

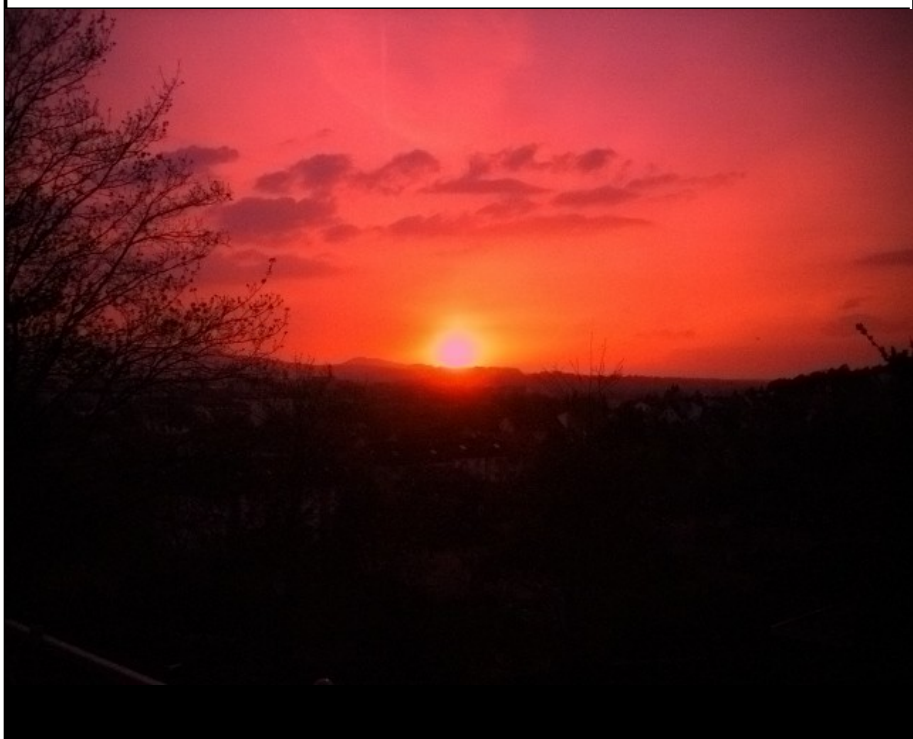


**ASTRONOMISCHER ARBEITSKREIS KASSEL E.V.**

**38. Jahrgang**

**Nummer 111**

**August 2010**



**Die Atmosphären von Erde,  
Venus, Mars und Titan**

## Inhaltsverzeichnis

K.-P.-Haupt <b>Liebe Mitglieder.....</b>	<b>3</b>
---	----------

### *Beobachtungen*

Christian Hendrich <b>Aktivitäten auf der Sternwarte.....</b>	<b>5</b>
--	----------

### *Berichte*

Roland Hedewig <b>Wie entstanden die Atmosphären von Erde, Venus, Mars und Titan ?.....</b>	<b>8</b>
--	----------

### *Verschiedenes*

Christian Hendrich <b>Beobachtungshinweise.....</b>	<b>34</b>
<b>Unser Programm von September bis Dezember 2010.....</b>	<b>35</b>

**Titelbild:** Manfred Chudy, Sonnenuntergang in Calden, 21. April 2010

## Liebe Mitglieder,

diese Ausgabe der KORONA ist die letzte, die Christian Hendrich betreut. Im letzten Jahrzehnt war seine Arbeit prägend für die Entwicklung der Vereinszeitschrift. Leider war es ihm nicht möglich, sich gegen den Konsumertrend im AAK zu wehren. Lesen möchte die KORONA jeder, dafür schreiben aber möchte fast niemand etwas.

So ist dieser Wechsel in der Redaktion mehr als nur die Abgabe einer Verantwortung, es ist ein Aufruf an die Mitglieder sich zu engagieren, wenn sie etwas erhalten oder fortführen wollen.

Da Christian schon längere Zeit südlich von Stuttgart wohnt, kann er natürlich über persönliche Kontakte das Unmögliche kaum ermöglichen.

Es liegt nur an uns, die Vereinszeitschrift zu erhalten!

Für die viele Arbeit im letzten Jahrzehnt sollten wir Christian unseren herzlichen Dank aussprechen. Sein Engagement werden wir vermissen. Ich fürchte, das geflügelte Wort „Jeder ist ersetzbar“... wird sich als nicht zutreffend erweisen:

Wir suchen einen Nachfolger, vom Erfolg des Suchens hängt es ab, ob die nächste KORONA erscheinen wird. Diese Ausgabe 111 könnte die letzte sein, es liegt an Euch/Ihnen, das zu ändern.

Genau so würde ich mich freuen, wenn auch die Mitglieder bei der Arbeit in der Sternwarte mehr Engagement zeigen. Man muss nicht immer bei öffentlichen Führungen aktiv werden, aber die Anwesenheit von Mitgliedern würde für Bernd Holstein und sein kleines Team auch eine Würdigung, ein Zeichen setzen.

„Vergessen“ ist keine Entschuldigung, denn inzwischen hat sich der monatliche Astronomie-Bericht, den ich in Zusammenarbeit mit der HNA-Redaktion schreibe, etabliert und schon oft wird das Sternwartenangebot von Besuchern gerne angenommen, und auch die Mitglieder sollten dadurch regelmäßig daran erinnert werden, dass sie eine Sternwarte haben....

Ich bin gespannt, wie es im AAK weitergeht.

Mahnende und bittende Worte standen schon oft an dieser Stelle....Reaktionen und Taten wären jetzt schön.

Das wünscht sich

KP Haupt

## Nachrufe

von K.P.-Haupt

Friedrich Baum, der „Bauherr“ unserer Sternwarte ist verstorben. Er hat vor 15 Jahren, schon als Pensionär, viele Mitglieder aktiviert eine neue, große Sternwarte zu bauen. Als ich ihm vor einem Jahr sagte, dass die Sternwarte nun auf das Dach des Schülerforschungszentrums umsiedeln wird, war er nicht etwa traurig oder empört, sondern er hat es als eine sinnvolle Entwicklung begrüßt. Herr Baum war auch hier ein zukunftsorientiert denkender und handelnder Mensch. Anfang des Jahres verstarb mein Vater, Friedrich Haupt, nach längerem Leiden. Auch er hat sich immer für den Verein engagiert, die Gartenarbeiten der Sternwarte betreut und in vielen Bereich ausgeholfen, wenn Not am Mann war. Er hat sich sehr gewünscht, die Eröffnung der neuen Sternwarte auf dem Schülerforschungszentrum noch miterleben zu können.

Wenige Monate später folgte ihm meine Mutter, Anna Haupt. Seit es die KORONA gibt, hat sie sich um den Versand der Zeitschrift und der Rundschreiben gekümmert, zuletzt im Herbst 2009.

Wir werden allen Verstorbenen ein ehrendes Andenken bewahren.




---

## Impressum

Die KORONA wird herausgegeben vom Astronomischen Arbeitskreis Kassel e.V. (AAK) und kostenlos an die Mitglieder und befreundete Vereine im Austausch mit deren Mitteilungen verteilt.

**Redaktion:** alle Autoren

**Zusammenstellung:** Christian Hendrich

**Druck:** Druckerei Bräuning & Rudert OHG, Espenau

**Auflage:** 200

**Redaktionsschluß dieser Ausgabe:** 01.08.2010

**Redaktionsschluß der kommenden Ausgabe:** 27.12.2010, falls es eine nächste Korona gibt

Die Artikel können an den Vereinsabenden in der Albert-Schweitzer-Schule abgegeben oder an K.P.-Haupt gesendet werden. Es werden nur Dokumente in elektronischer Form unterstützt, die entweder per e-Mail an: [korona@astronomie-kassel.de](mailto:korona@astronomie-kassel.de) oder CD-Rom an obige Anschrift gesandt werden. Als Dateiformate werden Richtext (.rtf), MS Word (.doc) oder Openoffice unterstützt. Als Seitenformat muss DIN A5 und als Schriftgröße 9 Punkt gewählt werden. Abbildungen sollten idealerweise mit 300 dpi eingescannt werden, alle gängigen Bild-Dateiformate (mit ausreichender Qualität) werden akzeptiert.

## Aktivitäten auf der Sternwarte

von Christian Hendrich

Im Jahr 2010 wurden die Aktivitäten auf der Sternwarte hauptsächlich von Manfred Chudy und Bernd Holstein organisiert.

Es fand am 13.5.2010 der traditionelle Tag der offenen Tür in der Sternwarte statt.

Es finden seit Anfang der Jahres außerdem regelmäßig samstags Sonnenbeobachtungen statt (im zweiwöchigem Rhythmus).

Manfred Chudy hat eine Vielzahl von Beobachtungen gemacht und die Bilder auch an die Korona-Redaktion weitergeleitet. Ein Großteil der digitalen Bildaufnahmen wurde auf der Internetseite des AAK veröffentlicht.



Manfred Chudy: Laserscape Kassel



René: McNaught (C/2009 R1), aufgenommen in den frühen Morgenstunden des 16.06.2010 mit ca. 180 Sekunden Belichtungszeit bei ISO800 an der Sternwarte Calden. Aufnahmeoptik war mein 127/952mm APO auf der CGEM-Montierung, Autoguiding mit dem LVI Smartguider an einem 70/500mm Leitrohr.



Manfred Chudy: Am 9.3.2010 wurde um 21 Uhr UT der Komet C/2007 Q3 (Siding Spring) beobachtet. Mit dem Newton D=300/F=1600 mm und Kamera CCD SBIG ST 7 wurde bei einer Belichtung 5 X 2 Minuten das angefügte Foto aufgenommen.



M65

M66

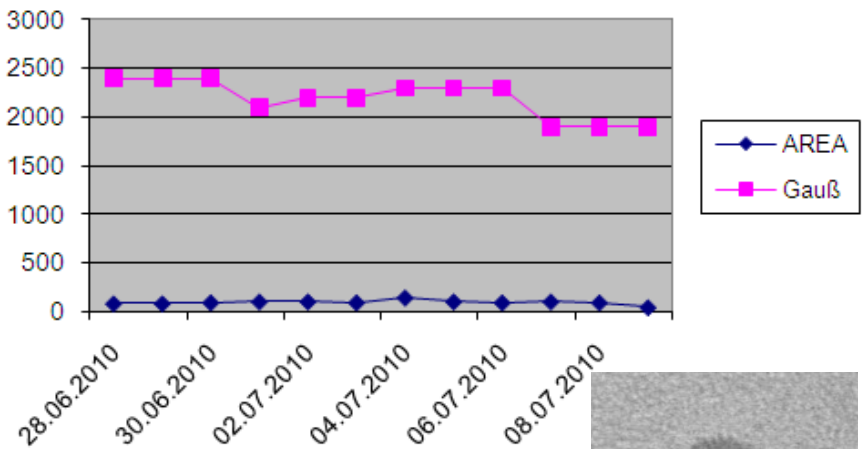


NGC 3628

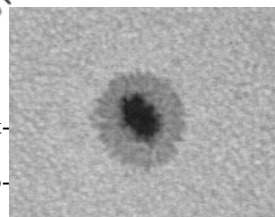


UGC 7416 mit Supernovae (heller Punkt)

Manfred Chudy: 18.04.2010, ca. 21 Uhr UT. Instrument: Newton D300/F1600 mm.



Manfred Chudy hat vom 28.6.-8.7.2010 die Fläche und Magnetfeldstärke des Sonnenfleck 11084 vermessen.  
 Die Aufnahme rechts entstammt der Homepage <http://www.astron-excel.de>



## **Wie entstanden die Atmosphären von Erde, Venus, Mars und Titan ?**

Erweiterte Fassung des Vortrages im AAK am 4. März 2010

Roland Hedewig

### **Weshalb ist die Erde der einzige belebte Planet im Sonnensystem ?**

Wenn wir diese Frage beantworten wollen, müssen wir die Bedingungen kennen, die auf einem Planeten gegeben sein müssen, damit Organismen auf ihm existieren können.

Auf der Erde existieren Organismen seit 3,8 Mrd. Jahren. Aber auf anderen Planeten des Sonnensystems wurden bisher noch keine Lebensspuren nachgewiesen. Allenfalls auf Mars könnten in der Frühphase, als Mars noch flüssiges Wasser hatte, einfachste Organismen (Bakterien) gelebt haben.

Bedingungen für das Existieren von Organismen sind.

- flüssiges Wasser als Medium für Stoffwechsel, der Beweglichkeit von Molekülen voraussetzt
- Temperaturen, bei denen Wasser flüssig ist, bei 1 Atm. Luftdruck also 0° bis 100°. In großer Meerestiefe ist Wasser auch noch bei über 300° flüssig, aber Organismen können nur bis maximal 130° C existieren (bestimmte thermophile Bakterien), weil bei höheren Temperaturen ihre organischen Bestandteile, besonders die Eiweiße, nicht mehr stabil sind. Bei Temperaturen unter 0°C können Organismen zwar existieren, aber nur dann Stoffwechsel betreiben wenn sie durch Energiefreisetzung für ihre Zellen ein warmes Milieu schaffen und diese Zellen nach außen gegen Kälte isolieren, so dass Wasser flüssig bleibt. Das ist z.B. bei endothermen Tieren (Warmblütern) der Fall, die es auf der Erde erst seit 250 Mill. Jahren gibt. Frühere Organismen hatten diese Möglichkeit nicht.

Für Landorganismen gelten weitere Bedingungen

- Der Tag-Nacht-Temperaturwechsel darf nicht zu extrem sein
- Es muss eine Atmosphäre vorhanden sein, die keine für Organismen giftigen Gase enthält und die UV-Strahlung der Sonne weitgehend abhält.

Solche Bedingungen sind im Sonnensystem heute nur auf der Erde gegeben, sie waren vielleicht früher einmal auf den wärmeren Teilen des Mars vorhanden.

Auf der Erde haben Organismen aber auch die Biosphäre, also ihre Lebenszone, selbst verändert. Das gilt für die oberen Erdschichten, die Ozeane und die Atmosphäre.

In diesem Beitrag wird dargestellt, woraus die Atmosphären der Erde und der erdähnlichen Planeten Venus und Mars und des Saturnmondes Titan bestehen, wie sie entstanden und wie und wodurch sie sich im Laufe der Zeit veränderten.

Die Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun werden nicht betrachtet, weil sie Gasplaneten ohne feste Oberfläche sind. Merkur, Kleinplaneten und die Monde (außer Titan) bleiben weitgehend unberücksichtigt, weil sie keine oder fast keine Atmosphären haben.



**Welche Temperaturen herrschen auf Merkur, Venus, Erde, Mars und Titan ?**

Die Oberflächentemperatur dieser Körper ist zunächst von ihrer Entfernung von der Sonne abhängig? Also müsste diese Temperatur vom Merkur zum Titan hin abnehmen. Für die meisten Planeten trifft das auch zu, aber die Venus fällt völlig aus dem Rahmen. Man erwartet aufgrund ihrer Bahn zwischen Merkur und Erde eine mittlere Temperatur von etwa + 80°C.

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Titan	
Mittl. Entfernung von der Sonne	0,39	0,72	1	1,52	9,6	Astron. Einheiten
Mittl. Temperatur am Boden	+167°	+464°	+15°	- 53°	- 178°	C

Tab. 1: Entfernungen von der Sonne und mittlere Oberflächentemperaturen einiger Körper des Sonnensystems

Tatsächlich liegt ihre Oberflächentemperatur aber bei + 464°C. Auf der Venus würden also Blei und Zinn flüssig sein und Eisen dunkelrot glühen

Aber auch die Erde ist im Hinblick auf ihre Entfernung von der Sonne etwas zu warm. Wenn die Oberflächentemperatur nur von der Strahlungsintensität der Sonne abhinge, dürfte die mittlere Oberflächentemperatur der Erde nicht +15°C, sondern -18°C betragen. Es muss also noch andere Faktoren geben, die die Oberflächentemperatur der festen Planeten beeinflussen. Damit rückt die jeweilige Atmosphäre ins Blickfeld. Dabei könnten zwei Faktoren eine Rolle spielen, nämlich Dichte und Bestandteile der Atmosphäre.

**Wodurch unterscheiden sich die Atmosphären von Venus, Erde, Mars und Titan ?**

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Titan
Masse in Erdmassen	0,055	0,815	1	0,107	0,023
Luftdruck am Boden, bar	10 <sup>-6</sup>	92	1	0,006	1,5
Stickstoff N <sub>2</sub> %		3,5	78,08	2,7	98,4
Sauerstoff O <sub>2</sub> %		0,0069	20,95	0,13	-
Kohlendioxid CO <sub>2</sub> %		96,5	0,038	95,3	Spur
Argon Ar %		0,07	0,93	1,6	<u>1,6</u>

Tab. 2: Masse, Luftdruck und Gase der Atmosphären von Venus, Erde, Mars und Titan

Die Venus hat also prozentual 2500 mal so viel CO<sub>2</sub> wie die Erdatmosphäre. Weil aber die Masse der Venus-Atmosphäre 90 mal größer als die der Erde ist, hat die Venus absolut 2500 mal 90 = 225.000 so viel CO<sub>2</sub> wie die Erde.

Weil CO<sub>2</sub> ein Treibhausgas ist, erklärt sich damit die hohe Temperatur der Venusoberfläche. Ohne die starke Reflexion der Sonnenstrahlung durch die Wolkendecke (76% gegenüber 39% auf der Erde) wäre es auf der Venus noch heißer.

Andererseits hat Mars eine extrem dünne Atmosphäre. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt ist zwar prozentual sehr hoch, aber wegen der geringen Dichte der Marsatmosphäre absolut nur gering. In der Erdatmosphäre werden 20° C Erwärmung vom Wasserdampf und 8°C Erwärmung vom CO<sub>2</sub>-Gehalt verursacht. Da in der Marsatmosphäre Wasserdampf fast ganz fehlt und die vorhandene CO<sub>2</sub> Menge der Marsatmosphäre absolut gering ist, gibt es in der Marsatmosphäre nur eine

minimale Treibhauswirkung, so dass die Temperatur der Marsoberfläche nur von  $+20^{\circ}$  (auf der Sonnenseite) bis  $-160^{\circ}\text{C}$  (auf der Schattenseite) reicht, im Mittel also nur  $-53^{\circ}\text{C}$  beträgt.

Die mittlere Oberflächentemperatur der Erde wird durch die Treibhausgase um  $33^{\circ}\text{C}$  erhöht, wobei der Anteil von Wasserdampf  $20^{\circ}\text{C}$  und der von  $\text{CO}_2$   $8^{\circ}\text{C}$  beträgt..

Die Treibhauswirkung beruht auf folgenden Prozessen: Die Atmosphäre lässt Sonnenstrahlungsenergie aller Wellenlängen mit Ausnahme des UV-Anteils bis zur Planetenoberfläche durch. Diese heizt sich durch Absorption von Strahlungsenergie auf und strahlt Infrarotstrahlung in die Atmosphäre zurück. Dort lassen aber die Treibhausgase diese Strahlung nicht durch, so dass sich die Atmosphäre um einen bestimmten Betrag aufheizt. Dieser Betrag ist abhängig von der Art der Treibhausgase, deren Anteil an der Atmosphäre und der Dichte dieser Gase.

Weshalb aber hat die Venus, die ebenso groß ist wie die Erde, ein 92 mal dichtere Atmosphäre als diese? Da alle Planeten des Sonnensystems aus derselben Staub- und Gaswolke entstanden, hatten doch alle Planeten ursprünglich die gleiche chemische Zusammensetzung.

Wenn wir die Gründe für die Unterschiede zwischen den Atmosphären von Venus und Erde finden wollen, müssen wir uns mit der Struktur dieser Atmosphären und mit deren Geschichte beschäftigen.

### **Wodurch unterscheiden sich Wolken und Strömungen in den Atmosphären von Venus und Erde?**

Im Teleskop erscheint die Venus blendend weiß, fast ohne irgendwelche Schattierungen. Dieses Weiß entsteht durch die Reflexion des Sonnenlichtes an der dichten Wolkenoberfläche der Venus. Im UV-Licht erkennt man dagegen deutlich Wolkenstrukturen, die auf eine schnelle Bewegung der Wolken hindeuten, die am Äquator die Venus mit  $360\text{ km/h}$  in 4 Tagen einmal umrunden. Damit rotieren die Wolken 60 mal so schnell wie die Venus selbst.

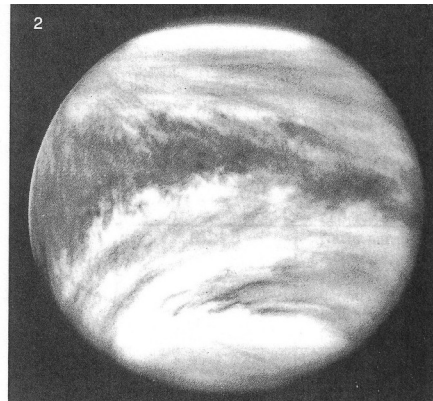
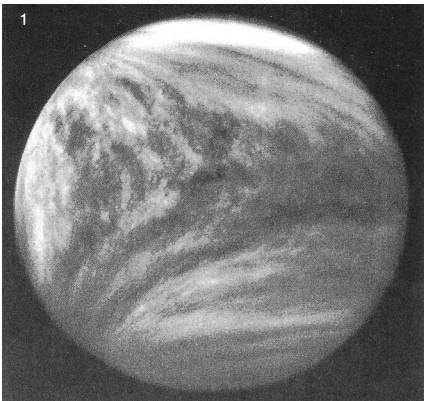


Abb. 1: Zwei Venusfotos im UV-Licht mit unterschiedlichen Bewölkungsformen (aus Schubert/Lovey 1988, S. 39)

Die Wolkendecke der Venus ist 20 km dick, ihre Unterseite liegt in 50 km Höhe. Die Wolken bestehen nicht aus Wassertropfchen, sondern zu 75 % aus Schwefelsäuretröpfchen sowie aus chlor- und phosphorhaltigen Aerosolen.

Erst mit Radar durchdringt man die Wolken und erreicht die feste, heiße Venusoberfläche. Durch Radarabtastung kann man das Relief der Venusoberfläche kartieren. Solche Venuskarten sind in der Literatur häufig publiziert worden (z.B. in „Planeten und ihre Monde“ 1988, S. 30/31).

Die Atmosphären von Venus und Erde unterliegen auf Grund unterschiedlich starker Erwärmung äquatornaher und äquatorferner Regionen einer Zirkulation (Abb. 2).

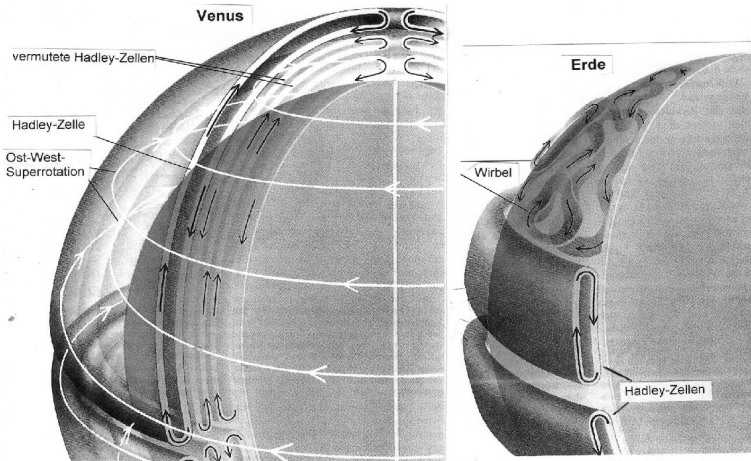


Abb. 2: Atmosphärische Zirkulation bei Venus und Erde (aus Schubert/Lovey 1988, 43)

Bei der Venus steigen Luftmassen am Äquator auf, fließen zu den Polen, steigen dort ab und fließen zum Äquator zurück. Nach ihrem Entdecker nennt man dieses Strömungssystem Hadley-Zelle. Unter dieser oberen Zelle werden weitere Hadley-Zellen vermutet. Die Venusrotation bewirkt die v-förmige Struktur der Venus-Wolken.

In der Erdatmosphäre verläuft die Hadley-Zelle auf jeder Halbkugel nur bis zu den Wendekreisen. Warme, aufsteigende Luft führt in Äquatornähe zu starken Regenfällen, weil der Wasserdampf in der Höhe kondensiert. Nachdem sich diese Luft aberegnet hat, strömt sie nach Norden, kühlt dabei ab und strömt an den Wendekreisen abwärts. Absteigende, kalte Luft enthält nur wenig Wasserdampf, so dass es keine Kondensation und damit auch keinen Regen gibt. Wüstenbildung ist die Folge (z.B. in Nordafrika).

Diese Zirkulation wird aber durch die sehr unterschiedliche Verteilung von Land und Meer und die Lage von Gebirgen modifiziert. So gibt es z.B. in Indien beiderseits des nördlichen Wendekreises regelmäßige Monsunregen.

### Wie kommen so viel CO<sub>2</sub> und Schwefelsäurewolken in die Venus-Atmosphäre?

Venus und Erde entstanden vor 4,6 Mrd. Jahren aus je einer Staubwolke, die die Sonne umkreisten. Sie waren zunächst rotglühend. Bei dieser hohen Temperatur verflüchtigten sich alle

Gase in den Weltraum. Vor 4 Mrd. Jahren hatten sich beide Planeten so weit abgekühlt, dass sie eine feste Oberfläche erhielten. Aus der erstarrten Kruste entwichen Gase, die sich abkühlten und eine Atmosphäre bildeten. Diese bestand überwiegend aus Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), Stickstoff und Wasserdampf. Aufgrund der Schwerkraft blieb beiden Planeten die Atmosphäre erhalten, im Gegensatz zum wesentlich leichteren Merkur, der keine Atmosphäre halten konnte.

Da beide Planeten von Anfang an Vulkane besaßen, reicherte sich die Atmosphäre weiter mit Kohlendioxid und etwas Schwefeldioxid an, das sich mit dem Wasserdampf zu Schwefelsäure verbindet.

Aber zwei physikalische Faktoren sind bei Venus anders als bei der Erde:

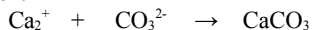
1. Die Venus befindet sich um 1/3 näher an der Sonne als die Erde.
2. Während die Erdrotation nur einen Tag dauert, umfasst eine Venus-Rotation fast 243 Tage. Weil die Drehung retrograd ist, d.h. die Sonne im Westen aufgeht und die Venus während der 243 Tage sich auch einmal um die Sonne bewegt, dauert auf der Venus ein Tag bezogen auf die Sonne 117 Erdentage, d.h. es ist 58,5 Erdentage Tag und die gleiche Zeit Nacht.

Die größere Nähe zur Sonne und der 58,5 Tage lange Sonnenschein führen auf der Tagseite der Venus zu einer so starken Erwärmung, dass Wasserdampf ständig ins Weltall entweicht. Wenn dann die Nachtseite 58,5 Erdentage lang zur Tagseite wird, erfolgt dort die gleiche Erwärmung. Wenn Regen auf die Venusoberfläche fiel, verdampfte er gleich wieder. So blieb die Venusoberfläche trocken. Es konnten keine Flüsse und Ozeane entstehen. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt stieg an und führte, weil CO<sub>2</sub> ein Treibhausgas ist, zu starker Erwärmung. Das Schwefeldioxid reagierte mit dem spärlich vorhandenen Sauerstoff und Wasser zu Schwefelsäure, die in Tröpfchenform ausgedehnte Wolken bildete. Weshalb passierte das nicht auf der Erde?

### **Weshalb nahm der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Erdatmosphäre ab?**

Auf der Erde blieb wegen der größeren Entfernung von der Sonne, dem schnelleren Tag-Nacht-Wechsel und der entsprechend niedrigeren Temperatur der Wasserdampf erhalten. Mit zunehmender Abkühlung regneten sich die Wasserwolken ab, es bildeten sich Flüsse, Seen und Ozeane. Die Flüsse trugen Mineralstoffe in fester und gelöster Form in die Ozeane, darunter auch Calcium.

Die Ozeane nahmen mit Regen und Zuflüssen ständig einen Teil des CO<sub>2</sub> auf. Ein Teil des CO<sub>2</sub> bildet im Wasser Carbonat-Ionen, die sich mit Calcium-Ionen zu schwer löslichem Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>) verbinden:



Das feste, fein verteilte Calciumcarbonat (Kalk), sinkt auf den Meeresboden und bildet dort ein

Kalksediment. So kann der Ozean ständig neues CO<sub>2</sub> aufnehmen und binden. Da die Venus keine Ozeane besitzt, reicherte sich dort das CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre an. Das ist die Ursache für den hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Venus-Atmosphäre.

Auf der Erde wird dagegen seit Jahrmilliarden der größte Teil des CO<sub>2</sub>, das von Vulkanen ausgestoßen wird, vom Meerwasser aufgenommen. Weil sich in kaltem Wasser mehr CO<sub>2</sub> löst als in warmem Wasser, wird in Kaltzeiten viel CO<sub>2</sub> aufgenommen. In Warmzeiten tritt dagegen CO<sub>2</sub> aus dem Wasser in die Atmosphäre und heizt diese zusätzlich auf.

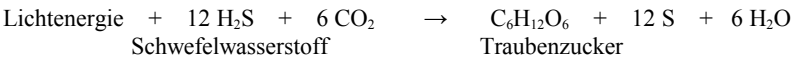
Auf der Erde fördert aber noch ein zweiter Prozess die CO<sub>2</sub>-Bindung.

Vor 3,8 Mrd. Jahren entstanden die ersten Organismen (Schidlowski 1988), die wir uns als sehr einfach gebaute Bakterien vorstellen können. Weil Bakterien keinen Zellkern besitzen, nennt man sie Prokaryoten. Ihr genetisches Material, fadenförmige Nukleinsäure-Moleküle (DNA), liegt frei im Zellplasma.

Die frühesten Bakterien lebten von organischen Stoffen des Ur-Ozeans, die sich dort spontan aus anorganischen Stoffen gebildet hatten und auch mit Asteroiden und Kometen aus dem Weltall zur Erde gelangten.

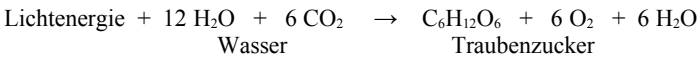
Wenig später erschienen Archebakterien (Archäen), die aus anorganischen Stoffen Energie gewinnen, z.B. die heute noch lebenden Methanbakterien und Schwefelbakterien.

Einige Bakterien erlangten die Fähigkeit, das Sonnenlicht für die Energiegewinnung zu nutzen, mit dessen Hilfe  $\text{CO}_2$  zu binden und aus diesem und Schwefelwasserstoff organische Verbindungen aufzubauen. Weil bei diesem Prozess Lichtenergie die Synthese organischer Stoffe antreibt, aber kein Sauerstoff freigesetzt wird, bezeichnet man ihn als „anoxygene Fotosynthese“



Seit 3,5 Mrd. Jahren bilden die Bakterien in flachen Zonen der Ozeane durch Schleimabsonderungen Mikrobenmatten, in die auch Kalkkörner eingelagert werden. Diese entstehen in der Fotosynthese, weil durch die Reduktion von  $\text{CO}_2$  die Ausfällung von Carbonaten erheblich gesteigert wird. Außerdem fangen die Cyanobakterien in ihrem Schleim Sedimentpartikel ein und binden sie. (vgl. Krumbein/Peterson/Zavarsin 2003). Man nennt diese harten Mikrobenmatten Stromatolithen. (stroma: Decke, Matte; lithos: das Gestein). Die ältesten findet man in West-Australien. Auf diese Weise tragen diese Bakterien zur Kalksedimentbildung bei. Den Höhepunkt erreichte die Stromatolithenbildung vor 900 Mill. Jahren (s. Abb. 3). Danach nahm sie stark ab, weil die Cyanobakterien am Ende des Präkambriums infolge einer globalen Vereisung zu wenig Licht und Wärme erhielten und anschließend seit Beginn des Kambriums Tiere die Mikrobenmatten abweideten.

In den ältesten Stromatolithen fand man fossile prokaryotische Zellen, die den heute noch überall im Wasser vorkommenden Cyanobakterien ähneln (Campbell/Reece 2003, S. 636). Solche Cyanobakterien (früher Blaualgen genannt) können mit Hilfe von Lichtenergie aus Wasser und  $\text{CO}_2$  organische Stoffe bilden und Sauerstoff freisetzen. Man nennt diesen Prozess deshalb „oxygene Fotosynthese“:



Weil bei dieser Fotosynthese Sauerstoff frei wird, bezeichnet man sie als „oxygene Fotosynthese“ Damit dürfte bewiesen sein, dass die oxygene Fotosynthese bereits vor 3,5 Mrd. Jahren begann. (Campbell/Reece 2003).

Vor 2,1 Mrd. Jahren entstanden die ersten echten Einzeller (Eukaryoten, mit Zellkern) in Form einzelliger Grünalgen, aus denen sich viel später die mehrzelligen grünen Pflanzen entwickelten. Algen und grüne Pflanzen betreiben ebenfalls oxygene Fotosynthese.

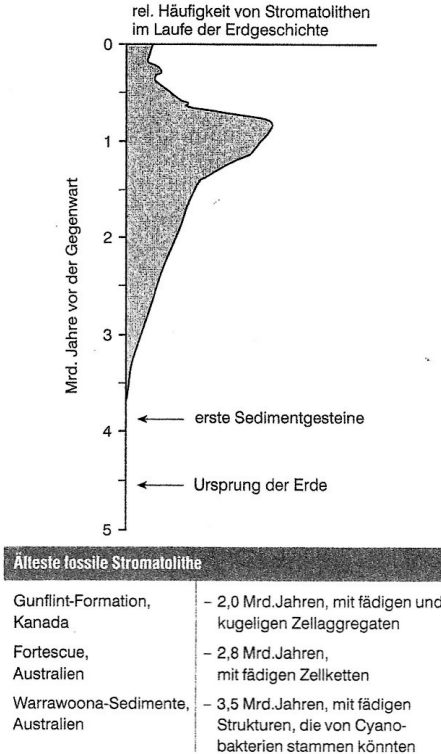
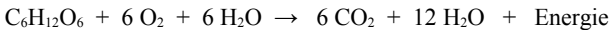


Abb. 3: Häufigkeit von Stromatolithen in der Erdgeschichte (aus Probst 2004, 46)

Durch Fotosynthese kann aber  $\text{CO}_2$  nicht dauerhaft gebunden werden, denn grüne Pflanzen Algen und Cyanobakterien geben die aufgenommene Menge  $\text{CO}_2$  auch wieder ab:

1. durch eigene Atmung, die Tag und Nacht abläuft
2. bei Zersetzung abgestorbener Organismen durch Bakterien und Pilze

Für beide Prozesse gilt die Atmungs-Summengleichung:



Weil hierbei Sauerstoff verbraucht wird, bezeichnet man diese Atmung als aerobe Atmung. Dabei wird also der bei der Fotosynthese freigesetzte Sauerstoff wieder verbraucht (gebunden) und die gleiche Menge  $\text{CO}_2$  erzeugt, die bei der Fotosynthese aufgenommen wurde. Aber dieses von Wasser-Organismen freigesetzte  $\text{CO}_2$  wird schneller als das anorganisch gebildete  $\text{CO}_2$  mit Calcium zu Kalk verbunden, weil es sich bei seiner Abgabe durch Organismen sofort in Wasser löst, während vulkanisches  $\text{CO}_2$  erst durch Regen und Flüsse ins Meer getragen wird.

Wie die stark die Kalkfällung durch Fotosynthese beschleunigt wird zeigt dieses Beispiel: Korallenpolypen enthalten symbiontische Algen. Durch deren Fotosynthese bilden die Korallen an einem Sonntag 14 mal mehr Kalk als nachts (Kattmann 2004, S. 8).

Einen großen Anteil an der Kalkfällung haben Einzeller, die keine Fotosynthese betreiben, aber Kalkschalen bilden, also Foraminiferen und Radiolarien („Strahlentierchen“).

Auch die seit 600 Mill. Jahren sich entwickelnden Tiere setzen bei der Atmung  $\text{CO}_2$  frei. Meerestiere, vor allem Korallen, Muscheln und Schnecken, bilden selbst aus Calcium-Ionen und Bikarbonat-Ionen bzw.  $\text{CO}_2$  des Wassers festen Kalk für ihre Gehäuse und Schalen, und zwar viel schneller und in größerem Umfang, als es ohne Organismen geschieht. Nach ihrem Absterben bleiben diese Kalkteile der Organismen zurück und verstärken am Meeresboden die Sedimentbildung. In den tropischen Meeren verläuft die Kalkfällung in den Korallenriffen heute noch sehr stark (vgl. Probst 2000, S. 5). Durch Kalkfällung mit Hilfe von Tieren entstand auch der Muschelkalk, nach dem eine ganze geologische Formation des Mesozoikums benannt ist, und der auch in Nordhessen vorkommt.

Die in den Ozeanen lebende Bakterien, Pflanzen und Tiere haben also ganz wesentlich zur  $\text{CO}_2$ -Bindung durch Bildung von Kalk beigetragen.

Man kann die Bildung und Bindung von  $\text{CO}_2$  und Kalk auch als Kreislauf darstellen (Abb. 4).

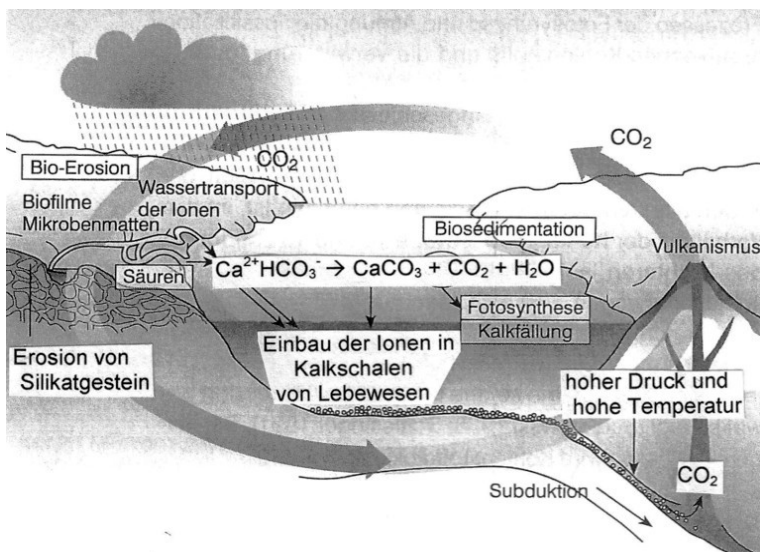


Abb. 4: Bio-geogen gesteuerter Karbonat- $\text{CO}_2$ -Kreislauf auf der Erde (nach Kasting/Toon/Pollack 1988 aus Kattmann 2004, S. 8)

Durch Gebirgsbildungsprozesse werden Kalksedimente weit nach oben geschoben, so dass Kalkberge entstehen. So entstanden z.B. die nördlichen und südlichen Kalkalpen. Wegen dieser seit über 3 Milliarden Jahre ablaufenden  $\text{CO}_2$ -Bindung im Meerwasser und schließlich im Kalk beträgt der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Erdatmosphäre heute nur 0,038 %.

### Welche Struktur hat die Erdatmosphäre ?

Bei Betrachtung der Erde aus dem Weltall erkennt man auf der Tagseite die unterschiedliche und ständig wechselnde Wolkenbedeckung.

Wolken kommen am häufigsten am Äquator und in den gemäßigten und kalten Zonen vor, seltener dagegen in den Subtropen

Wolken können sich in 0 bis 11 km Höhe bilden, also in der Troposphäre. Die meisten Wolken befinden sich aber in 2 bis 3 km Höhe. Wolken bilden sich durch Kondensation von Wasserdampf, der in dieser Höhe infolge Unterkühlung erfolgt und Wassertröpfchen bzw. Schneekristalle bildet.

Dort, wo Warmluft schnell in große Höhen aufsteigt, können Wirbelstürme entstehen

Satelliten-Fotos der Erde (Abb.5) zeigen sehr gut die spiralförmige Anordnung der Wolken bei Wirbelstürmen, die überwiegend in den Tropen entstehen und tausende Kilometer weit wandern können.

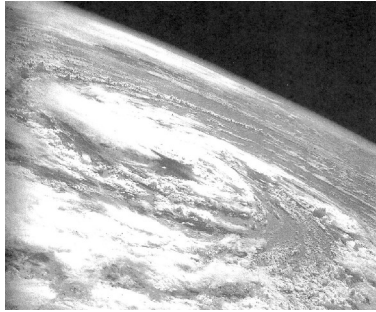


Abb. 5: Hurrikan vor Florida, Satellitenfoto. In der Mitte ist eine für Gewitter typische hohe Wolke in Ambossform zu erkennen. (Cambridge Fotoatlas der Planeten, 1985, 93)

Außer Gasen und Wolken enthält die Atmosphäre auch feste Partikel, die von aufgewirbeltem Staub und von Rauch stammen. Kilometerlange Rauchfahnen von Vulkanen, Bränden und rauchintensiven Industrieanlagen sind auch auf Satellitenfotos zu sehen.

Auf Satelliten-Aufnahmen erkennt man auch, dass die Erdatmosphäre aus Schichten besteht.

1. Die unterste Schicht, die Troposphäre, reicht von 0-12 km Höhe. Hier erfolgen die Wetterphänomene (Wolkenbildung, Regen, Schnee, Gewitter und Stürme).
2. Darüber liegt die hellblau erscheinende, 12-70 km dicke Stratosphäre.
3. Ab 70 km Höhe folgt die dunkelblau erscheinende Ionosphäre, die ohne scharfe Grenze in den Weltraum übergeht. Sie wird von unten nach oben unterteilt in Meso-, Thermo- und Exosphäre. In der Thermosphäre treten Polarlichter auf. Sie entstehen, wenn elektrisch geladene Teilchen auf die obere Schicht der Atmosphäre treffen. Diese Teilchen sind Elektronen, Protonen des Sonnenwindes und einige schwere Ionen, z.B. Sauerstoff-Ionen.

Abb.6 zeigt die Änderung der Temperatur bei zunehmender Höhe in den Atmosphären von Venus und Erde. In beiden Atmosphären nimmt die Temperatur in der Troposphäre von unten nach oben ab. Oberhalb 100 km Höhe nimmt die Temperatur der Erdatmosphäre zu, weil die UV-Strahlung der Sonne das Gas aufheizt, durch die tägliche Erdrotation die auf der Tagseite erwärmte Luft mit auf die Nachtseite genommen wird und dort innerhalb der nur wenige Stunden dauernden Nacht nur um wenige Grade abkühlt.



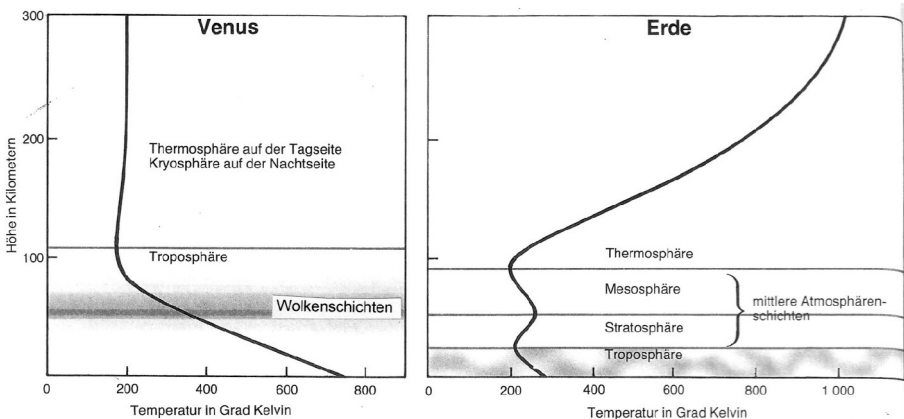


Abb. 6: Temperaturverlauf in den Atmosphären von Venus und Erde (aus Schubert/Lovey 1988, 40)

Die Temperatur der Venus-Atmosphäre nimmt oberhalb 100 km auf der Tagseite ebenfalls etwas zu, auf der Nachtseite aber stark ab. Die eingezeichnete Kurve zeigt den Mittelwert aus Tages- und Nachttemperatur.

Wie kommt diese starke Temperaturabnahme auf der Venus-Nachtseite zustande? Ursache ist der Länge der Nacht, die bei der Venus 58,5 Erdentage dauert. In dieser langen Zeit ohne Sonnenschein kühlt die Venusatmosphäre der Nachtseite stark aus.

### Wie kam der Sauerstoff in die Erdatmosphäre ?

Ursprünglich gab es in der Atmosphäre der Erde keinen Sauerstoff. Die Atmosphäre war also nicht oxidierend, sondern reduzierend.

Heute aber ist die Erde der einzige Körper des Sonnensystems, dessen Atmosphäre viel Sauerstoff enthält, nämlich 20,95 %. Woher kam dieser Sauerstoff?

Wir wissen heute, dass weniger als 3 % dieses Sauerstoffs auf anorganischen Wegen durch Wasserspaltung frei wurden. Das geschieht durch zwei Prozesse:

1. Thermische Wasserspaltung erfolgt, wenn heiße Lava mit Wasser zusammen trifft . Das geschah vor allem in der Frühzeit der Erde. Global wurde so nur wenig Sauerstoff frei.
2. Fotochemische Wasserspaltung erfolgt durch UV-Licht der Sonne in der Stratosphäre. Auch hier bleibt die frei werdende Sauerstoffmenge gering, weil nur wenig Wasserdampf von der Troposphäre in die Stratosphäre gelangt. Der meiste Wasserdampf kondensiert nämlich in der unteren Troposphäre beim Aufstieg in kalte Luftschichten, sammelt sich in Wolken und fällt als Regen oder Schnee zur Erde.

Der größte Teil des Sauerstoffs der Atmosphäre entstand dagegen nicht anorganisch, sondern durch die oxygene Fotosynthese von Mikroorganismen (Cyanobakterien und Algen) und Pflanzen.

Die Fotosynthese begann mit dem Auftreten der ersten Cyanobakterien vor 3,5 Mrd. Jahren.

Der anorganisch und durch Fotosynthese freigesetzte Sauerstoff gelangte aber damals nicht in die Atmosphäre, sondern reagierte im Wasser mit Eisen (II)-Ionen zu Eisen(III)-Oxid, das ausgefällt wurde und am Meeresboden sedimentierte. So entstanden seit 3,7 Mrd. Jahren vor heute gebänderte Sedimentgesteine mit oxidierten Schichten aus Eisen(III)-Oxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Erst vor 2,32 Mrd. Jahren begann die Freisetzung von Sauerstoff in die Atmosphäre (vgl. Bekker u.a. 2004). Er wurde jedoch zum größten Teil wieder bei Verwitterungsprozessen der Gesteine gebunden. So entstanden seit dieser Zeit die Roteisensteine.(vgl. Schidlowski 1981 und Abb. 7). Erst seit etwa 500 Mio. Jahren erreichte der Sauerstoffgehalt der Erdatmosphäre den heutigen Wert und blieb seitdem konstant. Von den großen Mengen Sauerstoff, die im Laufe der Erdgeschichte durch Fotosynthese freigesetzt wurden, befinden sich nur 4 % in der Atmosphäre und 96 % gebunden in der Lithosphäre, und zwar in Eisenoxiden und Sulfaten (vgl. Abb. 7)

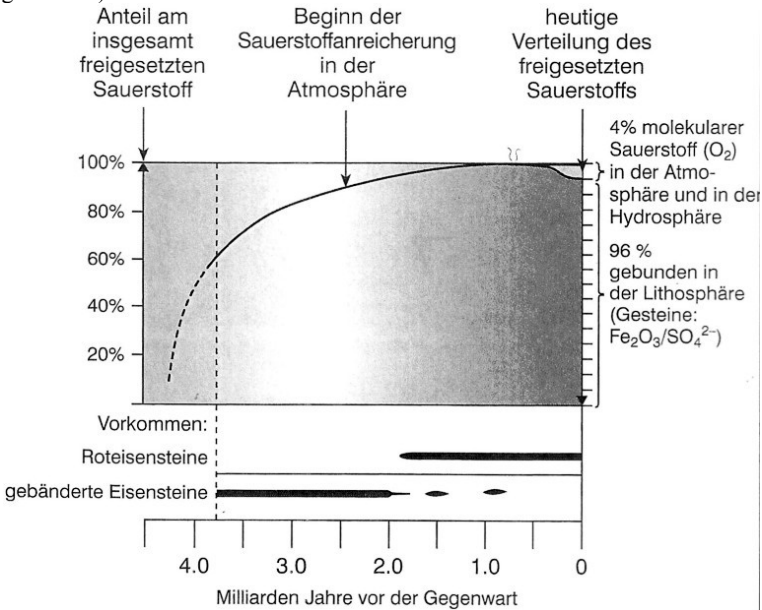
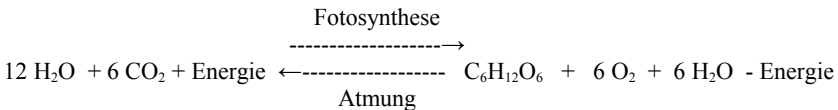


Abb. 7: Sauerstoff-Freisetzung im Laufe der Erdgeschichte und zunehmende Sauerstoffanreicherung in der Atmosphäre (nach Schidlowski aus Kattmann 2004, S.7)

**Wieso konnte sich Sauerstoff in der Erd-Atmosphäre anreichern?**

Bei der Atmung der Organismen wird die gleiche Menge an Sauerstoff wieder verbraucht, die bei der Fotosynthese freigesetzt wurde. Das zeigt die Hin- und Rückreaktion der Gleichung:



So trägt z.B. ein Wald gar nichts zur Sauerstoffanreicherung der Atmosphäre bei, weil er die gleiche Menge Sauerstoff, die er freisetzt, wieder verbraucht (veratmet) durch Atmung der Pflanzen (Tag und Nacht) und durch den Abbau von Blättern und Holz, überwiegend durch Bakterien und Pilze, zum kleinen Teil auch durch Tiere. Wenn es Tiere nicht gäbe, würde alle pflanzliche Substanz durch Bakterien und Pilze abgebaut (veratmet).

Nur wenn ein Teil des Holzes nicht vollständig abgebaut, sondern unter Luftabschluss zu Kohle wird (Inkohlung), dann bleibt der Teil Sauerstoff in der Atmosphäre, der bei Oxidation dieses Kohlenstoffs verbraucht würde. Das Gleiche gilt für Öl und Gas, die durch Abbau von Mikroorganismen unter Luftabschluss entstanden. Erst wenn diese Kohle-, Öl- und Gaslager verbrannt werden, wird die zwischenzeitlich in der Atmosphäre gespeicherte Sauerstoffmenge wieder verbraucht, und der zwischenzeitlich in den fossilen Brennstoffen gespeicherte Kohlenstoff gelangt in Form von CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre.

Lässt sich mit dieser Bildung fossiler Brennstoffe die Entstehung der großen Sauerstoffmenge in der Atmosphäre erklären?

Nein, denn selbst wenn man alle fossilen Brennstoffe und dazu alle Pflanzen der Erde verbrennen würde, dann würde der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre nur von 20,95 % auf 20,62 % sinken (Sander/Jelemenska/Kattmann 2004, S. 21, Klautke 1994, Tschumi 1981). Das würden wir also gar nicht merken, wir könnten weiter atmen wie bisher. Die Bildung fossiler Brennstoffe erklärt also nur einen Sauerstoffanteil von 0,33 % der Atmosphäre.

Woher kommt der große Rest von 20,62 % Sauerstoff?

Der größte Teil des Kohlenstoffs von Organismen, die unter Luftabschluss fossilisierten befindet sich fein verteilt in Sedimenten und daraus entstandenen Sedimentgesteinen. Dies sind 17,5 Mill. Gigatonnen Kohlenstoff (Abb. 8, Huhn 1993).

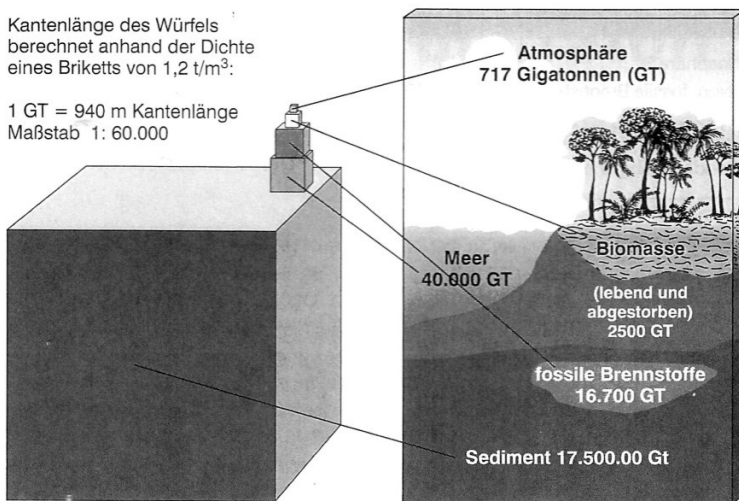


Abb.8: Kohlenstoffspeicher der Erde (nach Huhn 1993 aus Sander et al. 2004, 22)

Die von diesen fossilisierten Organismen freigesetzte Menge an Sauerstoff befindet sich in der Atmosphäre und macht den o.g. Betrag von 20,62 % aller Atmosphären-gase aus. Ohne die seit 3,5 Mrd. Jahren ablaufende Fotosynthese der Cyanobakterien, die seit 2,1 Mrd. Jahren erfolgende Fotosynthese der Meeres-Algen und ohne den Abbau eines großen Teils dieser Organismen unter Luftabschluss würde es also fast keinen freien Sauerstoff in der Atmosphäre und im Wasser geben. Dann würden auch keine Tiere leben, die den Sauerstoff zum Atmen brauchen und würden wir Menschen nicht existieren.

Und woher kommt der molekulare Stickstoff?

Der prozentual hohe Anteil des Stickstoffs von 78 % der Erdatmosphäre macht absolut weniger aus als die 3,5 % Stickstoff in der Venusatmosphäre, denn diese ist 92 mal dichter als die Erdatmosphäre.

Molekularer Stickstoff wird aus Stickstoffverbindungen frei, wenn diese von bestimmten Bakterien gespalten werden. Er entsteht auch anorganisch durch Spaltung stickstoffhaltiger Gase in der Atmosphäre.

Da die Strahlungsintensität der Sonne ansteigt, und zwar um 10% pro einer Milliarde Jahre, wird die Atmosphäre immer stärker erwärmt. Dadurch steigt die Verdunstung von Wasser. Ein Teil des Wasserdampfes wird durch die UV-Strahlung der Sonne gespalten. Der dabei frei werdende Wasserstoff entweicht in zunehmendem Maße. In 2 Mrd. Jahren werden die Ozeane ausgetrocknet sein. Nur an den Polen wird sich noch etwas Wasser befinden. Das Land wird zur Wüste. Weitere 2 Mrd. Jahre später verdampft alles noch vorhandene Wasser. Der atmosphärische Treibhauseffekt wird so stark, dass die Temperatur auf einen Wert steigt, den die Venus bereits heute besitzt.

### **Wie veränderte sich die Mars-Atmosphäre seit ihrer Entstehung?**

Man nimmt an, dass die Uratmosphären von Erde und Mars vor 4 Mrd. Jahren ähnlich waren. Das schließt man aus der Zusammensetzung der ältesten Gesteine, die damals an der Oberfläche lagen. Die Atmosphäre bestanden wahrscheinlich überwiegend aus Kohlendioxid, Wasserdampf und Stickstoff. Diese Gase wurden durch Vulkane und den Einschlag von Meteoriten freigesetzt.

Auf Mars deuten Form und Verlauf vieler Rinnenkanäle darauf hin, dass diese durch fließendes Wasser geschaffen wurden. Aus der Anzahl der Meteoritenkrater in den Kanälen kann man deren Alter auf etwa 4 Mrd. Jahre schätzen.

Aus dem Vorhandensein der Rinnenkanäle kann man schließen, dass Mars in den ersten 500 Mio. Jahren seiner Geschichte so warm war, dass Wasser flüssig sein konnte. Das lässt auf einen starken Treibhauseffekt von Gasen in der damaligen Atmosphäre schließen.

Wenn die Oberflächentemperatur des Mars vor 4 Mrd. Jahren über 0°C lag, dann muss der Gehalt an den Treibhausgasen Wasserdampf und Kohlendioxid damals viel höher als heute gewesen sein. Theoretischen Modellen zufolge hätte der CO<sub>2</sub>-Anteil einem Druck von mindestens 1000 Millibar entsprechen müssen (Haberle 1988). Im Gegensatz zum heutigen Luftdruck der Marsatmosphäre, der am Boden nur 6 mb beträgt.

Da die Masse des Mars nur 10,7 % der Erdmasse beträgt, können seine Gase des Mars viel leichter in den Weltraum entweichen als die der Erde, und zwar umso schneller, je geringer ihr Molekulargewicht (M) ist.

Bei der Spaltung von Wasserdampf durch UV-Licht in der höheren Atmosphäre wurden Wasserstoff ( $M=2$ ) und Sauerstoff ( $M=32$ ) frei. Wasserstoff entwich schnell in den Weltraum. Eine geringe Menge Wasserdampf ist am Marstag heute noch nachweisbar. Er bildet sich morgens aus Wassereis. Sein Dampfdruck steigt von 2 Uhr bis 10 Uhr Ortszeit auf 1,8 Pascal an und bleibt auf diesem Niveau mehrere Stunden. Nachts gefriert der Wasserdampf wieder, bildet Fallstreifen und Schnee (Goetz 2010).

Sauerstoff oxidierte das Eisen der Gesteinsoberflächen. Infolge der Sprengung großer Steine durch Frost und Temperaturunterschiede (außen/innen, Lichtseite/Schattenseite, Tag/Nacht) wurden immer neue Gesteinsoberflächen gebildet, die wieder oxidierten. Da es auf Mars im Gegensatz zur Erde keine ständige Freisetzung von Sauerstoff durch Organismen gibt, blieb der Sauerstoffgehalt der Marsatmosphäre sehr gering.

Stickstoff entwich auf Grund seines geringen Molekulargewichts ( $M=28$ ) im Laufe von Jahrmillionen mit Hilfe der Energie aus photochemischen Reaktionen weitgehend (Haberle 1988). Die Marsatmosphäre enthält heute zwar noch 2,7 %  $N_2$ . Da diese Atmosphäre aber nur 6 % des Luftdrucks der Erdatmosphäre aufweist, ist die absolute Stickstoffmenge sehr gering.

Übrig blieb eine große Menge des relativ schweren Kohlendioxids ( $M=44$ ). Der Anteil von  $CO_2$  an der Marsatmosphäre beträgt heute noch 95,5 % . Da die Marsatmosphäre heute aber nur 6% des Luftdrucks der Erdatmosphäre beträgt, ist auch die  $CO_2$ -Menge der Marsatmosphäre heute viel geringer als in der Frühzeit, als allein der  $CO_2$ -Anteil des Atmosphärendrucks 1000 mb betrug. Damit stellt sich die Frage:

### **Weshalb und wohin entschwand so viel $CO_2$ der Mars-Atmosphäre ?**

Für den  $CO_2$ -Verlust in der Marsatmosphäre sieht Haberle (1988) drei mögliche Ursachen:

1. Große Mengen  $CO_2$  könnten im Regolith des Mars absorbiert sein. Regolith ist eine Oberflächenschicht aus feinkörnigem Boden, der durch das Bombardement mit Meteoriten entstand.  $CO_2$  haftet an den Staubkörnern des Regoliths.

2. Solange Mars so warm war, dass Wasser flüssig sein konnte, entzog Wasser der Atmosphäre  $CO_2$ . Dieses bildete mit Calcium-Ionen des Wassers schwer lösliche Karbonate, die auf den Meeresboden sanken und dort Sedimente bildeten – wie auf der Erde. Geräte der Phoenix-Sonde setzten aus Marsgestein  $CO_2$  frei. Das ist ein Hinweis auf das erwartete Calciumcarbonat (Kalk), dessen Anteil am Marsboden auf 3-5% geschätzt wird (Goetz 2010)

Bezüglich der  $CO_2$ -Nachlieferung gibt es aber einen grundlegenden Unterschied zwischen Erde und Mars: Auf der Erde wird durch die Plattentektonik ständig etwas  $CO_2$  in die Atmosphäre zurück geführt. Dort nämlich, wo Platten zusammenstoßen und eine Platte in den Erdmantel abtaucht, führt sie Karbonat-Sedimente mit sich. Die intensive Hitze und der hohe Druck im Mantel setzen aus den Karbonaten  $CO_2$  frei, das dann über Vulkane in die Atmosphäre entweicht.

Weil Mars aber wesentlich kleiner als die Erde ist, sind auch die Innentemperatur und die von dieser angetriebenen Bewegungen von geschmolzenem Material geringer. Deshalb gibt es keine von solchen Bewegungen angetriebene Plattentektonik. Bei Mars scheint die ganze

Kruste aus einer einzigen Platte zu bestehen. Infolgedessen endete der vor 4 Mrd. Jahren bestehende Vulkanismus, der durch den Aufprall von Meteoriten in Gang gehalten wurde, nach ca. 500 Mio. Jahren. Bis zu dieser Zeit gelangte viel  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre, so dass ein starker Treibhauseffekt bestand. Als die vulkanische Aktivität wegen fehlender Plattentektonik nachließ, gingen der Gehalt der Atmosphäre an  $\text{CO}_2$  und damit der Treibhauseffekt zurück. Wasser konnte nicht mehr flüssig bleiben. Das noch vorhandene Wasser lagerte sich als Eis im Boden ab, der zum Permafrostboden wurde.

Geräte der 2008 auf Mars gelandeten Mars-Phoenix-Sonde wiesen nach, dass Wasser-Eis im Marsboden wenige Zentimeter unter der Oberfläche liegt, z. T. in reiner Form, überwiegend aber als eishaltiger Regolith (Goetz 2010).

3. Mit abnehmender Temperatur wurde in zunehmendem Maße das noch vorhandene  $\text{CO}_2$  in Form von Kohlensäure-Eis an den Polkappen gespeichert und damit der Atmosphäre weitgehend entzogen. Es sublimiert zwar jeden Sommer und kommt damit wieder in die Atmosphäre, friert aber in jedem Winter wieder aus.

Eine Übersicht über die Gasverluste der Mars-Atmosphäre zeigt Abb. 9

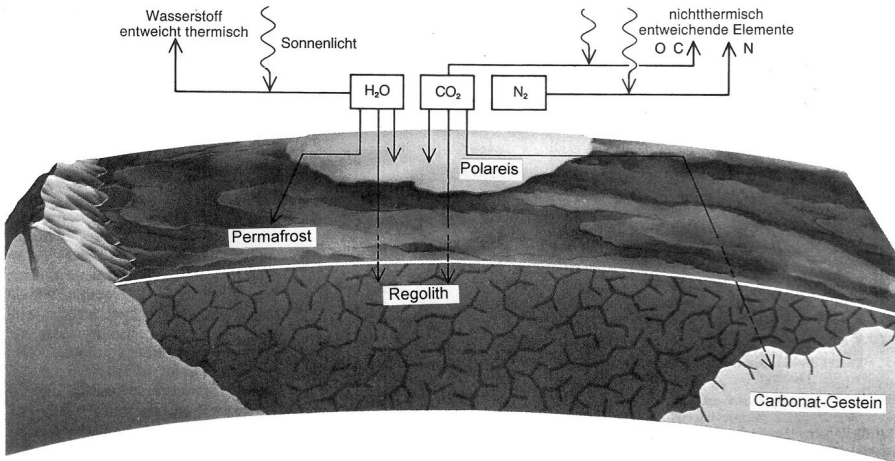


Abb. 9: Verluste von Gasen aus der Mars-Atmosphäre (aus Haberle 1988, S. 81)

## Was wissen wir über die Titan-Atmosphäre ?

Der Saturnmond Titan ist mit einem Durchmesser von 5.150 km der zweitgrößte Mond des Sonnensystems und liegt mit seiner Größe zwischen dem kleineren Merkur und dem größeren Mars. Bereits in kleinen Teleskopen kann man ihn gut sehen. Mit den größten Teleskopen erkennt man auf Titan bereits Stürme..

Titan ist der einzige Mond des Sonnensystems mit einer Atmosphäre. Man erkennt sie auf der Nachtseite durch einen hellen Schein rings um den dunklen Titan.

Die Titanatmosphäre wurde 2004/2005 von der Sonde Cassini von außen fotografiert und durch Geräte der Huygens-Sonde die von Cassini abgetrennt wurde und am 14.1. 2005 auf Titan landete, analysiert.

Von außen erkennt man von Titan nur die helle Wolkenschicht und am Titanrand oberhalb der Wolken mehrere, im Foto blau erscheinende Luftschichten.

Die Atmosphäre des Titan reicht etwa zehnmal weiter in den Weltraum als die der Erde.

Sie besteht aus vielen übereinander liegenden Dunstschichten, die sich hunderte Kilometer hoch erstrecken. Die Cassini-Sonde konnte die Titan-Oberfläche mit Infrarot- und Ultraviolet-Kameras aufnehmen.

Der atmosphärische Druck beträgt am Boden 1,5 bar. Da die Dichte des Titan nur 1,88g/cm<sup>2</sup> beträgt und seine Masse nur 2,2 % der Erdmasse erreicht, bedeuten 1,5 bar Luftdruck, dass in Bodennähe die Dichte der Titanatmosphäre 68 mal größer ist als die der Erdatmosphäre.

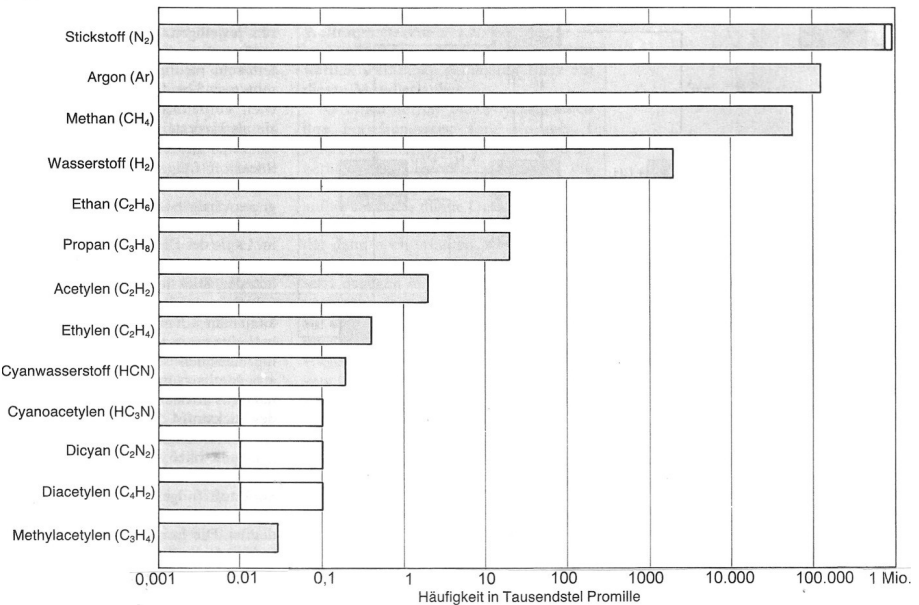


Abb. 10: Bestandteile der Titan-Atmosphäre (aus Owen 1988, 153)

Die Titanatmosphäre besteht zu 98,4 % aus Stickstoff, enthält aber noch 1,6 % Argon, etwas Methan sowie Spuren von Wasserdampf, Kohlendioxid und organischen Verbindungen wie Ethan, Propan und Cyanwasserstoff (Abb. 10). Den vertikalen Aufbau der Titan-Atmosphäre und deren Temperaturen in verschiedenen Höhen zeigt Abb. 11.

Da Methan eine viel geringere Dichte als Stickstoff hat, herrscht es in den oberen Schichten der Atmosphäre vor.

Wegen der mittleren Oberflächentemperatur von nur - 178°C, gibt es auf Titan kein flüssiges Wasser. Der feste Körper des Titan besteht zur Hälfte aus einem Mantel aus Wassereis und zur Hälfte aus einem Kern aus silikatischem Gestein.

Stoffe der Atmosphäre, der Seen und des festen Untergrundes befinden sich in einem Kreislauf (s. Abb. 12)

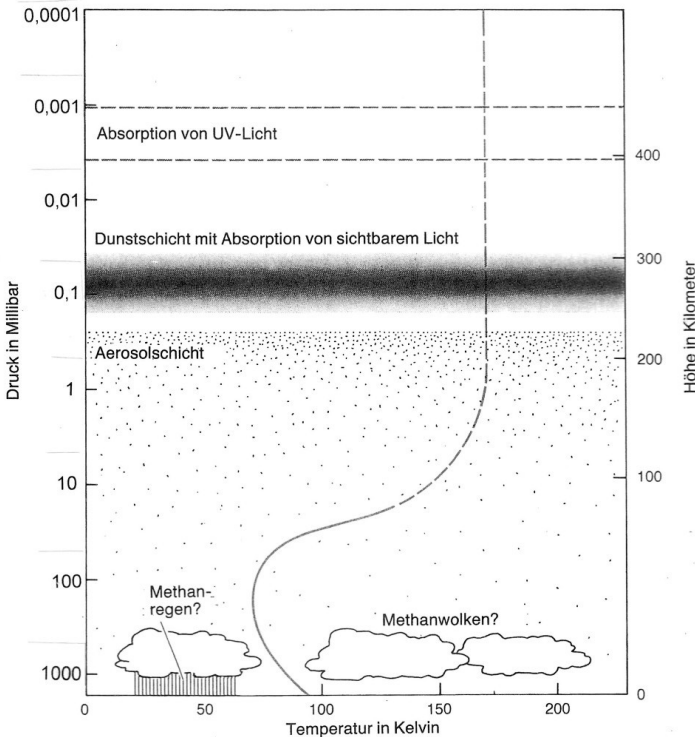


Abb.11: Querschnitt durch die Titan-Atmosphäre aus (Owen 1988, 155)

Das im Gestein befindliche Methanhydrat gelangt in Vulkanschlote, verdampft dort, und gasförmiges Methan gelangt in die Atmosphäre. Dort wird ein Teil des Wasserstoffs abgespalten, der entweicht. Ein Teil des Methanrestes verbindet sich mit Stickstoff zu komplexen organischen Verbindungen. Ein anderer Teil bildet Äthan ( $C_2H_6$ ), das mit den komplexen organischen Verbindungen reagiert, die als Schwebstoffe absinken, in Seen gelangen und dort sedimentieren.

Auf der festen Titanoberfläche existieren Kohlenwasserstoffseen. Sie enthalten Methan ( $CH_4$ ), Ethan ( $C_2H_6$ ),  $CH_6$ ,  $N_2^+$  und kleinere, gelöste organische Teilchen, aus denen Methan und Ethan verdunsten. Es kommt zu Wolkenbildung und zu Niederschlägen, die sich in Flüssen sammeln (Raulin 2008).

Diese bewirken eine Erosion, so dass Täler entstehen. In den Seen reichern sich gelöste Stoffe an, die nicht verdunsten. In der Atmosphäre gibt es, wie auf der Erde, Strömungen, die sich auf die Verteilung der Wolken auswirken, wobei es vermutlich jahreszeitliche Zyklen gibt (Probst 2009, Rodriguez u.a. 2009).



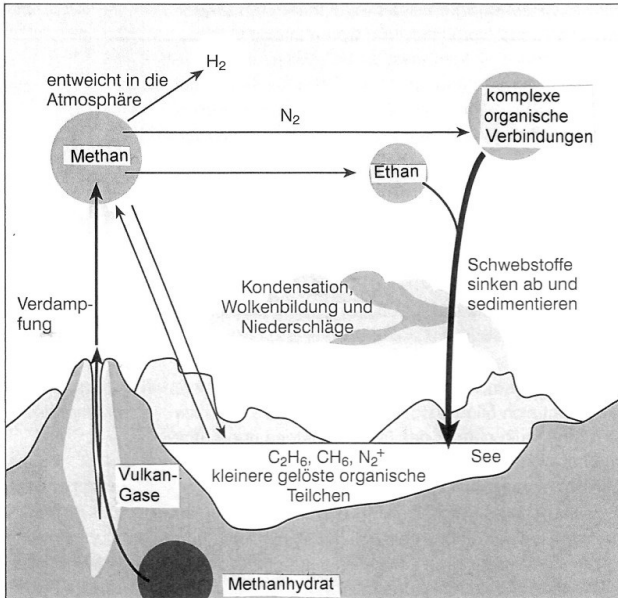


Abb. 12: Stoffkreislauf auf Titan (nach Raulin 2008 aus Probst 2009, 6)

## Wie entstand die Titan-Atmosphäre ?

In der Frühgeschichte Titans lag die Oberflächentemperatur nicht wie heute bei  $-178^\circ\text{C}$ , sondern oberhalb  $-120^\circ\text{C}$  (Owen 1988, 156). In dieser Zeit trat Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) gasförmig aus dem Gestein aus. Der Schmelzpunkt von Ammoniak liegt zwar (bei 1 bar Luftdruck) bei  $-77,7^\circ\text{C}$  und der Siedepunkt bei  $-33^\circ\text{C}$ , aber auch dann, wenn der Siedepunkt noch nicht erreicht ist, tritt aus einer Flüssigkeit ein Teil der Moleküle in den Gasraum über, so wie auch kaltes Wasser und sogar Schnee verdunstet. Nach Jeans können bei der Titantemperatur Gase mit einer Molekülmasse (Molekulargewicht) über 16 den Titan nicht verlassen. Ammoniak hat die Molekülmasse 17, erfüllt also diese Bedingung (Owen 1988, 146). Die Ammoniak-Moleküle wurden durch die energiereichen Anteile der Sonnenstrahlung unterhalb 260 nm in Stickstoff- und Wasserstoff-Atome aufgespalten, die sich sofort zu Stickstoffmolekülen ( $\text{N}_2$ ) und Wasserstoffmolekülen ( $\text{H}_2$ ) verbanden. Der extrem leichte Wasserstoff entwich wegen der geringen Gravitation des Titan in den Weltraum. Der schwere Stickstoff sank unter das leichtere Ammoniak.

Beim Sinkflug der Huygens-Sonde im Jahre 2005 zeigten die Messinstrumente an, dass das Verhältnis der Isotope Stickstoff-14 zu Stickstoff-15 70% über dem irdischer Werte liegt. Falls die Titanatmosphäre ursprünglich die gleiche Zusammensetzung wie die Erdatmosphäre hatte, lässt sich schließen, dass Titan große Stickstoff-Verluste erlitten hat.

Die Huygens-Sonde hat die Mengenverhältnisse der Isotope von N und C gemessen. Das Isotopenverhältnis von  $^{14}\text{N}$  zu  $^{15}\text{N}$  lässt vermuten, dass ursprünglich die fünffache Menge an Stickstoff vorhanden war und das leichtere  $^{14}\text{N}$  überwiegend in das Weltall diffundierte. Das heißt aber auch, dass die Titanatmosphäre früher viel dichter war als heute. Das Mengenver-

hältnis von  $^{12}\text{C}$  zu  $^{13}\text{C}$  legt nahe, dass Methan in der Gashölle neu gebildet wird (Wikipedia 11.2. 2010).

## Welche Prozesse führen bei Planeten und Monden zum Entweichen von Gasen ?

Zu dieser Frage erschien in „Spektrum der Wissenschaft“ 1 / 2010 ein ausführlicher Beitrag, dessen wesentliche Aussagen hier kurz dargestellt werden sollen.

Wenn man die Planeten und Monde entsprechend ihrer Schwerkraft und der Erwärmung durch die Sonnenstrahlung in ein Diagramm einordnet, erhält man das in Abb. 13 dargestellte Ergebnis.

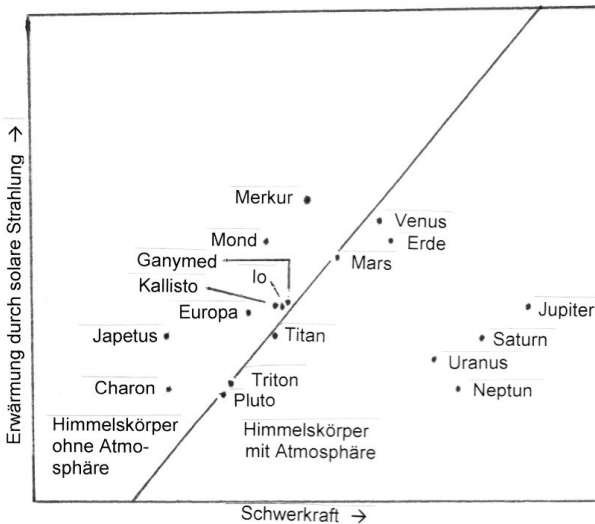


Abb. 13: Zusammenhang zwischen Sonnenstrahlung, Schwerkraft eines Himmelskörpers und der Existenz einer Atmosphäre auf diesen Himmelskörpern im Sonnensystem (Catling/Zahnle 2010, 26) Links der Diagonale stehen Himmelskörper ohne Atmosphäre, rechts die mit Atmosphäre.

Wodurch gelangen Gase aus der Atmosphäre in den Weltraum? Eine Rakete kann das Schwerfeld der Erde nur verlassen, wenn sie eine bestimmte Geschwindigkeit, die sogenannte Fluchtgeschwindigkeit erreicht bzw. überschreitet. Das ist bei Atomen und Molekülen von Gasen ebenso.

Aber woher kommt die Antriebsenergie? Bei der Rakete kommt sie von der schnellen Ausdehnung verbrennender Gase. In einer Atmosphäre liefern sieben unterschiedliche Prozesse die notwendige Antriebsenergie für das Entweichen von Atomen oder Molekülen aus dem Schwerfeld des Planeten oder Mondes. Sie sollen jetzt näher betrachtet werden.

### 1. Jeans-Verlust

Dieser Prozess ist nach dem englischen Astronomen James Jeans benannt, weil er diesen Prozesse zuerst beschrieb.

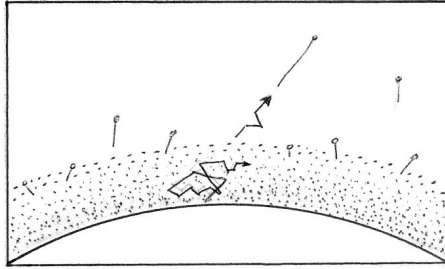


Abb. 14: Verdampfen schneller Luftmolekülen in den Weltraum (Catling/Zahnle 2010, 26)

Die Sonnenstrahlung heizt die Atmosphäre auf. Diese führt zu einer Wärmebewegung der Gasteilchen, deren Stärke abhängig ist von der aufgenommenen Sonnenenergie. Ist der Stoß, den ein Teilchen an der oberen Atmosphären­grenze erhält, stärker als die Schwerkraft des jeweiligen Planeten bzw. Mondes, verlässt dieses Teilchen die Atmosphäre. So verdampft die Luft Atom für Atom und Molekül für Molekül vom oberen Rand der Atmosphäre. In niedrigen Höhen werden die Teilchen noch von Kollisionen aufgehalten. Aber oberhalb einer bestimmten Höhe, der sogenannten Exobase, die bei der Erde in 500 km Höhe liegt, ist die Luft so dünn, dass Luftteilchen nur noch selten mit anderen Teilchen kollidieren. Die meisten Atome oder Moleküle werden durch nichts am Entweichen in den Weltraum gehindert.

In 500 km Höhe oberhalb der Erde beträgt die Temperatur 1000 Kelvin. Bei dieser Temperatur haben Wasserstoffmoleküle eine mittlere Geschwindigkeit von 5 km/s. Aber die Fluchtgeschwindigkeit beträgt bei der Erde für alle Körper 10,8 km/s. Diese Geschwindigkeit erreicht ein bestimmter Prozentsatz der Wasserstoffmoleküle.

Dieser Prozess erklärt 10 – 40 % des gegenwärtigen Wasserstoffverlustes der Erde.

Wie kommt der übrige Verlust zustande?

## 2. Hydrodynamischer Verlust

Erwärmte Luft kann auch in großen Mengen abströmen. Wenn die Hochatmosphäre UV-Strahlung absorbiert, erwärmt sie sich und dehnt sich aus, wobei Luftmassen ins Weltall gedrückt werden. Dabei werden sie allmählich beschleunigt und erreichen schließlich die Fluchtgeschwindigkeit.

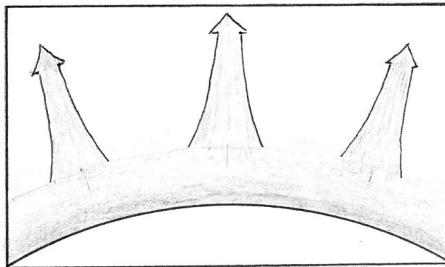


Abb. 15: Entweichen erwärmter Luft in den Weltraum (Catling/Zahnle 2010, 26)

Typisch für diese Verlustart sind Atmosphären mit hohem Wasserstoffanteil. Strömt Wasserstoff nach außen, kann er auf seinem Weg schwerere Atome und Moleküle mitreißen.

Der hydrodynamische Verlust spielt wohl auch eine wichtige Rolle in der Frühzeit von Venus, Erde und Mars. Junge Sterne, wie die Sonne in der Frühzeit, senden intensive UV-Strahlen aus, die den hydrodynamischen Verlust angetrieben haben könnten.

In der Frühphase des Sonnensystems stürzten viel mehr Asteroiden als heute auf die Planeten. Wenn diese in einen Ozean einschlugen, füllte sich die Atmosphäre mit Wasserdampf. Weil Venus wegen ihrer Nähe zur Sonne besonders viel UV-Strahlung erhielt, wurde durch diese Strahlung viel Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Viel frei werdender Wasserstoff ging der Venus innerhalb einiger zehn Millionen Jahre durch hydrodynamischen Verlust verloren. Dieser Wasserstoff konnte einen Großteil des Sauerstoffs mitreißen, während Kohlendioxid zurückblieb. Weil aber Wasser fehlte, konnte  $\text{CO}_2$  nicht in Wasser gebunden und zur Kalksteinbildung verbraucht werden. Das dürfte der Grund sein, weshalb die Venusatmosphäre so viel  $\text{CO}_2$  enthält.

Erde und Mars litten in geringerem Maße unter hydrodynamischem Verlust.

Auch Titan, der eine geringere Gravitation als Erde und Mars hat, verlor wahrscheinlich einen Großteil seiner Luft durch hydrodynamischen Verlust.

### 3. Verlust schneller Ionen durch Ladungsaustausch

Chemische Reaktionen oder Teilchenkollisionen beschleunigen die Partikel auf Fluchtgeschwindigkeit. Wasserstoff-Ionen sind zwar wegen ihrer Ladung magnetisch an den Planeten gebunden, d.h. dass sie das Magnetfeld der Erde nicht verlassen können (mit Ausnahme der in Punkt 4 erwähnten Fälle). Kollidiert aber ein schnelles H-Ion mit einem neutralen Wasserstoffatom, fängt es dessen Elektron ein, wird dadurch neutral, kann deshalb nicht mehr durch das Magnetfeld am Verlassen des Planeten gehindert werden und verlässt die Atmosphäre, wenn seine Geschwindigkeit über der Fluchtgeschwindigkeit liegt (s. Abb. 16).

60 bis 90 % des derzeitigen Wasserstoffverlustes der Erde gehen auf diesen Prozess zurück.

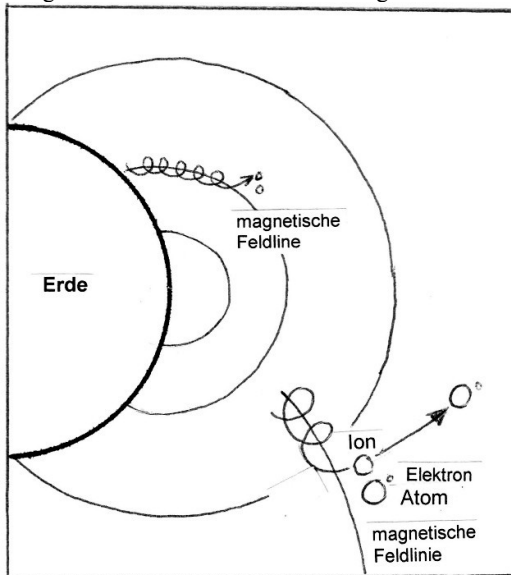


Abb. 16: Verlust schneller Ionen durch Ladungsaustausch (nach Catling/Zahnle 2010, 29)

#### 4. Polarer Wind

Die Erde hat fast 100 % des Heliums und 10 – 15 % des Wasserstoffs durch den sogenannten polaren Wind verloren. Darunter versteht man einen Strom leichter, geladener Teilchen, der entlang von Magnetfeldlinien in den interplanetaren Raum entweicht. Das ist möglich, weil sich in hohen Breiten manche Feldlinien nicht zum Planeten zurückkrümmen, sondern sich mit interplanetaren Feldlinien verbinden. Diese Offenheit der Feldlinien wird vom Sonnenwind verursacht, der die äußeren Erdmagnetfeldlinien weiter nach außen zieht (s. Abb. 17).

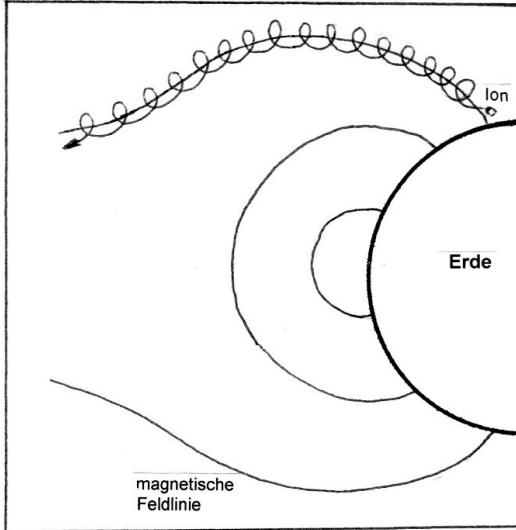


Abb. 17: Verlust leichter geladener Teilchen entlang von Magnetfeldlinien (nach Catling/Zahnle 2010, 29)

#### 5. Fotochemischer Verlust

Auf Mars wandern Sauerstoff-, Stickstoff- und Kohlenmonoxidmoleküle in die Hochatmosphäre, wo die Sonnenstrahlung sie ionisiert. Rekombinieren die ionisierten Moleküle mit Elektronen oder stoßen sie miteinander zusammen, werden sie von der freigesetzten Energie in Atome aufgespalten, die dann Fluchtgeschwindigkeit besitzen können.

#### 6. Sputtering

Weil Venus, Mars und Titan kein schützendes Magnetfeld besitzen, kann der Sonnenwind mit voller Wucht die Hochatmosphäre treffen und dort Ionen mit sich reißen. Wenn aus diesen per Ladungsaustausch neutrale Atome entstehen, können sie aus der Atmosphäre entweichen. Sputtering und fotochemische Verluste sind wohl dafür verantwortlich, dass der Mars bis zu 90% der ursprünglichen Atmosphäre verloren hat. Das schließen Forscher aus der Anreicherung der Marsatmosphäre mit schweren Stickstoff- und Kohlenstoffisotopen.

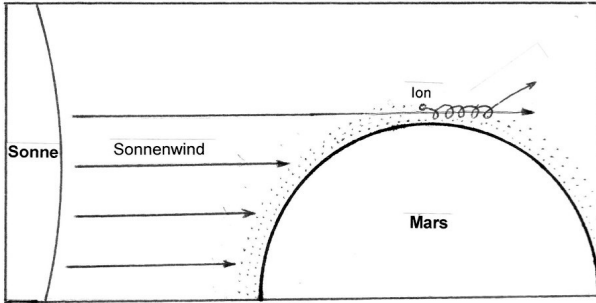


Abb. 18: Zerstäuben (Sputtering) der Atmosphäre eines Planeten ohne Magnetfeld durch Magnetfelder des Sonnenwinds (nach Catling/Zahnle 2010, 29)

**7. Asteroiden- und Kometen-Einschläge**

Einschläge auf Himmelskörper, die mit hoher Geschwindigkeit erfolgen, führen dazu dass die Asteroiden und Kometen und auch Material der Planetenoberfläche ganz oder teilweise verdampfen. Das entstehende heiße Gas expandiert dann mit einer Geschwindigkeit, die über der Fluchtgeschwindigkeit liegt und treibt die darüber liegende Luft ins Weltall hinaus. Der verloren gehende Atmosphärenanteil ist umso größer, je dünner die Luft ist. Ein Planet, der bereits durch andere Prozesse viel Luft verloren hat, kann so durch mehrere Einschläge seine gesamte Atmosphäre verlieren.

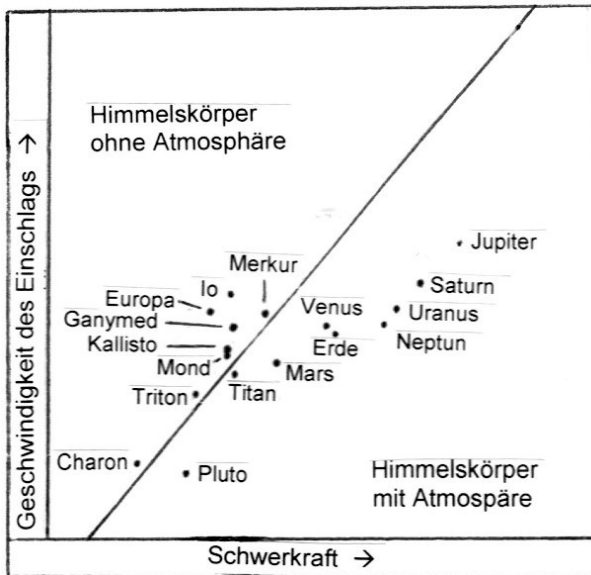


Abb. 19: Erosion einer Atmosphäre infolge von Einschlägen (Catling/Zahnle 2010, 30)

Das Diagramm (Abb. 19) zeigt, dass das Entweichen der Atome infolge von Asteroiden-Einschlägen umso stärker ausfällt, je schwächer die Schwerkraft und je größer die Geschwindigkeit des Asteroiden sind. Links der Diagonale liegen die Körper ohne Atmosphäre.

Da Mars dicht am Asteroidengürtel liegt, könnte er seine Atmosphäre in der Frühphase infolge vieler Einschläge in weniger als 100 Mill. Jahren weitgehend verloren haben. Weshalb er überhaupt noch eine dünne Atmosphäre hat, ist noch nicht geklärt

Das starke Schwerefeld des Jupiters beschleunigt Asteroiden auf hohe Geschwindigkeit. Wenn diese dann auf Jupitermonde treffen, können diese dort heftig einschlagen. Auf diese Weise könnten die große Jupitermonde, falls sie einmal eine Atmosphäre besaßen, diese verloren haben.

Titan zieht seine Bahn dagegen weit vom Saturn entfernt, so dass die Einschlaggeschwindigkeiten von Asteroiden und Kometen viel geringer sind. Deshalb und wegen der tiefen Titan-Temperatur bleibt seine Atmosphäre weitgehend erhalten.

**Welcher Planet verliert welche Gase durch welche Prozesse?**

Da leichte Gase wie Wasserstoff und Helium leichter entweichen als schwere Gase wie Sauerstoff und Kohlendioxid, ist es interessant, festzustellen, welche Gase von welchen Himmelskörpern entkommen können. Das ist von der Schwerkraft und der Temperatur am äußeren Rand der Atmosphäre bzw. bei atmosphärelosen Körpern am Boden abhängig.

Ordnet man die Planeten und Monde in ein entsprechendes Diagramm ein, erhält man das in Abbildung 20 dargestellte Ergebnis.

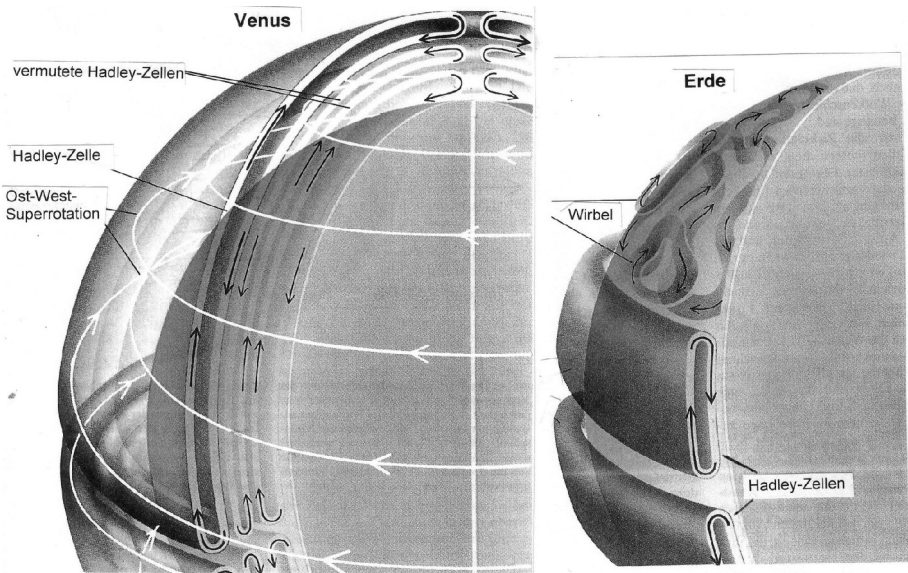


Abb. 20: Welche Gase können entkommen? (Catling/Zahnle 2010, 30)

Aus dem Diagramm geht z. B. hervor, dass die Außenseite der Atmosphäre bei Venus viel kälter ist als bei der Erde und dass die Erde deshalb trotz gleicher Schwerkraft (heute) Wasserdampf verliert, die Venus aber nicht.

Es ist auch zu erkennen, dass Mars allen Wasserstoff, alles Helium und viel Wasser verliert, aber Sauerstoff und Kohlendioxid behält.

### Zusammenfassung

Tabelle 3 zeigt zusammenfassend, welche Planeten und Monde welche Gase im Laufe ihrer Entwicklung verloren haben und noch verlieren und durch welche Prozesse das geschieht.

Himmelskörper	Epoche	hauptsächlich verlorene Gase	Prozesse:					
			1	2	3	4	5	6
Erde	aktuell	Wasserstoff Helium	x		x	x		
	urspr.	Wasserstoff, Neon		x				
Venus	aktuell	Wasserstoff, Helium			x			
	urspr.	Wasserstoff, Sauerstoff		x				x
Mars	aktuell	Wasserstoff Kohlenstoff, Sauerstoff Stickstoff, Argon	x				x	x
	urspr.	alle Gase Wasserstoff, Kohlendioxid		x			x	x
Jupitermonde	urspr.	alle Gase		x				x
Titan	aktuell	Wasserstoff Methan, Stickstoff	x					x
	urspr.	Wasserstoff, Methan, Stickstoff		x				x

Tab. 3: Übersicht über die Gasverluste von Planeten und Monden (Catling/Zahnle 2010, 31)  
 1: Jeans-Verlust, 2: hydrodynamisch, 3: Ladungsaustausch, 4: polarer Wind,  
 5: fotochemisch, 6: Sputtering

Für unseren Heimatplaneten Erde gilt, dass durch die günstige Entfernung zur Sonne, das Vorhandensein von Wasser und die Erhaltung der Atmosphäre Bedingungen für die Entstehung des Lebens gegeben waren und dass die Organismen, vor allem Cyanobakterien und Algen dafür sorgten, dass Sauerstoff in die Atmosphäre kam, der allen Tieren, also auch uns Menschen zum Atmen damit zum Leben dient.



## Literatur

- Bekker, A. u.a. (2004): Dating the rise of atmospheric oxygen. In: Nature, Vol. 425
- Campbell, N.A. / Reece, J. B. (2003): Biologie. Spektrum. Heidelberg, 6. Aufl.
- Catling, D.C. / Zahnle, K. J. (2010): Wenn die Atmosphäre ins All entweicht. Spektrum 1/2010, S. 24-31
- Goetz, W. (2010): Phoenix auf dem Mars. In: Spektrum 4/2010, S. 24-31
- Kasting, J. F./ Toon, O.B./Pollack, J.B. (1988): Die Entwicklung des Klimas auf den erdähnlichen Planeten. In: Spektrum 4/1988, S. 46-53
- Kattmann, U. (2004): Bioplanet Erde: Erdgeschichte ist Lebensgeschichte. In: Unterricht Biologie 299, S. 4-13
- Owen, T. (1988): Titan: ein Mond mit Atmosphäre. In: Planeten und ihre Monde. Spektrum, Heidelberg, 146-157
- Probst, W. (2000): Riffe. In: Unterricht Biologie, H. 254, S. 4-13
- Probst, W. (2009): Stoffkreisläufe. I: Unterricht Biologie 349, S. 2-11
- Raulin, F. (2008): Planetary Science: Organic lakes on Titan . In: Nature 454, S. 587-589
- Rodriguez, S. u.a. (2009): Global circulation as the main source of cloud activity on Titan. In: Nature 459, S. 678-683
- Sander, E. / Jelemenska, P. / Kattmann, U. (2004): Woher kommt der Sauerstoff? In: Unterricht Biologie 299, S. 20-23
- Schidlowski, M. (1981): Die Geschichte der Erdatmosphäre. In: Spektrum 4/1981, S. 17-27
- Schidlowski, M. (1988): A 3.800 million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks. In: Nature 333, S. 313-318
- Schubert, G./ Lovey, C. (1988): Die Atmosphäre der Venus. In: Planeten und ihre Monde, Spektrum, Heidelberg, S. 38-47
- Prof. Dr. Roland Hedewig, Am Krümmershof 91, 34132 Kassel, [r.hedewig@t-online.de](mailto:r.hedewig@t-online.de)

## Beobachtungshinweise\*

Christian Hendrich

7.8.2010	2 Uhr	Merkur in größter östlicher Elongation (27 Grad)	21.10.2010	Orioniden Maximum (sichtb. 2. Okt. - 7. Nov. mit $20 < \text{ZHR} < 30$ , $V=65\text{km/s}$ )
8.8.2010		8 Flora im Stillstand, dann rückl.	29.10.2010	2 Uhr Venus in unterer Konjunktion
8.8.2010	11 Uhr	Merkur im Aphel (Sonnenferne, Abstand 0,467 AE)	31.10.2010	3 Uhr MESZ = 2 Uhr Rückkehr zur mitteleuropäischen Zeit
8.8.2010	21 Uhr	Venus 2,8 Grad südl. von Saturn	4.11.2010	10 Uhr Merkur im Aphel (Sonnenferne, Abstand 0,468 AE)
9.8.2010		1 Ceres im Stillstand, danach rechtläufig	5.11.2010	7 Uhr Mond 0,8 Grad südl. von Venus
13.8.2010	0 Uhr	Perseiden Maximum (ZHR<100, 60 km/s, maximal 10. - 14. Aug.)	5.11.2010	südl. Tauriden Maximum (25. 9.-25.11., ZHR=5-10, $V=30\text{km/s}$ )
17.8.2010		Kappa-Cygniden Maximum (ZHR<5, 25 km/s)	7.11.2010	17 Uhr Neptun im Stillstand, dann rechtl.
19.8.2010	20 Uhr	Cepheiden Maximum (ZHR<10)	10.11.2010	1 Uhr 4 Vesta in Konjunktion
20.8.2010	5 Uhr	Venus 2,2 Grad südl. von Mars	12.11.2010	nördl. Tauriden Maximum (sichtb. 25.9.- 25.11. mit ZHR=5-10 und $V=30\text{km/s}$ )
20.8.2010	11 Uhr	Merkur im Stillstand, dann rückl.	16.11.2010	17 Uhr Venus im Stillstand, dann rechtl.
26.8.2010		Venus in größter östlicher Elongation (46 Grad)	19.11.2010	3 Uhr Leoniden Maximum (sichtb. 10. - 21.11., ZHR=10-50+, $V=70\text{km/s}$ )
1.9.2010		Neptun in Opposition zur Sonne	19.11.2010	7 Uhr Jupiter im Stillstand, dann rechtl.
3.9.2010	14 Uhr	6 Hebe im Stillstand, dann rückl.	1.12.2010	16 Uhr Merkur in größter östlicher Elongation (21 Grad)
6.9.2010	7 Uhr	Alpha-Aurigiden Maximum (sichtb. 25. Aug. - 5. Sept. $5 < \text{ZHR} < 10$ und $V=65\text{km/s}$ )	4.12.2010	11 Uhr Venus im größten Glanz (-4m,9)
11.9.2010	2 Uhr	Merkur in unterer Konjunktion	6.12.2010	11 Uhr Uranus im Stillstand, dann rechtl.
11.9.2010	19 Uhr	Venus im Aphel (Sonnenferne, Abstand Sonne-Venus 0,729 AE)	7.12.2010	16:30 Mond 3,4Grad nördl. von Merkur
12.9.2010	4 Uhr	8 Flora in Opposition zur Sonne im Wassermann mit 8m,2	9.12.2010	7 Iris im Stillstand, dann rechtl.
14.9.2010	2 Uhr	Mond 3 Grad südl. von Venus	10.12.2010	11 Uhr Merkur im Stillstand, dann rechtl.
14.9.2010	2 Uhr	Merkur im Stillstand, dann rechtl.	13.12.2010	Geminiden Maximum (sichtb. 7.- 17.12. mit ZHR=120, $V=35\text{km/s}$ )
19.9.2010		Pluto in Stillstand, dann rechtl.	13.12.2010	21 Uhr Mond 6,1 Grad nördl. von Jupiter
19.9.2010		Pisciden Maximum (sichtb. 1. - 30.9. mit $5 < \text{ZHR} < 10$ , $V=25\text{km/s}$ )	14.12.2010	0 Uhr Mond 5,8 Grad nördl. von Uranus
19.9.2010	0 Uhr	Jupiter 0,8 Grad südl. von Uranus	18.12.2010	10 Uhr Merkur im Perihel (Sonnennähe, Abstand 0,307 AE)
19.9.2010	19 Uhr	Merkur in größter westlicher Elongation (18 Grad)	20.12.2010	Coma Bereniciden Maximum (sichtb. 15.12.-15.1. mit ZHR=5-10 und $V=65\text{km/s}$ )
21.9.2010		6 Hebe in Opposition im Walfisch mit 7m,7	20.12.2010	2 Uhr Merkur in unterer Konjunktion
21.9.2010	11 Uhr	Merkur im Perihel (Sonnennähe, Abstand 0,307 AE)	21.12.2010	9 Uhr Totale Mondfinsternis, Beginn von Mitteleuropa sichtb.
21.9.2010	13 Uhr	Jupiter in Opposition zur Sonne	22.12.2010	0:38 Wintersonnenwende
21.9.2010	18 Uhr	Uranus in Opposition zur Sonne	22.12.2010	24 Uhr Ursiden Maximum (sichtb. 17.- 26.12., ZHR=10-20+, $V=35\text{km/s}$ )
23.9.2010	4:09	Sonne im Herbstpunkt	27.12.2010	2 Uhr Pluto in Konjunktion
23.9.2010	21 Uhr	Venus im größten Glanz	27.12.2010	16 Uhr Venus im Perihel (Sonnennähe, Abstand Venus-Sonne 0,715 AE)
1.10.2010	2 Uhr	Saturn in Konjunktion	30.12.2010	9 Uhr Merkur im Stillstand, dann rechtl.
7.10.2010	20 Uhr	Venus im Stillstand, dann rückl.		
7.-11.10.2010		Giacobiniden sichtb.		
17.10.2010	2 Uhr	Merkur in oberer Konjunktion		
20.10.2010	3 Uhr	Mond 6,5 Grad nördl. von Jupiter		

\* alle Uhrzeiten in MEZ

**Quellen:** <http://www.surveyor.in-berlin.de/himmel> • H.-U. Keller (Hrsg.): Das Kosmos Himmelsjahr, Franck-Kosmos-Verlag • Ron Baalke (Hrsg.): Space Calendar, NASA/JPL, <http://www.jpl.nasa.gov/calendar> • Fred Espenak (Hrsg.), "Twelve Year Planetary Ephemeris (TYPE)", NASA/GSFC, <http://lep694.gsfc.nasa.gov/code693/TYPE/TYPE.html>

## Vorträge und Veranstaltungen

### September bis Dezember 2010

Alle Veranstaltungen finden, wenn nicht anders angegeben, in der Albert-Schweitzer-Schule, Kassel im Neubau (Eingang Parkstr.) statt. Aktuelle Termine und Programmänderungen finden Sie auf unserer Internetseite: <http://www.astronomie-kassel.de>

#### **Vorträge am Donnerstag**

Beginn: jeweils um 19.00 Uhr

Referent: KP Haupt

#### Do, 2. September: **Neutrinos: Seltsame Teilchen vom Anfang der Welt**

Erst im Juni 2010 ist der Nachweis gelungen, dass sich Anti-Myonenneutrinos in andere Neutrinoarten umwandeln können. Damit werden endgültig die Neutrinos nicht mehr vom Standardmodell der Elementarteilchenphysiker beschrieben. Der Vortrag erläutert den aktuellen Stand unseres Wissens über Neutrinos und beschreibt geplante Experimente, die Neutrinos vom Urknall nachweisen sollen, obwohl diese Teilchen ungehindert durch mehrere Lichtjahre dicke Betonmauern fliegen könnten.

#### Do, 16. September: **Der Treibhauseffekt und die Klimakatastrophe**

Schon mit einem einfachen physikalischen Modell kann man die Wirkung des Treibhauseffektes verdeutlichen. Für Klimaberechnungen müssen aber die komplexen Ein- und Abstrahlprozesse in den Wolken berücksichtigt werden.

#### Do, 30. September: **Kuriositäten der Physik**

Der Vortrag untersucht galaktische Teilchenbeschleuniger, das Verhalten von Tachyonen, Berghöhen auf Kleinplaneten, die Zähigkeit des Raumes, die Masse eines Gravitationsfeldes und andere ungewöhnliche aber spannende Eigenschaften der Natur.

#### Do, 28. Oktober: **Schall und Meer: Die Physik der Wellen**

Am Beispiel von Wasser- und Schallwellen sollen Gruppen- und Phasengeschwindigkeiten sowie die Dispersion (Abhängigkeit der Brechung von der Wellenlänge) erläutert werden. Dabei wird die Bedeutung von Geschwindigkeiten, die größer als die Lichtgeschwindigkeit sind, herausgearbeitet.

#### Do, 11. November: **Was sind Photonen?**

Photonen sind Quanten des elektromagnetischen Feldes, fälschlicherweise oft als Lichtteilchen bezeichnet. Ihre Eigenschaften, ihre besonderes statistisches Verhalten (sie treten gerne in Gruppen auf) werden so erläutert, dass deutlich wird, dass wir kein klassisches anschauliches Analogon für diese Objekte kennen: Photonen sind Photonen.

Do, 25. November: **Warum stirbt Schrödingers Katze doch?**

Die Diskussion zwischen lokal-realistischen Vorstellungen über die Welt, so wie sie Einstein hatte, und einem den Realitätsbezug einschränkenden Ansatz (begründet durch Bohr) hält immer noch an. Nur lässt sich inzwischen dieses philosophische Problem durch physikalische Experimente lösen, was die Katze von Schrödinger mit dem nahezu sofort eintretenden Tod bezahlen muss.

Do, 9. Dezember: **Wie real ist unsere Welt: Frag nie nach dem Weg!**

Die Sicht unserer Welt wird mit unseren Wahrnehmungen konstruiert, deshalb gelingt es uns nicht, die Realität zu erkennen. Dass sich aber die Realität anders verhält, als es unseren Erwartungen entspricht, das zeigen moderne Experimente der Quantenphysik. Dabei können wir selbst festlegen, in welcher Form die Bauteile unserer Welt in der Realität vorkommen.

### **Kurse und Veranstaltungen am Freitag**

Beginn jeweils um 18.15 Uhr

falls nicht anders angegeben: Referent: Ilian Eilmes

Fr, 3.9.: **Vom Anfang der Zeit: Als der Raum eine Zeit bekam**

Referent: KP Haupt

Der Vortrag (Erweiterung und Ergänzung des Vortrages auf dem Schülerkongress) zeigt Eigenschaften der Zeit auf und plädiert für zeitlose Zustände, aus denen die Zeit emergiert. Vertiefend wird auch auf die Kopplung von Raum und Zeit zur absoluten RaumZeit eingegangen, insbesondere unter Einbeziehung des Kausalitätsprinzips.

Fr, 10.9. und Fr, 17.9.: **Auswertung und Darstellung von Messdaten**

Der Kurs ist eine Einführung für Schüler in die Messtechnik, den Umgang mit Messdaten und deren Auswertung mit Fokus auf der praktischen Anwendung.

Themen sind die Grundlagen der Fehleranalyse, Umgang mit Computerprogrammen und Tipps zur Messtechnik. Insbesondere für „Jugend forscht“-Teilnehmer und naturwissenschaftlich besonders Interessierte wird viel Nützliches geboten werden.

Fr, 15.10 und Fr, 22.10.: **Einführung in die Arbeit mit „Mathematica“**

Anhand von Beispielen (die auch von den Teilnehmern vorgeschlagen werden können) werden nützliche Anwendungen von „Mathematica“ präsentiert, wie das Darstellen von mathematisch-physikalischen Zusammenhängen, Manipulation von Funktionen und Analysis (Integration, Differentiation). Es soll eine Basis geschaffen werden, auf die später aufgebaut werden kann.

**Fr, 10.12.: Erstellen von Facharbeiten mit „Lyx“**

Vorgestellt wird das Programm „Lyx“, mit dem man bequem und effizient formale Dokumente wie Facharbeiten, Bewerbungen und Protokolle erstellen kann. Der Schwerpunkt liegt auf der praktischen Anwendung, daher kann gerne mit eigenen Texten gearbeitet werden (learning-by-doing).

**Fr, 17.12., Referent: KP Haupt: Tokyo und Fuji-San**

Ein Reisebericht von KP Haupt über einen der bekanntesten Vulkane, der unmittelbar neben der Millionenstadt Tokyo liegt: Gegensätze zwischen Natur und Technik in einer uns fremden Kultur.

**Planetariumsprogramm**

Planetarium im Museum für Astronomie und Technikgeschichte, Orangerie, An der Karlsau 20c, 34121 Kassel, Tel.: 0561-31680500

**Eine Reise unter dem Sternenhimmel (Sonntags um 14.00 Uhr)**

Dieses Programm ist als Familienprogramm besonders für Kinder unter 13 Jahren geeignet. Es werden der jeweils aktuelle Sternenhimmel und einfache Vorstellungen von den Himmelsobjekten dargestellt.

**Die Welt der Galaxien (Sonntags um 15.00 Uhr)**

Ein Familienprogramm, das den besonders auf Galaxien und Kosmologie eingeht

Vorfürer: Heiko Engelke, Ilian Eilmes Mike Vogt, Christoph Muster

**Physikclub / Schülerforschungszentrum Nordhessen**

In allen naturwissenschaftlichen und technischen Bereichen können Jugendliche aller nordhessischen Schulen eigenständig in Teams an Projekten aus der Physik, Chemie, Biologie, Mathematik, Informatik, Astronomie, Geographie und Technik forschen.

**➤ Kids-Club: Klasse 5 und 6**

In kleinen Projekten erforschen wir interessante Fragen aus der Physik, der Astronomie, der Biologie und der Technik und lernen dabei die Methoden der Naturwissenschaftler kennen.

Dienstags, 7. und 8. Stunde (Beginn: 24.8., 13.30 Uhr)

➤ **Junior-Club: Klasse 7 und 8**

Erste längere echte Forschungsprojekte aus allen naturwissenschaftlichen und technischen Bereichen können bis zu einem Jahr dauern und die Teams in wissenschaftliches Arbeiten einführen. Wir fördern die Teilnahme am Wettbewerb „Schüler experimentieren“.

Freitags, 13.30 Uhr bis 15.15 Uhr

Vorbesprechung und Projektwahl am Sa, 21.8., 10.00 Uhr bis 12.00 Uhr

➤ **PhysikClub: ab Klasse 9**

Der Name täuscht, denn die authentischen Forschungsprojekte können aus allen Bereichen der Naturwissenschaften stammen und dauern in der Regel mehrere Jahre. Die Teilnahme am Wettbewerb „Jugend forscht“ wird unterstützt.

Freitags ab 15.30 Uhr bis maximal 22.00 Uhr

Vorbesprechung und Projektwahl am Fr, 20.8. , 14.30 Uhr bis 18.00 Uhr

➤ **Homepage:** [www.physikclub.de](http://www.physikclub.de)

## **Einführung in die Astronomie**

Unser Mitglied Dr. Rüdiger Seemann veranstaltet für die Volkshochschule Kassel einen Astronomiekurs für Anfänger, der jeweils am Montagabend in der Albert-Schweitzer-Schule stattfindet. Anmeldung über die Volkshochschule.

## **Sternwarte Calden**

Öffentliche Führungen: Jeden Samstag bei wolkenfreiem Himmel um 20:30 Uhr. Sonnenbeobachtung jeden zweiten Samstag (immer in geraden Kalenderwochen) von 13.00 Uhr bis 14.00 Uhr.

Gruppen auch an anderen Tagen nach Voranmeldung unter Telefon: 0561-311116 oder 0177-2486810.

Bitte achten Sie auch auf aktuelle Pressehinweise.

Mitglieder: Alle Mitglieder, die einen Instrumentenführerschein besitzen, können vom Vorstand einen Schlüssel zur Sternwarte erhalten.

Instrumentenführerschein: Interessenten werden freitags ab 20:30 Uhr bei wolkenfreiem Himmel ausgebildet. Bitte mit Bernd Holstein in Verbindung setzen.

Einstellen von Beobachtungsobjekten: Hilfestellung gibt's nach Voranmeldung bei Manfred Chudy ebenfalls freitags ab 20:30 Uhr.

Telefonnummer der Sternwarte Calden: 05674 – 7276

Manchmal ist die Sternwarte auch an anderen Terminen besetzt. Rufen Sie an und nehmen Sie an den Beobachtungen teil.

Instrumente:

- Kuppel 1: 30 cm Newton-Reflektor mit Leitrohr auf computergesteuerter Montierung Fornax 51
- Kuppel 2: 20 cm Schaer-Refraktor auf computergesteuerter Montierung Alt-7, 20 cm Newton-Cassegrain mit Leitrohr
- Außensäule 1: Celestron C8 (20 cm Schmidt-Cassegrain)
- Außensäule 2: 10 cm Refraktor
- 15 cm Dobson-Spiegelteleskop
- 25 cm Dobson-Spiegelteleskop - hier können und dürfen Sie als Besucher unter unserer fachlichen Anleitung selbstständig Himmelsobjekte einstellen... trauen Sie sich!
- Zubehör: Feldstecher 20x80 mit Stativ, Gitterspektrograph, Halbleiter-Photometer, Interferenzfilter, T-Scanner für H-Alpha-Sonnenbeobachtung, Objektivsonnenfilter, CCD-Kamera mit Computer, Mintron-Himmelskamera mit Monitor, 6" Schmidtamera.
- Übertragungsmöglichkeit der Fernrohrbilder in den Vortragsraum.

Eintritt: Erwachsene 1,- Euro, Jugendliche 0,50 Euro. Mitglieder des AAK und deren Gäste zahlen keinen Eintritt.

### **Der Vorstand des AAK**

**Vorsitzender:** Klaus-Peter Haupt, Wilhelmshöher Allee 300a, 34131 Kassel, Tel./Fax: 0561-311116, Mobiltel. 0177-2486810, e-mail: kphaupt@aol.com

**Kassenwart:** Herbert Frisch, Tel. 0561- 6027866

**1. Beisitzer:** Bernd Holstein, Tel.0561-877720

**2. Beisitzer:** Reinhard Steinfeld, Tel.05542 - 4021

**3. Beisitzer:** Elias Sghaier, Mönchebegrstr.25, 34125 Kassel

Der AAK ist auch im WorldWideWeb vertreten:

<http://www.astronomie-kassel.de>

Sparkassen.  
Gut für Deutschland.

Kasseler Sparkasse.  
Gut für die Region.