

Vortrag vor der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der
Bayerischen Akademie der Wissenschaften
am 14.11. 2008

Prof. Dr. Karl O. Stetter:

Kann es mikrobielles Leben auf dem Mars geben?

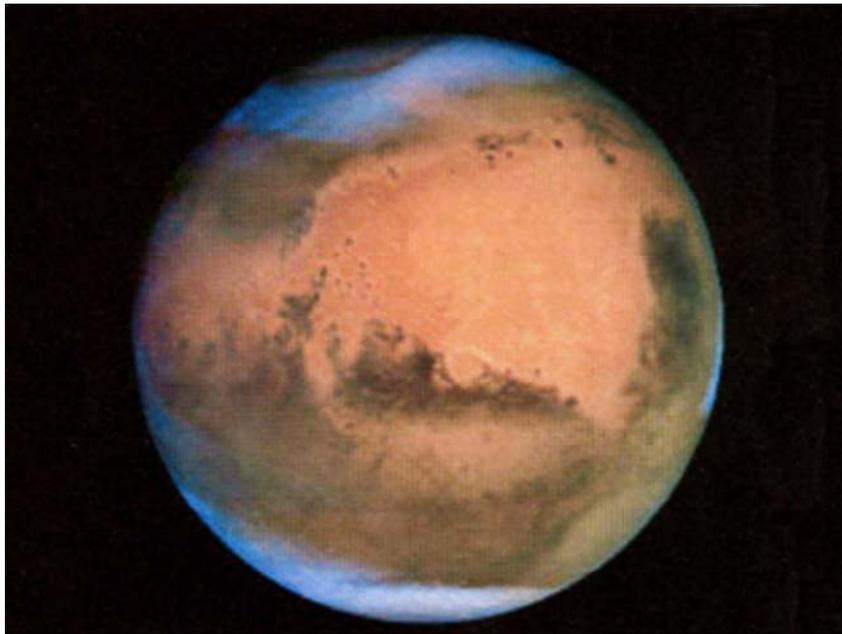


Abb. 1: Mars, heute (Hubble-Aufnahme, 2001)

In meinem Vortrag möchte ich die Möglichkeit von mikrobiellem Leben auf dem Mars aus der Sicht eines Mikrobiologen, der irdische Extrembiotope untersucht, diskutieren.

Mars: Allgemeine Daten:

- Durchmesser (ca. 1/2 Erde) : 6794 km
- Kern (flüssig) : 3300 km ø
- Masse (ca. 1/10 Erde) : $6,4 \times 10^{23}$ kg
- Marsjahr (ca. 1,9 Erdjahre): 687 Tage
- Jahreszeiten: Neigung der Rot.-Achse gegen Bahnebene: $25^{\circ}12'$
- Marstag: 24 Std. 37 min.
- Erdabstand: 194 – 402 Mio km (entspr.: 0,372 – 2,683 AE)
- Oberflächentemp. Äquator: Tag: ca. 20°C ; Nacht: ca. -85°C
- Atmosphäre: Oberfläche: 6,36 hPa (ca. 0,75% der Erde: 1013 hPa)
- Atm.-Zusammensetzung: 95,3% CO_2 ; 2,7% N_2 ; 1,6 % Ar; 1300 ppm O_2 ; 800 ppm CO; 210 ppm H_2O ; Spuren von Methan (Quellen?)
- Polkappen: festes CO_2 und H_2O
- 2 kleine Monde: Phobos und Daimos
- Erlöschene Vulkane (nahe Äquator): Olympus Mons: 26,4 km hoch
- Giovanni Schiaparelli's „Canali“ (1877): optische Täuschungen!

Abb. 2: Mars, allgemeine Daten

Der heutige Mars ist ein eisig kalter Wüstenplanet (Abb. 1). Sein Durchmesser beträgt etwa die Hälfte und seine Masse 1/10 der Erde (Abb.2). Die Atmosphäre an der Oberfläche ist mit ca. 6mbar sehr dünn und entspricht dem Druck in 35 km Höhe auf der Erde. Anders als die irdische, besteht sie hauptsächlich aus Kohlendioxid, Stickstoff, Argon sowie Spuren von Sauerstoff und Wasser (Abb.2). Interessanter Weise konnten kürzlich lokal Spuren von Methan festgestellt werden, deren Entstehung noch unbekannt ist (vulkanisch oder biogen?). Die Polkappen enthalten festes Kohlendioxid und Wassereis.

Der Italienische Architekt und Hobbyastronom Schiaparelli glaubte 1877 auf dem Mars Gräben (ital: Canali) beobachtet zu haben, was fälschlicher Weise mit „Kanäle“ übersetzt wurde. Wahrscheinlich handelte es sich um Kontrastartefakte. Astronomie-Kollegen, beispielsweise der damalige Leiter der Sternwarte in Flagstaff, Arizona, bestätigten die scheinbare Existenz der „Marskanäle“ und fertigten Zeichnungen an (Abb.3).

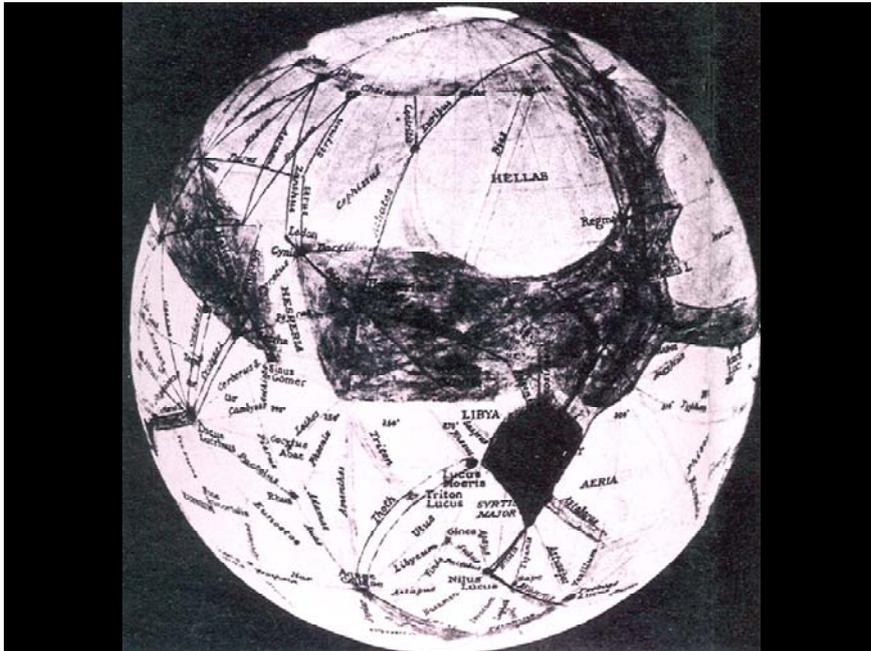


Abb. 3: Zeichnung der „Marskanäle“ (Percival Lowell, 1894)

Die „Marskanäle“ wurden als das Werk intelligenter Lebewesen gedeutet und führten in den folgenden Jahrzehnten zum Mythos der „Marsmenschen“, der erst 1965 durch den Vorbeiflug der US-Raumsonde „Mariner 4“ widerlegt wurde.

Inzwischen ist aufgrund von Marssatelliten und Landegeräten unser Bild von der Marsoberfläche viel besser und detaillierter geworden. Vielerorts wurden Spuren von Wasser gefunden, eine Grundvoraussetzung von Leben. So hat beispielsweise der Satellit „Mars Global Surveyor“ innerhalb der nördlichen und südlichen Hemisphaere (ab jeweils 30°) vergangene Riesenquellen („Gullys“) in Sanddünen entdeckt, die innerhalb der letzten Million Jahre entstanden waren und somit marsgeschichtlich noch relativ jung sind (Abb. 4).

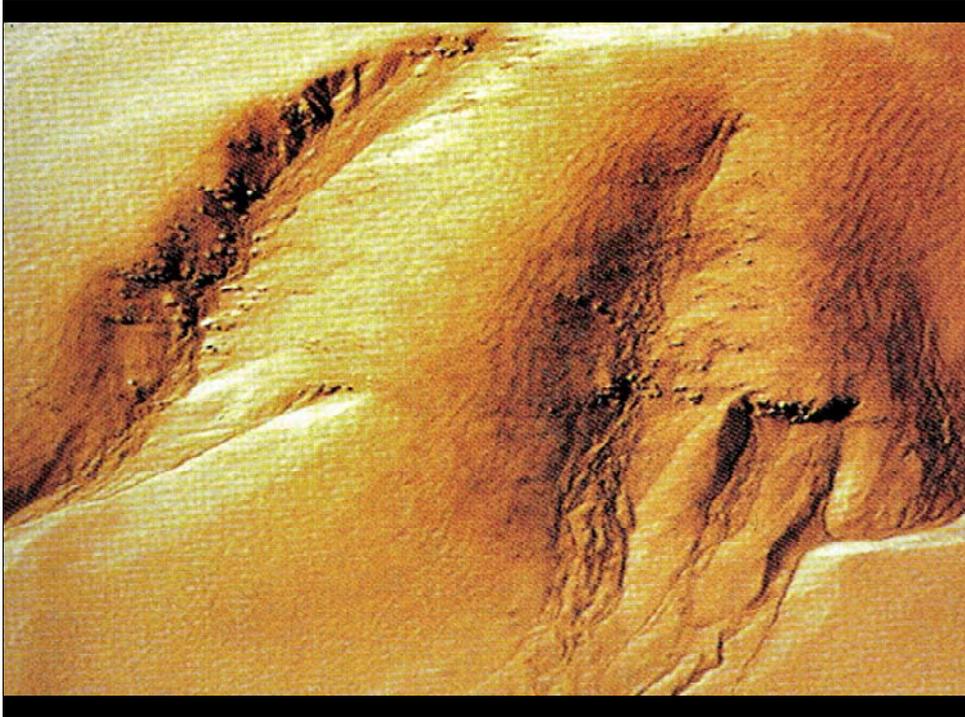


Abb. 4: Gullys innerhalb von Sanddünen

In der Nähe des Erebus-Kraters fand das Mars-Erkundungsfahrzeug „Opportunity“ geschichtete Sedimentfelsen (Abb. 5), die auf eine lange Bedeckung mit Wasser hindeuten.

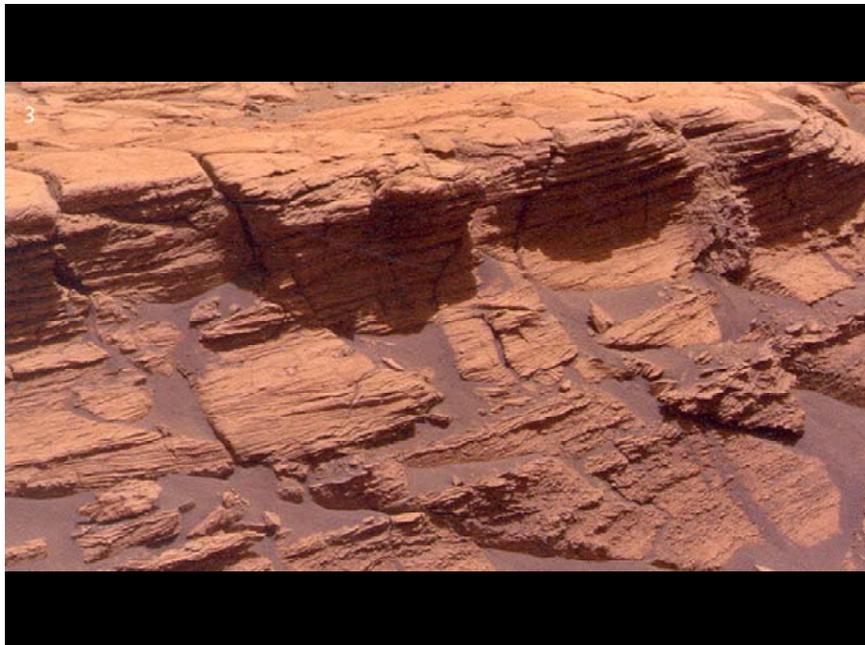


Abb. 5: Geschichtete Sedimentfelsen

Schließlich konnte der Landeroboter „Phoenix“ 2008 mit seinem Schaufelarm nur 50 cm tief im Marsboden weiße Eisstücke freilegen, die bereits nach 4 Tagen Exposition in der Marsatmosphäre wegsublimeriert waren.

Bei der Suche nach Leben auf einem fremden Planeten stellt sich natürlich die Frage, welche Art von Leben überhaupt nachweisbar ist. Bekannt ist uns ja lediglich unsere eigene Art von Leben, die auf Kohlenstoff-Verbindungen basiert. Für alles Andere, beispielsweise Leben auf Silizium-Basis, haben wir keinerlei Evidenz. Es handelt sich höchstens um Stoff für Science-Fiction-Geschichten. In Abb.6 sind einige wichtige Charakteristika von Leben zusammengestellt.



Abb. 6: Einige Charakteristika von Leben.

Trotz der großen äußerlichen Verschiedenheit der irdischen Lebewesen sind diese in ihren molekularen Grundmechanismen erstaunlich ähnlich, was nur durch eine gemeinsame phylogenetische Wurzel erklärbar ist.

Extrem kalte und trockene Gebiete gibt es auch auf unserer Erde, beispielsweise nahe den Polkappen und in Gebirgen in großer Höhe, in denen ich nach mikrobiellem Leben gesucht habe:

In Nordalaska an der Prudhoe Bay gibt es unter einer 400 Meter mächtigen Permafrostzone, die an die Verhältnisse auf dem heutigen Mars erinnert, in 3000 bis 4000 Meter Gesteinstiefe Öllagerstätten mit Wasser-Öl-Gasgemischen (Abb. 7). Hauptsächlich durch den natürlichen radioaktiven Zerfall, aber auch durch die Wärmeleitung vom flüssigen Kern aus der Tiefe entsteht ein starker Hitzestau, so dass die Lagerstättentemperaturen 80 bis 100 °C betragen.



Abb. 7: Permafrostboden mit Ölförderung an der Prudhoe Bay, Nordalaska.



Abb. 8: Probenahme von geförderten Öl-Wasser-Gasgemischen

Wir konnten Proben der geförderten Öl-Wasser-Gasgemische an den dortigen Brunnen nehmen (Abb. 8). Sie enthielten eine Vielzahl von Hochtemperaturmikroben, die an der kalten Oberfläche nicht wachsen konnte. Ähnliches stellten wir beim Nordseeöl fest (Abb. 9): Auf der Thistle-Alpha-Plattform kommen Öl-Wasser-Gasgemische nach oben, die bis zu 10 000 Zellen hyperthermophiler Mikroorganismen pro Milliliter enthielten, die im Labor bei 85-102°C kultiviert werden konnten. In der Tiefe sollten daher noch viel höher konzentrierte Ansammlungen vorkommen, als Aufwuchs in den Hohlräumen des dortigen porösen Sandsteins.

Examples of viable hyperthermophiles found in Thistle produced fluids

(Enrichments at 85 and 102°C)

Well No.	Original titre (cells/ml)	Identified species
A02	100 10 1000	<i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>Archaeoglobus lithotrophicus</i> <i>Thermococcus celer</i> ; <i>Thermococcus litoralis</i> <i>Pyrococcus sp. nov.</i>
A05	1000 10 10	<i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>Archaeoglobus lithotrophicus</i> <i>Thermococcus litoralis</i> <i>Pyrococcus sp. nov.</i>
A08	10000 100 10	<i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>A. profundus</i> ; <i>A. lithotrophicus</i> <i>Thermococcus litoralis</i> <i>Pyrococcus sp. nov.</i>
A25	100 1000 10	<i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>Archaeoglobus lithotrophicus</i> <i>Thermococcus celer</i> ; <i>Thermococcus litoralis</i> <i>Pyrococcus sp. nov.</i>
A31	100 10 1000	<i>Archaeoglobus fulgidus</i> ; <i>Archaeoglobus lithotrophicus</i> <i>Thermococcus celer</i> ; <i>Thermococcus litoralis</i> <i>Pyrococcus sp. nov.</i>

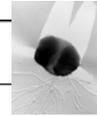


Abb. 9: Lebende Mikroben in geförderten Fluiden

Auch in der Atacama-Wüste in 4600 m Höhe wurden wir fündig: Hier regnet es oft Jahrhunderte nicht. Ähnlich dem Mars enthält der Boden Perchlorate. Im Mount Tatio Gebiet (Abb. 10) treten stark arsenhaltige, durch Vulkanismus aufgeheizte, kochende Fluide an die Oberfläche. Wie wir feststellen konnten, enthalten diese bis zu 10 000 lebende Zellen von Hyperthermophilen, die im dortigen kalten trockenen Wüstenboden nicht wachsen könnten.



Abb. 10: Heiße Fluide am Mount Tatio, Atacama Wüste, Chile

Der Antarktika-Kontinent ist seit über 30 Millionen Jahren „tiefgefroren“. Dort habe ich auf den Gipfeln der aktiven Vulkane Mount Erebus (Abb. 11) und Mount Melbourne (Abb. 12) nach mikrobiellen Lebensgemeinschaften gesucht. Selbst im Sommer betragen die dortigen

Oberflächentemperaturen nur etwa -28°C . Die durch heiße Dämpfe aufgeheizten Böden und Fumarolenaustritte enthalten jedoch eine Vielzahl lebender thermophiler Mikroorganismen.



Abb. 11: Fumarolen an der Gipfel­flanke des Mount Erebus, Antarktika

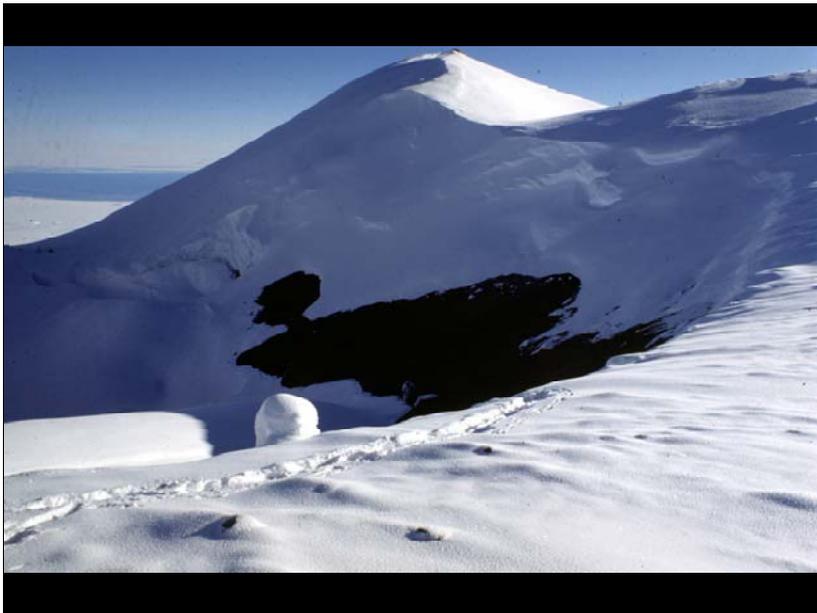


Abb. 12: Vulkanisch aufgeheizte Böden am Mount Melbourne, Antarktika

Wann könnte das Leben auf der Erde –und womöglich am Mars– entstanden sein? Die ersten Lebensspuren weisen weit zurück zur Uerde vor 3,8 bis 3,5 Milliarden Jahren. Die damalige Erde war viel heißer als heute, da ihre Kruste noch viel dünner war (Abb. 13).



Abb. 13: Urerde vor 3,8 Milliarden Jahren

Häufige Meteoriteneinschläge heizten die Oberfläche inklusive der Ozeane zusätzlich auf. Außerdem wirkten sie als Katapulte, die zu einem regen Stoffaustausch mit den anderen Planeten und Monden des Sonnensystems führten. Die Erdatmosphäre enthielt praktisch keinen Sauerstoff, war dafür aber reich an Gasen wie Stickstoff, Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff und Wasserstoff.

Zu jener Zeit war auch die Oberfläche des Mars – ähnlich der Erde – heiß und wasserhaltig (Abb.14). Außerdem war eine viel dichtere Atmosphäre als heute vorhanden. Somit wären



Abb. 14: Urmars vor 3,8 Milliarden Jahren

die dortigen Voraussetzungen sehr günstig gewesen für eine Kolonisierung durch mikrobielles Leben von der Erde (oder auch umgekehrt!). Der Stoffaustausch Mars-Erde zur Zeit des damaligen „Großen Bombardements“ wird auf etwa 30 000 Tonnen pro Jahr geschätzt, wobei in den herausgeschleuderten Fragmenten enthaltene Mikroben mit großer Wahrscheinlichkeit überlebt hätten. (Über die Entstehung des Lebens – egal ob auf der Erde oder sonst wo – wissen wir bisher so gut wie nichts, so dass ich auf dieses äußerst kontrovers diskutierte Thema hier nicht näher eingehen möchte.)

Über den inneren Aufbau des heutigen Mars wissen wir nur sehr wenig, da noch keine seismischen Messungen durchgeführt wurden. Durch Analysen der Bahndaten des Marssatelliten „Mars Global Surveyor“ konnte kürzlich überraschender Weise nachgewiesen werden, dass der Mars heute noch einen flüssigen Kern mit einem Radius von etwa 1 700 km besitzt (Abb.2) der wahrscheinlich aus Eisen und leichteren Elementen, beispielsweise Schwefel, besteht. Trotz der heute lebensfeindlichen, sehr kalten Oberfläche könnten somit durch Wärmeleitung im Inneren viel höhere Temperaturen existieren, als ursprünglich angenommen, die mikrobielles Leben bei entsprechenden Voraussetzungen auch heute noch unterstützen. Die Oberfläche des heutigen Mars könnte somit Spuren von vergangenem Leben enthalten, während es in der Tiefe – ähnlich den Gegebenheiten in Nordalaska – Spuren von rezemem mikrobiellem Leben geben könnte.

Wie sind auf der heutigen Erde erste Lebensspuren nachweisbar?

Die ältesten noch erhaltene Gesteine sind verstreute Reste von damaligen Gesteinsschollen, so genannte Kratone, darunter die 3,9 Milliarden Jahre alte Isua-Stufe im Südwesten Grönlands sowie die 3,5 Milliarden Jahre alte Warrawoona-Stufe in Westaustralien. Sie zeigen bereits Spuren von mikrobiellem Leben, hauptsächlich Einschlüsse von Graphit, dessen Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope 12 und 13 auf einen biologischen Ursprung hindeutet (Diskriminierung von ^{13}C gegenüber ^{12}C !). Ob sich hierbei sogar die Gestalt dieser Mikroben über Jahrmilliarden erhalten hat (Abb. 15), oder ob es sich nur um hydrothermale Präzipitate handelt, wird derzeit heiß diskutiert.

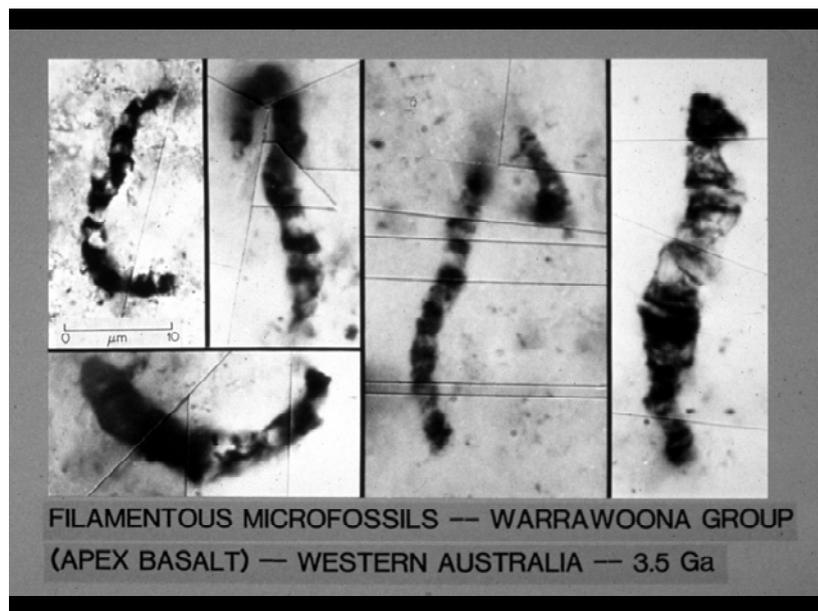


Abb. 15: Mögliche Mikrofossilien (oder hydrothermale Präzipitate?) in der Warrawoona-Stufe, Westaustralien

Der Nachweis lebender Mikroben in der Umwelt erfolgt durch spezifische Anfärbung von Zellkomponenten, die für Lebewesen charakteristisch sind. So kann die DNA mit Hilfe des

Farbstoffs DAPI (Abb. 16), der in die Zellen eindringt und mit AT-reichen Regionen der kleinen DNA-Furche interkaliert. Die dabei entstehende blaue Fluoreszenz kann unter dem UV-Mikroskop nachgewiesen werden (Abb.16).

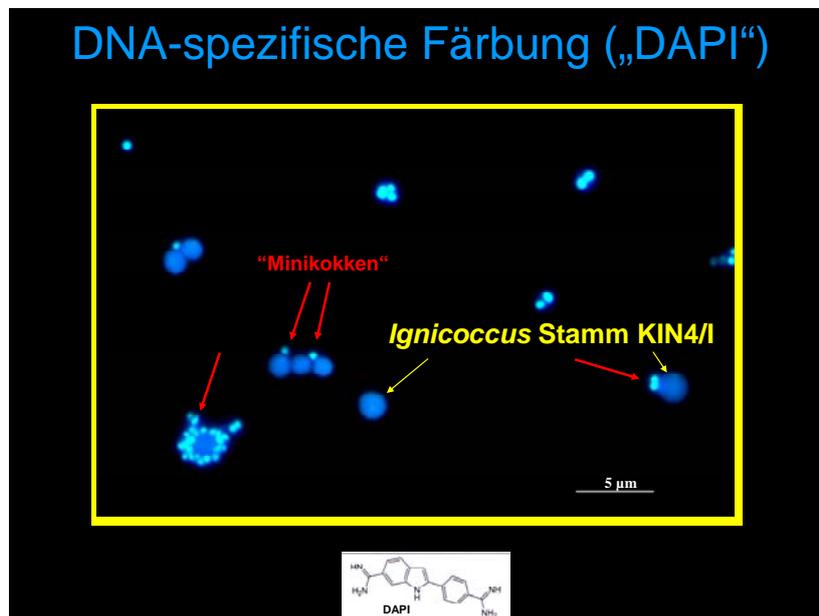


Abb. 16: DNA-spezifische Zellfärbung der Symbiose-Gemeinschaft *Ignicoccus hospitalis* (große Kugeln) und *Nanoarchaeum equitans* („Minikokken“).

Die stammesgeschichtlichen (phylogenetischen) Beziehungen von allen irdischen Organismen können mit Hilfe des molekularen Stammbaumes nach Carl Woese ermittelt werden. Hierzu wird die Sequenz der in der kleinen Ribosomeneinheit vorhandenen sogenannten 16S rRNA ermittelt (Abb. 17) und mit den bereits bekannten Sequenzen von anderen Organismen verglichen. Die 16S rRNA stellt ein lebenswichtige, im Laufe der langen Evolution nur relativ wenig verändertes Molekül der Ribosomen, der Proteinfabriken der Zelle, dar. Aufgrund der Unterschiede kann ein Stammbaum errechnet werden (Abb. 18). Es ergibt sich ein dreigipfelter Baum und somit eine Dreiteilung des Belebten : Die Bakterien, Archaeen und Eukaryonten. Tiefe Verzweigungspunkte im Baum deuten auf eine entwicklungsgeschichtlich

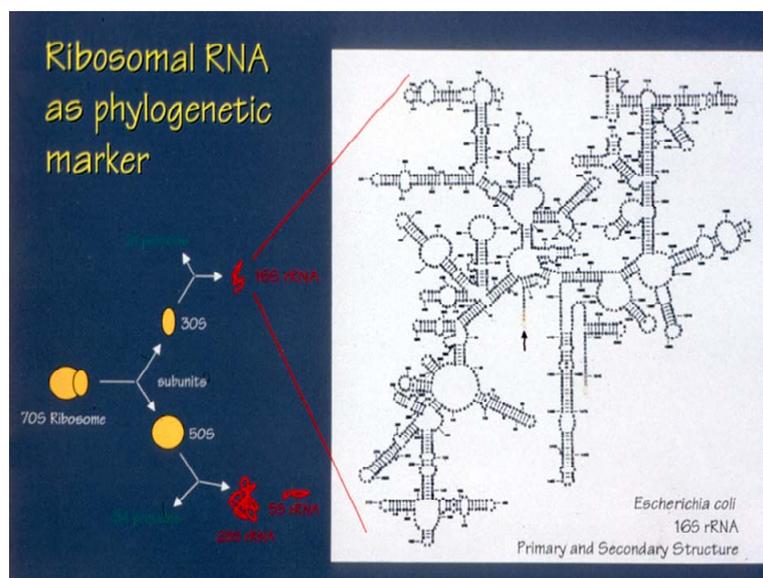


Abb. 17: 16S rRNA als phylogenetisches Merkmal.

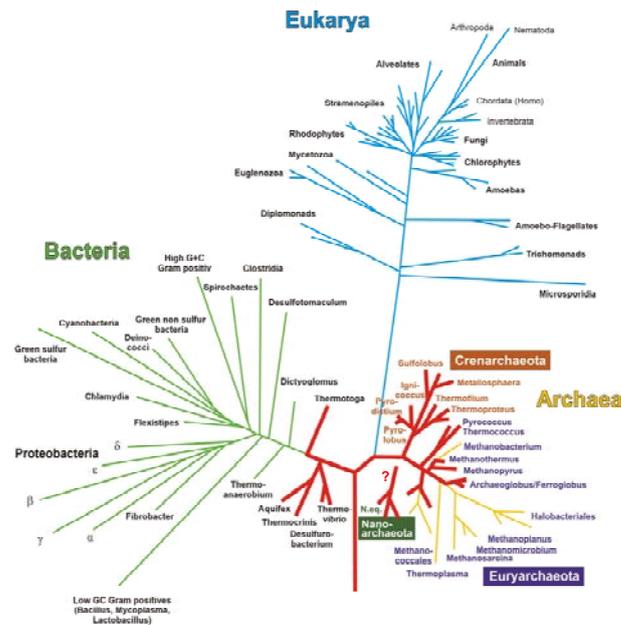


Abb. 18: Universeller Molekularer Stammbaum, basierend auf 16 (18) S rRNA Vergleichen.

sehr frühe Abtrennung der entsprechenden Linie von den anderen hin. Die Astlänge, die sich aus vielfältigen Sequenzvergleichen ergibt, liefert einen Hinweis auf die Evolutionsgeschwindigkeit der jeweiligen Entwicklungslinie: Lange Äste weisen auf eine rasche Evolution hin, kurze auf eine langsame.

Ist die Sequenz der 16S rRNA einmal bekannt, können die zugehörigen Zellen (beispielsweise in Umweltproben) mit Hilfe der sogenannten „Phylogenetischen Färbung“, (FISH-Staining) unter dem Fluoreszenz-Mikroskop identifiziert werden (Abb. 19). Hierzu werden spezifische komplementäre DNA-Stückchen, an die ein Fluoreszenzfarbstoff gekoppelt ist, in der Zelle mit der entsprechenden 16S rRNA in den Ribosomen (ca. 20 000/Zelle) hybridisiert. Die Zellen zeigen dann die Farbstoff-bedingte Fluoreszenz (Abb. 19).

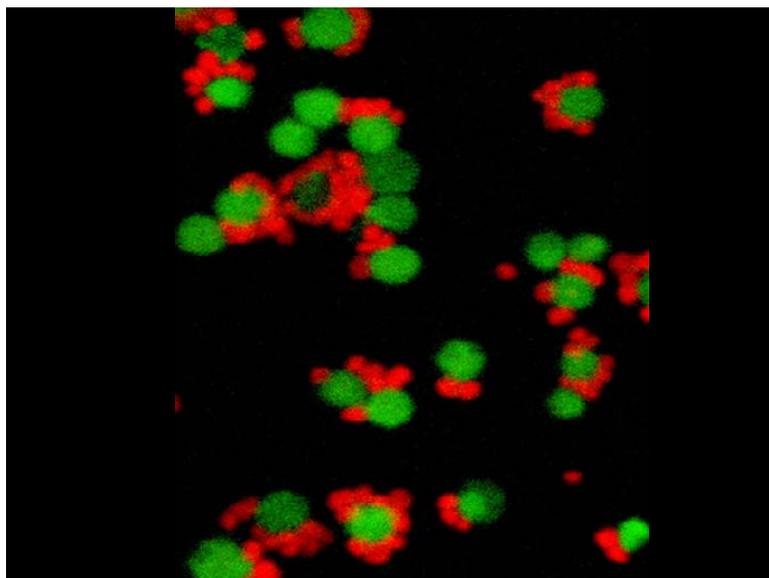


Abb. 19: Phylogenetische Färbung von Zellen der Symbiosegemeinschaft *I. hospitalis* (grün)-
N. equitans (rot).

Mikroorganismen sind an ihre Umgebung optimal angepasst, beispielsweise die hyperthermophilen Archaeen und Bakterien an ihre heißen Lebensräume (Abb. 20):

Wachstumsbedingungen hyperthermophiler Archaeen und Bakterien (Beispiele).

Art	Min. Temp. (°C)	Opt. Temp. (°C)	Max. Temp. (°C)	pH	Ernährung autotroph (a) heterotroph (h)	Biotoptyp marin(m) terrestrisch (t)	aerob (ae) oder anaerob (an)
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	60	75	85	1-5	a/h	t	ae
<i>Acidianus infernus</i>	60	88	95	1.5-5	a/h	t/m	ae/an
<i>Thermoproteus tenax</i>	70	88	97	2.5-6	a/h	m	ae/an
<i>Pyrobaculum aerophilum</i>	75	100	104	6-9	a/h	t	an
<i>Thermosillum pendens</i>	70	88	95	4-6.5	h	t	an
<i>Desulfurococcus mobilis</i>	70	85	95	4.5-7	h	t	an
<i>Staphylothermus marinus</i>	65	92	98	4.5-8.5	h	m	an
<i>Acropyrum pernix</i>	70	90	100	5-9	a/h	m	ae
<i>Ignicoccus islandicus</i>	65	90	100	3.9-6.3	a/h	m	an
<i>Pyrodicticum occultum</i>	82	105	110	5-7	a/h	m	an
<i>Pyrolobus fumarii</i>	90	106	113	4.0-6.5	a	m	ae/an
<i>Pyrococcus furiosus</i>	70	100	105	5-9	h	m	an
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	60	83	95	5.5-7.5	a/h	m	an
<i>Methanopyrus kandleri</i>	84	98	110	5.5-7	a	m	an
<i>Methanococcus igneus</i>	45	88	91	5-7.5	u	m	au
<i>Thermotoga maritima</i>	55	80	90	5.5-9	h	m/t	an
<i>Aquifex pyrophilus</i>	67	85	95	5.4-7.5	a	m	ae/an

Abb. 20: Wachstumsbedingungen hyperthermophiler Archaeen und Bakterien.

So verschieden die Organismen auch sind, der Unterschied zwischen Temperaturunter- und -obergrenze des Wachstums beträgt in der Regel ca. 25 bis 30 °C, ähnlich wie bei *E. coli* und anderen „normalen“ Bakterien. *Acidianus infernus* z.B. wächst zwischen 60 und 95 °C bei einem Optimum von 88 °C. Das mag verschiedene Ursachen haben, insbesondere die Konformation und Stabilität von Zellkomponenten. Vertreter der Gattungen *Acidianus* und *Sulfolobus* sind thermoacidophil, d.h. sie wachsen am besten im sauren Heißen. Mehrere hyperthermophile Archaeen sind buchstäblich „kochfest“, oder sogar gegen noch höhere Temperaturen resistent, so dass sie bei maximalen Temperaturen von bis zu 113 °C wachsen.

Die Energiegewinnung der Lebewesen beruht auf chemischen Redoxreaktionen und im Spezialfall der Cyanobakterien (und den daraus abstammenden Chloroplasten!) auf Photosynthese. Bei den chemosynthetischen Mikroorganismen handelt es sich oft um verschiedene Typen von Atmungen (Abb. 21), wobei die uns geläufige Sauerstoff-Atmung nur einen Sonderfall darstellt.

Energie-bildende Reaktionen chemolithoautotropher Hyperthermophiler	
Energie-bildende Reaktion	Gattungen
O₂-Atmung: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	Sulfolobus, Acidianus, Metallosphaera, Pyrolobus, Pyrobaculum, Aquifex
$2\text{S}^\circ + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$	Sulfolobus, Acidianus, Metallosphaera, Aquifex
$\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ (Erzlaugung)	Acidianus, Metallosphaera, Sulfolobus
NO₃-Atmung: $4\text{H}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} + 2\text{H}_2\text{O}$	Pyrolobus
$\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{S}^\circ + \text{H}_2\text{O}$	Ferroglobus
$\text{S}^\circ + 6\text{HNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{N}_2 + 5\text{H}_2\text{SO}_4$	Aquifex
$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 4\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	Aquifex
$2\text{FeCO}_3 + \text{HNO}_3 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{CO}_3$	Ferroglobus
S-Atmung: $\text{H}_2 + \text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$	Acidianus, Pyrobaculum, Pyrodicticum, Ignicoccus
Thiosulfat Atmung: $4\text{H}_2 + \text{FeS}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{H}_2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	Archaeoglobus, Pyrobaculum, Acidianus, Pyrodicticum
Sulfit Atmung: $3\text{H}_2 + \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	Archaeoglobus, Pyrodicticum, Pyrobaculum, Pyrolobus
Sulfat Atmung: $4\text{H}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	Archaeoglobus
Eisen-Atmung: $\text{H}_2 + 6\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$	Pyrobaculum
Carbonat Atmung: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Methanogenese)	Methanopyrus, Methanothermus, Methanococcus

Abb. 21: Energiebildende Reaktionen am Beispiel der chemosynthetischen Hyperthermophilen.

Je nach verwendetem Elektronenakzeptor können als Endprodukte beispielsweise Methan, Magnetit, Schwefelwasserstoff, Stickstoff oder Wasser entstehen. Oft gibt es regelrechte Stoffkreisläufe, die von den Mikroorganismen auf engstem Raum betrieben werden, beispielsweise der Schwefelkreislauf (Abb. 22).

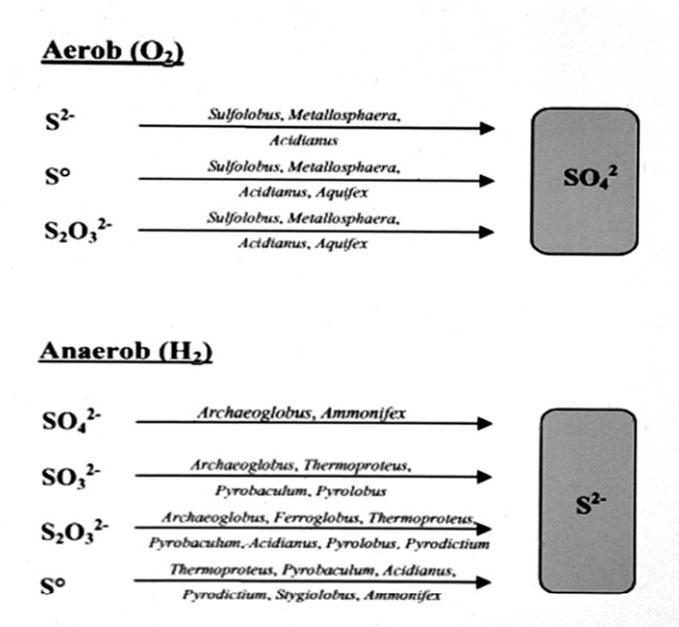


Abb. 22: Schwefelkreislauf (Beispiel: Hyperthermophile Mikroorganismen)

Für ein tieferes Verständnis von Mikroorganismen, egal ob von der Erde oder vom Mars, erscheint eine Kultivierung im Labor unumgänglich. Im Labor werden die O₂-freien Proben in Anaerobenkammern unter Schutzgas geöffnet (Abb.23) , und es werden Nährmedien hergestellt, die der ursprünglichen natürlichen Umgebung der Proben angepasst sind (z.B. Meerwasser, Mineralwasser). Da die Nährstoffansprüche der anzureichernden Organismen

unbekannt sind, werden verschiedenste mögliche anorganische und organische Energiequellen wie Wasserstoff, Schwefel, Nitrat, Sauerstoff, Kohlendioxid, Hefeextrakt, Fleischextrakt und Zucker in die Nährmedien gegeben. Erfolgt nach Beimpfung mit den Proben und Inkubation Wachstum, werden Reinkulturen hergestellt.



Abb. 23: Anaerobenkammer zum Hantieren von Proben

Zur Gewinnung größerer Zellmassen für biochemische Untersuchungen werden die Mikroorganismen in 300 Liter-Fermentern im Biotechnikum angezchtet (Abb.24):



Abb. 24: Biotechnikum Universität Regensburg, Teilansicht mit 300Liter-Spezialfermentern

Mit der besprochenen Methodik wäre es sicherlich möglich vom Mars erhaltene Proben zu bearbeiten und zu entscheiden, ob es sich bei eventuell kultivierbare Mikroben um endemische Marsbewohner oder nur um irdische Kontaminanten handelt. Auch wenn die

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Probenrückkehr gegeben wäre, ist leider derzeit eine Rückkehr nicht sterilisierter Proben zur Erde aus übertriebenen sicherheitspolitischen Gründen gar nicht möglich.



Abb. 25: Sonde „Mars2“; Briefmarke UdSSR 1971

Abschließend – zugegeben nicht ohne ein Quäntchen Ironie – möchte ich die Frage nach derzeit lebenden Mikroben auf dem Mars eindeutig positiv beantworten. Es sind bisher schon über 30 Objekte, die vom Menschen gebaut wurden und die den Mars erreichten und meist darauf zerschellten oder sanft landeten. Keines von ihnen war vorher sterilisiert worden, so dass sie sicherlich ganze „Mini-Zoos“ von irdischen Mikroben enthielten, die den Aufprall, selbst ungebremst, problemlos überstanden hätten. Den Anfang hatte im Jahre 1971 die sowjetische Sonde „Mars2“ gemacht, die Wimpel auf den Mars transportierte und dabei zerschellte (Abb. 25). Auch diese Möglichkeit der Kontaminierung der Marsoberfläche in jüngster Zeit müsste bei einer zukünftigen Suche nach Leben auf dem Mars äußerst kritisch und sorgfältig berücksichtigt werden, um nicht ungewollt Stoff für weitere Science-Fiction Filme zu liefern.