

Die Inhalte dieses Bereiches sind im Rahmen einer schriftlichen Hausarbeit in der Didaktik der Chemie, Universität Bayreuth, zusammengetragen worden. Sie basieren auf einer Auswahl von Fragen, die Lernende hauptsächlich aus den USA an Experten von der NASA im Zeitraum von etwa 06/1997 – 03/1999 gestellt hatten.

Chemie auf dem Mars

Stephanie Montag, 1999

Gliederung

1	Elemente und Verbindungen (e).....	3
1.1	Verhalten von Marsgestein in der Erd-Atmosphäre.....	3
1.2	Die Mars-Atmosphäre ist nicht korrosiv.....	5
1.3	Stickstoff in der Mars-Atmosphäre und im Boden.....	7
1.4	Oxidierende Substanzen auf dem Mars.....	8
1.5	Altersbestimmung des Mars-Bodens.....	10
1.6	Gold, Silber und Eisen auf dem Mars.....	12
1.7	Flüssigkeitsbedingungen von Kohlenstoffdioxid.....	13
1.8	Luft auf dem Mars.....	14
1.9	Kohlenstoffdioxid im Boden.....	16
1.10	Siedepunkt des Wassers.....	18
1.11	Neue Elemente auf dem Mars.....	20
1.12	Die häufigsten Elemente.....	24
1.13	Calciumcarbonat und Gips.....	25
1.14	Quecksilber-Thermometer auf dem Mars.....	26
1.15	Zustand des Wassers unter Mars-Bedingungen.....	27
1.16	Die Strom-Versorgung (Batterien).....	29
1.17	Kartoffel und Sauerstoff.....	33
2	Atmosphäre (a).....	34
2.1	Atmosphäre eines Planeten.....	34
2.2	Ozon-Schicht auf dem Mars.....	37
2.3	Atmosphäre und Stickstoff.....	39
2.4	Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre.....	41
2.5	Atmosphäre auf dem Mars.....	43
2.6	Entstehung des Eisenoxids auf dem Mars.....	45
3	Natur-Phänomene (n).....	47
3.1	Wolken.....	47

3.2	Feuchtigkeit im Mars-Boden.....	49
3.3	Eis und/oder Reif auf dem Mars.....	52
3.4	Temperatur-Schwankungen auf dem Mars.....	53
3.5	Gase in den Pol-Kappen.....	56
3.6	Gefrorenes Kohlenstoffdioxid in den Pol-Kappen.....	58
3.7	Farbe des Himmels.....	60
3.8	Feuer auf dem Mars.....	62
4	Geochemie (g).....	63
4.1	Kruste, Mantel und Kern.....	63
4.2	Unterschied zwischen Mars und Erd-Gestein.....	66
4.3	Meteoriten vom Mars.....	68
4.4	Gase im Gestein.....	71
4.5	Mineralien.....	73
4.6	Temperatur des Mars-Kerns.....	76
4.7	Bestandteile und prozentuale Zusammensetzung des Bodens.....	77
5	Theorien und Spekulationen (t).....	79
5.1	Gefrorenes Wasser auf dem Mars.....	79
5.2	Wasser in der Vergangenheit.....	81
5.3	Trinkwasser aus Wolken.....	82
5.4	Sauerstoff aus Rost.....	83
5.5	Kein Leben auf dem Mars möglich.....	84
5.6	Fossile Brennstoffe.....	85
5.7	Theorie über das Verschwinden von Wasser.....	87
5.8	Terraforming.....	89
5.9	Wasser als Schlüssel-Element des Lebens.....	91
5.10	Weißer Fleck auf Meteorit.....	93
5.11	Kohlenstoffdioxid als Treibstoff.....	94

1 Elemente und Verbindungen

1.1 Verhalten von Marsgestein in der Erd-Atmosphäre

Frage: Glauben Sie, dass das Gestein, das wir auf dem Mars erforschen, in unserer Atmosphäre wegen des Mineral-Gehaltes des Gesteins und wegen der Zusammensetzung unserer Atmosphäre verrosten würde?

Antwort: Ted Roush am 20. März 1997

Auf der Erde gibt es reichlich Wasser auf der Oberfläche, sowohl in der flüssigen als auch in der Gas-Phase. Infolgedessen werden eisenhaltige Mineralien schnell oxidiert bzw. rosten. Unter den gegebenen Klima-Verhältnissen auf dem Mars kann kein flüssiges Wasser auf der Oberfläche und auch keine größeren Mengen an Wasser-Dampf in der Atmosphäre existieren. Nichtsdestoweniger gibt es eine Vielzahl von Hinweisen, das Mars-Mineralien in der Erd-Atmosphäre „verrosten“ würden. Die gleichen Studien ergeben, dass „Rost“ auf dem Mars vorhanden und für die rötliche Farbe verantwortlich ist, die man durch ein Teleskop schon erkennen kann.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Would_Martian_rocks_rust_on_earth.txt; (Quelle verschollen)

Hintergrund-Information: Während der Pathfinder-Mission wurde der Mineral-Gehalt von Mars-Gestein vom APX-Spektrometer analysiert. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse im Vergleich mit der Zusammensetzung der Gesteine auf der Erde zusammengestellt:

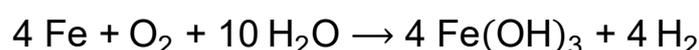
Stoff	Mars-Boden w[%]	Erd-Kruste w[%]
MgO	8,6	3,1
Al ₂ O ₃	10,1	15,2
SiO ₂	43,8	60,2
K ₂ O	0,7	2,9
CaO	5,3	5,5
TiO ₂	0,7	0,7
MnO	0,6	0,1
FeO	17,5	6,05
FeO/MnO	29,2	-

Tab. 1: Zusammensetzung des Mars- und Erd-Gesteins [1]

Es ist erkennbar, dass auf dem Mars der Anteil an FeO höher ist, während die Verteilung der anderen Mineral-Bestandteile durchaus vergleichbar ist. Der höhere Anteil an FeO im Mars-Gestein lässt sich dadurch erklären, dass der Mars **allgemein** eisenhaltiger ist als die Erde. Dieses Eisen ist im Laufe der Zeit gerostet und verleiht dem Planeten seine rote Farbe.

Da zum Rosten allerdings Sauerstoff nötig ist, von dem in der gegenwärtigen Mars-Atmosphäre nur wenig vorhanden ist, muss in der frühen Geschichte des Planeten wesentlich mehr Sauerstoff vorhanden gewesen sein.

Vorgang des Rostens: Oxidation von Eisen





Die Rost-Bildung wird durch Einwirkung von Wasser und Sauerstoff unter Bildung von Eisen(II)-hydroxid und Wasserstoff eingeleitet. Eisen (II)-hydroxid wird in Gegenwart von Luft-Sauerstoff (Oxidationsmittel) zu Eisen(III)-oxidhydrat (Rost).

Bringt man nun eisenhaltiges Mars-Gestein in die Erd-Atmosphäre, die gegenwärtig hauptsächlich Stickstoff (78,08% N₂), Sauerstoff (20,95% O₂) und Argon (0,95% Ar) [2] enthält und in der genügend Wasser-Dampf (ca. 7% H₂O) [2] vorhanden ist, so wird es relativ schnell oxidiert bzw. rostig.

Quellen:

1. http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/apxs_comparison.html; 22.05.1999
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 284

1.2 Die Mars-Atmosphäre ist nicht korrosiv

Frage: Ist die Mars-Atmosphäre korrosiv?

Antwort: *Jim Murphy am 6. August 1997*

Die Mars-Atmosphäre ist nicht korrosiv. Ihre Haupt-Bestandteile (Kohlenstoffdioxid: 95%, Argon: einige Prozent, Stickstoff: einige Prozent, Sauerstoff: weniger als ein Prozent, Kohlenstoffmonoxid und Wasser: beide viel weniger als ein Prozent und weitere Bestandteile in sehr kleinen Mengen, wie hier auf der Erde, nur in ziemlich unterschiedlichen Anteilen). Es gibt Anzeichen dafür, dass einige der Materialien im Boden korrosiv sind, möglicherweise besonders gegenüber organischen Materialien, aber die Atmosphäre ist im Allgemeinen nicht korrosiv.

Jim Murphy, Mars Pathfinder ASI/Met Team Member

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Mars_atmosphere_corrosive.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Rosten ist definiert als die chemische und elektrochemische Oxidation von ungeschütztem Eisen, die allmählich zu einer Rost-Schicht führt [1]. In seiner geläufigen Bedeutung ist Rost eine Bezeichnung für die durch Rosten, d. h. Korrosion von Eisen oder Stahl an der Luft, in Wasser oder in wässrigen Lösungen entstehenden Eisenoxide und -hydroxide, die durch ihre charakteristische gelbrote bis gelbbraune Färbung auffallen. Zur Bildung von Rost (Eisen-Rost) ist neben Luft-Sauerstoff als Oxidationsmittel auch Wasser in flüssiger Form erforderlich [2].

Da der Mars seine typische rote Farbe durch den vorhandenen Rost erhält, müssen natürlich auf dem Planeten Stoffe vorhanden sein bzw. vorhanden gewesen sein, die das Eisen zum Rosten gebracht haben. Aus Analysen der Mars-Atmosphäre kann man jedoch ausschließen, dass sich darin solche Stoffe in genügend großer Menge befinden, wie in folgender Tabelle deutlich wird.

Stoff	Erde [Vol.-%]	Mars [Vol.-%]
N ₂	78,08	2,7
O ₂	20,95	0,13
Ar	0,934	1,6
CO ₂	0,035	95,32
Ne	0,0018	0,00025
Kr	0,0001	0,00003
CO	0,00002	0,07
Xe	0,000009	0,000008
O ₃	0,000001	0,000003

Tab. 2: Vergleich der Zusammensetzung von Luft und Mars-Atmosphäre [3]

Haupt-Bestandteil ist CO₂, was als korrosiver Stoff nicht in Frage kommt. Und die Menge an O₂ in der Atmosphäre ist zu gering, um Rost entstehen zu lassen. Hinzu kommt, dass zum Rosten unbedingt flüssiges Wasser erforderlich ist (s. o.). Gegenwärtig kommt Wasser jedoch nur als Eis an den Mars-Polen vor. Deshalb war entweder die Zusammensetzung der Atmosphäre in der Vergangenheit eine völlig andere, oder die korrosiv wirkenden Materialien befinden sich im Boden. Dazu gibt es zwar einige Anzeichen – man vermutet, dass Nitrate und Peroxide im Mars-Boden zu finden sind – aber nachgewiesen wurde diese Theorie noch nicht [3].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 5, 9. Auflage, 1992, S. 3922
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 5, 9. Auflage, 1992, S. 3921
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/atmosphere/Mars_atmosphere_corrosive.txt;
13.03.1998 (verschollen)

1.3 Stickstoff in der Mars-Atmosphäre und im Boden

Frage: Gibt es irgendwelche Stickstoff-Verbindungen im Mars-Gestein oder -Boden? Suchen Sie sogar nach solchen?

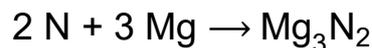
Antwort: *Jack Farmer am 6. August 1997*

Es gibt etwas Stickstoff in der Mars-Atmosphäre. Aber Stickstoff in der Mars-Kruste ist eine andere Geschichte. Viking fand keinen Stickstoff im Boden, obgleich einige Wissenschaftler vermuten, dass es als Nitrate irgendwo sein kann. Aber solche Verbindungen sind noch nicht auf dem Mars entdeckt worden. Ich bin nicht sicher, was Pathfinder finden kann, aber wir sind alle daran interessiert, die APXS-Analysen zu sehen, wenn sie einmal Stickstoff-Verbindungen während der Mission zeigen.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/Nitrogen_in_Mars_rocks_or_soil.txt;
12.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Stickstoff ist bei Raum-Temperatur ein farb-, geruch- und geschmackloses, nicht brennbares Gas. Gasförmiger Stickstoff ist leichter als Luft, flüssiger gleicht äußerlich dem Wasser, fester bildet farblose Kristalle. Atomarer Stickstoff „N“ ist sehr reaktionsfreudig und verbindet sich bereits bei Raum-Temperatur mit Metallen und Nichtmetallen [1].

Beispiel:



Auf der Erde steht Stickstoff an 11. Stelle der Element-Häufigkeit. Sein Massen-Anteil an den obersten Erd-Schichten beträgt 0,25%. In Form von N₂ ist Stickstoff der Haupt-Bestandteil (78,08 Vol.-%) der Luft. Stickstoff-Mineralien sind relativ selten, lediglich von Natriumnitrat NaNO₃ existieren größere Vorkommen („Chile-Salpeter“) [1]. Nitrate sind die Salze der Salpetersäure HNO₃, sind wasserlöslich und spalten beim Erhitzen O₂ ab [2].

Auf dem Mars konnte Stickstoff bisher nur als Bestandteil der Atmosphäre (N₂, 2,7%) nachgewiesen werden. Obwohl bei den früheren Viking-Missionen der Boden auf Stickstoff-Verbindungen untersucht wurde, konnten keine gefunden werden. Trotzdem vermuten Experten, dass Stickstoff in Form von Nitraten im Mars-Boden vorhanden ist [3].

Da Stickstoff auch ein wichtiger „Baustein des Lebens“ ist – Organismen enthalten diesen u. a. in Nucleinsäuren und Proteinen – spielt seine Anwesenheit auf dem Mars auch eine große Rolle für die Suche nach Leben auf dem Mars. Ohne Stickstoff ist eine Entwicklung von Leben nach allem was wir heute wissen nicht möglich.

Quellen:

1. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 157
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 159
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Nitrogen_in_Mars_rocks_or_soil.txt;
12.03.1998 (verschollen)

1.4 Oxidierende Substanzen auf dem Mars

Frage: Mein chemisches Wissen ist etwas eingerostet, aber ich habe mich gefragt, was das oxidierende Mittel in der Atmosphäre oder im Boden vom Mars ist, das den „rostigen“ roten Staub erzeugt. Ich weiß, dass CO₂, Kohlenstoffdioxid, extrem beständig ist und selbst kein gut oxidierendes Mittel darstellt, aber ich weiß auch, dass die Mars-Atmosphäre zwischen 90% und 99% aus Kohlenstoffdioxid besteht. Würde Leben vorhanden gewesen sein müssen, um den notwendigen Sauerstoff zu produzieren?

Antworten: *Mary Urquhart am 18. Juli 1997*

Sie haben Recht, das Kohlenstoffdioxid selbst beständig ist und nicht die Oberflächen-Materialien auf dem Mars oxidieren wird. Jedoch kann Kohlenstoffdioxid durch photochemische Reaktionen mit UV-Licht in Kohlenstoff und Sauerstoff aufgespalten werden. Außerdem kann Wasser eine Hauptrolle in der Anordnung des oxidierten Materials gespielt haben. Was genau für Prozesse wichtig für die Anordnung des oxidierten Oberflächen-Materials des Mars sind oder waren wissen wir noch nicht. Pathfinder liefert bereits einige Hinweise zur Mineralogie des Staubes, die und helfen werden, besser zu verstehen, wie er gebildet wurde.

Mary Urquhart, Laboratory for Atmospheric and Space Physics, University of Colorado at Boulder

Bruce Jakosky am 21. Juli 1997

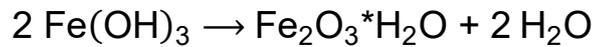
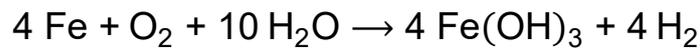
Es gab viele Diskussionen darüber, wie sich Oxide auf dem Mars bildeten, mit Vorschlägen vom Vorhandensein von Wasser bis zu chemischen Reaktionen, die durch UV-Licht von der Sonne verursacht werden. Eine dichte Sauerstoff-Atmosphäre wird jedoch nicht in Betracht gezogen. Sauerstoff ist vorhanden in CO₂, dem Haupt-Gas der Atmosphäre. Er kann gestellt mit dem Gestein zu reagieren entweder, wenn das CO₂ direkt mit Mineralien reagiert, oder wenn Sauerstoff vom CO₂ durch die Absorption des UV-Lichtes freigesetzt wird. Natürlich wird CO₂ ständig durch das Sonnen-Licht aufgespalten und es ist infolgedessen etwas Sauerstoff in der Atmosphäre vorhanden (dort gibt es auch CO, Kohlenstoffmonoxid, und andere Spaltungsprodukte). Schlussendlich verstehen wir die spezifischen Mechanismen nicht, die für das Oxidieren der Oberfläche verantwortlich sind, aber es gibt keinen Mangel an vorhandenem Sauerstoff, sogar ohne eine dichte, sauerstoffreiche Atmosphäre.

Jack Farmer am 22. Juli 1997

Das ist eine ausgezeichnete Frage. Aber natürlich könnte der Sauerstoff, der in Eisenoxiden gebunden ist, auch vom Aufspalten des Wassers in der oberen Atmosphäre früh in der Geschichte des Planeten gekommen sein. Wir haben einige unabhängige Hinweise, die dafür sprechen, dass es einmal viel flüssiges Wasser an der Oberfläche des Mars gab, und einen aktiven hydrologischen Kreislauf, der vermutlich verlorenes Wasser in die Atmosphäre brachte. Ein Teil der H₂O-Moleküle in der oberen Atmosphäre neigen dazu, in Wasserstoff und Sauerstoff durch Photolyse (einfach ausgedrückt, Moleküle werden durch die Sonnen-Energie aufgespalten), aufgespalten zu werden, gefolgt vom Verlust der viel leichteren Wasserstoff-Atome ins All. Die Sauerstoff-Moleküle, die durch diesen Prozess freigesetzt wurden, würden sich schnell mit dem reduzierten Eisen verbinden, das im Oberflächen-Gestein vorhanden ist und würden Eisenoxide bilden. So brauchen wir auf dem Mars keine Photosynthese zu fordern, um die Oxidation der Oberfläche zu erklären, weil lediglich die anorganischen Prozesse, die über lange Zeiträume funktionieren, auch die Arbeit erledigen. Wir müssen folglich andere Beweise für Mars-Biologie finden, besonders für Photosynthese.

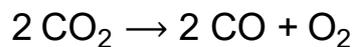
Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/oxidizing_agent_that_forms_Martian_rust.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Betrachtet man den Mars durch ein Teleskop, so erscheint der Planet im Vergleich zu anderen rot. Das liegt daran, dass die eisenhaltigen Mineralien auf dem Mars oxidiert wurden, d. h. verrostet sind. Rosten ist eine chemische Reaktion, genauer gesagt eine stille Oxidation, bei der folgende Reaktionen ablaufen:

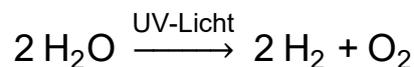


Damit Eisen rostet muss also Sauerstoff und Wasser vorhanden sein. Da die Atmosphäre des Mars hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Argon besteht, stellt sich natürlich die Frage, durch welche Substanz die eisenhaltigen Mineralien oxidiert werden.

Kohlenstoffdioxid selbst ist ein farbloses, unbrennbares, geruchloses Gas. [1] Und es ist vor allem ein ziemlich beständiges und reaktionsträges Gas [1], weshalb es die Oberflächen-Materialien auf dem Mars nicht oxidieren wird. Doch es kann durch photochemische Reaktionen mit UV-Licht in Kohlenstoffmonoxid und Sauerstoff gespalten werden.



Man nennt diesen Prozess **Photolyse** (Bezeichnung für die Spaltung einer chemischen Bindung nach Absorption von Licht-Energie). [2] CO_2 wird ständig durch das Sonnenlicht gespalten und infolgedessen ist immer etwas Sauerstoff in der Mars-Atmosphäre vorhanden. Die direkte Reaktion verschiedener Elemente mit dem freigesetzten Sauerstoff führt zur Bildung von Oxiden, im Fall des Mars vor allem zu Eisenoxiden. Aber nicht nur CO_2 kann durch UV-Licht gespalten werden, sondern auch Wasser.



Das könnte in der oberen Mars-Atmosphäre der Fall gewesen sein, vor allem, als noch reichlich flüssiges Wasser in der Früh-Geschichte des Mars auf der Oberfläche vorhanden war. Der dabei entstandene Wasserstoff verflüchtigte sich wahrscheinlich ins All.

Das End-Ergebnis ist, dass die spezifischen Mechanismen noch nicht vollständig geklärt sind, die für das Oxidieren der Oberfläche verantwortlich sind. Sicher ist nur, dass keine Photosynthese oder andere Prozesse des Lebens notwendig sind, um den Sauerstoff für eine Oxidation zur Verfügung zu stellen, sondern lediglich anorganische Prozesse, die über lange Zeiträume dazu beitragen. [3]

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2191
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 4, 10. Auflage, 1998, S. 3312
3. http://quesr.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/oxidizing_agent_that_forms_Martian_rust.txt; 13.03.1998 (verschollen)

1.5 Altersbestimmung des Mars-Bodens

Frage: Wird die Carbon-Datierung verwendet, um das Alter des Bodens auf dem Mars festzustellen, oder wird irgendeine andere Methode verwendet?

Antwort: *Jack Farmer am 20. November 1996*

Um junge Materialien im Boden zu datieren, benutzen wir normalerweise die Isotope des Kohlenstoffs, speziell das radioaktive Isotop C^{14} . es hat eine Halbwertszeit (die Zeit, die es braucht, damit die Hälfte von der C^{14} -Probe zerfällt) von ungefähr 5.000 Jahren. Wir können nun kleine Mengen an C^{14} in den Proben messen, um ungefähr 60.000 Jahre zurückzugehen. Für wirklich alte Materialien benutzen wir andere Isotope, die viel längere Halbwertszeiten haben.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/determining_age_of_mars_soil.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Um das Alter von Gesteinen oder anderen Materialien zu bestimmen, verwendet man Isotope bestimmter Elemente. Isotop ist die Bezeichnung für die Nuklide eines chemischen Elements. Isotope sind Nuklide gleicher Kernladungs- und Ordnungszahl (Protonenzahl), aber unterschiedlicher Anzahl der im Kern enthaltenen Neutronen und damit unterschiedlicher Massenzahl (Nukleonenzahl) [1]. Vom Stickstoff zum Beispiel gibt es zwei stabile Isotope: N^{14} (also 14 Nukleonen) und N^{15} (15 Nukleonen). Daneben gibt es vom Stickstoff allerdings auch noch sechs instabile Isotope, d. h. sie zerfallen nach einer bestimmten Zeit. Gemessen wird dabei die so genannte Halbwertszeit, also die Zeitspanne, in der die Hälfte eines Ausgangsmaterials zerfallen bzw. umgewandelt ist [2]. Im Falle der instabilen Stickstoff-Isotope liegt sie zwischen 11 ms (N^{12}) und 9,96 min (N^{13}). Aus den Halbwertszeiten der in extraterrestrischem Material nachgewiesenen Elemente lassen sich gegebenenfalls Rückschlüsse auf das Alter des Sonnen-Systems bzw. der Sterne ziehen [2].

Da die Isotope eines Elements die gleiche Anzahl an Protonen im Kern aufweisen, haben sie auch die gleiche Anzahl an Elektronen in der Hülle. Sie verhalten sich somit chemisch gleichartig. Viele Radioisotope (Bezeichnung für die radioaktiven Isotope eines best. Elements) [3] lassen sich anhand ihrer charakteristischen Strahlung leicht nachweisen. Sie werden deshalb in vielfältiger Weise benutzt, um das Verhalten der reinen Elemente oder deren Verbindungen in der belebten und unbelebten Natur zu erforschen [1].

Die Isotope des Kohlenstoffs werden normalerweise nur benutzt, um junge Materialien im Boden zu datieren. Mit C^{14} -Atomen markierte Verbindungen finden Verwendung als Radio-Indikatoren. In einer Altersbestimmungsmethode spielt das Mengenverhältnis $C^{14}:C^{12}$ in organischen Resten eine Rolle [4]. Man nennt diese Altersbestimmungsmethode Radiocarbon-Methode oder C^{14} -Datierung. Dies ist die Bezeichnung für eine von LIBBY seit 1947 entwickelten physikalischen Methode, die eine Altersbestimmung von ehemals belebten Materialien (z. B. Holz, Knochen, Zähne, Torf) oder von Carbonaten (z. B. Muschelschalen) enthaltenden Gegenstände mit einem verhältnismäßig hohen Genauigkeitsgrad ermöglicht. Die C^{14} -Datierung beruht darauf, dass durch die Primär-Teilchen der kosmischen Strahlung in der Atmosphäre Neutronen gebildet werden, die aus dem Stickstoff der Luft nach $N^{14}(n, p) C^{14}$ radioaktiven Kohlenstoff bilden, der mit einer Halbwertszeit von 5.730 Jahren unter Aussendung von β -Strahlen geringer Energie wieder im N^{14} übergeht. Die frisch gebildeten C^{14} -Atome werden in der Atmosphäre rasch zu Kohlenstoffdioxid oxidiert, das sich gleichmäßig mit dem atmosphärischen CO_2 vermischt und zusammen mit diesem in den Kohlenstoff-Kreislauf eingeht.

Nach dem Tod hört der Stoffwechsel jedoch auf, und da von einem toten Organismus somit kein radioaktives C^{14} mehr aufgenommen werden kann, zerfällt der zum Zeitpunkt des Todes vorhandene C^{14} -Anteil. Bei etwa 17.150 Jahre alten Leichen ist der Gehalt an radioaktivem Kohlenstoff auf 1/8 des zu Lebzeiten vorhandenen Betrages abgesunken. Die C^{14} -Datierung ermöglicht plausible Altersbestimmungen für Zeiträume von 1.000 bis

40.000 Jahren; eine Ausdehnung bis zu 100.000 Jahren erscheint möglich, denn neuerdings bestimmt man das C^{14}/C^{12} -Verhältnis direkt durch Massen-Spektroskopie [3]. Da die radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit durch äußere Bedingungen wie Druck und Temperatur nicht beeinflussbar ist und auch davon unabhängig ist, in welcher chemischen Verbindung ein radioaktives Nuklid vorliegt, kann der radioaktive Zerfall als geologische Uhr verwendet werden.

Für Altersbestimmungen, die den Mars betreffen ist, es auf jeden Fall sinnvoller andere Isotope zu benutzen, die viel längere Halbwertszeiten haben, da sein Alter auf ca. 4 Milliarden Jahre (Entstehung des Sonnen-Systems) geschätzt wird.

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2015
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 1667
3. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 5, 9. Auflage, 1992, S. 3769
4. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 562

1.6 Gold, Silber und Eisen auf dem Mars

Frage: Glauben Sie, dass wir Gold, Silber oder Eisen auf dem Mars finden könnten?

Antwort: *Jeff Plescia am 5. Mai 1997*

Eisen würde sehr einfach auf dem Mars zu finden sein; bei Gold und Silber dürfte es schwieriger sein. Gold und Silber werden normalerweise in komplexen Systemen produziert, die zirkulierendes Wasser im Boden und vulkanische Prozesse mit einbeziehen. Normalerweise sind diese beteiligten Vulkane des Granit-Typ. Das Gold und das Silber bewegen sich in Adern mit sehr heißem, stark mineralhaltigem Wasser. Auf dem Mars gibt es Vulkane und Wasser, aber die Vulkane scheinen nicht vom Granit-Typ zu sein und es ist unklar, wie lange die Zirkulation von Wasser um die Vulkane aufgetreten sein könnte. Viele Untersuchungen müssten noch erfolgen, um festzustellen, ob es Gold oder Silber gibt. Eisen tritt überall auf dem Mars auf. Eisen ist der Grund, warum der Planet rot erscheint, das gesamte Eisen ist „verrostet“ (oxidiert). Der Boden müsste ganz einfach abgetragen werden, um das Eisen wieder zu gewinnen. Eisen dürfte auch in größeren Lagerstätten auftreten, aber man kennt bisher noch keine.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Gold_Iron_Silver_on_Mars_.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Eisen tritt überall auf dem Mars auf. Das ist auch der Grund, warum der Planet rot ist; das Eisen ist oxidiert und durch Reduktion des Eisenoxids im Boden mit Wasserstoff bei niedriger Temperatur würde man Eisen als chemisch reines Pulver erhalten. Auch der Kern des Mars (Durchmesser 1.300 – 2.000 km) besteht entweder aus reinem Eisen oder einer Eisen-Schwefel-Verbindung.

Eisen selbst ist wahrscheinlich das häufigste Element unseres Erd-Balls und das Isotop ^{56}Fe die verbreitetste Atom-Sorte der Erde. Während die obersten 16 km der festen Erd-Kruste nachweisbar nur zu 5% aus Fe bestehen, wird der Eisen-Anteil beim ganzen Erd-Ball (infolge des eisenreichen Kerns) auf 37% geschätzt. Dass Eisen auch beim Aufbau der übrigen Himmelskörper in starkem Maße beteiligt ist, geht aus den Meteoriten hervor, von denen etwa die Hälfte vorwiegend aus Eisen (rund 90% Fe, 8 - 9% Ni, 0,5% Co, Spuren von Cu, Cr, C, S, P usw.) bestehen. Da Eisen zu den unedlen Metallen gehört, kommt es in der Natur fast nie gediegen, sondern überwiegend in Verbindungen vor, und zwar handelt es sich dabei meist um wasserhaltige oder -freie Oxide [1].

Silber und Gold dagegen sind Edelmetalle und gehören zu den seltenen Elementen. Silber ist ein weißglänzendes Metall, ist weich, sehr dehnbar und hat die höchste thermische und elektrische Leitfähigkeit aller Metalle. Gold ist „goldgelb“ und ist das dehnbarste und geschmeidigste Metall [2].

Silber und Gold würden auf dem Mars wohl nur schwierig zu finden sein, da ihre Lagerstätten normalerweise in komplexen Systemen entstehen, die zirkulierendes Wasser im Boden und vulkanische Einflüsse benötigen. Für gewöhnlich sind diese Vulkane granitartig und lassen die Metalle in Adern fließen. Auf dem Mars gab es zwar Vulkane und Wasser, aber die Vulkane scheinen nicht granitartig zu sein und es ist nicht sicher, wie lange eine Zirkulation des Wassers um diese stattgefunden hat. Deshalb müssen noch viele Untersuchungen erfolgen, um die Frage, ob nun Silber und Gold auf dem Mars zu finden sind, zu beantworten [3].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 2, 10. Auflage, 1997, S. 1090
2. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 716
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Gold_Iron_or_Silver_on_Mars_.txt; 13.03.1998 (verschollen)

1.7 Flüssigkeitsbedingungen von Kohlenstoffdioxid

Frage: Unter welchen Bedingungen kann CO₂ als Flüssigkeit auftreten?

Antwort: Bruce Jakosky am 6. Januar 1998

CO₂ kann eine Flüssigkeit sein, wenn es mit genügend hohem Druck komprimiert wird. Der Tripelpunkt von CO₂, an welchem die feste, flüssige und die Gas-Phase zusammen koexistieren, tritt bei einer Temperatur von ungefähr 220 K und einem Druck von etwa 5 bar ein. Drücke dieser Höhe treten nicht auf der Mars-Oberfläche auf, aber sie würden in einer Tiefe von nur wenigen Kilometern vorkommen. So z. B. wenn die polaren Eisschutzkappen CO₂ in ihrer gesamten Tiefe enthielten, könnte das CO₂ in einer Tiefe von wenigen Kilometern verflüssigt sein. Oder wenn es eine dicke CO₂-Treibhaus-Atmosphäre in der früheren Mars-Geschichte gab, dann könnte es flüssiges CO₂ bei einem Druck von ungefähr 5 bar gegeben haben.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Conditions_CO2_is_a_liquid.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die Mars-Atmosphäre enthält bei ca. 6,3 hPa Gasdruck 95,3% Kohlenstoffdioxid. Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses, unbrennbares und geruchloses Gas der Dichte 1,977 g/L (0°C) und ist damit anderthalbmal dichter als Luft. Sein Schmelzpunkt liegt bei -57°C (518,5 kPa) und sein Sublimationspunkt bei -78,5°C. Bei 20°C kann man Kohlenstoffdioxid schon durch einen Druck von 5,54 MPa zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit der Dichte 0,766 g/cm³ (!) verflüssigen. Es hat die kritische Temperatur 31,06°C, den kritischen Druck 7,383 MPa und die kritische Dichte 0,464 [1].

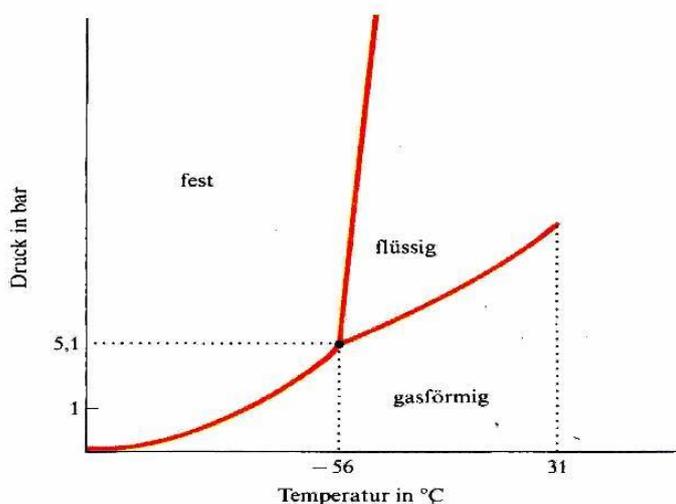


Abb. 1: Zustandsdiagramm von CO₂ [2]

Der Tripelpunkt befindet sich bei ca. 220 K und 5 bar. Solche Drücke würden auf dem Mars in wenigen Kilometern Tiefe auftreten.

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2191
2. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 168.

1.8 Luft auf dem Mars

Frage: Auf der Erde nennen wir eine bestimmte Mischung von Gasen „Luft“. Ist die gleiche Bezeichnung für den Mars angebracht? Gibt es eine passendere Bezeichnung dafür?

Antwort: *Bob Haberle am 10. September 1997*

Nach dem Webster's Dictionary ist Luft definiert als „die unsichtbare Mischung von Gasen, welche die Erde umgeben“. So kann streng genommen die Mars-Atmosphäre nicht „Luft“ genannt werden. Soviel ich weiß, gibt es kein Äquivalent zur Bezeichnung „Luft“ für den Mars. Schauen Sie doch nach, ob Sie nicht herausfinden können, wie die Bezeichnung „Luft“ entstand! Dann sollte es uns möglich sein, eine entsprechende Bezeichnung für den Mars abzuleiten.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Air_on_Mars.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Genaugenommen bezeichnet der Begriff „Luft“ allein das die Erde umhüllende Gas-Gemisch, das aufgrund seiner Zusammensetzung nicht nur das Leben auf der Erde ermöglicht, sondern das auch wegen seines Gehalts an technisch wichtigen Gasen eine bedeutende Rohstoff-Quelle darstellt [1].

Chemisch von Bedeutung ist, dass Luft eine Dichte von 1,2928 g/L (0°C, 101,3 kPa) besitzt und keinen Schmelz- und Siedepunkt hat, da es sich um ein Gemisch und nicht um ein Element (Reinstoff) handelt.

Stoff	Vol.-%
Stickstoff	78,08
Sauerstoff	20,95
Argon	0,934
Kohlenstoffdioxid	0,035
Neon	0,0018
Helium	0,0005
Methan	0,00017
Krypton	0,0001
Wasserstoff	0,00005
Distickstoffmonoxid	0,00003
Kohlenstoffmonoxid	0,00002
Xenon	0,000009
Ozon*	0,000001

Tab. 3: Natürliche Zusammensetzung trockener Luft [1]
*starke zeitliche Fluktuation

Da also „Luft“ nur die unsichtbare Mischung von Gasen, welche die Erde umgeben [2] bezeichnet, kann streng genommen die Mars-Atmosphäre nicht so genannt werden, weil sich diese aus anderen Komponenten zusammensetzt.

Stoff	Vol.- %
Kohlenstoffdioxid	95,32
Stickstoff	2,7
Argon	1,6

Sauerstoff	0,13
Kohlenstoffmonoxid	0,07
Neon	0,00025
Krypton	0,00003
Xenon	0,000008
Ozon	0,000003

Tab. 4: Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre [2]

Deshalb sollte man in gegebenem Zusammenhang besser den Begriff Mars-Atmosphäre verwenden und nicht Luft.

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S.2453
2. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Composition_of_mars_atmosphere.txt; 13.03.1998 (verschollen)

1.9 Kohlenstoffdioxid im Boden

Frage: Warum gibt es Kohlenstoffdioxid unterirdisch und im Gestein des Mars?

Antwort: Bruce Jakosky am 16. April 1997

Wir wissen, dass es Kohlenstoffdioxid (CO₂) in der Mars-Atmosphäre gibt; wir können seine Anwesenheit über Teleskope von der Erde aus und über Messgeräte in Raumfahrzeugen feststellen. Eine der Haupt-Fragen, die den Mars betreffen, ist, wieviel CO₂ könnte auf dem Mars außer in seiner Atmosphäre vorhanden sein?

CO₂-Gas kann von der Atmosphäre in den Boden diffundieren und sich durch Spalten oder Sprünge im Felsen und im Boden bewegen. Wenn es zusätzlich irgendwie flüssiges Wasser auf dem Mars gibt, kann sich das CO₂ im Wasser lösen und auf diese Weise unterirdisch transportiert werden. (CO₂ kann auch in den polaren Regionen als Trockeneis gefroren vorhanden sein).

Sobald CO₂ unter der Oberfläche vorhanden ist, kann es sich an Boden-Krümel anlagern oder es kann Carbonate bilden, indem es chemisch auf den Boden einwirkt. Weil CO₂ in den Boden diffundieren kann, gehen wir davon aus, dass solche Reaktionen stattfinden. Auch in den Meteoriten, die vom Mars stammen, finden wir Carbonate. Diese Mineralien scheinen vom flüssigen Wasser abgelagert worden zu sein, dass die Gesteins-Schichten durchfloss; ähnliche Prozesse sind auf der Erde sehr verbreitet.

Was wir nicht wissen, ist, wieviel CO₂ in Form von Carbonaten unter der Mars-Oberfläche vorhanden ist. Wir glauben, dass der Mars einmal eine dichte Atmosphäre hatte, weil wir geologische Erscheinungen sehen, die durch das flüssige Wasser gebildet wurden, das über die Oberfläche geflossen sein muss; weil die Temperaturen auf dem Mars unter dem Gefrierpunkt von Wasser liegen, würde trotzdem etwas wie eine Treibhaus-Atmosphäre erforderlich sein, um die Temperatur weit genug ansteigen zu lassen, damit flüssiges Wasser existieren kann. Der Trick wäre eine dichte CO₂-Treibhaus-Atmosphäre, die genügend Hitze einschließen würde, um die Temperaturen anzuheben. Die Frage ist dann, wo dieses CO₂ geblieben ist. Die beiden wahrscheinlichsten Orte, wo das CO₂ geblieben sein mag, sind

- verloren im All
- eingelagert in die Erd-Kruste als Carbonat

Wenn wir wüssten, wieviel CO₂ heute in der Kruste ist, dann können wir die Geschichte des Mars-Klimas besser verstehen.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/carbon_dioxide_under-ground.txt; 14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die Mars-Atmosphäre besteht überwiegend aus Kohlenstoffdioxid (> 95%). Das ist ein farbloses, unbrennbares und geruchloses Gas der Dichte 1,977 g/L (0°C) und ist damit anderthalbmal dichter als Luft. Sein Schmelzpunkt liegt bei -57°C (518,5 kPa) und sein Sublimationspunkt bei -78,5°C. Bei 20°C kann man Kohlenstoffdioxid schon durch einen Druck von 5,54 MPa zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit der Dichte 0,766 g/cm³ verflüssigen. Es hat die kritische Temperatur 31,06°C, den kritischen Druck 7,383 MPa und die kritische Dichte 0,464 g/cm³ [1].

Man geht außerdem davon aus, dass sich weiteres CO₂ an den polaren Regionen als Trockeneis ablagert (es kondensiert) und durch Spalten und Sprünge in den Boden diffundiert (Konzentrationsdiffusion; Durchmischung verschiedener in Berührung befindlicher Stoffe durch Konzentrationsunterschiede) [2]. Ist das CO₂ erst einmal in den Boden gelangt, kann es mit den Boden-Partikeln zu Carbonaten reagieren. Solche Carbonate fand man auch in den vom Mars stammenden Meteoriten [3].

Aufgrund der geologischen Oberflächen-Formationen geht man davon aus, dass es in der Vergangenheit des Mars flüssiges Wasser gab. Heute liegen die Temperaturen (-76°C bis -10°C) weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser (0°C). Es wäre also so etwas wie eine Treibhaus-Atmosphäre notwendig, um die Temperaturen so weit ansteigen zu lassen, dass flüssiges Wasser an der Oberfläche stabil wäre [3].

Der Treibhaus-Effekt wird durch das Vorhandensein einer Atmosphäre verursacht. Der größte Teil der infraroten Strahlung aus dem All wird von Spuren-Gasen der Atmosphäre absorbiert, als Wärme-Energie in der Atmosphäre gespeichert und von dort zum Teil an die Oberfläche des Planeten zurückgestrahlt. Es kommt zu einem „Wärmestau“ und dadurch zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur der Planeten-Oberfläche. Die wichtigsten Spuren-Gase sind H₂O-Dampf, CO₂, N₂O, CH₄ und troposphärisches O₃. Die Wirkung der Treibhaus-Gase beruht darauf, dass sie sichtbares Licht nicht absorbieren, aber für IR-Strahlung starke Absorptionsbanden existieren. Das wichtigste klimarelevante Spurengas ist CO₂ [4].

Wenn dies in der Vergangenheit der Fall war, bleibt natürlich die Frage, wo das ganze CO₂ geblieben ist. Wahrscheinlich ist ein Teil in den Weltraum verlorengegangen und ein anderer Teil befindet sich gebunden in Form von Carbonaten in der Mars-Kruste [3].

Um genaueres über die Geschichte des Mars-Klimas zu erfahren müssen weitere Missionen zum Mars abgewartet werden.

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2191
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 2, 10. Auflage, 1997, S. 969
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/carbon_dioxide_underground.txt;
14.03.1998 (verschollen)
4. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 617

1.10 Siedepunkt des Wassers

Frage: Wie hoch ist der Siedepunkt des Wassers auf dem Mars beim vorherrschenden Druck?

Antwort: Bob Haberle am 28. Oktober 1997

Der durchschnittliche Gasdruck auf der Mars-Oberfläche beträgt 6 – 7 mbar, was sehr nah am Tripel-Punkt liegt. Somit würde das Sieden ungefähr bei 0° Celsius beginnen (32 F). Jedoch ist der Dampfdruck von Wasser so niedrig, dass flüssiges Wasser in der Mars-Atmosphäre nicht existieren kann.

Roberts M. Haberle, Abteilung Space Science

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Boiling_water_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Wasser ist eine sehr stabile chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff: Wasserstoffoxid H_2O .

Es hat eine relative Molekül-Masse von 18,01, seine Dichte liegt bei $1,0 \text{ g/cm}^3$ (bei $3,98^\circ\text{C}$). Der Gefrierpunkt beträgt $273,15 \text{ K}$ (0°C), der Siedepunkt $373,15 \text{ K}$ (100°C) [1].

Elemente und Verbindungen können in den drei Aggregat-Zuständen fest, flüssig und gasförmig auftreten. Zum Beispiel kommt die Verbindung H_2O als festes Eis, als flüssiges Wasser und als Wasserdampf vor. In welchem Aggregat-Zustand ein Stoff auftritt, hängt vom Druck und von der Temperatur ab. Der Zusammenhang zwischen Aggregat-Zustand, Druck und Temperatur eines Stoffes lassen sich anschaulich in einem Zustandsdiagramm darstellen [2].

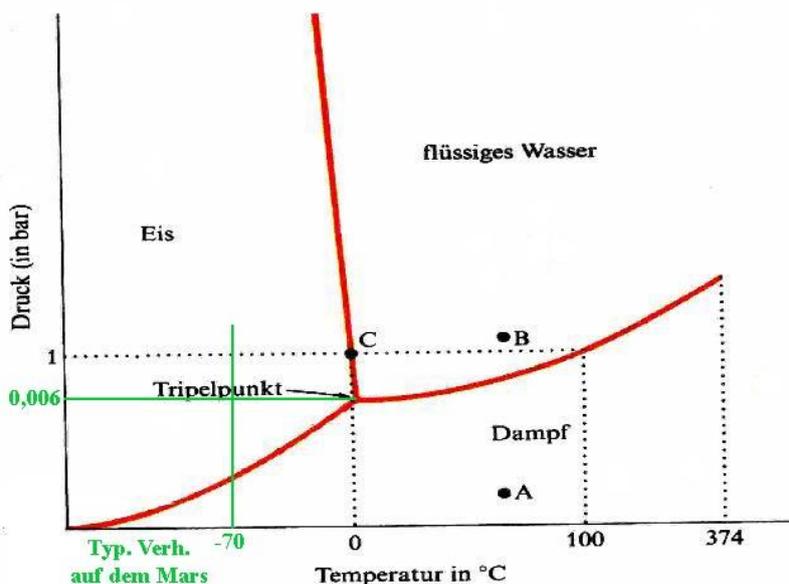


Abb. 2: Zustandsdiagramm von Wasser [3]

Treten aus einer Flüssigkeit Moleküle von der Oberfläche in den Gas-Raum über, nennt man diesen Vorgang Verdampfung. Befindet sich die Flüssigkeit in einem abgeschlossenen Gefäß, dann üben die verdampften Teilchen im Gas-Raum einen Druck aus, den man Dampfdruck nennt [4]. Er ist allein von der Temperatur abhängig und steigt mit dieser an. Den Zusammenhang zwischen Temperatur und Sättigungsdampfdruck (Dampfdruck im Gleichgewichtszustand) gibt die Dampfdruck-Kurve an. Für eine bestimmte Temperatur gibt es nur einen Druck, bei dem die flüssige Phase und die Gas-Phase nebeneinander beständig sind. Ist der Dampfdruck kleiner als der Sättigungsdampfdruck, liegt kein Gleichgewicht vor, die Flüssigkeit verdampft. Erhitzt man eine Flüssigkeit an der Luft, und der Dampfdruck erreicht die Höhe des Luftdrucks, beginnt die Flüssigkeit zu sieden. Die Temperatur, bei der der Dampfdruck einer Flüssigkeit (auf der Erde) gleich

1,013 bar= 1 atm beträgt, ist der Siedepunkt der Flüssigkeit. Wird der Luft-Druck verringert, sinkt die Siedetemperatur [4].

Da der durchschnittliche Mars-Oberflächendruck ungefähr 6 – 7 mbar beträgt, befindet er sich damit sehr nah am Tripelpunkt von H₂O (6,1 mbar). Wasser würde somit schon bei ca. 0°C zu sieden beginnen. Sein Dampfdruck ist jedoch so niedrig (siehe Zustandsdiagramm), dass flüssiges Wasser in der Mars-Atmosphäre nicht beständig ist, sondern sofort in den gasförmigen Zustand übergeht [5].

Quellen:

1. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 67
2. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 248
3. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 166
4. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 250
5. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Boiling_water_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

1.11 Neue Elemente auf dem Mars

Frage: Gilt das PSE auch auf dem Mars? Oder vielmehr, ist die Zahl der enthaltenen Elemente in Wirklichkeit unvollständig? Oder besser gesagt, gibt es neue Elemente auf dem Mars, die wir bis jetzt nicht entdeckt haben, weil wir auf der Erde sind?

Antworten:

Smart Filter am 5. August 1997:

Das PSE ist ein allgemeines System. Es gilt für alle Orte im Universum. Die meisten Elemente im PSE bis Plutonium kommen auf der Erde vor (einzige Ausnahme: Neptunium). Die Elemente nach Plutonium gibt es auch auf der Erde nicht. Einige davon, bis hin zum Element 103 Lawrencium, wurden künstlich hergestellt, entweder im Labor oder bei einer Kern-Spaltung.

Die Elemente, die nicht auf der Erde vorkommen, findet man wahrscheinlich auch nicht auf dem Mars. Die meisten davon zerfallen in zwei oder mehrere andere Elemente. Ihre Halbwertszeiten sind zu kurz, als dass sie irgendwelche Spuren auf einem Planeten hinterlassen würden. Das bedeutet nicht, dass diese Elemente nicht im Universum existieren könnten. Sie würden für sehr kurze Zeit, z. B. nach der Explosion eines Sterns, in einer Supernova durchaus vorkommen können. Während solchen Explosionen herrschen Bedingungen, unter welchen viele Elemente synthetisiert werden könnten, sogar einige Elemente, die auf der Erde nicht einmal während einer Kern-Spaltung oder in einem Teilchen-Beschleuniger entstehen können.

Eine sehr gute Internet-Seite über das Periodensystem der Elemente findet man unter <http://users.boone.net/yinon/default.html>; (verschollen)

Antwort von Bruce Jakosky am 1. Dezember 1997:

Der Mars ist aus denselben Elementen zusammengesetzt wie die Erde (und wie alles andere im Universum), und die Oberfläche besteht aus den gleichen Mineralien. Es könnte möglich sein, Orte auf dem Mars zu finden, die einige Elemente in größeren Mengen aufweisen, als man sie auf der Erde findet, aber die Kosten, sie zur Erde zu transportieren, würden sehr hoch sein.

Der Grund, warum wir zum Mars fliegen, hat mehr mit unserem Bestreben zu tun, die Welt um uns herum zu erforschen, die anderen Planeten in unserem Sonnen-System und die anderen Welten in unserer Galaxis zu verstehen und um anderswo nach Leben zu suchen. Es ist die Information, die wir gewinnen, die die größere Bedeutung hat.

Quelle: http://quesrt.arc.nasa.gov/mars/ask/misc/New_elements_on_Mars.txt;
14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Das Periodensystem der Elemente (PSE) ist ein allgemeines System und gilt für alle Orte des Universums. Es handelt sich dabei um eine für Chemiker hilfreiche Tabelle, in der die Symbole der chemischen Elemente in der Reihenfolge der Ordnungszahlen (Kernladungszahlen) zeilenweise, d. h. „periodisch“ angeschrieben sind.

	Hauptgruppen		Nebengruppen										Hauptgruppen					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb			Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa
	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶
1 1s	H																	He
2 2s 2p	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3 3s 3p	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4 4s 3d 4p	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5 5s 4d 5p	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6 6s 4f 5d 6p	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7 7s 5f 6d	Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une									
Lanthanoide (14-Elemente)			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actinoide (15-Elemente)			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Abb. 3: Das Periodensystem der Elemente [2]

Die nahezu endgültige, auch heute im wesentlichen anerkannte Ausgestaltung erhielt das System der Elemente im Jahre 1869 durch Meyer und Mendelejew [1].

Die periodische Wiederholung analoger Elektronen-Konfigurationen führt zum periodischen Auftreten ähnlicher Elemente. Sie ist die Grundlage für eine Systematik der Elemente im PSE. Die untereinanderstehenden Elemente werden Gruppen genannt. In einer Gruppe stehen Elemente mit ähnlichen chemischen Eigenschaften.

Die Gruppen Ia - VIIIa (neu: 1 - 2 und 13 - 18) werden **Hauptgruppen** genannt. Die Atome der Elemente einer Hauptgruppe haben auf der äußersten Schale dieselbe Elektronen-Konfiguration. Die Gruppennummer der Hauptgruppen-Elemente gibt die Anzahl ihrer Valenz-Elektronen (Elektronen der äußersten Schale) an. Die chemische Ähnlichkeit der Elemente einer Gruppe ist eine Folge ihrer identischen Valenzelektronen-Konfiguration.

Einige Hauptgruppen haben Gruppennamen:

- Ia (1) Alkalimetalle
- IIa (2) Erdalkalimetalle
- VIa (16) Chalkogene (Erzbinder)
- VIIa (17) Halogene (Salzbildner)
- VIIIa (18) Edelgase

Die Gruppen Ib - VIIIb (neu: 3 - 12) werden **Nebengruppen** genannt. Sie werden auch als Übergangselemente bezeichnet. Die Reihenfolge der (alten) Nebengruppen-Nummern bringt zum Ausdruck, dass zwischen den Hauptgruppen-Elementen und den Nebengruppen-Elementen gleicher Gruppennummer formale Analogien (z. B. maximale Oxidationszahl) vorhanden sind. Chemische Ähnlichkeiten sind am ehesten bei den Gruppen II - IV zu beobachten (z. B. bei den Element-Paaren Zn/Mg, Sc/Al, Ti/Si).

Die im PSE nebeneinanderstehenden Elemente bilden die Perioden. Die Anzahl der Elemente der ersten sechs Perioden beträgt 2, 8, 8, 18, 18, 32. Sie ist nicht identisch mit der maximalen Aufnahmefähigkeit der Schalen, die ja $2n^2$ beträgt.

Die auf das Lanthan folgenden 14 Elemente bezeichnet man als **Lanthanoide**. Sie zeigen untereinander eine große chemische Ähnlichkeit. Die 14 Elemente, die dem Actinium folgen, die **Actinoide**, sind radioaktiv, überwiegend künstlich hergestellte Elemente.

Links im Periodensystem stehen **Metalle**, rechts **Nichtmetalle**. Der metallische Charakter wächst innerhalb einer Hauptgruppe mit wachsender Ordnungszahl. Die typischsten Metalle stehen daher im PSE links unten (Rb, Cs, Ba), die typischsten Nichtmetalle rechts oben (F, O, Cl). Alle Nebengruppen-Elemente, die Lanthanoide und Actinoide sind Metalle [2].

Die meisten Elemente des PSE bis Plutonium kommen auf der Erde vor (Ausnahmen: Neptunium Np und Technetium Tc). Die Elemente nach Plutonium wurden nicht gefunden, sondern bis hin zum Element 109 Meitnerium vom Menschen im Labor oder bei einer Kern-Spaltung hergestellt [3].

Neptunium (Np) ist ein radioaktives Element der Actinoiden-Reihe mit der Ordnungszahl 93. Reines Np-Metall ist silberweiß, duktil und sehr reaktionsfähig. Sein Schmelzpunkt liegt bei 637°C, sein Siedepunkt bei ca. 3.900°C. Es fällt zu etwa 1% in Plutonium an, das aus Uran in Kern-Reaktoren gebildet wird, und lässt sich aus abgebrannten Kernbrennstoffen durch extraktive Trennung nach einem modifiziertem Purex-Verfahren gewinnen [4].

Auch Americium (Am) ist ein radioaktives Actinoiden-Element. Es hat die Ordnungszahl 95 und ist ein silberweißes, sehr geschmeidiges Metall von doppelt hexagonaler, dichtgepackter Struktur; es ist sehr reaktionsfähig. Es wird durch sukzessiven Neutronen-Einfang im Kern-Reaktor gebildet, lässt sich aber auch gut durch Reduktion von AmO₂ mit Lanthan oder Thorium herstellen [5].

Curium (Cm) wurde 1944 als drittes Transuran noch vor dem Am synthetisiert und besitzt die Ordnungszahl 96. Es ist ein silberweißes Schwermetall und entsteht in kleinen Mengen als Nebenprodukt in Kern-Reaktionen [6].

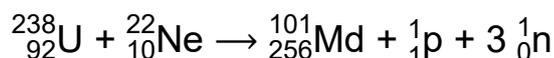
Berkelium (Bk) ist ebenfalls ein künstliches, sehr stark radioaktives Actinoiden-Element mit der Ordnungszahl 97 und wurde bisher nur im µg-Maßstab durch Reduktion von BkF₄ mit Lithium-Dampf erhalten. Es ist silberweiß und duktil [7].

Californium (Cf), auch ein künstliches radioaktives Actinoiden-Element, hat die Ordnungszahl 98 und konnte genau wie Bk nur in geringsten Mengen z. B. durch Reduktion des Oxids mit Lanthan und anschließender Verdampfung dargestellt werden [8].

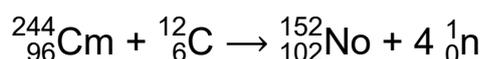
Das radioaktive Actinoiden-Element Einsteinium (Es) mit der Ordnungszahl 99 wurde bei sukzessiven Aufbau-Reaktionen durch Neutronen-Bestrahlung von Plutonium in Kern-Reaktionen und Auftrennung der Transcurium-Elemente durch Ionenaustausch-Chromatographie bisher in mg-Mengen hergestellt. Es lässt sich aber auch durch Bestrahlen von Uran mit Kohlenstoff-Kernen gewinnen [9].

Mit der Ordnungszahl 100 folgt als weiteres radioaktives Actinoiden-Element Fermium (Fm). Es entsteht bei der Bombardierung von Uran mit Sauerstoff-Kernen unter Aussendung von 4 Neutronen. Praktisch wurden aus Überresten unterirdischer Kern-Explosionen bisher Mengen von wenigen Pikogramm (pg) gewonnen [10].

Mendelevium (Md) mit der Ordnungszahl 101 ist bisher nur durch Aufbau-Reaktionen, z. B. Kern-Verschmelzung von Uran mit Neon in nur unwägbar winzigen Mengen darstellbar [11]:



Das zu Ehren Nobels benannte Actinoiden-Element Nobelium (No) - Ordnungszahl 102 - entspricht mit seinen chemischen Eigenschaften dem Calcium und Strontium. Es wird durch den Beschuss von Cm mit Kohlenstoff-Kernen dargestellt [12]:



Das letzte Actinoiden-Element Lawrencium (Lr) mit der Ordnungszahl 103 wird durch Bombardierung von Cf mit Bor im Linear-Beschleuniger hergestellt [13].

In den letzten Jahren sind noch einige Übergangsmetalle hinzugekommen:

- OZ 104: Rutherfordium Rf, 1964
- OZ 105: Hahnium Ha, oder Dubnium Db, 1967
- OZ 106: Seaborgium Sg, 1974
- OZ 107: Nielsbohrium Ns, oder Bohrium Bh, 1981
- OZ 108: Hassium Hs, 1984
- OZ 109: Meitnerium Mt, 1982
- OZ 110: ? Uun, 1994
- OZ 111: ? Uuu, 1994
- OZ 112: ? Uub, 1996
- OZ 114: ? Uuq, 1998
- OZ 116: ? Uuh, 1999
- OZ 118: ? Uuo, 1999

Die wenigen hergestellten Atome haben z. T. Halbwertszeiten im Milli- und Mikrosekundenbereich. Bezüglich der endgültigen Namen dieser Elemente konnten sich die Wissenschaftler teilweise noch nicht endgültig einigen [14].

Elemente, die nicht natürlich auf der Erde existieren, findet man wahrscheinlich auch nicht auf dem Mars, da er aus den gleichen Elementen zusammengesetzt ist wie die Erde und wie alle anderen Planeten im Universum (auf Sonnen bzw. Sternen herrschen völlig andere Bedingungen, so dass man sie gesondert betrachten muss). Die Mars-Oberfläche besteht auch den gleichen Mineralien und es existieren höchstens Unterschiede in der Häufigkeit der einzelnen Elemente [3].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 4, 10. Auflage, 1998, S. 3186ff.
2. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 58ff.
3. http://quesrt.arc.nasa.gov/mars/ask/misc/New_elements_on_Mars.txt; 14.03.1998 (Quelle verschollen, 09.02.2021)
4. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 4, 10. Auflage, 1998, S. 2868
5. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 151
6. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 228
7. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 408f.
8. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 585
9. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 2, 10. Auflage, 1997, S. 1087
10. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 2, 10. Auflage, 1997, S. 1307
11. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 4, 10. Auflage, 1998, S. 2586
12. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 229
13. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2363
14. <http://www.webelements.com/>, 03.12.1999

1.12 Die häufigsten Elemente

Frage: Findet man auf dem Mars die gleichen Elemente wie auf der Erde und wenn ja, was sind die 10 häufigsten Elemente der Mars-Kruste?

Antwort: *Ted Roush am 6. März 1997*

Die 10 häufigsten Elemente in der Mars-Kruste (und Atmosphäre), gemessen von Geräten aus Raumfahrzeugen und erhalten durch Analysen von Meteoriten, von denen man annimmt, dass sie vom Mars stammen (in der Reihenfolge der Häufigkeit) sind: O= Sauerstoff, Si= Silizium, Fe= Eisen, Mg= Magnesium, Ca= Calcium, S= Schwefel, Al= Aluminium, Na= Natrium K= Kalium, Cl= Chlor. Sie sehen also, dass dies die gleichen chemischen Elemente sind, die auf der Erde auch am häufigsten vorkommen.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/misc/Most_abundant_elements_on_Mars.txt; 14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information:

Durch Analysen der Erd- und der Mars-Kruste konnten die häufigsten Elemente der Planeten bestimmt werden.

Mars-Kruste	Erd-Kruste
Sauerstoff, O ₂	Sauerstoff, O ₂
Silizium, Si	Silizium, Si
Eisen, Fe	Aluminium, Al
Magnesium, Mg	Eisen, Fe
Calcium, Ca	Calcium, Ca
Schwefel, S	Natrium, Na
Aluminium, Al	Kalium, K
Natrium, Na	Magnesium, Mg
Kalium, K	
Chlor, Cl	

Tab. 5: Die häufigsten Elemente der Mars- und Erd-Kruste [1, 2]

Anhand der Tabelle kann man deutlich erkennen, dass es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Häufigkeiten der chemischen Elemente aus der Mars- und der Erd-Kruste gibt.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/misc/Most_abundant_elements_on_Mars.txt; 14.03.1998 (verschollen)
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 6, 10. Auflage, 1997, S. 1500

1.13 Calciumcarbonat und Gips

Frage: Enthalten die Steine auf dem Mars Calciumcarbonat oder Gips?

Antwort: *Jack Farmer am 13. Mai 1999:*

Elementar-Analysen des Bodens wurden bei der Landestelle der Viking-Sonde und zuletzt für Steine und Boden an der Landestelle von Pathfinder durchgeführt. Aber allein Daten über die elementare Zusammensetzung erlauben es nicht, Rückschlüsse bezüglich ihrer Anordnung in Mineralien zu ziehen. Trotzdem lässt das breite Vorkommen von Schwefel bei beiden Landestellen darauf schließen, dass Sulfate wie Gips vorhanden sein dürften. Der Hinweis auf Carbonate ist nicht so überzeugend, obwohl wir aus Untersuchungen einiger Mars-Meteoriten (z. B. Alan Hills (ALH84001) Meteorit, der in der Antarktis entdeckt wurde) wissen, dass Carbonate auch als Bruchfüllungen in einigen Gesteinsbrocken auftreten. - Jack Farmer

Quelle: owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 01.06.1999 (verschollen)

Hintergrund-Information: Sulfate sind Salze der Schwefelsäure (H_2SO_4). Calciumsulfat (Anhydrit, $CaSO_4$) bildet farblose bis graue, rhombische Kristalle und ist kaum wasserlöslich. In hydratisierter Form ist es auch auf der Erde weit verbreitet als Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), einem weißen, schlecht wasserlöslichen Pulver mit sehr formenreichen Kristallen. Typisch für Gips ist die Spaltbarkeit und die geringe Härte. Es kommt zusammen mit Halit (Steinsalz) in geschichteten Lagerstätten vor sowie in geringen Mengen in Gebieten mit vulkanischer Aktivität [1, 2, 3].

Dagegen ist der Beweis für Carbonate auf dem Mars nicht gerade überzeugend, da Carbonate auf dem Mars selbst zwar noch nicht gefunden wurden, aber einige Mars-Meteoriten, die man auf der Erde gefunden hat, in Rissen und Spalten Carbonate enthalten. Carbonat ist die Bezeichnung für Salze und Ester der Kohlensäure. Calciumcarbonat ($CaCO_3$) ist farblos durchscheinend und hat als Mineral eine reiche Formen-Vielfalt. Kalkstein, Marmor und Kreide bestehen aus feinen Calcit-Kristallen. $CaCO_3$ ist kaum wasserlöslich und ist als gesteinsbildendes Material auf der Erde weit verbreitet. Da $CaCO_3$ -Sedimentgesteine fast ausschließlich biochemisch entstanden (Überreste von Korallen, Muscheln, usw.) ist es jedoch fraglich, ob Calciumcarbonat auch auf dem Mars gefunden werden kann. [1, 4]

Quellen:

1. owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 01.06.1999
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 109
3. Harder, Lexikon für Mineralien- und Gesteinsfreunde, Bucher-Verlag, 1. Auflage, 1977, S. 69
4. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 107

1.14 Quecksilber-Thermometer auf dem Mars

Frage: Wo finden Sie Quecksilber, um es in Thermometer zu füllen?

Reagiert Quecksilber auf dem Mars anders als auf der Erde?

Antwort: *Smart Filter am 13. November 1997*

Nach dem „Handbook of Chemistry and Physics“ gefriert Quecksilber bei $-38,87^{\circ}\text{Celsius}$. Das bedeutet, dass es auf dem Mars nicht viel nützt, da die Temperaturen gewöhnlich unterhalb dieses Punktes sinken. Pathfinder misst Temperaturen auf dem Mars über dünne Drähte, Thermoelemente, die an einem meteorologischen Mast angebracht sind. Das heißt, Pathfinder benutzt ein elektronisches „Thermometer“ anstatt eines traditionellen Quecksilber- oder Spiritus-Thermometers.

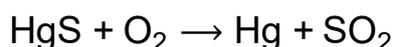
Ich nehme an, Ihre Frage, wo man das Quecksilber für Thermometer finden, bezieht sich darauf, wo das Quecksilber herkommt. Quecksilber ist ein natürlich vorkommendes Element. Es wird als Quecksilbersulfid (Zinnober) im Gestein gefunden.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/general-flights/Use_of_mercury_thermometers_on_Mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)

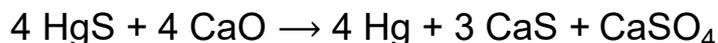
Hintergrund-Information: Quecksilber (Hg) ist ein Element der II. Nebengruppe und ist ein Metall. Es hat die Ordnungszahl 80 und ein Atom-Gewicht von 200,59. Hg ist das einzige bei Zimmer-Temperatur flüssige Metall; es zeigt einen lebhaften Silberglanz. Seine Dichte liegt bei $13,5956\text{ g/cm}^3$, sein Schmelzpunkt bei $-38,89^{\circ}\text{C}$ und sein Siedepunkt bei $356,6^{\circ}\text{C}$. Es zeichnet sich durch eine sehr gute elektrische und Wärme-Leitfähigkeit aus.

Hg gehört zu den seltenen Elementen der Erde; sein Anteil an der obersten, 16 km dicken Erd-Kruste wird auf $5 \cdot 10^{-5}\%$ geschätzt. Das bei weitem wichtigste Hg-Mineral ist der Zinnober (HgS); gelegentlich kommen auch kleine Hg-Tröpfchen „gediegen“ vor. Wichtige Hg-Lager befinden sich in devonischen Ablagerungen von Almadén (Südspanien), im Monte Amiata (erloschener Vulkan) der Provinz Siena und im alpinen Triasgestein von Idria (etwa 250 km nördlich von Triest). In Spuren ist Quecksilber jedoch in der Natur weit verbreitet.

Hergestellt wird Quecksilber durch Erhitzen von Quecksilbersulfid (Zinnober) im Luftstrom bei über 400°C :



oder auch vereinzelt mit Eisen-Feilspänen oder gebranntem Kalk [1]:



Bekannt ist Quecksilber vor allem durch seinen Einsatz in Thermometern, die durch Eichung einer Temperatur-Skala auf der Erde sehr gut funktionieren. Da Hg aber bei einer Temperatur von $-38,89^{\circ}\text{C}$ gefriert, sind Quecksilber-Thermometer auf dem Mars nicht zu verwenden.

Quelle:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 5, 9. Auflage, 1992, S. 3737ff.

1.15 Zustand des Wassers unter Mars-Bedingungen

Frage: Hat jemand daran gedacht, Wasser zum Mars zu senden und es in ein tiefliegendes Gebiet zu bringen, um zu sehen, was passiert?

Antwort: Bruce Jakosky am 3. Dezember 1998

Die grundlegende Physik des Wassers ist relativ gut bekannt. Seine Fähigkeit zu gefrieren und zu verdampfen (Übergang von Flüssigkeit zu Dampf) oder zu sublimieren (Übergang vom Feststoff direkt zu Dampf) ist Grundwissen der Physik und Chemie. Deshalb müssen die Experimente nicht auf dem Mars durchgeführt werden; sie können in Laboratorien auf der Erde oder an Orten wie den trockenen Tälern der Antarktis, wo ungefähr die Bedingungen des Mars herrschen, gemacht werden. Die wichtigere Frage ist tatsächlich zu verstehen, wo Wasser auf dem Mars in den verschiedenen Aggregat-Zuständen vorkommt - Dampf oder Feststoff in der Atmosphäre, Eis im Boden, adsorbiertes Wasser (eine Form von Wasser, die chemisch an die Boden-Körnchen gebunden ist, aber nicht so stark) im Boden, oder chemisch gebunden an Boden-Partikel sowie in hydratisierten Mineralien. Genauso wichtig wäre es zu wissen, wo Wasser als Flüssigkeit präsent sein könnte, etwa relativ nah an der Oberfläche oder verborgen in der Tiefe.

Quelle: owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 23.01.1999 (verschollen)

Hintergrund-Information: Wasser, H_2O , ist eine klare, geruch- und geschmacklose, farblose Flüssigkeit mit dem Schmelzpunkt $0^\circ C = 273,15 K$ und dem Siedepunkt $100^\circ C = 373,15 K$. Durch den Schmelzpunkt (Gefrier- oder Erstarrungspunkt) und den Siedepunkt des Wassers bei 1.013 mbar ist die Celsius-Temperaturskala festgelegt.

Beim Tripelpunkt des Wassers liegen flüssiges Wasser, Eis und Wasserdampf im non-varianten Gleichgewicht nebeneinander vor; als zugehörige Temperatur ist $273,16 K = 0,01^\circ C$ definiert worden [1].

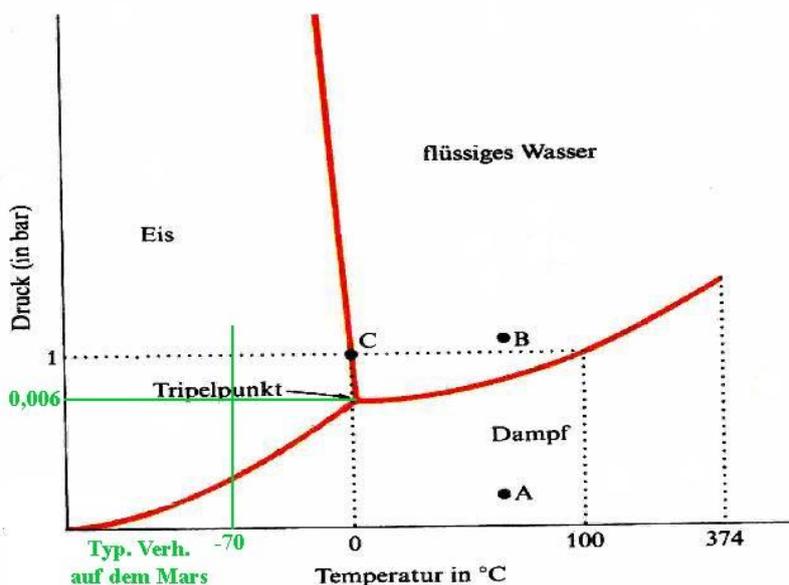


Abb. 4: Zustandsdiagramm des Wassers [2]

Zu den grundlegenden physikalischen Eigenschaften gehört die Fähigkeit des Wassers, zu gefrieren (Übergang zum Feststoff Eis bei $0^\circ C$), zu verdampfen (Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand Dampf bei $100^\circ C$) oder zu sublimieren (Übergang vom festen direkt in den gasförmigen Zustand).

Da der durchschnittliche Mars-Oberflächendruck ungefähr 6 – 7 mb beträgt, befindet er sich damit sehr nah am Tripelpunkt von Wasser (6,1 mb). Es würde somit schon bei ca. $0^\circ C$ zu sieden beginnen. Bei den herrschenden Temperatur-Bedingungen (min. -80° bis

max. -10°C) wäre Wasser also entweder fest oder gasförmig. Erst bei sehr hohen Drücken im Erdinneren (Tiefe einige km) wären Bedingungen für flüssiges Wasser vorstellbar [3].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 6, 10. Auflage, 1999, S. 4993f.
2. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 166
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Boiling_water_on_Mars.txt; 21.03.1998 (verschollen)

1.16 Die Strom-Versorgung (Batterien)

Frage: Meine Frage betrifft die Silber-Zink-Batterien, die auf dem Landemodul verwendet wurden. Warum macht man sich Sorgen bezüglich der aufgenommenen Ladung durch die Landemodulbatterien? Wenn ich richtig Bescheid weiß, sind Folgeladungen sehr zuverlässig, solange die Spannung nicht zu stark absinkt, wenn auch die Anfangsladung höher ist.

Antwort: *Ronald Banes*

Als erstes will ich das Problem der minimalen Spannung angehen. Um sicherzustellen, dass die Batterie nicht Schaden nimmt, sollte die Zell-Spannung nicht unterhalb von etwa 1,0 Volt fallen. Dabei stellt der Abgleich der Zellen ein Problem dar. Deshalb sollte die Spannung durchschnittlich nicht unter etwa 1,2 oder 1,3 Volt pro Zelle liegen, um sicher zu sein, dass keine der Zellen unter 1,0 Volt geht. Aus diesem Grund haben wir für den Rover eine Begrenzung der unteren Batterie-Spannung auf 24 Volt oder 1,33 Volt pro Zelle festgesetzt.

Das Problem der Ladung enthält zwei Aspekte. Zuerst musste diese Batterie sehr platzsparend sein, also hat sie nicht das gleiche Zn/Ag-Verhältnis, das eine Standard-Batterie hat. Das bedeutet, dass sie nicht so oft aufgeladen werden kann, da die Zn-Menge begrenzt ist. Sie könnte noch einige Male geladen werden, aber das ist nur eine Überlegung. Das andere Problem ist die begrenzte Zeit, zu der genügend Energie vorhanden ist, um die Batterie zu laden. Sie müssen überlegen, dass die Batterie zu kalt für den Lade-Vorgang ist, wenn die Sonne auf dem Mars gerade aufgeht. Also verwendet man überschüssige Energie, um die Batterie auf eine Temperatur aufzuheizen, bei der sie aufgeladen werden kann. Zu diesem Zeitpunkt ist es Zeit für eine frühe Radiotransmission zur Erde und die benötigt die gesamte zur Verfügung stehende Energie. Danach erst kann die Batterie aufgeladen werden. Das geschieht jeden Tag und die Batterie bekommt gerade das an Energie, was übriggeblieben ist. Das ist nicht ganz korrekt, aber es vermittelt Ihnen die Grund-Idee. Wenn wir mehr Zeit hätten, die Batterie aufzuladen, bin ich mir sicher, dass sie viel mehr Ladung aufnehmen würde, als sie tatsächlich erhält.

Ronald Banes, JPL Rover Power Lead

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/path-surface/Recharging_lander_batteries.txt; 05.04.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Im Pathfinder-Landemodul wurden Silber-Zink-Batterien verwendet, die wir auch hier auf der Erde aus dem Alltag kennen, etwa zum Betrieb von Hörgeräten. Im Folgenden wurde eine Übersicht über die verschiedenen gebräuchlichen Batterien zusammengestellt.

Man sollte unterscheiden zwischen:

- **Primär-Zellen**, das sind nicht wieder aufladbare Galvanische Elemente (z. B. Zink-Kohle, Alkali-Mangan)
- **Sekundärzellen** (Akkumulatoren), das sind wieder aufladbare Galvanische Elemente (z. B. Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid)

Als **Batterien** bezeichnet man lediglich die Zusammenschaltung mehrerer Galvanischer Elemente, i. d. R. zur Spannungserhöhung in Reihe (z. B. 9 V-Block, Auto-Batterie, 4,5 V-Block).

Galvanische Elemente sind Energie-Umwandler, in denen chemische Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Man unterscheidet Primärelemente, Sekundärelemente und Brennstoffzellen. Bei Primär- und Sekundärelementen ist die Energie in den Elektroden-Substanzen gespeichert, durch ihre Beteiligung an Redox-Reaktionen wird Strom erzeugt [1].

Redox-Reaktionen sind Reaktionen, die unter Reduktion und Oxidation von Teilchen verlaufen. Allgemein ist ein Redox-Vorgang eine Elektronen-Übertragung. Dabei bedeutet Oxidation eine Elektronen-Abgabe und Reduktion Elektronen-Aufnahme:

Reduktion: $\text{Ox}_1 + n e^- \rightleftharpoons \text{Red}_1$ konjugiertes Redox-Paar: Ox_1/Red_1

Oxidation: $\text{Red}_2 \rightleftharpoons \text{Ox}_2 + n e^-$ konjugiertes Redox-Paar: Red_2/Ox_2

$\text{Ox}_1 + \text{Red}_2 \rightleftharpoons \text{Ox}_2 + \text{Red}_1$ Redoxsystem

Beispiele für Redox-Paare: Na/Na^+ ; $2\text{Cl}/\text{Cl}_2$; $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{7+}$; $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$

Ein **Redox-Vorgang** lässt sich allgemein formulieren:



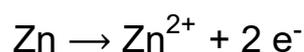
Lässt man den Elektronen-Austausch einer Redox-Reaktion so ablaufen, dass man die Redox-Paare (Teil- oder Halbreaktionen) räumlich voneinander trennt, sie jedoch elektrisch und elektrolytisch leitend miteinander verbindet, ändert sich am eigentlichen Reaktionsvorgang nichts.

Das Redox-Paar bildet zusammen mit einer Elektrode (= Elektronenleiter) eine **Halbzelle**. Die Kombination zweier Halbzellen nennt man eine Zelle, Galvanische Zelle oder Galvanisches Element [2].

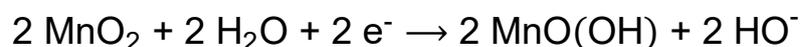
Primär-Zellen:

Das **Leclanché-Element** ist das am meisten verbreitete Primärelement. Es besteht aus einer Zink-Anode (negative Elektrode), einer mit MnO_2 umgebenen Kohle-Kathode (positive Elektrode) und einer mit Stärke bzw. Methylcellulose verdickten NH_4Cl -Lösung als Elektrolyt. Es liefert eine EMK (elektromotorische Kraft) von 1,5 V. Schematisch lassen sich die Vorgänge bei der Strom-Entnahme durch die folgenden Reaktionen beschreiben.

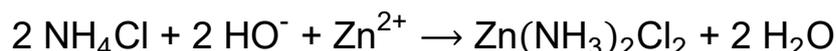
Negative Elektrode:



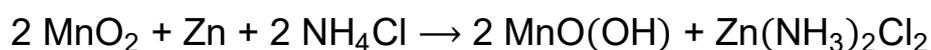
Positive Elektrode:



Elektrolyt:



Gesamt-Reaktion:



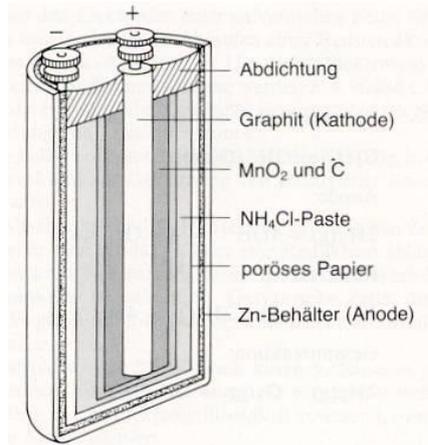
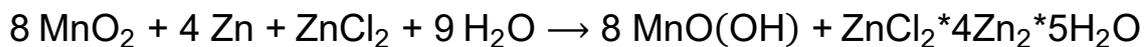


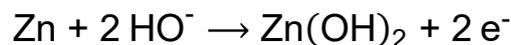
Abb. 5: Das Leclanché-Element [3]

Eine Variante der Leclanché-Zelle ist die **Zinkchlorid-Zelle**, die als Elektrolyt eine Zinkchlorid-Lösung enthält:



In manchen alkalischen Zellen mit Kalilauge als Elektrolyt werden als positive Elektroden Quecksilberoxid, HgO, oder Silberoxid, AgO, als negative Elektroden Cadmium Cd, oder Zink Zn, verwendet. Ein Beispiel dafür ist die **Silber-Zink-Zelle** (siehe oben), die eine Spannung von etwa 1,5 V liefert.

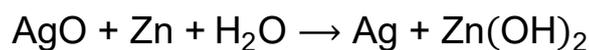
Negative Elektrode:



Positive Elektrode:



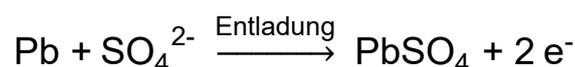
Gesamt-Reaktion:



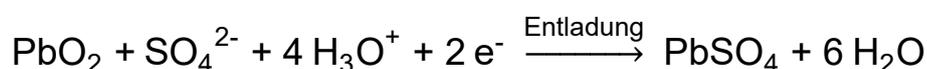
Sekundär-Zellen:

Der **Bleiakkumulator** besteht aus einer Blei-Elektrode und einer Bleidioxid-Elektrode. Als Elektrolyt wird 20%ige Schwefelsäure verwendet. Die Potential-Differenz zwischen den beiden Elektroden beträgt 2,04 V. Wird elektrische Energie entnommen (Entladung), laufen an den Elektroden die folgenden Reaktionen ab:

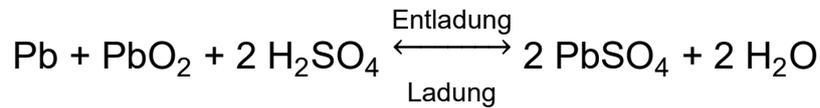
Negative Elektrode:



Positive Elektrode:



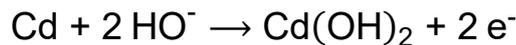
Gesamt-Reaktion:



Bei der Strom-Entnahme wird H_2SO_4 verbraucht und H_2O gebildet, die Schwefelsäure wird verdünnt. Der Ladungszustand des Akkumulators kann daher durch Messung der Dichte der Schwefelsäure kontrolliert werden. Durch Zufuhr elektrischer Energie (Laden) lässt sich die chemische Energie des Akkumulators wieder erhöhen. Der Ladungsvorgang ist eine Elektrolyse.

Der **Nickel-Cadmium-Akkumulator** liefert eine EMK von etwa 1,3 V. Beim Entladen laufen folgende Elektroden-Reaktionen ab:

Negative Elektrode:



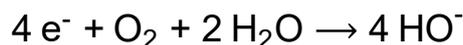
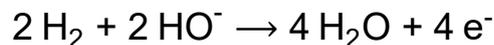
Positive Elektrode:



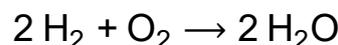
Brennstoff-Zelle:

Die direkte Umwandlung freiwerdender Energie bei der Verbrennung von Wasserstoff, Kohlenstoffmonoxid oder Methan in elektrische Energie erfolgt in Brennstoff-Zellen. Die Entwicklung von Brennstoff-Zellen ist wegen ihres hohen Wirkungsgrades (bis 90%) wichtig. Bedeutung hat bisher aber nur das Knallgas-Element in der Raumfahrt. Wasserstoff und Sauerstoff werden durch poröse, katalytisch wirksame Elektroden in eine alkalische Lösung eingeleitet.

Elektroden-Reaktion:



Gesamt-Reaktion:



Quellen:

1. Riedel, E.: Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 363
2. Latscha/Klein, Organische Chemie, Springer Verlag, 3. Auflage, 1993, S. 201ff.
3. Mortimer, Chemie, Thieme-Verlag, 5. Auflage, 1987, S. 341
4. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 363ff.

1.17 Kartoffel und Sauerstoff

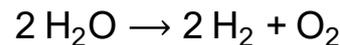
Frage: Welche Substanzen enthält eine Kartoffel, die Sauerstoff bilden können?

Antwort: *Jack Farmer am 15. Januar 1999:*

Eine Kartoffel enthält viel Wasser, das in seine Komponenten Wasserstoff und Sauerstoff gespalten werden kann

Quelle: owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 17.01.1999 (verschollen)

Hintergrund-Information: Eine Kartoffel enthält sehr viel Wasser. Möchte man nun Sauerstoff gewinnen, könnte man dieses Wasser durch Elektrolyse in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen [1]. Dabei wird über Platin-Elektroden ein elektrischer Strom (10 – 16 V) angelegt, wodurch H₂O in H₂ und O₂ zerlegt wird:



Am negativen Pol (Kathode) entsteht H₂, am positiven Pol (Anode) O₂ im Verhältnis 2:1. Die entstandenen Gase können dann beliebig weiterverwendet werden.

Möglicherweise ist in diesem Zusammenhang auch das Enzym Katalase gemeint, das aus Wasserstoffperoxid, das man auf die Kartoffel tropft, Sauerstoff besonders schnell freisetzt (Katalysator).

Quelle:

1. owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 17.01.1999 (verschollen)

2 Atmosphäre (a)

2.1 Atmosphäre eines Planeten

Frage: Mich verwirrt der Zusammenhang zwischen der Schwerkraft und der Atmosphäre auf dem Mars im Vergleich zu den Verhältnissen auf der Erde. Ich erinnere daran, dass die Schwerkraft 40% der Schwerkraft der Erde beträgt, aber die Atmosphäre ist nur 10% so dicht ist wie die der Erde. Meine Erwartung wäre, dass die Atmosphäre auch mindestens 40% der Atmosphären-Dichte der Erde erreichen würde, weil die Schwerkraft die mögliche Menge an Atmosphäre bestimmt. Auch ist Kohlenstoffdioxid ein schwereres Molekül als Stickstoff, so dass als Folge davon die Atmosphäre sogar noch dichter als 40% der Erd-Atmosphäre sein müsste. Beeinflusst die Temperatur das Verhältnis zwischen Planeten-Masse und Atmosphäre oder gibt es andere Variablen, die ich nicht in Betracht gezogen habe?

Antwort: Jim Murphy am 22. August 1997:

Die Wechselwirkung zwischen Schwerkraft und Atmosphäre funktioniert nicht so geradlinig, wie Sie meinen. Das beste Beispiel dafür ist der Vergleich zwischen Erde und Venus.

Erde und Venus sind sich ähnlich und haben, glaube ich, ähnliche Gravitationsverhältnisse auf ihren Oberflächen. Jedoch ist der Oberflächen-Druck auf der Venus 90mal größer als auf der Erd-Oberfläche! Also ist es nicht ausschließlich die Schwerkraft allein, die den Atmosphären-Druck beeinflusst.

Wie Sie hervorheben, haben die Unterschiede bezüglich der Molekular-Gewichte unterschiedlicher Gase einen Einfluss auf den Druck (d. h. Kohlenstoffdioxid-Moleküle sind schwerer als Stickstoff-Moleküle).

Rechen-Beispiel: Würden wir eine Säule der Erd-Atmosphäre nehmen, die den Querschnitt von 1 Quadratmeter hat, dann würde bei einem Oberflächen-Druck von 1.000 mbar der Druck 10.000 Kilogramm Luft betragen; multiplizieren Sie nun 1.000 mbar mit 100, um in die Maßeinheit Pascal umzurechnen (Maßeinheit Kilogramm pro Meter pro Quadratsekunde). Wenn Sie nun durch die Schwerkraft teilen (Meter pro Quadratsekunde) so erhalten Sie Kilogramm pro Quadratmeter. Wenn nun die Luft-Moleküle in unserer Säule alle in Kohlenstoffdioxid umgewandelt würden, also jedes mit einer 1,57mal größeren Masse als ein „Luft“-Molekül ($44/28$) wirken würde, dann würde der Oberflächen-Druck dieser Säule auf dem Mars auf 628 mbar steigen, und auf der Erde würden es 1.570 mbar sein.

Die Temperatur beeinflusst das Verhältnis zwischen Planeten-Masse und Atmosphäre nicht direkt. Je wärmer eine Atmosphäre ist, desto weniger dicht ist sie. Die Moleküle an der Oberseite dieser wärmeren Atmosphäre erfahren eine geringfügige (sehr geringfügig!) Verringerung der Gravitationskraft des Planeten und sind folglich gerade gegen Prozesse etwas empfindlicher, die sie vom Planeten entfernen könnten.

Was wirklich den Oberflächen-Druck einer Atmosphäre, zusätzlich zur Gravitationsanziehung des Planeten bestimmt, ist, wieviel Gas anwesend ist. Der Vergleich Venus - Erde veranschaulicht wirklich gut den Punkt, dass es nicht die Gravitationsanziehung des Planeten allein ist, die wichtig ist, sondern auch, wieviel Gas dort ist. Die Erde könnte eine Atmosphäre so massiv wie die der Venus halten, aber aus irgendeinem Grund (und es gibt einige Hypothesen dazu) haben Prozesse, die während der letzten 4 Milliarden Jahre aufgetreten sind, dazu geführt, dass die Venus mit einer massiven, die Erde mit einer bescheidenen und den Mars mit einer dünnen Atmosphäre verblieben ist.

Also spielt die Gravitationsanziehung eines Planeten (oder Mondes) zwar eine gewisse Rolle in der Bestimmung, wie massiv die Atmosphäre von Körpern sein könnte, andere Prozesse sind aber ähnlich bedeutend.

Sie haben eine großartige Frage gestellt. Mich würde interessieren, welcher Art die Erklärungen Ihrer Schüler sind, wenn sie dieses Thema behandeln.

Jim Murphy, Mars Pathfinder ASI/MET Science Team

Smart Filter am 20. August 1997:

Ob ein Planet eine Atmosphäre halten kann, hängt von einigen Faktoren ab. Masse und Radius sind wichtig bei der Feststellung der Flucht-Geschwindigkeit für den Planeten (die der Erde beträgt 11,2 km/sec; die des Mars nur 5,0 km/sec.). Temperatur und Masse des Moleküls sind ohne Frage die anderen beiden wichtigen Faktoren, weil diese beiden Größen verwendet werden, um die durchschnittliche Geschwindigkeit der Moleküle in einem Gas zu beschreiben. Molekularer Sauerstoff (O₂) bei 20°Celsius hat eine durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit von 0,48 km/sec. Eine Richtgröße ist, dass ein Planet ein Gas halten kann, wenn die Flucht-Geschwindigkeit mindestens sechsmal größer ist, als die durchschnittliche Geschwindigkeit der Moleküle im Gas. Ein leichteres Molekül als Sauerstoff (wie Wasserstoff) hat eine höhere durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit (die gleiche Berechnung, die für Wasserstoff erfolgt ist, ergibt eine durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit von 1,9 km/sec). Ein Gas bei einer höheren Temperatur hat auch eine höhere molekulare Geschwindigkeit. Also können Sie sehen, dass wir auch zusätzlich zur Größe des Planeten den Abstand von der Sonne betrachten müssen, und die anderen Gase der Atmosphäre.

[Meine Bezugsquelle für das oben verwandte Material ist der Text „Universum“ (4. Ausgabe) von William Kaufmann, veröffentlicht von W. H. Freeman und Co., Copyright 1994, Seiten 134 - 135. Sie können dort nach weiteren Informationen suchen, einschließlich der Gleichungen, die in den Berechnungen verwendet werden].

Wir haben bis jetzt angenommen, dass es zu keinen katastrophalen Ereignissen in der Geschichte der Atmosphäre gekommen ist. Astronomen beginnen aber zu glauben, dass Kometen- und Meteoriten-Einschläge bedeutenden Einfluss auf die Atmosphären der Planeten haben können - sowohl durch das Eintragen von Gasen wie Wasserdampf in die Atmosphäre als auch durch das Entfernen eines großen Teils der vorher existierenden Atmosphäre.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/solution_for_a_planet_to_retain_an_atmosphere; 15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: In Gegensatz zur Erde hat der Mars nur eine sehr dünne Atmosphäre, obwohl sich die Planeten, was Größe und Temperatur-Verhältnisse betrifft, vergleichsweise ähnlich sind. Wie dicht die Atmosphäre eines Planeten ist bzw. ob ein Planet eine Atmosphäre halten kann, hängt von einigen Faktoren ab.

Masse und Radius des Planeten sind wichtig für die Feststellung der Flucht-Geschwindigkeit der Atmosphäre (Erde: 11,2 km/s; Mars: 5,0 km/s). Zwei weitere wichtige Faktoren sind Temperatur und Masse des Gas-Moleküls, weil diese beiden Größen die durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit bestimmen [1]:

$$v = 3 \frac{RT}{M_m} \quad [2]$$

Die Molekül-Masse ist die Summe der Atom-Massen aller Atome eines Moleküls. Sie wird als atomare Massen-Einheit „u“ angegeben.

Beispiele:

- die Molekül-Masse von HCl ist 1+35,5= 36,5
- die Molekül-Masse von Methan (CH₄) ist 12+4*1= 16

Einheit der Stoffmenge ist das mol. 1 mol ist die Stoffmenge eines Systems bestimmter Zusammensetzung das aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12/1.000 kg des Nuklids ${}^{12}\text{C}$ enthalten sind [3]

Molekularer Sauerstoff (O_2) bei 20°C hat eine durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit von 0,48 km/s.

Die Flucht-Geschwindigkeit des Gases eines Planeten ist im Durchschnitt mindestens sechsmal größer als die durchschnittliche Geschwindigkeit im Gas. Ein leichteres Molekül als Sauerstoff (z. B. Wasserstoff) hat eine höhere durchschnittliche molekulare Geschwindigkeit (H_2 : 1,9 km/s).

Auch ein Gas bei einer höheren Temperatur hat eine höhere molekulare Geschwindigkeit. Also muss zusätzlich zur Größe des Planeten auch sein Abstand von der Sonne betrachtet werden und natürlich die Gase in der Planeten-Atmosphäre [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/solution_for_a_planet_to_retain_an_atmosphere; 15.03.1998
2. Hammer/Hammer, Taschenbuch der Physik, Lindauer Verlag, München, 1993, S. 62
3. Latscha/Klein, Anorganische Chemie, Springer Verlag, Heidelberg, 1994, S. 52

2.2 Ozon-Schicht auf dem Mars

Frage: Wenn Eisenoxid entstehen kann, indem ultraviolette Strahlung Wasser spaltet, ist das ein Beweis dafür, dass dem Mars eine Ozon-Schicht fehlt? Ist die Ozon-Schicht ein Produkt des Lebens?

Antwort: *Smart Filter am 6. August 1997:*

Ich wundere mich, dass Sie die „Karre vor das Pferd“ spannen. Wissenschaftler vertreten die Meinung, dass Eisenoxid auf dem Mars gebildet worden sein könnte, indem ultraviolette Strahlung Wasser spaltete, WEIL dem Mars eine Ozon-Schicht fehlt. Ihr Problem scheint zu sein „Glauben wir, dass es keine Ozon-Schicht gibt, weil wir das Eisenoxid sehen?“.

Zum Vergleich ziehen wir einen Planeten heran, über den wir mehr wissen: Auf der Erde, oben in der Stratosphäre, verbindet sich ein Sauerstoff-Molekül (O_2) mit atomarem Sauerstoff (O), um so Ozon (O_3) zu bilden. Das O_3 -Molekül absorbiert ein ankommendes UV-Photon des Sonnen-Lichts, was dazu führt, dass es in O_2 und O aufgespalten wird. Dieser chemische Zyklus von Entstehung und Zerstörung läuft ständig in der Ozon-Schicht ab, Absorption von UV-Licht und somit Schutz der Erd-Oberfläche vor übermäßiger UV-Strahlung. Somit hat die Ozon-Schicht der Erd-Oberfläche den Schutz gegeben, der es dem Leben erlaubt hat, sich zu entwickeln. Der Mars hat nicht die Sauerstoff-Atmosphäre zum Entwickeln einer Ozon-Schicht (der Atmosphären-Druck des Mars beträgt nur ungefähr 1 mbar, während der Druck auf Meeresspiegel-Höhe auf der Erde 1.013 mbar beträgt).

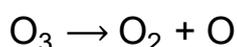
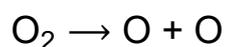
Was Ihre zweite Frage anbetrifft „Ist die Ozon-Schicht ein Produkt des Lebens?“, die Ozon-Schicht benötigt Sauerstoff in den Formen O, O_2 und O_3 , und es waren die Pflanzen auf der Erde, von denen man annimmt, dass sie das Kohlenstoffdioxid in Sauerstoff verwandelt haben, weshalb es da eine Verbindung zu geben scheint. Venus als Vergleich, die eine sehr dichte Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre besitzt, hat keine Ozon-Schicht. Es liegt also an der Dicke der Atmosphäre, die bestimmt, ob ein Planet eine Ozon-Schicht hat, aber genauso gut an der Zusammensetzung.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Ozone_layer_on_Mars.txt;
14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Ozon-Schicht ist die Bezeichnung für die Ozon-Anreicherung in der Atmosphäre in einer Höhe zwischen 10 km und 35 km. Sie absorbiert die UVB- und UVC-Strahlung der Sonne [4]. Auf der Erde verbinden sich in der Stratosphäre Sauerstoff-Moleküle O_2 mit atomarem Sauerstoff O zu Ozon O_3 . Absorbiert ein O_3 -Molekül ein ankommendes UV-Photon wird es in O_2 und O aufgespalten [1]. Diese Ketten-Reaktion läuft ständig in der Ozon-Schicht ab und filtert so schädliche Anteile des Sonnen-Lichts, was ein Leben auf der Erde möglich macht.

Ketten-Reaktionen nennt man in der Chemie solche Reaktionen, bei denen sich die Reaktionspartner stets neu bilden, so dass die einmal in Gang gebrachte Reaktion von selbst weiterläuft, bis das Ausgangsprodukt vollständig oder bis zur Erreichung des chemischen Gleichgewichts verbraucht ist [2].

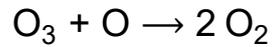
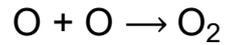
Kettenstart-Reaktion



Kettenfortpflanzungsreaktion



Kettenabbruch-Reaktion



Zur Entstehung einer Ozon-Schicht ist also eine sauerstoffreiche Atmosphäre wie auf der Erde (21,3% O₂) nötig.

Dem Mars fehlt diese Sauerstoff-Atmosphäre zur Entwicklung einer Ozon-Schicht. Die Atmosphäre besteht zu > 95% aus Kohlenstoffdioxid und deshalb gibt es dort auch keinen Mechanismus, der energiereiche UV-Strahlung aus dem Sonnen-Licht filtert. Dadurch wurde in der Vergangenheit, als noch reichlich Wasser auf dem Planeten vorhanden war, dieses durch Photolyse in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Letzterer wiederum führte zur Entstehung von [Eisenoxid](#), das den Planeten sichtbar rot färbt.

Quellen:

4. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, 9. Auflage, Band 5, 1992, S. 3090
1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Ozone_layer_on_Mars.txt;
14.03.1998
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, 10. Auflage, Band 3, 1997, S.2146

2.3 Atmosphäre und Stickstoff

Frage: Wenn ich eine Analyse der Mars-Atmosphäre betrachte, finde ich Stickstoff nicht als bedeutenden Bestandteil aufgeführt. Sauerstoff befindet sich in den meisten Fällen als Verbindung im Boden, aber der Stickstoff, der viel weniger reaktiv ist, sollt doch weiterhin auf dem Mars zu finden sein. Wie lautet die aktuelle Erklärung für sein Fehlen in der Mars-Atmosphäre und würde Viking oder das folgende Landemodul Stickstoff-Verbindungen im Boden entdecken können?

Antwort: Bruce Jakosky am 28. Mai 1997

Der Stickstoff-Anteil der Mars-Atmosphäre beträgt ungefähr 2,5%, aber Sie haben Recht, dass das bedeutet, dass es sehr wenig Stickstoff in der Atmosphäre gibt. Offenbar ist eine erhebliche Menge des Stickstoffes ins Weltall verloren gegangen. Das liegt am Verhältnis zwischen Stickstoff-15 zu Stickstoff-14. Stickstoff-15 hat ein Neutron mehr als Stickstoff-14, und weil es schwerer ist, ist es schwieriger, ins All zu entweichen. Infolgedessen wird das Entweichen ins All das Verhältnis von Stickstoff-15 zu Stickstoff-14 erhöhen. Wie durch Viking gemessen wurde, ist das Verhältnis ungefähr 1,7mal höher als der terrestrische Wert, was darauf hinweist, dass ungefähr 90% des Stickstoffes in den Weltraum verloren gegangen sind.

Zusätzlich könnten Stickstoff (und andere Gase) sehr früh ins All verloren gegangen sein, etwa als Auswirkung der Einschläge von Planeten-Bruchstücken und Asteroiden auf die Oberfläche während der Entstehung des Planeten. Wir sehen die Einschlagskrater, die übriggeblieben sind. Diese Art des Entweichens ins All würde den schwereren Stickstoff nicht bevorzugt zurücklassen (sie würden beide in gleicher Weise vertreiben), so dass der Verlust durch diesen Prozess zu dem oben genannten dazukommt. Unseren neuesten Berechnungen ergeben, dass 50 – 90% der Atmosphäre, die da war, als die ältesten Mars-Oberflächen entstanden, in den Weltraum verloren gegangen sein könnte, und noch mehr, bevor die Oberflächen-Struktur entstanden.

Infolgedessen sieht es so aus, dass sicher mehr als 95%, und bis zu 99% des Mars-Stickstoffes ins All verloren gegangen sind.

Es fehlt auch noch eine schlüssige Erklärung für die gesamte Stickstoff-Menge, die überhaupt auf dem Mars vorhanden war. Es ist nicht klar, ob ein Teil Nitrate im Boden gebildet hat, oder ob ein Teil nie als Gas in die Atmosphäre gelangt ist. Auch ist nicht bekannt, wie viel Stickstoff der Mars ursprünglich hatte.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Martian_atmosphere.txt;
14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Bei Betrachtung einer Analyse der Mars-Atmosphäre fällt auf, dass nur sehr wenig Stickstoff vorhanden ist.

Stoff	Vol.- %
Kohlenstoffdioxid	95,32
Stickstoff	2,7
Argon	1,6
Sauerstoff	0,13
Kohlenstoffmonoxid	0,07
Neon	0,00025
Krypton	0,00003
Xenon	0,000008
Ozon	0,000003

Tab. 6: Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre [1]

Stickstoff ist bei Raum-Temperatur ein farb-, geruch- und geschmackloses, nicht brennbares Gas. Gasförmiger Stickstoff ist leichter als Luft, flüssiger gleicht äußerlich dem Wasser, fester bildet farblose Kristalle [2]. Der Stickstoff-Anteil in der Mars-Atmosphäre beträgt nur etwa 2,7%, obwohl N₂ weitaus weniger reaktiv ist als etwa O₂. Wissenschaftler gehen davon aus, dass eine beträchtliche Menge N₂ ins Weltall verloren ging, was das Verhältnis der Stickstoff-Isotope in der Atmosphäre untermauert.

Isotop ist die Bezeichnung für die Nuklide eines chemischen Elements. Isotope sind Nuklide gleicher Kernladungs- und Ordnungszahl (Protonen-Zahl), aber unterschiedlicher Anzahl der im Kern enthaltenen Neutronen und damit unterschiedlicher Massenzahl (Nukleonen-Zahl) [3]. Stickstoff-15 hat ein Neutron mehr als Stickstoff-14 und ist demnach schwerer. Es ist also für Stickstoff-15 schwieriger, sich ins All zu verflüchtigen. Die Messungen der Viking-Sonde ergaben, dass das Verhältnis ungefähr 1,7mal dem terrestrischen Wert entspricht, was dafür spricht, dass ca. 90% des Stickstoffes im Weltraum verschwanden [1].

Theoretisch wäre es auch möglich, dass Stickstoff in gebundener Form als Nitrate (z. B. NaNO₃) im Boden zu finden ist. Nitrate sind die Salze der Salpetersäure (HNO₃) (mit der allgemeinen Formel MNO₃), sind wasserlöslich und spalten beim Erhitzen O₂ ab [4]. Solche Verbindungen konnten bis jetzt jedoch nicht nachgewiesen werden. Um genauen Aufschluss über den Verbleib des Stickstoffes zu erhalten, müssen weitere Missionen zum Mars abgewartet werden.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Martian_atmosphere.txt; 14.03.1998 (verschollen)
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 157
3. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, 10. Auflage, 1997, S. 2015
4. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 159

2.4 Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre

Frage: Woraus besteht die Mars-Atmosphäre?

Antwort: *aus dem Internet:*

Live from Mars Web-Seiten - <http://qust.arc.nasa.gov/mars/background> (verschollen)

Die Atmosphäre des Mars ist wie folgt aufgebaut:

Kohlenstoffdioxid	95,32%	CO ₂
Stickstoff	2,7%	N ₂
Argon	1,6%	Ar
Sauerstoff	0,13%	O ₂
Kohlenstoffmonoxid	0,07%	CO
Wasser	0,03%	H ₂ O
Neon	0,00025%	Ne
Krypton	0,00003%	Kr
Xenon	0,000008%	Xe
Ozon	0,000003%	O ₃

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Composition_of_mars_atmosphere.txt; 14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Vergleicht man die Mars-Atmosphäre mit der der Erde, sind deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung zu erkennen.

Stoff	Mars [Vol.-%]	Erde [Vol.-%]
CO ₂	95,32	0,035
N ₂	2,7	78,08
Ar	1,6	0,934
O ₂	0,13	20,95
CO	0,07	0,00002
H ₂ O	0,03	stark schwankend
Ne	0,00025	0,0018
Kr	0,00003	0,0001
Xe	0,000008	0,000009
O ₃	0,000003	0,000001

Tab. 7: Vergleich der Zusammensetzung von Mars- und Erd-Atmosphäre [1], sortiert nach den Mengen auf dem Mars

Stoff	Erde [Vol.-%]	Mars [Vol.-%]
N ₂	78,08	2,7
O ₂	20,95	0,13

Ar	0,934	1,6
CO ₂	0,035	95,32
Ne	0,0018	0,00025
Kr	0,0001	0,00003
CO	0,00002	0,07
Xe	0,000009	0,000008
O ₃	0,000001	0,000003

Tab. 8: Vergleich der Zusammensetzungen von Mars- und Erd-Atmosphäre [1, 2], sortiert nach den Mengen auf der Erde

Vor allem die Massenanteil-Unterschiede von CO₂, O₂ und N₂ sind gravierend und haben enorme Auswirkungen auf die Umwelt des jeweiligen Planeten.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Martian_atmosphere.txt; 14.03.1998
2. Römpp-Lexikon Chemie, Thieme-Verlag, 10. Auflage, 1996, S.2453

2.5 Atmosphäre auf dem Mars

Frage: Ist jemand von Ihnen der Meinung, dass es einst auf dem Mars eine Atmosphäre gab? Könnte eine Natur-Katastrophe wie ein Asteroiden-Einschlag die Atmosphäre, die einmal existierte, zerstört haben?

Antwort: *Bruce Jakosky am 18. Juli 1997*

Der Mars besaß mehr Atmosphäre in der Vergangenheit als heute. Wir haben zweierlei Arten von Beweisen dafür – geologische und geochemische.

Geologische Beweise leiten sich von Eigenschaften der Oberfläche ab, die zeigen, dass die Atmosphäre in der Vergangenheit dicker gewesen sein muss. Es gibt Tal-Netze, die sehr an Fluss-Entwässerungssysteme auf der Erde erinnern. Um diese zu formen musste flüssiges Wasser auf der Oberfläche des Mars stabiler gewesen sein als heute; und der einfachste Weg, Wasser beständiger zu machen, ist das Vorhandensein einer dichteren Atmosphäre. Außerdem sind die ältesten Krater-Einschläge stärker verwittert als die jüngeren, was bei Anwesenheit einer Atmosphäre besser erklärt werden könnte.

Die **geochemischen** Beweise stammen vom Verhältnis der unterschiedlichen Isotope in der Atmosphäre. Isotope sind Moleküle, die ein zusätzliches Neutron im Kern haben, sind somit schwerer als die normalen. Die leichteren Moleküle verflüchtigen sich leichter ins All, so dass die übrigbleibende Atmosphäre vermehrt schwere Moleküle enthält. Wir wurden ein höheres Verhältnis von Deuterium zu Wasserstoff feststellen, genauso wie zwischen schwerem Stickstoff zu leichterem Stickstoff. Auf jeden Fall müssen etwa 90% der ursprünglichen Mars-Atmosphäre in den Weltraum verloren gegangen sein.

Natürlich kann ein Asteroiden-Einschlag einen großen Teil einer Atmosphäre vertreiben – aber nicht bei einem einzelnen Einschlag, sondern durch viele Kollisionen, die im Lauf der Zeit stattgefunden haben. Dieser Vorgang spielte wohl die Hauptrolle beim Verschwinden eines Großteils der früher dickeren Atmosphäre.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Atmosphere_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Gegenwärtig ist die Atmosphäre des Mars sehr dünn. Wissenschaftliche Theorien besagen aber, dass sie in der Vergangenheit auf jeden Fall dichter gewesen sein muss. Neben den geologischen Beweisen, also Oberflächen-Beschaffenheit, Verwitterung, usw., gibt es auch einen geochemischen Beweis.

Als Atmosphäre bezeichnet man die gasförmigen Umhüllungen von Planeten und anderen Himmelskörpern [1]. Diese gasförmigen Umhüllungen enthalten verschiedene Gase mit ihren unterschiedlichen Isotopen. Isotope sind Nuklide gleicher Kernladungs- und Ordnungszahl (Protonen-Zahl), aber unterschiedlicher Anzahl der im Kern enthaltenen Neutronen und damit Massen-Zahl (Nukleonen-Zahl). Da die Isotope eines Elements die gleiche Anzahl Protonen im Kern aufweisen, haben sie auch die gleiche Anzahl an Elektronen in der Hülle. Sie verhalten sich chemisch gleichartig [2].

Der Beweis einer früher dickeren Atmosphäre liegt im Verhältnis der unterschiedlichen Isotope in der Atmosphäre. Isotope mit einem zusätzlichen Neutron sind schwerer und verbleiben in der Atmosphäre des Planeten, während die leichteren sich einfacher ins All verflüchtigen. Deutlich wird dies im Verhältnis des Deuteriums (schwerer Wasserstoff) zum Wasserstoff: der Anteil des Deuteriums ist deutlich erhöht. Genauso verhält es sich zwischen schwerem und leichtem Stickstoff (Stickstoff-14 : Stickstoff-15). Es müssen tatsächlich etwa 90% der ursprünglichen Gase in den Weltraum verloren gegangen sein [3].

Unterstützt wurde dieser Vorgang wahrscheinlich noch durch Asteroiden-Einschläge, die einen hohen Anteil der Atmosphäre vertreiben [3].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 1, 10. Auflage, 1996, S. 284
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2015
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Atmosphere_on_Mars.txt;
21.03.1998

2.6 Entstehung des Eisenoxids auf dem Mars

Frage: Ist es möglich, dass Eisen einheitlicher über den ganzen Mars verteilt, ist als auf der Erde? Wenn das zutrifft, ist es dann möglich, dass der größte Teil des Oberflächen-Wassers auf dem Mars mit dem Eisen unter Entstehung von Eisenoxid und Freisetzung von Wasserstoff reagiert hat? Und wenn dem so ist, würde die Tendenz, dass der Wasserstoff ins All verloren geht, nicht viel größer sein, weil Wasserstoff so leicht ist?

Antwort: Mary Urquhart am 14. Juli 1997

Was für eine ausgezeichnete Frage! Wenn Wasser gespalten wird und Wasserstoff entsteht, hat der natürlich eine größere Tendenz ins All verloren zu gehen. Wenn viel Wasser durch die Reaktion des Sauerstoffs mit Eisen und dem Verschwinden des Wasserstoffs verloren ging, könnte das die Entwicklung der Atmosphäre und die Wasser-Menge auf dem Mars beeinflusst haben.

Deshalb sind die entscheidenden Fragen: Wie viel Material auf dem Mars ist oxidiert und welcher Prozess (oder welche Prozesse) verursachten die Oxidation? Der Mars besitzt anscheinend Eisenoxide in Form von Staub und Boden-Material, die über die Oberfläche des Planeten verteilt sind. Jedoch kann diese Schicht des Boden-Materials an vielen Stellen ziemlich dünn sein. In Wirklichkeit wissen wir nicht, welche Menge an Boden-Material des Mars oxidiert wurde. Eine Möglichkeit: auf der Erde entstanden massive Eisen-Vorkommen früh in ihrer Geschichte. Wenn große Wasser-Mengen je für lange Zeiträume auf dem Mars existierten (ein großes WENN), dann ist es möglich, dass auf dem Mars solche Vorkommen an oxidiertem Eisen vorhanden sind, wie man sie auch auf der Erde findet. Diese Vorkommen könnten die Quelle für so manches Staub- und Boden-Material sein. Es ist sogar möglich, dass die oxidierenden Reaktionen auf eine völlig andere Weise abliefen, wie etwa die Verbindung einzelner Körner im Staub und Boden mit der Mars-Atmosphäre. Es gibt aber auch andere Erklärungsmöglichkeiten. Was auch immer die Ursache ist, es ist auch ziemlich gut möglich, dass die Oxidation nur einen relativ kleinen, aber in hohem Grade sichtbaren Teil der Oberfläche des Mars betrifft.

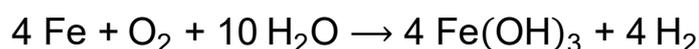
Nun dazu, wie das Material oxidiert wurde, es gibt verschiedene Wege. Ein Weg ist das Reagieren des Materials mit freiem Sauerstoff-Gas. Der freie Sauerstoff kann aus verschiedenen Quellen stammen, einschließlich der Spaltung von Kohlenstoffdioxid, und einige Reaktionen können sehr kurzlebigen freien Sauerstoff nah an der Oberfläche der Körner produzieren. Eine andere Möglichkeit ist die Reaktion von Eisen mit Wasser unter dem Einfluss von ultraviolettem Licht. Noch ein weiterer Weg ist es, Eisen Wasserstoffperoxiden auszusetzen. Einige dieser Prozesse würden den Verlust von Wasser vom Mars zur Folge haben, andere verursachen mit der Zeit den Verlust anderer Gase wie Kohlenstoffdioxid. Niemand weiß, was richtig ist, oder wieviel dieser Gase verloren gingen.

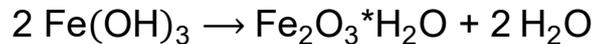
Quelle: http://quesr.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/water_release_of_Hydrogen_in_the_Atmosphere.txt; 21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die rötliche Färbung des Mars entsteht durch Eisen(III)-oxid (Fe_2O_3), das in Form von Staub und Boden-Material überall vorhanden ist. Zur Entstehung dieses Eisenoxids gibt es mehrere Theorien:

1. Reaktion von Wasser mit Eisen

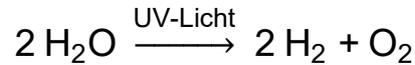
Geht man davon aus, dass in der Vergangenheit genügend flüssiges Wasser auf dem Mars vorhanden war, so könnten eisenhaltige Mineralien gerostet sein, so wie es auch auf der Erde passiert. Rosten ist eine stille Oxidation, wobei neben Wasser (H_2O) noch Sauerstoff (O_2) benötigt wird:



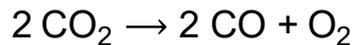


Der erforderliche Sauerstoff könnte aus verschiedenen Quellen stammen:

- direkt aus der Atmosphäre
- aus der Photolyse von Wasser, d. h. Wasser wird durch UV-Licht gespalten:

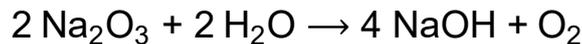
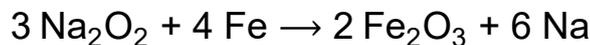


- oder aus dem Dissoziationsgleichgewicht von atmosphärischem Kohlenstoffdioxid (CO_2) [1]:



2. Reaktion von Eisen mit Peroxiden

- direkte Reaktion
- oder in Verbindung mit Wasser, z. B.:



Der dabei entstehende Sauerstoff könnte anschließend an „Rost-Reaktionen“ beteiligt sein [2].

Alle diese Reaktionen würden den Verlust von Wasser und Gasen (CO_2 , H_2 , u. a.) aus der Atmosphäre erklären. Noch hat man aber keine Vorstellung davon, welche Reaktionen sich wirklich abgespielt haben und welche Menge an Gasen in den Weltraum verloren ging [3].

Quellen:

1. Riedel, E.: Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 512
2. Riedel, E.: Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 427
3. http://quesr.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/water_release_of_Hydrogen_in_the_Atmosphere.txt; 21.03.1998

3 Natur-Phänomene (n)

3.1 Wolken

Frage: Gibt es irgendeine Art von Wolken in der Atmosphäre des Mars?

Antwort: *Mary Urquhart am 2. Mai 1997*

Wolken auf dem Mars sind nur schwer vergleichbar mit Wolken auf der Erde (die immer gewisse Menge an Wolken aufweist, so dass es sogar, wenn es klar ist dort wo man lebt, es an einen anderen Ort sehr bewölkt ist) und sind sehr dünn. Die meisten Wolken auf dem Mars sind Wolken aus Wasser-Eis, obwohl einige wahrscheinlich aus gefrorenem Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) bestehen.

Die meisten Wolken auf der Erde bestehen aus flüssigen Wasser-Tröpfchen. Dennoch bestehen einige, wie etwa Cirrus-Wolken, aus Wasser-Eis und gleichen mehr den Wolken auf dem Mars. Manchmal sind die Wolken auf dem Mars dem Boden sehr nah oder berühren sogar den Boden und werden zu Nebel, genau wie auf der Erde. Eine Zeichnung von Wolken auf dem Mars basierend auf einer Aufnahme von Viking kann man sich anschauen unter:



Und eine Aufnahme von Nebel in den Canyons auf dem Mars (am westlichen Ende des riesigen Mars-Canyon Valles Marineris) ist unter:

http://cass.jsc.nasa.gov/images/sred/sred_s19.gif; (verschollen)

Man kann auch Wolken auf Photos sehen, die vom Weltraum-Teleskop Hubble aufgenommen wurden, wie das Bild unter:

<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/jpeg/Mars95.jpg>; (verschollen)

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Mars_atmosphere.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Es gibt auf dem Mars auch Wolken, die aber nicht mit den uns bekannten Wolken auf der Erde vergleichbar sind. Es sind nicht so viele wie auf der Erde und sie sind sehr dünn. Außerdem bestehen die meisten Wolken auf dem Mars entweder aus

- „Wasser-Eis“: (fester Aggregat-Zustand des Wassers mit einer Dichte von $0,917 \text{ g/cm}^3$ bei 0°C [1])

- Trocken-Eis: Dabei handelt es sich um gefrorenes Kohlenstoffdioxid (CO_2), ein weißer Stoff mit einer Dichte von etwa $1,5 \text{ g/cm}^3$. CO_2 geht bei $-78,92^\circ\text{C}$ in die feste Phase, also in Trocken-Eis über [2, 3]

Das lässt sich dadurch erklären, dass die Atmosphäre des Mars sehr dünn ist und hauptsächlich aus CO_2 besteht und die Temperaturen auf dem Mars sich zwischen -10°C (Maximum) und -76°C (Minimum) bewegen [4].



Abb. 6: Wolken auf dem Mars, links abends, rechts morgens
Quelle: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/marspath_images.html;

Quellen:

1. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 67
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 139
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Mars_atmosphere.txt; 21.03.1998
4. <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/atmospheric.html>; 03.10.1998

3.2 Feuchtigkeit im Mars-Boden

Frage: Ich habe mir die Boden- und Gesteinsanalysen angeschaut, und es gibt keine Erwähnung von Feuchtigkeit oder Wasser im Boden. Auf einem der Farbfotos des Rovers, auf dem seine Reifen-Spuren vom Landemodul zu „Barnackle Bill“ und zu „Yogi“ führen (Foto #82018) sieht es aus, als ob der Boden ganz feucht wäre. Ist das Feuchtigkeit oder nicht?

Wenn Wasser-Dampf in der Atmosphäre sich befinden würde, würde er bei den niedrigen Temperaturen durchaus auf der Boden-Oberfläche oder den Steinen kondensieren. Ich bin sehr begierig darauf herauszufinden, ob es oberflächliches Wasser auf dem Mars gibt und ob die Reifen-Spuren des Rovers wirklich zeigen, was für mich wie feuchter Boden aussieht. Wie lautet die Interpretation der NASA-Wissenschaftler?

Viking-Fotos zeigten Kondensation von Wasser-Dampf über Nacht und seine Verdampfung während des Tages. Würden wir nicht ähnliche Phänomene bei Pathfinder erwarten?

Würde dies der Beweis für mikrobiologisches Leben sein?

Antworten: Bruce Jakosky am 14. August 1997

Die Instrumente auf Pathfinder und auf dem Rover sind nicht in der Lage, Wasser direkt zu messen. Zum Beispiel misst das APXS-Experiment am Rover quantitativ Elemente, nicht aber Verbindungen, und es ist nicht empfindlich genug, relativ kleine Mengen Wasser, die vorhanden sein würden, zu entdecken.

Es gibt Wasser in der Atmosphäre, aber die Atmosphäre ist zu kalt, um viel Wasser zu halten, so dass sie nur nachts wasserdampfgesättigt ist. Als Ergebnis der Anwesenheit von Wasser in der Atmosphäre gibt es adsorbiertes Wasser im Boden. Adsorbiertes Wasser wird sehr leicht in einer Einzelschicht von Wasser-Molekülen oder weniger an die einzelnen Boden-Partikel gebunden. Es gibt genügend Wasser, um den Boden als „feucht“ anzusehen.

Was ist also mit den Reifen-Spuren? Höchstwahrscheinlich durchwühlen die Räder den Boden und Rauen ihn auf. Das legt Material frei, das unter der Oberfläche liegt. Die Oberfläche hat vielleicht etwas hellen Staub aufliegen, so dass dies eine dunklere, unter der Oberfläche befindliche Kruste an Material zum Vorschein bringt. Das Gleiche passiert in meinem Garten, wenn ich glatten, gut festgetretenen Boden mit einer Hacke umgrabe - die neu aufgerissene Oberfläche ist dunkler.

Bruce Jakosky am 7. Oktober 1997

Obwohl es unter Umständen Wasser im Mars-Boden gibt, würde ich den Boden nicht „nass“ nennen. Vielmehr liegt das Wasser höchstwahrscheinlich in zwei Formen vor - chemisch gebundenes Wasser (Hydrationswasser, chemisch an Mineralien gebunden) und physikalisch gebundenes Wasser. Das physikalisch gebundene Wasser, auch bekannt als „adsorbiertes“ Wasser, besteht aus Wasser-Molekülen, die durch die van-der-Waals-Kräfte an die Boden-Partikel gebunden sind. Es ist typisch, dass die Bindungen stärker sind als in flüssigem Wasser und es ist nie mehr als eine einzelne Schicht von Wasser-Molekülen, die die Partikel bedeckt. Wenn die Atmosphäre nahe der Sättigung wäre, würde die Anzahl der Wasser-Schichten um die Körnchen steigen. Sollten sie dicker als einige Moleküle werden, würde es sich wie flüssiges Wasser verhalten und wir könnten es als flüssiges Wasser ansehen.

Ein weiterer Weg, dies auszudrücken ist, dass die Atmosphäre den größten Teil des Tages nicht mit Wasser-Dampf gesättigt ist. Wenn in den obersten paar Millimetern des Bodens flüssiges Wasser vorhanden wäre, würde es schnell verdampfen und sich in der Atmosphäre verteilen. Die Wasser-Moleküle, die zurückbleiben, werden stärker an die Körnchen gebunden, so dass sie nicht mehr verdampfen können.

Nehmen wir die primäre Funktion flüssigen Wassers in lebenden Organismen, nämlich die des Mediums, durch das Nährstoffe hineindiffundieren und Abfall-Produkte herausdiffundieren können, so ist es unwahrscheinlich, dass adsorbiertes Wasser das übernehmen kann. Dies ist nicht maßgebend für die Möglichkeit von Leben auf dem Mars. Trotzdem sollte man, um Leben zu finden, nach Orten Ausschau halten, an denen Wasser sowohl überhaupt als auch in flüssiger Form vorkommt. Das könnte tief unter der Oberfläche der Fall sein (wo die Temperaturen höher sind und die Diffusion an die Oberfläche verhindert wird) oder bei sehr jungem Vulkanismus (wo flüssiges Wasser in heißen Quellen oder hydrothermalen Systemen vorhanden sein könnte).

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Moisture_in_Mars_soil.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die Existenz von Wasser auf dem Mars ist ein sehr umstrittenes Thema, da die Instrumente auf Pathfinder und dem Rover nicht in der Lage waren, Wasser direkt zu messen. Deshalb gibt es weiterhin nur Spekulationen über die Menge an Wasser auf dem Mars und an welchen Orten eventuell fließendes Wasser zu finden wäre [1].

Sicher ist, dass es nur sehr wenig Wasser-Dampf in der Mars-Atmosphäre gibt, etwa 0,03%, der nachts als Reif auf der Mars-Oberfläche kondensiert. Dieser Wasser-Dampf adsorbiert am Boden [1], d. h. die Moleküle bleiben an seiner Oberfläche haften [2]. Adsorbiertes Wasser wird sehr leicht in einer Einzelschicht von Wasser-Molekülen an die einzelnen Boden-Partikel gebunden, was den Boden an manchen Stellen „feucht“ aussehen lässt. Dies geschieht durch van der Waals-Kräfte [1]. Die van-der-Waals-Kräfte kommen durch Anziehung zwischen temporären Dipolen zustande. Die Reichweite ist sehr gering - sie ist praktisch auf die nächsten Nachbarn beschränkt [3]. Trotzdem sind diese Bindungen stärker als flüssiges Wasser. Doch die Molekül-Schicht ist sehr dünn (höchstens eine Schicht), da die Atmosphäre nie mit Wasser gesättigt ist. Das ist auch der Grund, warum flüssiges Wasser an der Mars-Oberfläche sofort verdampfen würde und die zurückbleibenden Wasser-Moleküle, die an die Boden-Partikel adsorbiert vorliegen, noch stärker an diese gebunden werden [1].

Flüssiges Wasser kann an der Mars-Oberfläche nicht stabil sein, da der Druck mit 6,7 mbar zu hoch ist (nahe dem Tripelpunkt von Wasser) und die Temperatur zu niedrig (-76°C bis -10°C). D. h. es würde sofort verdampfen (sublimieren). Genauen Überblick darüber gibt folgendes Zustandsdiagramm.

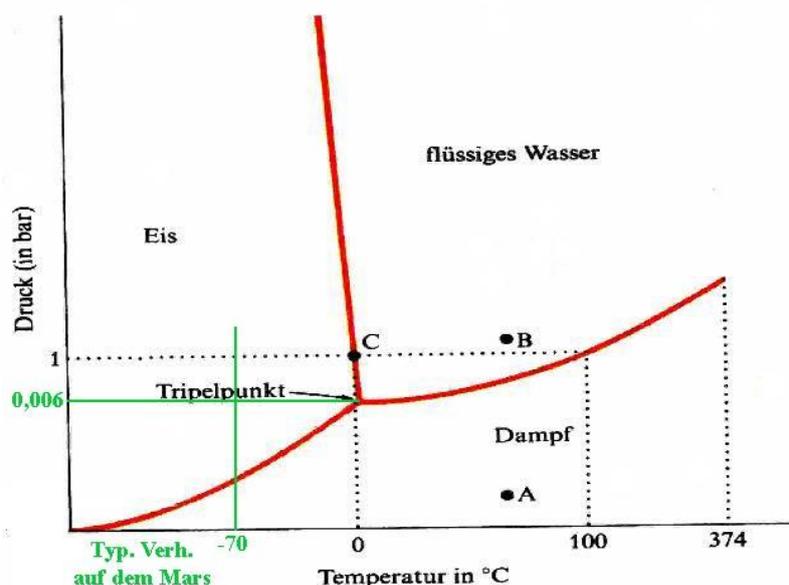


Abb. 7: Zustandsdiagramm des Wassers [4]

Da also Wasser an der Mars-Oberfläche nicht stabil sein kann (niedrige Temperaturen, hoher Druck), spekulieren die Wissenschaftler auf flüssiges Wasser tief unter der Oberfläche (wo die Temperaturen höher sind und eine Diffusion an die Oberfläche verhindert wird). Das wäre dann auch der Ort, an dem nach Spuren von Leben gesucht werden könnte. Die bedeutendste Funktion flüssigen Wassers in lebenden Organismen ist die des Mediums, durch das Nährstoffe hineindiffundieren und Abfall-Produkte herausdiffundieren können [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Moisture_in_Mars_soil.txt; 21.03.1998 (verschollen)
2. Mortimer, Chemie, Thieme-Verlag, 5. Auflage, 1987, S. 250
3. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 157
4. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 166

3.3 Eis und/oder Reif auf dem Mars

Frage: Wenn es auf dem Mars solche ungemütlichen Temperatur-Schwankungen gibt, sollte nicht Eis und/oder Reif auf der Ausrüstung von der Erde oder auf der Oberfläche des Planeten entstehen? Und wenn dem so ist, dann gibt es doch sicher Sauerstoff in dieser Feuchtigkeit.

Antwort; Jack Farmer am 22. Juli 1997

Während den Viking-Missionen wurde Reif entdeckt, der sich aus der Atmosphäre im Winter niederschlug und die Oberflächen der Steine bei der Landestelle und vermutlich auch das Landemodul bedeckte. Das Gleiche passiert wahrscheinlich auch wieder mit jedem Raumschiff, das auf dem Mars landet und teilweise sogar in höherem Ausmaß. Es gibt sehr wenig Sauerstoff in der gegenwärtigen Mars-Atmosphäre, nur etwa 0,13%. Die Atmosphäre enthält hauptsächlich Kohlenstoffdioxid (> 95%). Folglich enthält Mars-Reif eher Kohlenstoffdioxid- oder Wasser-Eis als Sauerstoff.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/ice_and_or_frost_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Reif bildet sich, wenn wärmere Luft auf einen kälteren Gegenstand trifft (Kondensation). Solcher Reif bildet sich auch auf dem Mars. Bei den Viking-Missionen wurde Reif auf der Oberfläche von Steinen bei der Landestelle entdeckt, der sich aus der Atmosphäre niederschlug. Da die Mars-Atmosphäre nur ca. 0,13% Sauerstoff enthält und hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid (> 95%) besteht, enthält Mars-Reif vorwiegend [Kohlenstoffdioxid-Eis \(Trockeneis\) oder Wasser-Eis](#) [1].

Quelle:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/ice_and_or_frost_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

3.4 Temperatur-Schwankungen auf dem Mars

Frage: Gibt es eine Hypothese bezüglich des Klima-Wechsels auf dem Mars von den früheren warmen (genug, um flüssiges Wasser zu haben) zu den vorherrschenden kalten Temperaturen? Wohin ist das ganze Wasser verschwunden?

Antworten: Jim Murphy am 15. Juli 1997

Ja, es gibt einige Hypothesen darüber, wieso der Mars in der Vergangenheit warm und nass und jetzt kälter und trockener wurde. Einige Theorien eines wärmeren Mars in der Vergangenheit berufen sich auf eine viel dichtere Atmosphäre aus Kohlenstoffdioxid, das einen bedeutenden Treibhaus-Effekt hervorrief, der die Oberflächen-Temperaturen über den Schmelzpunkt von Wasser ansteigen ließ. Zusätzlich könnten andere in Frage kommende Gase vorhanden gewesen sein, die die Erwärmung unterstützten. Wenn dieser CO₂-Treibhaus-Effekt zutrifft, dann stellt sich die Frage: Wo ist das ganze CO₂ geblieben? Etwas könnte sich in den Ozeanen gelöst haben (wenn diese vorhanden waren) und Carbonat-Gestein gebildet haben, aber der Beweis für solche Gesteine ist nicht gerade sehr überzeugend (dies behaupten wenigstens meine Geologen-Kollegen). Einige Forscher glauben, dass der Mars in der Vergangenheit nicht viel wärmer war, aber die Einschläge und die tektonischen Aktivitäten könnten enorme Lagerstätten von unterirdischem Eis geschmolzen haben, die dann talwärts flossen und die großen Flutkanäle formten, wie den, an dessen Eingang sich das Mars-Pathfinder-Landemodul befindet.

Jim Murphy \par Mars Pathfinder ASI/MET Science Team

Peter Thomas am 14. Juli 1997

Das Schicksal des Mars-Wassers ist eine der wichtigsten Fragen in der heutigen Mars-Forschung. Es gibt wirklich nur wenige Möglichkeiten (von denen alle wahrscheinlich dazu beitragen):

- Wasser lagert gegenwärtig unter der Oberfläche als Grundwasser. Der naheliegendste Ort wäre das Tief-Land in der nördlichen Hemisphäre, obwohl es über den ganzen Planeten verteilt sein könnte.
- Wasser ging ins Weltall verloren. Die Wasser-Moleküle wurden in der Atmosphäre in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten und letztendlich verflüchtigte sich der Wasserstoff ins All.
- Wasser liegt gebunden an die Mineralien auf der Oberfläche vor.

Jack Farmer am 17. Juli 1997

Wir haben viele grundlegende Beobachtungen auf dem Mars gemacht, die den Schluss zulassen, dass einst reichlich Wasser über die Oberfläche geflossen sein muss. Insbesondere sind das die vielen netzartig angelegten Täler und die riesigen Flut-Kanäle wie Ares Vallis, in dem Pathfinder gelandet ist. Aber über diese grob gezeichnete Schilderung hinaus ist die Theorie vom Wasser auf dem Mars weit von einer Vollständigkeit entfernt. Als nächstes sollten wir auf jeden Fall untersuchen, wie viel Wasser heute noch in der Mars-Kruste als Eis oder Grundwasser vorhanden ist. Auch sind wir uns noch nicht einig, wie viel Wasser es in der frühen Geschichte des Mars gab. Viele Leute glauben, dass es immer viel weniger Wasser auf dem Mars gab, als auf der Erde, aber der Planet muss zu gewissen Zeiten in seiner Geschichte ganz schön nass gewesen sein, um die ganzen Kanal-Strukturen zu erklären, die wir sehen.

Wohin ist also das ganze Wasser verschwunden? Nun ja, etwas davon (wieviel ist immer noch unklar) befindet sich noch immer in der Mars-Kruste und an den Pol-Kappen als Wasser-Eis. Einiges ist wahrscheinlich in der Tiefe zu finden als flüssiges Wasser im Untergrund (Grundwasser). Es befindet sich ein kleines bisschen in der Atmosphäre als Dampf und etwas ist wohl gebunden an hydratisierte Mineralien, z. B. Tone. Aber es gibt

Beweise, dass viel von dem ursprünglichen Wasser ins All verloren ging. Die Mars-Atmosphäre ist angereichert mit „schwerem“ Wasserstoff (Deuterium), von dem man glaubt, dass er durch Photolyse (Prozess, bei dem Licht-Energie die Spaltung von Verbindungen herbeiführt, in diesem Fall Wasser) in der oberen Atmosphäre konzentriert wurde. Der Wasserstoff des H₂O-Moleküls wird bei diesem Prozess frei und verflüchtigt sich, weil er so leicht ist (Atomgewicht 1) aus der obersten Atmosphäre in den Weltraum. Die schwerere Version von Wasserstoff (Deuterium) zeigt die Tendenz sich länger aufzuhalten und wird als Folge konzentrierter. Und der Sauerstoff im H₂O bleibt übrig und verbindet sich eventuell mit dem Oberflächen-Gestein und den Mineralien und bildet so Eisenoxide oder „Rost“. Das ist es, was den Mars rot erscheinen lässt.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Mars_temperature_changes.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Viele Wissenschaftler vertreten die Meinung, dass auf dem Mars in der Vergangenheit ein wärmeres Klima herrschte. Das konnte jedoch nur der Fall gewesen sein, wenn sich genügend Treibhaus-Gase in der Atmosphäre befanden und einen Treibhaus-Effekt ausgelöst haben [1].

Der Treibhaus-Effekt wird durch das Vorhandensein einer Atmosphäre verursacht. Der größte Teil der infraroten Strahlung aus dem All wird von Spuren-Gasen der Atmosphäre absorbiert, als Wärme-Energie in der Atmosphäre gespeichert und von dort zum Teil an die Oberfläche des Planeten zurückgestrahlt. Es kommt zu einem „Wärmestau“ und dadurch zu einer Erhöhung der mittleren Temperatur der Planeten-Oberfläche. Die wichtigsten Spuren-Gase (auf der Erde) sind H₂O-Dampf, CO₂, N₂O, CH₄ und troposphärisches O₃. Die Wirkung der Treibhaus-Gase beruht darauf, dass sie sichtbares Licht nicht absorbieren, aber für IR-Strahlung starke Absorptionsbanden existieren. Das wichtigste klimarelevante Spuren-Gas ist CO₂ [2].

Es müsste also eine dichte CO₂-Atmosphäre auf dem Mars vorhanden gewesen sein, um die Temperatur über den Gefrierpunkt von Wasser steigen zu lassen. So wäre auch flüssiges Wasser an der Mars-Oberfläche stabil gewesen, was heute wegen der niedrigen Temperaturen und dem hohen Luft-Druck nicht möglich ist. Flüssiges Wasser muss aber vorhanden gewesen sein, wie die vielen Flut-Kanäle und Becken der Mars-Oberfläche belegen. Natürlich ergibt sich die Frage, wo das ganze CO₂ geblieben ist. Eine Erklärung wäre, dass es sich in eventuell vorhandenen Ozeanen gelöst und Carbonate gebildet hat. Das ist jedoch nicht bewiesen [1].

Einige Wissenschaftler sind aber auch der Meinung, dass es auf dem Mars in der Vergangenheit nie wärmer war als heute. Sie erklären die Flut-Kanäle und Becken damit, dass durch Asteroiden-Einschläge und tektonische Aktivitäten (Vulkanismus) unterirdisches Eis geschmolzen ist [1].

Geht man nun davon aus, dass die Temperaturen wirklich höher waren und fließendes Wasser auf der Mars-Oberfläche vorhanden war, stellt sich natürlich die Frage, wo das ganze Wasser geblieben ist. Ein Teil könnte unterirdisch als Grundwasser existent sein, ein anderer Teil befindet sich im Wasser-Eis der Pol-Kappen, etwas ist als Wasser-Dampf in der Atmosphäre und an die Mineralien der Oberfläche gebunden (durch van-der-Waals-Kräfte adsorbiert) und ein weiterer Teil könnte durch Photolyse (Aufspaltung durch UV-Licht) in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten worden sein. Der leichte Wasserstoff könnte ins All verloren gegangen sein, während das schwerere Wasserstoff-Isotop Deuterium in der Mars-Atmosphäre verblieben ist. Und der frei gewordene Sauerstoff könnte mit den eisenhaltigen Mineralien zu Eisenoxid (Fe₂O₃) reagiert haben [1].

Der größte Teil beruht jedoch auf Spekulationen und man wird noch weitere Mars-Missionen abwarten müssen, um etwas mehr Licht in das Dunkel zu bringen.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Mars_temperature_changes.txt;
21.03.1998
2. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 617

3.5 Gase in den Pol-Kappen

Frage: Wie viel Gas befindet sich in den Eis-Kappen des Mars und wie heißen sie?

Antwort: *Bruce Jakosky am 10. Mai 1997*

Die Pol-Kappen des Mars bestehen aus einigen verschiedener Eis-Sorten (die nichts weiter als Gase sind, die in die feste Form gefroren sind). Eines davon ist Wasser (H_2O) und das andere ist Kohlenstoffdioxid (CO_2). Das Wasser-Eis ist das gleiche, das wir aus dem Kühlschrank bekommen. Kohlenstoffdioxid-Eis wird auf der Erde verwendet; es ist bekannt als Trockeneis, weil es nicht schmilzt, sondern direkt vom Feststoff zum Gas wird. Auf dem Mars gehen beide, Wasser- und Kohlenstoffdioxid-Eis, direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über, wenn sie erhitzt werden; bei den niedrigen Temperaturen und Drücken, die auf dem Mars herrschen, schmilzt sogar Wasser nicht, bevor es Gas wird. Wir beobachten das gleiche auf der Erde, wenn es im Winter schneit. Der Schnee sammelt sich auf dem Boden und ein Teil verschwindet, obwohl die Temperatur nie über den Schmelzpunkt steigt; er sublimiert direkt vom Feststoff zum Gas.

Es könnten noch andere Gase in geringen Mengen im Eis eingeschlossen sein. Trotzdem sind sie nicht wichtig für das Verständnis des herrschenden Mars-Klimas. Außerdem wurden sie nicht direkt untersucht.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Mars_s_ice_caps.txt; 21.03.1998 (verschollen)

Die Quelle ist sehr alt und leider nicht mehr vorhanden. Wer trotzdem mehr wissen will sollte unter <http://quest.arc.nasa.gov/mars/> zu suchen anfangen.

Hintergrund-Information: Nord- und Südpol des Mars sind, wie auf der Erde, von einer Eis-Schicht bedeckt und bilden die Pol-Kappen. Diese polare Deckschicht besteht aus zwei verschiedenen Eis-Sorten, in diesem Fall Gase, die in die feste Form „gefroren“ sind: Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O).

Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses, unbrennbares und geruchloses Gas der Dichte $1,977g/L$ ($0^\circ C$) und ist damit anderthalbmal dichter als Luft. Sein Schmelzpunkt liegt bei $-57^\circ C$ ($518,5 kPa$) und sein Sublimationspunkt bei $-78,5^\circ C$. Es hat die kritische Temperatur $31,06^\circ C$, den kritischen Druck $7,383 MPa$ und die kritische Dichte $0,464g/L$ [1]. Kohlenstoffdioxid-Eis ist auf der Erde als Trockeneis bekannt, weil es nicht schmilzt, sondern direkt vom Feststoff zum Gas sublimiert [2]. Bei den niedrigen Temperaturen (Minimum $-76^\circ C$), die auf dem Mars herrschen, gefriert das Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre zu Trockeneis und lagert sich an den Polen ab.

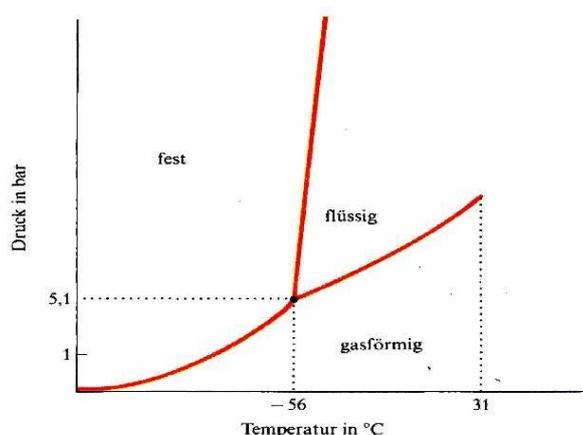


Abb. 8: Zustandsdiagramm von CO_2 [3]

Wasser ist eine sehr stabile chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff: H_2O . Seine Dichte beträgt $1,000 g/cm^3$ ($3,98^\circ C$), sein Gefrierpunkt liegt bei $273,15 K$ ($0^\circ C$) und sein Siedepunkt bei $373,15 K$ ($100^\circ C$). Eis ist der feste Aggregat-Zustand des Wassers

[4]. Das Wasser-Eis auf dem Mars ist das gleiche, das wir aus dem Gefrierschrank bekommen, nur geht es beim Erhitzen auf dem Mars direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über, da Temperaturen (Minimum -76°C) und Drücke (6,7 mb) so niedrig sind [2]. Anhand des Zustandsdiagramms von Wasser wird das deutlich.

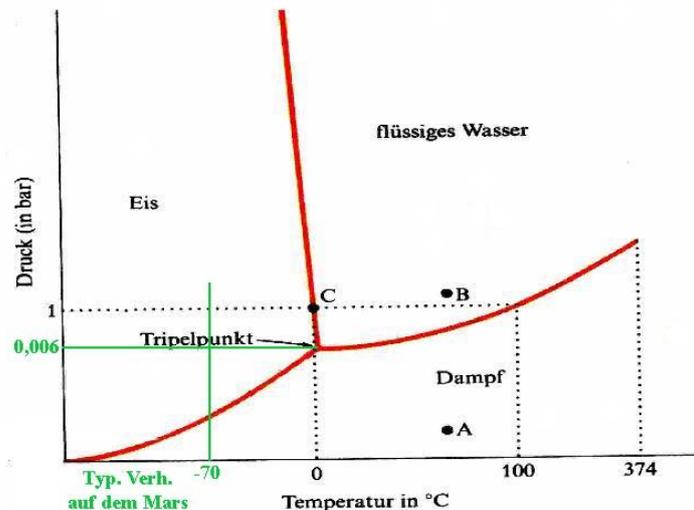


Abb. 9: Zustandsdiagramm von Wasser [5]

Es könnten noch andere Gase in geringen Mengen im Eis eingeschlossen sein, aber sie wurden nie direkt untersucht [2].

Quellen:

1. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2191
2. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Mars_s_ice_caps_.txt; 21.03.1998 (verschollen)
3. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 168
4. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 67
5. Atkins, Einführung in die Physikalische Chemie, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage, 1993, S. 166

3.6 Gefrorenes Kohlenstoffdioxid in den Pol-Kappen

Frage: Wie gelangte Kohlenstoffdioxid in die Eis-Kappen des Mars?

Antworten: *Mary Urquhart am 2. April 1997*

Eine gute Frage. Wenn es auf der Erde Winter ist, verwandelt sich in der nördlichen Hemisphäre Wasser auf der Oberfläche (z. B. dem Meerwasser) und in der Atmosphäre in der Arktis in Eis und es entsteht eine Pol-Kappe. Ein Teil des Eises bleibt das ganze Jahr über gefroren. Dasselbe passiert am Süd-Pol während des Winters (wenn es am Nord-Pol Sommer ist).

Während eines Mars-Winters ist die Temperatur am Pol „sehr“ niedrig (ungefähr -70°C oder 145 K, was viel kälter ist als der Nord- und Südpol auf der Erde im Winter). Weil es so kalt ist, gefriert Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre (Entstehung von Trockeneis) und sammelt sich am Boden nahe der Pole mit dem Wasser-Eis. Das Eis (Trockeneis und Wasser-Eis) baut die Pol-Kappen auf. Wie auf der Erde bleibt ein Teil des Eises in den Pol-Kappen sogar im Sommer bestehen.

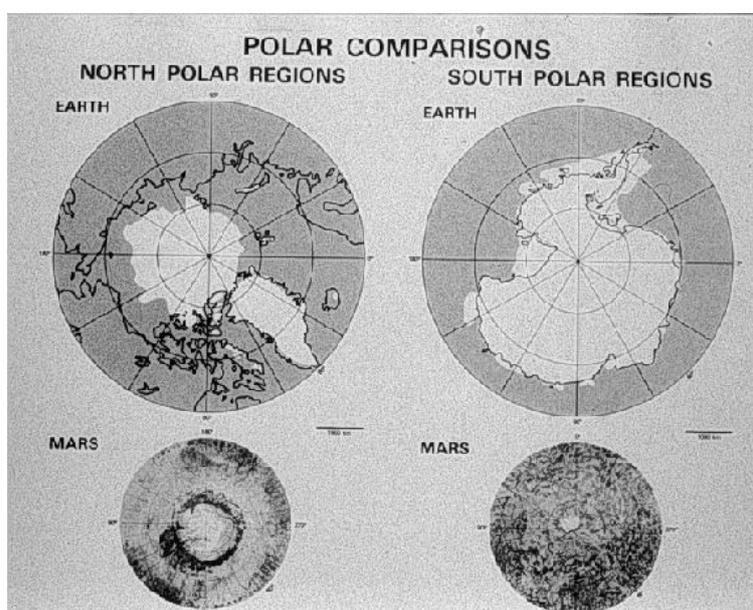


Abb. 10: Bilder von den nördlichen und südlichen Pol-Kappen des Mars im Vergleich mit der Erde. Sie wurden während des Sommers von jeder Hemisphäre aufgenommen.

Quelle: http://cass.jsc.nasa.gov/images/sred/sred_S23.jpg

Mary Urquhart \par Laboratory for Atmospheric and Space Physics

University of Colorado at Boulder

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Freezing_of_Carbon_Dioxide_in_Martian_Poles.txt, 21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Während des Mars-Winters beträgt die Temperatur an den Polen etwa -76°C . Da die Atmosphäre hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid (CO_2) besteht, dessen Sublimationspunkt bei $-78,92^{\circ}\text{C}$ liegt, gefriert es in der Atmosphäre (Entstehung von Trockeneis) und sammelt sich am Boden nahe der Pole, die schon mit Wasser-Eis bedeckt sind. Wasser gefriert bereits bei 0°C und da die Temperatur nie über -10°C steigt, bleibt es das ganze Jahr gefroren und bildet die Polar-Kappen [1].

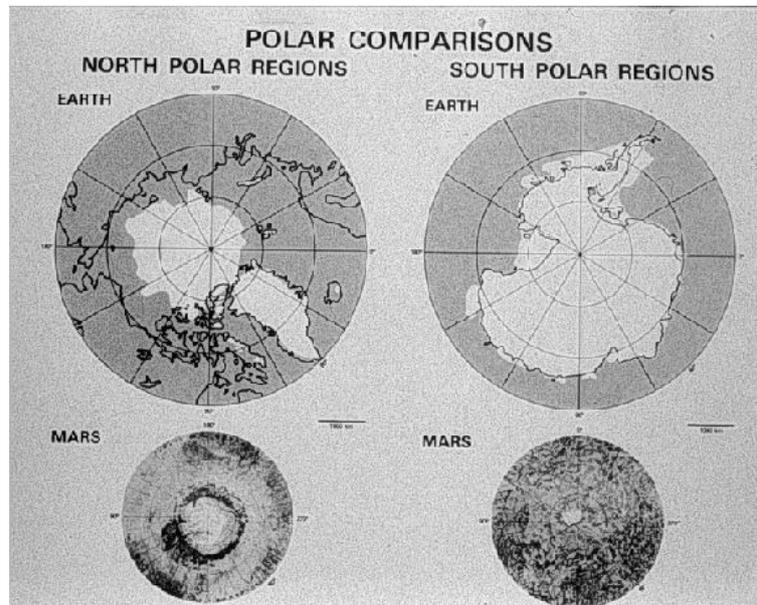


Abb. 11: Bilder von den nördlichen und südlichen Pol-Kappen des Mars im Vergleich mit der Erde. Sie wurden während des Sommers von jeder Hemisphäre aufgenommen.

Quelle: http://cass.jsc.nasa.gov/images/sred/sred_S23.jpg

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Freezing_of_Carbon_Dioxide_in_Martian_Poles.txt; 21.03.1998 (verschollen)

3.7 Farbe des Himmels

Frage: Wenn auf dem Mars völlige Wind-Stille herrscht, so dass keine Staub-Partikel aufgewirbelt werden, welche Farbe würde der Mars-Himmel um die Mittagszeit und in der Dämmerung haben? Kommt dies wirklich jemals vor?

Antworten: *Mary Urquhart am 14. Juli 1997*

Eine gute Frage. Sie haben vollkommen recht mit ihrer Überlegung, dass das Fehlen des Staubes die Farbe des Mars-Himmels ändern würde. Ohne jeglichen Staub in der Atmosphäre würde der Himmel wahrscheinlich mittags dunkelblau sein (dunkler als der Himmel auf der Erde, weil die Atmosphäre viel dünner ist und deshalb weniger Luft-Moleküle das blaue Licht brechen). In der Dämmerung würde der Himmel wahrscheinlich einen leichten Rot-Stich im Westen haben, wenn die Mars-Wolken das Sonnen-Licht teilweise reflektieren. Die Erklärung für die rote Farbe würde die gleiche wie auf der Erde sein. Gas-Moleküle brechen das blaue Licht und wenn man bei Sonnen-Untergang in die Sonne schaut, blickt man durch mehr Gas-Moleküle, weil die Sonne näher am Horizont ist. Indem das blaue Licht herausgefiltert wird, erscheint das verbleibende Licht rötlich. Noch einmal: dieser Effekt ist wenig mit dem auf der Erde zu vergleichen, weil in der Atmosphäre des Mars weniger Gas vorhanden ist.

Mary Urquhart; Laboratory for Atmospheric and Space Physics; University of Colorado at Boulder

Jim Murphy am 15. Juli 1997

Das ist eine großartige Frage über die Farbe des Mars-Himmels und schwebenden Staub und wir hier vom Pathfinder Meteorologen-Team haben eine ganze Weile damit verbracht, darüber zu sprechen. Wenn die Mars-Atmosphäre völlig frei von Staub wäre, glaube ich, dass der Himmel ein bisschen dunkler sein würde als hier auf der Erde. Wenn Sie je mit einem Flugzeug bei 10.000 – 12.000 Metern während des Tages geflogen sind und den Himmel betrachtet haben, könnten sie bemerkt haben, dass er viel dunkler erscheint als vom Erd-Boden aus, besonders wenn man an der Sonne vorbei schaut. Dieser dunklere Eindruck kommt teilweise von der geringeren Brechung des Lichts in diesen Höhen (geringer Luftdruck... wie auf der Mars-Oberfläche!) verglichen mit der viel größeren Anzahl an Molekülen, an die das Sonnen-Licht auf seinem Weg zur Oberfläche stoßen kann. Blaues Licht wird wirkungsvoller durch die Moleküle gebrochen als das langwelligere Rotlicht, weshalb der Himmel blau erscheint.

Ich erwarte nicht, dass die Mars-Atmosphäre, während der Pathfinder-Mission auf der Oberfläche völlig klar sein wird. Tatsächlich erwarte ich, dass der atmosphärische Staub zunehmen wird, wenn der Sommer in den Herbst übergeht. Aber wenn die Atmosphäre rein wäre (Ich habe Wind-Vorhersagen in Voraus ;-), würde der Himmel blauer sein, aber nicht das helle Blau, das wir auf der Erde an einem schönen Tag kennen. Wie auch immer wäre es ein schönes Bild vom Mars.

Jim Murphy \par Mars Pathfinder ASI/MET Science Team

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Color_of_sky_without_dust.txt; 14.03.1998(verschollen)

Hintergrund-Information: Das Licht ist elektromagnetische Strahlung im Empfindungsbereich des menschlichen Auges, das etwa im Frequenz-Bereich 4×10^{14} bis 8×10^{14} Hz (sichtbare Spektrum). Die verschiedenen Frequenzen des sichtbaren Spektrums vermitteln dem Auge verschiedene Farb-Eindrücke (Spektral-Farben) [1].

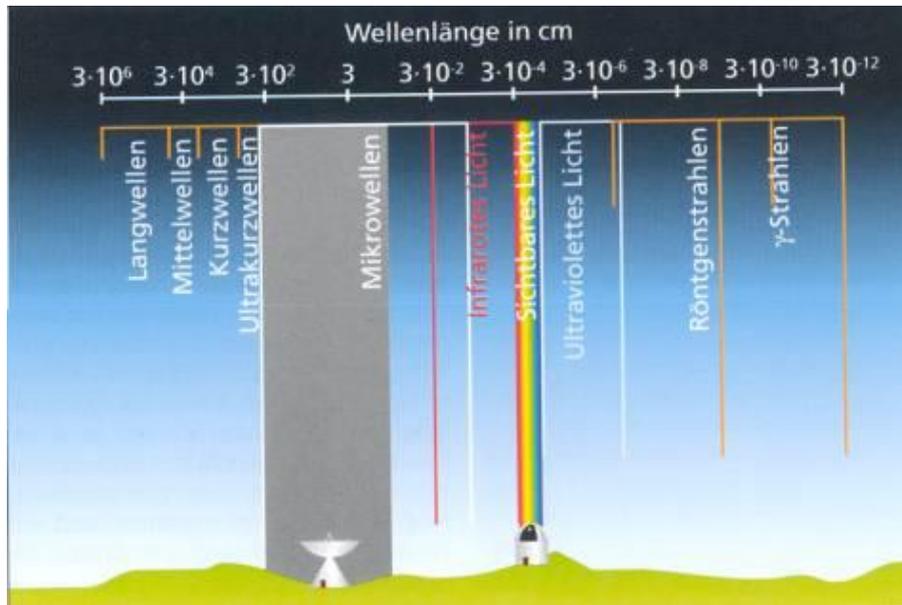


Abb. 12: Strahlungsarten des elektromagnetischen Spektrums [1]

Die Farbe des Himmels auf dem Mars ohne Staub-Beeinträchtigung würde mittags wahrscheinlich dunkelblau sein und in der Dämmerung hätte der Himmel wohl einen Rot-Stich im Westen, da das Sonnen-Licht teilweise durch Wolken reflektiert wird. Die rote Farbe entsteht dadurch, dass die Gas-Moleküle der Atmosphäre das blaue Licht brechen und wenn man bei Sonnen-Untergang Richtung Horizont blickt, die Sonne also tief steht, schaut man durch mehr Gas-Moleküle (Atmosphäre ist in Bodennähe dichter!), d. h. das Licht wird stärker gebrochen. Dadurch, dass mehr blaues Licht herausgefiltert wird als bei Tag erscheint das verbleibende Licht rötlich. Die blaue Farbe des Himmels entsteht dadurch, dass blaues Licht wirkungsvoller durch die Moleküle der Atmosphäre gebrochen wird als das langwelligere rote Licht [2].

Quellen:

1. Herrmann, Die Kosmos Himmelskunde für Einsteiger, Kosmos-Verlag, 1. Auflage, 1999, S. 21
2. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Color_of_sky_without_dust.txt; 14.03.1998 (verschollen)

3.8 Feuer auf dem Mars

Frage: Kann man auf dem Mars Feuer anzünden?

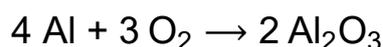
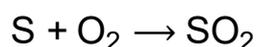
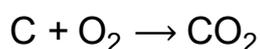
Antwort: *Mary Urquhart am 3. April 1997*

Man kann auf dem Mars keine Feuer anzünden, weil es in der Atmosphäre keinen Sauerstoff gibt, der mit dem Stoff, den man verbrennen möchte, reagieren könnte. Feuer ist eine chemische Reaktion, bei der sich Sauerstoff mit anderen Substanzen verbindet und Hitze und Abfall-Produkte entstehen (wie Kohlenstoffdioxid und Ruß, wenn man Holz verbrennt).

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Combustion_on_Mars.txt;
21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Feuer ist eine chemische Reaktion, bei der sich Sauerstoff (O₂) mit anderen Substanzen verbindet und Hitze und Abfall-Produkte entstehen (wie Kohlenstoffdioxid und Ruß, wenn man Holz verbrennt) [1]. Dabei handelt es sich um eine stark exotherme, also energie-liefernde Reaktion, die von selbst abläuft, nachdem sie durch anfängliches Erhitzen in Gang gesetzt wurde („Verbrennung“) [2].

Beispiele:



Sauerstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Es ist nur als zwei-atomiges Molekül O₂ stabil [3]. Da zu jeder Verbrennung genügend Sauerstoff vorhanden sein muss, ist es auf dem Mars nicht möglich, ein Feuer anzuzünden. Es gibt in der Mars-Atmosphäre kaum Sauerstoff (ca. 0,13%), der mit einer Substanz reagieren könnte.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Combustion_on_Mars.txt;
21.03.1998
2. Mortimer, Chemie, Thieme-Verlag, 5. Auflage, 1987, S. 376
3. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 173

4 Geochemie (g)

4.1 Kruste, Mantel und Kern

Frage: Hat der Mars eine Kruste, einen Mantel und einen Kern wie die Erde?

Antworten: *Internet am 13. Januar 1997*

<http://seds.lpl.arizona.edu/nineplanets/nineplanets/mars.html>; (verschollen)

Das Innere des Mars kennt man nur aus indirekten Schlussfolgerungen aus Daten über die Oberfläche und Zahlen zu den Abmessungen des Planeten. Am wahrscheinlichsten ist ein dichter Kern mit einem Radius von ungefähr 1.700 km, ein geschmolzener Stein-Mantel, etwas dichter als der der Erde, und eine dünne Kruste. Das Fehlen eines globalen Magnet-Feldes spricht dafür, dass der Mars-Kern wohl fest ist. Die relativ geringe Dichte des Mars im Vergleich zu anderen erd-ähnlichen Planeten lässt darauf schließen, dass der Kern wahrscheinlich einen relativ großen Anteil an Schwefel in Verbindung mit Eisen (Eisen und Eisensulfid) enthält.

Wie auf Merkur und dem Mond scheint es auf dem Mars tektonische Platten-Bewegungen nicht zu geben; es gibt keinen Beweis einer horizontalen Bewegung der Oberfläche, wie etwa die gefalteten Gebirge überall auf der Erde. Ohne laterale Platten-Bewegung verbleiben heiße Punkte über der Kruste starr an einer Stelle. Das, zusammen mit der geringen Oberflächen-Gravitation, könnte für das Tharsis-Becken und seine mächtigen Vulkane verantwortlich sein.

Jeff Plescia am 31. Januar 1997

Die Annahme ist, dass der Kern des Mars aus Eisen besteht. Aber wir wissen es nicht. Wir leiten das von der Form des Planeten und seiner Gravitation ab. Wir können nur die Oberfläche sehen und haben keine Proben aus dem Inneren. Es ist die gleiche Methode, die wir für die Erde anwenden. Es gibt die Hypothese, dass der Kern der Erde aus Eisen ist (einem inneren festen Eisen-Kern und einem äußeren flüssigen).

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/core_of_mars.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Obwohl es keine Proben aus dem Innern der Erde gibt (die Rekord-Bohrung auf der russischen Halb-Insel Kola wurde 1991 bei einer Tiefe von 12.601 Metern stillgelegt, [6]) existiert eine ziemlich klare Theorie darüber, wie der Planet aufgebaut ist.

Der innere Aufbau der Erde ist schalenförmig gegliedert in

- **Kruste** (bis etwa 40 km Tiefe)
- **Mantel**, unterteilt in oberen (bis 1.000 km) und unteren (bis 2.900 km)
- **Kern**, unterteilt in äußeren (bis 5.000 km) und inneren (bis zum Erd-Mittelpunkt bei 6.370 km)

Dieses Bild gründet sich auf Vergleiche mit Hochdruck-Experimenten, astronomischen Beobachtungen und auf die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Erdbeben-Schwingungen.

Die Vorstellungen über den Aufbau des Kerns, auch Bary- oder Siderosphäre genannt, sind recht verschieden:

1. reine Sonnen-Materie
2. ein Nickel-Eisen-(Nife-)Kern
3. eine Verdichtung und Sprengung aller Atom-Hüllen, bis rein metallische Zustände erreicht sind.

Für den Erd-Mantel werden vor allem Hochdruck-Modifikationen von Eisen-Silicium-Magnesium-Mineralien angenommen. Die häufigsten Elemente in der obersten Kruste sind außer Sauerstoff die Elemente Silicium und Aluminium, sie bilden die **Sial-Zone**. Unter dem Bereich der Sial-Zone liegt der Bereich mit vorwiegend basaltischen Gesteinen, deren Chemismus silicium- und magnesiumbetont ist, wovon der Name **Sima-Zone** abgeleitet ist [1].

Nach neueren Studien geht man inzwischen davon aus, dass der Erd-Kern aus Nickel und Eisen bestehen muss und der Planet daher über ein Magnet-Feld verfügt, das im Wesentlichen durch gewaltige elektrische Ströme im Erd-Inneren verursacht wird [2].

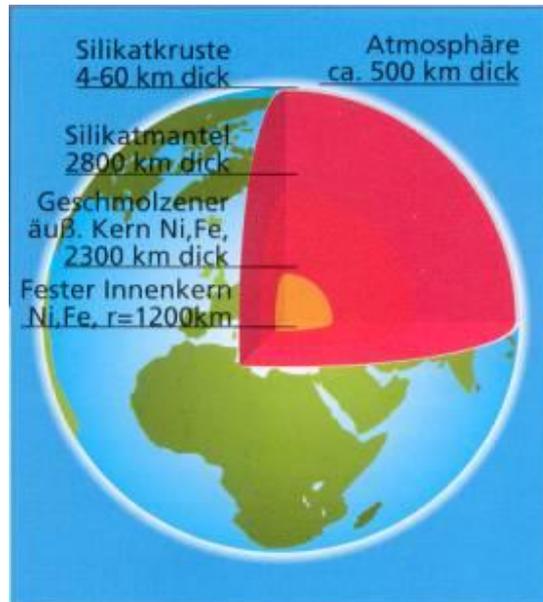


Abb. 13: schematischer Aufbau der Erde [2]

Abgeleitet von diesen Erkenntnissen des Aufbaus der Erde und aus Schlussfolgerungen von Daten über Oberfläche und Größen-Statistiken des Mars (siehe Tab. 9) gibt es auch eine Theorie über den Aufbau des roten Planeten.

Äquator-Durchmesser [km]	6.794
relative Masse (Erde= 1)	0,107
mittlere Dichte [g/cm ³]	3,93
Eigen-Rotation [h]	24,02
Bahn-Neigung (Ekliptik in Grad)	23°59'

Tab. 9: Der Mars in Zahlen [3]

Demnach ist ein dichter Kern mit einem Radius von 1.700 km, mit einem geschmolzenen Stein-Mantel (etwas dichter als der der Erde) und einer dünnen Kruste am wahrscheinlichsten. Das Fehlen eines globalen Magnet-Feldes zeigt an, dass der Mars-Kern wohl fest ist. Die relativ geringe Dichte des Mars im Vergleich zu anderen erd-ähnlichen Planeten lässt darauf schließen, dass der Kern wahrscheinlich einen relativ großen Anteil an Schwefel und Eisen enthält [4]. Es könnte sich um Eisen(II)-sulfid (Schwefeleisen, FeS) handeln; es bildet metallisch glänzende, hexagonale Kristalle, die in reinem Zustand farblos, sonst aber schwarzbraun sind. FeS kommt auf der Erde als Magnetkies und in Meteoriten als Troilit vor [5]

Quellen:

1. Harder, Lexikon für Mineralien- und Gesteinsfreunde, Bucher-Verlag, 1. Auflage, 1977, S. 54f.
2. Herrmann, Die Kosmos Himmelskunde für Einsteiger, Kosmos-Verlag, 1. Auflage, 1999, S. 49
3. Herrmann, Die Kosmos Himmelskunde für Einsteiger, Kosmos-Verlag, 1. Auflage, 1999, S. 57
4. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/core_of_mars.txt; 13.03.1998 (verschollen)
5. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 254
6. <http://www.sueddeutsche.de/wissenschaft/bohr/bohr1.htm>; 04.12.1999 (verschollen)

4.2 Unterschied zwischen Mars und Erd-Gestein

Frage: Legt man viele Steine von der Erde in einen Eimer und einen vom Mars, könnte man ihn erkennen?

Antwort: *Jack Farmer am 20. November 1996*

Die Antwort ist ja! Mars-Gestein ist angereichert mit Schwefel und Eisen, also könnten wir es wohl auf diese Weise herausfinden. Zusätzlich könnte man den Mars-Stein anhand seines Gehalts an bestimmten Isotopen identifizieren.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/rocks_on_mars_differently_from_earth.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die Unterscheidung von Erd- und Mars-Gestein ist relativ einfach, da Mars-Gestein mit Schwefel und Eisen angereichert ist und auch die unterschiedlichen Isotope bei der Unterscheidung helfen [1]. Isotope sind Nuklide gleicher Kernladungszahl (Protonen-Zahl), aber unterschiedlicher Anzahl der im Kern enthaltenen Neutronen und damit unterschiedlicher Massen-Zahl (Nukleonen-Zahl) [2].

Praktisch geschieht eine solche Unterscheidung mit einem Massen-Spektrometer. Dabei wird die Probe ionisiert und im elektrischen Feld beschleunigt. Durch die Ablenkung in einem elektrischen und anschließend in einem magnetischen Feld erreicht man, dass nur Teilchen mit gleicher spezifischer Ladung (Quotient aus Ladung und Masse) an eine bestimmte Stelle gelangen und dort z. B. photographisch nachgewiesen werden können. Die Teilchen werden also nach ihrer Masse getrennt, man erhält ein Massen-Spektrum. Die Massen-Spektroskopie dient nicht nur zur Bestimmung der Anzahl, Häufigkeit und Atom-Masse von Isotopen, sondern auch zur Ermittlung von Spuren-Verunreinigungen, zur Analyse von Verbindungsgemischen, zur Aufklärung von Molekül-Strukturen und Reaktionsmechanismen [3].

Durch Untersuchungen von Mars- und Erd-Gestein nach dieser massenspektroskopischen Methode erhält man folgende Zusammensetzungen:

	Mars-Boden w[%]	Erd-Kruste w [%]
MgO	8,6	3,1
Al ₂ O ₃	10,1	15,2
SiO ₂	43,8	60,2
K ₂ O	0,7	2,9
CaO	5,3	5,5
TiO ₂	0,7	0,7
MnO	0,6	0,1
FeO	17,5	6,05
FeO/MnO	29,2	-

Tab. 10: Zusammensetzung des Mars- und Erd-Gesteins [4]

Anhand dieser Tabelle werden vor allem die Massenanteil-Unterschiede von Eisen(III)-oxid und Siliciumoxid deutlich.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/rocks_on_mars_different_from_earth.txt; 13.03.1998 (verschollen)
2. Römpp-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 3, 10. Auflage, 1997, S. 2015
3. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 9
4. http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/apxs_comparison.html; 22.05.1999 (verschollen)

4.3 Meteoriten vom Mars

Frage: Woher wissen Sie, ob ein bestimmter Meteorit vom Mars stammt?

Antworten: *Cheick Diarra am 19. September 1996*

Die meisten Mars-Meteoriten sind 1,3 Milliarden Jahre alt oder jünger, viel jünger als typische magmatische Meteoriten von Asteroiden, die 4,5 Milliarden Jahre alt sind. Sie haben auch einen höheren Anteil an flüchtigen Stoffen als magmatische Meteoriten. Der entscheidende Beweis, dass ein Meteorit vom Mars stammt, kommt von den in seinem Inneren eingeschlossenen Gasen. Diese Gase sind die gleichen, die Viking in der Mars-Atmosphäre gemessen hat.

Für weitere Informationen schauen Sie unter URL

<http://www.jsc.nasa.gov/pao/flash/marslife/index.html> (verschollen)

Jeff Plescia am 10. März 1997

Es gibt inzwischen ungefähr ein Duzend Meteoriten, von denen wir annehmen, dass sie vom Mars stammen. Alle sind aus magmatischem Gestein (was bedeutet, dass sie durch Abkühlen von geschmolzenem Gestein entstanden sind – entweder auf der Oberfläche oder in den Untergrund eingeflossenen Lava).

Wir glauben aus mehreren Gründen, dass sie vom Mars sind:

1. **Alter:** Diese Meteoriten verfestigen sich aus einem flüssigen Stadium von ungefähr 200 Millionen Jahren bis zu über 4 Milliarden Jahren. Das jüngere Alter (200 Millionen Jahre) zeigt an, dass sie von einem Körper kommen, der fähig war, zu dieser Zeit Lava zu produzieren. Asteroiden und der Mond waren vor 200 Millionen Jahren geologisch inaktiv, weshalb ein großer Planet in Betracht gezogen wird (aber nicht unbedingt der Mars).
2. **eingeschlossenes Gas:** Als die Steine vom Mars geschleudert wurden, wurde etwas von der Atmosphäre im Gestein eingeschlossen. Als die Meteoriten auf der Erde untersucht wurden, entdeckte man, dass das Gas die gleiche Zusammensetzung wie die Mars-Atmosphäre hat (wie die Messungen der Viking-Missionen 1976 zeigten).
3. **Isotopen-Zusammensetzung:** Jedes Element hat eine spezifische Zahl an Verwandten, die sehr ähnlich sind, dieselben chemischen Grund-Eigenschaften besitzen, aber sich geringfügig in der Masse unterscheiden (in diesem Fall in der Anzahl der Neutronen) – diese unterschiedlichen Verwandten nennt man Isotope (z. B. Sauerstoff 16, Sauerstoff 17, Sauerstoff 18). Das Verhältnis der verschiedenen Isotope in den Mars-Meteoriten unterschied sich von jeglichem Erd-Gestein oder einer der Mond-Proben oder jedem anderen Meteoriten.

All das führt zu der Schlussfolgerung, dass diese Steine vom Mars kamen.

Bruce Jakosky am 27. April 1997

Es gibt 12 verschiedene Meteoriten, von denen man glaubt, dass sie vom Mars kommen. Zwei davon liefern gute Gründe dafür, sie mit dem Mars in Verbindung zu bringen. In diesen beiden gibt es eine gläserne Komponente aus Stein, die entstand, als der Stein, teilweise geschmolzen, durch einen Einschlag vom Mars geschleudert wurde. In diesem Glas ist ein Gas eingeschlossen, und dieses Gas hat die gleiche Zusammensetzung wie die Mars-Atmosphäre und eine andere wie jede weitere Gas-Quelle im Sonnen-System. Es wird angenommen, dass dieses Gas in das Glas eingeschlossen wurde, als es durch den Einschlag von der Mars-Oberfläche geschleudert wurde. Die Anwesenheit dieses Gases ist eine sehr überzeugende Brücke zum Mars. Falls es sich tatsächlich herausstellen sollte, dass sie nicht vom Mars sind, gibt es keinen Platz im Sonnen-System, von dem sie sein könnten – es gibt nur wenige Planeten, die groß genug sind, um so spät in

der Geschichte Vulkan-Aktivitäten zu verzeichnen (und diese Steine sind Teile vulkanischen Gesteins). Erde und Mond scheiden wegen der chemischen Zusammensetzung der Meteoriten aus, und Venus (der einzige andere mögliche Ort) hat eine völlig andere Atmosphäre.

Nun, was ist mit den anderen zehn Meteoriten (wo doch nur zwei von den 12 das eingeschlossene Gas besitzen)? Ihre Zusammensetzung bildet die Beziehung zu den ersten beiden. Sehr wahrscheinlich, dass sie vom selben Planeten stammen, aber nicht absolut sicher.

Quelle: <http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Meteorites from Mars .txt>;
15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Es wurden inzwischen 12 Meteoriten auf der Erde gefunden, von denen man annimmt, dass sie vom Mars kommen und diese Annahme ist nicht unbegründet, sondern durchaus fundiert. Folgende Punkte wurden berücksichtigt:

1. Alter

Da die Meteoriten Magmatite (magmatisches Gestein) sind, müssen sie sich aus einem flüssigen Stadium vor ungefähr 200 Millionen Jahren bis zu über 4 Milliarden Jahren verfestigt haben. Das zeigt an, dass sie von einem Himmelskörper kamen, der zu dieser Zeit in der Lage war, Lava zu produzieren. Und da Asteroiden und der Mond zu dieser Zeit geologisch inaktiv waren, wird ein großer Planet in Betracht gezogen [1].

2. eingeschlossene Gase

Bei der Verfestigung der Magmatite wurde etwas von der Atmosphäre des Entstehungsplaneten in Gas-Blasen im Gestein eingeschlossen. Bei massenspektroskopischen Untersuchungen der Meteoriten auf der Erde stellte sich heraus, dass das eingeschlossene Gas eine identische Zusammensetzung wie die Mars-Atmosphäre hat, deren Bestandteile aus Messungen der Viking-Mission 1976 bekannt sind [1].

Im Massen-Spektrometer nutzt man dabei die Tatsache aus, dass elektrisch geladene Teilchen in einem magnetischen oder elektrischen Feld massenabhängig ihre Flugbahn ändern. Die zu messenden Atome oder Moleküle werden vor dem Eintritt ins Spektrometer ionisiert, d. h. in positive Ionen umgewandelt. Eine Ionenoptik sammelt und fokussiert die geladenen Teilchen auf den Eingangsspalt des Spektrometers. Ein Stahl von Ionen der gleichen kinetischen Energie tritt in das Magnet-Feld ein und wird durch elektromagnetische Wechselwirkungen kreisbogenartig abgelenkt. Nach einer Richtungsänderung werden die Ionen z. B. durch photographische Emulsion nachgewiesen. Je größer die Masse eines Ions ist, desto weiter vom Eingangsspalt entfernt wird es nachgewiesen. Da das Spektrum mit bekannten Ionen geeicht ist, können die Ionen der Probe bestimmt werden und aufgrund der hohen Genauigkeit des Massen-Spektrometers trennt es auch die einzelnen Isotope eines Elements [2].

In folgender Tabelle ist die Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre aufgeführt. Diese Bestandteile konnten in diesen Massen-Anteilen auch im Gas der Meteoriten nachgewiesen werden.

Bestandteil	Massenanteil in %
CO ₂	95,32
N ₂	2,7
Ar	1,6
O ₂	0,13
CO	0,07

H ₂ O	0,03
Ne	0,00025
Kr	0,00003
Xe	0,000008
O ₃	0,000003

Tab. 11: Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre [3]

Das eingeschlossene Gas hat aber nicht nur die gleiche Zusammensetzung wie die Mars-Atmosphäre, sondern es hat auch eine, die anders ist als jede andere Gas-Quelle im Sonnen-System. Es gibt nur wenige Planeten, die so spät in der Geschichte Vulkan-Aktivitäten aufwiesen. Mond und Erde scheiden wegen der chemischen Zusammensetzung der Meteoriten aus und Venus (der einzige andere mögliche Ort) hat eine völlig andere Atmosphäre [1].

3. Isotopen-Zusammensetzung

Das Verhältnis der verschiedenen Isotope ist in den Meteoriten völlig anders als in jeglichem Erd-Gestein oder einer der Mond-Proben oder jedem anderen Meteoriten, der nicht vom Mars kommt.

Obwohl nicht alle 12 Meteoriten z. B. oben genannte Gas-Einschlüsse besitzen, sind die sich alle bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung sehr ähnlich:

Bestandteil	Massenanteil in %
MgO	9,3 – 31,6
Al ₂ O ₃	0,7 – 12,0
SiO ₂	38,2 – 52,7
K ₂ O	0,022 – 0,19
CaO	0,6 – 15,8
TiO ₂	0,1 – 1,8
MnO	0,44 – 0,55
FeO	17,6 – 27,1
FeO/MnO	37,0 – 51,5

Tab. 12: Zusammensetzung der Mars-Meteoriten [4]

All diese Befunde führen unweigerlich zu der Schlussfolgerung, dass die 12 Meteoriten vom Mars stammen.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Meteorites_from_Mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, 6. Auflage, 1992, S. 45
3. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/atmosphere/Martian_atmosphere.txt; 14.03.1998 (verschollen)
4. http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/apxs_comparison.html; 22.05.1999 (verschollen)

4.4 Gase im Gestein

Frage: Ich hörte, dass Wissenschaftler die Luft-Proben in Meteoriten vom Mars analysiert haben. Warum ist da wichtig und wie wird es gemacht?

Antwort: Dr. Robert Anderson am 7. Dezember 1996

Wenn Magma (Lava) abkühlt, bilden sich kleine Gas-Blasen und werden im Gestein eingeschlossen. Durch Gas-Analysen bekommen wir einen groben Einblick, wie die Atmosphäre zusammengesetzt war, als das Gestein abkühlte. Es gibt verschiedene Techniken, die auf der Erde benutzt werden, um Gase zu analysieren, wie Röntgen-Fluoreszenz-Analyse, Massen-Spektrometrie, usw.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Gases_from_rock_or_meterite.txt; 15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Als auf dem Mars die Vulkane noch aktiv waren, gab es wie auf der Erde riesige Lava-Ströme. Das dabei aus der Kruste austretende Magma, also eine Gesteins-Schmelze mit unterschiedlich hohen Anteilen an Gasen und Dämpfen [1], schloss beim Abkühlen Mars-Atmosphäre als Gas-Blasen ein. Durch diese Gas-Einschlüsse ist es möglich, die auf der Erde gefundenen Meteoriten dem Mars zuzuordnen. Dies geschieht, indem die Gas-Einschlüsse massenspektrometrisch untersucht werden.

Das Massen-Spektrometer, 1919 von Francis W. Aston entwickelt, dient zur Ermittlung, welche Isotope in einem Element vorhanden sind, welche ihre genauen Massen sind und in welchem Mengen-Verhältnis sie vorliegen. Die zu untersuchende Substanz wird mit einem Elektronen-Strahl beschossen. Dabei entstehen positive Ionen, die durch eine angelegte elektrische Spannung in Richtung eines Spalts beschleunigt werden. Ein Magnetfeld zwingt die geladenen Teilchen auf eine Kreisbahn. Nur Ionen mit dem gleichen Wert „ q/m “ (Ladung/Masse) fliegen auf der gleichen Kreisbahn und können durch einen Austrittsspalt hindurchtreten. Man kann so durch passende Wahl der Feldstärke jede Ionensorte getrennt den Detektor erreichen lassen. Der Detektor misst die Intensität des Ionen-Strahls, die von der relativen Menge des zugehörigen Isotops in der Probe abhängt [2]. Die Ionen können photographisch nachgewiesen werden.

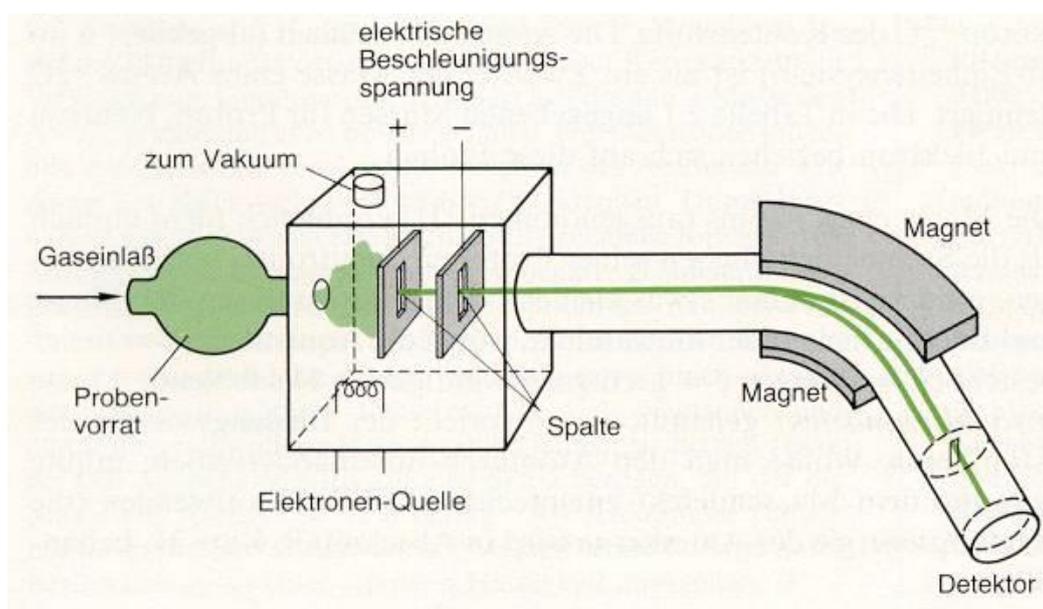


Abb. 14: Aufbau-Prinzip eines Massen-Spektrometers [2]

Durch den Vergleich der Gas-Analyse mit der Zusammensetzung der Mars-Atmosphäre konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass die Meteoriten vom Mars kommen müssen.

Quellen:

1. Harder, Lexikon für Mineralien- und Gesteinsfreunde, Bucher-Verlag, 1. Auflage, 1977, S. 132
2. Mortimer, Chemie, Thieme-Verlag, 5. Auflage, 1987, S. 21f

4.5 Mineralien

Frage: Glauben Sie, dass irgendwelche wichtigen Mineralien auf dem Mars entdeckt werden?

Antwort: Ted Roush am 7. Juli 1997

Für einen Geologen sind alle Mineralien wichtig, weil die Anhaltspunkte liefern, wie die Oberfläche entstand und sich im Laufe der Zeit veränderte. Zum Beispiel wären Sediment-Mineralien ein Beweis für Wind- und Wasser-Bewegung auf dem Mars, und metamorphe Mineralien würden Information über die Aktivität des Mars-Inneren liefern.

Studien an Meteoriten, von denen man glaubt, dass sie vom Mars kommen, ergaben keinerlei Mineralien, die anders sind als die, die wir bereits von der Erde kennen. Wenn wir mit Proben vom Mars zurückkehren, wird es wohl ähnlich sein wie bei den früheren Erforschungen des Mondes, als die Apollo-Astronauten Mond-Gestein mitbrachten. Die Mehrzahl der Mineralien, die im Mond-Gestein gefunden wurden, waren die gleichen Mineralien wie auf der Erde, mit nur einer Hand voll Ausnahmen, deshalb könnten wir einige neue Mineralien vom Mars erwarten, aber wahrscheinlich nicht viele.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/may_important_minerals_be_discovered.txt; 13.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Wie bereits aus der Zusammensetzung des Mars-Bodens hervorgeht (siehe TAB-1), der eine ähnliche Zusammensetzung wie die auf der Erde gefundenen Mars-Meteorite hat, kann nicht damit gerechnet werden, neue Mineralien auf dem Mars zu finden, die es nicht schon auf der Erde gibt.

	Mars-Boden w[%]	Erd-Kruste w [%]
MgO	8,6	3,1
Al ₂ O ₃	10,1	15,2
SiO ₂	43,8	60,2
K ₂ O	0,7	2,9
CaO	5,3	5,5
TiO ₂	0,7	0,7
MnO	0,6	0,1
FeO	17,5	6,05
FeO/MnO	29,2	-

Tab. 13: Zusammensetzung des Mars- und Erd-Gesteins [1]

Mineralien sind chemisch einheitliche Stoffe (Elemente, Verbindungen), die durch ganz bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften gekennzeichnet sind. Mineralien bauen als Gemenge-Anteile der verschiedenen Gesteine die Erd-Kruste, die Meteoriten und überwiegend die heute bekannten Teile des Mondes (vermutlich auch Teile anderer Himmelskörper) auf [2]. Sie werden im Allgemeinen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung in neun große Gruppen eingeteilt.

Klassifikation der Mineralien [3]

I. Elemente (Anzahl: 29)

- a. **Metalle:** Gold, Silver, Kupfer, Platin, usw.
- b. **Nichtmetalle:** Graphit, Diamant, Schwefel, usw.

II. Sulfide und verwandte Verbindungen (Anzahl: 254)

Verbindungen der metallischen Elemente mit Schwefel, z. B. Bleiglanz PbS , Pyrit FeS_2 , Zinkblende $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$

- a. **Telluride**, z. B. Calaverit $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$
- b. **Selenide**, z. B. Berzelianit Cu_2Se
- c. **Arsenide**, z. B. Nickelin NiAs
- d. **Antimonide**, z. B. Antimonit Sb_2S_3
- e. **Bismutide**, z. B. Froidit PbBi_2

III. Halogenide oder Haloid-Verbindungen (Anzahl: 87)

Nichtmetallische Mineralien

- a. **Fluoride**, z. B. Fluorit (Flussspat) CaF_2
- b. **Chloride**, z. B. Halit (Steinsalz) NaCl
- c. **Bromide**, z. B. Bromargyrit AgBr
- d. **Iodide**, z. B. Marshit CuI

IV. Oxide und Hydroxide (Anzahl: 233)

Verbindungen der Metalle und Nichtmetalle mit Sauerstoff oder Hydroxyl-Gruppen
z. B. Quarz SiO_2 , Hämatit Fe_2O_3 , Goethit FeOOH , Manganit MnOOH

V. Nitrate, Carbonate und Borate (Anzahl: 165)

Salze der Salpetersäure, Kohlensäure und Borsäure

- a. **Nitrate**, z. B. Natronsalpeter (Nitronatrit) NaNO_3
- b. **Carbonate**, z. B. Kalkspat (Calcit) CaCO_3
- c. **Borate**, z. B. Boracit $\text{Mg}_3[\text{ClB}_7\text{O}_{13}]$

VI. Sulfate und verwandte Verbindungen (Anzahl: 185)

z. B. Anhydrit CaSO_4 , Baryt BaSO_4 (wasserfrei);
Gips $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Kieserit $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (wasserhaltig)

Wegen ähnlicher äußerer Eigenschaften und des gleichartigen Kristall-Typs zählt man zur gleichen Klasse die **Chromate**, **Molybdate** und **Woframate**

VII. Silikate (Anzahl: 438)

Wichtig für den Erd-Aufbau, metallisches Aussehen, Unterteilung nach Art der Gitter-Struktur

- a. **Inselsilikat**-Strukturen (Nesosilikate), z. B. Olivin $(\text{MgFe})_2(\text{SiO}_4)$
- b. **Gruppensilikat**-Strukturen (Sorosilikate), z. B. Hemimorphit $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2\text{Si}_2\text{O}_7]$
- c. **Ringsilikat**-Strukturen (Cyclosilikate), z. B. Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_2[\text{Si}_{16}\text{O}_{18}]$
- d. **Ketten- und Bandsilikat**-Strukturen (Inosilikate), z. B. Rhodonit $\text{CaMn}_4[\text{Si}_5\text{O}_{15}]$
- e. **Blattsilikat**-Strukturen (Phyllosilikate), z. B. Glimmer $\text{KAl}_2[(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$

f. **Gerüstsilikat**-Strukturen (Tektosilikate), z. B. Quarz SiO_2

VIII. **Organische Verbindungen** (Anzahl: 26)

sehr seltene Mineralien organischer Herkunft, Salze organischer Säuren

z. B. Mellit (Honigstein) $\text{Al}_2[\text{C}_{12}\text{O}_{12}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, Oxalit (Humboldtin) $\text{Fe}[\text{C}_2\text{O}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Quellen:

1. http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/apxs_comparison.html; 22.05.1999
2. Harder, Lexikon für Mineralien- und Gesteinsfreunde, Bucher-Verlag, 1. Auflage, 1977, S. 139
3. Harder, Lexikon für Mineralien- und Gesteinsfreunde, Bucher-Verlag, 1. Auflage, 1977, S. 108f.

4.6 Temperatur des Mars-Kerns

Frage: Wie hoch ist die Temperatur im Zentrum des Mars?

Antwort: *Bruce Jakosky am 20. November 1997*

Wir kennen die Temperatur im Kern des Mars nicht. Wir erwarten, dass sie viel heißer ist als an der Oberfläche, aber es gibt keine Möglichkeit sie zu messen und festzustellen, ob das Zentrum z. B. heiß genug ist, um geschmolzen zu sein.

Der Mars hat einen Kern und dieser ist wahrscheinlich in seiner Zusammensetzung ähnlich dem Erd-Kern. Die äußere Schicht des Erd-Kerns ist geschmolzen und das Innere fest. Daraus können wir die Temperatur bei ungefähr 5.000°C annehmen. Wir haben keine ähnlichen Daten vom Mars, aber wir können sie bekommen, indem wir Seismometer zu Hilfe nehmen, die den Verlauf der seismischen Wellen durch das Zentrum messen können.

Quelle: http://quesr.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Temperature_at_the_center_of_Mars.txt; 21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Da sich die Planeten Erde und Mars sehr ähnlich sind, gehen die Wissenschaftler davon aus, dass auch ihr innerer Aufbau nicht sehr verschieden ist. Aufgrund seismischer Messungen, indem also Schallwellen durch das Innere des Planeten gesendet werden und ihr Verlauf ausgewertet wird, geht man davon aus, dass der Erd-Kern aus einer äußeren geschmolzenen Schicht und einer inneren festen Schicht (einer Eisen-Schwefel-Verbindung) besteht. Geht man von einer ähnlichen Zusammensetzung beim Mars aus, kann die Kern-Temperatur bei etwa 5.000°C angenommen werden [1].

Quellen:

1. http://quesr.arc.nasa.gov/mars/ask/terrain-geo/Temperature_at_the_center_of_Mars.txt; 21.03.1998 (verschollen)

4.7 Bestandteile und prozentuale Zusammensetzung des Bodens

Frage: Was sind die Bestandteile und Prozent-Anteile des Bodens?

Antwort: *Jeff Plescia am 16. November 1998*

Die chemische Zusammensetzung des Mars-Bodens wurde von den zwei Viking-Landemodulen und vom Pathfinder-Rover untersucht.

Der Boden hat folgende Zusammensetzung, durchschnittliche Werte von 5 Stellen der Pathfinder-Landestelle (vgl. Science, Band 278, 5. Dezember 1997):

Bestandteile	Durchschnitt	Streuung
Na ₂ O	2,3	1,3 – 3,8
MgO	7,7	7,1 – 8,3
Al ₂ O ₃	8,5	7,4 – 9,1
SiO ₂	49,5	47,9 – 51,0
SO ₃	5,5	4,0 – 6,5
Cl	0,6	0,5 – 0,7
K ₂ O	0,3	0,2 – 0,5
CaO	6,5	5,6 – 7,3
TiO ₂	1,2	0,9 – 1,4
FeO	16,0	13,4 – 17,4

Tab. 14: Oxide in Gewichtsprozent

Das ergibt zusammen 98%. Die Bestandteile ergeben durch den angegebenen Bereich nicht 100%. Außerdem dürfte es im Gestein auch Elemente geben, die wir nicht messen konnten, die einige Prozent ausmachen könnten. Aber das ist ein guter Durchschnitt.

Einige der Materialien sind magnetisch, sie wurden von den Magneten festgehalten.

Die Größe der Partikel reicht von Mikrometern (Staub) bis Millimetern und Metern. Eine genaue Größen-Einteilung wurde für die Messungen der Boden-Partikeln nicht vorgenommen. 16% der Oberfläche um das Landemodul sind mit Steinen bedeckt. Steine > 0,5 m bedecken nur 1,5%.

Quelle: owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 23.01.1999 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die chemische Zusammensetzung des Mars-Bodens wurde schon durch die Viking-Missionen untersucht und auch der Rover der Pathfinder-Mission beschäftigte sich mit seinen Bestandteilen. Dabei kamen folgende Messungen zustande:

Bestandteile	Mars	Erde
Na ₂ O*	2,3	keine Angaben
MgO	7,7	3,1
Al ₂ O ₃	8,5	15,2
SiO ₂	49,5	60,2
SO ₃	5,5	keine Angaben
Cl	0,6	keine Angaben

K ₂ O	0,3	2,9
CaO	6,5	5,5
TiO ₂	1,2	0,7
FeO	16,0	6,05

Tab. 15: Zusammensetzung von Mars- und Erd-Boden [1, 2]

**Die Angabe als Oxid rührt von der Mess-Methode her, die nur Elemente feststellen kann, nicht jedoch Oxidationsstufen oder Verbindungen*

Bei den Bestandteilen des Mars- sowie des Erd-Bodens fällt der hohe Anteil an SiO₂ (Siliciumdioxid) auf. Es ist im Gegensatz zu CO₂ ein polymerer, harter Festkörper mit sehr hohem Schmelzpunkt. In der Natur ist SiO₂ weit verbreitet und tritt in zahlreichen kristallinen und amorphen Formen auf. Gut ausgebildete Kristalle werden als Schmuck-Steine verwendet:

- Bergkristall (wasserklar)
- Rauchquarz (braun)
- Amethyst (violett)
- Morion (schwarz)
- Citrin (gelb)
- Rosenquarz (rosa)

Außerdem ist Quarz Bestandteil vieler Gesteine (Quarzsand, Granit, Sandstein, Gneis) [3].

Relativ häufig auf Mars und Erde ist auch Al₂O₃ (Aluminiumoxid). Es kommt in der Natur als Korund vor, ist sehr hart, säurelöslich und nicht hygroskopisch (Schmelzpunkt bei 2.050°C) [4].

Außer bei FeO (Eisenoxid) gibt es bei der Zusammensetzung der zwei Planeten keine größeren Unterschiede, d. h. sie sind sich im Grunde sehr ähnlich.

Quellen:

1. owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 23.01.1999
2. http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/science/apxs_comparison.html; 22.05.1999
3. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 517f.
4. Latscha/Klein, Anorganische Chemie, Springer Verlag, 6. Auflage, 1994, S. 312f.

5 Theorien und Spekulationen

5.1 Gefrorenes Wasser auf dem Mars

Frage: Wissen Sie, wo sich das gefrorene Wasser auf dem Mars befindet? Ist es trinkbar?

Antworten: Mike Mellon am 16. Februar 1997

Es ist möglich, dass trinkbares Wasser tief im Mars-Boden im Überfluss gibt. Geologische Befunde weisen darauf hin, dass einst viel Wasser auf der Oberfläche existierte. Seit diesem Zeitpunkt dürfte das Wasser in den Untergrund versickert sein und nun tief in der Planeten-Kruste ruhen.

Die nächste Frage ist, wie man daran kommt... Wie tief müssen wir bohren und wo? Die Oberfläche des Mars ist kalt, etwas wie die Antarktis, und ist global von Permafrost-Boden bedeckt (ständig gefrorener Boden). Jegliches Wasser in der Nähe der Oberfläche würde fest gefrieren. Um flüssiges Grundwasser zu erreichen, müssten wir bis zu einer Tiefe unter diese gefrorene Schicht bohren, die mehrere Kilometer dick sein könnte, sogar an ihrem dünnsten Punkt. Das bedeutet ein schwieriges Bohren. Eisreicher Permafrost-Boden ist hart wie Beton.

Wo man bohren muss ist vielleicht ein ebenso schwieriges Problem. Natürlich könnten wir dort graben, wo der gefrorene Teil der Kruste am dünnsten ist, aber wir dürften kein Wasser finden. Wir müssen mehr über die Geologie der Mars-Kruste und der Natur ihres Permafrost-Bodens wissen, um Wasser sicher zu lokalisieren. Aber ich würde es nicht als Zukunftsressource ausschließen.

Mike Mellon am 8. April 1997

Der Ort auf dem Mars, von dem Wissenschaftler wissen, dass dort am meisten Wasser vorhanden ist, sind die Poleis-Kappen. Sie sind unseren polaren Eis-Kappen hier auf der Erde sehr ähnlich. Die nördliche Eis-Kappe des Mars ist etwa 4 km dick. Wenn das ganze Wasser sogar über die gesamte Oberfläche des Mars verteilt wäre, würde es eine Schicht von 15 Metern Dicke bilden. Der nächste Ort, an dem man wahrscheinlich viel gefrorenes Wasser findet, ist der eisreiche Permafrost-Boden. Der Permafrost-Boden des Mars ist überall auf dem Globus mehrere Kilometer dick und kann mehr als 50% Eis enthalten, aber Wissenschaftler können noch nicht genau sagen, wie viel Eis im Permafrost-Boden ist.

Mike Mellon am 21. April 1997

Es gibt mehrere Orte auf dem Mars, an denen trinkbares Wasser gefunden werden kann; Grund-Wasser tief unter dem Permafrost-Boden (ständig gefrorener Boden), geschmolzenes Eis von den Polar-Kappen, geschmolzenes Eis vom eisreichen Permafrost oder kondensiertes Wasser vom atmosphärischen Wasserdampf. Richtig aufbereitet sind dies alles Quellen von trinkbarem Wasser. Es ist allerdings möglich, dass Salz im Grund-Wasser oder Grund-Eis in solchen Mengen vorhanden sein könnte, dass es nicht mehr trinkbar wäre. Eine durstige Person auf dem Mars würde diese Wasser durch Destillation reinigen müssen, um das Salz heraus zu holen. Pol-Eis ist wahrscheinlich salzfrei, aber dürfte eine Menge Staub und Dreck enthalten, was Filtern oder ähnliches erfordert. Kondensiertes Wasser aus der Atmosphäre (wie auf einer kalten Oberfläche) würde ohne Filtern trinkbar sein und es dürfte die einfachste Art und Weise sein, Wasser für den menschlichen Verbrauch zu bekommen.

Bruce Jakosky am 21. April 1997

Es gibt in der Geologie des Mars eindeutige Beweise für flüssiges Wasser. Natürlich sehen wir nur, wo das Wasser über die Oberfläche floss, aber in einigen Fällen ist klar, dass die Wasser-Quelle unter der Oberfläche gewesen sein muss. Man schätzt, dass es viel

unterirdisches Wasser gibt, vielleicht genug, um eine globale Wasser-Schicht von einem Kilometer Dicke entstehen zu lassen, wenn alles an die Oberfläche gebracht werden könnte.

Und obwohl das Wasser an der Oberfläche gefrieren würde, sind die Temperaturen tief unter der Oberfläche wärmer und Wasser kann flüssig sein. Am Äquator müsste man nur einige Kilometer tief unter die Oberfläche graben, um eine Tiefe zu erreichen, in der Wasser als Flüssigkeit existieren könnte. An den Polen, wo die Oberflächen-Temperatur niedriger sind, würde man tiefer graben müssen, vielleicht bis zu 10 km.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Location_of_frozen_water_on_Mars.txt; 21. 0.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Anhand der geologischen Beweise, also der Oberflächen-Struktur des Mars, gehen die meisten Wissenschaftler davon aus, dass der Planet in der Vergangenheit viel flüssiges Wasser besaß. Bei den heutigen Bedingungen ist [Wasser auf der Mars-Oberfläche](#) nicht stabil, da die Temperaturen zwischen -10°C und -76°C und der Oberflächen-Druck von ca. 6,7 mbar dem [Tripelpunkt](#) des Wassers sehr nahe kommen.

Trotzdem gibt es auf dem Mars einige Stellen, an denen sogar trinkbares Wasser gefunden werden könnte. Es wird vermutet, dass sich tief unter der Planeten-Oberfläche Grund-Wasser befindet, da dort der Druck geringer und die Temperaturen höher sind. Wahrscheinlich sind in diesem Grund-Wasser jedoch Salze gelöst, die durch Destillation entfernt werden müssten, um es trinkbar zu machen [1]. Destillation heißt, dass das Wasser zum Verdampfen gebracht wird, die Salze bleiben zurück und der gereinigte Wasserdampf wird durch Abkühlen (Kondensation) wieder verflüssigt.

Aus an den Mars-Polen befindet sich Wasser in den Pol-Kappen in Form von Wasser-Eis, das natürlich geschmolzen und dann gefiltert werden müsste, um Staub und Dreck daraus zu entfernen [1].

In der Mars-Atmosphäre befindet sich außerdem, wenn auch sehr wenig Wasserdampf, der so rein ist, dass man ihn nur kondensieren, also abkühlen, müsste, um das entstehende Wasser zu trinken [1].

Diese Überlegungen sind wichtig bei der Planung, dass irgendwann Menschen den Mars besuchen oder sogar dort leben könnten. Solche Visionen liegen jedoch noch fern in der Zukunft.

Quelle:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Location_of_frozen_water_on_Mars.txt; 21.03.1998 (verschollen)

5.2 Wasser in der Vergangenheit

Frage: Glauben Sie, dass es möglich ist, dass der Mars einst ein von Ozeanen bedeckter Planet war? Wasser wurde an den Mars-Polen gefunden!

Antworten: *Cathy Davis am 11. Dezember 1996*

Das ist eine Frage, die wir hoffen, mit der Mars Global Surveyor Mission beantworten zu können, die Mars am 12. September 1997 erreicht. Aber es gibt viele Hinweise (Flut-Kanäle, Inseln anscheinend von Wasser erodiert) die darauf schließen lassen, dass Mars einst viel Wasser besaß.

Internet: <http://quest.arc.nasa.gov/mars/teachers/tg/program1/Act1.3.html>; (Live aus dem Mars Teacher's Guide) (verschollen)

Im späten 19. Jahrhundert spähten Astronomen durch Teleskope zum Mars und sahen Linien, die sich über die ganze Oberfläche erstreckten: Giovanni Schiaparelli aus Italien nannte sie „canali“, also „Kanäle“ oder „Rinnen“, die ins Englische als „canals“ übersetzt wurden. Einige interpretierten diese „canals“ als Beweis für intelligentes Leben und sogar eine hochentwickelte Mars-Zivilisation, fähig zu massiven, planetenweiten Bau-Projekten.

Nun hat sich die Menschheit mit Hilfe mehrerer Mars-Missionen den Planeten genauer angeschaut und wir wissen, dass es keine Kanäle gibt, die von Marsianer-Bautrupps gebaut wurden. Aber einige der Kanäle haben eine Form, die sehr an die erinnert, die wir auf der Erde kennen. Während man eine Zeit lang glaubte, es wären ausgetrocknete Fluss-Betten, nehmen die meisten Wissenschaftler heute an, dass viele der Kanäle durch plötzlich auftauchendes Grund-Wasser oder die plötzliche Schmelze von Untergrund-Eis entstanden sind, anstatt durch Dauer-Regen und Flüsse. ... da es nicht unaufhörlich regnet, gab es natürlich sicherlich fließendes Wasser in der Vergangenheit.

Heute bedeuten die dünne Atmosphäre auf dem Mars und der tiefgefrorene Zustand des Planeten, dass flüssiges Wasser auf der Oberfläche nicht existieren kann. Aber einst, als die Vulkane aktiv waren, könnte der Planet warm genug für flüssiges Wasser gewesen sein.

Quelle: <http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Water on Mars in the Past.txt>; 21.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Im späten 19. Jahrhundert entdeckte der Italiener Giovanni Schiaparelli durch sein Teleskop Linien auf dem Mars, die sich über die ganze Oberfläche erstreckten. Er nannte sie „canali“, also „Kanäle“ oder „Rinnen“. Die meisten Wissenschaftler nehmen an, dass viele der Kanäle durch plötzlich auftauchendes Grund-Wasser oder die plötzliche Schmelze von Eis entstanden sind und nicht etwa durch Dauer-Regen oder gar Flüsse. Das ist ein Beweis dafür, dass das Klima des Mars in der Vergangenheit anders gewesen sein muss als heute und dass die heute noch deutlich sichtbaren Vulkane aktiv waren.

Heute sorgen die dünne Atmosphäre und der tiefgefrorene Zustand des Mars dafür, dass flüssiges [Wasser auf der Oberfläche](#) nicht existieren kann [1].

Quellen:

1. <http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/water-ice/Water on Mars in the Past.txt>; 21.03.1998 (verschollen)

5.3 Trinkwasser aus Wolken

Frage: Sie sagen, dass die meisten Wolken auf dem Mars aus Wasser-Eis bestehen. Warum gerade Wasser-Eis? Können Sie die Zusammensetzung dieser Wolken umreißen? Ich denke, das ist wichtig ist für die zukünftige Besiedlung durch Menschen. Es wäre relativ leicht Wasser aus dem Nebel durch Filtrieren zu bekommen. Wenn aber der Nebel aus Kohlenstoffdioxid besteht, wäre eine solche Methode unmöglich.

Antwort: Mike Mellon am 13. September 1997

Es gibt zwei Typen von Kondensationswolken auf dem Mars: Wasser-Eis und Kohlenstoffdioxid-Eis. Welcher Typ entsteht hängt zu einem gewissen Maße von der Temperatur, dem Druck und dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre ab. Typischerweise enthält die Mars-Atmosphäre sehr wenig Feuchtigkeit, so dass Wassereis-Wolken sehr dünn sein werden, wie Zirrus-Wolken auf der Erde.

Ich stimme Ihnen zu, dass Wasser eine sehr wichtige Ressource für die menschliche Besiedlung darstellt. Einige der vorgeschlagenen Quellen von Mars-Wasser waren atmosphärischer Wasser-Dampf (durch einen Kondensator extrahiert), Boden-Eis (geschmolzen und vom Boden filtriert), Polkappen-Eis (von Eis-Lagern auf der Oberfläche) oder Grund-Wasser (aus Kilometern tiefen Quellen). Aus einer Vielzahl von Gründen dürften atmosphärischer Wasser-Dampf oder Boden-Eis die vielversprechendsten Wasser-Quellen sein. Wassereis-Wolken sind wahrscheinlich zu hoch, um eine nützliche Alternative darzustellen.

Bedenken Sie auch, dass es, egal von welcher Quelle das Wasser kommt, zuverlässig und stetig sein muss. Auf Nebel zu warten dürfte die Kolonisten ziemlich durstig werden lassen.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/clouds_for_drinking_water.txt; 14.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Auf dem Mars unterscheidet man zwei Typen von [Kondensationswolken](#): die einen bestehen aus Wasser-Eis, die anderen aus Kohlenstoffdioxid-Eis. Da die Mars-Atmosphäre nur sehr wenig Feuchtigkeit enthält, sind entstehende Wassereis-Wolken nur sehr dünn und eignen sich deshalb kaum zur Gewinnung von Trinkwasser [1].

Geeignete Quellen für die Gewinnung von [Trinkwasser](#) wären der atmosphärische Wasser-Dampf (durch Kondensation), das Boden-Eis (schmelzen und filtrieren), Polkappen-Eis (schmelzen und destillieren) und Grund-Wasser (destillieren) [1].

Diese Punkte gewinnen dann an Bedeutung, wenn die Menschheit in ferner Zukunft den Mars besiedeln möchte.

Quelle:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/clouds_for_drinking_water.txt; 14.03.1998 (verschollen)

5.4 Sauerstoff aus Rost

Frage: Wenn der Mars im Wesentlichen ein verrosteter Planet ist, wäre es möglich den im Rost gespeicherten Sauerstoff freizusetzen, um den Planeten mit einer atembaren Atmosphäre auszustatten oder ihn für eine ständige Basis auf der Planeten-Oberfläche verfügbar zu machen? Gibt es irgendwelche versuche, die Sauerstoff-Menge zu ermitteln, die im Mars-Gestein und/oder -Boden gespeichert ist?

Antwort: Ted Roush am 16. Juli 1997

Mit genügend Energie könnte Sauerstoff aus dem Mars-Material freigesetzt werden. Ihn in der Atmosphäre zu halten dürfte schwierig sein, da der Sauerstoff wahrscheinlich mit jedem frisch freigelegtem Material auf der Mars-Oberfläche reagieren würde. Von Berechnungen diesbezüglich ist mir nichts bekannt, aber Sie könnten mehr darüber in „Resources of Near-Earth Space“; J. Lewis et al., editors, University of Arizona Press, nachlesen.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans_releasing_oxygen_stored_in_rust_on_Mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die rötliche Färbung des Mars entsteht durch die „gerosteten“ Eisen-Erze auf der Mars-Oberfläche. Theoretisch könnte man nun den beim Rosten verbrauchten Sauerstoff aus den gerosteten Materialien zurückgewinnen. Da der Sauerstoff aber sofort mit jedem frisch freigelegtem Material der Mars-Oberfläche reagieren dürfte, wäre es unmöglich, ihn in der Mars-Atmosphäre zu halten.

Angaben darüber, wie viel Sauerstoff bei der Umwandlung des gesamten Rostes auf der Mars-Oberfläche entstehen würde, kann man nicht machen [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans_releasing_oxygen_stored_in_rust_on_Mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)

5.5 Kein Leben auf dem Mars möglich

Frage: Wird man Lebewesen auf dem Mars finden?

Antworten: *Jack Farmer am 20. November 1996*

Die Oberfläche des Mars ist zu trocken für Leben von der Erde. Flüssiges Wasser ist nicht stabil und verdampft ständig. Die ultraviolette Strahlung ist auch zu stark und würde wahrscheinlich bakterielle DNA rösten, bevor sie einen wirksamen Sonnen-Schutz hätte. Schließlich ist die Mars-Oberfläche durchsetzt von Peroxiden, das organische Moleküle generell zerstört. Folglich erscheint es unwahrscheinlich, dass wir demnächst Lebewesen auf dem Mars finden werden.

Aber das heißt nicht, dass es nie der Fall sein wird. Als wir eine der Kameras nach 36 Monaten im Vakuum und der Kälte des Weltraums vom Mond zurückbrachten, konnten Mikro-Organismen auf der Kamera, (die von der Erde mitgenommen wurden), wieder in aktive Stadien zurückgeführt werden.

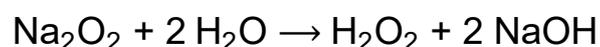
Jack Farmer am 25. Juli 1997

Die Mikro-Organismen, die auf der Kamera wiederbelebt wurden, waren von der Erde zum Mond transportiert worden. Sie waren identisch mit den Arten, die man als biologische Fracht auf verschiedenen Missionskomponenten vor dem Start von der Erde fand.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Why_is_mars_suitable.txt;
15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Immer wieder kommt es zu der Diskussion, ob Leben auf dem Mars möglich wäre. Wissenschaftler sind sich jedoch einig, dass das aus folgenden Gründen nicht der Fall sein kann:

- Für jegliche Form von Leben ist [flüssiges Wasser](#) notwendig. Die Oberfläche des Mars ist aber zu trocken, weil flüssiges [Wasser](#) nicht stabil ist und ständig verdampft [1]
- Die ultraviolette Strahlung aus dem All ist zu stark und würde jede bakterielle DNA vernichten, bevor diese durch evolutive Prozesse einen wirksamen Schutz dagegen entwickelt hätte [1]
- Im Mars-Boden vorhandene Peroxide würden organische Moleküle schnell zerstören [1]. Peroxide enthalten Sauerstoff mit der Oxidationszahl -1. Ionische Peroxide sind formal Salze der schwachen zweibasigen Säure H_2O_2 . Löst man Peroxide unter Kühlung in Wasser, erhält man eine alkalische Lösung von H_2O_2 [2]. Beispiel:



Die entstehenden Produkte würden die Aminosäuren und Eiweiße lebender Organismen denaturieren und somit funktionsunfähig machen.

Das heißt aber nur, dass man keine gegenwärtig lebenden Organismen auf der Mars-Oberfläche finden wird. Denn Mikroben, die von der Erde auf einer Kamera zum Mond gelangten und dort 36 Monate in Vakuum und der Kälte des Weltraum zubrachten, konnten auf der Erde wieder aus ihrem eingenommenen Ruhe-Stadium erweckt werden [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Why_is_mars_suitable.txt; 15.03.1998 (verschollen)
2. Riedel, Anorganische Chemie, deGruyter-Verlag, 3. Auflage, 1994, S. 427

5.6 Fossile Brennstoffe

Frage: Gibt es auf dem Mars fossile Treibstoffe, die Fahrzeuge antreiben könnten? Wie könnten wir sie abbauen?

Antworten: Cathy Davis am 10. Januar 1997

Zusätzlich zur Sonnen-Energie kann man nur Kern-Energie weiter in Betracht ziehen. Auf dem Mars ist das Sonnen-Licht etwa halb so stark wie auf der Erde. Ein kleiner thermo-elektrischer Isotopen-Generator (RTG) kann zum Betreiben kleiner Fahrzeuge auf dem Mars genutzt werden.

Geoff Briggs am 16. März 1997

Wir wissen nicht, ob es auf dem Mars irgendwelche Fossilien gibt und auch nichts über die Ansammlung organischer Stoffe, die als Treibstoff genutzt werden könnten. Es müsste eine Kombination üppigen Lebens und geeignete geologische Prozesse gegeben haben, damit aus abgestorbenen organischen Materialeien Kohle- oder Öl-Lagerstätten entstehen. Wir haben keinerlei Hinweise dafür.

Die Herstellung von Treibstoff und, mindestens genauso wichtig, von Oxidationsmitteln auf dem Mars ist im Prinzip einfach. Die Mars-Luft besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid. Mit einer Energie-Quelle (vielleicht einem kleinen Kern-Reaktor) könnte man CO_2 in Kohlenstoffmonoxid CO und Sauerstoff O_2 aufspalten. Diese Gase könnten verbrannt werden, um ein Fahrzeug zu bewegen, sogar um eine Rakete anzutreiben.

Eine energiereichere Treibstoff-/Oxidationsmittel-Kombination wäre Methan CH_4 und Sauerstoff O_2 . Man kann Methan aus Kohlenstoffdioxid herstellen, wenn man Wasserstoff zur Verfügung hat. Wir könnten den Wasserstoff mitnehmen oder unsere Energie-Quellen nutzen, um Eis zu schmelzen und es zu Wasserstoff und Sauerstoff zu elektrolysieren.

Wenn wir Zugriff auf eine reichhaltige Wasser-Quelle bekommen, könnten wir natürlich Wasserstoff und Sauerstoff als Raketen-Treibstoff oder Brennstoff und als Oxidationsmittel für andere Maschinen verwenden. Es ist relativ schwer den Wasserstoff flüssig zu halten, weil er sehr kalt bleiben muss.

All diese Näherungen hängen davon ab, ob eine Energie-Quelle wie z. B. ein Kern-Reaktor zur Verfügung steht und die Speicherung der Energie des Reaktors als chemische Energie für Treibstoff oder Oxidationsmittel möglich ist. Auf der Erde haben wir den Vorteil, dass viel Sauerstoff in unserer Atmosphäre ist, so dass wir nur nach Brennstoffen zum Verbrennen suchen müssen. Auf dem Mars besteht die Atmosphäre hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid, das chemisch nicht so reaktiv ist wie Sauerstoff. Trotzdem kann ein Metall wie Magnesium (einst in Blitz-Lichtern verwendet) in CO_2 brennen und damit wäre es ein weiterer Kandidat für Brennstoff und man könnte es bequem aus dem Mars-Gestein gewinnen – dennoch aber keine sehr leicht umsetzbare Idee.

Ted Roush am 8. April 1997

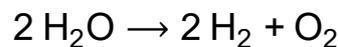
Wahrscheinlich sind die Fahrzeuge, die die Astronauten gegen Ende des Apollo-Programms zum Fahren auf dem Mond benutzten, ein gutes Beispiel für die Art von Fahrzeug, die wir zu Beginn auf dem Mars verwenden könnten. Diese Fahrzeuge hatten Räder und gleichen sehr den Autos oder Golf-Caddies, mit denen wir auf der Erde vertraut sind, mit einem entscheidenden Unterschied. Auf der Erde nutzt der größte Teil der Autos fossile Treibstoffe (Benzin), um den Motor anzutreiben. Auf dem Mars wird es schwer, wenn nicht sogar unmöglich sein, fossile Treibstoffe zu finden. Letztendlich werden Fahrzeuge wahrscheinlich durch Batterien betrieben werden.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans-on-mars/Fossil_fuels_on_mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)

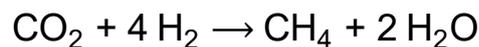
Hintergrund-Information: Um Energie zu gewinnen, z. B. zum Betreiben von Fahrzeugen, benutzen wir auf der Erde hauptsächlich fossile Brennstoffe wie Erd-Öl, Erd-Gas und Kohle. Sie entstehen durch Ablagerung abgestorbenen organischen Materials, das unter Luft-Abschluss hohen Drücken ausgesetzt ist. Es bedarf also einer Kombination üppigen Lebens und geeigneter geologischer Bedingungen, damit aus abgestorbenem organischem Material Kohle- oder Öl-Lager entstehen. Dafür gibt es auf dem Mars jedoch keinerlei Hinweise [1]

Um Energie zu gewinnen, müsste man auf dem Mars zu anderen Mitteln greifen:

- Zerlegung der CO₂-haltigen Mars-Atmosphäre in Kohlenstoffmonoxid CO und Sauerstoff O₂ mit Hilfe eines kleinen Kern-Reaktors. Bei der Verbrennung von CO und O₂ entsteht so viel Energie, dass damit ein Fahrzeug oder gar eine Rakete angetrieben werden könnte [1].
- Ein energiereicherer Treibstoff wäre Methan CH₄, das man aus CO₂ und Wasserstoff H₂ herstellen könnte. CO₂ ist reichlich in der Mars-Atmosphäre vorhanden und H₂ erhält man z. B. durch die Elektrolyse von Wasser, H₂O:



- Methan erhält man durch die Reaktion [2]:



- Steht genug H₂O zur Verfügung, könnte man durch Elektrolyse (s. o.) O₂ und H₂ erhalten. Bei der Verbrennung eines Gemisches der beiden Gase entsteht so viel Energie, dass es als Raketen-Treibstoff genutzt wird [1].

Da diese Möglichkeiten der Energie-Gewinnung auf dem Mars aber nur schwer durchzuführen sein dürften und es unmöglich sein dürfte, fossile Treibstoffe zu finden, werden in ferner Zukunft von Menschen gesteuerte Fahrzeuge auf dem Mars wohl mit Batterien betrieben werden [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans-on-mars/Fossil_fuels_on_mars.txt; 15.03.1998 (verschollen)
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 6. Auflage, 1992, S. 325

5.7 Theorie über das Verschwinden von Wasser

Frage: Es gab viele kontroverse Diskussionen darüber, was mit dem Wasser auf dem Mars geschehen sein mag. Eine Klingt wie folgt und geht von Leben auf dem Mars vergleichbar dem auf der Erde aus:

- Wasser existiert auf dem Mars (wahrscheinlich weniger als auf der Erde, wegen der geringeren Größe, der schwächeren geologischen Aktivität, usw.)
- Wasser beinhaltet Leben
- Leben setzt O₂ aus dem Wasser frei
- Alles Wasser wurde verbraucht
- Leben verschwindet oder entwickelt Formen, die wir nicht entdecken können

Eine ähnliche Frage: Die Erde verfügt über viel N₂, Jupiter enthält viel N in seinem Ammoniak, wo ist aber der ganze N₂ vom Mars? Stickstoff ist fast nicht reaktiv und wiegt weniger als Wasser. Müsste der Haupt-Bestandteil der Atmosphäre nicht N₂ sein?

Antwort: Jack Farmer am 22. Juli 1997

Punkt 1: Das Szenario, das Sie vorstellen, ist möglich, aber führt zur Annahme von viel Sauerstoff in der Atmosphäre. Wir haben heute keinerlei Hinweise dafür, aber einige Wissenschaftler meinen, dass es mit dem Eisen der Kruste reagiert haben mag und Eisenoxide oder „Rost“ bildet, was die rote Oberfläche des Mars erklärt. Die Schwäche dieser Hypothese ist, dass Sauerstoff genauso gut durch die Photolyse von Wasser in der oberen Atmosphäre entstanden sein kann, ein rein anorganischer Prozess also. Deshalb ist die „rostige“ Oberfläche des Mars kein Beweis, dass Photosynthese je auf dem roten Planeten stattgefunden hat. Der Großteil des Lebens auf der Erde ist tatsächlich chemosynthetisch und braucht nicht unbedingt eine Verbindung zur Oberfläche. Also gibt es keine zwingende Notwendigkeit für die Einführung von Photosynthese in Ihrem Szenario, oder dafür, dass Sauerstoff durch solche biologischen Prozesse freigesetzt wurde. Leben könnte genauso leicht als chemosynthetische Form entstanden und so verblieben sein.

Punkt 2: Wenn es kohlenstoffgestütztes Leben gibt, sollten wir prinzipiell in der Lage sein, es zu entdecken. Wenn es sich auf einer anderen Basis entwickelte, bräuhete man gar kein Szenario, das in seiner Voraussetzung ausgesprochen erdzentriert ist.

Punkt 3: Die Mars-Atmosphäre enthält, wie die Messungen des Viking-Landemoduls ergaben, ~95,3% Kohlenstoffdioxid, 2,7% Stickstoff, 1,6% Argon, 0,13% Sauerstoff, 0,7% Kohlenstoffmonoxid, 0,3% Wasser-Dampf und eine Vielfalt an inerten (Edel-)Gasen. Diese Atmosphäre ist ähnlich der Zusammensetzung der Stratosphäre auf der Erde (nur feuchter) und, wie wir glauben, durchaus vergleichbar mit der frühen Erd-Atmosphäre vor dem Auftauchen der sauerstoff-freisetzenden Photosynthese.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/theory_on_mars_water_disappearance.txt; 15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Es gibt Theorien, die besagen, dass die „rostige“ Oberfläche des Mars ein Beweis für früheres Leben ist. Man geht davon aus, dass es Wasser auf dem Mars gab, in dem auch Lebewesen vorkamen, und dass diese Lebewesen ihrerseits Sauerstoff aus dem Wasser freisetzten. Irgendwie verflüchtigte sich dieses Wasser aber, weshalb jegliches Leben letztendlich von der Mars-Oberfläche ebenfalls verschwand [1].

Der Sauerstoff, der zum [Rosten des Eisens](#) auf der Mars-Oberfläche notwendig war, könnte aber ebenso durch die [Photolyse von Wasser](#) in der oberen Atmosphäre entstanden sein – ein Prozess, der nicht auf Lebewesen angewiesen ist [1].

Gegen die o. a. Theorie spricht auch die Tatsache, dass bisher kein auf Kohlenstoff basierendes Leben auf dem Mars entdeckt werden konnte, obwohl die Geräte prinzipiell

dazu in der Lage gewesen wären. Und auch die Zusammensetzung der [Mars-Atmosphäre](#), die mit der frühen Erd-Atmosphäre vor dem Auftauchen der Sauerstoff freisetzenden Photosynthese vergleichbar ist, stützt die Theorie von Leben auf dem Mars in der Vergangenheit nicht [1].

Quelle:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/theory_on_mars_water_disappearance.txt; 15.03.1998 (verschollen)

5.8 Terraforming

Frage: Ist Terraforming auf dem Mars wirklich möglich?

Antworten: *Jack Farmer am 20. November 1996*

Für die, die es nicht wissen: Terraforming bedeutet, dass Änderungen des Mars-Klimas vorgenommen werden, bis er erdähnlich ist. Wir glauben, dass Terraforming auf dem Mars möglich ist. Aber wenn wir damit beginnen würden, würde die Fertigstellung wahrscheinlich hunderte von Jahren dauern.

Ted Roush am 6. März 1997

Ich bin kein Experte auf dem Gebiet Terraforming. Deshalb sollten Sie unter dem Kapitel „Planetary Engineering“ von Jim Pollack und Carl Sagan im Buch „Resources of Near-Earth Space“, herausgegeben von J. Lewis, M. S. Matthews und M. L. Guerrieri von der University of Arizona Press in Tucson, Arizona, nachlesen.

Mike Mellon am 27. Juli 1997

Natürlich hat Terraforming des Mars einen romantischen Anklang ähnlich den frühen Eroberern, die übers Meer fahren auf der Suche nach neuen Ländern und Schätzen. In Wirklichkeit ist Terraforming ein technologisches und wissenschaftliches Puzzle von enormer Komplexität. Wir verstehen kaum das Klima der Erde und welchen Einfluss die menschliche Aktivität auf die Zukunft haben wird. Das Mars-Klima zu modifizieren, um es erdähnlich zu machen könnte ungeahnte Konsequenzen haben. Zum Beispiel würde die Steigerung der CO₂-Menge in der Atmosphäre tatsächlich einen Treibhaus-Effekt verursachen und die Oberfläche erwärmen. Aber die polaren Depots enthalten nicht genügend hohe Mengen an CO₂, um einen bedeutenden Effekt zu erreichen. Zusätzlich sind Wissenschaftler, die das frühe Mars-Klima studieren, zum Schluss gekommen, dass zu viel Kohlenstoffdioxid CO₂-Wolken verursachen wird, die das Sonnen-Licht abschirmen, ehe die Oberfläche zu erdähnlichen Temperaturen aufgewärmt ist. Allgemein müssen viele sehr schwierige Probleme bezüglich klimatisch rückkoppelnder Effekt noch gelöst werden, bevor wir solch ein Unternehmen in Betracht ziehen können.

Ich glaube, dass die wichtigere Frage als „können wir das tun?“ ist „sollen wir das tun?“. Während es einen ökonomischen Anreiz geben dürfte, den Mars zu terraformen, gibt es einen ästhetischen Anreiz, ihn so ursprünglich zu belassen, wie er ist und vielleicht den Mars zu besiedeln und mit der existierenden Mars-Natur zu arbeiten. Wir würden nicht den Grand Canyon umgraben wollen, um Raum für Wohn-Anlagen zu schaffen oder den Yellowstone Park in Felder umwandeln. Ich glaube wir könnten den Mars eventuell besiedeln, aber der ansprechendste und vielleicht kostspieligste Weg ist es, mit der Mars-Natur zu arbeiten, anstatt zu versuchen sie zu verändern.

Bruce Jakosky am 14. November 1997

Wenn wir wollen, dass flüssiges Wasser an der Oberfläche stabil ist, was notwendig ist, damit Pflanzen überleben können, wachsen und sich vermehren, muss die Durchschnittstemperatur um mindestens 35°C gesteigert werden. Realistisch gesehen kann das nur durch den Zusatz eines Treibhaus-Gases in die Atmosphäre geschehen und am besten würde sich Kohlenstoffdioxid CO₂ eignen. Man bräuchte so viel Gas, wie sich in der Erd-Atmosphäre befindet, um die Temperatur genug ansteigen zu lassen, damit Wasser stabil ist. Es gibt viel CO₂ auf dem Mars, aber es steckt alles in der Kruste oder in den Pol-Kappen. Wenn wir das CO₂ in die Atmosphäre freisetzen könnten, würden die Temperaturen ansteigen.

Es ist aber nicht klar, ob genug CO₂ verfügbar ist und ob es in die Atmosphäre gebracht werden kann, Es gibt kein Wissen darüber, ob genügend CO₂ existiert. Weiterhin ist nicht klar, ob es einen Mechanismus gibt, der es in die Atmosphäre bringen kann. Und selbst wenn es in die Atmosphäre gebracht werden kann und die Temperaturen steigen, könnte

das CO₂ schnellstens in die Kruste zurückkehren, so dass es schwer werden würde, eine wärmere Umwelt zu erhalten.

Natürlich gibt es auch philosophische und moralische Meinungen im Zusammenhang mit der Veränderung der Umwelt eines Planeten.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans-on-mars/Terraforming_possible.txt;
15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Unter Terraforming versteht man eine Änderung im Mars-Klima, um es erdähnlich zu machen [1].

Die einzige Möglichkeit, das Mars-Klima an die Bedingungen auf der Erde anzugleichen wäre die Schaffung eines **Treibhaus-Klimas**, um die mittlere Oberflächen-Temperaturen um mindestens 35°C zu erhöhen. Erst dann wäre Wasser an der Planeten-Oberfläche stabil und Pflanzen und andere Lebewesen könnten überleben, wachsen und sich vermehren [1]. Das könnte theoretisch aber nur durch den Zusatz eines Treibhaus-Gases in die Atmosphäre geschehen, am besten durch Kohlenstoffdioxid CO₂. Diese Überlegung wirft jedoch einige Probleme auf.

- Die Fertigstellung des Terraformings würde wahrscheinlich hunderte von Jahren dauern
- Da wir kaum das Erd-Klima in seiner Komplexität verstehen und nicht wissen, welchen Einfluss die menschlichen Aktivitäten auf die Zukunft des Klimas haben werden, könnte die Modifikation des Mars-Klimas ungeahnte Konsequenzen haben
- Auf dem Mars sind wahrscheinlich nicht ausreichend hohe Mengen an CO₂ vorhanden, um es in die Atmosphäre zu bringen und einen merklichen Treibhaus-Effekt auszulösen
- Zu viel CO₂ in der Atmosphäre könnte CO₂-Wolken verursachen und so das wärmende Sonnen-Licht abschirmen, noch ehe sich die Mars-Oberfläche zu erdähnlichen Temperaturen aufgewärmt hat
- Das in die Atmosphäre gebrachte CO₂ könnte sehr schnell in die Planeten-Kruste zurückkehren, so dass es schwer werden würde, eine wärmere Umwelt zu erhalten [1]

Zu all diesen wissenschaftlich-technischen Problemen des Terraformings kommen noch philosophische und moralische Überlegungen, ob das Terraforming eines Planeten überhaupt zu rechtfertigen ist und ob es die Menschheit verantworten kann, die Umwelt eines fremden Planeten zu verändern.

Quelle:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/humans-on-mars/Terraforming_possible.txt,
15.03.1998 (verschollen)

5.9 Wasser als Schlüssel-Element des Lebens

Frage: Warum glauben wir, dass Wasser allein Grundlage des Lebens sein kann? Der Weltraum, wie wir ihn kennen, ist so unermesslich unendlich, dass wir wie ein winziges Staub-Körnchen erscheinen; und ich kann es nur schwer glauben, dass wir so naiv sind anzunehmen, dass alle anderen Lebensformen Wasser zum Überleben brauchen oder wie wir entstanden sind. Liege ich mit diesem Gedanken falsch? Alles was ich darüber gehört habe ist, dass Wissenschaftler hoffen einige Hinweise auf Wasser zu finden, um die Theorie über früheres Leben auf dem Mars zu stützen.

Antwort: Bruce Jakosky am 16. Juli 1997

Wasser hat keine magischen Eigenschaften, aber es ist reichlich vorhanden. Die Eigenschaften, die Wasser wertvoll für Lebewesen machen sind,

- dass es als Flüssigkeit existieren kann (das ist das Wichtigste),
- dass sich viel Stoffe darin lösen können (so dass Nährstoffe hinein gebracht werden können und Abfall-Produkte heraus).

Auch andere Flüssigkeiten besitzen diese Eigenschaften; z. B. könnten flüssige Ethan/Methan-Seen oder -Ozeane auf Tita (Jupiter-Mond) existieren, Trotzdem ist Wasser eines der am weitesten verbreiteten Verbindungen im Universum.

Mit anderen Worten: es ist denkbar, dass andere Flüssigkeiten auch als Grundlage für Leben geeignet sein könnten, aber bei der Beschränkung auf Wasser verlieren wir nicht viel. In unserem eigenen Sonnen-System war, ist oder könnte flüssiges Wasser auf dem Mars, auf Europa, vielleicht auf der Venus und vielleicht früher auf Titan vorhanden (gewesen) sein. Alle anderen in Frage kommenden Flüssigkeiten kommen nur auf Titan vor.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Water_a_Key_Element_for_Life.txt; 15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Die Entstehung von Leben ist immer an das Vorhandensein von Wasser gebunden, da es als Flüssigkeit existieren kann und sich viele Stoffe darin lösen, so dass Nährstoffe und Abfall-Produkte eines Lebewesens transportiert werden können. Dies könnten zwar auch andere Flüssigkeiten leisten, aber Wasser ist einer der am weitesten verbreiteten Stoffe des Universums [1].

In reinem Zustand ist Wasser H_2O eine klare, geruch- und geschmacklose, farblose Flüssigkeit. Sein Schmelzpunkt liegt bei $0^\circ C = 273,15 K$, sein Siedepunkt bei $100^\circ C = 373,15 K$. Beim Tripelpunkt des Wassers liegen flüssiges Wasser, Eis (feste Form) und Wasser-Dampf im nonvarianten Gleichgewicht nebeneinander vor; als zugehörige Temperatur ist $273,16 K = 0,01^\circ C$ definiert worden [2].

Die Eigenschaften des Wassers sind vor allem für das Verständnis der zellulären Prozesse von Lebewesen sehr wichtig. Alle wichtigen Eigenschaften lassen sich auf die Dipol-Natur des Wasser-Moleküls zurückführen [3]. Seine beiden Wasserstoff-Atome sind in einem Winkel von 105° angeordnet und durch die unterschiedlichen Elektro-Negativitäten von Sauerstoff (3,44) und Wasserstoff (2,20) ist die O-H-Bindung polarisiert, d. h. die beiden entgegengesetzten elektrischen Pole fallen in ihrer räumlichen Lage nicht zusammen, so dass das Wasser-Molekül eine Dipol bildet [2].

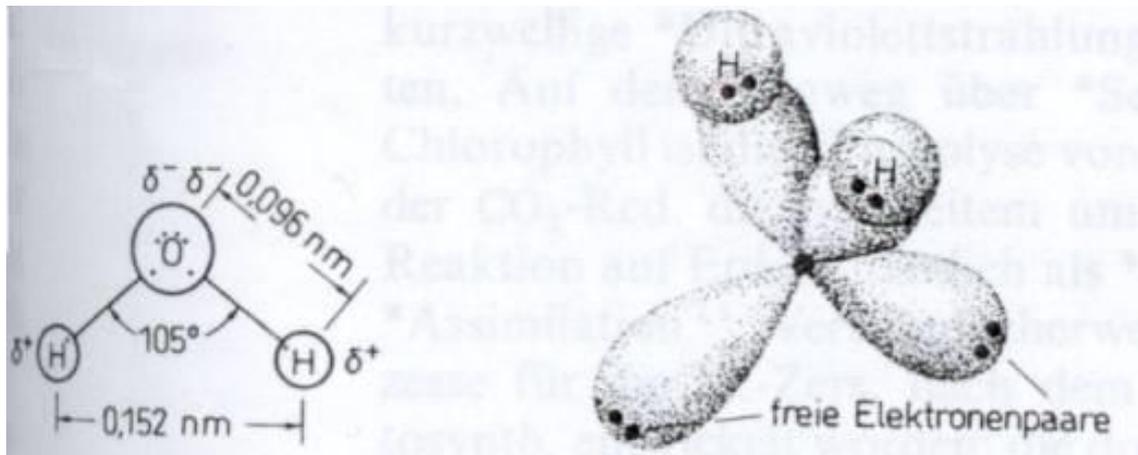


Abb. 15: Struktur von Wasser [2]

Die Polarität des Wassers bedingt:

- Die hohe Dielektrizitätskonstante dieses Lösemittels. Sie ist etwa 80-mal so hoch wie an der Luft, so dass Wechselwirkungen elektrischer Ladungen im Wasser nur etwa 1/80 der in Luft gemessenen Energien besitzen. Dies erklärt die gute Löslichkeit von Salzen in Wasser.
- Die innere Struktur des Wassers, die durch Bildung von Wasserstoff-Bindungen zustande kommt. Daraus folgen die hohe spezifische Wärme, die hohe Verdunstungswärme, die hohe Unterkühlbarkeit usw. Auch die hohe Oberflächen-Spannung des Wassers lässt sich durch die Dipol-Natur des Wasser-Moleküls und die Wechselwirkung zwischen benachbarten Molekülen erklären [3].

Deshalb wird Wasser als Schlüssel-Element des Lebens bezeichnet. Wasser muss an der Entstehung von Leben beteiligt sein und da in der Vergangenheit des Mars flüssiges Wasser ziemlich sicher existiert hat, besteht theoretisch die Möglichkeit, dass es eine Form von Leben auf dem Mars geben könnte.

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/Water_a_Key_Element_for_Life.txt; 15.03.1998 (verschollen)
2. Römpf-Lexikon, Chemie, Thieme-Verlag, Band 6, 10. Auflage, 1999, S. 4993f.
3. Czihak/Langer/Ziegler, Biologie, Springer Verlag, 5. Auflage, 1992, S. 52f.

5.10 Weiße Stelle auf Meteorit

Frage: Mich überrascht die weiße Stelle in der Mitte des Meteoriten.

Antwort: *Bruce Jakosky am 7. Juli 1997*

Der Meteorit, den Sie meinen, ist bekannt unter der Bezeichnung ALH84001. Er wurde in der Antarktis 1984 gefunden und tatsächlich wenige Jahre später als vom Mars stammend identifiziert. Er ist der älteste der ungefähr ein Duzend Mars-Meteoriten und ist der Einzige, der Hinweise auf lebende Organismen liefert. Das weiße Material ist aber eine Gesteins-Art, ein Carbonat und es enthält CO₂. Dieser Befund ist sehr bedeutend, weil das Carbonat vermutlich durch fließendes Wasser, das durch das Gestein floss, in den Stein gelangte. Und falls das Wasser kühl war, ist es möglich, dass es lebende Organismen wie z. B. Mars-Bakterien enthielt. Es gibt tatsächlich eine Diskussion darüber, ob, wenn die Temperatur des Wassers niedrig genug war, Leben tatsächlich vorhanden war. Wir wissen die Antwort noch nicht.

Quelle: http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/White_Patch_on_Meteorite.txt;
15.03.1998 (verschollen)

Hintergrund-Information: Der 1984 in der Antarktis gefundene Mars-Meteorit ALH84001 lässt eine weiße Stelle auf seiner Oberfläche erkennen [1].

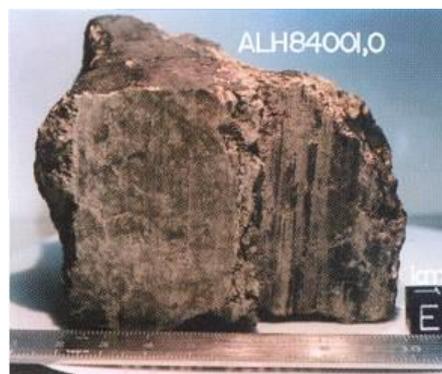


Abb. 16: Mars-Meteorit ALH84001 [2]

Das weiße Material ist kein direkter Hinweis auf Lebewesen. Es handelt sich um ein Carbonat und enthält deshalb Kohlenstoffdioxid.

Aus einem anderen Grund ist dieser Befund dennoch bedeutend: das Mineral kann nur durch flüssiges Wasser in den Meteoriten gelangt sein. Carbonate (z. B. Calciumcarbonat CaCO₃) entstehen durch die Reaktion von CO₂ und H₂O bzw. dem entsprechenden Metalloxid. Es muss also irgendwann fließendes Wasser auf dem Mars gegeben haben. Falls dieses Wasser kühl genug war, könnten darin lebende Organismen, etwas Mars-Bakterien, gelebt haben. Wasser ist für Leben vermutlich unbedingt nötig, Kohlenstoffdioxid ein typisches Stoffwechsel-Produkt (Atmung). Über diese Möglichkeiten wird tatsächlich diskutiert, aber ein Beweis für Leben auf dem Mars ist das noch lange nicht [1].

Quellen:

1. http://quest.arc.nasa.gov/mars/ask/mars-life/White_Patch_on_Meteorite.txt;
15.03.1998 (verschollen)
2. Herrmann, Die Kosmos Himmelskunde für Einsteiger, Kosmos-Verlag, 1. Auflage, 1999, S. 60

5.11 Kohlenstoffdioxid als Treibstoff

Frage: Könnte CO₂ als Treibstoff genutzt werden?

Ist Kohlenstoffdioxid auf dem Mars eine erneuerbare Quelle oder wird es eventuell erschöpft sein?

Könnte das gleiche auf der Erde angewandt werden?

Könnten wir das CO₂ aus der Erd-Atmosphäre extrahieren, um Fahrzeuge zu betreiben?

Antwort: Steve Wall am 29. Dezember 1998

Die Idee hinter einer In Situ Antriebs Produktion (ISPP) auf dem Mars ist, dass man CO₂ in CO und O₂ ($2 \text{ CO}_2 + \text{Energie} \rightarrow 2 \text{ CO} + \text{O}_2$) und dann CO mit O₂ in einem Raketen-Antrieb wieder verbrennt. Diese Reaktion liefert nicht so viel Energie wie die herkömmlichen Raketen-Treibstoff die wir hier auf der Erde nutzen, aber, hey, wo werden wir solche auf dem Mars hernehmen? Deshalb nutzt man, was in großer Menge vorhanden ist, CO₂, um eine angemessene, aber nicht aussichtslose Lösung des Fortbewegungsproblems zu leisten.

Ist CO₂ eine erneuerbare Quelle auf dem Mars? Eine stationäre Maschine ($2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$) bringt tatsächlich das ursprüngliche CO₂ zurück in die Atmosphäre des Mars, so dass es zu keinem essentiellen Verlust an CO₂ kommt. Das bedeutet, dass es einfach durch sich erneuert wird.

Jetzt: Könnte das gleiche auf der Erde benutzt werden?

Die Erde hat etwas, was dem Mars fehlt: grüne Pflanzen. Und grüne Pflanzen haben eine wirklich raffinierte Methode die Energie des Sonnen-Lichts zu nutzen, um CO₂ aufzuspalten und es dazu zu verwenden, um Moleküle herzustellen, die einen höheren Energie-Gehalt besitzen als CO₂: die Photosynthese. Pflanzen nehmen CO₂ aus der Luft auf und H₂O aus der Luft und dem Boden, spalten diese auf, vermischen und verbinden sie neu und stellen viele energiereiche Kohlenwasserstoff-Verbindungen her: Zucker, Stärke, Fette und Öle, Cellulose, usw. Verbrennt man diese Substanzen vollständig mit Sauerstoff, erhält man die ursprünglichen wenig energiereichen Spezies wieder: CO₂ und H₂O. die unvollständige Verbrennung kann viele andere Verbindungen liefern, wie Buckminster-Fullerene (ein bedeutender Bestandteil von „Ruß“), Kohlenstoffmonoxid (das CO, das die Mars ISPP Maschine als Treibstoff verwendet) und weitere, die wir jetzt nicht weiter betrachten werden. Der springende Punkt ist der, dass diese Kohlehydrate und Kohlenwasserstoffe, die man gewinnt, viel mehr chemische Energie pro Masse in sich tragen als CO, so dass man für eine gegebene Menge an zu produzierender Energie eine geringere Menge der Kohlenwasserstoffe braucht als von CO.

Außerdem

Die Kohlehydrate sind ungiftig bis mittelgiftig, die Kohlenwasserstoffe sind ungiftig bis mäßig giftig; CO ist extrem giftig. Und CO hat einen ziemlich hohen Dampfdruck bei typischen Erdoberflächen-Temperaturen, wodurch es eher mit flüssigem Erd-Gas (LPG) als mit Benzin vergleichbar ist. LPG-getriebene Fahrzeuge wurden entwickelt, aber viele Hersteller haben sie wegen schwierig umzusetzenden Sicherheitsbestimmungen (Mitführen eines Hochdruck-Tanks) wieder aufgegeben. CO-betriebene Fahrzeuge hätten das gleiche Problem.

Die Verbrennung von CO würde weder die Entstehung von Abgas-Stickoxiden noch die von CO₂ verhindern.

Quelle: owner-answers-mars@quest.arc.nasa.gov; 22.01.1999 (verschollen)

Hintergrund-Information: Hier auf der Erde verwenden wir als Treibstoff für Fahrzeuge in der Regel Benzin. Benzin wird aus Erdöl hergestellt, eine komplizierte Mischung vor allem gesättigter Kohlenwasserstoffe.

Kohlenwasserstoff-Moleküle enthalten nur Kohlenstoff und Wasserstoff. Sie werden je nach Bindungsart und Struktur eingeteilt in

- gesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkane oder Paraffine)
- ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene oder Olefine, Alkine)
- aromatische Kohlenwasserstoffe

Eine weitere Gliederung erfolgt in offenkettige (acyclische) und in ringförmige (cyclische) Verbindungen [1].

gesättigte Kohlenwasserstoffe:

Alkane treten als gerade (n-Alkane) oder verzweigte Ketten (Isoalkane) sowie als Ring-Strukturen (Cycloalkane) auf. Die C-Atome sind durch Einfach-Bindungen verknüpft.

Beispiele:

Gesättigte Kohlenwasserstoffe		
Alkane C_nH_{2n+2}		Cycloalkane C_nH_{2n}
unverzweigte Ketten	verzweigte Ketten	
Methan* CH_4		
Ethan* H_3C-CH_3		
Propan* $H_3C-CH_2-CH_3$		Cyclopropan $\begin{array}{c} H_2 \\ \\ H_2C-CH_2 \end{array}$
Butan* $H_3C-CH_2-CH_2-CH_3$	Isobutan* (Methylpropan) $\begin{array}{c} H_3C-CH-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	Cyclobutan $\begin{array}{c} H_2C-CH_2 \\ \quad \\ H_2C-CH_2 \end{array}$
Pentan $H_3C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Isopentan* (Methylbutan) $\begin{array}{c} H_3C-CH-CH_2-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	Neopentan* (Dimethylpropan) $(CH_3)_4C$
Hexan $H_3C-(CH_2)_4-CH_3$	3-Methylpentan $\begin{array}{c} H_3C-CH_2-\overset{3}{CH}-CH_2-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	Isohexan* (2-Methylpentan) $\begin{array}{c} H_3C-\overset{2}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$
Heptan $H_3C-(CH_2)_5-CH_3$	2,3-Dimethylpentan $\begin{array}{c} H_3C-\overset{2}{CH}-\overset{3}{CH}-CH_2-CH_3 \\ \quad \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array}$	2-Methylhexan $\begin{array}{c} H_3C-\overset{2}{CH}-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$
Octan $H_3C-(CH_2)_6-CH_3$	4-Ethyl-2-methylheptan $\begin{array}{c} H_3C-\overset{2}{CH}-CH_2-\overset{4}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3 \\ \quad \\ CH_3 \quad C_2H_5 \end{array}$	

Abb. 17: Namen und Formeln der Anfangsglieder der Alkane [2]

Die Alkane sind farblose Substanzen, deren flüssige Vertreter benzin- oder petroleumartig riechen. Bei Normal-Temperatur sind sie bis zum Butan gasförmig, dann flüssig und ab C_{17} fest (eigentliche Paraffine). Die Schmelz- und Siedepunkte der verzweigten Alkane liegen im Allgemeinen unter denen der entsprechenden n-Alkane, die der Cycloalkane darüber. Sie sind nichtpolarisierte Moleküle und lösen sich daher gut in unpolarem Lösemitteln wie z.BV. Ether, Chloroform, Benzol und Tetrachlormethan. In stark polaren Flüssigkeiten wie z. B. Wasser sind sie schlecht löslich.

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe:

Alkene weisen eine oder mehrere Doppel-Bindungen im Molekül auf. Es gibt gerade (n-Alkene) oder verzweigte (Isoalkene) Ketten sowie auch Ring-Strukturen (Cycloalkene).

Beispiele:

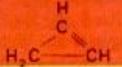
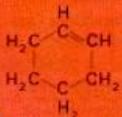
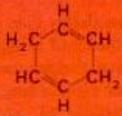
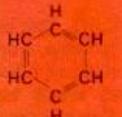
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit Doppelbindungen			
Alkene			
Monoalkene C_nH_{2n}	Diene C_nH_{2n-2}	Triene C_nH_{2n-4}	Cycloalkene
Ethylen* $H_2C=CH_2$			
Propen $H_2C=CH-CH_3$	Allen* $H_2C=C=CH_2$		Cyclopropen 
1-Buten $H_2C=CH-CH_2-CH_3$	1,2-Butadien $H_3C=C=CH-CH_3$	Butatrien $H_2C=C=C=CH_2$	Cyclohexen 
2-Buten $H_3C-CH=CH-CH_3$	1,3-Butadien $H_2C=CH-CH=CH_2$		
1-Penten $H_2C=CH-CH_2-CH_2-CH_3$	1,2-Pentadien $H_3C=C=CH-CH_2-CH_3$	1,2,4-Pentatrien $H_2C=C=CH-C=CH_2$	1,4-Cyclohexadien 
2-Penten $H_3C-CH=CH-CH_2-CH_3$	1,3-Pentadien $H_2C=CH-CH=CH-CH_3$		
3-Methyl-1-buten $H_2C=CH-CH(CH_3)-CH_3$	1,4-Pentadien $H_2C=CH-CH_2-CH=CH_2$		Benzol* 
2-Methyl-1-buten $H_2C=C(CH_3)-CH_2-CH_3$	2,3-Pentadien $H_3C-CH=C-CH-CH_3$		
2-Methyl-2-buten $H_3C-C(CH_3)=CH-CH_3$	Isopren* (2-Methyl-1,3-butadien) $H_2C=C(CH_3)-CH=CH_2$		*Trivialname

Abb. 18: Namen und Formeln der Anfangsglieder der Alkene [3]

Die Alkene unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften nur wenig von den Alkanen. Die Schmelz- und Siedepunkte liegen etwas niedriger als die der entsprechenden Alkane. Sie lösen sich nur schlecht in Wasser, jedoch gut in Alkohol und Ether. Chemisch sind die Alkene aufgrund der weniger stabilen Doppel-Bindungen reaktionsfreudiger als die Alkane.

Alkine sind ebenfalls ungesättigte Kohlenwasserstoffe und weisen eine oder mehrere Dreifach-Bindungen auf. Im selben Molekül können auch Doppel-Bindungen vorkommen. Es gibt gerade (n-Alkine) oder verzweigte Ketten. Stabile Ring-Strukturen treten wegen den Dreifach-Bindungen erst bei acht Ring-Gliedern auf.

Beispiele:

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit Dreifachbindungen			
Alkine			
Monoalkine C_nH_{2n-2}	Alkine mit Doppelbindungen z. B.		Cycloalkine (instabile)
	$HC\equiv C-CH=CH_2$	1-Buten-3-in	
	$HC\equiv C-C\equiv C-CH=CH_2$	1-Hexen-3,5-diin	
Acetylen* $HC\equiv CH$	$HC\equiv C-CH=C=CH-CH_3$	3,4-Hexadien-1-in	
	Diine C_nH_{2n-6}	Triine C_nH_{2n-10}	
Propin $HC\equiv C-CH_3$			
1-Butin $HC\equiv C-CH_2-CH_3$	Butadiin (1,3-Butadiin) $HC\equiv C-C\equiv CH$		Cyclobutin H_2C-CH_2 $C\equiv C$
2-Butin $H_3C-C\equiv C-CH_3$			
1-Pentin $HC\equiv C-CH_2-CH_2-CH_3$	1,3-Pentadiin $HC\equiv C-C\equiv C-CH_3$		Cyclopentin $H_2C-C-CH_2$ $C\equiv C$ H_2
2-Pentin $H_3C-C\equiv C-CH_2-CH_3$	1,4-Pentadiin $HC\equiv C-CH_2-C\equiv CH$		
3-Methyl-1-butin $HC\equiv C-CH-CH_3$ CH_3			
1-Hexin $HC\equiv C-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	1,3-Hexadiin $HC\equiv C-C\equiv C-CH_2-CH_3$		1,4-Cyclohexadiin $H_2C-C=C$ $C=C-CH_2$
*Trivialname		Hexatriin $HC\equiv C-C\equiv C-C\equiv CH$	

Abb. 19: Namen und Formeln der Anfangsglieder der Alkine [4]

Auch sie unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften nur wenig von den Alkanen und Alkenen. Aufgrund der Dreifach-Bindung sind die Alkine recht reaktionsfreudig. Sie lösen sich nur schlecht in Wasser, jedoch gut in Alkohol, Ether und unpolaren organischen Lösemitteln.

aromatische Kohlenwasserstoffe:

Eigentlich gehören Aromaten auch zu den ungesättigten Kohlenwasserstoffen, sind jedoch konjugierte, homo- oder heterocyclische Verbindungen. Sie bilden ringförmige Moleküle und wiesen besonders hohe Stabilisierungsenergie auf [5].

Beispiele:

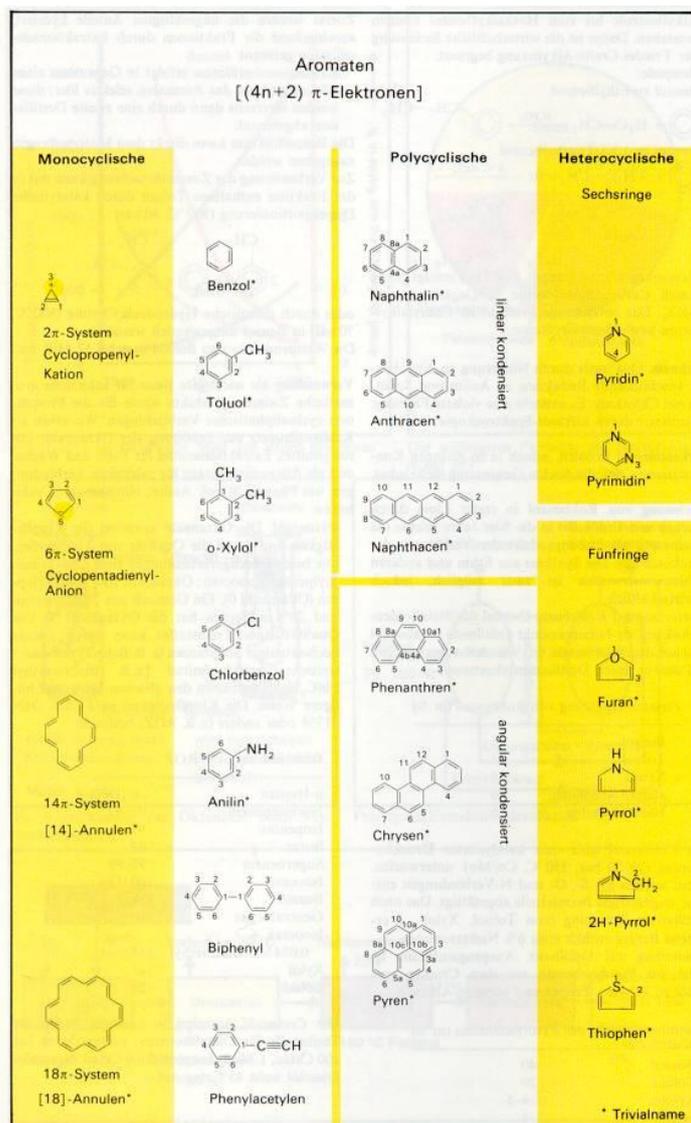
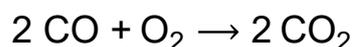


Abb. 20: Einteilung, Namen und Nummerierung von Aromaten [5]

Rohes Erd-Öl ist eine braune, meist grünlich fluoreszierende Flüssigkeit. In Raffinerien wird das Roh-Öl zunächst bei Atmosphären-Druck destilliert. Der über 350°C siedende Rückstand wird durch Vakuum-Destillation weiter aufgetrennt, wobei schweres Gas-Öl, Heiz-Öle und Schmier-Öle erhalten werden [6]. Die in hohem Anteil vorhandenen höheren Kohlenwasserstoffe werden durch Crack-Prozesse in niedrigere Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Dabei werden je nach Bedingungen Gemische als Alkanen, Alkenen und aromatischen Kohlenwasserstoffen erhalten. Durch Isomerisierung an Katalysatoren werden geradkettige Alkane zu verzweigten Alkanen umgewandelt, weil diese besser als Treibstoffe geeignet sind. Sie besitzen eine höhere Klopf-Festigkeit, d. h. sie entzünden sich nicht vorzeitig bei der Kompression des Benzin-Luft-Gemisches im Motor [7].

Da es auf dem Mars an dieser Art von Treibstoffen mangelt, könnte dort theoretisch das in der Atmosphäre vorhandene Kohlenstoffdioxid, CO₂, genutzt werden. Spaltet man nämlich CO₂ in Kohlenmonoxid CO, und Sauerstoff O₂, so kann die Verbrennung eines Gemisches aus CO und O₂ z. B. eine Rakete antreiben:



So erhält man zwar nicht so viel Energie wie durch herkömmliche Raketen-Treibstoffe, aber es ist eine der wenigen Energie-Quellen auf dem Mars und zusätzlich kommt es zu keinem essentiellen Verlust des Materials, da sich der Ausgangsgrundstoff CO_2 durch die Reaktion selbst erneuert.

Auf der Erde könnte diese Art des Treibstoffs jedoch nicht genutzt werden, da es durch die Photosynthese der grünen Pflanzen nicht zu einer Anhäufung von CO_2 in der Atmosphäre kommt.

Unter **Photosynthese** versteht man denjenigen biologischen Prozess, bei dem die elektromagnetische Energie von Licht-Quanten durch Pigmente der Chloroplasten (grüner Blatt-Farbstoff) oder ähnlicher Zell-Strukturen absorbiert und in chemisch gebundenen Energie transformiert wird [8]. Dabei entstehen sog. **Kohlehydrate** (z. B. Glucose).

Der Name dieser Natur-Stoffe rührt davon her, dass sie neben Kohlenstoff noch Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, und zwar meist im Atom-Verhältnis 2:1. Gewöhnlich rechnet man zu den eigentlichen Kohlehydraten die Zucker-Arten, Stärke, Glykogen, Cellulose und ihre Derivate.

Kohlehydrate dienen den Organismen in erster Linie als Energie-Quelle. Pflanzen und Tiere gewinnen die zum „Leben“, d. h. zum Aufbau der Lebenssubstanzen und zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge notwendige Energie durch Abbau von Kohlehydraten, in erster Linie von Traubenzucker (Glucose). Biologisch entsteht Traubenzucker, wie oben schon erwähnt, durch die Photosynthese, d. h. durch die CO_2 -Assimilation unter dem Einfluss von Licht unter Mitwirkung von Chlorophyll.

Stärke und Glykogen, zwei hochmolekulare, aus Glucose aufgebaute Kohlehydrate, sind wichtige Reserve-Stoffe. Cellulose, ein ebenfalls aus Glucose aufgebautes hochmolekulares Kohlehydrat, ist der wichtigste pflanzliche Gerüst-Stoff und der mengenmäßig wohl häufigsten organischen Verbindung. Nach der Molekül-Größe unterscheidet man innerhalb der Gruppe der Kohlehydrate **Monosaccharide**, **Oligosaccharide** und **Polysaccharide**. Und je nach der Anzahl der C-Atome unterscheidet man bei den Monosacchariden Tetrosen, Pentosen, Hexosen usw. Monosaccharide, die eine Aldehyd-Gruppe (CHO) enthalten werden als **Aldosen**, solche, die eine Keto-Gruppe (CO) enthalten **Ketosen** bezeichnet [9].

Monosaccharide sind einfache Zucker und tragen durchweg Trivial-Namen. Sie sind farb- und geruchlose, kristalline Verbindungen. Beim Erwärmen zersetzen sie sich unter Dunkel-Färbung, meist bevor der Schmelzpunkt erreicht ist. Sie lösen sich leicht in Wasser, schwer in Alkohol und sind unlöslich in Ether, Benzol und Chloroform.

Oligosaccharide sind Polymere der Saccharide, die durch Hydrolyse in zwei bis acht Monosaccharide zerlegt werden. Disaccharide sind bei weitem die häufigsten Oligosaccharide.

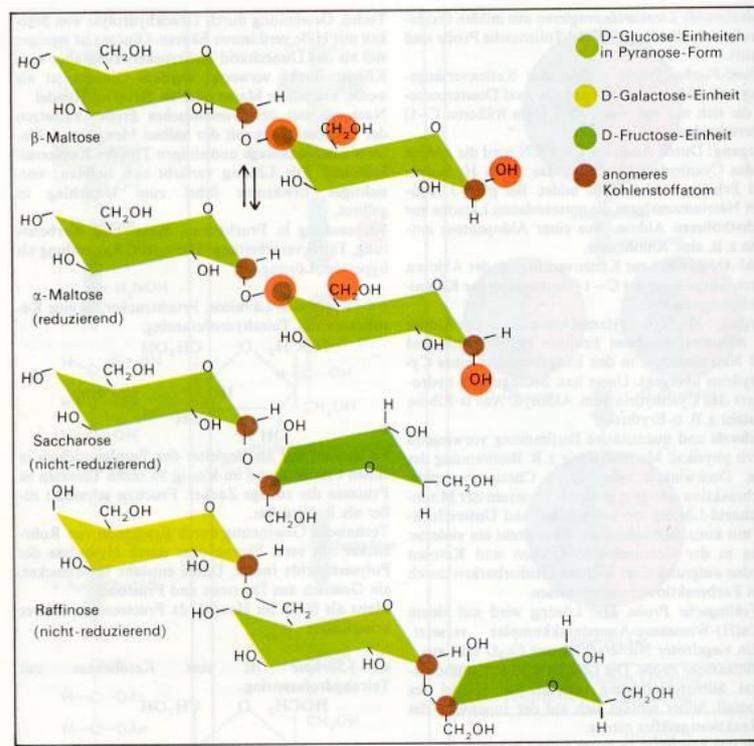


Abb. 21: Struktur einiger Oligosaccharide [11]

Die Oligosaccharide sind wasserlösliche, farb- und geruchlose, kristalline Substanzen. Sie schmecken süß und ihre Eigenschaften ähneln weitgehend denen der Monosaccharide.

Polysaccharide sind Polymere aus mehr als acht Monosacchariden. Die natürlichen Polysaccharide – wie Stärke und Cellulose – enthalten zwischen 100 und 3.000 Untereinheiten, in erster Linie Pentosen und Hexosen.

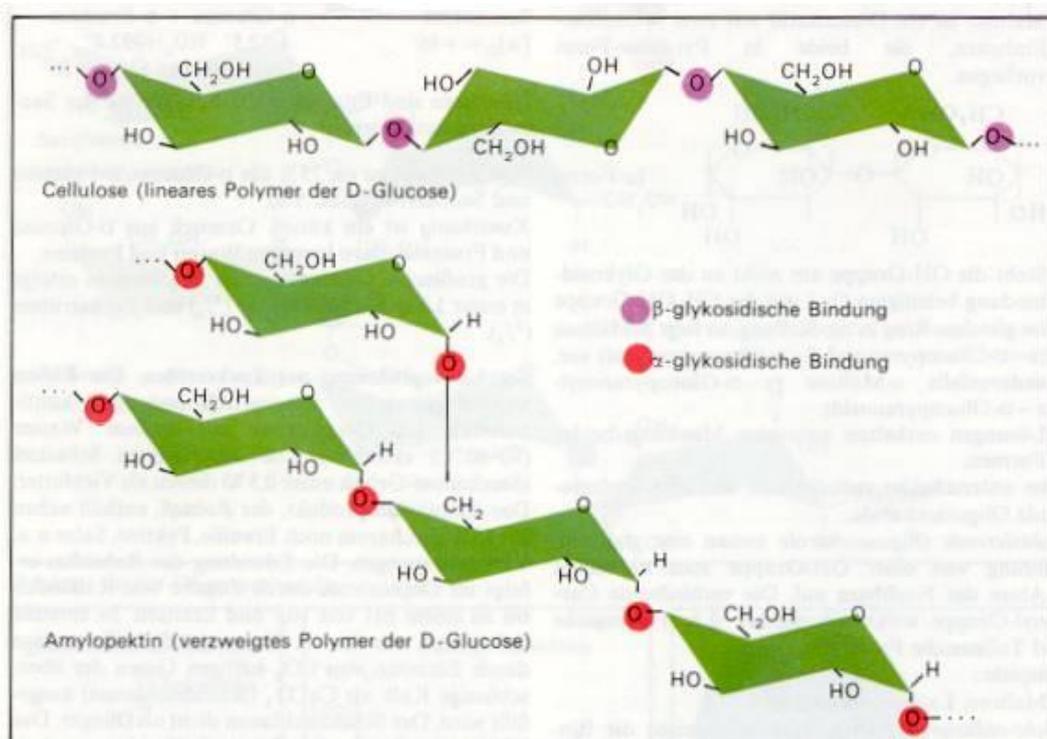


Abb. 22: Zwei Polysaccharide in vereinfachter Darstellung [11]

Sie unterscheiden sich erheblich von den Mono- und Oligosacchariden. Mit wachsender Molekül-Größe sinken Wasserlöslichkeit, Reduktionsvermögen, Kristallisationsfähigkeit und Süßkraft. Die glykosidische Bindung der Einheiten untereinander führt überwiegend

zu linearen Strukturen; es gibt aber auch viele verzweigte und cyclische Polysaccharide [11].

Da also deshalb auf der Erde viel weniger CO₂ in der Atmosphäre vorhanden ist als auf dem Mars, müssen wir hier auf fossile Energie-Träger zurückgreifen, die jedoch nicht in allzu ferner Zukunft aufgebraucht sein werden. Deshalb ist es na der Zeit, andere Methoden der Energie-Beschaffung in den Vordergrund zu stellen, die nicht limitiert sind, wie etwa Sonnen- oder Wind-Energie.

Quellen:

1. Latscha/Klein, Organische Chemie, Springer Verlag, 3. Auflage, 1993, S. 33
2. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 318ff.
3. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 3 326
4. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 332
5. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 340ff.
6. Christen/Vögtle, Grundlagen der Organischen Chemie, Salle und Sauerländer Verlag, 1. Auflage, 1989, S. 56
7. Mortimer, Chemie, Thieme-Verlag, 5. Auflage, 1987, S. 499
8. Czihak/Langer/Ziegler, Biologie, Spriner Verlag, 5. Auflage, 1992, S.113
9. Christen/Vögtle, Grundlagen der Organischen Chemie, Salle und Sauerländer Verlag, 1. Auflage, 1989, S. 736
10. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 415ff.
11. dtv-Atlas zur Chemie, Band 2, 5. Auflage, 1992, S. 422ff.