

denn auch sie sind – insbesondere die geologische Aktivität und Intensität betreffend – in ihrer Gesamtheit kein Abbild der Gegenwart.

Dass ihrem Schlusse zufolge die stratigraphische Überlieferung unvollständig ist bzw., mit Verweis auf MIALL (2014), die Gesteinsüberlieferung eine unvollständige Überlieferung der geologischen Geschichte ist, auf diese (Erkenntnis-) Grenzen hat auch der Verfasser (KOTULLA 2014, 2–01) aufmerksam gemacht.

[KOTULLA M (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014, <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html> • MIALL A (2014) The emptiness of the stratigraphic record: A preliminary evaluation of missing time in the Mesaverde Group, Book Cliffs, Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research* 84, 457–469 • NYBERG B & HOWELL JA (2015) Is the present the key to the past? A global characterization of modern sedimentary basins. *Geology* 43, 643–646.] M. Kotulla

■ 2 km unter dem Meeresboden

46 Autoren, allesamt Wissenschaftler der Tiefseebohr-Expedition 337, haben kürzlich gemeinsam in *Science* ihre Ergebnisse über die Erforschung der tiefen Biosphäre in Verbindung mit kohleführenden Sedimenten vorgestellt (INAGAKI et al. 2015): Es existieren lebende Mikroorganismen mindestens bis in Tiefen von 2,5 km unter dem Meeresboden. Und: Taxonomische Gruppen in 2 km tiefen kohleführenden Sedimenten, die ursprünglich einen flachen küstennahen Ablagerungsraum besiedelten, scheinen seit ihrer Einbettung fortzubestehen – über einen Zeitraum von mehreren Zehner Millionen Jahren (Anm.: unter Zugrundelegung der geologischen Zeitskala, die mit radiometrischen Alterswerten geeicht ist).

Die 2012 mit dem derzeit modernsten Forschungsbohrschiff *Chikyu* im Rahmen des internationalen IOD-Programms (Integrated Ocean Drilling) durchgeführte Expedition 337 konnte einen neuen Tiefen-Rekord vermelden. An der Bohrlokalität Site C0020, auf dem westlichen pazifischen Kontinentalrand, 65 km östlich der Shimokita-Halbinsel



Abb.1 Kohlehaltiges Sediment. Bohrkern der IODP-Tiefseebohrung, Expedition 337, vom Kontinentalrand östlich Japan (Site C0020). (©Luc RIOLON, MARUM/IODP)

(Japan), entstand in einer Wassertiefe von 1180 m das bislang tiefste Bohrloch einer wissenschaftlichen Tiefseebohrung – 2466 m (Expedition 337 Scientists 2013a).

Die Bohrcrew reaktivierte ein bereits bestehendes Bohrloch (C9001) und setzte in einer Meeresbodentiefe von 647 m neu an. Wissenschaftlich beprobt wurden die rückgeführte Bohrspüle (Suspension, Bohrklein, Gase etc.) und die ab einer Tiefe von 1256 m punktuell gezogenen Kerne. Darüber hinaus wurden umfangreiche Bohrlochmessungen vorgenommen. Zur Identifizierung der Kontamination und ihrer quantitativen Berücksichtigung wurden spezifische Systeme und Verfahren entwickelt und eingesetzt.

Die durchbohrten Ablagerungen bestehen hauptsächlich aus unterschiedlich verfestigten Sand-, Silt- und Tonsteinen sowie Konglomeraten; sie wurden in vier (lithologische) Einheiten gegliedert. Im tieferen Bereich herrschen Temperaturen von ~ 40 ° bis 60 °C. Der Tiefenabschnitt von 1826–2046 m (Einheit III) zeichnet sich durch Einschaltungen von Kohle- bzw. kohlehaltigen Schichten aus (Abb. 1), darunter zwölf bedeutendere, zehn mit Dicken von 30 bis 140 cm und zwei mit 350 bzw. 730 cm (Expedition 337 Scientists 2013b, Tab. T10). Die biostratigraphische Einordnung mittels Diatomeen (Kalkalgen, nur

am Top) und Palynomorphen (Sporen und Pollen) ist recht grob: Am Top (647 m) oberes Pliozän und an der Basis (2466 m) oberes Oligozän/unteres Miozän; Einheit III oberes Oligozän/unteres bis mittleres Miozän. Der Sedimentationsraum wird in seiner kontinuierlichen Entwicklung als zunächst küstennah und stark wechselnd (terrestrisch, intertidal, flachmarin) gedeutet, sodann als marin und zunehmend küstenfern (heute Kontinentalrand). Demzufolge entstanden die Kohleschichten in 2 km Tiefe, „(...) als große Mengen organischen Materials, das aus Landpflanzen stammt, in Küstennähe abgelagert wurden“ (MARUM) und das Sedimentbecken insgesamt absank. Beckenabsenkung (Subsidenz) und Sediment-Input müssen weitestgehend in Balance gestanden haben (Expedition 337 Scientists 2013a, 13).

Die Forscher entdeckten über die gesamte Tiefe intakte mikrobielle Zellen. Die Zellkonzentration nahm erwartungsgemäß mit der Tiefe ab, im „flacheren“ Meeresbodenuntergrund (bis 365 m) von ~10⁹ zu ~10⁷ Zellen pro cm³. Im „tieferen“ Meeresbodenuntergrund (> 1,5 km) lag sie mit ~ 10² bis 10³ Zellen pro cm³ aber deutlich unter der Erwartung. Auffällig dagegen waren lokal höhere Konzentrationen in den kohleführenden Sedimenten.

Des Weiteren kann sogar von einer mikrobiellen Aktivität

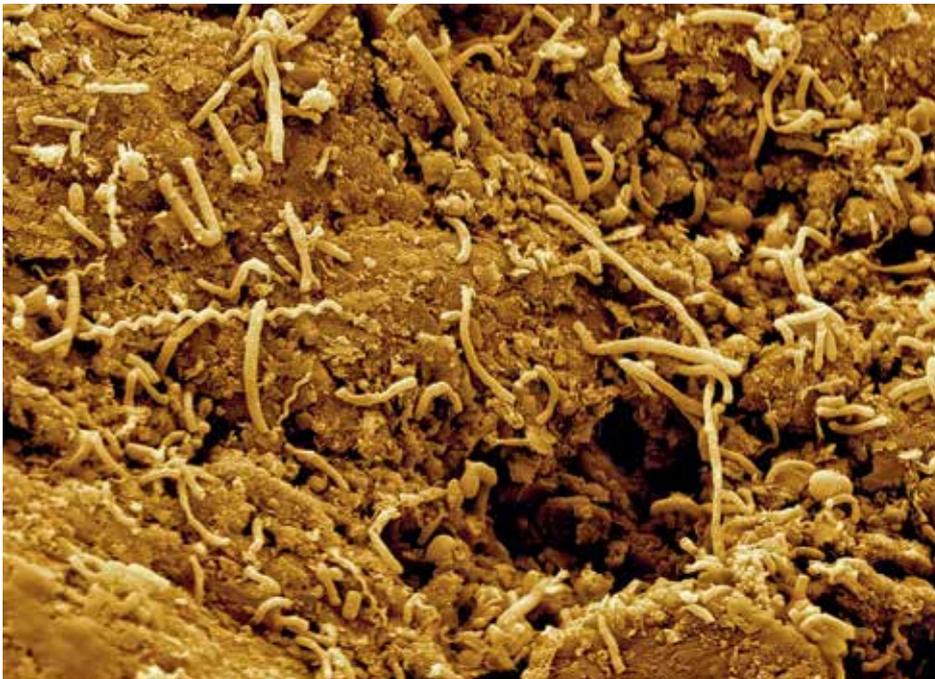


Abb. 2 Kultur mit Mikrobenproben aus kohlehaltigem Sediment, das aus einer Meeresbodentiefe von 2 km stammt (vgl. Abb. 1). Im Bioreaktor wuchsen die Zellen auf dem der Kultur zugeführten Kohlenstaub und produzierten Methan. Elektronenmikroskop-Aufnahme, etwa 5.000-fache Vergrößerung. Bildbreite: ca 25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

im gesamten Untergrund bis 2,5 km Tiefe ausgegangen werden. Das zeigte 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 CO020. 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 Kohlenstoff-spezifischen 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