

# Die Forschung nach extraterrestrischem Leben

Ein geologischer Fundbericht

■ Von Hans D. Pflug

Die Suche nach extraterrestrischen Lebensspuren hat an unserer Universität eine lange Tradition, geht bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts zurück. Schon Justus von Liebig hat sich damit beschäftigt, besonders aber sein Schüler Carl Vogt, der erste Professor der Zoologie in Gießen und später Professor der Geologie in Genf. Was Vogt um 1880 über Meteoritensteine geschrieben hat, ist bis heute richtungsweisend geblieben.

Der besondere Anlaß waren Meteoritenfunde, „die Verbindungen von Kohle enthalten, wie sie aus der Zersetzung organischer Substanzen hervorgehen“ [1]. Um diese entzündete sich ein heftiger Streit. Einige Forscher glaubten im Gestein fossile Lebensreste zu erkennen, andere widersprachen, darunter auch Carl Vogt: „Es ist nachgewiesen, daß die verschiedenen Formen auf künstliche Weise dargestellt werden können, also durch Vorgänge, welche alles organische Leben ausschließen“. Die Kritik traf indirekt

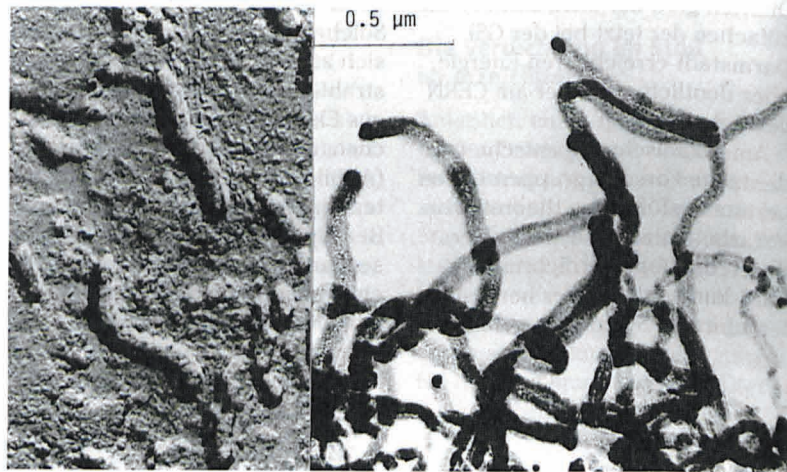


Abbildung 1: Vergleich von extraterrestrischen Mikrostrukturen mit Laborprodukten. Das linke Bild zeigt bakterienartige Strukturen aus dem „Mars-Meteoriten“. Eine einzelne Struktur ist circa 0,9 Mikrometer lang, also etwas kleiner als irdische Bakterien. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der NASA (1996). Das rechte Bild zeigt künstlich im Labor erzeugte Filamente aus Kohlenstoff. Nach Baker & Harris [4].

den berühmten Zeitgenossen Hermann von Helmholtz, Professor für Theoretische Physik in Berlin. Dieser hatte überlegt, ob die Erde ihre ersten Lebenskeime nicht auch aus dem Weltraum empfangen haben könnte. Danach wäre das Leben also ein „pan-spermisches“ Phänomen. Der Gedanke wurde damals schnell populär, ist aber bis heute nicht viel mehr als eine Idee geblieben.

Das Thema gewann in unserer Zeit wieder an Interesse, als man begann, nach Lebensresten in archaischen Gesteinen der Erde zu suchen. Dabei hoffte man, Spuren vom Beginn des Lebens zu finden, Urzellen oder organische Ursubstanzen. Aber was sich fand, war ganz etwas anderes, eine perfekte, fast modern anmutende Mikrowelt. Das Leben mußte also wesentlich älter sein, vielleicht älter als die Erde? Mit dem Befund wurden die Meteoriten wieder interessant, die zu den frühesten

Gesteinen unseres Sonnensystems gehören. Neue Untersuchungen wurden angesetzt, jetzt mit verfeinerten Methoden und modernen Techniken. Was im Ergebnis herauskam, war ziemlich genau das, was man auf der frühen Erde gesucht hatte, eine Art Urschlamm voller organischer Moleküle und organischer Strukturen [2]. Aber eindeutige Lebensspuren fanden sich nicht darunter. Womit Carl Vogt also recht behalten hätte.

## Lebensspuren auf dem Mars?

Nun könnte die kürzliche Meldung von Lebensspuren im Mars-Meteoriten das alles wieder umwerfen [3] (Abbildung 1 links). Doch bleiben erhebliche Zweifel, wie sicher die Marsfunde sind. Fraglich erscheint schon, ob der Stein wirklich vom Mars stammt. Niemand hat bisher ein Stück Mars in der Hand gehabt, und die vorgebrachten Indizien sind eher

vage. Genauso gut könnte der Stein vom Asteroidengürtel stammen, von dem sich wohl die meisten Meteoriten ableiten (Abbildung 2).

Zu bezweifeln sind auch die sogenannten Lebensspuren im Stein, organische Verbindungen und bakterienartige Strukturen. Ähnliche Funde sind von kohligten Meteoriten bekannt und werden dort zumeist als Produkte einer

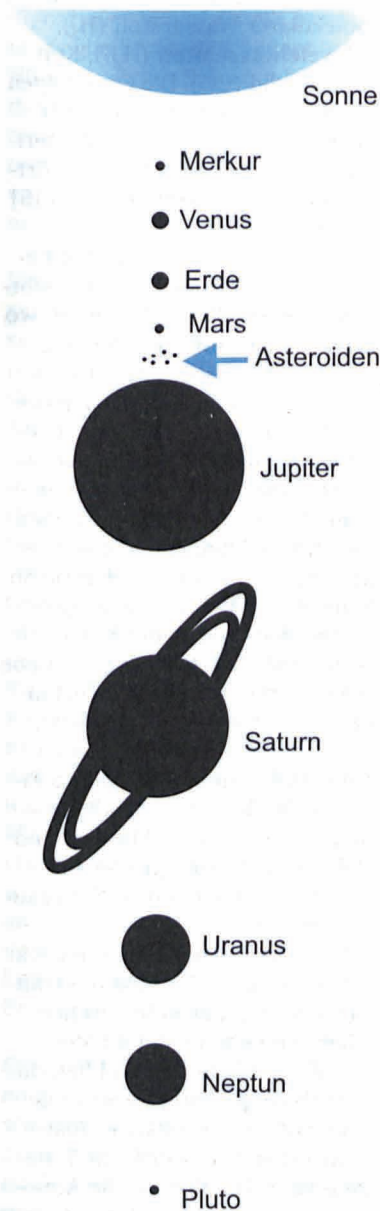


Abbildung 2: Schema des Planetensystems, wobei die Distanzen zwischen den Körpern nicht maßstäblich sind. Der Pfeil weist auf den Asteroidengürtel. Nach Stöffler [7].

kosmischen Synthese-Chemie gedeutet, die mit Leben direkt nichts zu tun hat. Man kann derartige Synthesen im Labor nachvollziehen, kann zum Beispiel organische Verbindungen erzeugen, indem man Kohlenmonoxid und Wasserstoff mit einem katalytisch wirksamen Metall zusammenbringt. Auf ähnliche Weise lassen sich auch bakterienartige Strukturen produzieren, allein durch katalytische Reaktion von Kohlenmonoxid oder Kohlenwasserstoffen an einem Metallkorn (Abbildung 1 rechts). Dabei scheidet sich Kohlenstoff ab und baut unter dem Korn eine Röhre auf. Kommt es zur Überproduktion, schließt sich die Röhre und die Struktur ist fertiggestellt [4]. Durch Abänderung der Versuchsbedingungen lassen sich unterschiedliche Formen darstellen, segmentierte, spiralige oder verzweigte Röhren und manches davon ist mit den Strukturen vergleichbar, die man in Meteoriten findet (Abbildung 3).

Der Vergleich stimmt aber nicht hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, und das ist ein wichtiger Punkt. Während die Laborstrukturen nur aus amorphem Kohlenstoff bestehen, enthalten die Meteoritenstrukturen (Abbildung 4b, 5b) ein komplexes Gemisch organischer Verbindungen die fossiler Biomasse wie Kohle oder Ölschiefer gleichen. Danach könnten die Meteoritenfunde doch Lebensreste sein. Oder aber es handelt sich um „präbiotische“ Zustandsformen, und das ist die zur Zeit wahrscheinlichste Deutung.

### Der Murchison-Meteorit

Hinweise dafür kommen unter anderem vom Murchison-Meteoriten, der 1969 in Australien gefallen ist. Der Stein wurde gleich nach dem Einschlag aufgesammelt und gilt als weitgehend frei von irdischen Verunreinigungen, zumindest in seinem innersten Kernbereich. Proben sind den Labors aller Welt zugegangen und auch nach Gießen gekommen. Wir haben uns vor allem mit den organischen Mikrostrukturen im Ge-

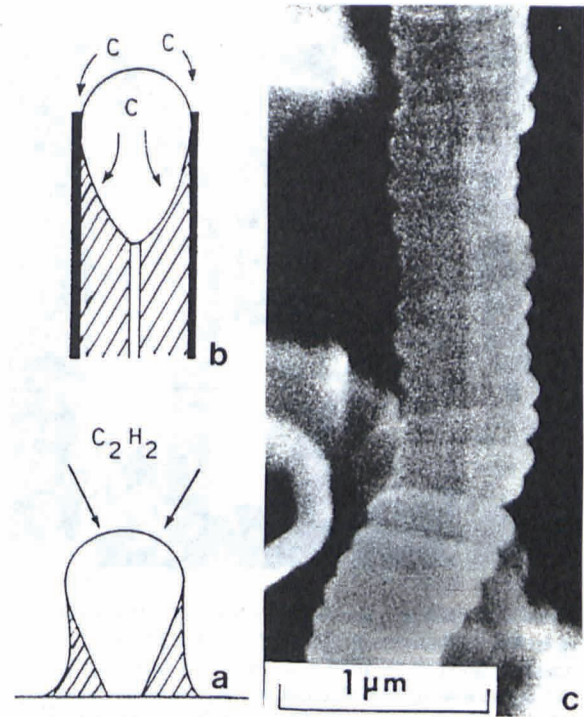


Abbildung 3: Bakterienartige Strukturen lassen sich auch im Labor synthetisieren: Die Röhrenstruktur (c) ist durch Reaktion von Acetylen an einem Metallkatalysator (a, b) entstanden. Nach Baker & Harris [4].

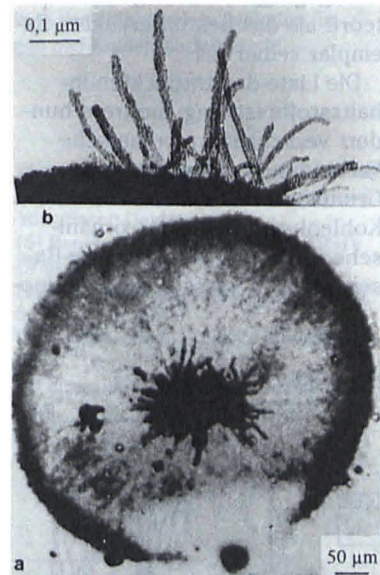


Abbildung 4: Vergleich von terrestrischen und extraterrestrischen Mikrostrukturen. Im zwei Milliarden Jahre alten Gunflint-Bändereisenstein von Nordamerika (a) finden sich sternförmige Kolonien von Filamenten in verkieserter Schleimhülle, die man als fossile Cyanobakterien (Gunflintia) interpretiert. Nach Tyler & Barghoorn [6]. Zum Vergleich darüber Filamentstrukturen aus dem Murchison-Meteoriten (b), die mit dem Transmissionselektronenmikroskop am Strahlencentrum in Gießen aufgenommen sind. Man beachte die unterschiedlichen Größenverhältnisse in a) und b).

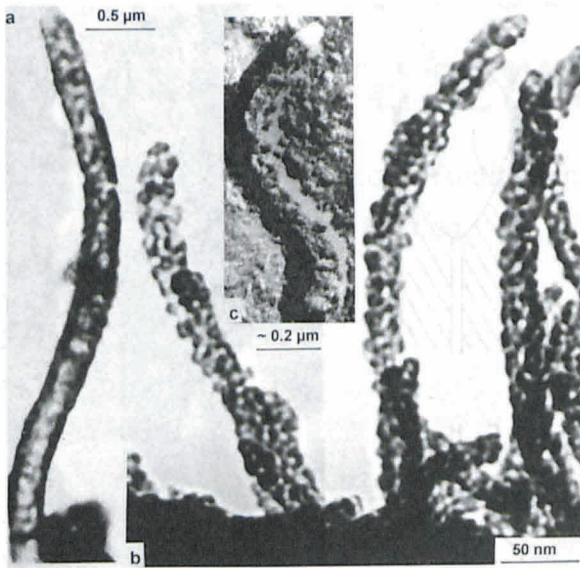


Abbildung 5: Vergleich von terrestrischen und extraterrestrischen Mikrostrukturen. a): Cyanobakterium Gunflintia, Einzelfilament in stärkerer Vergrößerung (vergl. Abbildung 4a). b): Filamente vom Murchison-Meteoriten (Ausschnitt aus Abbildung 4b), c): bakterien-ähnliche Struktur vom „Mars-Meteoriten“ (Ausschnitt aus Abbildung 1a).

stein beschäftigt, andere Labors sind der Chemie des Gesteins nachgegangen. Heute gilt der Meteorit als das bestuntersuchte Exemplar seiner Art.

Die Liste der entdeckten Inhaltsstoffe ist lang: mehrere hundert verschiedene organische Verbindungen, darunter alle Grundstoffe lebender Substanz, Kohlenhydrate, Lipide, organische Pigmente, Nucleinsäure-Basen, etwa 75 verschiedene Amino-

säuren, darunter alle, die in lebenden Systemen vorkommen. Merkwürdigerweise ist die Aminosäure Alanin überwiegend in der linksdrehenden, also der biologischen Form vertreten. Aber die Kohlenstoff-Isotopen des Moleküls tragen eher kosmische Signatur. Zwar können irdische Methanbakterien ähnliche Isotopenspektren produzieren, aber abweichend von diesen ist Meteoriten-Alanin ungewöhnlich reich an Deuterium, was auf die kühlen Synthesebedingungen in interstellaren Staubwolken hindeutet. Auch die Stickstoff-Isotopen im Molekül weisen eher auf einen kosmischen Synthese-Ort hin.

Die Bildung solcher Moleküle im Weltraum erscheint immer und überall da möglich, wo zeitweilig Wärmeenergie verfügbar ist. Schwieriger wird es mit der Weiterentwicklung der Gebilde. Unter den im All gemeinhin herrschenden Bedingungen – extrem tiefe Temperaturen, niedrige Drücke und hohe Strahlenbelastung – erscheinen Fortschritte in Richtung Lebewesen kaum vorstellbar. Also muß dort jede vorbiologische Evolution im Primitivstadium steckenbleiben.

### Wärmequelle Radioaktivität

In der Geschichte der Meteoriten hat es anscheinend wiederholt Zeiten mit erhöhten Temperaturen und tropfbarem Wasser gegeben. Eine frühe Erwärmungsphase geht auf die Zeit vor circa 4.600 Millionen Jahren zurück, als sich die Sonne aus einer Gas- und Staubwolke herausbildete, zusammen mit ihren Planeten und den Meteoriten-Mutterkörpern. Als mögliche Wärmequelle in den jungen Mutterkörpern kommt das radioaktive Aluminium-Isotop  $^{26}\text{Al}$  in Frage. Man schätzt, daß die freigesetzte radioaktive Energie das Meteoriten-Gestein über etwa 100 Millionen Jahre hinweg warmhalten konnte. Das gilt zumindest für die größeren Mutterkörper, deren Kern ausreichend gegen Kälte und Unterdruck im Weltraum isoliert war. In den wassergefüllten Poren und Klüften des Gesteins könnten sich damals organische

Stoffe und Strukturen gebildet haben, auch präbiotische Zustandsformen, das heißt solche, die sich zu lebenden Systemen weiter entwickeln können.

Ähnliche Vorgänge haben anscheinend auf der jungen Erde stattgefunden. Durch Vulkanspalten des Ozeanbodens steigt neben Magma auch viel heißes Wasser auf, das mit gelösten Stoffen angereichert ist, darunter Polyphosphat. Zusammen damit treten energiereiche Gase aus wie molekularer Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ), Schwefelwasserstoff ( $\text{H}_2\text{S}$ ), Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ). Die Gase bilden heute die Energiegrundlage für chemosynthetisch aktive Bakterien, die jeweils am Anfang der örtlichen Nahrungsketten stehen [5] (Abbildung 6).

Vergleichbare Biotope sind bereits aus den ältesten Gesteinsformationen der Erde überliefert, wo sie offenbar große Verbreitung hatten. Urtümliche Organismen haben sich wohl einstmals in dieses Milieu hineinentwickelt, mit hitzeverträglichen, strikt anaeroben Lebensformen und mit verschiedenen chemosynthetischen Techniken. Einige nutzen Wasserstoff als Energiequelle, den sie an Schwefel zu  $\text{H}_2\text{S}$  binden. Andere setzen Wasserstoff mit Kohlendioxid zu Methan ( $\text{CH}_4$ ) um, manche beherrschen auch beide Techniken. Eine dritte Gruppe gewinnt Energie, indem sie Schwefel an Sauerstoff bindet, den sie aus Eisenoxiden bezieht. Den Chemosynthetikern angeschlossen sind Bakterien, die organische Substanz verwerten und zu Essigsäure vergären.

Irdische Lebensentstehung war offenbar an die Produktionskraft untermeerischer vulkanischer Thermen gebunden, und alle nachfolgende Evolution blieb davon abhängig, direkt oder indirekt. Sollten die Vulkane einstmals erlöschen, würde die Erde zum vereisten Körper, die Atmosphäre verschwände bis auf einen dünnen Rest aus Edelgasen, das Leben wäre zu Ende. Der Mars hat keinen Ozean und anscheinend nie einen solchen gehabt. Die hydrothermale Tätigkeit war unbe-

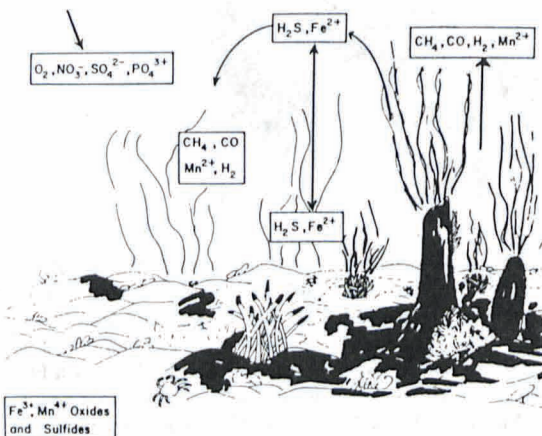


Abbildung 6: Stoffkreisläufe der untermeerischen Thermen. Nach Baross & Hoffman [5].

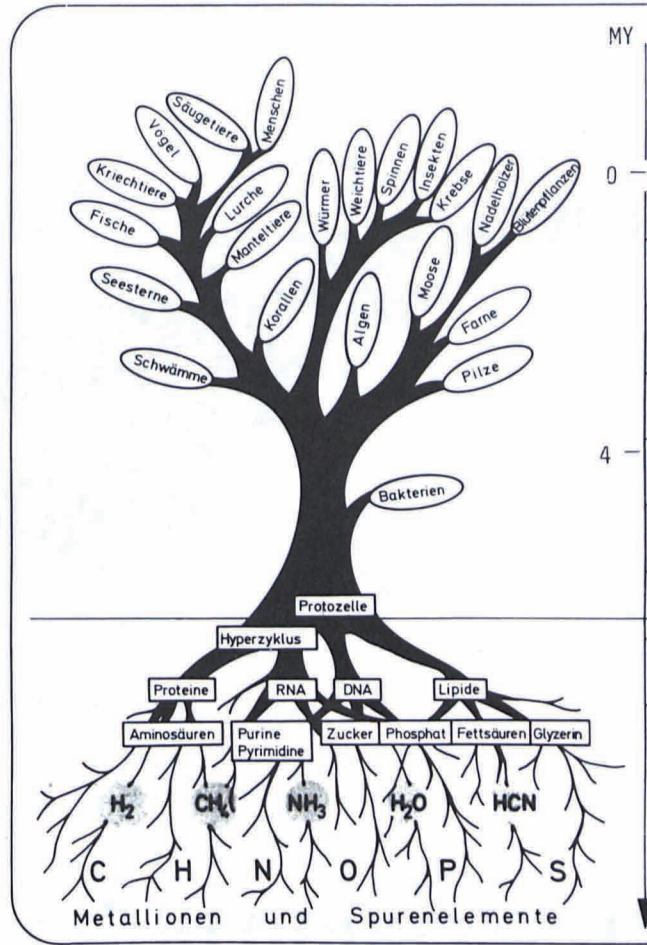
ständig, vielleicht ausreichend für organische Synthesen, aber wohl zu schwach für die Produktion einer Biosphäre.

### Importiertes Leben

Theoretisch bleibt die Möglichkeit, daß es auf dem Mars importiertes Leben gibt. Zum Beispiel könnten irdische Mikroben mit Meteoriten dorthin gekommen sein. Sie könnten sich im Marsboden festgesetzt haben, an Stellen, wo genug kapillares Wasser verfügbar war. Jedenfalls gilt es heute als glaubhaft, daß benachbarte Himmelskörper Stücke miteinander austauschen können, von denen einige sanft landen. Antworten auf diese Fragen erwartet man von der bevorstehenden Marsmission.

Organische Synthesen scheinen heute noch woanders im Sonnensystem stattzufinden, zum Beispiel in den Atmosphären von Jupiter, Saturn, Neptun sowie auf deren Begleitkörpern. Der Planet Jupiter greift seine Satelliten Io, Europa und Ganymed mit enormen Gezeitenkräften an und produziert so in den Monden viel Reibungswärme. Sie hält auf Io einen spektakulären Vulkanismus in Gang und auf Europa möglicherweise einen Wasserkörper flüssig, der unter der mächtigen Eiskruste verborgen sein müßte. Am Gewässerboden könnten Bakterien existieren, vorausgesetzt, es gibt dort geeignete vulkanische Quellen. Aber die derzeitige Galileo-Mission hat bisher kein Anzeichen von Leben gefunden. Nach wie vor ist nur ein Ort bekannt, an dem der Entwicklungsschritt vom präbiotischen Stadium zum Lebewesen gelungen ist: Planet Erde (Abbildung 7).

„Ich wollte Ihnen den Stand der Frage vorlegen, wie sie uns heute entgegentritt: Wir dürfen uns nicht schämen, unsere Unwissenheit eingestehen, denn die Unwissenheit ist die Mutter der Wissenschaft. Wo aber die ersten Grundlagen einer sicheren Beweisführung fehlen, hört auch die Wissenschaft auf“ (aus Carl Vogt: „Über den Ursprung des organischen Lebens“, Leipzig 1881). ■



Hans Dieter Pflug ist Professor für Geologie und Paläontologie an der Universität Gießen. Er hat in Bonn Geologie studiert, wo er 1952 promoviert wurde. Danach absolvierte er an der Technischen Universität Aachen ein Bergbau-Studium, das er auch mit der Promotion abschloß. Nach zweijähriger Assistenzzeit in Köln habilitierte er sich 1958 in Gießen. Anschließend war er über mehrere Jahre als Gastprofessor im Ausland tätig – in den USA, in Südafrika und in der Türkei. Seit 1965 lehrte er an der Universität Gießen Paläontologie und Umweltgeologie. Ende 1990 trat er in den Ruhestand. Seine Forschungsarbeiten betreffen Themen der Kohlengeologie, Fossilchemie und Stratigraphischen Geologie. Besonders interessiert ihn die urzeitliche Lebensgeschichte der Erde.

Abbildung 7: Schematische Stammesentwicklung der präbiotischen Evolution (im Wurzelwerk) und der biotischen Stadien (Stamm und Krone). Nach Frese [8].

### LITERATUR

- [1] Vogt, C. (1882): Die Bildung der Meteoritensteine.- Vom Fels zum Meer 2: 396-410, Berlin (Zitate gekürzt).  
 [2] Pflug, H. D. (1984): Naturwiss. 71: 531-532, sowie Umschau 1/1985: 16-19.  
 Horneck, G. (1995): Planet Space Sci. 43: 189-214.  
 [3] McKay, D. S. et al. (1996): Science 273: 924-930. Siehe auch: VAAS, R. (1996): Naturw. Rdsch. 49: 379-391.  
 [4] Baker, R. T. K., Harris, P. S. (1978) in: Chemistry and Physics of Carbon 14: 83. (P. L. Walker, P. A. Throver eds.), New-York/Basel: Dekker.  
 [5] Baross, J. A., Hoffman, S. E. (1984): Origins of Life 15: 327-345.  
 [6] Tyler, S. & Barghoorn, E. S. (1954): Science 119: 606-608.  
 [7] Stöffler, D. (1987): Nordschwaben 4/1987: 277.  
 [8] Frese, W. (1979) MPG-Spiegel 3/4: 25-30.

JUSTUS-LIEBIG-  
UNIVERSITÄT  
GIESSEN

Prof. Dr. Dr.-Ing. Hans D. Pflug

Institut für Angewandte Geowissenschaften  
Diezstraße 15  
35392 Gießen  
Telefon (0641) 99-36100