gegen die Gleichgewichtstemperatur aufgetragen.

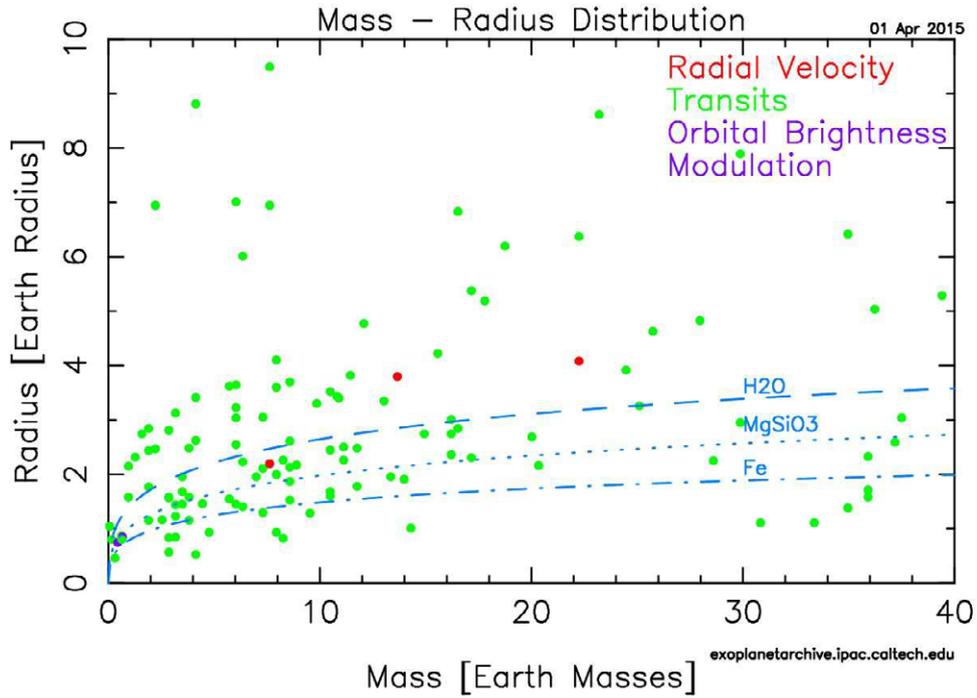


Abbildung 7.42: Exoplaneten: Masse (in Erdmassen) gegen Radius (in Erdradien).

Kapitel 8

Die Suche nach der zweiten Erde

Nachdem wir die Entdeckungsmöglichkeiten von Exoplaneten diskutiert haben, behandeln wir nun die Suche nach erdähnlichen Exoplaneten in einer habitablen Zone. Die Erde als Planet vom Standpunkt der Astronomie wird in [24] beschrieben.

8.1 Exoplaneten-Einteilung

Man teilt Exoplaneten in folgende Gruppen ein.

8.1.1 Hot Jupiters

Als heiße jupiterähnliche Planeten bezeichnet man folgende Objekte:

- Masse $\geq M_J$, $M_J = 1,9 \times 10^{27}$ kg, Masse des Jupiter.
- Jupiter ist etwa 5 AE von der Sonne entfernt; die heißen Jupiter sind wesentlich näher, bis etwa $0,05 \text{ AE} = 1/8$ der Distanz Sonne-Merkur.

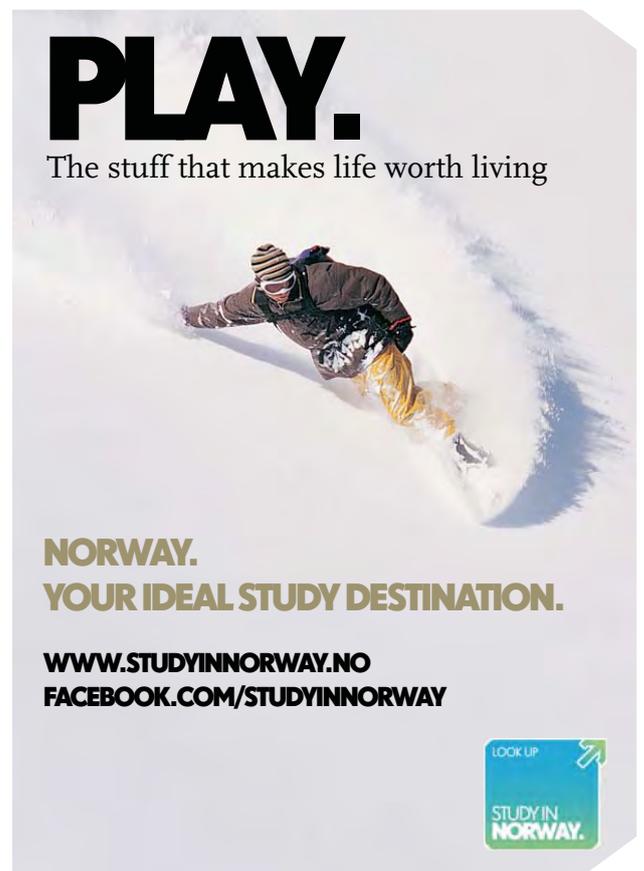
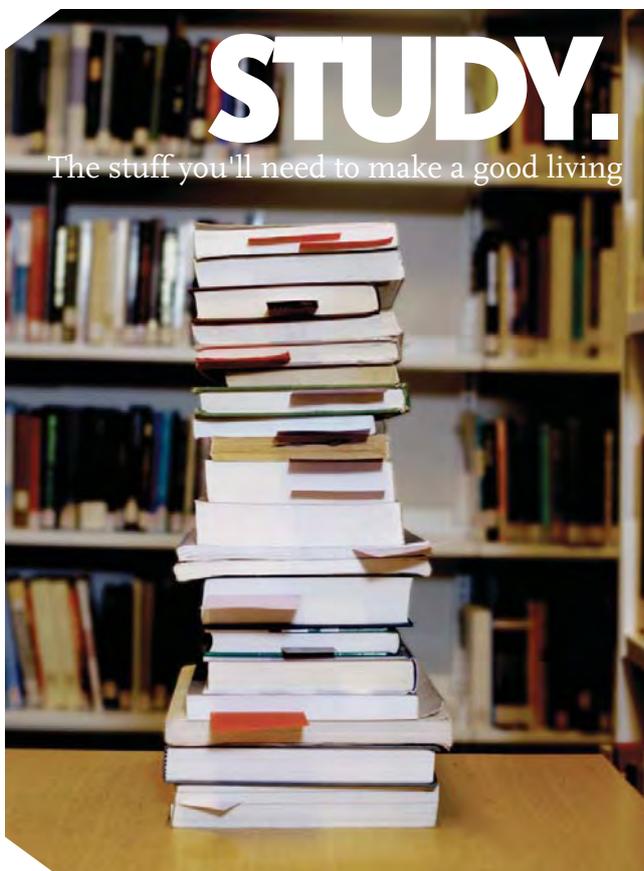
Wenn die Bahnebene in Sehlinie des Beobachters liegt, ist die Wahrscheinlichkeit diese Objekte durch einen Transit zu entdecken hoch (Abb. 8.1). Sie besitzen eine geringere Dichte, deshalb beobachtet man bei einem Transit eine starke Randverdunkelung, was die exakte Bestimmung ihres Durchmessers erschwert. Bedecken die heißen Jupiter während eines Transits einen Sternfleck, dann ist das Minimum in der Helligkeitskurve besonders tief.

Man nimmt an, dass die heißen Jupiter ursprünglich weiter weg vom Stern gebildet wurden und sich durch Migration dem Stern näherten. Sie dürften ähnlich wie Jupiter einen festen Gesteinskern besitzen. Die Migrationstheorie wird unterstützt durch folgende Beobachtungen:

- Bildung eines Gesteinskerns nahe dem Mutterstern unwahrscheinlich;
- nahe dem Stern wäre nicht genug Material vorhanden gewesen zur Bildung massereicher heißer Jupiterplaneten.

Die Migration erfolgte durch Wechselwirkung mit der Akkretionsscheibe um den jungen Stern. Wegen ihrer Nähe zum Stern zeigen sie eine gebundene Rotation. Sie treten mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 1/4 bei F-, G-, und K-Sternen höherer Metallizität auf.

Eine Übersicht ist in Abbildung 8.1 gezeigt. Einige heiße Jupiter sind von Gaswolken umgeben, der Planet verdampft quasi seine Atmosphäre durch die starke (vor allem kurzwellige) Sterneinstrahlung. Die Gaswolken erstrecken sich über die Roche-Grenze, →ablative Erosion durch Sternwinde, die Brown'sche Bewegung übersteigt das Gravitationspotenzial des Planeten.



Download free eBooks at bookboon.com



Click on the ad to read more

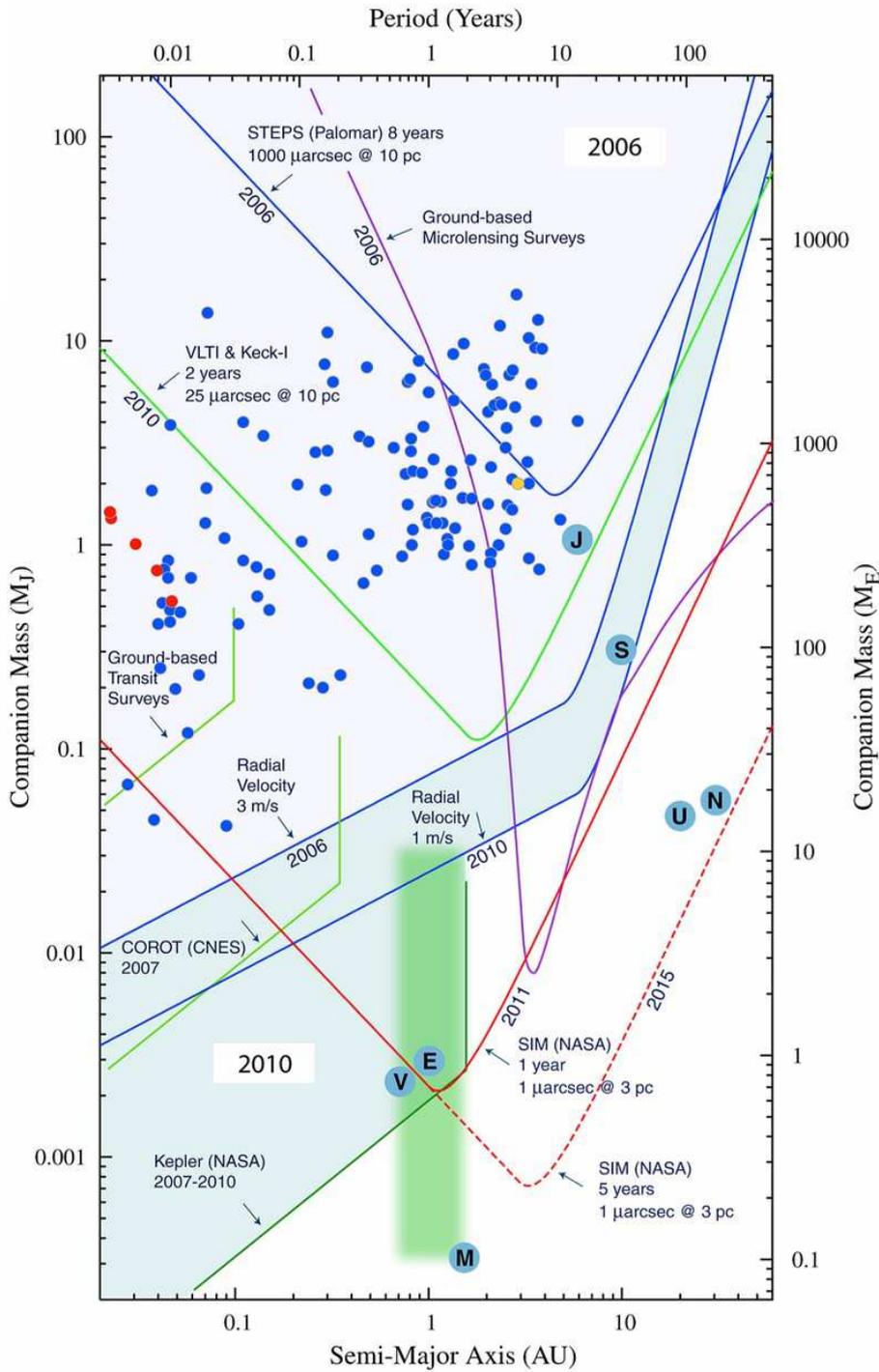


Abbildung 8.1: Heiße Jupiter. Zum Vergleich sind Planeten des Sonnensystems eingetragen (E...Erde, V... Venus, M... Mars, J...Jupiter, S... Saturn, U...Uranus, N...Neptun). Die habitable Zone ist der grün markierte Bereich. NASA.

Das Verdampfen der Atmosphäre hängt von der EUV- und Röntgenstrahlung ab. Massenverlusten zwischen 10^6 und 10^{13} kg/s wurden angegeben. Der EUV-Fluss kann aus der Rotationsgeschwindigkeit eines Sterns abgeschätzt werden.

Je schneller Sterne rotieren, desto höher ist der EUV-Fluss.

$$F_{\text{EUV}}(1\text{AE}) = 4,6 \left(\frac{v_{\text{rot}}}{2,0 \text{ km s}^{-1}} \right)^{1,4} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (8.1)$$

Zu einem Entweichen kommt es, wenn das Gravitationspotenzial (dE'_p) vom stellaren X/EUV-Fluss kompensiert wird, also:

$$-dE'_p = \eta dE_{\text{X/EUV}} \quad (8.2)$$

wobei η die Effizienz der Erwärmung des Planeten bedeutet. Im Extremfall ist $\eta = 1$, d.h. der gesamte einfallende Strahlungsfluss des Sterns führt zu einem Entweichen.

Betrachten wir einen Planeten vom Radius R_p , großer Bahnhalbachse a_p , dann gilt für

$$\frac{dE_{\text{X/EUV}}}{dt} = \frac{1}{4} R_p^2 a_p^{-2} L_{\text{X/EUV}} \quad (8.3)$$

Weitere Angaben findet man z.B. in [5].

Heiße Jupiter spielen auch eine Rolle bei der Aktivität des Sterns.



8.1.2 HD 209458b, Osiris

Der auch als Osiris bezeichnete Planet HD 209458b ist etwa 150 Lichtjahre von uns entfernt, seine Masse beträgt etwa $2/3 M_J$. Er war der erste durch einen Transit entdeckte Exoplanet (1999). Alle 3,5 Tage kommt es während 2,5 Stunden zu einem Helligkeitsabfall des Sterns um 1,6 %. Im Jahre 2003 konnte man dann mit dem Weltraumteleskop Hubble Signaturen von Wasserdampf, Kohlendioxid und Methan in der Atmosphäre des HD 209458b nachweisen. Wegen seiner sternnahen Umlaufbahn (große Halbachse nur 6,9 Mio. km) ist seine Atmosphäre stark ausgedehnt. Er verliert Wasserstoff und zieht einen etwa 200.000 km langen Schweif hinter sich her (ähnlich wie ein Komet, Abb. 8.2). Sein Alter wird auf 5 Mrd. Jahre geschätzt, dabei könnte er etwa 7 % seiner Masse verloren haben.

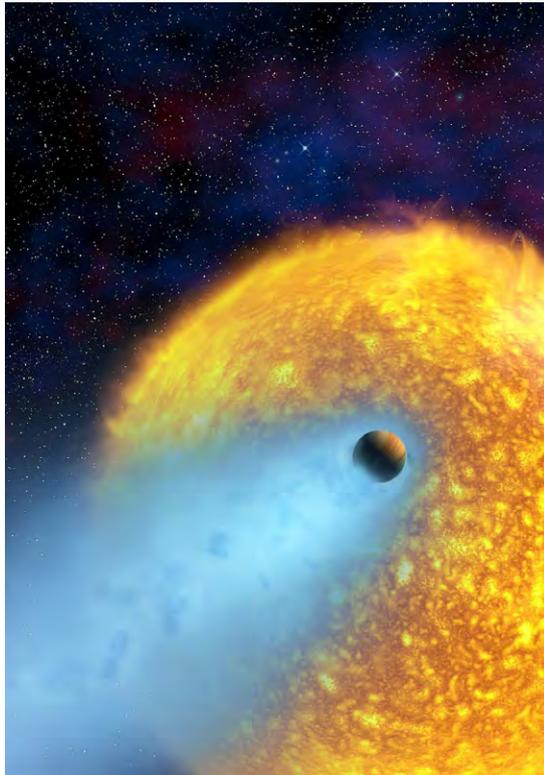


Abbildung 8.2: HD 209458b, Osiris, ein Planet mit kometenartigem Schweif. NASA.

8.1.3 Heiße Neptune

Die heißen Neptune zeichnen sich aus durch:

- Extrasolare Planeten mit Massen ähnlich der des Neptuns oder des Uranus.
- Sie befinden sich relativ nahe an ihrem Mutterstern (≤ 1 AE).

Ein Beispiel dafür ist ein Planet um den Stern Gliese¹ 436 in etwa 33 Lichtjahren Entfernung im Sternbild Leo (scheinbare Helligkeit 10.6 Größenklassen). Der Planet Gliese 436 b wurde 2004 mittels Radialgeschwindigkeitsmethode gefunden (Abb. 8.3).

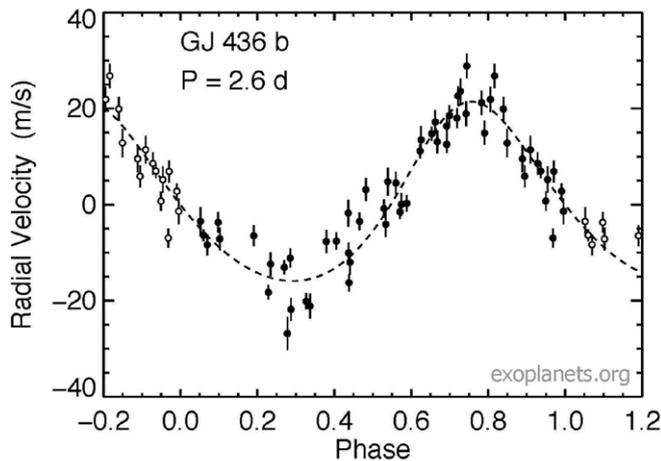


Abbildung 8.3: Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns Gliese 436 b.

In Tabelle 8.1 sind die Eigenschaften des Sterns und des Planeten gegeben.

Tabelle 8.1: Eigenschaften des Systems Gliese 436

	Masse	Radius	Temperatur
Gliese 436, Stern	0,41 M_{\odot}	0,42 R_{\odot}	3318 K
Gliese 436b	22 M_{Erde}	4,3 M_{Erde}	712 K

Die Dichte des Planeten beträgt etwa $1,5 \text{ g cm}^{-3}$. Das Periastron seiner Bahn liegt bei 0,0247 AE, das Apastron bei 0,0335 AE, die große Bahnhalbachse beträgt 0,029 AE. Die Umlaufperiode liegt bei 2,64 Tagen. Der Planet liegt also 15 mal näher bei seinem Zentralstern als Merkur bei der Sonne.

Ein Skizze des möglichen inneren Aufbaus ist in Abbildung 8.4 gegeben, woraus man die Ähnlichkeit zu Uranus oder Neptun deutlich sieht.

¹Der Astronom Gliese veröffentlichte 1957 den ersten Katalog sonnennaher Sterne innerhalb einer Entfernung von 20 pc, darin waren 1000 Sterne enthalten



Abbildung 8.4: Möglicher innerer Aufbau des Planeten Gliese 436b. Credit by Dr. Jason Wright - 2007 press release California and Carnegie Extrasolar Planet Search.

8.2 Die zweite Erde

8.2.1 Erdähnliche Exoplaneten in Habitablen Zonen

Man kann die erdähnlichen Exoplaneten durch folgende Parameter charakterisieren:



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN UR

WILLST DU EINFLUSS AUF EINEN GESUNDEN LEBENSRAUM HABEN?

DANN DENKE AN DIE WAGENINGEN UNIVERSITY IN DEN NIEDERLANDEN

Bist du an einem Master auf dem Gebiet der innovativen Methoden und nachhaltigen Lösungen interessiert, um die Qualität unseres Lebensraumes zu verbessern? Dann denke an die Wageningen University. Hier findest du besondere Umweltstudien wie **Nachhaltiger Tourismus**, **Sozialökonomische Entwicklung**, **Umwelt** und **Innovative Technologien**. Diese multidisziplinäre Herangehensweise macht diese Masterstudiengänge einzigartig!



Um mehr Information zu erhalten, gehe zu www.wageningenuniversity.eu



Broadcast Yourself™



- Index für Ähnlichkeit mit der Erde, von 0 bis 1, 1 am erdähnlichsten; Earth Similarity Index (ESI) Der ESI hängt ab von
 - Radius,
 - Dichte,
 - Entweichgeschwindigkeit und
 - Oberflächentemperatur des Planeten.
- Standard primäre Habitabilität, Standard Primary Habitability (SPH): hier wird von 0 bis 1 angegeben, inwiefern der Planet für Vegetation geeignet ist. Die SPH hängt ab von:
 - Oberflächentemperatur,
 - Feuchtigkeit.
- Distanz vom Zentrum der habitablen Zone um den Stern, Habitable Zone Distance (HZD). Der Wert -1 bedeutet inneres Ende, der Wert +1 bedeutet äußeres Ende. HZD hängt ab von:
 - Leuchtkraft des Sterns,
 - Halbachse der Planetenbahn.
- Zusammensetzung der habitablen Zone, Habitable Zone Composition (HZC). Werte nahe 0 bedeuten eine Zusammensetzung aus Silikaten, Wasser und Gestein. Werte unter -1 bedeuten, dass der Körper hauptsächlich aus Eisen besteht, und Werte größer als 1 bedeuten dass der Körper hauptsächlich aus Gas besteht.
Die HZC hängt ab von:
 - Planetenmasse,
 - Planetenradius.
- Habitable-Zone-Atmosphäre, Habitable Zone Atmosphere (HZA). Kennzeichnet das Potenzial eine habitable Atmosphäre zu halten. Werte unter -1 bedeuten, dass die Wahrscheinlichkeit sehr gering ist, Werte über 1 bedeuten, dass der Planet eine dichte Wasserstoffatmosphäre hält (ähnlich den Gasriesen des Sonnensystems). Werte zwischen -1 und 1 sind für Leben geeignet, 0 könnte optimal sein.
Die HZA hängt ab von:
 - Planetenmasse,
 - Planetenradius,
 - Bahn des Planeten und
 - Leuchtkraft des Sterns.

- Planetenklasse, Planetary Class (pClass). Hier unterteilt man die Objekte hinsichtlich ihrer thermischen Zone (heiß, warm, kühl) sowie der Masse (Asteroiden, Merkurähnlich, kleiner als Erde, Erdähnlich, Supererde, Neptun- und Jupiterähnlich. Habitable Objekte müssen sich in der warmen Zone befinden.
- Habitable Klasse, Habitable Class (hClass). Einteilung nach der Temperatur.
 - hypopsychroplanets (hP) = sehr kalt ($< -50^{\circ}\text{C}$);
 - psychroplanets (P) = kalt;
 - mesoplanets (M) = mittlere Temperatur ($0 < 50^{\circ}\text{C}$);
 - thermoplanets (T) = heiß;
 - hyperthermoplanets (hT) = sehr heiß ($> 100^{\circ}\text{C}$).Mesoplaneten sind ideale Kandidaten für Leben in komplexer Form. hP bzw. hT könnten extremophiles Leben beherbergen.

Nichthabitable Planeten bezeichnet man als NH.

In Tabelle 8.2 ist eine Liste von Exoplaneten gegeben hinsichtlich der oben definierten Größen und Parameter. Zum Vergleich sind auch die Werte für einige Planeten des Sonnensystems angeführt.

Diese Liste ist keineswegs vollständig!

LOCATION: ZÜRICH



ONE YOU One Credit Suisse

ROMY WOLLTE UNSERE IT-STRATEGIE MITGESTALTEN. WIR GABEN IHR DIE MÖGLICHKEIT DAZU. Im Frühling 2009 wurde Romy mit dem Aufbau einer IT-Management-Schulung betraut, um die Implementierung eines neuen Betriebsmodells zu begleiten. Heute ist diese Ausbildung ein strategisches Programm zur Prozessoptimierung. Die daraus resultierenden Impulse bedeuten für uns einen grossen Schritt – die Erfahrungen und Kontakte zum Top-Management für sie einen Karrieresprung. Lesen Sie Roms Geschichte unter [credit-suisse.com/careers](https://www.credit-suisse.com/careers)

CREDIT SUISSE



Tabelle 8.2: Auswahl von erdähnlichen Exoplaneten. wst bedeutet warm subterran, wsupt warm superterran, wt bedeutet warm terran, wmgf warm mega Terran; ly ist die Entfernung in Lichtjahre.

Name	ESI	SPH	HZD	HZC	HZA	pClass	hClass	ly
Mercury	0.39	0.00	-1.46	-0.52	-1.37	hot merc.	NH	
Mars	0.64	0.00	+0.33	-0.13	-1.12	wst	hypopsychropl.	
Kepler-438b	0.88	0.88	-0.93	-0.14	-0.73	w. terr.	mesoplanet	470
Venus	0.78	0.00	-0.93	-0.28	-0.70	w. terr.	hyperthermopl.	
Earth	1.00	0.72	-0.50	-0.31	-0.52	w. terr.	mesoplanet	
Kepler-186f	0.64	0.00	+0.48	-0.17	-0.26	w. terr.	psychropl.	492
Gliese 667 Cf	0.77	0.00	-0.22	-0.16	+0.08	w. terr.	psychropl.	23.6
Tau Ceti e	0.78	0.00	-0.92	-0.15	+0.16	wsupt	mesoplanet	11.9
Kepler-62f	0.67	0.00	+0.45	-0.16	+0.19	wsupt	psychroplanet	1199.7
Gliese 667 Cc	0.84	0.64	-0.62	-0.15	+0.21	w. terr.	mesoplanet	23.6
Gliese 667 Ce	0.60	0.00	+0.51	-0.16	+0.23	w. terr.	psychropl.	23.6
Kepler-442b	0.83	0.98	-0.72	-0.15	+0.28	wsupt	mesoplanet	1291.6
Kepler-62e	0.83	0.96	-0.70	-0.15	+0.28	wsupt	mesoplanet	1199.7
Gliese 581 g	0.76	1.00	-0.70	-0.15	+0.28	wsupt	mesoplanet	20.2
Kepler-440b	0.70	0.00	+0.01	-0.15	+0.38	wsupt	psychroplanet	706.5
Gliese 832 c	0.81	0.96	-0.72	-0.15	+0.43	wsupt	mesoplanet	16.1
Kepler-436b	0.79	0.33	-0.87	-0.14	+0.47	wsupt	mesoplanet	1339.4
Kepler-296f	0.78	0.15	-0.90	-0.14	+0.53	wsupt	mesoplanet	1089.6
Kapteyn b	0.67	0.00	+0.08	-0.15	+0.57	wsupt	psychroplanet	12.7
Gliese 163 c	0.75	0.02	-0.96	-0.14	+0.58	wsupt	mesoplanet	48.9
Gliese 180 c	0.77	0.42	-0.53	-0.14	+0.64	wsupt	mesoplanet	39.5
Kepler-283c	0.79	0.85	-0.58	-0.14	+0.69	wsupt	mesoplanet	1496.8
Gliese 180 b	0.75	0.41	-0.88	-0.14	+0.74	wsupt	mesoplanet	39.5
HD 40307 g	0.74	0.04	-0.23	-0.14	+0.77	wsupt	psychroplanet	41.7
Gliese 581 d	0.53	0.00	+0.78	-0.14	+0.94	wsupt	hypopsychropl.	20.2
Gliese 422 b	0.71	0.17	-0.41	-0.13	+1.11	wmgf	mesoplanet	41.3
Kepler-439b	0.68	0.00	-0.99	-0.13	+1.18	wsupt	thermoplanet	1914.8
Gliese 682 c	0.59	0.00	+0.22	-0.14	+1.19	wsupt	psychroplanet	16.6
Kepler-61b	0.73	0.27	-0.88	-0.13	+1.24	wsupt	mesoplanet	1062.8
Kepler-443	0.73	0.91	-0.49	-0.13	+1.44	wsupt	mesoplanet	2564.4
Kepler-298d	0.68	0.00	-0.86	-0.11	+2.11	wsupt	mesoplanet	1545

Kapitel 9

Die aktive Suche nach Leben auf Exoplaneten

Wenn es viele Exoplaneten gibt, noch dazu in habitablen Zonen, dann ist der nächste Schritt die Suche nach Leben mit dem Ziel einer eventuellen Kontaktaufnahme mit anderen Zivilisationen.

Eine aktuelle Übersicht über diese Thematik bietet [17] sowie [18].



Realise
your dreams
and ambitions

Mid Sweden University offers a wide range of international programmes in English. This way, you can study, meet new, inspiring people and experience a different culture and environment at the same time. Invest in a first-class education which you will benefit from in years to come – an education that makes a difference.

Apply today!

Learn more at www.miun.se/eng



Mittuniversitetet
MID SWEDEN UNIVERSITY

Discover your opportunities



9.1 Atmosphären von Exoplaneten

Die Untersuchung von Planetenatmosphären stellt eine wichtige Vorstufe auf der Suche nach Leben auf Exoplaneten dar.

9.1.1 Grundsätzliches

In Abbildung 9.1 ist ein Exoplanet während seines Transits gezeigt. Die Atmosphäre des Exoplaneten wurde vergrößert als blauer Ring markiert. Wie bekommt man Informationen über die Atmosphäre eines Exoplaneten?

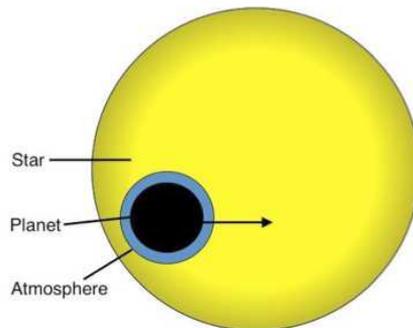


Abbildung 9.1: Ein Exoplanet während eines Transits mit Atmosphäre.

Im Prinzip lassen sich Atmosphären nachweisen und charakterisieren bei

- heißen Jupiter-Planeten, $T \sim 1300 - 3000$ K,
- heißen Neptun-Planeten, $T \sim 700 - 1200$ K,
- warmen Supererden, $T \sim 500$ K.

Diese Objekte haben zwar nur wenig mit den Planeten unseres Sonnensystems zu tun, dennoch kann man die Zusammensetzung von chemischen Elementen wie H, C, O mit unseren Planeten vergleichen. Für die Gasriesen im Sonnensystem ist das Verhältnis O/H und C/O nur ungenau bekannt. Bei heißen Jupiter kann man dies einfacher bestimmen.

Die Beobachtung von Exoplaneten liefert auch wichtige Aufschlüsse über die Entstehung unseres Planetensystems.

Was beobachtet man? Es gibt zwei Typen von Beobachtungen:

1. zeitliche veränderliche Signale, also Transits, Sekundärbedeckungen (Planet steht von uns aus gesehen genau hinter dem Stern), Phasenkurven (Planet erscheint von uns aus gesehen nicht immer voll beleuchtet).

2. räumlich aufgelöste Bilder und Spektroskopie

Aus diesen beiden Methoden folgen wichtige Daten für die Exoplanetenatmosphäre wie (i) Chemie der Atmosphäre, (ii) vertikaler Temperaturverlauf, (iii) globale Zirkulationsmuster. Die meisten Beobachtungen erfolgen im nahen IR.

9.1.2 Transmissionsspektren

Misst man den Helligkeitsabfall während eines Transits → Größe des Planeten im Vergleich zum Stern. Besitzt der Planet eine Atmosphäre dann ist diese bei unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedlich durchsichtig. Die Tiefe des Helligkeitsabfalls während des Transits ist auch abhängig von der Wellenlänge. Dies nennt man Transmissionsspektrum.

Diese Methode funktioniert gut bei Planeten mit sehr geringem Atmosphärendruck (0,1 bis 1000 mbar) und hängt auch ab von Dunstschichten in großen Höhen.

Nehmen wir an, es gibt keine zusätzlichen Dunstschichten, dann ist die Tiefe der Absorption proportional zur Skalenhöhe:

$$H = \frac{kT}{\mu g} \quad (9.1)$$

k ... Boltzmann Konstante, T ... Temperatur, μ mittleres Molekulargewicht, g ... Oberflächenschwerkraft. Die Größe des absorbierenden Rings der Planetenatmosphäre entspricht 5-10 Skalenhöhen, somit ändert sich die Transit-Tiefe um den Betrag:

$$\delta \sim \left(\frac{R_p + 10H}{R_*} \right)^2 - \left(\frac{R_p}{R_*} \right)^2 \quad (9.2)$$

wobei R_p der Planetenradius und R_* der Sternradius ist.



Economy – Business – First
Ermitteln Sie Ihren Marktwert

 **Einfach einchecken unter www.alma-mater.de und Gehaltsstudie kostenlos downloaden!**

Damit Sie beim Verhandeln festen Boden unter den Füßen behalten.

Nutzen Sie Deutschlands großes Akademiker-Netzwerk für Praktika, Diplomarbeiten sowie Jobs für Absolventen und junge Berufserfahrene.

Welcome on Board: www.alma-mater.de



Bsp.: Objekt HD 189733 b; typischer heißer Jupiter, mittlere Oberflächen-temperatur 1100 K, Schwerkraft $g = 2140 \text{ cm/s}^2 \rightarrow H = 210 \text{ km}$. Die Transittiefe beträgt 2,5 % und wird dann durch die Atmosphäre um 0,1 % erhöht. Im sichtbaren Spektrum sieht man Natrium und Kalium in Absorption, im nahen IR sieht man H_2O , CH_4 , CO , CO_2 . Beobachtungen der Lyman-Alpha Linie sowie ionisierter Metalllinien im nahen UV \rightarrow oberste Atmosphärenschichten, geben auch Hinweise auf Massenverlusten von sternnahen heißen Jupiters.

9.1.3 Thermische Spektren

Das thermische Emissionsspektrum eines Exoplaneten, der einen Transit macht, kann abgeleitet werden, indem die wellenlängenabhängige Abnahme des Lichts gemessen wird, wenn sich der Planet hinter dem Stern befindet, sekundäres Minimum der Lichtkurve. Dies ist in Abbildung 9.2 skizziert (entnommen aus [14]).

- Transmissionsspektroskopie: man misst die Eigenschaften der Atmosphäre eines Planeten nahe der Tag/Nacht Grenze, Terminator.
- Thermische Spektren: die Emissionen lassen Rückschlüsse auf die globalen Eigenschaften der Atmosphäre an der Tagseite des Planeten zu. Das vertikale Temperaturprofil der Atmosphäre bestimmt dann das Auftreten von Molekülen, die entweder als Emission oder Absorption gesehen werden. Die meisten Sekundärminima werden im IR beobachtet, die Planeten sind in diesem Wellenlängenbereich hell und der Stern ist im Vergleich dazu schwach.

Die Tiefe der sekundären Verfinsterung folgt aus:

$$d = \left(\frac{R_p}{R_*}\right)^2 \left(\frac{T_p}{T_*}\right)^2 \quad (9.3)$$

Die Gleichgewichtstemperatur eines Planeten folgt aus:

$$T_p = \left(\frac{(1-A)L_*}{16\pi\sigma a^2}\right)^{1/4} \sim T_* \sqrt{\frac{R_*}{2a}} \quad (9.4)$$

A ist die Bond'sche Albedo (Bruchteil des reflektierten zu einfallenden Lichts über alle Wellenlängen), a ist die Distanz Planet-Stern.

Die ersten Entdeckungen von Sekundärminima wurden 2005 am Objekt HD 209458b gemacht. Bisher wurden etwa 50 Objekte mit Sekundärminima gefunden, die meisten Beobachtungen stammen vom Spitzer-Teleskop im Bereich $3,6 - 24 \mu\text{m}$.

9.2 Biomarker

In diesem Abschnitt besprechen wir verschiedene Verbindungen, die als mögliche Biomarker für Leben vorgeschlagen wurden.

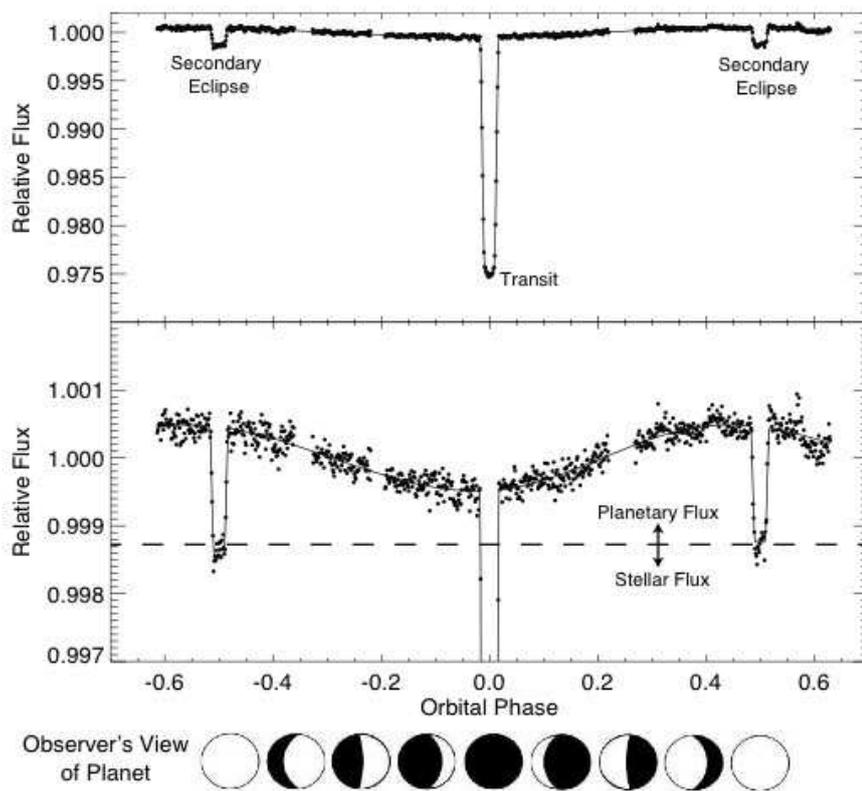


Abbildung 9.2: Exoplanet, Transit und sekundäres Minimum; weiters sind die Phasen eingezeichnet. Nach [14].

staufenbiel
Institut

Für Ihren Karrierestart unbezahlbar. Für Sie kostenlos.

Karriere zum Download
Jetzt dem kostenlosen Staufenbiel Career Club beitreten und die aktuellste Ausgabe als ebook sichern: staufenbiel.de/ebooks

>>> Jetzt downloaden: staufenbiel.de/ebooks

Download free eBooks at bookboon.com



9.2.1 Methan

Etwa 90 % des auf der Erde existierenden Methans ist biologischen Ursprungs. Auf Mars gibt es Stellen, an denen Methan freigesetzt wird → Anzeichen für Leben?

Problem: Methan entsteht auch durch andere Prozesse. Deshalb hat man Methan als Biomarker verfeinert: es ist nur dann durch biologische Prozesse erklärbar, wenn:

- stabiles Kohlenstoff - Wasserstoff Isotopenverhältnis,
- Verhältnis Methan zu Ethan und Propan konstant ist (leichte Kohlenwasserstoffe).

Man hat im Marsboden Stellen gefunden, die einen extremen Salzgehalt aufweisen → Verdunstung, Mars war früher wärmer und hatte flüssiges Wasser. Man kennt erhöhte Methankonzentration in solchen Ablagerungen auf der Erde.

9.2.2 Chemisches Ungleichgewicht

Chemisches Ungleichgewicht in einer Planetenatmosphäre hat mehrere Ursachen:

- Photochemische Ursachen, Einstrahlung des Sterns auf die Planetenatmosphäre,
- biochemische Ursachen, Photosynthese, Erzeugung von Sauerstoff,...
- elektrische Entladungen in der Atmosphäre,
- geochemische Ursachen, Radioaktivität,...

9.2.3 Sauerstoffabsorption

Im gestreuten Licht von erdähnlichen Planeten könnte man die Sauerstofflinie bei $1,27\mu$ in Absorption nachweisen. Dazu sind Teleskope in der 30-m-Klasse notwendig. Diese Linie ist auch in der Erdatmosphäre sehr prominent und zeigt einen Tag/Nachtrhythmus. Der Nachweis ist nur möglich:

- in einem engen Bereich um den Stern, Verwendung von Koronographen,
- unter Verwendung adaptiver Optik wegen der Seeingeffekte bei erdgebundenen Teleskopen.

Problem bei der Beobachtung: extreme Kontrastunterschiede zwischen Stern und Exoplaneten. Mit adaptiver Optik kommt man nicht über Kontrastunterschiede von 10^{-8} hinaus. Um einen G-Stern erwartet man einen Kontrastunterschied von 10^{-10} ! Deshalb werden Sterne später Spektraltypen (K, M) bevorzugt, hier sind Kontrastunterschiede zwischen 10^{-7} und 10^{-9} zu erwarten.

Extreme adaptive Optik arbeitet im nahen IR besser; Sauerstoff zeigt zwei besondere Absorptionsfeatures:

- bei $1,27\mu\text{m}$ und
- bei $0,76\mu\text{m}$.

Das von einem Planeten reflektierte Licht errechnet sich aus:

$$f_P(\lambda) = \frac{2\Phi(\beta)}{3} A(\lambda) \left(\frac{R_P}{a} \right)^1 f_*(\lambda) \quad (9.5)$$

$A(\lambda)$ Bondsche Albedo, R_p Planetenradius, a Distanz Stern-Planet, $\Phi(\beta)$ ist die Lambertsche Phasenfunktion, β ist der Winkel Stern-Planet-Beobachter.

$$\Phi(\beta) = [\sin \beta + (\pi - \beta) \cos \beta] / \pi \quad (9.6)$$

Besser also mit dem Absorptionsfeature von $1,27\mu\text{m}$ zu arbeiten (siehe auch Abb. 9.3).

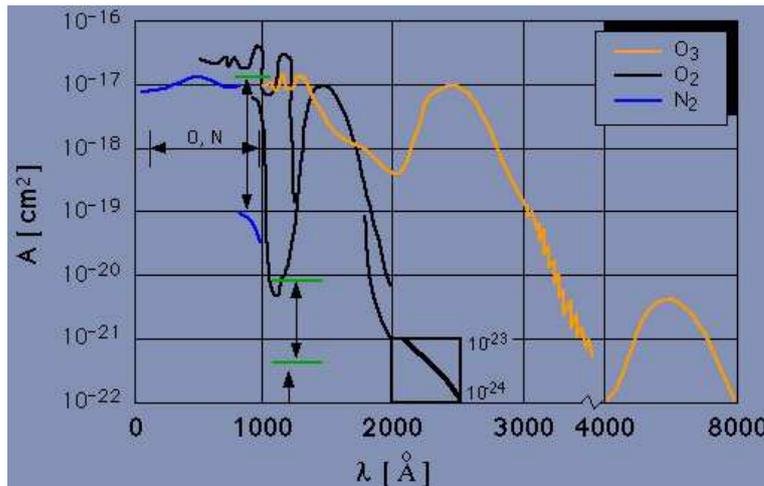


Abbildung 9.3: Absorptionseigenschaften von Sauerstoff im nahen IR.

9.2.4 HR 8799b

Wir bringen als Beispiel den Planeten HR 8799b. In der Atmosphäre dieses Planeten hat man folgende Verbindungen nachgewiesen:

- Wasser,
- Methan,
- Kohlenmonoxid

Dieser Planet ist etwa 129 Lj von uns entfernt im Sternbild Pegasus und besitzt zwischen 4 und 7 Jupitermassen, Radius zwischen 1,1 und 1,3 R_J . Er befindet sich in einer Entfernung von 68 AE vom Stern HR 8799, etwa 7 AE innerhalb der inneren Grenze der Staubscheibe um den Stern. Es wurden zwei möglicherweise auch drei weitere Planeten entdeckt (durch direkte Beobachtung, Abb. 7.32). Der Hauptstern enthält 1,47 Sonnenmassen und die Oberflächentemperatur beträgt 7430 K.

9.2.5 Die Erde als Exoplanet

Wie sieht die Erde als Exoplanet aus? Könnte man durch Beobachtung der Erde Rückschlüsse auf Leben auf unserem Planeten ziehen?

Es werden sowohl Modelle als auch Beobachtungen der Erde als Exoplanet gemacht.

Vegetation red edge: im nahen IR kommt es infolge der Vegetation auf der Erde zu einer erhöhten Reflexion. Im sichtbaren Bereich kann man die Absorption durch Chlorophyll im Spektrum sehen.

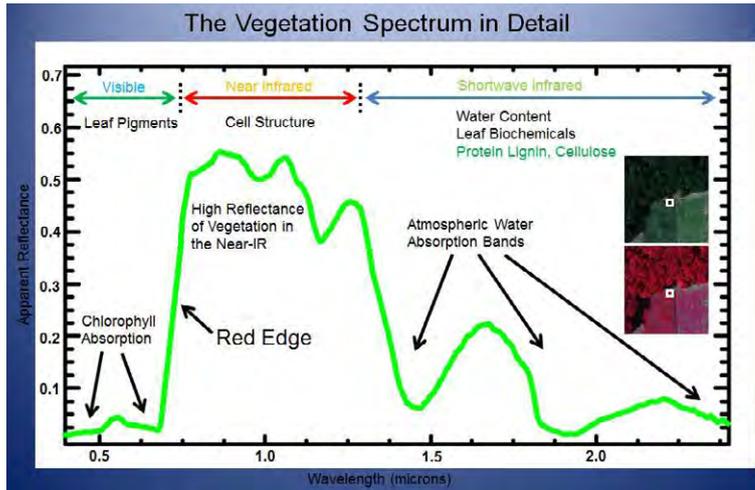


Abbildung 9.4: Die Erde als Exoplanet: Vegetationsspektrum.

Ein Vegetationsspektrum ist in Abbildung 9.4 dargestellt.

In Abbildung 9.5 sieht man einen Vergleich eines Ausschnitts des Spektrums der erdnähnlichen Planeten Venus, Mars und der Erde. Nur bei der Erde sieht man die Biosignaturen.

AUBI-plus

Mit AUBI-plus findest Du Deinen Platz!
Praktika · Trainees · Jobs

Das Karriereportal
www.aubi-plus.de

place for talents



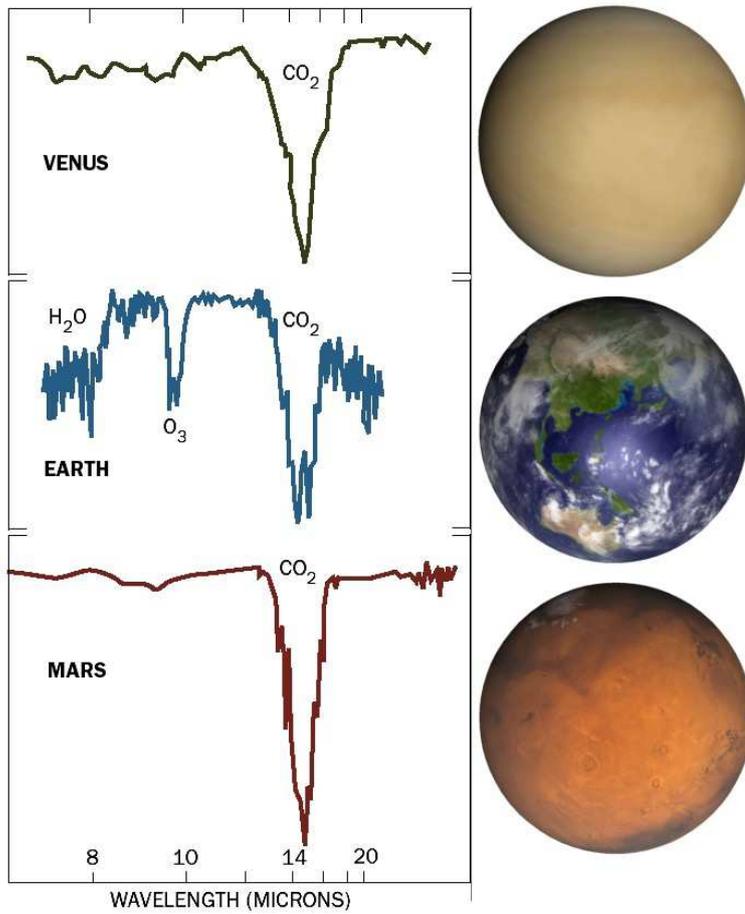


Abbildung 9.5: Vergleich der Spektren der drei erdähnlichen Planeten; nur im Falle der Erde erkennt man Biosignaturen.

9.3 Ausbreitung des Lebens von der Erde?

9.3.1 Sind wir Marsianer?

Die Panspermia-Theorie geht davon aus, dass sich Leben im Universum ausbreitet und weiterentwickelt an allen Orten, die für Leben günstig sind. Diese Vorstellung geht zurück auf Richter, Kelvin und Arrhenius. Ist also Leben auf der Erde entstanden, könnte es sich durch das ganze Sonnensystem ausgebreitet haben; findet man Leben auf Mars, könnte dies ursprünglich von der Erde stammen, umgekehrt könnten auch wir Marsianer sein, also Leben ist ursprünglich auf Mars entstanden und hat sich von dort ausgebreitet. Im frühen Sonnensystem gab es viele Einschläge auf die Planeten, dabei wurden Gesteinstrümmer von der Planetenoberfläche weg geschleudert und könnten so vom Mars zur Erde oder der Erde zum Mars gebracht worden sein. Man findet in der Tat Meteoriten, deren Ursprung die Marsoberfläche ist.

Probleme dieser Vorstellung:

- experimentell nicht überprüfbar,
- beantwortet nicht die Frage nach dem Ursprung des Lebens,
- kann Leben eine lange Reise durch den Weltraum (tiefe Temperaturen, Strahlungsbelastung,...) überdauern, sich also wirklich von Stern zu Stern ausbreiten oder sogar von Galaxie zu Galaxie im Laufe von vielen Millionen Jahren?

Kann Leben auf einem kleinen Meteoriten geschützt werden vor der Strahlung durch Sterne? Das Problem ist der radioaktive Zerfall des Materials des Meteoriten selbst.

Nehmen wir an, Leben müsste die Reise von der Erdoberfläche nach außen in den Weltraum überstehen. Es passiert zuerst die Troposphäre, wo Luftmassen durchmischt werden infolge Konvektion. Man hat Mikroben in der Troposphäre nachgewiesen, Bakterien, Archaea. Auch in der Stratosphäre (bis 50 km Höhe) hat man Mikroben nachgewiesen (Sporen, Pilze), Temperatur nimmt zu, Druck beträgt nur mehr 1/1000 des Drucks an der Oberfläche. Die höchste Schicht von der man Beispiele von Mikroben kennt, ist die Mesosphäre; reicht bis in 90 km Höhe, Temperatur nimmt bis -100 Grad ab und man hat Mikroben (Sporen, Pilze) bis in 78 km Höhe nachgewiesen.

In der Thermosphäre (90-600 km) nimmt die Temperatur bis auf 1500 Grad C zu (Absorption kurzweiliger Sonnenstrahlung), die Dichte ist sehr gering, d.h. eigentlich kalt. Die ISS befindet sich zwischen 330 und 380 km Höhe; dieser Bereich wurde nicht auf Mikroben untersucht, aber es haben einige überlebt, die man ausgesetzt hat. Die Exosphäre ist die äußerste Schicht, hier findet man H₂, He, CO₂, O, sie wurde nicht auf Mikroben getestet.

Wie könnten Mikroben im Sonnensystem transportiert werden?

- durch Meteoriten, Lithopanspermia
- künstlich durch Raumsonden.

Seit 1960 wurden Mikroben in den Weltraum gebracht, *B. subtilis* (*Bacillus subtilis*, Heubazillus, Größe 2-3 μm , kommt im Erdboden sehr häufig vor) Sporen haben Weltraumflüge überlebt (Abb. 9.6).

Sporenbildung: Durch einen Mangel an Nährstoffen oder andere ungünstige Umweltbedingungen bilden Bakterien Sporen. Endosporen, meisten bei *Bacillus* (lat. Stäbchen) haben eine große Hitzeresistenz; vegetative Zellen werden durch Erhitzen auf 80 Grad C abgetötet, Endosporen überstehen stundenlanges Kochen. Endosporen haben einen sehr geringen Wassergehalt und eine mehrschichtige Rinde.

Im Weltraum sind die Mikroben dann verschiedenen Einflüssen ausgesetzt: Sonne (Strahlung, Sonnenwind, Flares, Solar particle Events, kosmische Strahlung).

Wenn ein

Server

für Sie kein
Wassersportler
ist...

trendence
DEUTSCHLANDS
100
Top-Arbeitsgeber

IT-Jobs bei Lidl

it-bei-lidl.com



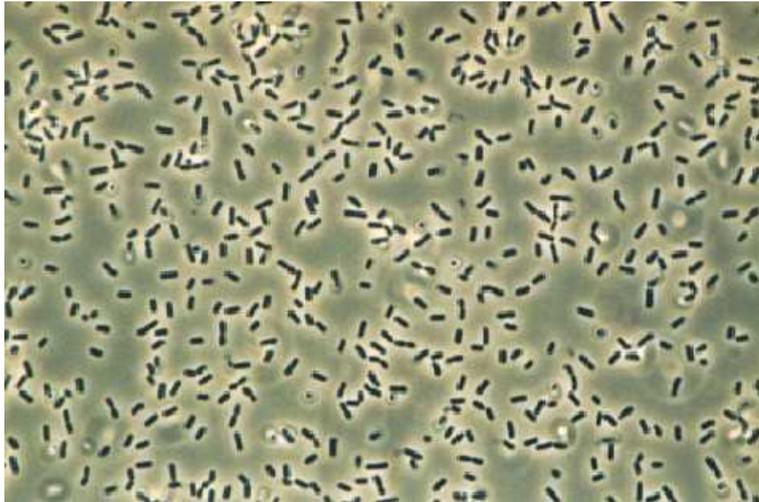


Abbildung 9.6: *Bacillus subtilis*.

Wenn dann ein anderer Planet nach einer langen Weltraumreise erreicht wird, herrschen dort andere Umweltbedingungen, Nährstoffe, Schwerkraft usw.

9.3.2 Der Marsmeteorit ALH 84001

Im Jahre 1996 wurde von McKay und Mitarbeitern ein Marsmeteorit in der Antarktis gefunden und als ALH 84001 bezeichnet (Abb. 9.7). Das Objekt wurde mit einem Elektronenmikroskop untersucht und man erkannte Strukturen, die als fossile Marsmikroorganismen gedeutet wurden. Diese Interpretation wird heute angezweifelt:

- Die Strukturen sind im Nanometerbereich, also wesentlich kleiner als Bakterien.
- es handelt sich um Karbonateinschlüsse mit Magnetiten; könnte aber trotzdem biologischen Ursprungs sein.
- die entdeckten PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) können beim Zerfall der Bakterien entstehen, es gibt aber auch andere Mechanismen.

ALH 84001 wird heute nicht mehr als Beweis für früheres Leben auf Mars angesehen.

9.4 Aktive Suche nach Leben

Abgesehen von passiver Beobachtung gibt es auch Versuche in Kommunikation mit intelligentem Leben zu treten bzw. Signale zu identifizieren.

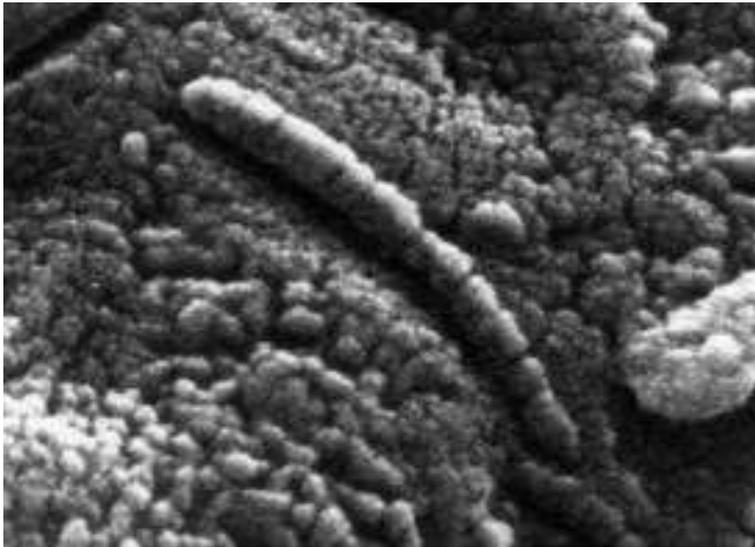


Abbildung 9.7: Strukturen im Marsmeteoriten ALH 84001.

9.4.1 Drake-Gleichung

Diese von Drake im Jahre 1961 veröffentlichte Gleichung ist eine Abschätzung der Anzahl möglicher Zivilisationen, mit denen wir in Kontakt treten könnten. Wieviele Zivilisationen existieren in der Galaxis, die in der Lage sind mit uns in Kontakt zu treten, die sich also auf demselben technischen Stand befinden?

$$N_{\text{Zivil}} = N_{\text{hab}} f_{\text{Leben}} f_z f_h \quad (9.7)$$

N_{hab} ist die Anzahl habitabler Planeten, f_{Leben} ist die Anzahl der Planeten, auf denen sich tatsächlich Leben entwickelt hat, f_z ist die Anzahl der Planeten, auf denen sich irgendwann eine Zivilisation entwickelt hat, und f_h ist die Anzahl dieser Planeten, auf denen es eine Zivilisation gibt, die heute existiert und die mit anderen (uns) in Kontakt treten möchte.

→ Rare-Earth-Hypothese¹: unsere Erde ist einzigartig oder sehr selten. Geht zurück auf das Fermi-Paradoxon: „Wenn außerirdische Lebensformen häufiger vorkommen sollten, warum sind sie dann nicht evident“ (siehe auch [1]). Für Leben auf der Erde waren viele Punkte wichtig:

- Lage innerhalb der Galaxie (galaktische habitable Zone),
- Eigenschaften wie Lebensdauer der Sonne,
- die allgemeine Konfiguration des Planetensystems,
- die Lage innerhalb des Planetensystems (zirkumstellare habitable Zone),

¹Why Complex Life Is Uncommon in the Universe (2000), P. Ward, D. Brownlee

- die Größe bzw. Masse des Planeten,
- das Vorhandensein eines großen Mondes im Orbit des habitablen Planeten,
- geologische Voraussetzungen: planetares Magnetfeld und Plattentektonik,
- die chemische Zusammensetzung der Lithosphäre, Atmosphäre und Ozeane
- für die Evolution wichtig waren auch: massive Vergletscherung und Einschläge von Kometen oder Asteroiden in größeren zeitlichen Abständen.

Die Faktoren der Drake-Gleichung sind unsicher. Erst vor relativ kurzer Zeit hat sich höheres Leben auf der Erde entwickelt. Es dauerte fast 4 Mrd. Jahre bis sich eine intelligente Zivilisation auf der Erde entwickelt hat. Die Hälfte der Sterne in der Galaxis ist älter als die Sonne, daher gehören wir – falls überhaupt – zur jüngeren Zivilisation. Die Galaxis existiert seit etwa 12 Mrd. Jahren, wir sind erst seit etwa 100 Jahren in der Lage Radiowellen zu erzeugen. Dies Zeitspanne beträgt 1/200 000 000 des Alters der Milchstraße. Daher könnte man argumentieren: es müssten in der Galaxis 200 Mio. Planeten mit Zivilisationen entstanden sein, um eine Chance zu haben eine solche zu finden. Je länger eine Zivilisation lebt, desto größer wird dieser Wert aber. Leben derartige Zivilisationen Tausende oder Mio. Jahre lang, sind die Chancen sehr viel günstiger.

EY
Building a better
working world

**So müsste er
aussehen: unser
Firmenwagen
für Einsteiger.**

www.de.ey.com/karriere
[#BuildersWanted](https://twitter.com/BuildersWanted)

„EY“ und „wir“ beziehen sich auf alle deutschen Mitgliedsunternehmen von Ernst & Young Global Limited, einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung nach englischem Recht. ED/Nonè.



Wie man die Botschaft entschlüsselt Original-Botschaft von 1974

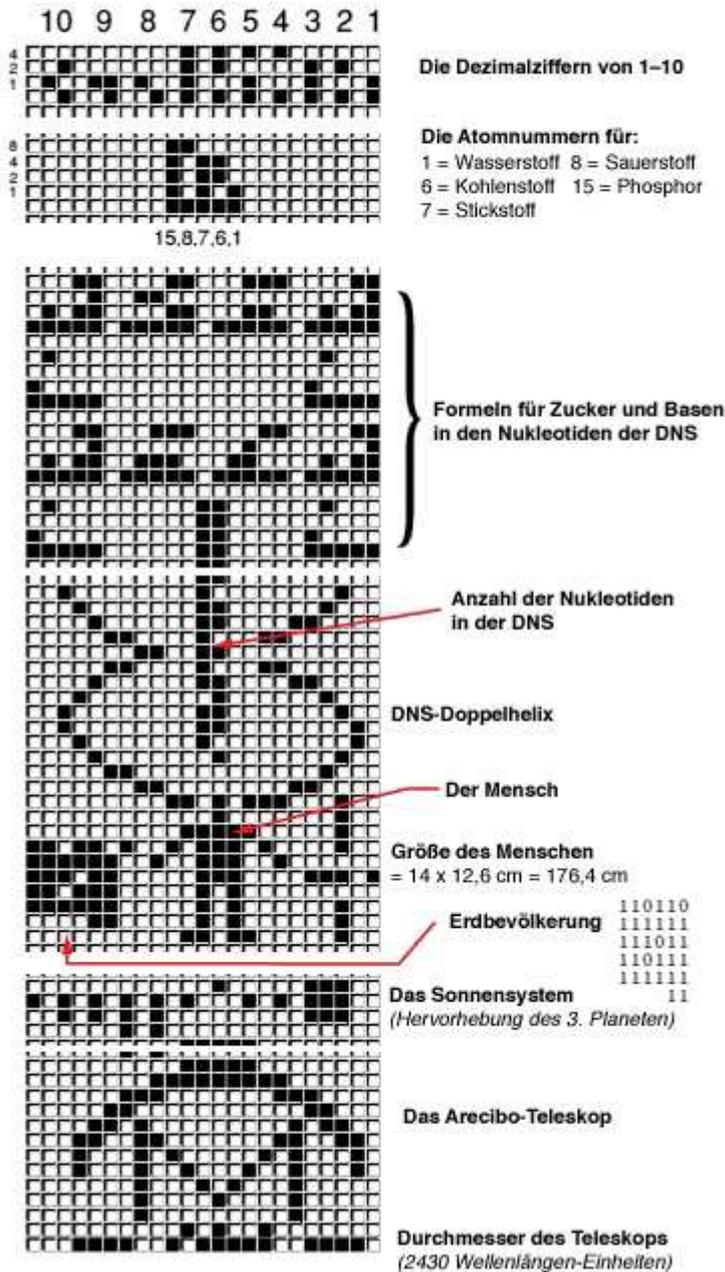


Abbildung 9.8: Die im Jahre 1974 in Richtung des 21.000 Lichtjahre entfernten Kugelsternhaufens M 13 gesendete Botschaft.

9.4.2 SETI

SETI: Search for ExtraTerrestrial Intelligence. Wir senden seit gut 50 Jahren z.B. durch Fernsehübertragungen recht energiereiche Strahlung in den Weltraum die von außerirdischen Zivilisationen mit großen Radioteleskopen detektierbar ist.

Man hat auch mehrere gezielte Versuche unternommen verschlüsselte Botschaften zu senden. Im Jahre 1974 wurde mit dem Arecibo-Radioteleskop eine Botschaft in Richtung des Kugelsternhaufens M 13 gesendet. Dieser Kugelhaufen ist 21.000 Lichtjahre von uns entfernt, die Botschaft dorthin ist also 21.000 Jahre unterwegs. Abbildung 9.8 zeigt die kodierte Botschaft, eine Matrix aus 73 Zeilen und 23 Spalten, beides sind Primzahlen. Man sieht die Schüssel des Radioteleskops, Strichzeichnung eines Menschen, schematische Darstellung der DNA und die acht einfachsten Moleküle, die zur Konstruktion der DNA nötig sind.



The advertisement features a blue background with the Jobmensa logo in the top right corner. The main heading is 'MEINE TO DO'S' in large white letters. Below it is a list of four tasks, each preceded by a circular icon: a checkmark in a dashed circle for 'Wohnung suchen', a checkmark in a dashed circle for 'Mit Mama zu IKEA fahren', a checkmark in a dashed circle for 'Stundenplan erstellen', and an empty dashed circle for 'Nebenjob auf Jobmensa.de finden'. At the bottom, a white italicized text reads 'Entdecke jetzt deutschland's größtes Jobportal für Studenten'.

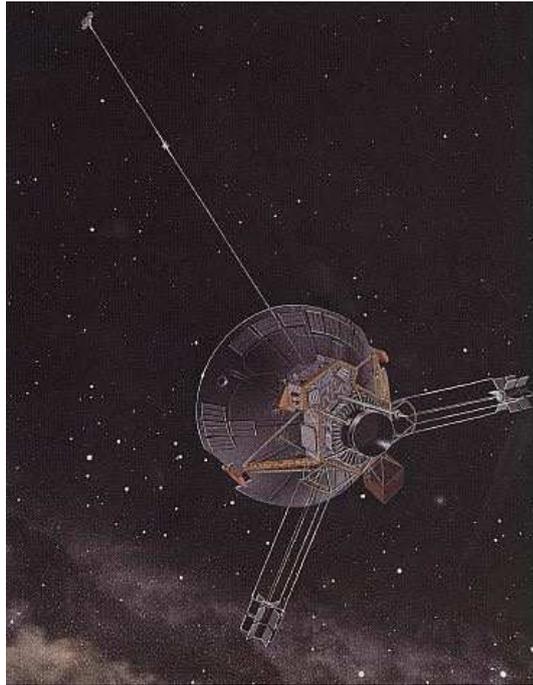


Abbildung 9.9: Raumsonde Pioneer 10.

9.4.3 Botschaften auf Raumsonden

Die Pioneer-Sonden (Abb. 9.9) haben eine Plakette mit Ausmaß eines DIN-A5-Blatts, 229×152 mm. Man sieht den Umriss der Sonde, zwei Menschen, das Sonnensystem, oben ist die 21-cm-Linie des Wasserstoffatoms dargestellt, die Lage des Sonnensystems in der Galaxis ist angegeben sowie entlang der sternförmigen Linien die Positionen von Pulsaren und kodiert die Periode der Pulsare gemessen zum Zeitpunkt des Starts der Sonde. Die Perioden der Pulsare verlangsamten sich, und so kann man feststellen, wann die Sonde gestartet wurde (Abb. 9.10).

Die Plaketten an Bord von Pioneer 10 und 11 wurden im Jahre 1972 hergestellt. Pioneer 10 wurde am 3.3.1972 gestartet. Die letzten empfangenen Daten stammen aus dem Jahre 2003. Sie erreichte am 4.12. 1973 Jupiter, 1976 Saturn, 1979 die Uranusbahn und 1983 die Neptunbahn. Pioneer 11 startete am 6.4.1973, am 24.11.1995 gab es den letzten Kontakt mit der Sonde.

Auch die Raumsonden Voyager 1 und 2 tragen eine Plakette mit Informationen und sogar Stimmen einiger wichtiger Menschen² (Abb. 9.11). Die Sonden sind im Jahre 1977 gestartet.

²Musik von Mozart, Chuck Berry, Stimme des damaligen UNO Generalsekretärs Kurt Waldheim und des US-Präsidenten Jimmy Carter

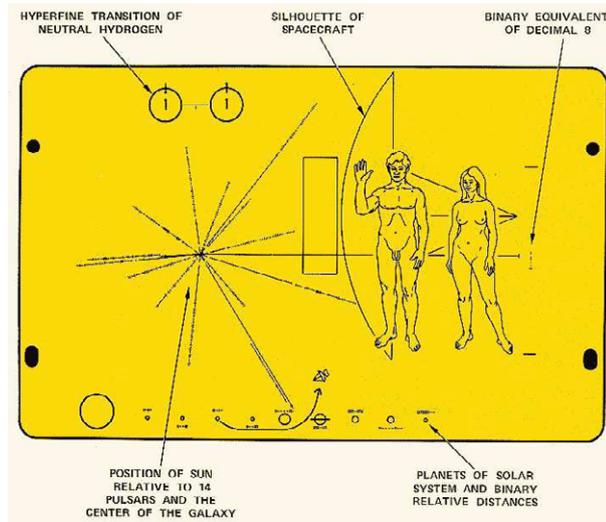


Abbildung 9.10: Die Plakette an Bord der Raumsonden Pioneer 10 und 11.

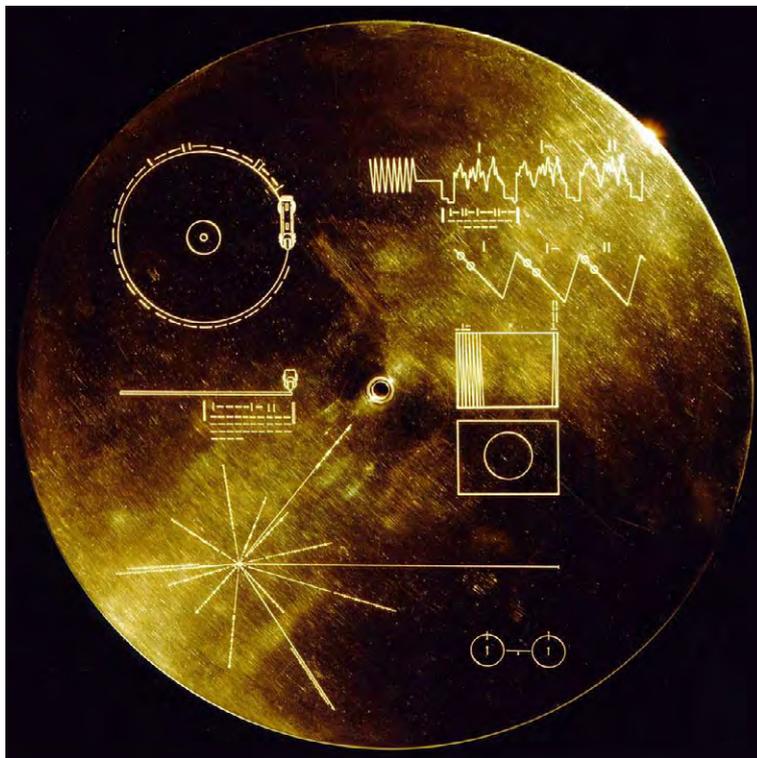


Abbildung 9.11: Die Plakette an Bord der Raumsonde Voyager.

Die Botschaft des UNO-Generalsekretärs Kurt Waldheim auf dieser Plakette lautete:

„Als Generalsekretär der Vereinten Nationen, einer Organisation von 147 Mitgliedsstaaten die beinahe alle menschlichen Bewohner des Planeten Erde repräsentiert, sende ich Grüße im Namen der Völker unseres Planeten. Wir treten aus unserem Sonnensystem ins Universum auf der Suche, nur nach Frieden und Freundschaft, um zu lehren wo wir darum gebeten werden, um zu lernen wenn wir Glück haben. Wir sind uns ganz und gar bewusst, dass unser Planet und alle seine Bewohner nichts als ein kleiner Teil des uns umgebenden, immensen Universums sind und wir machen diesen Schritt mit Demut und Hoffnung.“

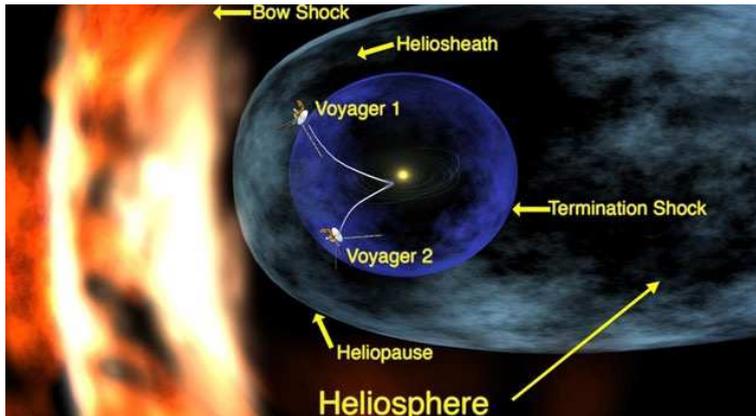


Abbildung 9.12: Die Voyager Raumsonden in den äußeren Bereichen der Heliosphäre.

Im Mai 2005 erreichte Voyager 1 den äußeren Bereich der Heliosphäre der Sonne, den Heliosheath. Im Dezember 2010 betrug die Entfernung zur Erde 116 AU, das entspricht 16 Lichtstunden (Abb. 9.12). Man hofft, dass der Funkkontakt bis zum Jahre 2025 bestehen wird.

Obwohl es möglicherweise viele Zivilisationen in unserer Galaxis gibt, ist die Wahrscheinlichkeit einer direkten Kontaktaufnahme gering wegen der großen Entfernungen.

strategy&

Bewirb Dich bis zum 18. Oktober 2015.

DATA EMERGENCY

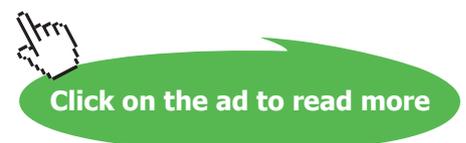
7. - 9. November 2015, Berlin

Gesundheitsbranche in der Datenkrise!
Deine innovativen Ideen und Strategien zum Thema e-Health sind gefragt. Entwickle gemeinsam mit Strategy&-Beratern Hightech-Strategien für eine gesunde Zukunft.

Mehr Informationen unter www.strategyand.pwc.com/DBTAcademy

pwc

© 2015 PwC. All rights reserved.
PwC refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.



Index

- α Centauri, 106
- β Pictoris, 216
- 21-cm, 47
- 2M1207, 222

- Abiogenese, 15
- absolute Helligkeit, 57
- acidophil, 13
- Acrylonitril, 164
- Adiabatengleichung, 120
- Adiabatische Expansion, 32
- adiabatischer Temperaturgradient, 120
- Äquivalenzhöhe, 120
- AGB, 97
- Akkretion, 109
- Akkretionsscheibe, 222, 236
- Albedo, 23, 121, 215
- ALH 84001, 257
- alkaliphil, 13
- Alphateilchen, 75
- Ameisensäure, 15
- Aminosäure, 15
- Andromedagalaxie, 29, 57
- Anthracen, 50
- Aphel, 69
- Apollo 11, 153
- Archaea, 12
- Arecibo-Botschaft, 261
- Arrhenius, 255
- Asteroseismologie, 194
- Astrobiologie
 - Definition, 9
- Astronomische Einheit, AE, 106
- asymptotic giant branch, AGB, 97
- asymptotischer Riesenast, 97
- Atmung, 11
- Azatosmoe, 164

- Bacillus subtilis, 256
- barometrische Höhenformel, 120
- barophil, 13
- Baryzentrumsbewegung, 201
- Biela, 173
- Biomarker, 248
- black smokers, 18
- Boltzmannkonstante, 119
- Bond'sche Albedo, 248
- Bondsche Albedo, 251
- braune Zwerge, 98
- Brown'sche Bewegung, 236
- Brunhes Matuyama Umkehrung, 80
- Bulge, 56
- Burgess-Schiefer, 81

- Callisto, 157
- Cassini-Lücke, 148
- Cassini-Mission, 143
- Cepheiden, 58
- Ceres, 173
- Chandrasekhar-Grenze, 99, 175
- Chandrayaan-1, 152
- chemisches Ungleichgewicht, 251
- chemoheterotroph, 11
- chiral, 15
- Chiralität, 17
- Clark, 98
- CNO-Zyklus, 92
- COBE, 35
- COROT, 189
- COROT 7-b, 190
- Crabnebel, 101, 176
- Cyanobakterien, 11

- Deimos, 153
- Deinococcus radiodurans, 13

- Demokrit, 30, 51
- Deuteriumbrennen, 98
- Differentiation, 107, 109
- DNA-Welt, 18
- Dopplereffekt, 203
- Drake-Gleichung, 258
- drittes Keplersgesetz, 52, 104
- Dunkles Zeitalter, 38

- Eisenatmung, 12
- Eisriesen, 150
- Eiszeiten, 70
- Enceladus, 164
 - Leben, 167
- Encke-Lücke, 148
- endolith, 13
- Endosporen, 256
- Entfernungsmodul, 57
- Entropie, 10
- Entweichgeschwindigkeit, 129
- Erdbahn
 - Störungen, 70
- Erdbahnkreuzer, 173
- Erde, 67
 - Atmosphäre, 70
 - Bahn, 69
 - Exoplanet, 252
 - globales Zirkulationsmuster, 72
 - Innere Wärme, 21
 - Jahreszeiten, 67
 - Magnetfeld, 74, 111
 - Magnetschweif, 78
 - Rotation, 69
 - Sauerstoff, 71
 - Strahlungsgürtel, 78
 - UV-Strahlung, 72
- Erde-Mond Baryzentrum, 202
- Erdmond, 151
- Eros, 106
- Erster Hauptsatz Thermodynamik, 34
- Eukaryoten, 10
- Europa, 156
- Exokometen, 197
- Exomonde, 197
- Exoplaneten
 - Atmosphären, 246
 - Direkte Beobachtungen, 217
 - Einteilung, 235
 - Lichtreflexion, 215
 - Masse, 232
 - Polarisation, 224
 - Radialgeschwindigkeitsmethode, 205
 - Statistik, 229
 - Suche, 175
 - Transits, 183
- Exosphäre, 123
- Extinktion, 45
- extremophil, 12

- Fomalhaut, 223
- Fossilien, 13
- Frail, D., 180
- freie Fallzeit, 96

- Gärung, 15
- GAIA, 197
- Galaxien, 45
 - habitable Zone, 60
 - Haufen, 60
 - Typen, 58
- Galaxienflucht, 32
- Galaxis
 - Aufbau, 55
 - Modell, 56
- Galilei'sche Monde, 154
- Galilei, G., 148
- Galileo-Probe, 144
- Gamow, 35
- Ganymed, 157
- Gaskonstante, 119
- Gasplaneten, 143
- geologische Aktivität, 109
- Gezeiten, 69
- Giotto, 172
- Gliese 229, 98
- Gliese 229B, 98
- Gliese 436 b, 240
- Gluonen, 40
- Glycin, 50
- Größenklasse, 107
- Gravitationsenergie, 95
- Gravitationslinseneffekt, 210

- H-I, 47
- H-II, 48, 56
- Höhenformel, 72
- Habitabilität
 - standard primäre, 242
- Habitable Zone
 - zirkumstellar, 89
- habitable Zone, 18
- Hadley-Zellen, 124
- Halley Komet, 172
- halophil, 13
- HARPS, 205
- HAT, 189
- Hauptreihen-Lebensdauer, 90
- Hauptreihensterne, 87
- HD 189733 b, 248
- HD 209458 b, 239, 248
- Heliosphäre, 265
- Heliumbrennen, 93
- Hertzprung-Russell-Diagramm, 87
- Hintergrundstrahlung, 35
- HIRES, 208
- host star, 20
- Hot Jupiters, 235
- HR 8799 b, 252
- HR8799, 218
- Hubble, E., 30, 58
- Hubble-Gesetz, 31
- Huxley, Th., 15
- Huygens-Sonde, 161
- Hyaden, 55
- hydrostatisches Gleichgewicht, 119
- HZA, 242
- HZC, 242
- HZD, 242

- IC 348, 50
- IK Pegasi, 178
- Innere Energie, 34
- Interstellare Materie, 45
- Interstellarer Staub, 45
- inverser Betazerfall, 99
- Io, 156

- Jahreszeiten, 112
- Jeans-Kriterium, 95

- Jupiter, 144
 - Atmosphäre, 144
 - Kontraktion, 144
 - Leben, 147
 - Magnetfeld, 145
 - Monde, 154
 - Ringe, 147
 - Troposphäre, 144
- Jupiter-Planeten, 246

- kambrische Explosion, 81
- Keck-Teleskope, 208
- Kelvin, 255
- KEPLER, 190
- Kohlenstoffbrennen, 93
- Kollaps
 - Gaswolke, 95
- Kometen, 170
 - Aufbau, 172
 - Einteilung, 170
 - Leben, 173
 - Schweif, 173
- Kometenschauer, 64
- kontinuierliche habitable Zone, 26
- Konvektion, 111
- Koronaler Massenwenauswurf, 218
- Koronograph, 218
- kosmischer Materiezyklus, 101
- Kosmisches Bombardment, 113
- Kraterzählungen, 113
- kryophil, 13
- Kugelsternhaufen, 56
- Kuipergürtel, 170

- L2, 194
- Lambertsche Albedo, 251
- Lava, 108
- Leben, 2
 - aktive Suche, 257
 - Definition, 10
 - Energieerzeugung, 11
 - Energiequellen, 87
 - Entropie, 10
 - Entstehung, 13
 - Exosphäre, 255
 - Grundbausteine, 21

- Spontanerzeugung, 15
- Stratosphäre, 255
- Suche nach, 246
- Troposphäre, 255
- Leuchtkraftklassen, 89
- Liposome, 164
- Lithopanspermia, 255
- LUCA, 13

- M 13, 261
- M31, 58
- Magellan, 115
- Magellan'sche Wolke, 52
- Magma, 108
- Magnetfeld
 - Schutz, 76
- Magnetfled
 - Umpolungen, 80
- Magnetosphäre, 20
- Magnitudo, 57, 107
- Mars
 - Atmosphäre, 126
 - Jahreszeiten, 135
 - Klimaänderungen, 126
 - Kohlendioxid, 126
 - Leben, 133
 - Methan, 126, 250
 - Monde, 153
 - Soujourner, 140
- Mars Science Laboratory, 140
- Marsrover, 140
- Massenverlustrate, 248
- Massenverlustraten, 238
- Maxwell Montes, 115
- Maxwell-Verteilung, 128
- Merkur
 - Atmosphäre, 123
 - Exoplaneten, 123
 - Kern, 108
 - Magnetfeld, 123
- Merkurtransit, 183
- Metalle, 60
- Metallischer Wasserstoff, 144
- Methan, 250
- Methanogenese, 12
- methanophil, 13

- Microlensing, 209
- Migrationstheorie, 235
- Milankovic, 70
- Milchstraße, 29, 51
- Miller-Urey-Experiment, 15
- MOA, 211
- Molekülwolken, 48
- Mond
 - Eis, 152
 - Kern, 108
 - Leben, 153
- Monomere, 15

- Neptun, 148
 - Leben, 151
 - Magnetfeld, 150
- Neptun-Planeten, 246
- Neutronensterne, 175
- NGC 2363, 60
- Nullalterhauptreihe, ZAMS, 96

- OGLE, 189
- oligotroph, 13
- Olympus Mons, 109
- Oort'sche Wolke, 170
- Oparin, A., 15
- Opportunity, 142
- Ordovizium, 178
- Orionnebel, 48
- Osiris, 239

- PAHs, 257
- Panspermia-Theorie, 255
- Parallaxe, jährliche, 53
- Parsec, 32
- Pasteur, L., 15
- Penzais, A., 35
- Perihel, 69
- Phasenkurven, 247
- Philae-Lander, 172
- Phobos, 153
- Phospholipide, 164
- Photolyse, 129
- Photosynthese, 11
- phototrophe, 11
- Pioneer-Plakette, 262

- Planeten, 23, 98
 - Atmosphären, 117
 - globaler Energiehaushalt, 121
 - große Planeten, 106
 - Inneres, 109
 - Magnetfelder, 111
 - Oberflächen, 113
 - radioaktiver Zerfall, 21
 - Rotation, 112
- PLATO, 192
- Pluto, 170
- Polarstern, 69
- Polymere, 15
- Population I, 55
- Population II, 60
- Population-III-Sterne, 42
- präbiotische Moleküle, 51
- Präzession, 69
- Primordiale Kernfusion, 42
- Prokaryoten, 10
- Protein, 15
- Protosterne, 96
- PSR 1257+12, 180
- PSST, 189
- psychrophil, 13
- Pulsare, 176
 - Planeten, 180
- Quarks, 40
- Racematgemisch, 15
- radioaktiver Zerfall, 109
- radiophil, 13
- Rare-Earth-Hypothesis, 258
- Rekonnexion, 76
- Relativistic beaming, 216
- Richter, 255
- RNA, 17
- RNA-Welt, 18
- Roche-Grenze, 236
- Rosetta-Mission, 172
- roter Riese, 96
- Runaway-Treibhauseffekt, 132
- Saturn, 147
 - Monde, 160
- Ringe, 148
- Sauerstoff
 - Absorption, 251
- Scheiben, zirkumstellare, 216
- scheinbare Helligkeit, 57
- Schiaparelli, 109
- Schwarze Löcher, 42
- Schwarzschildradius, 209
- SETI, 261
- Shapiro, R., 15
- Shoemaker-Levy, 173
- Siliziumbrennen, 93
- Sirius, 98
- Sirius B, 98
- Skalenhöhe, 120, 247
- Snowball Earth, 85
- Solarkonstante, 121
- Sonne, 29
 - Spektraltyp, 89
- Sonnenleuchtkraft
 - Änderungen, 26
- Sonnensystem, 103
 - Alpha Cen, 107
 - Baryzentrum, 202
 - Modell, 104
 - Planeten, 103
- Sonnenwind, 75
- Soriit, 142
- Spektralklassen, 89
- SPH, 242
- Spiralarme, 55
- Sporenbildung, 256
- STARE, 189
- Staubwolke, 46
- Stefan-Boltzmann-Gesetz, 121
- Sterne
 - Aktivität, 238
 - Aufbau, 91
 - Energieerzeugung, 21
 - Entstehung, 95
 - EUV-Fluss, 238
 - Lebensdauer, 90
 - Leuchtkraft, 23, 88
 - Masse-Leuchtkraft-Beziehung, 23
 - Temperatur, 89
 - Wasserstoffbrennen, 92

- Sternenwinde, 98
- Sternstromparallaxe, 55
- Stratosphäre, 123
- Sulfatatmung, 12
- Supernova, 58
 - Typ II, 175
- Supernovae
 - Typ Ia, 178
- Supernovaexplosion, 20
- Superonovaexplosion, 46
- Superonvae
 - Gefahr, 176
- Superwasp, 186

- TASS, 189
- Tharsis Region, 117
- Thermische Spektren, 248
- thermophil, 13
- Thermosphäre, 123
- Thetys, 166
- Tholine, 163
- Titan, 161
 - Leben, 164
- toxitolerant, 13
- Transitbeobachtungen, 186
- Transmissionsspektren, 247
- Treibhauseffekt, 121, 123
- Triple-Alpha-Prozess, 97
- Triton, 170
- Troposphäre, 72, 120, 123
- Tschurjumow-Gerassimenko, 172

- Universum
 - Entwicklung, 35
 - Expansion, 30, 32
 - Rekombination, 35
- Uranus, 148
 - Leben, 151
- UV-Strahlung, 27

- Valles Marineris, 117
- Vallis Marineris, 117
- VEGA, 124
- Vegetationsspektrum, 253
- Venus
 - Atmosphäre, 123
 - Kryosphäre, 125
 - Leben, 129
 - Lithosphäre, 108
 - Magellan, 125
 - Ozon, 125
 - Rotation, 113
 - Treibhauseffekt, 124
 - Wolken, 124
- Venustransit, 183
- Viking-Sonden, 138
- Virgohaufen, 60
- Virialsatz, 52, 95
- Voyager-Plakette, 262

- Wächtershäuser, 18
- Wassermolekül, Bildung, 48
- Wasserstoff
 - Entstehung, 29
- Wasserstoff, neutraler, 47
- weiße Zwerge, 88
- weißer Zwerg, 98
- Weltalter, 32
- Wettergeschehen, 123
- Wilson, R., 35
- Wilszczan, A., 180

- xerotolerant, 13

- ZAMS, 96
- Zirkumstellare habitable Zonen, 22
- Zodiakllicht, 216
- Zweite Erde, 235
- Zwergplaneten, 173

Literaturverzeichnis

- [1] J. Annis. An astrophysical explanation for the "great silence". *Journal of the British Interplanetary Society*, 52:19–22, 1999.
- [2] J. Armstrong. Astrobiology: A Multidisciplinary Approach. *American Journal of Physics*, 74:167–167, February 2006.
- [3] Chr. Clauser. *Einführung in die Geophysik*. Springer, Heidelberg, 2014.
- [4] L. R. Dartnell. Ionizing Radiation and Life. *Astrobiology*, 11:551–582, July 2011.
- [5] D. Ehrenreich and J.-M. Désert. Mass-loss rates for transiting exoplanets. *Astronomy and Astrophysics*, 529:A136, May 2011.
- [6] HJ Geiger. *Astrobiologie*. UTB, Zürich, 2009.
- [7] M. Groß. *Exzentriker des Lebens*. Spektrum, 1997.
- [8] M. Güdel, R. Dvorak, N. Erkaev, J. Kasting, M. Khodachenko, H. Lammer, E. Pilat-Lohinger, H. Rauer, I. Ribas, and B. E. Wood. Astrophysical Conditions for Planetary Habitability. *Protostars and Planets VI*, pages 883–906, 2014.
- [9] A.. Hanslmeier. *Faszination Astronomie*. Springer Spektrum, Heidelberg, 2014.
- [10] A.. Hanslmeier. *Einführung in Astronomie und Astrophysik*. Springer Spektrum, Heidelberg, 2015.
- [11] B. Klose. *Meteorologie*. Springer, Heidelberg, 2008.
- [12] H. Lesch and H. Zuan. *Die kürzeste Geschichte allen Lebens: Eine Reportage über 13,7 Milliarden Jahre Werden und Vergehen*. Piper, 2009.
- [13] W. Lowrie. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge Univ. Press, 2011.
- [14] N. Madhusudhan, H. Knutson, J. J. Fortney, and T. Barman. Exoplanetary Atmospheres. *Protostars and Planets VI*, pages 739–762, 2014.

- [15] L.A. McFadden and P. . Weissmann. *Encyclopedia of the solar system*. Academic Press, 2014.
- [16] L.C. Mix. *Life in Space: Astrobiology for everyone* . Harvard Univ. Press, 2009.
- [17] P. Murdin. *Are We Being Watched?: The Search for Life in the Cosmos*. Thames and Hudson Ltd., 2013.
- [18] S.. Piper. *Exoplaneten: Die Suche nach einer zweiten Erde*. Springer Spektrum, 2014.
- [19] K. Plaxco and M. Groß. *Astrobiologie für Einsteiger* . Wiley, VCH, Weinheim, 2012.
- [20] D. Prialnik. *Theory of stellar structure and evolution*. Cambrige Univ. Press, 2009.
- [21] H. Rauchfuß. *Chemische Evolution und Ursprung des Lebens* . Springer, 2005.
- [22] M. Scholz. *Exoplaneten: Astronomie und Astrophysik VII* . Epubli, 2012.
- [23] Gov. US. *Complete Guide to the Kepler Space Telescope Mission and the Search for Habitable Planets and Earth-like Exoplanets - Planet Detection Strategies, Mission History and Accomplishments* . Progressive Management, 2013.
- [24] M. Vazquez, E. Palle, and P. Montanes-Rodriguez. *The Earth as a Distant Planet: A Rosetta Stone for the Search of Earth-Like Worlds*. Springer, 2010.
- [25] D. D. Wynn-Williams. The International Journal of Astrobiology. *International Journal of Astrobiology*, 1:1–2, January 2002.