

Die Suche nach Leben auf dem Mars und warum das Wasser heute dort fehlt

Cecilia Scorza und Ilka Schmidt-Lehrbach

Biologische Untersuchungen haben gezeigt, dass irdische Mikroorganismen sich an sehr lebensfeindlichen Orten der Erde anpassen können, ein Hinweis dafür, dass das Leben unter extremen Bedingungen möglich ist. Ein Ort im Sonnensystem für die mögliche Entwicklung von Leben ist daher der rote Planet Mars. Felsformationen und Wassereis auf der Nordkappe deuten darauf hin, dass dieser Planet einen noch andauernden Klimawandel durchmacht und in ferner Vergangenheit ein blauer Planet wie die Erde gewesen ist.

Diese Materialien vermitteln die astronomischen Grundlagen, die die Suche nach Leben auf dem Mars motivieren und erläutern, warum, im Vergleich zur Erde, das Wasser auf dem Mars fehlt. Arbeitsblätter mit spannenden Übungen für den Unterricht (in blau markiert), ein Quiz über die bisher besten Überlebenskünstler im All (die Bärtierchen) und eine Power Point-Präsentation machen aus dem Mars einen spannenden, astronomischen Ort für die Einführung astrobiologischer Themen in die Schule.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Klimawandel auf dem Mars, Lebenszone
Physik	Thermodynamik	Aggregatzustände, Tripelpunkt
Fächerverknüpfung	Astro-Bio, Astro-Geo	Bärtierchen, Erdatmosphäre (Entstehung und Entwicklung)



Abbildung 1: Mars vor und nach dem großen Klimawandel. Vor mehr als 2 Milliarden Jahren war Mars ein blauer Planet. Das Bild links zeigt den großen Mars-Ozean der damaligen Zeit abgebildet auf einer echten Aufnahme des Planeten. Die helle blaue Zone darauf zeigt die Lage des heutigen Nordpols, welcher auf dem Bild rechts ganz oben zu sehen ist (Photos: Taylor Perron/UC Berkeley).

1. Einleitung: Warum auf dem Mars nach Lebensspuren gesucht wird

Wir kennen nur das Leben, wie es sich vor 3,5 Milliarden Jahren auf der Erde entfaltet hat. Von der mikroskopischen Welt bis zu den größten Meerestieren ist dessen Vielfalt bewundernswert. Insbesondere Lebewesen, die sich an extrem feindliche Orte angepasst haben, zeigen uns, wie robust und harknäckig das Leben ist. Hinzu kommt, dass mindestens zwei Mal in ihrer Geschichte das Leben auf der Erde auf Grund von mächtigen Naturkatastrophen (z. B. Meteoriteneinschläge) beinahe komplett zerstört wurde und trotzdem fähig war, sich wieder zu regenerieren und sich in die unzähligen Lebensformen der Gegenwart zu entfalten. Von daher stellt sich die Frage: Ist Leben unter den extremen Bedingungen außerhalb der Erde möglich? Antworten erwarten die Astrobiologen auch aus Raumfahrtprojekten in unserem Sonnensystem. Ein Zielort ist der rote Planet Mars. Warum man dort nach Spuren von Leben sucht, das beruht auf den folgenden zwei Tatsachen.

a) Gemeinsame Entstehung aller Planeten und die Existenz von Stoffen im Sonnensystem, die als Bausteine des Lebens gelten

Trotz aller Unterschiede zwischen den Planeten wissen wir, dass sie alle vor etwa 4,5 Milliarden Jahren aus demselben solaren Urnebel entstanden sind. Dieser formte sich aus wasserstoffreichen Gaswolken der Umgebung vermischt mit den Resten von Sternen (vor allem Supernovaexplosionen), welche die schwereren Elemente von Helium über Kohlenstoff bis Eisen und das schwere Element Uran lieferten.

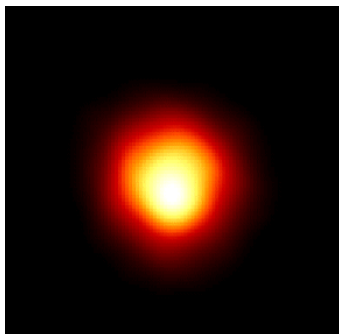
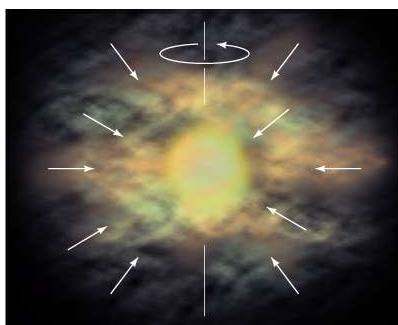


Abbildung 2: Links: Aldebaran ist ein Roter Riese, ähnlich dem Stern, der vor 4,5 Milliarden Jahren als Supernova explodierte und den Rohstoff für die Entstehung des Sonnensystems lieferte. Rechts: Reste einer Supernovaexplosion (Krebsnebel).



Auf Grund ihrer schnellen Rotation plattete die Urnebel ab, und daraus entstand eine Scheibe, deren zentrale, dichtere Region die Protosonne bildete. Submillimeter große Gesteinskörnchen aus Silikaten und Metallen verbanden sich in der Scheibe zu immer größeren Gesteinsbrocken, welche durch die Wirkung ihrer Schwerkraft schließlich Planeten bildeten. Dieser gesamte Prozess dauerte mehr als 100 Millionen Jahre. Kohlenstoff, der als Baustein organischer Moleküle gilt, war überall vorhanden.

Abbildung 3: Entstehung der protoplanetaren Scheibe.

b) Mars befindet sich in der „Lebenszone“ des Sonnensystems

Die Lebenszone um einen Stern wird definiert als der Abstandsbereich, in dem sich ein Planet von seinem Zentralstern befinden muss, damit Wasser auf der Oberfläche dauerhaft in flüssiger Form existieren kann und damit die Voraussetzungen für Leben, wie wir es kennen. Wie bereits erwähnt, sind überall im Sonnensystem alle uns bekannten Stoffe vorhanden, darunter Wasserstoff und Sauerstoff, woraus die Wassermoleküle bestehen. Jedoch, Wasser im flüssigen Aggregatzustand gibt es nur bei mäßigen Temperaturen, also in der Lebenszone. Die Lebenszone um einen Stern kann aus der Leuchtkraft des Sterns und seiner Größe berechnet werden. Den Mittelpunkt der Lebenszone eines beliebigen Sternes kann man mit folgender Gleichung berechnen:

$$d = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}}} \cdot 1 \text{ AE},$$

wobei d der Durchschnittsradius der bewohnbaren Zone (Ergebnis in AE, d. h. in astronomischen Einheiten), L_{Stern} ist die bolometrische Leuchtkraft eines Sternes, und L_{Sonne} ist die bolometrische Leuchtkraft der Sonne.

Somit befindet sich die Lebenszone eines Sterns, der zweimal heller als die Sonne ist, bei 1,4 AE (also weiter weg vom Stern). Die bolometrische Leuchtkraft bezeichnet die über das gesamte elektromagnetische Spektrum integrierte Leuchtkraft des Sterns und nicht nur die visuelle Leuchtkraft (siehe Arbeitsblatt).

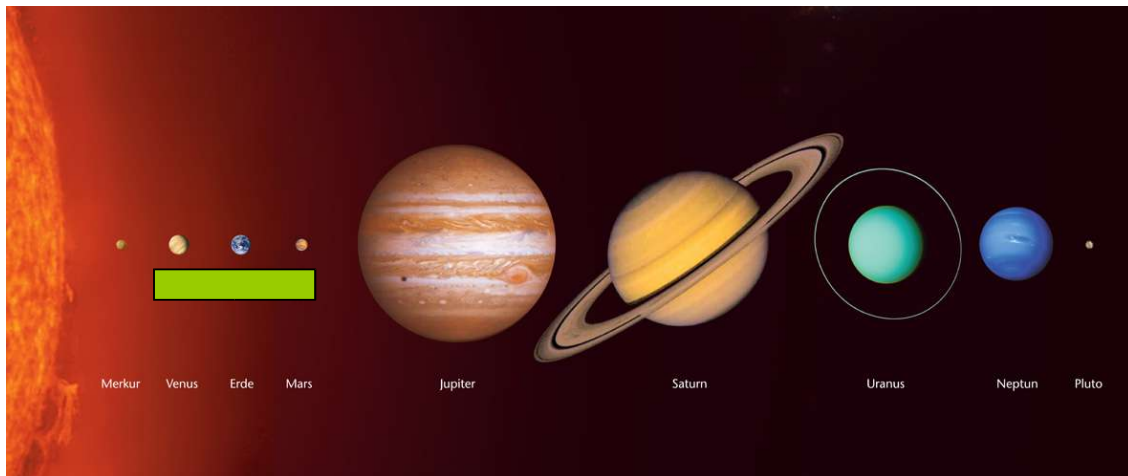


Abbildung 4: Die Lebenszone (in grün) um der Sonne. Noch dazu kommen die inneren Jupitermonde im Betracht.

Abbildung 4 zeigt die Reihenfolge der solaren Planeten (samt dem Zwergplaneten Pluto) und ihre Größenverhältnisse. Die inneren vier Planeten sind deswegen (heutzutage) Gesteinplaneten, weil der Sonnenwind die Ur-Gashüllen (insbesondere die leichteren Atome und Moleküle von Wasserstoff und Helium) dieser Planeten weggeblasen hat. Vor allem Merkur konnte wegen seiner niedrigen Masse und entsprechend niedrigen Schwerkraft keine Atmosphäre festhalten. Anderes bei Venus, Erde und Mars, die damals bereits massiv genug waren, um eine dünne Atmosphäre aus schwereren Gasen zu behalten. Die massenreicheren Planeten, die auch viel weiter weg von der Sonne sind, konnten auf Grund ihrer hohen Anziehungskraft viel größere Gashüllen aus leichten Gas behalten.

Arbeitsblatt 1: Die Lebenszone der Sterne Pollux und Gliese 581 bestimmen

2. Warum auf dem Mars das Wasser heute fehlt - eine Entstehung, zwei Entwicklungen

Heute gibt es die Vorstellung, dass sich Venus, Erde und Mars in der Frühzeit ähnlich entwickelt haben. Nachdem die Oberfläche von Mars und Erde abkühlte und eine feste Oberfläche bildete, hatten beide Planeten dieselbe Atmosphärenzusammensetzung. Sie bestand aus Kohlendioxid, Wasserdampf und Stickstoff mit Spuren von Methan, Ammoniak und Kohlenmonoxid. Diese Ur-Atmosphären entstanden durch das Ausgasen der Gesteine und durch einschlagende Kometen. Jedoch, aufgrund ihrer Größe und des Sonnenabstandes liefen die Entwicklungen der Planeten auseinander.

Die Ur-Erde

Bedingt durch ihre größere Nähe zur Sonne, die viele Asteroiden und Kometen anzog, waren vermutlich die Kollisionen solcher Objekten mit der Erde häufiger. Das Mehr an Kometeneinschlägen bedingte eine dichtere Atmosphäre. Dadurch erhöhte sich der atmosphärische Druck und mit der Abkühlung der Erdoberfläche konnte das Wasser auskondensieren und als Regen auf die Oberfläche fallen. Auf der Erde entstanden auf diese Weise die Meere und Ozeane. Jedoch ist es bis heute noch rätselhaft, warum die Erde so viel Wasser hat.

Der Ur-Mars

Weil Mars kleiner und weiter von der Sonne entfernt ist als die Erde, kühlte er rascher aus. Eine kleinere Masse bedeutete auch eine geringere geologische Aktivität und weniger Freisetzung von vulkanischen Gasen und entsprechend niedrigeren atmosphärischen Druck. Solange die Vulkane aktiv waren, war der atmosphärische Druck hoch genug, um Regen zu erzeugen. Laut Schätzungen gab es dort noch vor zwei Milliarden Jahren große Mengen an flüssigem Wasser. Es formte die heute noch sichtbaren Täler und Flussbetten.

Wegen seiner kleineren Masse besitzt Mars nur eine Fluchtgeschwindigkeit von 5 km/s (im Vergleich zu 11 km/s auf der Erde), was bewirkt, dass auch schwere Moleküle wie Wasser den Mars verlassen können. Die Vulkane glichen diese Verluste aus. Als jedoch die vulkanische Aktivität zurückging, sank der atmosphärische Druck und die Atmosphäre würde immer dünner und der Planet kälter. Flüchtige Gase gingen verloren, bis die Atmosphäre fast nur noch aus Kohlendioxid bestand.

Das restliche Wasser gefror dann auf der Oberfläche zu Eis und sublimierte direkt in den Gaszustand. Der heutige Verlust an Wasser, hochgerechnet über 4,5 Milliarden Jahre ergibt eine Wassermenge, die ausreicht, um den Mars global mit einer 5,6 m hohen Wasserschicht zu bedecken!



Abbildung 5: Erde und Mond noch als heiße Körper.

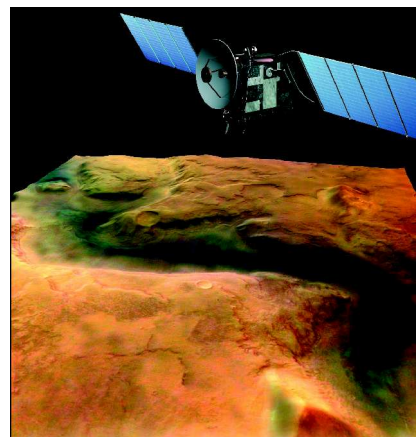


Abbildung 6: Trockenes Flussbett (Sonde Mars-Express).

Arbeitsblatt 2: [Sublimationspunkt des Wassers auf dem Mars selbst bestimmen](#)

3. Leben unter schwierigen Bedingungen: Bärtierchen im All

Wasser floss auf dem Mars während Millionen von Jahren. Waren seine Feuchtperioden lang genug für die Entwicklung von Leben? Mars besaß anscheinend die notwendigen Voraussetzungen dafür: Wasser, Kohlenstoffverbindungen und eine Energiequelle (die Sonne). Der Mars besitzt aber kein Magnetfeld und ist deswegen dem Sonnenwind schutzlos ausgesetzt. Zum Vergleich: Von Anfang an hatte die Erde ein Magnetfeld, das sie schützt und die lebensfeindlichen energiereichen Teilchen des Sonnenwindes zu den Polen lenkt (dadurch entstehen die Polarlichter). Ohne ein Magnetfeld kann sich eigentlich niemand lange auf dem Mars aufhalten.

Stuttgarter Biologen ließen vor Kurzem Bärtierchen in den Weltraum fliegen. Die Fragestellung des Zoologen Dr. Ralph O. Schill (Stuttgart Universität) und seines schwedischen Kollegen Dr. Ingemar Jönsson war, ob Tiere unter den extremen Bedingungen im Weltraum, wie Kälte, Vakuum und ionisierende Strahlung, überleben können.

Als Versuchstiere wurden zwei Arten von Bärtierchen ausgewählt. Bekannt ist, dass diese Tiere extreme Kälte oder Trockenheit auf der Erde ohne Schaden überstehen, indem sie den Stoffwechsel einstellen und tonnenförmig einschrumpfen (ein todesähnlicher Zustand, die so genannte Kryptobiose). Sobald die Umweltbedingungen besser werden, können die Tiere innerhalb einer halben Stunde zum aktiven Leben übergehen.

An dem Weltraumexperiment waren auch Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln sowie der Universität in Stockholm beteiligt. Das von der Europäischen Weltraumagentur ESA zur Verfügung gestellte



Abbildung 7: Bärtierchen.

BIOPAN-6-Modul transportierte die nur ein Millimeter großen Tierchen ins All.

Das Experiment: Im Kryptobiosezustand umkreisten die Tierchen zehn Tage lang die Erde in einer Höhe von rund 270 Kilometern und waren direkt dem Vakuum und je nach Experiment verschiedenen Strahlungen ausgesetzt.

Das Ergebnis: Beide Bärtierchenarten überlebten das Vakuum im Weltraum ohne bedeutsame Verluste im Vergleich zur Kontrollgruppe auf der Erde. Es gab jedoch je nach Strahlungszusammensetzung deutliche Unterschiede in der Überlebensrate zwischen den beiden Arten. Damit haben erstmals lebende Tiere einen Weltraumspaziergang überlebt! Bisher war es nur von Flechten und Bakterien bekannt, dass sie das Vakuum und ionisierende Strahlung überleben können. Wie die Bärtierchen in der Lage sind, solch hohe Strahlungsdosen über einen Zeitraum von zehn Tagen auszuhalten, bleibt aber bis jetzt noch ein Geheimnis.

Die Ergebnisse wurden in *Current Biology* veröffentlicht (siehe auch Pressemitteilung: <http://idw-online.de/pages/de/news276524>).

Arbeitsblatt 3: Bärtierchenquiz für Biologiefans