

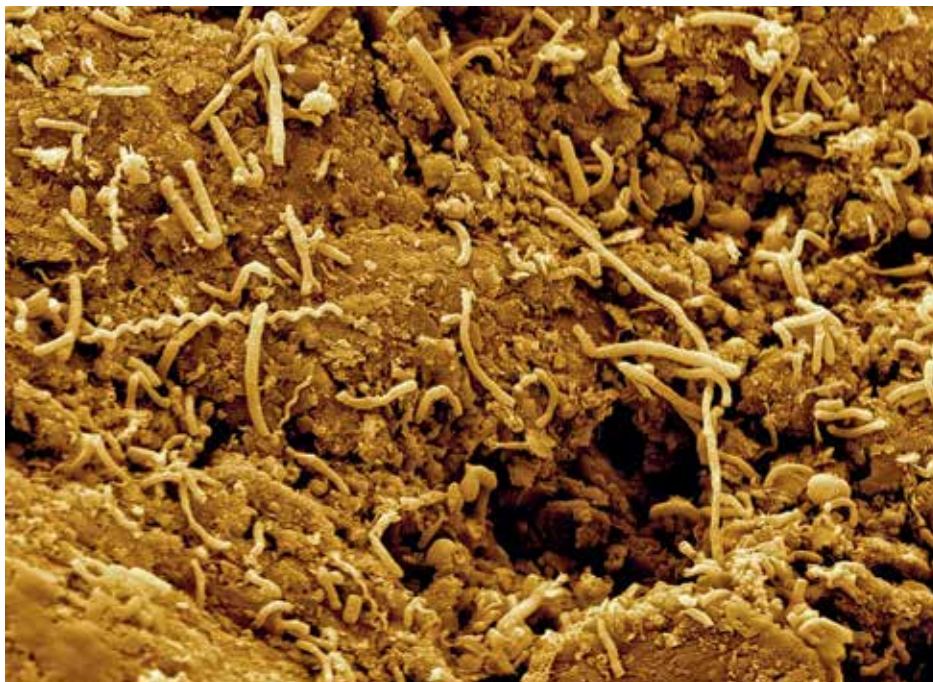


Abb. 2 Kultur mit Mikrobenproben aus kohlehaltigem Sediment, das aus einer Meeresbodentiefe von 2 km stammt (vgl. Abb. 1). Im Bioreaktor wuchsen die Zellen auf dem der Kultur zugeführten Kohlenstaub und produzierten Methan. Elektronenmikroskop-Aufnahme, etwa 5.000-fache Vergrößerung. Bildbreite: ca 25 µm. (© Hiro IMACHI, JAMSTEC)

im gesamten Untergrund bis 2,5 km Tiefe ausgegangen werden. Das zeigten spezifische und kontinuierliche Methananalysen an, die auf eine Methanerzeugung durch Mikroben hinweisen. Die Autoren mutmaßen, dass wahrscheinlich der größte Teil des Methans auf diese Weise entstanden sein könnte. Insbesondere wirke das kohlige Substrat (erhöhte Zellkonzentrationen) stimulierend auf Mikrobewachstum und Methanproduktion. Den indirekten Nachweis lieferte ein Laborexperiment: In einem Bioreaktor waren Proben der methanbildenden Mikroben-Vergesellschaftungen aus den kohleführenden Sedimenten bei 40 °C mit Kohlenstaub, der Hauptenergiequelle, angereichert worden. Die Bakterien wuchsen und produzierten durch Umwandlung von Kohle Methan (Abb. 2). Die in der Kultur gewachsenen Methanogene seien mit *Methanobacterium subterraneum* und *M. formicicum* eng verwandt, Arten, die kürzlich in terrestrischen Kohleschichten entdeckt worden waren.

Gensequentielle Analysen (auf Basis des bakteriellen Gens 16S rRNA) zeigten deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Mikrobengemeinschaften im „flacheren“ und „tieferen“ Meeresbodenuntergrund. So würden die

Gemeinschaften der „Tiefe“ von Bakteriengruppen dominiert, die von terrestrischen Böden bekannt sind; insbesondere würden viele operationale taxonomische Einheiten (OTU) eine hohe Sequenz-Übereinstimmung mit denen von Waldböden aufzeigen.

Dieses Milieu im tiefen Meeresbodenuntergrund scheint, so schließen INAGAKI et al. (2015, 424), „einige der taxonomischen Gruppen, die ursprünglich den flachen Ablagerungsraum besiedelten, erhalten haben und seitdem zum Kohlenstoffkreislauf beigetragen haben“. Die Zeitdauer dieses vermuteten Fortbestandes – rund „20 Millionen Jahre“ (MARUM) – wird allerdings weder diskutiert noch problematisiert.

[Expedition 337 Scientists (2013a) Expedition 337 summary. In: INAGAKI F, HINRICHS K-U, KUBO Y (eds) Proc. IODP 337, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.337.101.2013 • Expedition 337 Scientists (2013b) Site Coo20. In: INAGAKI F, HINRICHS K-U, KUBO Y (eds) Proc. IODP 337, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.337.103.2013 • INAGAKI F, HINRICHS K-U & weitere 44 Autoren (2015) Exploring deep microbial life in coal-bearing sediment down to ~2.5 km below the ocean floor. *Science* 349, 420-424 • MARUM (2015) Auf der Suche nach den Grenzen des Lebens. Pressemitteilung des Zentrums für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen, vom 24. Juli 2015] M. Kotulla

■ Fossile Hinweise auf erste Lebensspuren: echt oder nur scheinbar?

Anfang der 1990er-Jahre hat SCHOPF (1993) mikroskopische Strukturen in Feuersteinen (Apex Chert) aus Australien beschrieben. Diese Gesteine werden zu den ältesten Gesteinen gezählt, die auf der Erde vorkommen. Ihr Alter wird mit 3,46 Milliarden radiometrischen Jahren angegeben. Seit der ersten Beschreibung werden die Interpretationen der Befunde kontrovers diskutiert, d. h. es gibt Autoren, die ausschließlich physikalisch-chemische Ursachen für die Entstehung dieser Strukturen anführen und sie als Pseudofossilien (BRASIER et al. 2002) ansprechen, während andere Wissenschaftler Befunde und Argumente anführen, die für einen biologischen Ursprung dieser Mikrofossilien sprechen.

Jetzt haben BOWER et al. (2016) ursprüngliche Proben, die im Natural History Museum in London archiviert sind, einer umfangreichen Analyse unterzogen. Dabei haben sie neu entwickelte Methoden eingesetzt, in welchen Signale von Raman-Spektren – genauer das Verhältnis aus zwei Signalen – zur Erzeugung von hochaufgelösten Bildern genutzt werden. Diese Darstellungen ermöglichen die Feststellung der Orientierung von Quarzkristallen in den untersuchten Proben.

Diese Methode wurde, nachdem sie vorher an bekannten Proben evaluiert worden war, auf eines der Fossilien angewendet, die SCHOPF als Holotypus für die Art *Eoлектonema apex* beschrieben hatte, also eines, das maßgeblich für die Beschreibung dieser Art ist. Wird nur ein Raman-Signal (461 cm⁻¹) für die bildliche Darstellung der Verteilung von Quarz benutzt, so zeigt sich eine ziemlich gleichförmige Verteilung bis auf die unmittelbare Umgebung der als Mikrofossil beschriebenen Struktur und innerhalb derselben. Die Bilder auf Basis von für Kohlenstoffspezifischen Signalen zeigen, dass dieses Element in und neben der fraglichen Struktur zu finden ist. Die Abbildungen, die mit der von den Autoren entwickelten Methode erstellt wurden, legen nahe, dass

einzelne Quarzkristalle von der als Mikrofossil beschriebenen Struktur durchschnitten wurden.

Die von BOWER et al. vorgelegten Daten werden von den Autoren so interpretiert, dass das von SCHOPF als *E. apex* beschriebene Mikrofossil sehr viel wahrscheinlicher einen Riss darstellt, der entstand, während der Kristall aus einer Lösung gewachsen ist, die reich an Silikat und Kohlenstoff war. Der spektrometrisch nachgewiesene Kohlenstoff entspricht dann einer Rissfüllung.

Über den Ursprung des Kohlenstoffs machen die Autoren keine verbindlichen Aussagen. Dieser könnte in der Tat biologischen Ursprungs, aber auch unter hydrothermalen Bedingungen anorganisch entstanden sein.

BOWNER et al. (2016) plädieren dafür, dass vor einer sorgfältigen und umfassenden Analyse der mikroskopischen Strukturen in Feuerstein diese als Pseudofossilien aufgefasst werden sollten, also als Strukturen, die nur so aussehen, als wären sie Mikrofossilien und damit Hinweise auf Lebewesen. Damit ist an einem Beispiel der von SCHOPF in einer aufsehenerregenden Veröffentlichung beschriebenen Mikrofossilien aus den ältesten verfügbaren Gesteinen gezeigt, dass deren Natur nach wie vor ungeklärt ist. Das bedeutet, dass man bei der Interpretation gerade sehr alter Strukturen sehr vorsichtig vorgehen sollte.

[BOWER DM, STEELE A, FRIES MD, GREEN OR & LINDSAY JF (2016) Raman imaging spectroscopy of a putative microfossil from the ~3,46 Ga Apex chert: insights from quartz grain orientation. *Astrobiol.* 16, 169-180 • BRASIER MD, GREEN OR, JEPHCOAT AP, VAN KRANENDON MJ, LINDSAY JF, STEELE & GRASSI-NEAU NV (2002) Questioning the evidence for the earth's oldest fossils. *Nature* 416, 76-81 • SCHOPF JW (1993) Microfossils of the Early Archean Apex chert: new evidence of the antiquity of life. *Science* 260, 640-646.]
H. Binder

■ Kohlenstoff biologischen Ursprungs in alten Zirkonkristallen?

Hinweise auf Leben kann man in Gesteinen in verschiedener Form weit in die Vergangenheit zurückverfolgen. In Fossilien finden wir

oft deutliche Spuren auf vergangene Organismen; mikroskopische Strukturen in Gesteinen, sogenannte Mikrofossilien, lassen sich noch weiter zurück verfolgen, sind aber auch schwerer zu interpretieren, und die Fachleute diskutieren sie kontrovers. Chemische Besonderheiten, die als Hinweise auf Leben verstanden werden, finden sich in den ältesten Gesteinen, die man bisher auf der Erde findet; aber auch in diesem Fall ist der Interpretationsspielraum sehr groß.

Im Westen Australiens (Jack Hills, Narryer-Gneis Terran) werden sehr alte Gesteinsformationen (Meta-sedimente) beschrieben, in denen Zirkonkristalle eingeschlossen sind, die ursprünglich aus noch älteren Gesteinen stammen (detritisch). Einigen dieser Zirkone wird aufgrund radiometrischer Bestimmungen ein Alter von mehr als 4 Milliarden Jahren zugesprochen. BELL et al. (2015) haben 656 Zirkonkristalle mit einem radiometrischen Alter von mehr als 3,8 Milliarden Jahren auf Kohlenstoff (C)-haltige Einschlüsse untersucht. Dabei fanden sie einen Zirkon, dem sie aufgrund von Uran(U)-Blei(Pb)-Messungen ein U-Pb Alter von $4,10 \pm 0,01$ Milliarden Jahren zuweisen. Dieser Kristall enthält in einem ungestörten Bereich (keine Risse) graphitartige C-Einschlüsse, von welchen der Gehalt an stabilen C-Isotopen C-12 und C-13 bestimmt wurde. Daraus lässt sich ein $\delta^{13}\text{C}$ -Wert bestimmen, der im Vergleich zu einem Standard (Pee Dee Belemniten Standard: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$) die Anreicherung bzw. Verarmung an C-13 angibt. Ein im Vergleich zum Standard deutlich verringerter ^{13}C -Gehalt wird aufgrund bisheriger Erfahrung als Hinweis auf eine biologische Quelle des Kohlenstoffs interpretiert; dabei wird die enzymatische Aktivität in lebenden Zellen für den Effekt verantwortlich gemacht. So wurden Partikel mit Proben aus Grönland mit einem radiometrischen Alter $< 3,7$ Milliarden Jahren aufgrund von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten als frühe Hinweise auf Leben interpretiert (MOJZSIS et al. 1996, ROSING 1999).

BELL et al. (2015) ermittelten einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -24 ± 5 ‰, der damit in einem Bereich liegt,



Abb. 1 Zirkone zählen zu den ältesten Mineralien in der Erdkruste. Sie bestehen hauptsächlich aus Zirkoniumsilikat und können größere Mengen an Verunreinigungen enthalten. Das hier abgebildete Exemplar wurde von Forschern der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung im permischen „Versteinten Wald“ von Chemnitz aus einer Aschelage geborgen und zur radiometrischen Datierung genutzt. (© Senckenberg)

der für eine biologische C-Quelle spricht. Die Autoren diskutieren umfänglich alternative anorganische Erklärungen für die Verarmung an ^{13}C und verteidigen dabei die Plausibilität eines biologischen Ursprungs des Kohlenstoffs in der von ihnen präsentierten Probe.

Angesichts des Interpretationsspielraums der Daten und der Tatsache, dass nur ein einziger Zirkonkristall diese Art des Einschlusses aufweist, ist die Aussagekraft der Arbeit von BELL et al. (2015) begrenzt und bedarf einer Bestätigung durch weitere zukünftige Untersuchungen. Dennoch liefert sie möglicherweise den derzeit ältesten Hinweis auf Leben mit $> 4,1 \cdot 10^9$ radiometrischen Jahren rund $300 \cdot 10^6$ Jahre älter als bisher bekannt. Damit weisen die Autoren wieder einmal darauf hin, dass Leben auf der Erde sehr früh nachweisbar zu sein scheint, was die Erklärung seiner möglichen natürlichen Entstehung auf der Erde vor eine große Herausforderung stellt.

[BELL EA, BOEHNKE P, HARRISON TM & MAO WL (2015) Potentially biogenic carbon preserved in 4.1 billion-year-old zircon. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, 14518–14521 • MOJZSIS SJ, ARRHENIUS G, MCKEEGAN KD, HARRISON TM, NUTMAN AP & FRIEND CRL (1996) Evidence of life on earth by 3800 million years ago. *Nature* 384, 55-59 • ROSING MT (1999) $\delta^{13}\text{C}$ -depleted carbon microparticles in > 3700 -Ma sea floor sedimentary rocks from West greenland. *Science* 283, 674-676] H. Binder