

MARINE MINERALISCHE ROHSTOFFE AN DER BGR

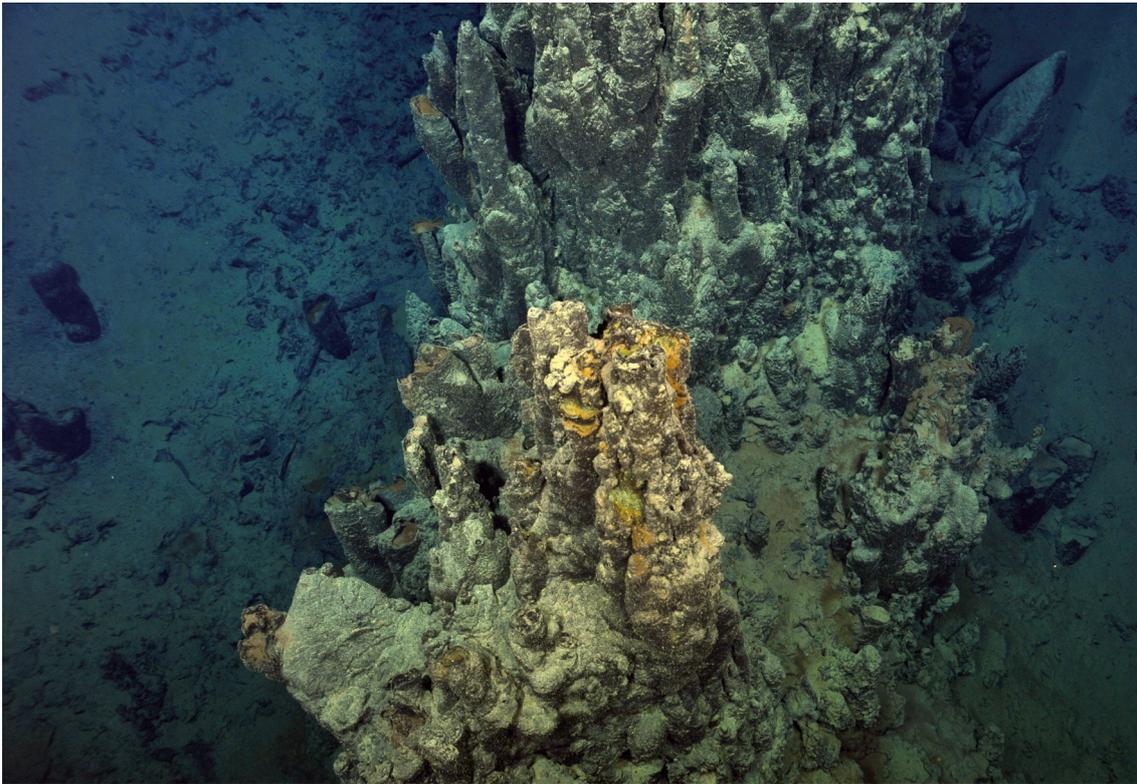


Abb. 1: Feld mit inaktiven „Schornsteinen (Schwarze Raucher)“ im deutschen Lizenzgebiet für Massivsulfide (Indischer Ozean), Quelle: BGR.

EINLEITUNG

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hält im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zwei Lizenzen bei der Internationalen Meeresbodenbehörde (IMB) zur Erkundung von Manganknollen und Massivsulfiden. Die Lizenz zur Exploration auf Manganknollen gilt von 2006 bis 2021 für ein Gebiet von 75.000 km² Größe im östlichen tropischen Pazifik. Die Lizenz zur Exploration auf Massivsulfide im Indischen Ozean läuft von 2015 bis 2030 und sichert Deutschland die exklusiven Explorationsrechte in einem insgesamt 10.000 km² großen Gebiet, aufgeteilt in 100 Blöcke zu jeweils 100 km².

Seit 2016 informiert die BGR in einem jährlichen Newsletter über die aktuellen Ergebnisse dieser Erkundungsarbeiten. Der Schwerpunkt des diesjährigen Newsletters liegt auf den Arbeiten zur Erhebung von Daten und Informationen zur Biodiversität. Die Untersuchungen zu den Umweltbedingungen machen insgesamt ca. 50 % der Erkundungsarbeiten in den Lizenzgebieten aus.

BERLIN-WORKSHOP ZU DEN UMWELTREGULARIEN IM TIEFSEE- BERGBAU

Auf einem von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem Umweltbundesamt (UBA), unterstützt durch das Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), und dem Sekretariat der Internationalen Meeresbodenbehörde (IMB) veranstalteten Workshop in Berlin riefen die drei Institutionen dazu auf, sowohl die Chancen als auch die Risiken eines künftigen marinen Rohstoffabbaus umfassend zu bewerten.

Die Erkundung und Nutzung von Rohstoffen in der Tiefsee wird durch die IMB mit Sitz in Kingston, Jamaika kontrolliert (siehe Infobox auf Seite 6). Das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen erlaubt eine Nutzung der Rohstoffe, die als „gemeinsames Erbe der Menschheit“ gelten, nur, wenn sichergestellt ist, dass die Umwelt effektiv geschützt wird. Die erforderlichen rechtlichen Grundlagen für den Abbau der mineralischen Rohstoffe unter Berücksichtigung wirkungsvoller Umweltschutzmaßnahmen werden zurzeit von den Vertragsstaaten der IMB erarbeitet.

Bei der Veranstaltung in Berlin vom 20. bis 24. März 2017 diskutierten rund 100 internationale Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Industrie, Zivilgesellschaft, Wissenschaft, internationalen Organisationen und IMB-Vertragsstaaten den im Januar 2017 von der IMB vorgelegten Entwurf für Umweltregularien beim Tiefseebergbau¹. Hauptziel war es, den Entwurf kritisch zu diskutieren und Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Daneben sollten Vorschläge für eine langfristige und umfassende Umweltmanagement-Strategie der IMB erarbeitet werden. Dazu gehören:

1. Grundprinzipien der Regulierung eines effektiven Umweltschutzes (z. B. Konkretisierung des Vorsorgeansatzes);
2. Entwicklung von anspruchsvollen, wissenschaftlich begründeten Umweltstandards (z. B. Risikoabschätzung, Definition von Schwellenwerten zur Umsetzung der Anforderung „acceptable levels of harmful effects“, Berichterstattung, Monitoring);
3. Umweltverträglichkeitsprüfungen (Inhalt und Klärung der Zuständigkeiten);
4. Adaptives Management für den Umgang mit Unsicherheiten (nachträgliche Anpassung von Technologien und/oder Umweltschutzmaßnahmen im Genehmigungsverfahren); und
5. Instrumente der räumlichen Planung und des regionalen Managements im Rahmen eines übergeordneten und langfristigen strategischen Umweltplans.

Ein ausführlicher Bericht mit den Hauptergebnissen der Präsentationen und Diskussionen wurde im Juli 2017 als „ISA Technical Study: No. 17“ veröffentlicht und ist über den ISA Homepage frei verfügbar².

Das Sekretariat der IMB hat während der 23. Jahrestagung der Behörde im August 2017 einen neuen Entwurf der Abbauregularien vorgelegt (siehe Seite 6), der erstmalig das Rahmenregelwerk für Abbauvorhaben zusammen mit den Umweltregularien in einem Dokument integriert³. Die Formulierung der Umweltbestimmungen wurde im neuen Entwurf deutlich gestrafft und Umweltstandards, Schwellenwerte oder Umweltqualitätsziele sollen in Anlagen geregelt werden, die aber zurzeit noch nicht vorliegen.

¹ Developing a Regulatory Framework for Mineral Exploitation in the Area. A Discussion Paper on the Development and Drafting of Regulations on Exploitation for Mineral Resources in the Area (Environmental Matters).

² ISA Technical Study No. 17: Towards an ISA Environmental Management Strategy for the Area. Report of an International Workshop convened by the German Environment Agency (UBA), the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) and the Secretariat of the International Seabed Authority (ISA) in Berlin, Germany, 20-24 March, 2017.

³ Draft Regulations on Exploitation of Mineral Resources in the Area.

Der Bericht des Berlin-Workshops ist eine wichtige Informationsquelle für die weitere Diskussion des neuen Entwurfs, erstens für das öffentliche Konsultationsverfahren bis zum 20. Dezember 2017, zweitens innerhalb der Rechts- und Fachkommission der IMB und drittens zwischen den IMB-Vertragsstaaten.



Abb. 2: Teilnehmer des Tiefseebergbau-Workshops im März 2017 in Berlin, Quelle: Kate Houghton (IASS).

BIODIVERSITÄT IN DER CLARION CLIPPERTON FRACTURE ZONE

Biodiversität ist ein Maß für die Vielfaltigkeit einer biologischen Gemeinschaft in einem Lebensraum. Sie umfasst neben der Artenvielfalt auch die Häufigkeit des Vorkommens der unterschiedlichen Arten und wird oft ebenfalls auf die ökologischen Beziehungen zwischen ihnen ausgedehnt.

Die Tiefsee gehört aufgrund ihrer Unzugänglichkeit noch immer zu den am wenigsten erforschten Lebensräumen der Welt und unser Wissen über ihre Bewohner ist gering. Um die Auswirkungen eines möglichen zukünftigen Tiefseebergbaus auf die dort lebende Fauna abschätzen zu können, sind alle Kontraktoren von Explorationslizenzen dazu verpflichtet, die Lebensgemeinschaften in ihrem Lizenzgebiet zu untersuchen. Somit stellt das industrielle Interesse an marinen mineralischen Rohstoffen auch eine Chance dar, diese Gemeinschaften genauer zu erforschen. Nur so können Konzepte entwickelt werden um die Tiefseefauna bei einem industriellen Abbau zu schützen und zu erhalten. Im deutschen Lizenzgebiet werden diese Untersuchungen vom Wilhelmshavener Institut Senckenberg am Meer (Abteilung Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung) durchgeführt. Aber nicht nur innerhalb des deutschen Lizenzgebietes, sondern auch über die Grenzen der einzelnen Lizenzgebiete hinaus, sind internationale Projekte unter Beteiligung der BGR, wie z. B. „JPI-Oceans – Ecological aspects of deep-sea mining“, ins Leben gerufen worden, um die Biodiversität und die Umweltbedingungen im ost-pazifischen Manganknollengürtel großflächig zu untersuchen.

Die Fauna der Tiefsee besitzt eine hohe Diversität und dies gilt insbesondere für den Manganknollengürtel (JANSSEN et al. 2015, KAISER et al. 2017). Die Zahl der Tiere ist gering im Vergleich zu flacheren Bereichen des Meeres, aber dafür gibt es eine sehr hohe Anzahl unterschiedlicher Arten. Deshalb ist eine der größten Herausforderungen, dass die meisten hier vorkommenden Arten wissenschaftlich unbekannt



Abb. 3: Ein Schwamm (Porifera) und Schlangensterne (Ophiuroidea) aus dem deutschen Lizenzgebiet, Quelle: GEOMAR.

sind. Aus diesem Grund ist die übereinstimmende Identifizierung der Tiere durch verschiedene Forschergruppen stark erschwert. Um diesem Problem entgegen zu wirken, hat das DZMB für Borstenwürmer (Polychaeta) und Asseln (Isopoda) den sogenannten „reverse taxonomy approach“ eingeführt (JANSSEN et al. 2015). Hier wird zunächst ein kurzer Teil der genetischen Information, ein „Barcode“, sequenziert, damit Tiere derselben Art einfach und schnell identifiziert werden können. Im zweiten Schritt wird dieses Ergebnis dann mithilfe der traditionellen morphologischen Bestimmung kombiniert und überprüft.

Obwohl derartige molekular-biologische Methoden immer häufiger verwendet werden, können noch längst nicht alle Tiere anhand eines solchen genetischen „Barcodes“ identifiziert werden.

Insbesondere die zahlreiche Meiofauna kann meist nur einer höheren taxonomischen Ebene zugeordnet werden. Als Meiofauna werden alle Organismen bezeichnet, die zwischen 32 µm und 1 mm groß sind und am Meeresgrund in den oberen Zentimetern des Sediments leben. Im deutschen Lizenzgebiet ist ihre Anzahl mit durchschnittlich 370 Individuen pro 10 cm² Meeresboden sehr hoch im Vergleich zu größeren Organismen. Ihr Vorkommen ist hoch variabel, so dass noch immer unklar ist, wie groß die Diversität im gesamten Manganknollengürtel tatsächlich ist.

Auch die Manganknollen beeinflussen die Biodiversität. So sind beispielsweise Fadenwürmer (Nematoda) in Gebieten mit Manganknollen häufiger als in Gebieten ohne Manganknollen (SINGH et al. 2016). Fadenwürmer gehören zur Meiofauna und machen oft mehr als 90 % der Artenanzahl aus. Allerdings gibt es auch Organismen, die nicht nur von den Manganknollen beeinflusst werden, sondern sogar auf sie angewiesen sind. Für viele größere Organismen wie beispielsweise Korallen (Anthozoa) und Schwämme (Porifera), aber auch kleinere wie Moostierchen (Bryozoa) und manche Borstenwürmer (Polychaeta), sind sie der einzig verfügbare feste Untergrund in der Tiefsee, auf dem sie sich anheften können. Nachdem mit einer Kettensack-Dredge entlang eines kurzen Streifens (mehrere 100 Meter) im Manganknollengürtel des Pazifiks nahezu alle Manganknollen entfernt wurden, war das gestörte Gebiet auch nach 37 Jahren nur geringfügig wieder mit solch sessilen Organismen besiedelt (VANREUSEL et al. 2016).

UNTERSUCHUNGEN ZUR BIODIVERSITÄT IM DEUTSCHEN LIZENZGEBIET FÜR POLYMETALLISCHE SULFIDE IM INDISCHEN OZEAN

Seit dem Beginn der Erkundung im deutschen Lizenzgebiet für polymetallische Sulfide im Indischen Ozean werden auch Fragestellungen zur Biodiversität und zu den Umweltbedingungen untersucht. Hierbei wird die BGR ebenfalls durch das DZMB unterstützt. Der Anteil der Umweltuntersuchungen am gesamten Explorationsprogramm der BGR ist im Vertragswerk mit der Internationalen Meeresbodenbehörde verbindlich geregelt und beträgt 50 % der zeitlichen und finanziellen Gesamtaufwendungen.

Die Umweltuntersuchungen im deutschen Lizenzgebiet sind vielfältig und beinhalten die Charakterisierung von benthischen Lebensgemeinschaften, also die Identifizierung von Gattungen und Arten,



Abb. 4: *Rimicaris kairei*, Quelle: BGR/GEOMAR.

die Beschreibung der Faunengemeinschaft, die Lebens- und Fressstellungen einzelner Spezies sowie die Erforschung der marinen Umweltbedingungen. Neben der taxonomischen Bestimmung der Lebewesen mit optischen und genetischen Verfahren steht die Untersuchung der Verwandtschaftsbeziehungen mit anderen Hydrothermalfeldern im Indischen Ozean, am südantlantischen Rücken und im westlichen Pazifik im Mittelpunkt. Zur Beprobung und Beobachtung verwenden wir vor allem Tauchroboter, die eine gezielte Probenahme ermöglichen, aber auch tiefgeschleppte Kameras. Seit Beginn der Untersuchungen wurden etwa 25.000 Individuen gesammelt, bestimmt und taxonomisch eingeordnet. Alle Ergebnisse werden zurzeit im Katalog „Index Tree of Life“ zusammengetragen und nach der Auswertung veröffentlicht. Sie liefern damit neben der Erfüllung unseres Explorationsvertrages auch einen wertvollen wissenschaftlichen Beitrag zur Bestandsaufnahme der Fauna in der Tiefsee.

An den bislang bekannten vier aktiven Fluidaustritten im Lizenzgebiet konnten Individuen von 62 Spezies aus 9 Stämmen durch DNA-Sequenzierung charakterisiert werden; 50 Spezies davon sind neuentdeckte Arten. Interessant ist, dass zwei der beprobten Arten (*Rimicaris kairei* und *Austinograea rodriguezensis*) Verwandtschaftsbeziehungen zu ihren Artgenossen von anderen hydrothermalen Fluidquellen haben, unter anderem zu den etwa 1000 km entfernten Hydrothermalgebieten „Dodo“ und „Solitär“. Dies belegt die Fähigkeit zumindest dieser beider Arten, im Larvenstadium in der Wassersäule schwebend, weite Entfernungen im Ozean zu überbrücken. Mit zunehmender Anzahl an gesammelter Fauna steigen die Möglichkeiten, diese Verwandtschaften auch für andere Arten zu nachzuweisen. Die Arbeiten zur Biodiversität im deutschen Lizenzgebiet werden auch in Zukunft kontinuierlich fortgeführt und die Ergebnisse ausführlich an die Internationale Meeresbodenbehörde berichtet und durch wissenschaftliche Publikationen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.



Abb. 5: *Austinograea rodriguezensis*, Quelle: BGR/GEOMAR.

INTERNATIONALE MEERESBODENBEHÖRDE

Die Internationale Meeresbodenbehörde ist eine eigenständige internationale Organisation, die 1994 im Rahmen des Internationalen Seerechtsübereinkommens geschaffen wurde. Sie reguliert und überwacht alle Aktivitäten zur wirtschaftlichen Nutzung des Meeresbodens und dessen Untergrundes jenseits der Grenzen nationaler Gewässer. Weil bisher noch kein Tiefseebergbau stattfindet, ist die zentrale Aufgabe der IMB zurzeit die Erarbeitung und Aktualisierung der Regeln zur Erkundung sowie zum künftigen Abbau der mineralischen Rohstoffe der Tiefsee und die Vergabe von Explorationslizenzen. Des Weiteren beschäftigt sie sich mit der Erarbeitung von Umweltmanagementplänen. Die IMB hat darüber hinaus die Aufgabe, den im Seerecht verankerten Interessensausgleich zwischen Industriestaaten und Entwicklungsländern voranzubringen. Die Hauptorgane der IMB sind die Versammlung aller Vertragsparteien des Seerechts als höchste Entscheidungsinstanz (derzeit 167 Staaten und die EU), der Rat als Exekutivorgan zusammengesetzt aus 36 Vertretern der Vertragsstaaten, das Sekretariat (ca. 40 Mitarbeiter in Kingston, Jamaika), die Rechts- und Fachkommission zur Erarbeitung von Beschlussvorlagen im Auftrag des Rates (derzeit 30 Mitglieder) sowie der Finanzausschuss für alle finanziellen Fragen.

23. JAHRESTAGUNG DER INTERNATIONALEN MEERESBODENBEHÖRDE

Vom 7. bis 18. August 2017 fand in Kingston (Jamaika) die 23. Jahrestagung der Internationalen Meeresbodenbehörde (IMB) statt. Dort wurde u. a. auf Basis der Ergebnisse des Berlin-Workshops ein überarbeiteter Entwurf der Abbauregularien vorgestellt und diskutiert. Dieser Entwurf ist auf der Internetseite der IMB veröffentlicht (siehe Links und Quellen). Bis 20. Dezember 2017 haben alle Interessengruppen die Gelegenheit zur Kommentierung. Die IMB wird dann im Februar 2018 erneut eine überarbeitete Version zur Beratung vorlegen. Ambitioniertes Ziel der Behörde ist es, das Regelwerk schrittweise so fortzuentwickeln, dass es 2020 durch die Versammlung verabschiedet werden kann.

Weiterhin wurde der Schlussbericht eines Komitees diskutiert, das die Arbeit der IMB überprüft und Empfehlungen für Veränderungen ausgesprochen hat. Diese Empfehlungen zielen insbesondere darauf ab, die Arbeit der Behörde an die gewachsenen Herausforderungen mit bald 29 Lizenzgebieten anzupassen. Als Ergebnis wird der Rat in 2018 und 2019 zweimal jährlich tagen, auch, um die „Roadmap“ zur Verabschiedung der Abbauregularien bis 2020 zu unterstützen.

Nachdem im vergangenen Jahr bereits fünf Explorationslizenzen für Manganknollen verlängert wurden, hat die Versammlung jetzt auch die Verlängerung der Man-

ganknollen-Lizenz der indischen Regierung um fünf Jahre genehmigt. Die beiden Voraussetzungen dafür waren das Fehlen erprobter Tiefseebergbautechnologie sowie die derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die ein profitables Geschäftsmodell noch nicht sicherstellen können. Weiterhin genehmigte der Rat einen Lizenzantrag der Regierung von Polen für die Exploration polymetallischer Sulfide am Mittelatlantischen Rücken.

AUFBEREITUNG UND METALLURGISCHE WEITERVERARBEITUNG VON MANGANKNOLLEN

Weltweit gibt es unterschiedliche Konzepte, um im Labormaßstab Manganknollen zu verarbeiten und die Wertmetalle zu extrahieren, insbesondere Nickel, Kobalt und Kupfer, teils gemeinsam mit Mangan (für die durchschnittliche Zusammensetzung der Knollen siehe Tabelle 1). Bisher wenig beachtet wurden dabei jedoch die sog. Technologiemetalle wie Vanadium, Molybdän oder Seltene Erden. Und auch für die Vermeidung der bei der metallurgischen Verarbeitung entstehenden Rückstände gibt es noch keine befriedigende Lösung. Deshalb entwickeln das Institut für Metallurgische Prozesstechnik & Metallrecycling

(IME) und das Institut für die Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR) an der RWTH Aachen gemeinsam mit der BGR zurzeit ein „Zero-Waste“-Konzept, das sowohl die Gewinnung der Haupt- und Spurenmetalle als auch die Nutzung der Restphasen umfasst.

Konventionelle Verarbeitungsverfahren für mineralische Rohstoffe bestehen in der Regel aus einer mechanischen Aufbereitung zur Voranreicherung von Wertstoffen in Konzentraten, gefolgt von einer metallurgischen Weiterverarbeitung zu Metallen. Die mechanische Aufbereitung von Manganknollen mittels konventioneller Aufbereitungsverfahren ist bislang nicht erfolgreich durchführbar, insbesondere, weil die Trägerphasen der Metalle (Mangan- und Eisenoxide) sehr feinkörnig miteinander verwachsen sind. Daher müssen die Knollen nach einer Trocknung und Vormahlung komplett aufgeschlossen werden. Hierzu wurde von der RWTH Aachen der INCO-Prozess des früheren deutsch-kanadischen Konsortiums Ocean Management Inc. adaptiert und weiterentwickelt (FRIEDMANN & FRIEDRICH 2016).

In diesem Verfahren werden die Knollen zunächst mit Flussmitteln und Koks in einen Elektrolichtbogenofen (LBO) chargiert. Durch die chemische Reduktion der Oxide mit Kohlenstoff entsteht eine Eisen-Nickel-Kupfer-Metallphase unter Bildung von CO_2 (carbothermische Reduktion). Weiterhin wird eine manganreiche Schlacke gewonnen, die in einem weiteren LBO-Schritt zu Ferromangan reduziert wird (siehe Abb. 6). Die im ersten LBO reduzierte Metallphase wird (industriell flüssig) in einen Konverter chargiert, um das Eisen von den Zielmetallen Ni, Cu, Co, Mo zu trennen. Da die Zielmetalle kaum pyrometallurgisch voneinander zu trennen sind, besteht die Möglichkeit, die Metalle mittels elementarem Schwefel in Metallsulfide (NiS_2 , CuS , Co_2S_3 , MoS_2) zu überführen, so dass diese in Säure löslich sind und hydrometallurgisch voneinander getrennt werden können. Weitere Endprodukte des Prozesses sind neben der FeMn-Schlacke eine Kalzium-Silikat-Schlacke. Die Endprodukte sind so gestaltet, dass sie den gängigen Normen für die Verwendung in der Stahlherstellung bzw. in der Bauindustrie erfüllen.

Das Verfahren wurde im Labormaßstab erfolgreich getestet (2 – 3 kg pro Versuch). Derzeit läuft ein Upscaling auf ca. 20 kg pro Versuch. Ab 2019 sollen in einem über mehrere Tage kontinuierlich laufenden Demonstrationsprojekt 10 – 20 Tonnen Manganknollen verarbeitet werden.

Tab. 1: Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der Manganknollen des deutschen Lizenzgebietes (N=741).

	Mn	Ni	Cu	Co	Mo	V	Fe	Si	Al	Mg	Ca	SEY*
Gew.-%	31,1	1,4	1,2	0,17	0,06	0,06	6,2	6,1	2,3	1,9	1,7	0,07

*SEY: Summe der Seltene-Erden-Elemente und Yttrium

TEST EINES VERTIKALEN FÖRDERSYSTEMS VON MANGANKNOLLEN

Im Rahmen des von der EU geförderten Projektes Blue Mining werden technische Lösungen für den Tiefseebergbau entwickelt, die die Umwelt möglichst wenig belasten. Ein wichtiger Bestandteil ist der vertikale Transport von Erzen vom Meeresboden in bis zu 5000 m Wassertiefe zur Oberfläche. Die Konzeption und Entwicklung eines vertikalen Transportsystems steht im Zentrum des Blue Mining-Projektes. Allerdings sind die Testmöglichkeiten eines solchen Systems stark eingeschränkt. Neben Computersimulationen stehen oft nur wenige Meter hohe Teststände zur Verfügung, sodass die Aussagefähigkeit der Ergebnisse in Bezug auf die realen Bedingungen im Ozean limitiert ist. Im August 2017 konnte das Blue-Mining-Konsortium unter Leitung des holländischen Unternehmens Royal IHC den Testschacht „8. Lichtloch“ bei Freiberg (Sachsen) für verschiedene Tests eines neu entwickelten Vertikalstranges zur Förderung von Manganknollen nutzen. In dem 135 m langen (vertikale Höhe) und 150 mm dicken Förderstrang wurde ein Sand-Kies-Gemisch mittels 55 kW Feststoffpumpe in verschiedenen Szenarien über mehrere Wochen getestet. Im September 2017 wurden die Tests erfolgreich mit einem Kubikmeter Manganknollen (1 t) erweitert, die durch die BGR zur Verfügung gestellt wurden.

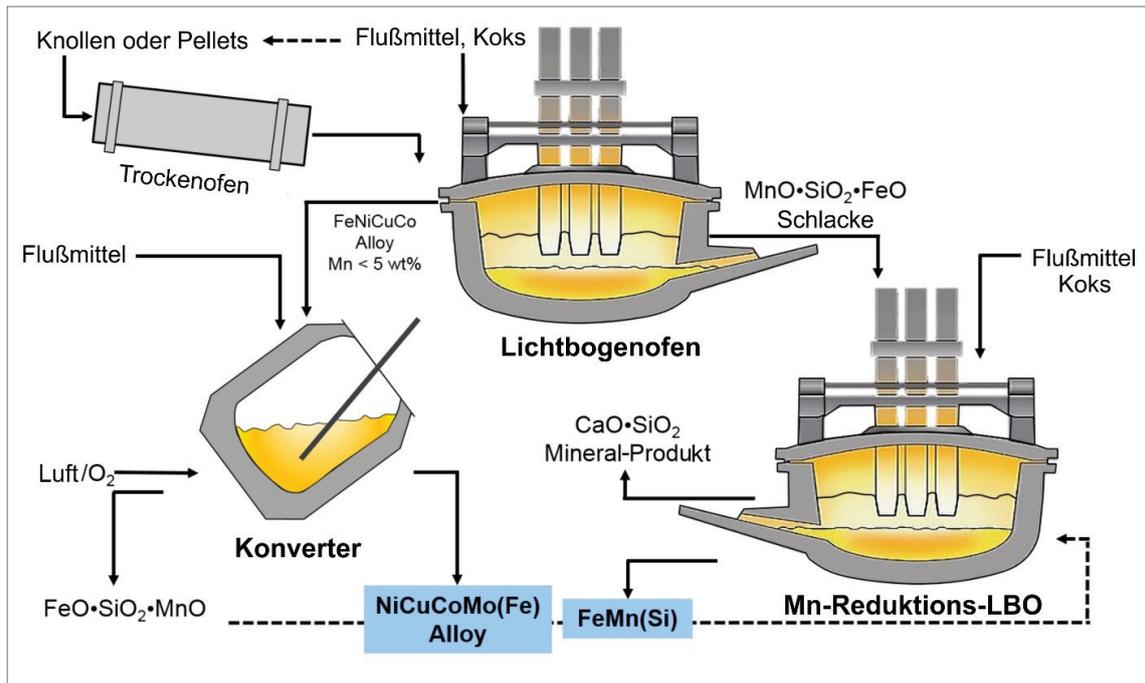


Abb. 6: Optimierte, „Zero-Waste“-Prozessroute zur metallurgischen Aufbereitung von Manganknollen.

TERMINE • TAGUNGEN • WORKSHOPS

07.11.2017: Fachgespräch zur Rolle und Aufgaben der Sponsorstaaten der IMB-Vertragsparteien zum Tiefseebergbau im IASS Potsdam

20.12.2017: Einsendeschluss für Kommentare zum Entwurf der Abbaure-

gularien der Internationalen Meeresbodenbehörde

März 2018: Sitzung des Rats der Internationalen Meeresbodenbehörde

April/Mai 2018: Expedition der BGR in das deutsche Li-

zenzgebiet zur Exploration von Manganknollen

13. – 16.05.2018: 4th World Conference on Marine Biodiversity in Montréal, Kanada,

09. – 14.09.2018: 15th Deep-Sea Biology Symposium in Monterey, California.

LINKS UND QUELLEN

Draft Regulations on Exploitation for Mineral Resources in the Area (Environmental Matters); www.isa.org.jm/files/documents/EN/Regs/DraftExpl/DP-EnvRegsDraft25117.pdf

Draft Regulations on Exploitation of Mineral Resources in the Area; www.isa.org.jm/files/documents/EN/Regs/DraftExpl/ISBA23-LTC-CRP3-Rev.pdf

ISA Technical Study No. 17; www.isa.org.jm/sites/default/files/files/documents/berlinrep-web.pdf

GenBank-Datenbank; www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/

Senckenberg Institut; www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=16451

Internationale Meeresbodenbehörde; isa.org.jm

EU-Projekt Blue Mining; www.bluemining.eu

LITERATUR

D. FRIEDMANN, B. FRIEDRICH (2016). Optimized Slag Design for Maximum Metal Recovery during the Pyrometallurgical Processing of Polymetallic Deep-Sea Nodules. In R.G. Reddy, P.C. Pistorius, U. Pal (eds.). Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts (MOLTEN 16), 91 – 104.

JANSSEN A, KAISER S, MEISSNER K, BRENKE N, MENOT L, MARTÍNEZ ARBIZU P (2015): A reverse taxonomic approach to assess macrofaunal distribution patterns in abyssal Pacific polymetallic nodule fields. *PLoS ONE* 10 (2): e0117790.

KAISER S, SMITH CR, MARTÍNEZ ARBIZU P (2017): Editorial: Biodiversity of the Clarion Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity* 47: 259-264.

PAPE E, BEZERRA TN, HAUQUIER F, VANREUSEL A (2017): Limited spatial and temporal variability in meiofauna and nematode communities at distant but environmentally similar sites in an area of interest for deep-sea mining. *Frontiers in Marine Science* 4: 205

RAMIREZ-LLODRA et al. (2010): Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeoscience* 7: 2851-2899.

SINGH R, MILJUTIN DM, VANREUSEL A, RADZIEJEWSKA T, MILJUTINA MM, TCHESUNOV A, BUSSAU C, GALTSOVA V, MARTÍNEZ ARBIZU P (2016): Nematode communities inhabiting the soft deep-sea sediment in polymetallic nodule fields: do they differ from those in the nodule-free abyssal areas? *Marine Biological Research* 12 (4): 345-359.

VANREUSEL A, HILARIO A, RIBEIRO PA, MENOT L, MARTÍNEZ ARBIZU (2016): Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports* 6: 26808.

IMPRESSUM

Herausgeber:

© **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, November 2017**

B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe

B1.4 Marine Rohstofferkundung

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Stilleweg 2

30655 Hannover

E-Mail: mineralische-rohstoffe@bgr.de

www.bgr.bund.de