

- Society of Edinburgh, upon the seventh of march, and fourth of april, 1785, concerning the system of the earth, its duration, and stability. Facsimile-Ausgabe.
- LYELL C (1830) Principles of geology. Band 1. Facsimile-Ausgabe mit einem Vorwort von MJS Rudwick. University of Chicago, 1990.
- MCINTYRE DB (1963) James Hutton and the philosophy of geology. In: ALBRITTON CC (ed) The fabric of geology. Freeman, Cooper & Company, Stanford, S. 1-11.
- OLDROYD DR (1971) The vulcanist-neptunist dispute recon-

- sidered. J. Geol. Education 19, 124-129.
- O'ROURKE JE (1978) A comparison of James Hutton's Principles of Knowledge and Theory of the Earth. Isis 69, 5-20.
- PLAYFAIR J (1802) Illustrations of the Huttonian Theory of the earth. Facsimile-Ausgabe mit einer Einführung von GW White, University of Illinois Press, Urbana, 1956.
- TOMKEIEFF SI (1948) James Hutton and the philosophy of geology. Trans. Edin. Geol. Soc. II, 14, 253-276.
- WEGMANN E (1958) Das Erbe Werners und Huttons. Geologie 7, 531-559.

K U R Z B E I T R Ä G E

Vorläufige Bewertung der Diskussion über mögliche Lebensformen auf dem Mars

Am 6. August 1996 gab die NASA bekannt, daß ein Wissenschaftler-Team starke Hinweise auf mögliche primitive Lebensformen gefunden habe, die vor rund 4 Milliarden Jahren auf Mars existiert haben könnten. Die Hinweise stammen von einem Meteoriten, der 1984 in der Antarktis gefunden wurde (McKAY et al. 1996).

Der Stein. Obwohl bislang noch keine Proben vom Mars durch Sonden zurückgeführt wurden, besitzen wir möglicherweise Mars-Material in verschiedenen Labors. Die kürzlich publizierten Indizien dafür gehen auf den Meteoriten ALH84001 zurück, der im Allen-Hills-Eisfeld 1984 gefunden wurde (Abb. 1). Seine mögliche Mars-Abstammung blieb bis 1993 unbestimmt. ALH84001 ist einer von 12 Meteoriten, die vermutlich vom Mars stammen. Diese Verbindung wird von Messungen der beiden Viking-Sonden abgeleitet, die 1976 auf dem Mars landeten (s. u.).

ALH84001 wurde von Roberta SCORE zufällig gefunden, als mein früherer Vorgesetzter in den USA,

Prof. Robert WALKER vom Center for Space Sciences der Washington University in St. Louis, mit einem Team von Wissenschaftlern mit dem Snowmobil unterwegs war. Über 10.000 Meteorite sind seit 1969 in dem Gebiet der Antarktis gefunden worden.

Das Alter des Steins wird mit 4,5 Milliarden Jahren und sein mutmaßlich biogenes Innenleben mit 3,6 Milliarden Jahren angegeben. Der Stein soll aus einer Periode auf dem Mars stammen, als dieser wärmer war, eine Atmosphäre besessen haben soll und als auf ihm Wasser floß.

Die Untersuchungen. David McKAY vom Johnson Space Center in Houston bekam 1994 eine Zwei-Gramm-Probe. Über 100 anderen Gruppen lagen ebenfalls Teile des Meteoriten vor. Sechs Monate lang wurde nach möglichen Lebensspuren geforscht und nichts gefunden. Erst die neuere Entdeckung von sog. Nano-Bakterien in grundwasserführenden Schichten in Süditalien veranlaßte die Wissenschaftler um McKAY, nach noch kleineren Strukturen zu suchen. Mit einem Transmissions-Elektronenmikroskop konnten sie Spuren von Karbonatknöllchen, Magnetit und Puritit feststellen. Die Größe und Zusammensetzung der Komponenten sei vergleichbar mit dem, was man auf der Erde von Bakterien kennt. Dem Team standen hochauflösende Elektronenmikroskope zur Verfügung, die gegenüber früheren Geräten eine ca. 5fache Leistungssteigerung boten. Erst eine in den letzten Jahren entwickelte Microscopic Two-Step Laser Microscopy mit einer extrem hohen Sensitivität erlaubte es, kleinste Spuren organischer Stoffe nachzuweisen. Diese Technik eignete sich besonders für den Nachweis polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK), die normalerweise als

Abb. 1: Gesamtansicht des etwa vier Pfund schweren Meteoriten ALH84001, wie er 1984 auf dem Allen-Hill-Eisfeld von Roberta Score gefunden wurde.

Ermittelte Daten:
 • angegebenes Alter der Probe: 3,6 Milliarden Jahre
 • abgeschätztes Datum des Impaktvorgangs auf Mars: vor 16 Millionen Jahren
 • soll vor 12.000 Jahren im Eis der Antarktis angekommen sein



Nebenprodukte organischer Aktivität angesehen werden. Gerade der Nachweis geringster Spuren von Stoffen war entscheidend, ging es doch darum, Strukturen zu untersuchen, die kleiner waren als 500 nm oder etwa 1/500stel der Dicke eines menschlichen Haares.

Als dem Team bewußt wurde, welche möglichen Implikationen ihre Untersuchungen haben könnten, unterbrach es die Kommunikation nach draußen, um erst möglichst viele Evidenzen zu sichern. Als die Arbeit für die Veröffentlichung aufgearbeitet war, verbreitete sich bei der NASA schnell diese überraschende Nachricht, es gab aber auch Skepsis, ob der Artikel das Peer Review überstehen werde und Akzeptanz finden würde, was denn auch erst im zweiten Anlauf gelang.

Die Ergebnisse. Am 7. August 1996 trat der NASA-Chef Daniel GOLDIN vor die Presse. Neben der Tatsache der bislang besten Evidenzen für mögliche außerirdische Lebensspuren, betonte er folgende Aspekte: „The results are not conclusive – there was no scientific consensus on the findings – they were just opening the door on this and it was up to the world scientific community to substantiate or refute the research team's findings.“

David MCKAY erklärte vier unterschiedliche Argumentationslinien und betonte, daß jede in verschiedener Weise interpretierbar sei. Dabei erwähnte er, daß eine naheliegende Interpretation der Hinweis auf biologische Aktivität sei. Hier seine Indizienkette:

- *Der Meteorit kam vom Mars.* Der Fund lag mitten im Eis der Antarktis und muß deshalb zumindest von außen gekommen sein. Merkur liegt tief im Potentialtopf der Sonnenanziehungskraft und Venus hat eine hohe Fluchtgeschwindigkeit und eine dichte Atmosphäre; Mars ist als Herkunftsort nicht unwahrscheinlich und die Chemie der Einschlüsse stimmt mit Viking-Messungen auf dem roten Planeten im wesentlichen überein, so die Argumentation. Es könnte aber auch sein, daß besagte PAKs gar nicht mit dem Meteoriten zur Erde gelangt sind. In Eisproben vom Fundort in der Antarktis wurden dieselben PAKs gefunden, die auch in ALH84001 vorkommen. MCKAY und seine Kollegen betonen zwar, daß sie die Moleküle im Inneren der Karbonatknöllchen gesehen haben und nicht an der Oberfläche. Dem steht aber gegenüber, daß der Meteorit rund 12.000 Jahre im Eis gelegen haben soll – eine Zeitspanne also, die für ein Eindringen ausgereicht haben soll.

- *Der Brocken enthält organisches Material.* In einem Aufsatz wird betont, daß trotz einer entsprechenden Fluchtgeschwindigkeit der Erde die Wahrscheinlichkeit gegeben ist, daß organische Komponenten und möglicherweise Bakterien andere Planetenoberflächen über Impaktvorgänge erreicht haben, wenn sie im Innern eines Steins ein wenig gegenüber der harschen Weltraumumge-



Abb. 2: Der aufsehenerregende Fund von rund 700 nm langen „Würmchen“



Abb. 3: Schlauchähnliche Form mit der Größe von 1/100 des Durchmessers eines menschlichen Haares. Detaillierte Untersuchungen daran stehen noch aus.

bung geschützt waren (GUTIERREZ 1996). Die Überlebensfähigkeit von Bakterien ist – trotz gewisser Unsicherheiten beim Handling im Labor – durch folgendes drastisch illustriert worden: Obwohl biologische Sterilisation von Landfahrzeugen ein absolutes Muß ist, werden bei der von Apollo 12 rückgeführten Kamera von Surveyor 3 nach drei Jahren des Verbleibs auf dem Mond lebende Mikroorganismen festgestellt (MELOSH 1994).

- *Die Karbonatknöllchen könnten biologischen Ursprungs sein.* Es wird auch die Möglichkeit eines anorganischen Ursprungs erwähnt, der allerdings gewisse Anforderungen erfüllen muß.

- *Der Brocken enthält mikrofossilartige Strukturen* (Abb. 2 und 3).

Prof. Richard ZARE von der Stanford University stellt die Argumente in eine simple Folge. Er beschreibt seine Situation so, „daß er etwas wackeln sieht wie eine Ente, es quakt wie eine Ente, deshalb wird es auch eine Ente sein ... Auf alle Fälle ist es interessant.“ (Bemerkung vom Internet aus „Clues from the Red Planet, Aug. 7th, 1996; in einem weiteren Statement schließt er nicht aus, daß Lebensspuren von der Erde zum Mars kamen und in Form dieses Steines möglicherweise den Weg wieder zurückgefunden haben.)

Die Kritik. William SCHOPF von der University of California in Los Angeles wurde von der NASA als kritisches Nicht-Mitglied bei besagter Pressekonferenz hinzugezogen. Er unterstrich die hohe Qualität der Arbeit und betonte, daß hier keine einfache Wissenschaft betrieben werde. Mit den Worten von Carl SAGAN forderte er:

- außergewöhnliche Behauptungen müssen durch außergewöhnliche Evidenzen belegt werden;

- die Anwesenheit von organischem Material an sich läßt nicht auf einen biogenen Ursprung schließen; PAKs wurden auch in anderen Arten von Meteoriten gefunden;
- das kleinste terrestrische Mikrofossil ist 100 mal größer.

Es tauchte die Frage auf, ob so kleine Gebilde groß genug sind, um alle Erbinformationen unterzubringen und ob sie überhaupt zu einem Stoffwechselprozeß fähig sind.

- Es ist wichtig festzustellen, ob es sich nicht um mineralogische Pseudofossilien handelt, die biologischen gleichen;
- es ist keine Zellwand in der betreffenden Struktur nachgewiesen worden;
- wurden die Karbonatanteile bei niedrigerer oder hoher Temperatur gebildet?

HARVEY & McSWEEN (1996) diskutieren 650 °C; dann müßte besagte Evidenz als Kontamination betrachtet werden.

Weitere Untersuchungen galten der Struktur der Magnetit-Teilchen, die zusammen mit Eisensulfid die Karbonatkügelchen überziehen. Sie entstehen meist anorganisch, werden auf der Erde aber auch von Bakterien ausgeschieden. Allerdings unterscheiden sie sich in der Struktur. Im Meteoriten sind sie wendeltreppenartig geformt. Diese Form ist bei irdischen Magnetiten selten; bei den von Organismen gebildeten Formen kommt sie überhaupt nicht vor.

Das Team von MCKAY reagierte auf diese Kritik mit der Feststellung der Notwendigkeit weiterer Forschungen. An oberster Stelle steht die Suche nach Zellwänden besagter Mikrofossilien. SCHOPF äußerte zusätzlich den Wunsch nach Evidenzen einer Mikro-Organismenpopulation, deren Chemie deutlich unterschiedlich ist zu dem Material, in dem sie eingebettet ist.

Ausblick. Die Ankündigung von möglichem Leben auf dem Mars hat sowohl in weiten Fachkreisen als auch in der Öffentlichkeit für eine gewisse Aufregung gesorgt. Eine Bestätigung dafür, daß Lebensspuren außerhalb der Erde gefunden wurden, könnte langfristig einen größeren Umschwung im Bewußtsein der Menschheit auslösen, als sie Kopernikus mit seiner Erkenntnis verursachte. Auf der anderen Seite könnte ein negativer Ausgang beim Mars ebenfalls erhebliche Auswirkungen haben. Es könnte bedeuten, daß Leben an ganz besondere Konditionen gebunden ist. In diesem Sinne ist F. TIPLER der exponierteste Vertreter, der das Leben auf unseren Planeten beschränkt sieht. Trotz langjähriger Anstrengungen von SETI (Search for Extra-terrestrial Intelligence), ist die Suche nach extra-terrestrischem Leben bis heute erfolglos geblieben. Aber es ist offensichtlich, daß die ersten möglichen Hinweise auf eventuelles Leben auf dem Mars erst der Anfang einer viel größeren Arbeit ist, die noch bevorsteht.

Norbert Pailer

Literatur

- DAY DA (1996) Life on Mars? *Spaceflight 38*, 327-330
- HARVEY RP & McSWEEN HY (1996) A possible high-temperature origin for the carbonates in the martian meteorite ALH84001. *Nature 382*, 49-51.
- MCKAY DS et al. (1996) Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001, *Science 273*, 924.
- GUTIERREZ JL (1996) Exploration and preservation of Mars, *Spaceflight 38*, 331-333.
- MELOSH HJ (1994) *The Planetary Report*, 15, N4, p. 16-19.

Aktuelle Ergebnisse der Erkundung des Jupitersystems

Abb. 1: Erstes Bild des Jupiter-Staubrings durch Voyager: Die Kamera schaut zurück auf Jupiter, dessen Atmosphäre gerade vom Licht der aufgehenden Sonne erreicht wird. Der Blickwinkel erfaßt nur den inneren Teil des Staubrings, der weiter außen eine haarnadelförmige Struktur bildet.

1. Voyager-Nachlese: Staubaufenthaltsdauer im Jupiterring war um Faktor 100 zu hoch geschätzt

Der mächtige Staubring des Saturn ist uns seit seiner Entdeckung durch Chr. HUYGENS im Jahre 1659



bekannt. Die Staubringe anderer Gasriesen unseres Planetensystems konnten erst durch in situ-Messungen der Raumsonden *Voyager 1* und *2* eindeutig bestätigt werden. Während um Saturn Gesteinsbrocken von bis zu 10 Metern ihre Kreise ziehen, sind es bei Jupiter Staubkörnchen von typischerweise 10 Mikrometer Durchmesser.

Der in drei Struktureinheiten gegliederte Jupiter-Staubring mit einem Radius von ca. 120.000 Kilometern, was grob dem 20fachen des Erdradius entspricht, ist ein recht zartes Gebilde. Dies wird auch aus Abb. 1 ersichtlich, die von *Voyager* stammt. Seine ganze Materie zusammengepackt ergäbe einen Würfel von 40 Meter Kantenlänge (KASPER 1996).

Genau diese sehr filigrane Struktur gibt den Astrophysikern Rätsel auf, denn die Bahnen von mikroskopisch kleinen Teilchen lassen sich sehr