

- FRÖHLICH E & WAGNER H-J (1996) Rod outer segment renewal in the retinae of deep-sea fish. *Vision R.* 36, 3183-3194.
- FRÖHLICH E, NEGISHI K & WAGNER H-J (1996) Patterns of rod proliferation in deep-sea fish retinae. *Vision R.* 35, 1799-1811.
- KAPPEL T & ANKEN RH (1992) Die Netzhaut. *Mikrokosmos* 81, 179-182.
- LÜTJEN-DRECOLL E & ROHEN JW (1997) *Atlas der Anatomie.* Stuttgart.
- MOORE KL (1990) *Embryologie* Stuttgart, 3. Auflage.
- NESSE RM & WILLIAMS GC (1997) *Warum wir krank werden. Die Antworten der Evolutionsmedizin.* München.
- NEUHAUS K (1997) Ist das Tintenfischauge „besser“ als das Wirbeltierauge? *Stud. Int. J.* 4, 79-81.
- NILSSON D & PELGER S (1994) A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proc. R. Soc. Lond. B* 256, 53-58.
- OTT M & SCHAEFFEL F (1995) A negatively powered lens in the chameleon. *Nature* 373, 692-694.
- RECHENBERG I (1994) *Evolutionstrategie '94.* Stuttgart.
- SCHERER S (1993) *Entstehung der Photosynthese. Grenzen molekularer Evolution bei Bakterien?* Neuhausen-Stuttgart.
- SILBERNAGEL S & DESPOPOULOS A (1988) *Taschenatlas der Physiologie.* Stuttgart, 3. Auflage.

Kein Platz für Außerirdische?

Die Suche nach Nischen für extraterrestrisches Leben

Norbert Pailer, Landstr. 24, 88719 Meersburg-Stetten
& Martin Kasemann, Garwiedenweg 3, 88677 Markdorf

Zusammenfassung: Die Diskussion um außerirdisches Leben irgendwo im Planetenraum oder gar in fernen Sternensystemen bewegt viele Zeitgenossen und kommt in der Fachpresse und in den Medien nicht zur Ruhe. Die nachstehende Arbeit faßt den augenblicklichen Stand der „Spurensuche“ zusammen und unterzieht ihre Erfolgsaussichten einer kritischen Analyse.

Zunächst wird im Kontrast zu sonst üblichen Argumentationsweisen gezeigt, daß irdische Verhältnisse selbst bei einem Reservoir von rund 10^{25} Sonnen – die zumindest teilweise Planeten besitzen könnten – ein Fall wie die Erde trotzdem als außergewöhnlich selten anzusetzen ist. Dazu kommt, daß bisherige Nachweise von extrasolaren Planeten oder Indizien darauf auf große, sonnennahe Objekte hindeuten, die als Träger von Leben der uns bekannten Form ungeeignet sind. Im interplanetaren Bereich streifen die Ausführungen den Saturnmond Titan und die Jupitermondwelten als potentielle Brutstätten von Leben, um schließlich den Stand der Suche nach eventuellen Lebensspuren in Marsgestein und Asteroiden zusammenzufassen. Manche Autoren gehen so weit, daß allein die Anwesenheit der nötigen chemischen Ingredienzien zusammen mit Wasser und Sonne dazu führen sollen, daß Leben gar nicht vermeidbar ist – Leben als pures Planetenoberflächenphänomen, als kosmische Notwendigkeit? Gegen eine solche Auffassung stehen jedoch in vielen Jahren gewonnene Erkenntnisse aus der präbiotischen Chemie.

Trotz intensiver Suche nach außerirdischem Leben gibt es bislang keinen Kontakt zu anderen Lebensformen im Universum. Erstaunlicherweise zwei-

feln aber nur wenige daran, daß es im Weltall noch andere gibt, Außerirdische, Aliens, ETs, oder wie auch immer sie genannt werden. Die Einsamkeit auf dem Blauen Planeten erscheint den meisten Erdlingen unerträglich.

Erdähnliche Planeten in den Weiten des Raumes?

Im allgemeinen wird als Argument für die Existenz extraterrestrischen Lebens die große Anzahl der Sterne angeführt. So wird heute von rund 100 Milliarden Sternen nur in unserer Galaxie gesprochen und darüber hinaus von einem Reservoir von ebenso vielen Galaxien, also rund 100 Milliarden, im sichtbaren Kosmos ausgegangen. So lautet denn unter Bezugnahme auf diese Zahlen die allgemeine Argumentation, daß es bei so vielen Sternen noch anderes Leben außer auf der Erde geben müsse. Dafür geeignete Himmelskörper sollte es auf jeden Fall geben.

Die Hoffnung auf deren Nachweis stützt sich auf das exakte Vermessen von Sternpositionen. Hier zeigt sich, daß diese ein wenig wabern. Computerrechnungen liefern dazu die Erklärung: Planeten sollen diese Sterne umkreisen und lassen sie nahezu unmerklich mitschwingen. Diese auf spektroskopischem Wege feststellbare Bahnstörung eines Sterns ist auf einen Umkreis von rund 100 Lichtjahren beschränkt und läßt sich also nur auf Sterne unserer „Nachbarschaft“ anwenden (GÜNTER 1999).

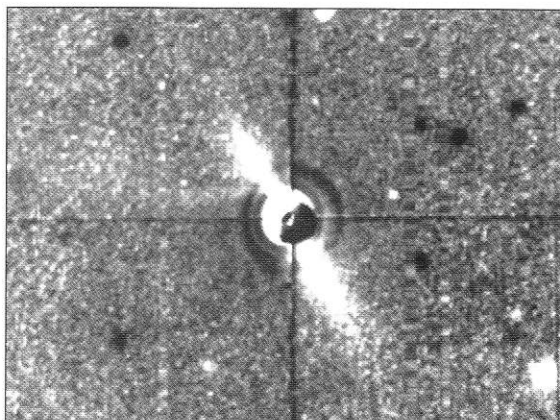


Abb. 1: Der Stern β -Pictoris mit seiner im Infrarot-Bereich angezeigten Staubscheibe.

Auf diese Weise soll die Schwierigkeit des direkten Nachweises von Planeten überwunden werden. Denn fremde Planeten sind unsichtbar, da sie lichtschwach sind und zudem vom Licht ihrer Sonne überstrahlt werden. Um sie zu erkennen, muß man stattdessen kleinste Bewegungen des Zentralsterns in entsprechende Massen und Bahnen von Trabanten umrechnen. Fast alle diese unsichtbaren Körper erwiesen sich bislang als extrem schwere Brocken, unwirtliche Gasbälle, am ehesten vom Typ unseres Nachbarplaneten Jupiter. Und sie kreisen meist in auffallend kleinem Radius um den Zentralstern, was die Planeten derart aufheizt, daß Atome sich unmöglich zu komplexeren Ketten wie zum Beispiel zur Vererbung geeigneter Makromoleküle oder gar zu Zellen zusammenschließen könnten. Die Existenz kleinerer Planeten ist damit natürlich nicht ausgeschlossen, aber deren Nachweis ist bislang nicht gelungen. Zudem lehrt das Beispiel der Venus, daß ein auf den ersten Blick erdähnlicher Planet ganz andere Bedingungen als die Erde aufweisen kann, weshalb man in der Beurteilung möglicher geeigneter Kandidaten also entsprechend vorsichtig sein muß.

Anfang 1998 veröffentlichte der Astronom HOLLAND von der Universität Hawaii eine weitere Entdeckung: Mit Hilfe eines Infrarot-Teleskops fand WAYNES Team je einen auffälligen, feinen Staubring um die Sterne Formalhaut, Beta Pictoris und Wega (Abb. 1) sowie im Orion-Nebel (PAILER 1998a). Die Staubscheibe dieser stellaren Ringe ist ungleich geringer als im Umkreis eines neugeborenen Sterns, nur wenige Millionstel Gramm pro Kubikkilometer. Jetzt wird gerätselt, wohin der mutmaßliche ursprüngliche Staub entschwand. Der Befund wird nun so interpretiert, daß im Umfeld dieser Himmelskörper gerade ein massives Planetensystem entsteht, das diesen Staub durch Koagulation (Zusammenballung) „aufgebraucht“ hat. Vielleicht können empfindlichere Teleskope in einigen Jahren diese vorerst spekulative Interpretation stützen.

Notwendige Konstellationen zur Bildung erdähnlicher Planeten

Doch all diese Entdeckungen können nicht darüber hinwegtäuschen, daß eine unglaubliche Kette extrem seltener Ereignisse der Entstehung eines erdähnlichen Planeten vorangehen muß. Zufälle, die in ihrem Produkt so unwahrscheinlich sind, daß es rein rechnerisch sogar uns Menschen gar nicht geben dürfte.

Harald LESCH, Professor für Astrophysik an der Universität München, hat sich neben seiner Tätigkeit im Bereich der Plasmaphysik und kosmischer Magnetfelder darauf spezialisiert, überzogene Hoffnungen auf außerirdisches Leben zu dämpfen. „Ob es einem gefällt oder nicht“, argumentiert LESCH, „eine fast unendliche Folge irrwitziger Zusammenkünfte macht die Entstehung der Menschheit zu einem vielleicht einzigartigen Ereignis“ (LESCH 1998).

„Eine fast unendliche Folge irrwitziger Zusammenkünfte macht die Entstehung der Menschheit zu einem vielleicht einzigartigen Ereignis.“

So taugt nicht jeder Stern für erdähnliche Planeten, denn die Hälfte aller Sterne im Universum ist in Doppel- oder Mehrfach-Sternsystemen gebunden und kann schon deshalb keine Planeten dauerhaft an sich binden. Zudem zeigen theoretische Überlegungen, daß Sterne mit stabilen Planetensystemen – für eine mögliche Entwicklung intelligenten Lebens auf der Erde werden im Rahmen evolutionstheoretischer Hypothesen immerhin 4,5 Milliarden Jahre angesetzt – fast exakt unserer Sonne entsprechen müssen. Ist ein Stern leichter und damit weniger leuchtkräftig, könnte er nur sehr naheliegende Planeten ausreichend mit Wärme bestrahlen. Aber Planeten in engen Umlaufbahnen sind – wie der Planetologe James KASTING von der Universität in Pennsylvania 1997 nachwies – im Schwerfeld des Muttersterns so stark gefangen, daß sie nicht mehr schnell genug rotieren, um eine einigermaßen gleichmäßige Temperatur von weniger als 100 °C erreichen zu können (man vergleiche z. B. Merkur mit einer Tagestemperatur von bis zu 480 °C und einer Nachttemperatur von 180 °C).

Sterne hingegen, die deutlich schwerer als die Sonne sind, verfeuern ihre eigene Masse im inneren Fusionsofen zu schnell und explodieren, bevor sich nach evolutionstheoretischen Vorstellungen Leben in ihrer Nähe bilden kann. Die Masse eines potentiell lebensspendenden Sterns darf daher um nicht mehr als 20% von der Masse unserer Sonne abweichen.

Deshalb fährt LESCH fort: „Vor 4,5 Milliarden Jahren begann mit der Entstehung unseres Sonnensystems ein einzigartiges kosmisches Spektakel. Nur in einem winzigen Augenblick bevor unsere Sonne aus einer zusammensackenden intergalaktischen Staubwolke entstand, explodierte ganz in der Nähe eine Supernova, ein alter Stern, am Ende seines Daseins. Die Explosion schleuderte lebenswichtige schwere Elemente, wie Eisen, Kobalt und Nickel, in unser pränatales Planetensystem, gleich einer kosmischen Befruchtung. Wir Menschen bestehen aus dieser Sicht zu 92% aus Elementen verglühter Sterne. Jedes Atom brannte vermutlich durchschnittlich in vier Sternenerationen. Die für die Biologie notwendigen schweren Elemente konnten nur durch diese Supernova auf die Erde gelangen.“ Zusätzlich wird davon ausgegangen, daß die Gravitationswellen aus der Explosion des Sterns das Triggersignal für den Planetenbildungsprozeß in dem Sinne war, daß sie für Instabilitäten in der intergalaktischen Staubwolke sorgten. Ansonsten wäre stattdessen die Bildung einer Nebensonne – also eines Doppelsternsystems – weitaus wahrscheinlicher gewesen.

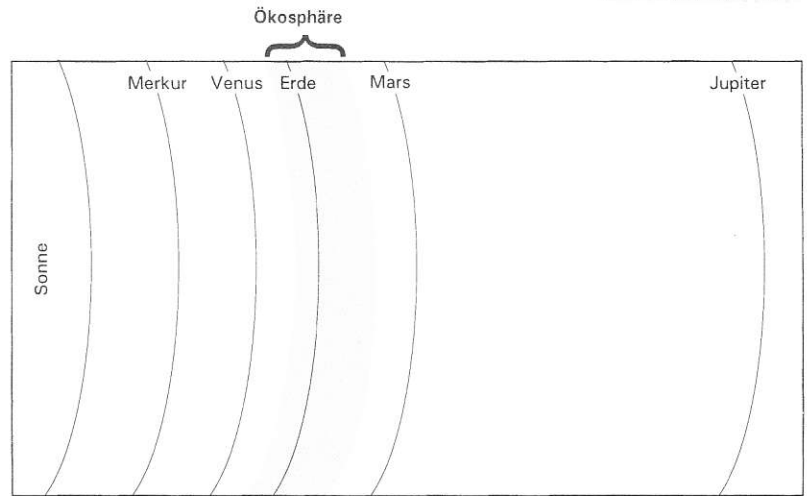
In den darauffolgenden 4,5 Milliarden Jahren seit der Entstehung des Sonnensystems gab es in der direkten Umgebung glücklicherweise keine einzige Supernova mehr. Ihre Röntgenstrahlen hätten unsere Vorfahren, ob Einzeller oder Dinosaurier, in atomare Einzelteile zerlegt.

Während der Entstehung der Erde kam es zu weiteren äußerst erstaunlichen Ereignisketten. In der jungen Lufthülle soll vor vier Milliarden Jahren heftiger Regen eingesetzt haben, der die bis dahin reichlich vorhandenen Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Ammoniak auswusch. Die Atmosphäre drohte auf minus 40 °C abzukühlen, als plötzlich die Sonne ihre Leuchtkraft um 30% steigerte. Das genügte als Ersatz für die fehlenden Treibhausgase.

Dem regenfreien Nachbarplaneten Venus bescherte das gleichzeitig den Hitzetod: Die dort verbliebenen Treibhausgase erwärmten die Atmosphäre auf lebensfeindliche knapp 500 °C. Theoretische Modelle sagen aus, daß dann, wenn die Umlaufbahn der Erde nur 1,5% näher an der Sonne verlief, sie ein ähnliches Schicksal ereilt hätte (LESCH 1998).

Doch der wohl bemerkenswerteste Umstand in der Geschichte unseres Planeten ist die Entstehung des Mondes. Und es stellt sich die Frage, wie ein Zwerg wie die Erde zu so einem ungewöhnlich großen Mond kommt (PAILER 1998b).

Es ist der außergewöhnlich große Mond, der für die Stabilität der Drehachse der Erde mit ihrem Neigungswinkel von 23 Grad verantwortlich gemacht wird. Ohne ihn würde die Erdrotationsachse nach den Gesetzmäßigkeiten der Chaostheorie im Raum taumeln und sich dabei auch der Sonne zuwenden. Das wäre letztlich der Tod allen Lebens, denn die



in der Weltraumkälte rotierende Erdhalbkugel würde binnen Tagen vereisen, groteske Winde würden an der Tag-Nacht-Grenze toben und von der Sonnenseite aus würde möglicherweise die Atmosphäre verdampfen. Mars, so wird angenommen, hat auf diese Weise seine frühere Atmosphäre verloren. Aber die Gravitationskraft des Mondes setzt am Äquatorwulst der Erde an und stabilisiert sie.

Deshalb schließt Harald LESCH, daß in unserem Sonnensystem das Erde-Mond-Paar eine absolute Einzigartigkeit darstellt. Die verschwindend geringe Wahrscheinlichkeit, daß ein kleiner Sterntrabant wie die Erde einen derart großen Begleiter bekommt, gilt heute unter Astrophysikern als zentrale Einschränkung für das Entstehen eines bewohnbaren Planeten (zu den diskutierten Mondentstehungstheorien vgl. PAILER 1998b).

Die Liste der unwahrscheinlichen Ereignisse, die letztlich zu uns Menschen führten, läßt sich fast endlos fortsetzen. Jupiter beispielsweise, 300 mal schwerer als die Erde, fungiert als Kometenfalle, indem sein Schwerefeld die gefährlichen Eisbrocken, die von außen ins Planetensystem eindringen, abfängt, wie etwa 1994 den Kometen Shoemaker-Levi (PAILER 1995).

Abb. 2: Die Umlaufbahn der Erde liegt inmitten der Ökosphäre unseres Planetensystems.

Notwendige Bedingungen für Leben

- Umlauf des Planeten in der Ökosphäre (Verhältnisse im Bahnbereich zwischen Venus und Mars; s. Abb. 2)
- Beständige Planetenbahn auf Einzelsternsysteme beschränkt
- Geeignete Atmosphäre (kein extremer Treibhauseffekt)
- Gravitation des Planeten muß Atmosphäre dauerhaft halten können
- Existenz ausreichender Wassermengen
- Der von Planeten umkreiste Stern muß langlebig (massearm) sein; Masse darf nicht mehr als 20% von der Sonnenmasse abweichen
- Stärke und Häufigkeit von Naturkatastrophen, z. B. Meteoriteneinschläge, globale Klimaänderungen etc., dürfen nicht zu hoch sein.
- Anwesenheit eines großen Mondes wegen der Stabilisierung der Planetenachse und Gezeiten (Küstenregionen gelten als besonders günstig für Lebensentstehung)

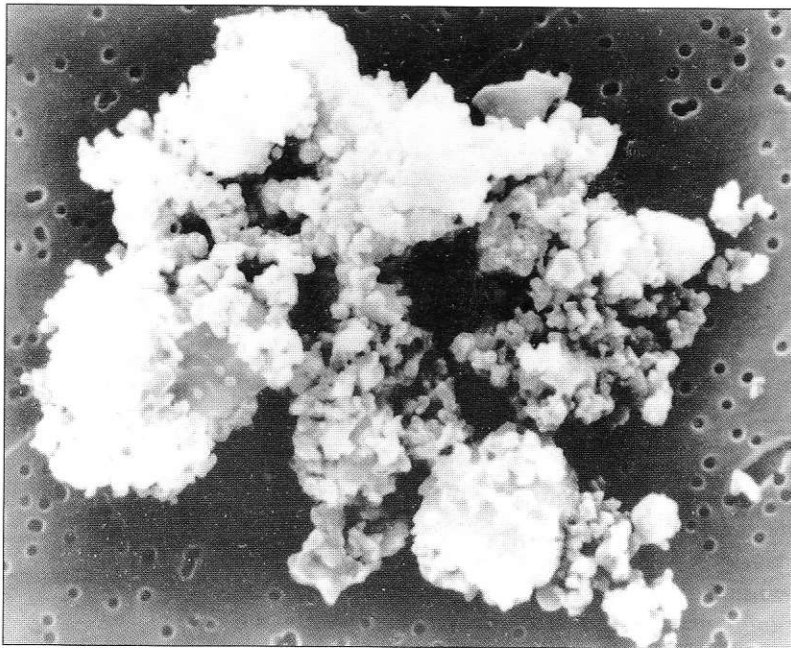


Abb. 3: In der Hochatmosphäre der Erde aufgesammeltes Staubeilchen (typische Größe: ca. 50 μm), das man wegen seiner Struktur und seiner chemischen Bestandteile für ein Kometenteilchen hält. An solchen Teilchen gelang durch in-situ-Messungen der Nachweis organischer Bestandteile.

Doch nichts kann die wissenschaftliche Neugier bremsen. Die Erforschung extrasolarer Planeten hat bei der US-Raumfahrtbehörde NASA höchste Priorität. Und auch die europäische Raumfahrtbehörde ESA plant ein Jahrhundertexperiment: Unter dem Projektnamen DARWIN will sie ein dreibis fünfarmiges schwebendes Riesenteleskop ins All schießen. Groß wie ein Fußballplatz soll das Weltraumauge in wenigen Jahren erdähnliche Planeten an ihren atmosphärischen Gasspuren, beispielsweise dem Ozon, aufspüren.

Bei aller Unwahrscheinlichkeit kann die Möglichkeit weiterer erdähnlicher Planeten und anderer Lebewesen im All nicht grundsätzlich mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden. Wir mögen deshalb vielleicht nicht allein sein, aber jedenfalls ziemlich einmalig.

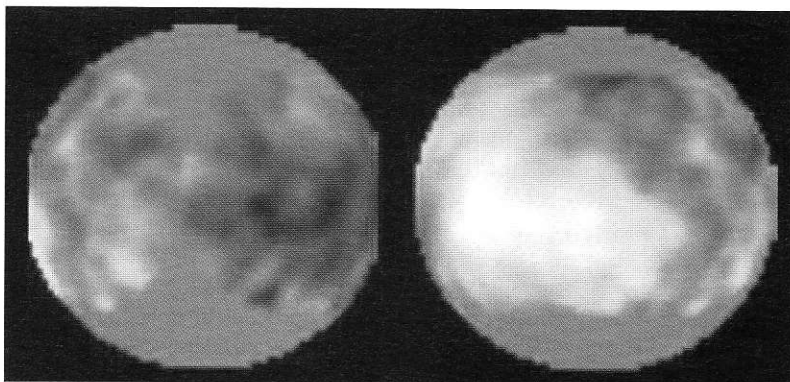


Abb. 4: Erste Hinweise auf Strukturen der Titanoberfläche, aufgenommen vom Hubble-Weltraumteleskop. (Space Telescope Science Institute)

Die Suche nach Leben in unserer kosmischen Heimat

Um nun also mit unserer Suche nach möglichen Quellen extraterrestrischem Lebens von den Weiten des Alls in die nähere Umgebung unseres Planetenraums zu kommen, sind in Reihe der

- der interplanetare Staub,
- Saturnmond Titan,
- Jupitermond Europa und
- Mars

zu diskutieren, wobei der Schwerpunkt auf der Auseinandersetzung über Leben auf Mars liegt.

Interplanetarer Staub. Bei der Entstehung des Lebens sollen Mikrometeorite nach manchen Szenarien eine wichtige Rolle gespielt haben. Dabei handelt es sich um Staubkörner im Tausendstel-Millimeter-Bereich. Sie stammen größtenteils aus Hinterlassenschaften von Kometen bei deren Flug um die Sonne. Aus dieser interplanetaren Staubwolke sedimentieren pro Tag 50 bis 100 Tonnen außerirdischer Staubkörner auf die Erde (LOVE 1992). Sie wurden teilweise von hochfliegenden Flugzeugen aufgesammelt. Beispielfhaft wird ein solches Agglomerat in Abb. 3 gezeigt. In der Frühzeit der Erdgeschichte soll dieser außerirdische Regen tausendmal so groß gewesen sein.

In ihrer Zusammensetzung ähneln die Mikrometeorite kohlenstoffreichen Chondriten. Sie enthalten verschiedene organische Verbindungen, darunter auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sowie Aminosäuren (BRINTON et al. 1997). Sie können ferner auch Tonminerale enthalten, die als Katalysatoren dienen könnten, und teilweise findet man einen Mantel aus Magnetit. Es wird nun spekuliert, daß bei der Landung solcher Mini-Körner irgendwo in Wasser auf der hypothetischen frühen Erde diese zu kleinen Retorten werden konnten, in denen sich wichtige Schritte auf dem Weg der Lebensentstehung ergeben sollten. Allerdings kann man heute quer durch das ganze Planetensystem reisen, ohne auch nur eine Wasserpflanze auf irgendeiner Planeten- oder Mondoberfläche zu finden außer auf unserem Planeten Erde.

Dazu kommt, daß bisherige Vorstellungen über eine abiogenetische Lebensentstehung auf der hypothetischen frühen Erde sich experimentell nicht belegen ließen oder so unkonkret formuliert sind, daß eine Prüfung bislang nicht möglich war (JUNKER & SCHERER 1998, Kap. IV.8). Von einer zwangsläufigen Lebensentstehung unter geeigneten Randbedingungen kann keine Rede sein.

Saturnmond Titan. Titan ist der einzige Mond mit einer dichten Atmosphäre. Sie soll vor allem aus

Stickstoff, Methan und Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen. Es gibt auch Hinweise auf kompliziertere Moleküle. Auf seiner Oberfläche gibt es kein flüssiges Wasser, wahrscheinlicher ist die Existenz von Seen aus Methan und Kohlenwasserstoffen. Darüber befindet sich wohl eine dichte Wolkenschicht, so daß es bislang auf der Titanoberfläche nicht Tag geworden ist. Abb. 4 zeigt erste Hinweise auf Strukturen der Titanoberfläche

Eine Reise zu Titan, wie sie von der Doppelsonde *Cassini/Huygens* angetreten wurde, wird als Weg zurück in die Vergangenheit unserer Erde betrachtet, denn die oben beschriebenen Verhältnisse hält man für eine typische Erd-Uratmosphäre. Einschränkend muß an dieser Stelle gesagt werden, daß die Zusammensetzung der Atmosphäre der hypothetischen frühen Erde keineswegs geklärt ist (vgl. JUNKER & SCHERER 1998, Abschnitt IV.8). Im Jahr 2004 wird die europäische Raumsonde *Huygens* in Titans dichte Atmosphäre abtauchen und damit eine Reihe von Spekulationen durch konkrete Messungen ersetzen. Abb. 5 illustriert das Missionsszenario.

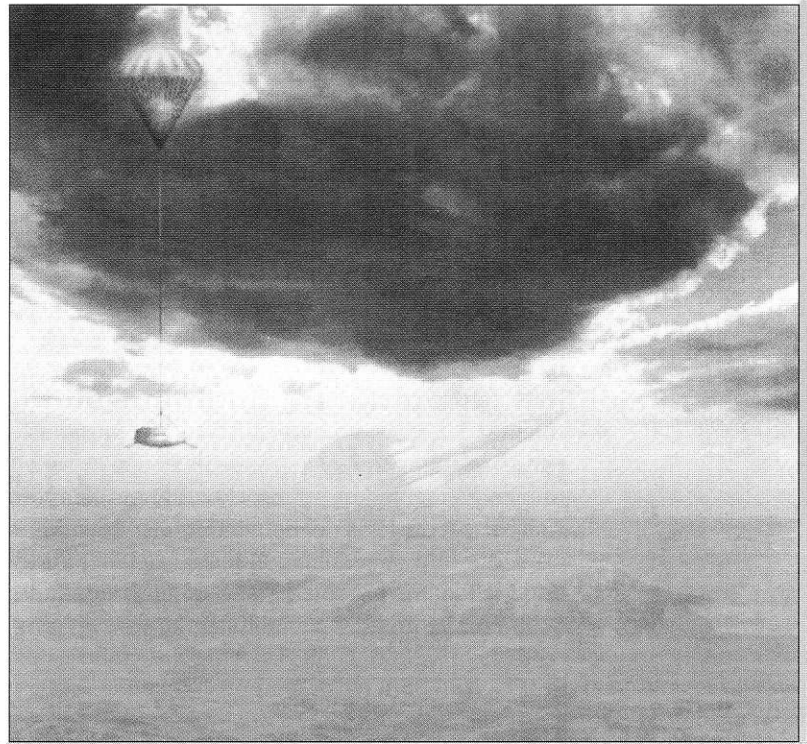


Abb. 5: Missionsszenario für *Cassini/Huygens*: Die europäische Atmosphärensonde wird Richtung Titan abgesetzt, während sich die amerikanische Raumsonde Saturn und seinem Ringsystem widmen soll.

Jupitermond Europa. Der fast erdmondgroße Körper wird vor allem seit den Untersuchungen der Raumsonde *Galileo* als verdächtige Stelle für mögliche Lebensspuren im äußeren Teil des Planetensystems gesehen. (Galileo GALILEI hatte die vier großen Jupitermonde entdeckt, vgl. Abb. 6.) Er soll unter seinem geschlossenen Eispanzer einen riesigen Ozean beherbergen. Zyklische Spannungsriss in der Eisoberfläche deuten darauf hin, daß sowohl Jupiter als auch die zu Europa benachbarten Monde Io und Kallisto für bis zu 30 m hohe „Flutberge“ sorgen, die sich unter der Eisoberfläche aufbauen und die zu den „Bogenrissen“ führen. Dies ist jedenfalls die heute favorisierte Interpretation dieser Oberflächenerscheinung und wird als drängendster Beweis für Wasser auf Europa gehandelt. Auffallend flache Krater werden als Hinweis darauf gewertet, daß der Eispanzer teilweise zer schlagen und die Kraterböden mit Wasser gefüllt wurden. Daneben gibt es Bilder der Oberfläche, die verblüffende Ähnlichkeit zu der unseres Eismeeress haben (Abb. 7). Die Strukturen können so verstanden werden, als wären über einer Wasseroberfläche Eisschollen zusammengeschoben worden.

Aufschlagende Meteoriten können in der Vergangenheit die dicke Eisoberfläche durchschlagen haben. Dadurch könnte kosmischer Staub mit seinen Kohlenstoffverbindungen mit Wasser zusammengekommen sein. Die im Innern aus „Gezeitenreibung“ entstandene Wärme auf Europa könnte zu heißen, unter dem Ozean liegenden hydrothermalen Quellen führen, die man aus irdischen Erfahrungen für mögliche Brutstätten des Lebens hält (IMAI et al. 1999, KOHARA et al. 1998, MILLER & LAZCANO 1995).

Die Weltraumbehörde NASA sitzt heute mit Ozeanographen an einem Tisch, um Vorbereitungen für eine Europa-Mission zu treffen. Eine Landung ist für das Jahr 2004 geplant.

Mars. Um Leben auf dem Mars wird mindestens schon so lange spekuliert, wie bekannt ist, daß er von allen Planeten unseres Planetensystems die erdähnlichsten Eigenschaften aufweist. Mars hat Polkappen, eine meteorologisch aktive Atmosphäre, eine vergleichbare Rotationszeit, Jahreszeiten, und eine Temperatur, die den Verhältnissen auf der Erde am nächsten kommt.

Schon 1781 fertigte William HERSCHEL erste Karten des Mars an und meinte, „seine Bewohner“ könnten in vielerlei Hinsicht ähnliche Bedingungen wie auf der Erde „genießen“.

1877 beobachtete Giovanni SCHIAPARELLI ein Netz von Linien, das die gesamte Marsoberfläche überzog. Die amerikanische *Mariner*-Mission zeigte, daß diese Linien, die SCHIAPARELLI damals „canali“ nannte, nicht wirklich existieren, sondern vermutlich Strukturen an der Grenze der Wahrnehmbarkeit sind, an der das menschliche Auge gerne Punkte zu Linien verbindet. Während SCHIAPARELLI die „canali“ eher für eine natürliche Erscheinung hielt, waren andere, allen voran der amerikanische Mathematiker Percival LOWELL, der Überzeugung, die Linien stellten ein von intelligenten Wesen angelegtes Wassernetz dar, das die Äquatorregionen des Mars mit Wasser aus den Polarregionen versorgen sollte.

Natürlich gab es auch schon damals kritische Geister unter den Wissenschaftlern wie zum Bei-



Abb. 6: Mit seinem einfachen Fernrohr entdeckte der italienische Astronom Galileo Galilei vier Jupitermonde, die er einem Fürsten der Medici-Familie widmete. Die Abbildung zeigt eine von Galileis Handskizzen zum Lauf der Monde um Jupiter.

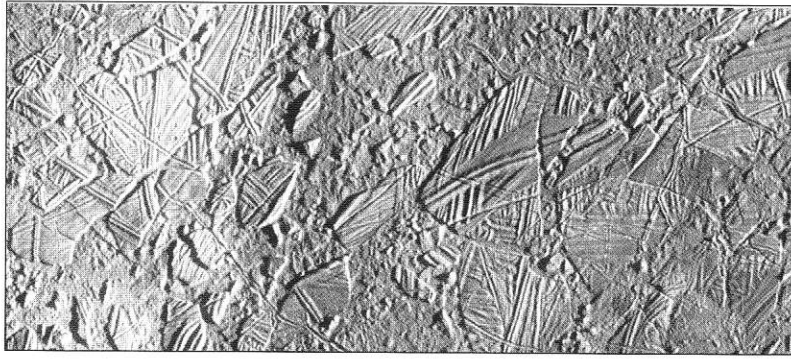
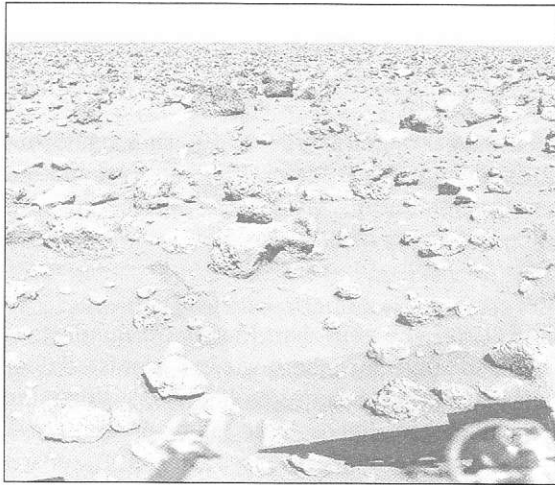


Abb. 7: Faltungen der Eisoberfläche des Jupitermondes Europa. (NASA)

spiel den schwedischen Chemiker ARRHENIUS, der meinte, der Mars sei eine kalte und lebensfeindliche Umgebung.

Die verschiedensten Spekulationen konnten sich halten, bis 1964 der Satellit *Mariner 4* den Mars erreichte und die ersten „unbestechlichen“ Bilder und Meßdaten vom roten Planeten zur Erde sandte (Abb. 8). Die mondähnliche Kraterlandschaft ohne

Abb. 8: Die Oberfläche des Mars, aufgenommen von der Viking-Sonde. Diese Bilder zerstörten zunächst die Hoffnung auf Leben auf dem Mars. (NASA)



irgendeine erkennbare Vegetation, die gemessenen Temperaturen und andere Atmosphäreneigenschaften zerstörten jedoch alle Hoffnungen, auf diesem Planeten je mehr oder weniger intelligentes Leben zu finden. Auch die weiteren *Mariner*-Missionen konnten diese Hoffnung nicht wiederbeleben.

Der Meteorit ALH 84001. Eine neue Euphoriewelle rollte durch die Medien, als im Sommer 1996 amerikanische Wissenschaftler der NASA und der Stanford University, unter der Leitung von Dr. David MCKAY behaupteten, Spuren ehemaligen Lebens in einem faustgroßen Meteoriten gefunden zu haben (Abb. 9). Es handelte sich um den Marsmeteoriten ALH 84001, der 1986 im antarktischen Eis gefunden wurde (PAILER 1997; Abb. 10).

Obwohl in MCKAYS Team nach Meinung der meisten Wissenschaftler keine billige Wissenschaft betrieben wurde, stellte sich doch auch hier bald heraus, daß die Ergebnisse lediglich Anlaß zu vorschnellem Jubelgeschrei gegeben haben. Nach immerhin drei Jahren kontroverser Diskussion und

intensiver Forschung ist man inzwischen soweit, die Plausibilität der Indizien auch wissenschaftlich fundiert anzweifeln zu können.

Nach den ersten großen Wellen der Aufregung ist es in der Öffentlichkeit recht schnell still um den kartoffelgroßen Meteoriten vom Mars geworden, und die bedeutenden Gegenargumente sind in den Medien leider unter den Tisch gefallen. Deshalb sollen diese hier noch einmal kurz angeführt und durch neuere Befunde ergänzt werden (vgl. auch PAILER 1997, LINDEMANN 1999).

a) Die als mögliche Spuren von Bakterien gedeuteten Magnetite unterscheiden sich sehr deutlich von denen der bisher bekannten Bakterien.

Magnetitkristalle irdischer Bakterien sind alle in eine Richtung polarisiert. Die Abmessungen sind gerade so, daß die Körner die optimale Intensität bei kleinsten Abmessungen haben. Diese Magnetite sind ideal für Bakterien, die auf die Messung des Erdmagnetfelds angewiesen sind. Da Mars kein nennenswertes Magnetfeld hat, stellt sich natürlich die Frage, warum Bakterien auf dem Mars Magnetite produzieren sollten. Außerdem sind die in ALH 84001 gefundenen Magnetite zu klein, um eine Struktur zu bilden, die in eine Richtung polarisiert, und damit stark magnetisch ist (SCOTT 1999).

Einige in ALH 84001 gefundene Magnetite sind etwa 5 mal so lang wie breit (15 x 75 nm). Zum Teil weisen sie Fehler in der Struktur auf, sog. „screw dislocations“. Diese Fehler kennt man zwar bei der Entstehung durch heiße Dämpfe, wurden bei der Entstehung durch Bakterien aber noch nie beobachtet.

Am wichtigsten aber ist, daß die Autoren zeigen konnten, daß manche Magnetitkristalle in der Ausrichtung gewachsen sind, in der auch die beherbergenden Karbonatkristalle gewachsen sind. Es erscheint unwahrscheinlich, daß durch Bakterien entstandene Magnetite sich nachträglich an den beherbergenden Karbonatkügelchen ausgerichtet haben sollen (BRADLEY et al. 1998).

Im Gegensatz zu Behauptungen von MCKAY und anderen unterscheiden sich die Magnetite in ALH 84001 also deutlich von denen der bisher bekannten Bakterien.

Ed SCOTT von der University of Hawaii geht wie viele andere davon aus, daß die Karbonatknöllchen, die die Magnetite enthalten, bei hohen Temperaturen während eines Einschlags durch verdampfte Minerale entstanden sind (SCOTT 1999).

b) Die Größe der als fossile Bakterien gedeuteten Strukturen ist viel geringer als die aller bisher bekannten Bakterienformen. Die gefundenen Strukturen lassen sich auch ohne Bakterien herstellen.

Die in ALH 84001 gefundenen Strukturen sind irdischen Mikroorganismen nur in der Form, nicht aber in der Größe ähnlich. Sie sind lediglich 30 x 130 nm groß, was etwa 1/200 der Größe der kleinsten bekannten Organismen ist. Diese kleinsten bekannten Organismen sind aber auch nur Parasiten.

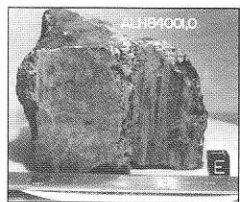


Abb. 9: Der aufsehen-erregende Meteorit ALH 84001. (NASA, Johnson Space Center, JSC).

ten, zu klein um all das mit sich zu tragen was zum eigenständigen Leben notwendig ist (SCHOPF 1999).

Nach dem Motto „nicht alles was glänzt, ist Gold“ zeigten KIRKLAND et al. (1999), daß die in ALH 84001 gefundenen bakterienähnlichen Strukturen auch ohne Hilfe von „Leben“ unter Laborbedingungen hergestellt werden können. Die Autoren lösten Calciumoxid (CaO) in Wasser, das frei von organischen Stoffen war, und ließen diese Lösung mit Kohlendioxid (CO_2) reagieren. Nach einem Tag entstanden unter anderem Kalkspatkügelchen mit 20-50 nm Durchmesser, die wie Nanobakterien aussahen.

Die Autoren nahmen dann die größten Kalkspatkügelchen heraus und ätzten sie in verdünnter Salzsäure. Die geätzten Oberflächen zeigten wiederum ovale, kugelförmige und segmentierte Objekte, die ebenfalls an Nanobakterien erinnerten (KIRKLAND et al. 1999).

Bei einem anderen Versuch züchtete ein Team um McKAY Bakterien in Basaltsteinen, um herauszufinden, ob die Entwicklung von Leben in Basaltsteinen prinzipiell möglich sein könnte. Bereits nach 8 Wochen zeigte der mit Bakterien versetzte Stein reichlich Merkmale von Bakterienkulturen. 12% dieser Bakterien wurden bereits während des Versuchs mineralisiert, und ähnelten in Form und Struktur den in ALH 84001 gefundenen Merkmalen (THOMAS-KEPRTA et al. 1998).

Die letzten beiden Versuche zeigen, daß die Strukturen in ALH 84001 – abgesehen von Kritik bezüglich der Größe – sowohl durch Bakterien als auch durch einfache chemische Reaktionen, wie Fällung und Ätzen, entstehen können. Der zuletzt geschilderte Versuch wirft die Frage auf, ob die in ALH 84001 gefundenen Formen nicht doch durch irdische Kontamination entstanden sein könnten. Zwar wurde der geschilderte Laborversuch bei etwa 30 °C durchgeführt, und bei den Temperaturen, die in der Antarktis herrschen, ginge das Wachstum deutlich langsamer voran, aber 15.000 Jahre mutmaßliche Zeit auf der Erde für ALH 84001 wären vermutlich ausreichend (TREIMAN 1999).

c) Die Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts in Ägypten und Indien geborgenen jüngeren Meteoriten Nakhla und Shergotty weisen ähnliche Strukturen wie ALH 84001 auf, die zunächst als Stütze für McKays Theorie gedeutet wurden. Doch zumindest Nakhla zeigt deutliche Spuren von irdischer Kontamination.

Wiederum ein Team um McKAY fand in den zwei jüngeren Marsmeteoriten Nakhla (1911 in Ägypten) und Shergotty (1865 in Indien) Strukturen, die denen in ALH 84001 erstaunlich ähneln. Beide Meteoriten wurden kurz nach dem Einschlag in Labors gebracht, und waren auf diese Weise, wie man dachte, vor irdischer Kontamination geschützt.

Beide Meteoriten sind deutlich jünger als ALH 84001, Nakhla (Abb. 11) wird auf 1,3 Milliar-



Abb. 10: Die amerikanische „National Science Foundation“ (NSF) unterstützt fast jedes Jahr Meteoritenexpeditionen in die Antarktis. (NASA, JSC)

den Jahre geschätzt, Shergotty auf 200 Millionen Jahre. Wenn es sich bei den gefundenen Strukturen wirklich um Spuren von Bakterien handeln sollte, müßte es, entgegen den bisherigen Annahmen, noch in der jüngeren Geschichte des Mars primitives Leben gegeben haben. Die in den beiden jungen Meteoriten gefundenen Strukturen sind deutlich größer als die in ALH 84001. McKAY nutzt diese Eigenschaft als Argument gegen die früheren Vorwürfe, die Strukturen in ALH 84001 seien zu klein, um von lebenden Organismen zu stammen (SpaceViews 19. 3. 99).

Wissenschaftler der Scripps Institution of Oceanography (SIO) und des Jet Propulsion Laboratory (JPL) haben Nakhla darauf nochmals auf die von McKAY gefundenen Strukturen hin untersucht, und fanden neben diesen Strukturen auch Aminosäuren. Das Verhältnis der in Nakhla gefundenen links- und rechtshändigen Aminosäuren ist ähnlich dem von Bakterien abgebauten organischen Material, und ähnelt sehr dem, das die Wissenschaftler in Bodenproben des umgebenden Nildeltas gefunden haben. Diese Tatsache kann als Beweis dafür betrachtet werden, daß zumindest Nakhla nach seiner Landung sehr schnell mit irdischem Leben kontaminiert wurde, und sie macht es denkbar, daß auch die Lebensspuren in ALH 84001 nicht vom Mars stammen. ALH 84001 hat im Gegensatz zu Nakhla nämlich einige tausend Jahre mehr oder weniger ungeschützt im antarktischen Eis gelegen (GLAVIN et al. 1999).

Die Zukunft der Forschung um Leben auf dem Mars. Sicherlich wird die Mars-Meteoritenforschung weitergeführt werden, schon allein aus dem Grund, weil bisher außer in Form von Meteoriten keine Proben vom Mars vorhanden sind. Die Frage, ob es früher primitive Formen von Leben auf dem Mars gegeben hat, wird sich auf diese Weise aber wohl nicht schlüssig klären lassen.

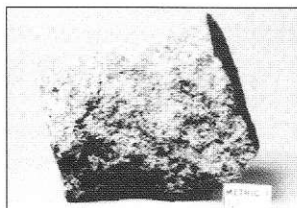


Abb. 11: Der Meteorit Nakhla wurde 1911 in Ägypten gefunden. (NASA, Jet Propulsion Laboratory)