

ROHSTOFFE IN DER TIEFSEE

Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech- Gesellschaft

| Künftiger Bedarf
metallischer Rohstoffe

| Umweltmonitoring
in der Tiefsee

| Utopie einer Kreis-
laufwirtschaft

Impressum

Herausgeber

Helmholtz-Zentrum Potsdam,
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Redaktion

Jana Kandarr
Oliver Jorzik

Layout

Pia Klinghammer

E-Mail: redaktion-eskp@gfz-potsdam.de

Alle Artikel sind auch im Internet abrufbar:

<https://themenspezial.eskp.de/rohstoffe-in-der-tiefsee/inhalt-937105/>

Stand: Dezember 2018

Heft-DOI: <https://doi.org/10.2312/eskp.2018.2>

Zitiervorschlag:

Jorzik, O., Kandarr, J. & Klinghammer, P. (2018). *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi: 10.2312/eskp.2018.2

Einzelartikel:

[Autor*innen]. (2020). [Beitragstitel]. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:[DOI]

Die Verantwortung für die Inhalte der Einzelbeiträge der vorliegenden Publikation liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen:
eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Inhalt

Editorial

1. Bedarf an kritischen Metallen	9
Zukünftiger Bedarf metallischer Rohstoffe	10
Ulrike Dorner	
Kobalt für Batterien und E-Mobilität – der Bedarf wächst dynamisch	13
Siyamend Ingo Al Barazi & Dr. Thomas Kuhn	
Unsere Primärrohstoffordnung	16
Dr. Alena Bleicher	
Europäische Versäumnisse bei der Erschließung und Bewertung neuer Lagerstätten	20
Interview mit Prof. Dr. Jochen Kolb	
2. Tiefseeregionen für die Rohstoffsuche	25
Wirtschaftlich interessante Gebiete, wo suchen?	26
Dr. Sven Petersen	
Mengen metallischer Rohstoffe – was schlummert im Meer?	31
Interview mit Dr. Sven Petersen	
Exploration in der Tiefsee – die Aufteilung der Rohstofflizenzegebiete	37
Dr. Carsten Rühlemann	
3. Erforschung potentieller Abbauggebiete	41
Nachhaltige Auswirkungen des Tiefseebergbaus	42
Dr. Matthias Haeckel	
Baseline-Studien für die Erkundungsgebiete: Wie tief reicht der Sauerstoff, was sind die Sedimentationsraten?	45
Prof. Dr. Sabine Kasten	
Technische Herausforderungen beim Umweltmonitoring	48
Dr. Annemiek Vink	
Manganknollen: große technische Herausforderungen für die Gewinnung	50
Dr. Annemiek Vink	
Golden Eye – auf der Suche nach Massivsulfiden	52
Dr. Katrin Schwalenberg	
Schweres Gerät auffahren: Nautilus Minerals und Japan auf dem Weg zum Tiefseebergbau	55
Interview mit Dr. Sven Petersen	

4. Handlungsoptionen	59
Die Vermessung des Meeresbodens	60
Dr. Anne-Cathrin Wölfl	
Sedimentationsprozesse und Trübungswolken in der Tiefsee	65
Dr. Annemiek Vink	
Strategien zur Renaturierung von Abbaugebieten	67
Dr. Felix Janssen, Dr. Thomas Soltwedel & Dr. Matthias Haeckel	
Regeln für den Abbau: Die Verfassung der Meere und die Internationale Meeresbodenbehörde IMB	71
Interview mit Dr. Sven Petersen	
Seegerichtshof in Hamburg	76
Prof. Dr. Nele Matz-Lück	
Abbau- und Managementstrategien	79
Dr. Felix Janssen, Dr. Thomas Soltwedel & Dr. Matthias Haeckel	
Die metallurgische Verarbeitung von Manganknollen nach dem „Zero-Waste-Konzept“	82
Dr. Thomas Kuhn	
Phosphor und Metalle – die Phosphorite am Meeresboden	85
Dr. Hermann Kudrass	
Kann Kobalt zukünftig in Batterien ersetzt werden?	88
Jana Kandarr	
Von der Utopie einer Kreislaufwirtschaft	92
Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter	
Eine Denkfabrik für die Rohstoffwende	98
Jana Kandarr	
Impulse für die naturwissenschaftliche Ausbildung	101
Dr. Alena Bleicher	
Was muss im Meeresbodenbergbau noch weiter erkundet werden?	104
Strategiegruppe Marine Mineralische Ressourcen des Konsortiums Deutsche Meeresforschung	

Rohstoffe in der Tiefsee

Nahezu alle metallischen Rohstoffe, die die Menschheit gegenwärtig benötigt, werden an Land gewonnen. Mit jedem Anstieg der Rohstoffpreise und der zunehmenden Nachfrage einer wachsenden Weltbevölkerung nach neuen Technologien, könnte es attraktiver werden, auch im Meer nach metallischen Rohstoffen zu suchen. Und der Bedarf für den Ausbau der E-Mobilität, die Energiewende und für die zunehmende Digitalisierung aller Lebensbereiche erhöht sich weiter. Die Europäische Union sieht mittlerweile die Versorgung mit 27 strategisch wichtigen Rohstoffen (2017) kritisch. Hierunter fallen beispielsweise Antimon, Germanium oder Kobalt. Die Folgen einer Rohstoffknappheit würden die deutsche Industrie besonders treffen, denn sie ist bei metallischen Rohstoffen nahezu komplett importabhängig.

Stellen die Ozeane vor diesem Hintergrund eine attraktive Alternative für die Rohstoffbeschaffung dar? Dieser Frage wollen wir in unserem neuen ESKP-Themenspezial nachgehen. Die Erkundungen nach metallischen Rohstoffen in der Tiefsee sind voll im Gange: im Indischen Ozean, im Pazifik, auf alten Seerücken oder den Flanken submariner Vulkane. Insbesondere Kupfer, Kobalt und Nickel kommen in der Tiefsee in Mengen vor, die mit denen an Land vergleichbar sind. Der Run auf die Erkundungslizenzen hat bereits begonnen und die Unterwasserwelt wird nach und nach aufgeteilt, um den Tiefseebergbau voranzutreiben. So haben sich die Anträge bei der Internationalen Meeresbodenbehörde in den letzten fünf Jahren verdreifacht.

Doch ist aus Umweltgesichtspunkten der Abbau metallischer Rohstoffe im Meer überhaupt vertretbar? Welche Auswirkungen auf die marinen Ökosysteme hätten riesige Trübungswolken am Meeresgrund? Wie ausgereift sind die Technologien für den Meeresbodenbergbau? Wie könnte ein zuverlässiges Umweltmonitoring in der Tiefsee aussehen? Wäre es besser nach Einsparmöglichkeiten an Land zu suchen und Alternativen zu erforschen? Viele durchaus strittige Fragen, die wir aus Sicht der Forschung beleuchten wollen.

An dieser Stelle möchten wir uns äußerst herzlich bei allen mitwirkenden Wissenschaftler*innen der Helmholtz-Gemeinschaft bedanken. Beteiligt diesmal waren das GEOMAR – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, das Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, das Helmholtz-Institut Ulm (HIU) sowie das Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF).

Unser besonderer Dank gilt der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) mit der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) für die große Unterstützung. Ebenso herzlich Danke sagen wir den beteiligten Expert*innen des Kieler Walther-Schücking-Instituts für Internationales Recht, des Konsortiums Deutsche Meeresforschung (KDM) sowie des Zentrums für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen – MARUM.

Viel Freude beim Eintauchen in das Tiefsee-Themenspezial wünscht

Ihre ESKP-Redaktion

Dezember 2018

Die **Earth System Knowledge Platform** (www.eskp.de) ist die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft. Getragen wird ESKP vom **Alfred-Wegener-Institut**, **Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung** (AWI), dem **Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt** (DLR), dem **Forschungszentrum Jülich** (FZJ), **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel**, dem **Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum** (GFZ), dem **Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung** (HZG), dem

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie dem **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**.

Das Themenspezial-Format der Wissensplattform ESKP bietet online übergreifende Syntheseperspektiven jeweils zu einem Forschungsthema (themenspezial.eskp.de). Bereits erschienen sind die Ausgaben „**Rohstoffe in der Tiefsee**“, „**Metropolen unter Druck**“, „**Plastik in Gewässern**“, „**Biodiversität im Meer und an Land**“ sowie „**Vulkanismus und Gesellschaft**“.

1. Bedarf an kritischen Metallen

Einleitung

In den letzten 30 Jahren hat China seine Rohstoffnachfrage nach Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel, Eisen, Zink und Zinn stark ausgebaut. Gerade für Zukunftstechnologien haben etliche Rohstoffe eine besondere Relevanz. So gehört Kobalt zum festen Bestandteil von Smartphones oder E-Fahrzeugen. Recycling wäre eine wichtige Alternative zum Rohstoffabbau, jedoch stoßen recycelte Materialien beim Verbraucher häufig auf Skepsis.

Themen-Überblick

- ▶ Künftiger Bedarf metallischer Rohstoffe
- ▶ Kobaltbedarf für Batterien und E-Mobilität
- ▶ Unsere Primärrohstoffordnung
- ▶ Europäische Versäumnisse bei der Erschließung und Bewertung neuer Lagerstätten

Zukünftiger Bedarf metallischer Rohstoffe

Ulrike Dorner (Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

Die weltweite Nachfrage nach Rohstoffen steigt. Sie wird einerseits getrieben durch das weltweite Wirtschaftswachstum, andererseits durch die Entwicklung neuer Technologien. Gerade rohstoffintensive und -sensitive Schlüssel- und Zukunftstechnologien können kurz- bis mittelfristig starke Nachfrageimpulse auslösen und damit einen erheblichen Einfluss auf die Rohstoffmärkte haben. Neben der bergbaulichen Gewinnung von Rohstoffen an Land und einem zunehmenden Anteil recycelter Rohstoffe können auch Rohstoffe aus der Tiefsee zukünftig einen Beitrag zur Deckung des Bedarfs leisten.

- China ist der dominante Player auf dem Markt für metallische Rohstoffe.
- Vor dem Hintergrund wichtiger Zukunftstechnologien dürfte die Nachfrage nach Metallen wie Lithium oder Rhenium stark ansteigen.
- Auch Rohstoffe wie Kobalt, die auch in der Tiefsee zu finden sind, werden durch den weltweiten Ausbau der E-Mobilität vermehrten Nachfrageimpulsen ausgesetzt sein.

In den letzten 30 Jahren hat China seine Rohstoffnachfrage nach Aluminium, Blei, Kupfer, Nickel, Stahl, Zink und Zinn stark ausgebaut. Aktuell hat China bei diesen Rohstoffen durchschnittlich einen weltweiten Bedarf von 48 Prozent. China wird auch weiterhin die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen dominieren, jedoch ist der Höhepunkt des Nachfragewachstums bereits erreicht (Stürmer & v. Hagen, 2012). Derzeit ist nicht erkennbar, dass in Zukunft andere Schwellenländer wie Indien oder Brasilien in die Fußstapfen Chinas treten oder Chinas Dominanz auf den Rohstoffmärkten ablösen werden (Perger, 2018).

Neben dem Weltwirtschaftswachstum, kann die Entwicklung neuer Technologien signifikante Auswirkungen auf den globalen Bedarf an bestimmten Rohstoffen haben. Dieser Einfluss ist für Sondermetalle, von denen weltweit weniger als einige tausend Tonnen pro Jahr gefördert werden, besonders groß und kann Versorgungsengpässe hervorrufen.

Laut der DERA-Studie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016“ haben 16 Rohstoffe eine besondere Relevanz für 42 untersuchte Zukunftstechnologien. Vor allem bei den Metallen Lithium und Rhenium sowie bei den schweren Seltenen Erden Dysprosium und Terbium dürfte die Nachfrage in den nächsten zwei Jahrzehnten steil ansteigen. Die untersuchten Technologien werden der Studie zufolge im Jahr 2035 mehr als das Doppelte der heutigen Weltproduktion dieser Metalle verbrauchen.

Daneben wird auch der Bedarf an Germanium, Kobalt, Scandium, Tantal und an den leichten Seltenen Erden Neodym und Praseodym im Jahr 2035 allein durch die untersuchten Zukunftstechnologien vermutlich höher sein als die gesamte heutige Produktion (Abb. 1). Aufgrund der ungewissen Markteintrittsreife muss die Entwicklung von Zukunftstechnologien laufend beobachtet werden. Beispielsweise hat sich für Lithium das Szenario bereits heute schon überholt. Nach aktuellen Prognosen wird sich bis zum Jahr 2025 die Lithium-Nachfrage voraussichtlich verdoppeln oder sogar verdreifachen (Schmidt, 2017).

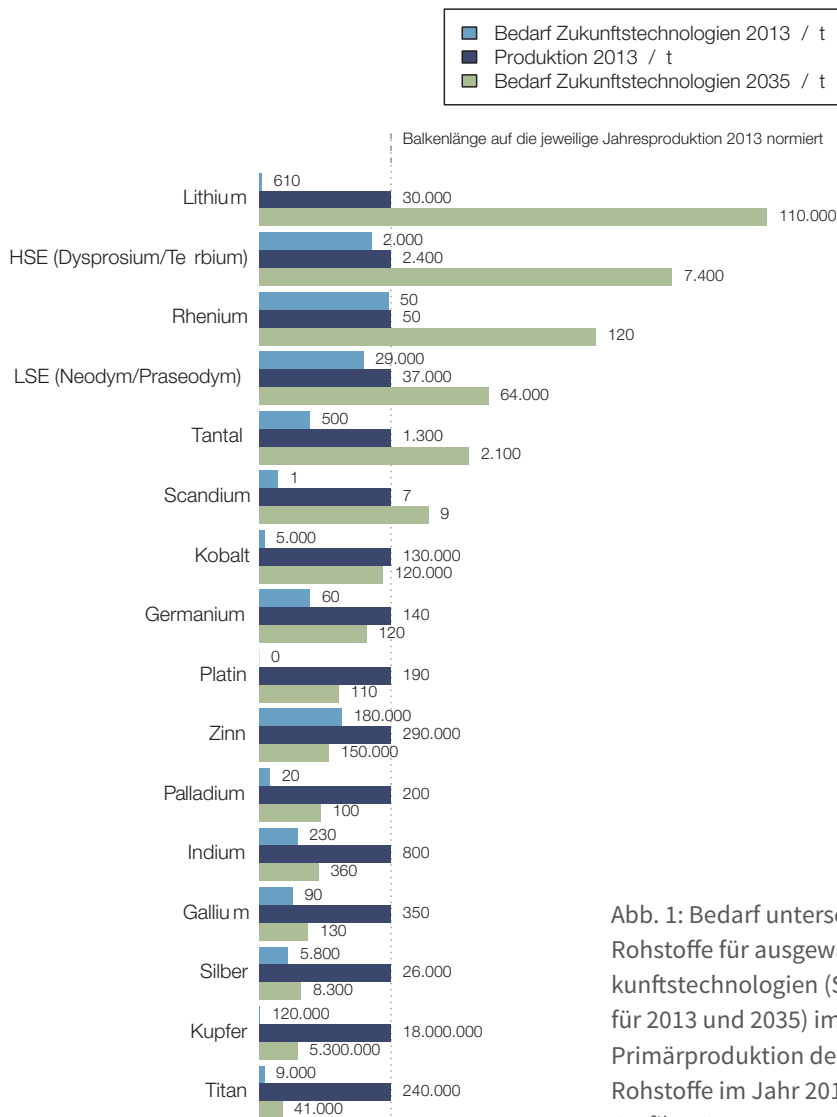


Abb. 1: Bedarf unterschiedlicher Rohstoffe für ausgewählte Zukunftstechnologien (Schätzungen für 2013 und 2035) im Vergleich zur Primärproduktion der jeweiligen Rohstoffe im Jahr 2013.
Grafik: BGR

Die Versorgung mit Rohstoffen wird immer komplexer

Rohstoffe wie Kupfer, Nickel und Kobalt, die auch in der Tiefsee zu finden sind, werden durch den weltweiten Ausbau der E-Mobilität einen starken Nachfrageimpuls erfahren. Kobalt und Nickel sind wichtige Bestandteile von Li-Ionen-Batterien, deren Markt durch die zunehmende Elektrifizierung der Mobilität und den Ausbau der Digitalisierung auch in Zukunft weiter stark wachsen wird. Bei Kupfer wird erwartet, dass neben der E-Mobilität auch die weltweit zunehmende Elektrifizierung und der damit verbundene Netzausbau einen Nachfrageimpuls auslösen wird. Beispielsweise enthält ein E-Auto viermal

so viel Kupfer wie ein Auto mit Verbrennungsmotor. Daneben könnte ein weiterer Nachfrageimpuls durch neue energieeffiziente Technologien entstehen. Kupfer ist für diese Anwendungen auf Grund seiner hervorragenden Wärme- und elektrischen Leitfähigkeit das bevorzugte Material.

Generell wird die Rohstoffversorgung zunehmend komplex, da für die Herstellung von High-tech-Produkten immer mehr unterschiedliche Elemente benötigt werden. Mobiltelefone beispielsweise enthalten über 50 verschiedene Metalle, die sich zum Großteil auf der Leiterplatte befinden. Dabei handelt es sich oft um Sondermetalle, die meist nur in geringen Mengen eingesetzt werden, jedoch für die Funktion der An-

wendung essentiell sind. Diese komplexen Hightech-Anwendungen werden sich im Zuge der zunehmenden Digitalisierung – die Stichworte hier sind Industrie 4.0, Blockchain-Technologie und Netzausbau – weiter ausbreiten.

Seit einigen Jahren ist die Zunahme von Angebotskonzentrationen auf den Rohstoffmärkten zu beobachten. Bei vielen Metallen, wie im Falle von Kobalt, stammt der Großteil der Produktion mit der Demokratischen Republik Kongo (DRK)

aus einem Land mit erhöhtem Länderrisiko. Dies wird für die Rohstoffmärkte der Zukunft eine besondere Herausforderung darstellen. Auch unter diesem Aspekt können Rohstoffe aus der Tiefsee eine sinnvolle Ergänzung darstellen, da diese Rohstoffe internationalem Recht und damit der Kontrolle der Weltgemeinschaft – auch in Hinblick auf soziale Aspekte und Umweltaspekte – unterliegen. Den rechtlichen Rahmen dafür liefert das 1994 in Kraft getretene UN Seerechtsübereinkommen (SRÜ, engl. UNCLOS).

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Al Barazi, S., Näher, U., Vetter, S., Schütte, P., Liedtke, M., Baier, M. & Franken, G. (2017). *Kobalt aus der DR Kongo – Potenziale, Risiken und Bedeutung für den Kobaltmarkt* (Commodity Top-News 53). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Hummen, T., Erdmann, L., Tercero Espinoza, L., Angerer, G., Marwede, M. & Benecke, S. (2016). *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016* (DERA Rohstoffinformationen 28). Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Perger, J. (2018). *Der Einfluss des Wirtschaftswachstums aufstrebender Industrienationen auf die Märkte mineralischer Rohstoffe – Update 2018* (Commodity TopNews 58). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Schmidt, M. (2017). *Rohstoffrisikobewertung – Lithium* (DERA Rohstoffinformationen 33). Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Stürmer, M. & v. Hagen, J. (2012). *Der Einfluss des Wirtschaftswachstums aufstrebender Industrienationen auf die Märkte mineralischer Rohstoffe* (DERA Rohstoffinformationen 11). Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Kobalt für Batterien und E-Mobilität – der Bedarf wächst dynamisch

Diplom Geologe Siyamend Ingo Al Barazi & Dr. Thomas Kuhn

(Deutsche Rohstoffagentur DERA & Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Kobalt gehört zu den wichtigsten Rohstoffen für Zukunftstechnologien. Das Metall findet aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften in vielen unterschiedlichen Bereichen Anwendung.

- Die Nachfrage nach Kobalt wird sich in den kommenden Jahren hoch dynamisch entwickeln.
- Deutschland stellt einen wichtigen Absatzmarkt für Kobalt und Kobaltprodukte dar.
- Die Gewinnung von Kobalt aus marinen Lagerstätten könnte zukünftig zu einer Steigerung des Primärangebots beitragen.

Grundsätzlich lässt sich der Kobaltmarkt in zwei Hauptanwendungssegmente unterteilen: Kobaltmetall und Kobaltchemikalien. Im Jahr 2017 entfielen rund 63 Prozent des Kobaltbedarfs auf den Bereich der Chemikalien sowie 37 Prozent auf den Bereich der Metalle. Das mit Abstand wichtigste Anwendungsfeld von Kobalt (46 Prozent der Anwendungen) liegt im Bereich der wieder aufladbaren Batterien und hier im Speziellen im Bereich der Lithium-Ionen-Batterien. Kobalt wird hierbei hauptsächlich als wichtiger Bestandteil in der Kathode der Batterien eingesetzt und stellt aufgrund seines hohen Preises dabei die teuerste Komponente in diesen Systemen dar.

Lithium-Ionen-Batterien werden beispielsweise in Laptops, Tablets, Smartphones, im Bereich der E-Mobilität (Traktionsbatterien) für die Verwendung in reinen E-Fahrzeugen bzw. unterschiedlichen Hybridfahrzeugen oder auch bei E-Bikes, E-Trikes, Gartengeräten und Werkzeugen eingesetzt. Der Bereich E-Speicher (Energy-Storage-Systems, ESS) für erneuerbare Energien spielt bisher noch eine untergeordnete Rolle, wird in naher Zukunft aber zu einem weiteren Wachstumstreiber werden.

Der zweitwichtigste Anwendungsbereich von Kobalt liegt im Bereich der Superlegierungen.

Rund 16,5 Prozent der Kobaltnachfrage entfielen 2017 auf diesen Bereich, gefolgt von Karbiden und Diamantwerkzeugen (8,5 Prozent), Magneten (5,1 Prozent) sowie weiteren chemischen und metallischen Anwendungen (16,5 Prozent). Die Nachfrage nach Kobalt wird sich in den kommenden Jahren hoch dynamisch entwickeln. Die DERA (Deutsche Rohstoffagentur) geht in ihrer aktuellen Rohstoffrisikobewertung davon aus, dass sich der Gesamtbedarf nach Kobalt, je nach Szenario, mehr als verdoppeln wird – von heute knapp 110.000 t auf 187.500 t bis 225.360 t im Jahr 2026 (Al Barazi 2018). Größter Wachstumstreiber ist die E-Mobilität.

Deutschland stellt einen wichtigen Absatzmarkt für Kobalt und Kobaltprodukte dar. In Summe importierte Deutschland Kobaltwaren im Gesamtwert von rund 107 Mio. Euro, wobei Kobaltmatte mit knapp 78 Mio. Euro wertmäßig den größten Anteil hatte. Bei Kobaltchlorid ist Deutschland drittgrößter Importeur. Im Bereich der Chemikalien liegt es bei Kobaltoxiden und -hydroxiden an fünfter Stelle, ebenso bei Schrotten und Abfällen.

Ein unübersehbarer Vorbote der prognostizierten Nachfragesteigerungen ist die jüngste Preisentwicklung: Seit Ende 2016 hat sich der Preis

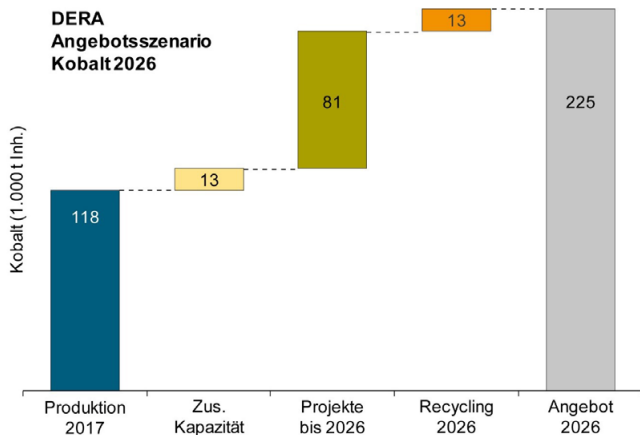


Abb.1 Angebotsszenario von Kobalt bis 2026
(modifiziert Al Barazi, 2018)

für Kobalt mehr als verdreifacht und stieg zwischenzeitlich auf knapp 97.000 US\$/t an. In den letzten Monaten ist der Kobaltpreis jedoch wieder deutlich auf unter 60.000 US\$/t gesunken. Die aktuelle als auch die historische Preisentwicklung zeigt, dass die Kobaltpreise einer sehr hohen Preisvolatilität unterliegen und es auch in der Vergangenheit zu kurzfristigen Preispeaks kam.

Wenngleich der stark gestiegene Kobaltpreis die Abnehmer belastet, werden dadurch notwendige Investitionsentscheidungen zum Ausbau neuer Kapazitäten beschleunigt. Entsprechend ist zu erwarten, dass es der Bergbauindustrie durch die Erschließung neuer Projekte und die Erweiterung bestehender Anlagen gelingen wird, die stark steigende Kobaltnachfrage zu bedienen.

Grenzen des Kobaltabbaus an Land

Die Deckung von Kobaltbedarfen jenseits von 250.000 t im Jahr 2026, wie derzeit von einigen Analysten angenommen, ist nach aktueller Einschätzung durch den Abbau von landgebundenen Lagerstätten kaum realisierbar. Die Gewinnung von Kobalt aus marinen Lagerstätten könnte zukünftig zu einer Steigerung des Primärangebotes beitragen. Zu den marinen mineralischen Rohstoffen mit signifikanten Kobaltgehal-

ten gehören die Eisen-Mangankrusten, die auf Hängen an untermeerischen Bergen vorkommen und die polymetallischen Manganknollen, die in sedimentbedeckten Tiefsee-Ebenen zahlreich auftreten. Darüber hinaus würde der Abbau von marinen mineralischen Rohstoffen zu einer Diversifizierung des Angebotes führen, was wiederum eine höhere Preisstabilität und Liefersicherheit ermöglicht.

Der weltweite Kobaltmarkt ist insbesondere durch eine hohe Angebotskonzentration bei der Bergwerksförderung als auch bei der Weiterverarbeitung von kobalthaltigen Erzen und Zwischenprodukten gekennzeichnet. Aus der DR Kongo stammen bereits heute mehr als 60 Prozent der Bergwerksförderung – der Anteil wird in 2026 auf über 70 Prozent steigen. Mit dieser weiterhin steigenden Angebotskonzentration verbunden mit hohen Länderrisiken der Bergwerksförderung bleiben die Beschaffungsrisiken insgesamt in einem sehr kritischen Bereich.

Neben der hohen Angebotskonzentration im Bereich der Bergwerksförderung auf die DR Kongo, hat in der Weiterverarbeitung mittlerweile China eine marktbeherrschende Position aufgebaut. China kontrolliert heute bereits mehr als 60 Prozent der globalen Raffinadeproduktion. Signifikante Produktionskapazitäten außerhalb Chinas bestehen zwar in Finnland, Belgien, Kanada, Russland, Japan, Norwegen und Australien, jedoch überwiegend für Kobaltmetall. Aktuelle Entwicklungen deuten darauf hin, dass China seine Produktionskapazitäten weiter ausbauen wird. Dies gilt insbesondere für Kobaltchemikalien. Hier ist der Marktanteil von China mit 81 Prozent sogar noch größer.

Durch den Abbau von marinen mineralischen kobaltreichen Rohstoffen wie Manganknollen und Eisen-Mangankrusten könnte auch im Bereich der Weiterverarbeitung eine Diversifizierung entstehen, da zur Verhüttung dieser Rohstoffe neue Anlagen gebaut werden müssten.

Die Rückgewinnung von Kobalt durch das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien wird heute bereits durchgeführt; entsprechende großtech-

nische Prozesse stehen zur Verfügung. Bei einem Markthochlauf der E-Mobilität wird, unter Berücksichtigung der potentiellen Lebensdauer der Batterien, das Recycling und die Wiederverwertung in Zukunft eine wichtige Komponente im Rohstoffkreislauf darstellen. Jedoch wird vor dem Jahr 2030 kein signifikanter Beitrag des Recyclings von LIB-Zellen aus der E-Mobilität für die Rohstoffversorgung erwartet. Ein geschlossener Kreislauf sollte dennoch oberstes Ziel sein.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Al Barazi, S. (2018). *Rohstoffrisikobewertung – Kobalt* (DERA Rohstoffinformationen 36): Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Unsere Primärrohstoffordnung

Dr. Alena Bleicher (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Müssen immer neue Rohstoffvorkommen aufgetan werden, damit der steigende Bedarf für die Entwicklung von High-Tech-Produkten und Zukunftstechnologien gesichert werden kann? Obwohl Recycling in der Gesellschaft im Allgemeinen positiv wahrgenommen wird, werden Produkte aus recycelten Materialien häufig skeptisch gesehen. Eine Spurensuche zur Wahrnehmung der Qualität von Recyclingrohstoffen.

- Industrielle Standards oder auch Vorgaben der Einkäufer limitieren teilweise den Einsatz sekundärer Rohstoffe.
- Einige wiederverwendete, recycelte Materialien werden von Verbrauchern und Herstellern als minderwertig angesehen - auch dann, wenn sie nachweislich die gleiche Qualität wie primäre Rohstoffe haben.
- Kulturell-gesellschaftliche Prozesse bestimmen darüber, ob Sekundärrohstoffe als wertvoll wahrgenommen werden.

Obwohl in der Rohstoff- und Abfallpolitik Recycling grundsätzlich einen hohen Stellenwert hat, sind die Recyclingquoten für einige Materialien derzeit noch zu niedrig (Binnemans et al., 2013; BMBU, 2016; BMWi, 2010). Die Gründe dafür variieren und sind zu einem großen Teil abhängig vom zu recycelnden Material, je nachdem, ob es sich nun um Kunststoffe, Baustoffe, Metalle oder Selten-Erden-Elemente (Seltene Erdmetalle) handelt. Es lassen sich jedoch einige Aspekte erkennen, die für verschiedene Materialien gleichermaßen zutreffend sind. Neben fehlenden Aufbereitungstechnologien für sich schnell verändernde Produktzusammensetzungen sind das kulturell-gesellschaftliche Herausforderungen. So wird eine wesentliche Ursache für den geringen Einsatz recycelter Materialien darin gesehen, dass diese bei Produktherstellern und Konsumenten weniger akzeptiert sind als primäre Rohstoffe (CIWMB, 1996; Kalverkamp, 2017; Ruston, 2010; Wilts et al., 2016). Bisher gibt es für dieses Phänomen nur schwache empirische Befunde und keine wissenschaftlich befriedigende Erklärung (Bleicher, 2019).

Die Primärrohstoffordnung

Die Beschäftigung mit Müll als sozialer und kultureller Kategorie sowie mit Prozessen der Entwertung und Aufwertung von Objekten hat in der sozialwissenschaftlichen Forschung eine längere Tradition. Der Sozialanthropologe Michael Thompson veröffentlichte 1979 sein Buch „Rubbish Theory. The creation and destruction of value“, in dem er darstellt, dass die Schaffung und Vernichtung von Werten als eine Einheit zu betrachten ist: Indem wir einigen Dingen Bedeutung verleihen, nehmen wir sie anderen (Thompson, 1979; Thompson, 1994). So sind zwar die Kategorien Müll und Wertstoff/Wertobjekt absolut, aber es ist nicht widerspruchsfrei, was diesen Kategorien zu welchem Zeitpunkt zugeordnet wird. Die kontinuierliche Auseinandersetzung mit diesen Widersprüchen und die Entscheidung über die Zugehörigkeit zu Kategorien dienen dem Erhalt der sozialen Ordnung (Thompson, 1979; Thompson, 1994).

In jedem sozialen Kontext erfolgt diese Bedeutungszuweisung auf Grundlage der geltenden

gesellschaftlichen Regeln. Wenn aus Material, das bislang seinen Platz als Müll hatte, nun Wertstoffe gewonnen werden bzw. dieses Material als Wertstoff re-interpretiert wird, dann wird die bestehende Ordnung, in der Rohstoffe aus primären Lagerstätten gewonnen werden, in Frage gestellt. Recycelte Materialien könnte man vor diesem Hintergrund als Abweichung (oder Verunreinigung) interpretieren, die zu Unordnung und Unsicherheit führt und mit denen umgegangen werden muss.

Recycelte Materialien haben ein Imageproblem

Einige Studien kommen zum Schluss, dass recycelte Materialien mit Stigmata behaftet sind, die wiederum negative Auswirkungen auf den Marktpreis der Produkte haben – recycelte Materialien können, obwohl sie hochwertige Rohstoffe sind, nur zu geringeren Preisen verkauft werden (Ingham, 2006). Stigma-Effekte wurden bislang kaum untersucht. Es gibt lediglich Hinweise darauf, dass recyceltes Material in manchen Fällen im Vergleich zu primären Ausgangsprodukten von Konsumenten und Herstellern als weniger langlebig und zuverlässig oder als von minderer Qualität wahrgenommen wird (CIWMB, 1996).

Vorbehalte bestehen bezüglich seiner qualitativen und technischen Eigenschaften, obgleich die tatsächliche Qualität Primärmaterialien entspricht. So ist beispielsweise recyceltes Schmieröl, wie in einer OECD-Studie aus dem Jahr 2006 gezeigt wird, mit der negativen Assoziation von Abfall verbunden, obwohl die Qualität tatsächlich gleichwertig oder gar besser als die des Öls aus primärem Rohöl ist (Fitzsimons, 2006). Eine britische Studie zur Wahrnehmung elektronischer Geräte mit Recyclinganteil stellte heraus, dass Konsumenten die Qualität solcher Produkte hinterfragen (Ruston, 2010). Möglicherweise erklärt sich aus der Sorge um kritische Kundenmeinungen, dass nicht alle Produzenten die Verwendung von Recyclingmaterial offensiv bewerben. Der Wert recycelter Produkte wird in der Gesellschaft unterschiedlich wahrgenommen.

” In der Interaktion eines Nutzers mit gebrauchten Gegenständen kommen nicht nur ihre reale sondern auch ihre vorgestellte Reinheit oder Unreinheit zum Tragen.

Fehlendes Wissen über Inhaltsstoffe

Ein häufig genannter Grund für die Zögerlichkeit von Industrie-Akteuren, recyceltes Material in der Produktion einzusetzen, ist die Unsicherheit über die Qualität recycelter Rohstoffe. Dies belegen verschiedene Studien (CIWMB, 1996; Kalverkamp, 2017; Wilts et al., 2016). Das Problem ist beispielsweise für Bereiche des Recyclings von Kunststoffen und Ölen bereits gut beschrieben. Informationen über die Qualität sowohl von Abfallsorten und -strömen als auch der recycelten Materialien sind häufig unzulänglich (Fitzsimons, 2006; Ingham, 2006; Wilts et al., 2016). Insbesondere fehlt Wissen um schädliche Inhaltsstoffe. Die vorhandenen Strukturen zur Datenerfassung und Informationsweitergabe werden von der weiterverarbeitenden Industrie als unzureichend angesehen (Wilts et al., 2016). In Studien wird auch darauf verwiesen, dass bestehende industrielle Standards oder auch Vorgaben der Einkäufer den Einsatz sekundärer Rohstoffe limitieren (Fitzsimons, 2006; Wilts et al., 2016). Auch Elektroschrott enthält oft Schadstoffe. So muss beispielsweise Quecksilber aus recycelten Selten-Erden-Gemischen entfernt werden, die aus Leuchtstoffröhren oder LCD-Flachbildschirmen gewonnen werden (Binne-manns et al., 2013).

Kulturelle Hürden

Die Hinweise aus Studien zum Einsatz recycelter Materialien können so interpretiert werden, dass diese Materialien neben dem Prozess der technischen Reinigung auch einen Prozess „kulturell-gesellschaftlicher Reinigung“ durchlaufen müssen, damit sie als qualitativ und rein wahrgenommen werden. Sozialwissenschaftliche Erklärungsansätze lenken die Aufmerksamkeit auf Aspekte wie das Vertrauen in Institutionen, Wertveränderungen, sowie individuelle Empfindungen.

Ein Beispiel für das Vertrauen in Institutionen: Die Nutzung von aufbereitetem Schmutzwasser kann kulturelle Normen verletzen, wenn existierende Hygienevorstellungen und etablierte Praktiken – z. B. Trinkwasser vom Schmutzwasser getrennt zu halten – in Frage gestellt werden. Die Wahrnehmung (der Risiken) aufbereitetes Wasser ist in interdependente soziale, kulturelle und historische Kontexte eingebettet (Ormerod & Scott, 2012). Dazu gehören beispielsweise die konkreten Erfahrungen sozialer Gruppen, Gruppennormen und -werte, aber auch die regionale Geschichte.

Die Verschiebung von Werten in Bezug auf recycelte Materialien lässt sich aktuell gut im Bereich der Mode erkennen. Upcycling ist in Industrieländern in bestimmten sozialen Bezugssystemen seit einiger Zeit ein modischer Trend, der auch das ökologische Bewusstsein der Konsumenten bedient (Goldsmith, 2009). Die Erkennbarkeit der früheren Identität der Objekte ist eine wesentliche Voraussetzung für die Aufwertung. Es ist beispielsweise wichtig zu erkennen, dass die in deutschen Großstädten weit verbreiteten FREITAGS-Taschen aus LKW-Plane hergestellt werden.

In der Interaktion eines Nutzers mit gebrauchten Gegenständen kommen nicht nur ihre reale, sondern auch ihre vorgestellte Reinheit oder Unreinheit zum Tragen. Dies stellten einige Fallstudien mit unterschiedlichen Formen der Nutzung gebrauchter Objekte heraus (Baxter et al., 2017).

Gefühle wie Ekel oder Abscheu werden stärker je intimer die Nutzung eines Objektes ist (Baxter et al., 2017). Ganz entscheidend wird die wahrgenommene Reinheit von Hygienevorstellungen beeinflusst, die in Verbindung mit dem Erhalt der Gesundheit stehen. Die Vorstellung, dass beispielsweise ein gebrauchtes Produkt die Gesundheit potentiell gefährdet, ist hier zu verorten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Unversehrtheit des persönlichen Raumes. Dieser kann z. B. durch Gerüche oder Geräusche gefährdet werden, beispielsweise wenn ein Objekt aus recyceltem Plastik einen starken Eigengeruch hat oder wenn einem gebrauchten Mobiltelefon die (unbekannte) Vornutzung zu stark anzusehen ist (Gebrauchsspuren).

Sozialwissenschaftliche Arbeiten, die sich mit Auf- und Abwertungsprozessen beschäftigen, fokussieren bislang auf Objekte, deren frühere Identität häufig noch zu erkennen ist – reparierte Smartphones, Taschen aus LKW-Planen, Schuhe aus Autoreifen. Dass die (frühere) Identität von Objekten erkennbar bleibt, scheint gerade eine wesentliche Voraussetzung für deren Aufwertung zu sein (Thompson, 1994). Mit Blick auf die Veränderung von Wertzuschreibungen zu recycelten Materialien und Sekundärrohstoffen ist deshalb zu fragen, welche Mechanismen für eine Bedeutungsveränderung bei nicht-objekthaften recycelten Materialien relevant sind. Inwieweit sind die sozialwissenschaftlichen Erklärungsansätze auf nicht-objekthafte Materialien übertragbar?

Es ist zu prüfen, inwieweit das Vertrauen in Institutionen und Expertensysteme aber auch existierende Wertvorstellungen und individuelle Empfindungen auch die Wahrnehmung recycelter Materialien beeinflussen. Auf Grundlage derartiger Analysen können Strategien zur verbesserten Wahrnehmung von Recyclingmaterialien entwickelt werden.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Baxter, W., Aurisicchio, M. & Childs, P. (2017). Contaminated Interaction: Another Barrier to Circular Material Flows. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 507-516. doi:[10.1111/jiec.12612](https://doi.org/10.1111/jiec.12612)
- Binnemans K., Jones P. T., Blanpain, B, Van Gerven, T., Yang, Y, Walton, A. & Buchert, M. (2013). Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, 1-22. doi:[10.1016/j.jclepro.2012.12.037](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.037)
- Bleicher, A. (2019). Das Ende der Abfalleigenschaft – Kulturelle Mechanismen der Reinigung im Recycling. In S. Thiel, E. Thomé-Kozmiensky & D. Goldmann, D. (Hrsg.), *Recycling und Rohstoffe* (Band 11) (S. 125-134). Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMUB. (2016). *Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen*. Berlin: BMUB.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – BMWi. (2010). *Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen*. Berlin: BMWi.
- California Integrated Waste Management Board on Markets for Recycled Plastics – CIWMB. (1996). *Market Status Report: Postconsumer Plastics* (CIWMB Publication Number 421-96-066). Sacramento. USA.
- Fitzsimons, D. (2006). Improving Markets for Waste Oils. In Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD (Hrsg.), *Improving Recycling Markets* (S. 51-80). OECD.
- Goldsmith, B. (2009, 30. September). Trash or Treasure? Upcycling Becomes Growing Green Trend. *Reuters* [www.reuters.com]. Aufgerufen am 12.12.2017.
- Ingham, A. (2006). Improving Markets for Waste Plastics. In Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD (Hrsg.), *Improving Recycling Markets* (S. 81-132). OECD.
- Kalverkamp, M. (2017). Supplier Relationship Management in a Circular Economy: Core Brokers in Automotive remanufacturing. In K. S. Pawar, A. Potter & A. Lisec (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Symposium on Logistics. Ljubljana, Slovenia, 9-12th July 2017* (S. 654-662). Nottingham: Nottingham University Business School.
- Ormerod, K. J. & Scott, C. A. (2012). Drinking Wastewater: Public Trust in Potable Reuse. *Science, Technology, & Human Values*, 38(3), 351-373. doi:[10.1177/0162243912444736](https://doi.org/10.1177/0162243912444736)
- Ruston, D. (2010, März). *Consumer attitudes to sustainable electrical products* (Waste & Resources Action Programme – WRAP, Summary Report). [www.wrap.org.uk]. Banbury, Großbritannien: WRAP. Aufgerufen am 13.12.2017.
- Thompson, M. (1979). *Rubbish Theory. The creation and destruction of value*. Oxford: Oxford University Press.
- Thompson, M. (1994). Blood, sweat and tears. *Waste Management & Research*, 12, 199-205. doi:[10.1177/0734242X9401200302](https://doi.org/10.1177/0734242X9401200302)
- Wilts, H., von Gries, N., Dehne, I., Oetjen-Dehne, R., Buschow, N. & Sanden, J. (2016). *Entwicklung von Instrumenten und Maßnahmen zur Steigerung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen – mit Schwerpunkt Sekundärkunststoffe* (Texte 65/2016). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt – UBA.

Lesetipp

- Bleicher, A. (2018, 1. November). Sekundäre Rohstoffquellen: Altlast, Rohstoff oder kulturelles Erbe? *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 5.

Europäische Versäumnisse bei der Erschließung und Bewertung neuer Lagerstätten

Interview mit Prof. Dr. Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Auch mit modernsten Technologien benötigen Geologen mindestens zehn Jahre, um einen Rohstoff als Reserve oder Ressource der Industrie bereitstellen zu können. Europa investiert bisher wenig in die Bewertung und Erschließung eigener Lagerstätten. Mit einer Änderung dieser Philosophie ließen sich auch viele Umweltprobleme in Entwicklungsländern vermeiden, die der Bergbau dort verursacht. Der Lagerstättenkundler Prof. Dr. Jochen Kolb vom Institut für Angewandte Geowissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) im Interview.

- China findet neue Rohstoffe und entwickelt neue Prozessierungstechnologien, während in Europa diese Investitionen nicht in diesem Ausmaß stattfinden.
- 2008 und 2009 kam es zu einer Knappheit bei Seltenen Erdmetallen. Es gibt jedoch zum Beispiel in Südgrönland große Vorkommen dieser Metalle.
- Deutschland ist geologisch gesehen kein rohstoffarmes Land. Die Datenlage über mögliche Vorkommen ist im Osten Deutschlands wesentlich besser als im Westen.

Herr Prof. Kolb, können Sie beurteilen, wodurch sich die Strategie Europas bei der Rohstoffsicherung beispielsweise von der Chinas unterscheidet?

Prof. Kolb: Europa hat in den letzten Jahrzehnten nur ungefähr drei Prozent des globalen Investitionsvolumens in die Rohstoffexplorationen gesteckt. Im Gegensatz dazu sind es in China circa 26 Prozent, mit steigender Tendenz. China expandiert momentan äußerst stark in diesem Rohstoffsektor. China findet neue Rohstoffe, entwickelt neue Prozessierungstechnologien, während wir in Europa diese Investitionen nicht in diesem Ausmaß tätigen. Damit wird sich auch auf dem Primärrohstoffmarkt in absehbarer Zeit nichts ändern. Wir benötigen immer – und das wird häufig vergessen – eine relativ große Vorlaufzeit, bevor wir einen Rohstoff in Reserve oder Ressource bereitstellen können.

Wie gehen andere Länder bzw. wir in Deutschland mit dem Thema um?

Prof. Kolb: Länder wie Japan oder die USA stellen sich anders auf. Sie haben relativ wenig

Eigenproduktion an Primärrohstoffen, legen jedoch Lager an, um Preisschwankungen ausgleichen zu können. Deutschland macht das für Erdgas. Mit den Erdgasspeichern in Norddeutschland können wir uns für drei Monate selbst versorgen, für andere Rohstoffe gilt das jedoch nicht. Deutschland versucht dafür, diese Rohstoffsicherheit über bilaterale Verträge zu regeln, beispielsweise mit der Mongolei oder mit Brasilien. Wir haben also weniger diese Explorationsstrategie. Deutschland ist dabei, sich eine Rohstoffstrategie zu geben.

Gab es in der Vergangenheit in Europa schon einmal die Situation einer echten Knappheit bei der Versorgung mit metallischen Rohstoffen?

Prof. Kolb: In den Jahren 2008 und 2009 konnten wir bei den Seltenen Erdmetallen eine Knappheit feststellen. Es gibt jedoch zum Beispiel in Südgrönland unglaublich große Vorkommen dieser Metalle. So ist das Seltene Erdmetall Neodym, das für die Dauermagneten in Windrädern verwendet wird, geologisch gesehen nicht knapp. Nur ist es in manchen Vorkommen

in Mineralen gebunden, für die wir erst eine Aufbereitungstechnik entwickeln müssten. Es klingt paradox: Obwohl es große Vorkommen hier gibt, müssten wir die gewonnenen Erze zum großen Teil nach China schicken, die über die Patente in der Aufbereitungstechnik verfügen.

Können wir von Versäumnissen Europas bei der Versorgung mit metallischen Rohstoffen sprechen? Wenn ja, worin liegen diese Versäumnisse genau? Die Sicherung der Rohstoffversorgung ist ja in erster Linie Aufgabe der rohstoffverarbeitenden Industrie.

Prof. Kolb: Wir haben in Europa andere Strategien verfolgt. Das beklagt die Industrie offensichtlich teilweise, weil bilaterale Verträge nicht funktionieren oder schwierig zu schließen sind. Es ergeben sich zudem neue Probleme mit Arbeitsschutzbedingungen oder Umweltrichtlinien in anderen Ländern. Inzwischen muss man als deutsche Firma nachweisen, dass es keine Kinderarbeit beim Gewinn der Rohstoffe gegeben hat. Es wurde begonnen, Zertifikate und Berichtspflichten einzuführen. Der amerikanische Dodd-Frank Act ist so ein Versuch, die Nachweispflicht über „Konfliktmaterialien“ verstärkt den Unternehmen zu übergeben. Doch dadurch, dass Deutschland und Europa wenig in die Exploration investieren, wird sich an diesen teils schlechten Umwelt- und Sozialstandards auch in Zukunft nicht viel ändern. Es sei denn Europa ändert hier seine Philosophie.

Deutschland ist bei Metallen nahezu vollständig importabhängig. Ist das ein unausweichlicher Zustand? Gibt es noch Potentiale für metallische Rohstoffe in Deutschland?

Prof. Kolb: Die gibt es, aber es ist recht schwierig einzuschätzen. Hier muss man ganz klar zwischen der alten BRD und der ehemaligen DDR unterscheiden. Im Westen haben wir Ende der 1980iger-Jahre komplett aufgehört, uns mit metallischen Rohstoffen zu beschäftigen. Davor ist zwar auch nicht viel passiert, denn seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges ist Deutschland in vielen Bereichen nicht mehr intensiv untersucht worden.

” **Wir haben in Deutschland die komplette Entwicklung in der Exploration verpasst.**

Nehmen wir das Beispiel Kobalt. Der Rohstoff ist in aller Munde, es ist ein wichtiger Rohstoff. Auch in Deutschland gab es Kobaltminen, zu Zeiten als Kobalt für die Farbe in Keramiken genutzt wurde. Deutschland war einstmals ein wichtiger Kobaltlieferant. Bei Wittichen im Schwarzwald zum Beispiel gab es Minen, die wegen wirtschaftlicher Probleme 1856 geschlossen wurden. Seitdem gibt es keine Untersuchungen mehr. Wir haben in Deutschland auch die komplette Entwicklung in der Exploration verpasst. Man muss sich das vorstellen: Westdeutschland wurde das letzte Mal vor und während des Zweiten Weltkrieges systematisch auf Lagerstätten untersucht, und zwar einzig mit den Uralt-Technologien von damals.

Es gab zu dieser Zeit die Metallgesellschaft AG als Deutschlands größtes Industrieagglomerat und die Preussag AG, die Anfang der 1920er-Jahre durch die Umwandlung des preußischen Staatsbesitzes an Bergwerken, Hütten und Salinen entstand. Die Konzerne haben sich in den 1990er Jahren umorientiert. Die Metallgesellschaft wurde zu GEA Group AG und Preussag zu TUI.

Wie sieht es in Ostdeutschland aus?

Prof. Kolb: Im Osten ist es etwas anders. Das sieht man vielleicht daran, dass hier die interessanten Projekte laufen. Die Lausitz wird beispielsweise auf Kupfer, das Erzgebirge auf Lithium untersucht. Die Arbeit baut auf alten Forschungsdaten der DDR auf. Im Westen haben wir diese Daten nicht und können ganz wenig über die Verfügbarkeit von Rohstoffen aussagen. Geologisch gesehen ist es Unsinn zu behaupten, Deutschland sei ein rohstoffarmes Land. Wir werden niemals wirklichen Mangel haben.

Es ist eher die Frage, ob wir die Technologie haben und zu welchem Preis wir Rohstoffe gewinnen können. Hinzu kommen Umweltschutz und Raumplankriterien. Wollen wir also ein Gebiet eher als Naherholungsgebiet oder als Grundwasserschutzgebiet bewahren? Das sind alles berechnete Kriterien. Es gibt jedoch auch in Deutschland ein gewisses Potential für bestimmte Rohstoffe, das nicht richtig untersucht ist.

Gibt es ein Land in Europa, das eine besonders gute Strategie bei der Erkundung und Erschließung von Lagerstätten betreibt? Wenn ja, was ist die Motivation, wo liegen hier die Grenzen?

Prof. Kolb: Fakt ist, dass in Europa wenig exploriert wird. Doch es gibt einige Länder, in denen es funktioniert. Das ist durchaus erstaunlich, wie man am Beispiel Schweden sieht. Hier gibt es einen großen Bergbaukonzern, das ist Boliden, der übrigens auch der größte schwedische Recycling-Konzern ist. Dort hat sich also eine ganze Industrie herausgebildet. Und sicherlich niemand würde behaupten, dass Schweden die geringsten Löhne oder die geringsten Umweltstandards hat. Also scheint es wohl möglich zu sein, in Europa Bergbau und Rohstoffsicherung zu betreiben.

Mit unserer Technologie und unserer Entwicklung haben wir vor allem die Chance, es richtig zu machen und starke Umweltschäden zu vermeiden. Aber klar ist, es handelt sich um eine Hochrisikowirtschaft. Das heißt, es hängt natürlich auch davon ab, wie die Finanzwirtschaft organisiert ist. In den USA oder Australien ist es vielleicht einfacher Hochrisikogeld zu beschaffen.

Haben Sie einen Überblick, bei welchen metallischen Rohstoffen momentan Bedarf und Verfügbarkeit in Deutschland besonders eklatant auseinanderklaffen?

Prof. Kolb: Das Problem ist tatsächlich, dass hier die Kommunikation fehlt. Lagerstättenkundler brauchen eine große Vorlaufzeit, um einen Rohstoff in Reserve oder Ressource zur Verfügung stellen zu können. Wir erfahren häufig erst von einer Knappheit, wenn es schon zu spät ist. Hier wird in den Betrachtungen sehr häufig

vergessen, dass es sehr viele Zwischenschritte braucht, bevor wir den Rohstoff kaufen können. Wenn Sie heute beispielsweise sagen würden, wir brauchen eine neue Kobaltlagerstätte, müssten wir in eine typische Explorationsschiene einsteigen. Diese Untersuchungen brauchen Zeit, da wir in vielen Bereichen quasi von Null anfangen müssen. Über Literaturstudien, Feldstudien, geophysikalische Messungen, schließlich über Bohrungen müssen wir definieren, ob und wie viel gewonnen werden kann. Das dauert in der Regel zehn bis zwanzig Jahre von der Idee bis zu dem Zeitpunkt, an dem man das erste Erz gewinnen kann.

Das sind lange Zeiträume, in denen sich die Technik auch weiterentwickelt.

Prof. Kolb: Das ist natürlich ein Problem. Wenn wir nicht darüber informiert sind, wo sich die technologische Entwicklung hinbewegt, wird es schwer. Hier fehlt ein wenig die Diskussion in beide Richtungen. Auch darüber, was im Einzelfall nun ideal wäre: Entwickeln die Batterieforscher neue Batterien, weil wenig Lithium da ist? Wenn die Lithium-Batterie die ideale technische Lösung ist, dann können wir dem als Lagerstättenkundler entgegentreten und dafür sorgen, dass wir ausreichend Lithium haben. Das ist dann nur etwas preisabhängig. Auch umgekehrt muss Technik durchdacht werden. Wenn wir nun eine Lanthan-Batterie entwickeln wollen, welche Tonnage bräuchten wir dann in absehbarer Zeit? Und kann diese denn überhaupt zur Verfügung gestellt werden, wenn sie gebraucht wird?

Wie beurteilen Sie die Vorkommen in der Tiefsee? Bei welchen Rohstoffen müssen wir eventuell nach neuen Lagerstätten auch im Meer suchen?

Prof. Kolb: Die Suche nach Metallen im Meer kann eine Strategie sein. Ich halte den Abbau im Meer allerdings immer noch für eine Utopie. Technologisch ist das schwierig. Die Frage ist doch auch, wo wir denn die bessere Kontrolle hätten. Ich bin der Ansicht, dass wir die Ökosysteme an der Erdoberfläche besser verstehen. Noch ist das Potential an Ressourcen an Land groß genug, um uns über die nächsten Jahr-

zehnte, gar Jahrhunderte zu bringen. Da gibt es andere Fragestellungen. Wie beispielsweise schaffen wir es, das Grundwasser sauber zu halten, Leben, Landwirtschaft und Bergbau miteinander zu vereinbaren. Geologisch kommen wir nicht in eine Knappheit. Es gibt technologische Hürden, aber meines Erachtens wird die Grenze nicht Kupfer oder Kobalt sein, sondern eher Getreide oder Wasser.

Also Bergbau an Land bleibt dominant. Aber sind wir hier aus Sicht der Forschung noch richtig aufgestellt? Haben wir künftig überhaupt noch die Experten für komplexe Explorationen an Land?

Prof. Kolb: Meine Absolventen arbeiten größtenteils in Finnland, Kanada, Schweden oder Indonesien, aber eben nicht in Deutschland. In Aachen und Freiberg gibt es zwar zwei große Institute, in Karlsruhe bauen wir gerade etwas auf, doch wenn in Deutschland Lagerstätten

nicht mehr erkundet werden, können wir als Professoren auch sehr schlecht den Studenten vermitteln, warum sie diese Fächer studieren sollen. Vielleicht sollten wir auch in unsere Leute und die Ausstattung unserer Institute investieren. Sonst stirbt langsam auch das Know-how in einem Zweig aus, der für eine sichere Rohstoffversorgung wichtig ist. Dieses Know-how sollte in Deutschland zumindest nicht komplett verloren gehen.

Herr Prof. Dr. Kolb, wir danken für das Gespräch.

*Das Interview führte Jana Kandarr (ESKP),
November 2018*

Referenzen

- Schodde, R. (2017, 6. März). Recent Trends and Outlook for Global Exploration [Präsentation bei der Prospectors and Developers Association of Canada – PDAC, Toronto, März 2017, minexconsulting.com]. Aufgerufen am 19.11.2018.

2. Tiefseeregionen für die Rohstoffsuche

Einleitung

Betrachtet man das wirtschaftliche Potential von metallischen Rohstoffen in der Tiefsee, zeigt sich, dass momentan vor allem drei Lagerstätten-Typen relevant sind: Manganknollen, kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten und Massivsulfide. Bei der Suche nach Vorkommen muss es auch darum gehen, Alternativen und Lösungswege zu erforschen, um die Auswirkungen des Meeresbergbaus auf die dortigen Ökosysteme möglichst gering zu halten. Die Zeit drängt: Zwar findet bislang noch kein Tiefseebergbau statt, aber es wurden weltweit bereits 29 Lizenzen zur Exploration vergeben.

Themen-Überblick

- ▶ Wirtschaftlich interessante Gebiete, wo suchen?
- ▶ Mengen metallischer Rohstoffe – was schlummert im Meer?
- ▶ Exploration in der Tiefsee – die Aufteilung der Rohstofflizenzzgebiete

Wirtschaftlich interessante Gebiete, wo suchen?

Dr. Sven Petersen (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Manganknollen im östlichen Pazifik, kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten an Vulkanhängen, Massivsulfide an Spreizungszonen – in der Tiefsee gibt es unterschiedliche Gebiete, die sich für den Rohstoffabbau eignen. Manche gehören zu den ältesten Ozeangebieten der Welt. Andere hingegen sind geologisch sehr jung.

- Es gibt Unsicherheit, wie groß die Mengen an Manganknollen in der Tiefsee in denjenigen Regionen sind, in denen bislang noch wenig geforscht wurde.
- Bei Massivsulfiden wird häufig in der Nähe von aktiven Schwarzen Rauchern gesucht, dabei sind inaktive Vorkommen ergiebiger.
- Gerade bei Massivsulfiden sind Oberflächenproben nicht repräsentativ für das, was unterhalb des Meeresbodens liegt. Das heißt, man muss mit sehr viel Aufwand in der Tiefsee bohren.

Betrachtet man das wirtschaftliche Potential von Rohstoffen in der Tiefsee, zeigt sich, dass momentan vor allem drei Rohstoffe in der Tiefsee relevant sind. Diese sind in ihren Charakteristika sehr verschieden. Manganknollen beispielsweise wachsen über sehr lange Zeiträume auf Tiefseeebenen, die mit Sediment bedeckt sind. Man findet wirtschaftlich interessante Knollen daher nur auf älterer ozeanischer Kruste. Dort hatten sie Zeit zu wachsen und wir finden sie in Wassertiefen jenseits von 3000 Metern. Da diese geologischen Bedingungen weltweit in vielen Ozeanen vorhanden sind, gibt es riesige Gebiete die für die Bildung von Manganknollen in Frage kommen.

Bislang wird jedoch oft in einigen wenigen Gebieten geforscht, in denen seit längerem Manganknollen bekannt sind. Dazu zählt seit den 1970er-Jahren hauptsächlich ein Areal im östlichen Pazifik, die sogenannte Clarion-Clipperton Zone. Dabei handelt es sich um ein Gebiet zwischen Hawaii und Mexiko etwa von der Größe Europas. Dieses Gebiet wird von zwei, etwa 7.000 Kilometer langen Bruchzonen in der ozeanischen Kruste begrenzt. Wie groß allerdings die Mengen an Manganknollen in der Tiefsee in anderen Regionen sind, darüber herrscht große Unsicher-

heit, da dort bislang wenig geforscht worden ist. Bei der Clarion-Clipperton Zone (CCZ) ist das anders. Hier weiß man, dass die Menge an Manganknollen sehr groß ist. Auch im Peru-Becken, im Penrhyn Becken und im Indischen Ozean sind wirtschaftlich interessante Knollengebiete bekannt. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass es auch in anderen Teilen der Ozeane weiteres Potential gibt.

Zweitens gibt es kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten. Sie bilden sich überwiegend an den sedimentfreien Vulkanhängen. Dort lagern sich im Laufe von vielen Millionen Jahren Metallverbindungen wie Eisenoxihydroxid und Manganoxid ab, die wiederum weitere Metallionen anziehen – beispielsweise Kobalt, Nickel, Tellur, Molybdän oder die sogenannten Seltenen Erden. Beide, Manganknollen und Kobaltkrusten, wachsen sehr langsam, Kobaltkrusten mit etwa 1–5 Millimeter pro 1 Million Jahre, Manganknollen geringfügig schneller. Wirtschaftlich interessante Krustendicken von mehreren Zentimetern werden daher überwiegend im westlichen Pazifik erwartet und gesucht, da dieses Gebiet zu den ältesten Ozeanregionen der Welt zählt. Viele dieser Kobaltkrusten befinden in den Hoheitsgewässern von Staaten.

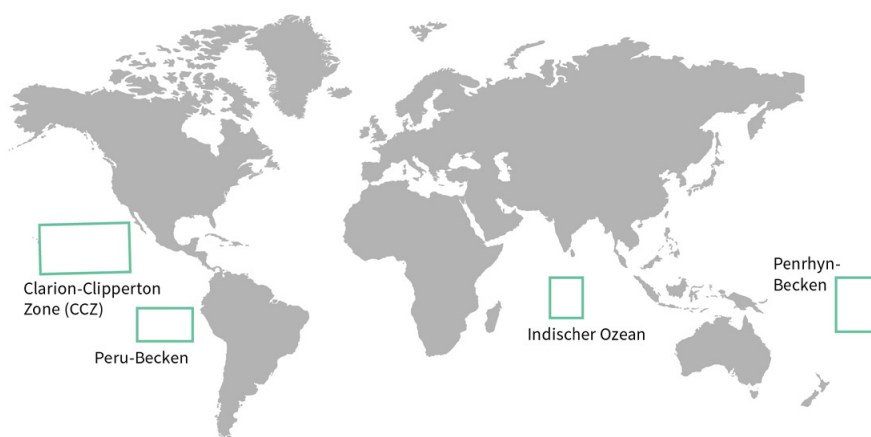


Abb. 1: Lage wirtschaftlich interessanter Mangan-
knollenvorkommen.
Karte: eskp.de

Drittens hinaus gibt es noch die sogenannten Massivsulfide. Sie bilden sich in einem ganz anderen geologischen Milieu: an vulkanisch aktiven Spreizungszentren, wo neuer Meeresboden gebildet wird, sowie an submarinen Inselbogensvulkanen. Die derzeit für einen möglichen Abbau untersuchten Vorkommen befinden sich an den Mittelozeanischen Rücken des Atlantiks und des Indiks.

Wie kommen die Metalle in Manganknollen und Kobaltkrusten?

Die Frage ist, wie Elemente wie Mangan, Eisen aber auch Kupfer, Kobalt und Nickel sowie weitere Spurenelemente wie Vanadium oder Molybdän oder Seltene Erden überhaupt in die Manganknollen und Kobaltkrusten gelangen. Bei den Manganknollen sind dafür zwei Prozesse verantwortlich: diagenetische und hydrogenetische Prozesse. Manganknollen benötigen einen Nukleus, eine Art kleiner Kern, um den sich dann mit der Zeit langsam konzentrisch die anderen Metalle anreichern. Diese kommen bei den Manganknollen überwiegend aus dem Porenwasser der Sedimente (diagenetisch). Hierbei werden durch das Auflösen von Schalen mariner Organismen Metalle freigesetzt, die im Porenwasser nach oben wandern und am Kontakt mit dem Meerwasser um diesen Nukleus wieder abgesetzt werden. Die Aufnahme von im Meerwasser gelösten Metallen (hydrogenetisch) in Knollen ist ebenfalls von Bedeutung. Die (Kobalt-)Krusten, die sich in sedimentfreien Bereichen bilden,

nehmen die Metalle dagegen überwiegend aus dem umgebenden Meerwasser auf. Dieser Prozess braucht im Allgemeinen mehr Zeit. Daher brauchen kobaltreiche Eisen-Mangankrusten noch längere Zeiträume zum Wachsen als Manganknollen.

Für die Ablagerung der Metalle, sowohl bei Manganknollen als auch bei Kobaltkrusten, ist das sauerstoffreiche antarktische Bodenwasser von Bedeutung. Die alten Vulkankegel, an denen die Kobaltkrusten entstehen, liegen unterhalb der Sauerstoffminimumzone der Ozeane. In der Sauerstoffminimumzone wird das Mangan aus den Partikeln in der Wassersäule freigesetzt bzw. aufgelöst, in eine reduzierte Form umgewandelt und sinkt nach unten. Das kalte antarktische Bodenwasser wird an den Flanken der Vulkane nach oben gelenkt, trifft auf die mit gelösten Metallen angereicherten Wasserschichten, oxidiert die Metalle wieder auf und setzt sie an den Flanken der Vulkane, als langsam wachsende Kruste Schicht für Schicht ab. Bei den Manganknollen dient das antarktische Bodenwasser dazu, den Sauerstoff für die im Porenwasser oder bodennahen Meerwasser gelösten Metalle bereitzustellen, um sie in die Knollen einzubauen.

Massivsulfide: Wird am falschen Ort gesucht?

Damit Massivsulfide entstehen, wird die Bildung einer sogenannten Konvektionszelle benötigt, die Wärme und Metalle aus dem Untergrund an

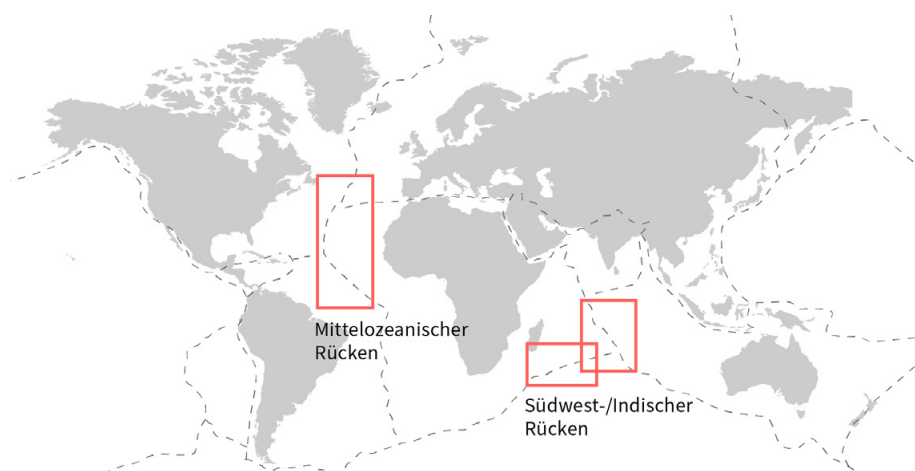


Abb. 2: Übersicht über die Lage von Erkundungslizenzen auf Massivsulfide außerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszonen. Karte: eskp.de

den Meeresboden befördert. Hierbei wird das entlang von Störungen tief in den Meeresboden – in dortige Risse und Spalten – eindringende kalte Meerwasser in der Nähe einer Wärmequelle (Magmenkammer) auf Temperaturen oberhalb von etwa 400 °C erhitzt. Durch chemische Reaktionen des heißen Wassers mit dem Umgebungsgestein werden Metalle aus den Gesteinen herausgelöst und zum Meeresboden transportiert. Die gelösten Metalle setzen sich am Kontakt des heißen Fluids mit dem kalten Meerwasser als „Schwarze Raucher“ wieder ab.

Es gibt noch eine weitere Besonderheit bei den Massivsulfiden: In der bisherigen Geschichte der Massivsulfid-Forschung fand die Erkundung immer über Anomalien bzw. Abweichungen in der Wassersäule statt. Das bedeutet: Ein aktiver Schwarzer Raucher ist durch seine „Rauchfahne“ in der Wassersäule leicht zu finden. Hierbei kann es sich um höhere Partikelkonzentration handeln, aber auch Temperaturunterschiede oder chemische Anomalien. Diese Anomalien können über große Bereiche und über größere Entfernung bestimmt und zu ihrer Quelle zurückverfolgt werden: den schwarzen Rauchern am Meeresboden. Auf diese Weise funktioniert die Exploration seit 30–40 Jahren.

Dies führt aber dazu, dass bei der Suche meist junge, rezent aktive schwarze Raucher gefunden werden. Es ist jedoch fraglich, ob es sinnvoll ist, diese abzubauen. Zum einen gibt es dort so-

genannte chemosynthetische Lebensgemeinschaften, die einzigartig auf der Welt sind. Zum anderen sind die Systeme sehr jung und demnach sehr klein. Inaktive Vorkommen, von denen wir annehmen, dass sie größer sind, findet man so nicht. Über 90 Prozent aller Vorkommen, die wir kennen, sind viel zu klein, um wirtschaftlich interessant zu sein. Hinzu kommen oft Temperaturen von bis zu 360–400° Celsius und pH-Werte von 2–3, die den Abbaugeräten nicht zuträglich sind. Es gibt verschiedenste Gründe, warum man diese aktiven schwarzen Raucher gar nicht angehen möchte.

Alternativen mit geringeren Umweltbeeinträchtigungen suchen

Aus Untersuchungen am GEOMAR wissen wir unter anderem, dass inaktive Vorkommen generell größer sind als die bekannten aktiven schwarzen Raucher. Außerdem finden sich an den inaktiven Vorkommen keine chemosynthetischen Lebensgemeinschaften. Ein Abbau würde solche Lebensgemeinschaften daher nicht zerstören. Das heißt jedoch nicht, dass sie nicht besiedelt sind. Mikrolebewesen, die sich auf den Abbau der Massivsulfide selbst spezialisiert haben, werden auch dort vorhanden sein. Die Umweltbeeinträchtigungen durch einen Abbau wären aber vermutlich deutlich geringer oder zumindest anders als bei den aktiven Vorkommen. Die Suche nach diesen inaktiven Vorkommen sowie die Entwicklung von Technologien,

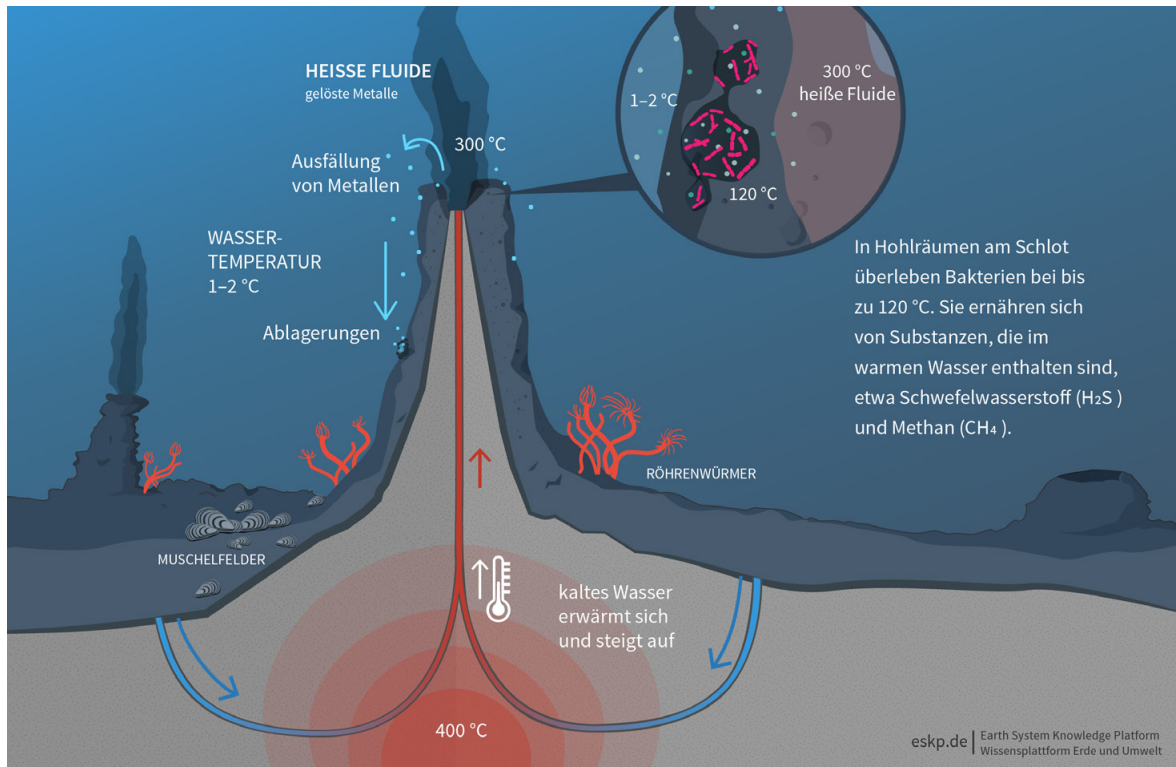


Abb. 3: Schwarze Raucher: Durch Risse im Meeresboden sickert Wasser in den Untergrund und erwärmt sich. Das rund 400° Celsius heiße Wasser löst dabei Metalle aus dem Gestein. Aufgrund seiner geringen Dichte steigt es auf und gelangt über die Raucher zurück ins Meer. Durch die Reaktion mit dem kalten Meerwasser bilden sich Mineralienpartikel, die sich in den Kaminen der Raucher oder auf dem Meeresboden ablagern.
Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

um diese zu finden, sind die Ziele, die durch die wissenschaftliche Arbeit im Moment sehr stark verfolgt wird. Hier gibt es jedoch noch großen Forschungsbedarf.

Im Rahmen des EU-Projektes „Blue Mining“ wurden Technologien für die Suche nach wirtschaftlichen interessanten inaktiven Vorkommen entwickelt. Hierzu muss man wissen: Die meisten der bekannten Vorkommen, die wir derzeit vom Meeresboden kennen, auch viele der großen Massivsulfid-Vorkommen – bis zu mehrere Millionen Tonnen –, bestehen überwiegend aus Schwefelkies (Pyrit), einem Eisensulfid, das wirtschaftlich völlig uninteressant ist. Wenn man die Technologien zur Entdeckung der Vorkommen entwickelt hat, muss man demnach diejenigen erkennen, die durch hohe Kupfer-, Zink- und Goldgehalte gekennzeichnet sind. Dazu ist es nötig, die lokale Geologie zu verstehen.

Oberflächenproben sind wenig repräsentativ

Wir kennen im Moment nur sehr wenige, wirtschaftlich interessante große Sulfid-Vorkommen am Meeresboden. Diese befinden sich nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens vor allem im Südwestpazifik und in Wassertiefen unterhalb von 1.500 Metern. Sie liegen meist in den Hoheitsgebieten von dortigen Anrainerstaaten. Andere bekannte Vorkommen, wie etwa am ostpazifischen Rücken oder im Atlantik, bestehen vorrangig aus den wie gesagt wirtschaftlich uninteressanten eisenhaltigen Schwefelverbindungen. Es gibt jedoch auch großes Interesse an inaktiven Vorkommen im Atlantik und Indik. Hier versuchen wir am GEOMAR mit der Forschung anzusetzen, um das bisherige Wissen zu erweitern. Dafür nutzen wir Sensoren, die wir für autonome Fahrzeuge entwickeln, um den

Meeresboden großflächig kartieren zu können. Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge, (ROVs) und Tauchroboter nehmen dann vor Ort Proben.

Da Massivsulfide dreidimensionale Körper sind, reichen diese Oberflächenproben für eine Abschätzung des Potentials aber nicht aus, da nicht vorhergesagt werden kann, ob diese Proben repräsentativ für das gesamte Vorkommen sind. Übertrieben könnte man behaupten: Manganknollen sind über größere Distanzen chemisch sehr ähnlich und es reicht, wenn man eine Knolle vom Meeresboden aufhebt und ihre chemische Zusammensetzung bestimmt. Dann wäre – vorausgesetzt, die Annahme stimmt – die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass eine Knolle in einem Kilometer Entfernung dieselbe chemische Zusammensetzung hat.

Bei Krusten ist es vielleicht ähnlich, das wissen wir noch nicht so genau. Jedoch gilt bei Massivsulfiden: Oberflächenproben sind nicht repräsentativ für das, was unterhalb des Meeresbodens liegt. Man muss immer bohren, um etwas über das vorhandene Rohstoffpotential aussagen zu können. Das bedeutet in der praktischen Forschung, viel mit Bohrgeräten oder Bohrschiffen zu arbeiten, um Informationen über die dritte Dimension zu bekommen.

Durch mehrere solcher Bohrfahrten und die jeweiligen Untersuchungen wissen wir, dass es sehr große Unterschiede zwischen dem Inneren der Massivsulfid-Vorkommen und der Oberfläche gibt. Weltweit gesehen werden solche schwarzen Raucher jedoch meist nur an der Oberfläche beprobt. Häufig wird dann in der Öffentlichkeit und den Medien von Vorkommen gesprochen, die sehr reich an Kupfer und Gold sind. In Wirklichkeit jedoch sind solche Aussagen mit großer Vorsicht zu behandeln, da im Inneren der Vorkommen meist deutlich niedrigere Konzentrationen dieser wertvollen Metalle auftreten.

Über 90 Prozent der Analysen, über die wir verfügen, treffen ihre Aussagen auf Basis von Proben, die nur von der Oberfläche des Meeresbodens stammen. Das Rohstoffpotential, das sie vermitteln, ist deutlich überhöht. Hier kommt es darauf an, Fakten zu liefern, die der Politik und anderen Stakeholdern erlauben, sinnvolle Entscheidungen zu einem möglichen marinen Bergbau und dem daraus resultierenden Einfluss auf die globale Rohstoffversorgung zu treffen. Denn man muss, um einmal aus der Perspektive von Deutschland zu sprechen, keine Erkundungslizenz für Massivsulfide besitzen, wenn der Hauptgrund der Erkundung die Sicherstellung und Versorgung mit Nickel und Kobalt ist.

Weiterführende Informationen

- Blue Mining. (2018). *Public Report – Blue Mining. Breakthrough Solutions for Mineral Extraction and Processing in Extreme Environments, 2014-2018* [www.bluemining.eu].
- Marine mineralische Rohstoffe. (2010). In J. Lehmköster (Hrsg.), *World Ocean Review 1 – WOR1. Mit den Meeren leben* (S. 146-151) [worldoceanreview.com]. Hamburg: maribus gGmbH.

Mengen metallischer Rohstoffe – was schlummert im Meer?

Interview mit Dr. Sven Petersen (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Von welchen bekannten Mengen an Rohstoffen im Meer ist momentan die Rede? Wie fällt der Vergleich zum Land aus? Vermuten Experten im Meer überhaupt ein Rohstoffpotential, welches tatsächlich langfristig Alternativen bietet. Ein Überblick zum Stand des Wissens von Rohstoffvorkommen im Meer gibt Dr. Sven Petersen vom GEOMAR im Interview.

- Wir kennen am Meeresboden bislang nur wenige Vorkommen an Massivsulfiden.
- Wenn man die Gehalte an den Elementen hochrechnet, würde das bei den gegenwärtigen Produktionszahlen an Land für lediglich ein Jahr Kupfer- und Zinkgewinnung reichen.
- Manganknollen und Kobaltkrusten hingegen gibt es am Meeresboden in riesigen Mengen. Es lohnt sich daher auch für ein Industrieland wie Deutschland, darin eine Chance für die zukünftige sichere Rohstoffversorgung zu sehen.

Herr Petersen, welches sind die Elemente, die beim Tiefseebergbau am meisten gebraucht werden und die am vielversprechendsten sind?

Dr. Petersen: Hier muss man drei Rohstoffarten unterscheiden. Bei den Manganknollen ist die klassische Herangehensweise, auf Kupfer, Nickel und Kobalt als Wertelemente zu schauen. Die wirtschaftlichen Konzentrationen liegen zwischen 2,5 und 3 Gewichtsprozent (wt %) für die Summe der drei genannten Elemente. Hinzu kommt noch das Element Mangan selbst. In konservativen Wertberechnungen wird dies oft nicht berücksichtigt, weil wir an Land sehr viele abbauwürdige Manganvorkommen kennen. Bei einem marinen Manganknollenbergbau würde sehr viel zusätzliches Mangan auf den Weltmarkt kommen, dessen Absatz jedoch ungewiss ist. Die Bestrebung von Firmen, die sich mit dem marinen Bergbau auf Manganknollen beschäftigen, ist es natürlich das Abfallaufkommen zu minimieren: das würde im Idealfall „Zero Waste“, also keinerlei Abfall bedeuten. Bei der Gewinnung von nur 3 Prozent Nickel, Kobalt und Kupfer würden allerdings 97 Prozent Abfall anfallen. Die zusätzliche Nutzung von Mangan würde daher durchaus Sinn machen, da ja ansonsten der

manganhaltige Abfall als Sondermüll zu behandeln und damit die Entsorgung sehr teuer wäre. Es macht also Sinn, das Mangan zu verkaufen, um Geld dafür zu bekommen und gleichzeitig weniger Abfallstoffe zu haben. Wenn bei der Aufbereitung auch noch die Schlacke wirtschaftlich genutzt werden kann, um sie z. B. für den Straßenbau zu nutzen, fällt kein teurer Abfall mehr an. Ob diese Aufbereitung im großen Maßstab funktioniert ist noch nicht nachgewiesen. Zusätzlich zu den oben genannten Elementen könnten weitere Spurenmetalle und eventuell auch noch die Seltenen Erden interessant sein, wovon ein paar Tausend Gramm pro Tonne enthalten sein können. Die Gewinnung der Seltenen Erden aus Manganknollen ist technisch allerdings auch noch nicht wirtschaftlich im großen Maßstab machbar.

Wie sieht das bei Kobaltkrusten aus?

Dr. Petersen: Kobaltkrusten heißen ja so, weil sie an Kobalt deutlich mehr angereichert sind, als die Manganknollen. Dafür enthalten sie, verglichen mit Manganknollen, geringere Mengen Nickel und Kupfer, aber erhöhte Konzentrationen an Seltenen Erden. Wenn also ein Industrie-

land eine Kobaltquelle für seine zukünftige Versorgung aufmachen will, dann sollten sie vielleicht lieber nach Kobaltkrusten schauen. Wenn sie alles haben wollen – Kobalt, Nickel und Kupfer –, dann könnten sie auch auf Manganknollen zurückgreifen. Es treten darüber hinaus weitere Spurenmetalle auf, bei denen das Problem jedoch darin liegt, dass sie mit den bisherigen Methoden kaum wirtschaftlich zu extrahieren und somit gewinnbringend zu verkaufen sind.

Und die Massivsulfide?

Dr. Petersen: Massivsulfide enthalten vornehmlich als Hauptwertmetalle Kupfer und Zink, sowie teilweise auch Gold und Silber. Für den Abbau interessante Spurenelemente wären auch Indium, Tellur, oder Wismut. Hier sind die Konzentrationen in verschiedenen Vorkommen allerdings sehr variabel und oft so gering, dass sich die Gewinnung wirtschaftlich nicht lohnt. Wir untersuchen zuallererst die geochemische und mineralogische Zusammensetzung solcher Vorkommen. Denn hier gibt es einen großen Unterschied zu Manganknollen und Kobaltkrusten, die, zumindest lokal gesehen, eine sehr homogene chemische Zusammensetzungen haben und sich eher ozeanweit unterscheiden (Anmerkung: Der Pazifik ist aufgrund der meist höheren Kobalt-, Nickel-, und auch Kupfergehalte in Knollen und Krusten deutlich interessanter für den Rohstoffabbau als diejenigen des Atlantik oder des Indischen Ozeans). Bei den Massivsulfiden ist es aber so, dass die einzelnen Vorkommen extrem unterschiedlich sind. Wir versuchen diese Vorkommen zu finden und zu verstehen, warum sie so unterschiedlich sind, um auch Hinweise darauf zu geben, wo man nach bestimmten Vorkommen mit erhöhten Gehalten an z. B. Kupfer, Zink und Gold suchen könnte.

Sie schreiben in einem Artikel, der 2016 in der Fachzeitschrift „Marine Policy“ veröffentlicht wurde, dass Manganknollen und kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten eine reichhaltige Ressource sind. Ihr Abbau hätte auf dem globalen Markt einen großen Einfluss. Allerdings ist das Potential der Massivsulfide eher gering. Wieso ist das so? Gerade Gold und Kupfer spielen

doch zum Beispiel für den Digitalisierungsmarkt und für grüne Technologien eine große Rolle.

Dr. Petersen: Wir kennen am Meeresboden bislang nur wenige Vorkommen an Massivsulfiden. Wenn wir hier die Gehalte an den Elementen hochrechnen und theoretisch alle bekannten Vorkommen abbauen würden – was völlig unwirtschaftlich wäre – würde das bei den gegenwärtigen Produktionszahlen an Land für lediglich ein Jahr Kupfer- und Zinkgewinnung reichen. Es hat also keinen Einfluss auf die globale Rohstoffversorgung. Manganknollen und Kobaltkrusten hingegen gibt es am Meeresboden in riesigen Mengen. Es lohnt sich daher auch für ein Industrieland wie Deutschland, darin eine Chance für die zukünftige sichere Rohstoffversorgung zu sehen. Aus wirtschaftlichen Gründen kann natürlich eine Firma Interesse an einem Abbau von submarinen Massivsulfiden haben. Bislang hat jedoch noch niemand gezeigt, dass man damit auch Gewinn machen kann. Das heißt in der Summe: Im Moment benötigen wir keinen marinen Bergbau. Wir haben an Land noch genügend Rohstoffe, um die Menschheit für die nächsten Dekaden zu versorgen. Es gibt derzeit keine Knappheit an Metallen an Land, die uns zwingt, jetzt in der Tiefsee Bergbau zu betreiben. Aber auch diese Dekaden werden irgendwann zu Ende sein, und es würde den wirtschaftlich führenden Nationen gut zu Gesicht stehen, sich rechtzeitig Gedanken zur zukünftigen Rohstoffversorgung zu machen. Dabei sollte man die marinen Rohstoffe nicht per se außen vor lassen.

Wenn man Aufnahmen von Schwarzen Raucher sieht, wirkt es oft so, als ob dort in kürzester Zeit sehr viel passiert, daher könnte man ja denken, dass sie auch schnell wachsen. Sind Massivsulfide nachwachsende Rohstoffe? Wie lange dauert es, bis sich Massivsulfide oder Manganknollen bilden?

Dr. Petersen: Wir wissen, dass es für die Manganknollen nur wenige zehn Millimeter pro Millionen Jahre sind. Die Krusten wachsen noch langsamer als die Manganknollen. Für die Massivsulfide liegen die Wachstumsraten deutlich höher, aber immer noch Größenordnungen entfernt von nachwachsenden Rohstoffen. Durch

unsere Untersuchungen am GEOMAR wissen wir, dass die Wachstumsraten von schwarzen Rauchern bei vermutlich weniger als 1000 Tonnen pro Jahr liegen. Das heißt, es handelt sich nicht um nachwachsende Rohstoffe, zumindest nicht aus menschlicher Perspektive. Die Rechnung ist einfach: Einem jährlichen Bedarf von zwei Millionen Tonnen für den Abbau stehen vielleicht 1000 Tonnen gegenüber, die man geliefert bekommt, das ist auf keinen Fall nachwachsend.

Wie hoch schätzen Sie den Gewinn, der bei der Manganknollenernte und beim Abbau von Massivsulfiden zu erzielen ist? Wie schätzen Sie ihn im Vergleich zum Tagebau an Land ein?

Dr. Petersen: Es gibt einen großen Unterschied, wenn man die gleichen Rohstoffe an Land gewinnen möchte. Man würde zum Beispiel an Land eine Lagerstätte mit einem Prozent Nickel abbauen. Für Kupfer würde man dann eine andere Lagerstätte nutzen, typischerweise die großen Copper Porphyries, die auch etwa ein Prozent Kupfer oder auch weniger enthalten. Dann müsste man noch eine dritte Lagerstätte abbauen, die reich an Kobalt ist. Zum Beispiel im Kongo, einem Land, in dem es unter anderem auch wegen der Rohstoffe Bürgerkrieg gibt. Für die gleiche Menge an Rohstoffen bräuchte man an Land in drei unterschiedlichen Gebieten Lagerstätten. Im Kongo müsste man sich mit dem Thema Bürgerkrieg und der Abholzung von Regenwald auseinandersetzen. Nickel wird normalerweise ebenfalls aus Regenwaldgebieten, z. B. in Neukaledonien gewonnen. Hier würden marine Rohstoffvorkommen vielleicht im Vorteil sein. So haben die Manganknollen aus dem Meer sowohl ein Prozent Nickel und den gleichen Anteil an Kupfer und Kobalt. Man könnte also mehr Rohstoffe pro Lagerstätte gewinnen als bei Lagerstätten an Land. Aus diesen Gründen wäre der marine Bergbau vielleicht sinnvoll, allerdings würden dabei in der Tiefsee riesige Gebiete beeinflusst. Allerdings sollte man fairer Weise dazu sagen, dass mariner Abbau niemals Landbergbau ersetzen wird. Dafür wächst der globale Rohstoffverbrauch zu stark.

Exkurs: Meeresbergbau rückt näher an die Küste

Trotz aller Bedenken hinsichtlich der Empfindlichkeit der Meeresumwelt und der Ökosysteme rückt ein möglicher Tiefseebergbau schnell näher. So wurden die ersten Explorationslizenzen für Manganknollen im zentralen Pazifik bereits 2001 von der Internationalen Meeresbodenbehörde vergeben. In anderen Teilen der Weltmeere werden erzhaltige Massivsulfide an ehemals heißen mineralhaltigen Quellen (sog. Schwarze Raucher) und kobaltreiche Eisen-Mangankrusten auf dem felsigen Meeresboden auf ihre Eignung als zukünftiger Rohstoff untersucht. Aber auch der küstennahe Kontinentalschelf, auf dem bislang vorwiegend nach Öl- und Gasvorkommen gesucht wurde, könnte in den Fokus rücken. In einem Beitrag in Nature Geoscience betrachtet eine Gruppe von Forschenden vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel mögliche Chancen eines untermeerischen Bergbaus an den Ozeanrändern.

Von Meerwasser bedeckte kontinentale Gesteine, die von der Fläche etwa ein Drittel der globalen Landmasse ausmachen liegen vor den Küsten. Von der Struktur und Zusammensetzung sind diese Gebiete den Kontinenten sehr ähnlich und lassen Vorkommen, die an Land abgebaut werden, auch hier vermuten. Dies wird auch durch die Tatsache unterstützt, dass es sehr viele Ressourcen im unmittelbaren Küstensaum gibt. Die Kieler Geologen prognostizieren große Lagerstätten unterhalb des Meeresbodens in verschiedenen Schelfregionen der Welt. Dazu könnten Goldvorkommen vor der Küste Westafrikas, Nickelvorkommen im arktischen Ozean, und Blei-Zinkvorkommen im Golf von Mexiko oder im Mittelmeer gehören.

Sie sagen, dass beim Meeresbergbau unweigerlich Fragen zur Auswirkung auf die dortigen Ökosysteme auftreten. Worauf kann oder muss sogar beim Abbau geachtet werden, um das Ökosystem zu schützen? Was kann man zur Energiebilanz sagen?

Dr. Petersen: Fangen wir einmal mit dem reinen Flächenbedarf an. Bei den drei genannten Rohstoffen kommt es beim Abbau der gleichen Menge Erz zu extrem unterschiedlichen Umweltbeeinträchtigungen. Manganknollen und Kobaltkrusten sind zweidimensionale Vorkommen. Sie liegen oben auf dem Meeresboden und bedecken riesige Areale. Beispielsweise werden circa 150 Quadratkilometer benötigt, um zwei Millionen Tonnen Manganknollen zu gewinnen. Bei Kobaltkrusten mit einer Dicke von vier Zentimeter und bei einer Bedeckung von größeren zusammenhängenden Bereichen reichen etwa 20–25 Quadratkilometer aus. Für den Abbau der gleichen Menge Erz aus den dreidimensionalen Massivsulfidvorkommen wären es hingegen weniger als ein halber Quadratkilometer.

Wie bewerten Sie den Einfluss auf die marine Flora und Fauna?

Dr. Petersen: Die Lebenswelt ist jeweils extrem unterschiedlich. Die alte ozeanische Kruste in der Tiefsee, auf der Manganknollen und Kobaltkrusten entstehen, beherbergt extrem langsam reproduzierende Faunengemeinschaften mit großer Artenvielfalt. Diese reagieren auf Eingriffe auch nur sehr langsam. Massivsulfide hingegen wachsen in einem vulkanisch aktiven Milieu, mit häufigen Lavaeruptionen. Diese Ökosysteme können sich vermutlich schneller regenerieren. Ich würde jedoch nicht erwarten, dass sich diese Systeme nach einem Bergbautest auf Manganknollen oder Kobaltkrusten innerhalb menschlicher Zeiträume regenerieren. Hierzu gab es schon Tests, die unter anderem von Deutschland durchgeführt worden sind. So wurden beim TUSCH-Projekt Ende der 1980er-Jahre mit einer umgebauten Pflugegge zehn Quadratkilometer des Meeresbodens durchpflügt und dann jeweils einen Monat, ein Jahr später und sieben Jahre später die Veränderung dokumentiert. Die Ergebnisse waren eindeutig: Das dortige Ökosystem hat sich massiv geändert und ist

nicht zu seinem Ursprungszustand zurückgekehrt. Das kann man aber auch gar nicht erwarten. Es kommt noch hinzu, dass es sich bei den Manganknollen selbst und dem weichen Sediment darunter um zwei ganz unterschiedliche Habitate handelt, die von unterschiedlichen Tieren besiedelt werden.

Was passiert dabei genau?

Dr. Petersen: Beim Abbau wird das Hartsubstrat (Manganknolle) entfernt und es bleibt nur das Sediment übrig, in dem andere Fauna lebt. Dazu zählen zum Beispiel Fadenwürmer (Nematoden). Das Hartsubstrat ist auch nach sieben Jahren nicht wieder da. Das heißt, Schwämme, Kaltwasserkorallen oder Anemonen können diese Flächen nicht wieder besiedeln. Alles was ein Hartsubstrat als Lebensraum braucht, wird nicht wiederkommen. Vor diesem Hintergrund gab es die Überlegung, künstliche Manganknollen wieder zuzufügen, zum Beispiel aus Beton. Aber auch hier sind die Auswirkungen unbekannt. Wenn Beton mit Meerwasser reagiert, könnten zum Beispiel Komponenten freigesetzt werden, die wiederum für marine Faunengemeinschaften schädlich sind. Faunengemeinschaften, die das Weichsubstrat (Sediment) benötigen, können hingegen wiederkommen, vielleicht sogar in einer ähnlichen Zusammensetzung wie vorher. Aber das Hartsubstrat ist unwiederbringlich verloren. Das heißt, große Areale werden unwiederbringlich verändert.

Ist das an Land nicht auch so?

Dr. Petersen: Natürlich gibt es an Land genauso Beeinträchtigungen durch den Bergbau. Ebenfalls bei der Landwirtschaft oder der Erweiterung unserer Städte. In allen Bereichen verändern wir durch menschliches Handeln vorhandene Landschaften. Die Menschen neigen dazu, in neuen Nutzungsformen immer etwas Besonderes zu sehen. Aber in Schleswig-Holstein ist kein einziger Quadratmeter mehr ursprünglich, alles ist durch den Menschen verändert.

Was ist der Unterschied zum Beispiel zum Tagebau in Regenwaldgebieten oder anderen Regionen mit hoher Biodiversität, wo ja auch nicht nur das direkte Ökosystem, sondern auch das Grundwasser oder der Boden nachhaltig durch freigesetzte Mineralphasen oder Chemikalien geschädigt werden? Wie sind die Einflüsse auf Umwelt, Ökosysteme, lokale Bevölkerung und die Energiebilanz vom Abbau von Rohstoffen in terrestrischen Erzlagerstätten mit denen in der Tiefsee zu vergleichen?

Dr. Petersen: Das ist eine gesellschaftliche Diskussion, die kommen muss. Beim Bergbau in der Tiefsee kommt es zu dramatischen Auswirkungen. Den Leuten ist jedoch meistens nicht bewusst, dass wir diese Auswirkungen für die Erfüllung unseres Lebensstandards an Land auch haben. Die Lagerstätten an Land sind meistens als dreidimensionale Körper ausgebildet. Dieser Körper liegt aber oft unterhalb der Oberfläche. Das heißt, es müssen riesige Mengen Abraum bewegt und irgendwo gelagert werden, um an das Erz zu kommen. Es müssen Straßen, Schächte oder auch ganze Städte für den Abbau angelegt werden. Das bedeutet: Auch die Umweltauswirkungen an Land sind sehr groß. In der Tiefsee hingegen besteht natürlich eine geringere Beeinflussung der Bevölkerung. Es muss keine größere Infrastruktur gebaut werden, auch Umsiedlungen der Bevölkerung gibt es sicher nicht. Da der marine Abbau noch nicht existiert, haben wir zudem die Möglichkeit, durch gute gesetzliche Grundlagen und Umweltstandards den Abbau im Vorfeld besser zu regulieren, als wir das im Landbergbau geschafft haben. Dazu müssen wir die Regularien, die im Moment entwickelt werden, in einem offenen, transparenten Prozess voranbringen. An Land waren solche Voraussetzungen oft nicht gegeben. Ein Teil des Kobaltabbaus im Kongo erfolgt mit Sicherheit nicht nach Umweltstandards, die wir uns in Deutschland und in der Europäischen Union wünschen.

Kann man das Volumen der Vorkommen in der Region, in der Sie forschen, abschätzen?

Dr. Petersen: Ja, das kann man, wenn auch sehr grob. Für das GEOMAR schätzen wir die weltweiten Vorkommen von Massivsulfiden am

dortigen Meeresboden auf ca. 600 Millionen Tonnen Erz. Dies beruht auf der Hochrechnung von Ergebnissen aus relativ gut untersuchten Referenzgebieten weltweit. In dieser Erzmenge sind Kupfer und Zink in einer Menge enthalten, die der derzeitigen Jahresproduktion von Kupfer und Zink an Land entsprechen. Daher unsere eher pessimistische Einschätzung der Auswirkungen eines solchen Abbaus auf die globale Rohstoffversorgung. Das bezieht sich aber nur auf diese schmale Linie entlang der neovulkanischen Zonen in der Spreizungszone. Das Potential im ganzen Ozean ist vermutlich deutlich größer, weil jeder Bereich des Ozeanbodens ja im Laufe seiner Geschichte an einer Rückenachse entstanden ist und damit theoretisch auch ein inaktives Vorkommen enthalten kann.

Wo liegen die Probleme, um das Potential genauer bewerten zu können?

Dr. Petersen: Wir haben überall außerhalb der Rückenachse mit Sedimentbedeckung zu kämpfen. Und wir wissen auch überhaupt nicht, was mit den inaktiven Sulfidvorkommen nach ihrer Entstehung passiert. Verrosten sie vielleicht sogar vollständig im sauerstoffreichen Meerwasser? Sind sie nach wenigen hunderttausend Jahren überhaupt noch da? Das kann kein Mensch beantworten. Wir wissen nicht, ob Massivsulfide in einem zehn Millionen Jahre alten Ozeanboden noch vorkommen. Es gibt keine Technologie, die durch eine 100 Meter dicke Sedimentschicht durchsehen kann. Das heißt, da ist noch nichts untersucht. Wir wissen, dass einige Vorkommen überleben, da es sie ja durch Obduktionsprozesse an Land auch gibt. Das sind die Stellen, wo wir sie heute an Land abbauen können. Aus der Forschung an Land wissen wir aber auch, dass alle diese Vorkommen in der Nähe der Subduktionszonen entstanden sind, also relativ kontinentnah und nicht an den mitelozeanischen Rücken an denen wir heute die meisten Vorkommen kennen.

Worin liegt die Rolle der Forschung am GEOMAR auch global gesehen? Woran arbeiten Sie momentan?

Dr. Petersen: Was wir hauptsächlich machen: Wir versuchen Politiker und andere Interessensvertreter über das geologische Rohstoffpotential zu informieren. Viele Menschen vermuten, dass es in der Tiefsee gewaltige Metallvorkommen gibt. Allerdings sind dies alles nur sehr grobe Schätzungen, denn wir kennen den Meeresboden nicht genau.

Wir versuchen also, die Potentiale dieser Rohstoffe, Manganknollen und Massivsulfide aufgrund von geologischen Beobachtungen hochzurechnen und Ressourcenpotentiale globaler Art anzugeben. An Kobaltkrusten arbeiten wir im Moment nicht. Das machen wir z. B., indem wir globale Datensätze wie satellitengestützte Topographie (Altimetrie), das Alter des Meeresbodens und andere geophysikalische Informationen danach bewerten, wo Manganknollen überhaupt geologisch gesehen vorkommen könnten. Mit Beprobung und Informationen, die wir von Forschungsfahrten bekommen, können wir sehen, ob dort tatsächlich Manganknollen auftreten. Wir rechnen dann hoch, wie groß das globale Rohstoffpotential ist.

Theoretisch sind die regionalen geologischen Bedingungen für das Auftreten von Manganknollen auf ca. 73 Millionen km² erfüllt. Das heißt aber nicht, dass dies auf allen diesen Flächen auch tatsächlich der Fall ist. Wir erforschen auch, welche lokalen geologischen Kriterien erfüllt sein müssen damit sich Manganknollen oder Kobaltkrusten bilden können. Wo sind solche Kriterien gegeben? Wo könnte Exploration stattfinden? Aufgrund unserer Historie als Arbeitsgruppe beschäftigen wir uns jedoch meist mit den sogenannten schwarzen Rauchern. Das heißt, mit den Massivsulfiden, die entlang der mittelozeanischen Rücken in vulkanisch aktiven Gebieten vorkommen. Wir entwickeln für diese Bereiche Erkundungstechnologien wie beispielsweise autonome Unterwasserfahrzeuge und Sensoren, die uns anzeigen können, wo solche Vorkommen auftreten.

Vielen Dank für das Gespräch

Auszug aus einem Interview, geführt von Dr. Christina Bonanati für ESKP.

Exploration in der Tiefsee – die Aufteilung der Rohstofflizenzegebiete

Dr. Carsten Rühlemann (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Wie wird die Unterwasserwelt aufgeteilt, wie funktioniert die Lizenzvergabe? Welche Rechte, aber auch Pflichten ergeben sich für die Lizenznehmer? Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gibt dazu einen Überblick.

- Für die Vergabe von Explorationslizenzen ist die Internationale Meeresbodenbehörde (IMB) zuständig.
- Bislang wurden von der IMB 29 Lizenzen zur Exploration vergeben. Dies an Akteure aus 20 verschiedenen Ländern.
- Jede Explorationslizenz hat eine Laufzeit von 15 Jahren mit der Möglichkeit, die Lizenz mehrfach um jeweils fünf Jahre zu verlängern. Sie gewährt ein Vorrecht auf späteren Abbau.

Der Ozean jenseits der Grenzen nationaler Zuständigkeiten umfasst rund die Hälfte der Erdoberfläche und gilt nach Artikel 136 des Seerechtsübereinkommens (SRÜ) der Vereinten Nationen als „Gemeinsames Erbe der Menschheit“. Die Internationale Meeresbodenbehörde (IMB), die dieses Erbe verwaltet, ist eine eigenständige internationale Organisation mit derzeit 167 Mitgliedsländern und der EU. Sie wurde 1994 im Rahmen des SRÜ geschaffen und reguliert und überwacht alle Aktivitäten zur wirtschaftlichen Nutzung des internationalen Meeresbodens und dessen Untergrundes. Da bisher noch kein Tiefseebergbau stattfindet, besteht die zentrale Aufgabe der IMB zurzeit darin, neben der Vergabe und Überwachung von Explorationslizenzen die Regeln zur Erkundung sowie zum künftigen Abbau der mineralischen Rohstoffe in der Tiefsee zu erarbeiten und zu aktualisieren.

Die Rechtsgrundlagen zur Prospektion und Erkundung der drei Rohstofftypen der Tiefsee sind in den „Exploration Regulations“ der IMB zusammengefasst, die im Jahr 2000 für Manganknollen, in 2010 für Massivsulfide und in 2012 für

Mangankrusten verabschiedet wurden und regelmäßig aktualisiert werden. Einen Antrag auf eine Explorationslizenz können sowohl staatliche als auch private Unternehmen gegen eine Gebühr von 500.000 USD stellen. Die Lizenzanträge müssen von ihrem Heimatstaat, dem sogenannten „Sponsoring State“, befürwortet werden. Der befürwortende Staat, der ein geeignetes Meeresbergbaurecht in Kraft gesetzt haben muss, prüft die Einhaltung der Eignungsanforderungen sowie die finanzielle und technische Leistungsfähigkeit des Unternehmens. Er ist zur aktiven Überwachung verpflichtet und haftet für diese Tätigkeit. In Deutschland ist nach § 3 des Meeresbodenbergbaugesetzes das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover für die Überwachung zuständig. Es unterliegt hierfür der Fach- und Rechtsaufsicht des Bundes.

Lizenznehmer aus 20 Staaten

Bislang wurden 29 Lizenzen zur Exploration vergeben, 17 für Manganknollen, 7 für Massivsulfide und 5 für Mangankrusten. Die Lizenznehmer kommen aus 20 verschiedenen Ländern, zwölf sind aus Asien, zwölf aus West- und Osteuropa,

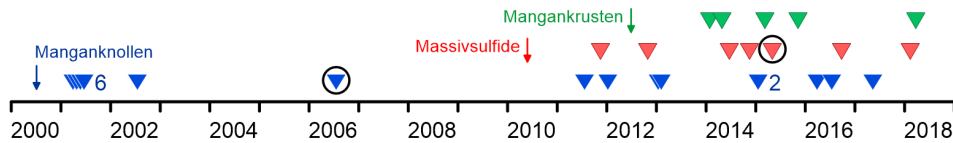


Abb. 1: Zeitliche Reihenfolge der Vergabe von insgesamt 29 Explorationslizenzen für die drei Rohstofftypen seit 2001 durch die Internationale Meeresbodenbehörde. Die drei Pfeile markieren die Verabschiedung der jeweiligen Explorationsregularien und die zwei schwarzen Kreise kennzeichnen die beiden Lizenznahmen der BGR. Grafik: BGR

vier von pazifischen Inselstaaten und einer aus Südamerika. Eine aktuelle Übersicht über die Akteure in den einzelnen Gebieten stellt die IMB zur Verfügung.

Die ersten sieben Lizenzen für Manganknollen wurden durch staatliche und halbstaatliche Vertragsnehmer in den Jahren 2001 und 2002 kurz nach der Verabschiedung der Regularien für die Exploration im Juli 2000 vergeben (Abb. 1). Nachdem die BGR im Jahr 2006 einen Vertrag mit der IMB über ein Lizenzgebiet schloss, folgten ab Mitte 2011 ausschließlich private Unternehmen, die weitere neun Lizenzen erhalten haben. Von den 17 Lizenzgebieten liegen 16 Gebiete in der Clarion-Clipperton-Zone im Ostpazifik, die wegen ihrer reichen Manganknollenvorkommen mit hohen Metallgehalten als wirtschaftlich interessanteste Region für diesen Rohstoff gilt. Das Lizenzgebiet Indiens befindet sich im zentralen Indischen Ozean (Abb. 2).

Für die Massivsulfide und Mangankrusten ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die Manganknollen mit den ersten Lizenzvergaben kurz nach der Verabschiedung der jeweiligen Regularien im Mai 2010 beziehungsweise im Juli 2012 zunächst an staatliche bzw. halbstaatliche Lizenznehmer (Abb. 1). Drei Lizenzgebiete für Massivsulfide befinden sich am Mittelozeanischen Rücken des Nordatlantiks und vier Gebiete am Südwestindischen und Zentralindischen Rücken. Von den fünf Lizenzgebieten für Mangankrusten befinden sich vier im Nordwestpazifik und eines im Südatlantik vor Brasilien (Abb. 2).

Vertragliche Verpflichtungen und Größe der Gebiete

Jede Explorationslizenz hat eine Laufzeit von 15 Jahren mit der Möglichkeit, die Lizenz mehrfach um jeweils fünf Jahre zu verlängern. Sie gewährt zugleich ein Vorrecht auf späteren Abbau und berechtigt auch zum Testen von Technik, beispielsweise für den Abbau. Die Verträge enthalten Arbeitspläne für die gesamten 15 Jahre, die nach jeweils fünf Jahren aktualisiert werden müssen und von den Lizenznehmern umzusetzen sind. Zum Nachweis ist jeder Lizenznehmer verpflichtet jährlich einen Bericht über seine Explorationstätigkeiten bei der IMB abzugeben. Weiterhin enthalten die Verträge ein Programm zur Ausbildung von Trainees aus Entwicklungsländern durch die Lizenznehmer.

Bezüglich der Exploration von Manganknollen erlauben die Regularien die Erkundung von Feldern mit einer Größe von 150.000 km², von denen spätestens bis zum achten Jahr der Lizenzlaufzeit 75.000 km² an die ISA zurückgegeben werden müssen. Dazu muss die Gesamtfläche in zwei Hälften von gleichem kommerziellem Wert aufgeteilt werden, von denen die IMB eine dem Antragsteller zur Exploration zuweist und die andere als „reserved area“ (reserviertes Gebiet) ausweist.

Für die Massivsulfide darf ein Explorationsfeld maximal 300.000 km² umfassen, dessen längste Seite 1.000 km beträgt. Innerhalb dieser Gesamtfläche dürfen maximal 100 Blöcke von 10 x 10 km Fläche beantragt werden, die in mindestens fünf verschiedenen Clustern zusammengefasst werden müssen. Die eigentliche Explorations-

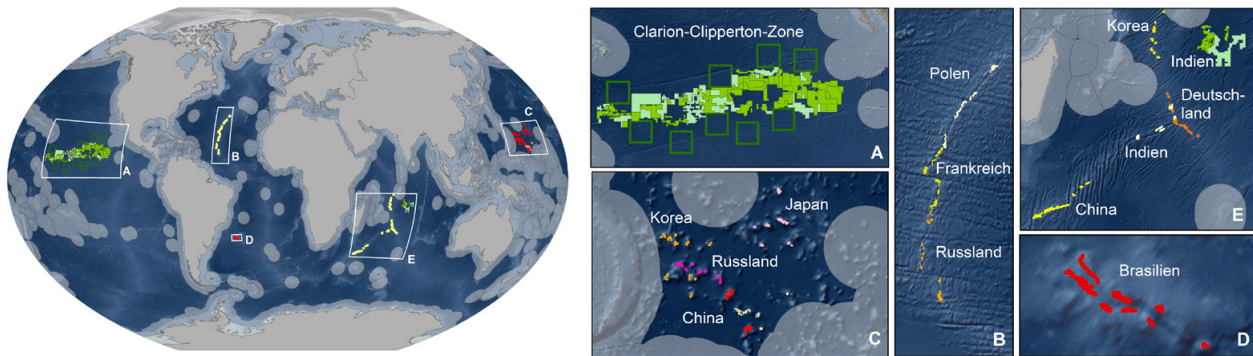


Abb. 2: Weltkarte mit den 29 Explorationsgebieten, die die IMB für die drei Rohstofftypen Manganknollen (grün), Mangankrusten (rot) und Massivsulfide (gelb) vergeben hat. In Dunkelblau ist der Ozean jenseits der Grenzen nationaler Zuständigkeiten und in Hellblau sind die Ausschließlichen Wirtschaftszonen der Staaten (200-Meilen-Zone) dargestellt.

Die vergrößerten Kartenausschnitte darunter zeigen die fünf Regionen mit den Lizenzgebieten einschließlich der befürwortenden Staaten ("sponsoring states") für Krusten und Sulfide. In der Karte der Clarion-Clipperton-Zone sind neben den Explorationsgebieten für Manganknollen in Grün auch die zurückgegebenen "reserved areas" in Hellgrün und die neun Schutzgebiete (grün umrandete Quadrate) mit jeweils 160.000 km² Größe dargestellt. Die Auswahl der Schutzgebiete wurde im Rahmen eines Umweltmanagementplans der IMB festgelegt. Karte: BGR

fläche beträgt damit 10.000 km². Die Rückgabeklausel erfordert, dass innerhalb der ersten acht Jahre 75 Prozent dieser Fläche an die IMB zurückzugeben sind, sodass letztlich 2.500 km² für die weitere Exploration verbleiben.

Für die Mangankrusten können Blöcke von maximal 20 km² in Clustern zu maximal fünf Blöcken beantragt werden, insgesamt aber nicht mehr als 150 Blöcke. Das Gebiet, in dem diese Cluster liegen, darf eine Größe von 550 x 550 km nicht überschreiten. Innerhalb von zehn Jahren müssen zwei Drittel der Fläche zurückgegeben werden, sodass 1.000 km² für die weitere Exploration verbleiben. Dies gilt, wenn Antragsteller der IMB ein „Joint Venture“ mit dem sogenann-

ten „Enterprise“ anbieten, einem noch zu gründenden Unternehmen der IMB. Alternativ können sie eine „reserved area“ annähernd gleicher Größe und gleichen wirtschaftlichen Wertes wie das Explorationsgebiet bieten. In diesem Fall beträgt die maximale Anzahl der oben genannten Blöcke 200 für Massivsulfide und 300 für Mangankrusten, von denen die Hälfte an die IMB zurückfällt. Diese vorkundeten „reserved areas“ kann die IMB entweder an Antragsteller aus Entwicklungsländern vergeben oder durch das „Enterprise“ selbst zur weiteren Exploration und zum späteren Abbau zum Nutzen von Entwicklungsländern und anderen Nutzenempfängern im Sinne des Seerechts verwenden.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Jenisch, U. (2013). Tiefseebergbau – Lizenzvergabe und Umweltschutz. *Natur und Recht*, 35, 841-854. doi:[10.1007/s10357-013-2554-7](https://doi.org/10.1007/s10357-013-2554-7)
- International Seabed Authority – ISA. (o.D.). Exploration Contracts [www.isa.org.jm/deep-seabed-minerals-contractors]. Aufgerufen am 05.11.2018.

3. Erforschung potentieller Abbauggebiete

Einleitung

Bei der Erforschung von Lagerstätten und potentiellen Umweltauswirkungen des Tiefseebergbaus betreten Forscher vielfach Neuland. Die Herausforderungen an Gerät und Technik sind groß, will man die Funktionsweise von Ökosystemen am Meeresboden besser kennenlernen und den Abbau von metallischen Rohstoffen durch Umweltmonitoring begleiten. Viel hängt davon ab, ob die potentiell eingesetzte Abbautechnologie tiefere, sauerstofffreie Sedimentbereiche stört und wie stark aufgewirbelte Sedimentpartikel verdriftet werden.

Themen-Überblick

- ▶ Nachhaltige Auswirkungen des Tiefseebergbaus
- ▶ Baseline-Studien für die Erkundungsgebiete
- ▶ Herausforderung Umweltmonitoring in der Tiefsee
- ▶ Gewinnung von Manganknollen: technische Herausforderungen
- ▶ Golden Eye – auf der Suche nach Massivsulfiden
- ▶ Nautilus Minerals' Weg zum Tiefseebergbau

Nachhaltige Auswirkungen des Tiefseebergbaus

Dr. Matthias Haeckel (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Die Technologie für ein umfassendes Umweltmonitoring in der Tiefsee ist vorhanden. Es gilt nun, die Arbeit der Internationalen Meeresbodenbehörde am „Mining Code“ zu unterstützen. Benötigt werden verlässliche Indikatoren für einen guten Umweltzustand und Grenzwerte zur Verhinderung von Umweltschäden.

- Manganknollenhabitats beherbergen eine sehr hohe Faunenvielfalt, die Faunengesellschaften sind zudem sehr variabel.
- Derzeit diskutierte Abbaufverfahren entfernen die Meeresbodenoberfläche und seine Fauna. Sedimentpartikel und Erzmaterial werden aufgewirbelt und verdriftet.
- Auch nach Jahrzehnten sind die Spuren wissenschaftlicher Störungsexperimente deutlich zu erkennen. Die Produktivität der benthischen Mikroorganismen wie auch die Populationsdichten der Faunengemeinschaften sind stark reduziert.

In den letzten zehn Jahren hat das Interesse am Abbau mineralischer Ressourcen in der Tiefsee stark zugenommen, wie die gestiegene Zahl der durch die Internationale Meeresbodenbehörde (ISA, International Seabed Authority) vergebenen Explorationslizenzen und die im Rahmen der „Blue Growth“-Strategie der Europäischen Kommission geförderten Technologieprojekte „Blue Mining“ und „Blue Nodules“ zeigen.

Vor diesem Hintergrund entwickelt die ISA derzeit verbindliche Regularien für den industriellen Tiefseebergbau im „Gebiet“, d. h. dem Meeresboden außerhalb staatlicher Außenwirtschaftszonen. Eine Verabschiedung dieses „Mining Codes“ durch die Internationale Gemeinschaft ist für Sommer 2020 avisiert. Die ISA ist bei dieser Aufgabe auf fundierte wissenschaftliche Untersuchungen der zu erwartenden Umweltschäden durch den Tiefseebergbau angewiesen, um möglichst hohe Umweltstandards zu implementieren.

Die Erzvorkommen der polymetallischen Knollen in den Tiefseeebenen – den Kobalt-reichen Krusten auf untermeerischen Bergen und den

Massivsulfiden – unterscheiden sich zwar in vielen Charakteristika, wie z. B. flächiger Ausdehnung, chemischer Zusammensetzung und assoziiertem biologischem Habitat. Dennoch lassen sich zwei grundlegende Umweltauswirkungen für die derzeit diskutierten Abbaufverfahren definieren: einerseits die Entfernung der Meeresbodenoberfläche und seiner Fauna im Abbaugbiet; andererseits die Aufwirbelung von Sedimentpartikeln und kleingeriebenem Erzmaterial, die durch Bodenströmungen auch außerhalb des Abbaugbiets verdriftet werden und sich dort auf dem Meeresboden und seiner Fauna ablagern.

Das Europäische JPI Oceans Verbundprojekt MiningImpact fokussiert sich auf die zu erwartenden längerfristigen Umweltauswirkungen, indem bis zu 40 Jahre alte Störungsspuren in mehreren Manganknollengebieten des äquatorialen Pazifiks untersucht werden. Diese Störungen sind zwar sehr klein (maximal nur wenige Quadratmeter groß) im Vergleich zu den angedachten industriellen Abbaufflächen von 200–300 km² pro Jahr und Firma, jedoch lassen die Ergebnisse einige klare Rückschlüsse zu.

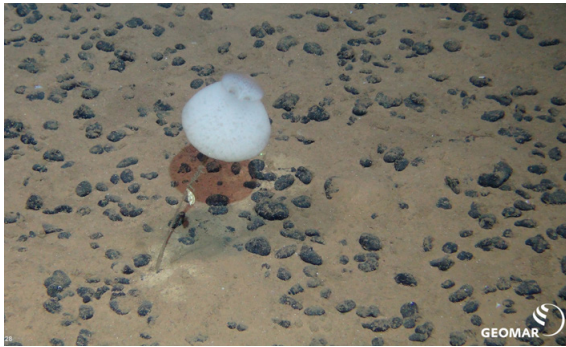


Abb.1: Gestielter Schwamm mit Seepocke.
Bild: ROV Kiel6000, GEOMAR

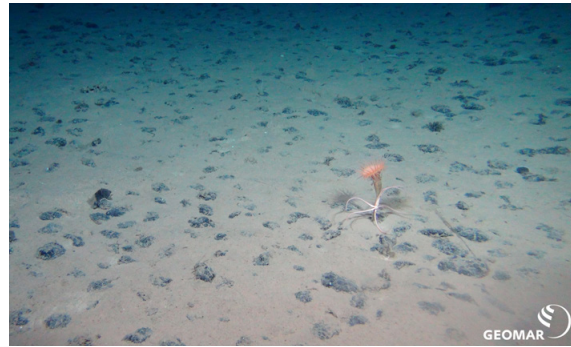


Abb. 2: Manganknollenfeld mit Seeanemone.
Bild: ROV Kiel 6000, GEOMAR

Auch nach Jahrzehnten sind die Spuren dieser wissenschaftlichen Störungsexperimente deutlich am Meeresboden zu erkennen. In ihnen sind auch nach Jahrzehnten sowohl die Ökosystemfunktionen, wie die Produktivität der benthischen Mikroorganismen und biogeochemische Remineralisierungsprozesse stark reduziert. Aber auch die Populationsdichten benthischer Faunengemeinschaften sind stark verringert und die Zusammensetzung der Faunengemeinschaften ist verändert. Die Veränderungen sind nachhaltig und betreffen alle Ökosystem-Kompartimente.

Untersuchung ökologischer Zeitserien und ihrer räumlichen Variabilitäten in der Tiefsee nötig

Zu den Umweltauswirkungen durch aufgewirbelte Sedimentwolken liegen aus den alten Störungsexperimenten nur unzureichende Erkenntnisse vor. Diese stützen sich derzeit vor allem auf numerische Simulationen und Experimente im Labor. MiningImpact wird daher im Frühjahr 2019 den ersten industriellen Knollenkollektortest im Manganknollenlizenzengebiet der Clarion-Clipperton Bruchzone begleiten, um eine unabhängige wissenschaftliche Untersuchung der zeitlichen und räumlichen Ausbreitung der aufgewirbelten Sedimentwolke sowie der daraus resultierenden Auswirkungen auf die abyssale Umwelt durchzuführen.

Aufgrund der zu erwartenden nachhaltigen Zerstörung des Meeresbodens in den Abbaubereichen sowie deren Umgebung, müssen für die internationalen Regularien ebenfalls Konzepte zum Umweltmanagement und zur adaptiven Raumplanung entwickelt werden. Dies stellt eine große Herausforderung dar, weil die Tiefsee-Ökosysteme und insbesondere die Manganknollenhabitats eine sehr hohe Faunenvielfalt beherbergen. Zudem sind die Faunengesellschaften sehr variabel, und zwar auch auf kurzen Distanzen. Auch die Modalität ihrer Verbindungen über große Distanzen, z. B. zwischen West- und Ost-Pazifik, ist noch nicht verstanden. Die Klärung dieser Unsicherheiten erfordert unter anderem die Untersuchung ökologischer Zeitserien und ihrer räumlichen Variabilitäten in der Tiefsee.

Schutzgebiete müssen die Habitat-Charakteristika der Abbaubereiche besitzen

Die Technologie für ein umfassendes Umweltmonitoring in der Tiefsee ist vorhanden und MiningImpact wird sie einsetzen, um Standards und Protokolle zur quantitativen Bewertung der Umweltauswirkungen von Tiefseebergbau zu entwickeln. Dazu zählen Indikatoren für einen guten Umweltzustand und Grenzwerte zur Verhinderung von Umweltschäden. Zusammenfassend hat MiningImpact der ISA die folgenden Vorschläge für den Mining Code unterbreitet:

- Schutzgebiete müssen die **Habitat-Charakteristika** der Abbaugebiete besitzen (z. B. Ozeanproduktivität, Knollenbelegungs-dichte, Faunengemeinschaft), um die Biodiversität in der Tiefsee zu erhalten sowie sensible und essentielle Ökosysteme zu bewahren.
- Tiefseeberge und Schutzgebiete (APEIs - Areas of Particular Environmental Interest) alleine können den **Verlust von Biodiversität und Ökosystemleistungen** durch Tiefseebergbau nicht kompensieren: zusätzliche Meeresschutzgebiete sind erforderlich.
- ISBA-Dokumente zu Methoden und Parametern von Hintergrundstudien sowie **Umweltüberwachung** müssen in transparenter Art und Weise auf den aktuellen Stand der Wissenschaft gebracht werden.
- Die **Minimierung weitreichender Umweltauswirkungen** erfordert eine sorgsame und adaptive Raumplanung des Tiefseebergbaus, die Einrichtung eines Netzwerks repräsentativer Schutzgebiete sowie die Entwicklung minimal-invasiver Geräte
- **Umweltmanagementpläne** sollten für jedes Abbaugbiet mehrere Referenzgebiete (IRZs & PRZs) definieren, um Unsicherheiten der Ausbreitung der Sedimentwolken und die natürliche Variabilität in der Tiefsee zu berücksichtigen und eine effiziente Umweltüberwachung und adaptives Management zu ermöglichen.
- Eine transparente und unabhängige **wissenschaftliche Bewertung** der Umweltauswirkungen sowie eine transparente Datenrichtlinie müssen sichergestellt werden.

Referenzen

- Boetius, A. & Haeckel, M. (2018). Mind the seafloor. *Science*, 359(6371), 34-36. doi:[10.1126/science.aap7301](https://doi.org/10.1126/science.aap7301)
- Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans – JPI Oceans. (2017). Long-term Impacts of Deep-Sea Mining. Results of the MiningImpact project [Projekt-Überblick, Schlüsselergebnisse, politische Empfehlungen, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans – JPI Oceans. (2018). Mining-Impact [Projektwebseite, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Weiterführende Informationen

- Die Tiefsee als Schatzkammer der Menschheit. (2016, 18. Oktober). [Mediathek des vom BMBF geförderten Rahmenprogramms Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA), www.fona.de/de/service/mediathek]. Aufgerufen am 09.11.2018
- Folgen des Tiefsee-Bergbaus wären irreversibel. (2017, 27. Juni.). [scinexx das wissensmagazin, www.scinexx.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Schmid, A. (2018, 9. Oktober). Mangan: Welche Folgen der Tiefsee-Abbau von Rohstoffen hat. *Edison* [edison.media]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung. (2018, 7. September). Tiefseebergbau hinterlässt tiefe Narben [Pressemitteilung, www.senckenberg.de]. Aufgerufen am 09.11.2018

Baseline-Studien für die Erkundungsgebiete: Wie tief reicht der Sauerstoff, was sind die Sedimentationsraten?

Prof. Dr. Sabine Kasten (Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Ohne die Kenntnisse der Sedimentationsbedingungen sowie der ökologischen und geochemischen Zustände in der Tiefsee können die Auswirkungen zukünftiger menschlicher Eingriffe in die Tiefsee nicht ermittelt werden. Insbesondere die Clarion-Clipperton Zone (CCZ) im äquatorialen Pazifik ist für den Manganknollen-Abbau potentiell interessant und Gegenstand der Untersuchungen.

-
- Die Dicke der Sedimentschicht in der Tiefsee der Clarion-Clipperton Zone schwankt zwischen einem und mehr als 100 Metern.
 - Die Eindringtiefe des Sauerstoffs in das Oberflächensediment ist ein entscheidender Parameter, denn die Störung sauerstofffreier Zonen würde schädliche Schwermetalle freisetzen.
 - Ausgewiesene Schutzgebiete in der Clarion-Clipperton Zone unterscheiden sich signifikant von den Explorationsvertragsgebieten.
-

Bis dato nahm man an, dass die geochemischen, ökologischen und sedimentologischen Bedingungen in der Tiefsee keiner starken räumlichen Variation unterliegen. Doch neuere Studien zeigen ein anderes Bild.

Insbesondere die Clarion-Clipperton Zone (CCZ) im äquatorialen Pazifik stand bei den Untersuchungen der Wissenschaftler*innen im Fokus, da sie für den Manganknollen-Abbau potentiell in Frage kommt. Neben 15 anderen internationalen Kontraktoren hat auch die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in dieser Zone bereits eine Erkundungslizenz erworben. Ein Team des Alfred-Wegener-Instituts forscht deshalb hier unter anderem zu den geochemischen Bedingungen, den biogeochemischen Reaktionen und Sedimentationsprozessen, um Baselines für spätere Evaluationen zu schaffen. Diese Baseline-Studien beschreiben zunächst den Ist-Zustand in diesem Gebiet und dienen damit als Grundlage für Studien zu den Auswirkungen möglicher späterer Eingriffe.

Die neueren Ergebnisse der Wissenschaftler*innen überraschen. Dies insofern, als dass sie zeigen, dass die Belegung des Meeresbodens mit den begehrten Manganknollen unerwartet heterogen ist und auch die sedimentologischen und geochemischen Bedingungen häufig über kurze Distanzen von weniger als einem Kilometer stark schwanken. Der Meeresboden im Bereich der Clarion-Clipperton Zone ist in Wassertiefen von mehr als 4000 Metern darüber hinaus keineswegs eben oder flach, sondern durch unzählige untermeerische Berge (Seamounts) charakterisiert. Diese ragen teils bis zu mehr als 2000 Meter über den umgebenden Meeresboden. Durch die Wechselwirkung von Bodenwasserströmungen und den als Hindernissen wirkenden, Seamounts kommt es zu einem komplexen und heterogenen Strömungs- und Sedimentationsmuster.

Pro Jahrtausend setzen sich meist nur weniger als ein Zentimeter Sediment ab

Die Sedimentationsraten in der Tiefsee dieser Zone sind generell sehr niedrig. Die neuen Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass sie um den Faktor 2 bis 3 schwanken und zwischen weniger als einem halben Zentimeter und circa 1,5 cm pro tausend Jahren betragen. Auch die Gesamtdicke der Sedimentschicht variiert. Während die Dicke der über der ozeanischen Kruste lagernden Sedimentschicht an den Flanken der untermeerischen Berge weniger als einen Meter betragen kann, wird sie in den Beckenbereichen zwischen den Seamounts zum Teil mehr als hundert Meter mächtig.

Diese heterogenen Sedimentationsbedingungen, die zudem von unterschiedlichen Einträgen organischer Substanz aus dem überlagernden äquatorialen Hochproduktionsgebiet begleitet werden, bestimmen entscheidend die ebenfalls sehr variablen geochemischen Bedingungen, biogeochemischen Prozesse und Stoffflüsse in den Oberflächensedimenten der CCZ. Die obere sauerstoffhaltige (oxische) Zone der Sedimente zeigt hierbei eine starke räumliche Variabilität und kann zwischen circa 30 cm und mehreren Metern betragen.

Mobile Schwermetalle und Nährstoffe in sauerstofffreien Sedimentbereichen

Unterhalb der Sauerstoffeindringtiefe befinden sich sauerstofffreie (anoxische) Sedimente, in denen Nährstoffe und Schwermetalle in gelöster und damit mobiler Form vorliegen. Die potentielle Freisetzung von toxischen Metallen, die Schädigungen auf die im und auf dem Sediment lebenden Tiefseeorganismen haben, und anderen Stoffen im Rahmen von Tiefseebergbau-Aktivitäten hängt zentral von der Mächtigkeit der oberen sauerstoffhaltigen Sedimentschicht ab und davon, ob die eingesetzte Abbautechnologie tiefere, sauerstofffreie Sedimentbereiche stört. Die auch als „Sauerstoff-Eindringtiefe“ bezeichnete Mächtigkeit der oberen sauerstoffhaltigen Schicht der Sedimente

stellt daher einen der zentralen Parameter für Tiefsee-Baseline Studien, Umweltmonitoring und Environmental Impact Assessments dar.

Sind die untermeerischen Schutzgebiete (APEIs) geeignet?

Um Beeinträchtigungen, die durch die Störung des Meeresbodens auftreten, kompensieren zu können beziehungsweise auf ein Minimum zu begrenzen, hat die Internationale Meeresbodenbehörde begleitend zur Vergabe von Erkundungslizenzen, Schutzgebiete ausgewiesen, die sie „Area of Particular Environmental Interest (APEI)“ – Gebiete von besonderem Umwelt-Interesse – nennt. Idealerweise ähneln diese Schutzgebiete den zur Exploration freigegebenen Gebieten stark und eignen sich daher als „Genpool“ für die Wiederbesiedlung gestörter Gebiete. Ob sie diese Voraussetzungen erfüllen, ist jedoch fraglich.

Unsere bisherigen Untersuchungen im Bereich der CCZ und auch die anderer internationaler Forscher*innengruppen haben gezeigt, dass sich die geochemischen, biogeochemischen, ökologischen und sedimentologischen Bedingungen in den APEIs, den ausgewiesenen Schutzgebieten, deutlich von denen in den Vertragsgebieten unterscheiden.

Die Sauerstoffeindringtiefen in den Sedimenten der untersuchten Schutzgebiete (APEIs) sind wesentlich größer als in den Vertragsgebieten. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Prozesse und auch die potentiellen Auswirkungen von Tiefseebergbau-Aktivitäten in den Vertragsgebieten signifikant von denen in den APEIs unterscheiden. Nach heutigem Kenntnisstand erscheinen die Schutzgebiete daher wenig geeignet dazu, als Referenzgebiete für ein Umweltmonitoring in der Tiefsee oder als „Wiederbesiedlungs-Refugien“ für die potentiell durch Tiefseebergbau betroffenen Vertragsgebiete zu fungieren.

Referenzen

- Mewes, K., Mogollón, J. M., Picard, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Nöthen, K. & Kasten, S. (2014). Impact of depositional and biogeochemical processes on small scale variations in nodule abundance in the Clarion-Clipperton Fracture Zone. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 91, 125-141. doi:[10.1016/j.dsr.2014.06.001](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2014.06.001)
- Volz, J. B., Mogollón, J. M., Geibert, W., Arbizu, P. M., Koschinsky, A. & Kasten, S. (2018). Natural spatial variability of depositional conditions, biogeochemical processes and element fluxes in sediments of the eastern Clarion-Clipperton Zone, Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 140, 159-172. doi:[10.1016/j.dsr.2018.08.006](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2018.08.006)

Technische Herausforderungen beim Umweltmonitoring

Dr. Annemiek Vink (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Umweltmonitoring in der Tiefsee ist aufwändiger als Erprobung und Erkundung. Um verlässliche und flächenhafte Daten zu erhalten, müssen viele technologische Anwendungen, die momentan nur als Prototypen vorliegen, in die kommerzielle Nutzung überführt werden.

- Umweltmonitoring in der Tiefsee stellt eine ebenso große Herausforderung dar wie die Entwicklung von Abbautechnologien selbst.
- Notwendig sind validierte und standardisierte Verfahren, um die Vergleichbarkeit und Aussagekraft von Daten und Ergebnissen zu gewährleisten.
- Optimale Technologien für Umweltmonitoring wären beispielsweise autonome Messroboter, die am Meeresboden über sogenannte „Docking Stations“ mit autarker Energie versorgt werden.

Generell müssen Abbautätigkeiten jeglicher Art in der Tiefsee durch ausführliches Umweltmonitoring begleitet werden. Das stellt eine ebenso große Herausforderung dar wie die Entwicklung von Abbautechnologien selbst. Umweltmonitoring ist eine wissenschaftlich-kommerzielle Daueraufgabe, die deutlich umfangreicher ist als die konventionelle Messtechnik, Probenahme-Technik und Analytik für Erkundungsarbeiten, die nur Teilergebnisse liefern.

Umweltmonitoring rund um einen Tiefseebergbau erfordert grundsätzlich eine ausreichende räumliche und zeitliche Auflösung von Messwerten sowie validierte und standardisierte Verfahren, um die Vergleichbarkeit und Aussagekraft von Daten und Ergebnissen zu gewährleisten. Weiterhin benötigt wird ein sehr gutes Datenmanagement, eine extrem gute Unterwasser-Navigation, ggf. unter Nutzung von Satellitentechnologien (Datentransfer Schiff zum Land), sowie eine ausreichende Energieversorgung am Meeresboden.

Gängige Monitoring-Technologien benötigen grundsätzlich viel Schiffszeit, da erforderliche Unterwassertechnologien wie der Einsatz von AUVs (autonomous underwater vehicle) und ROVs nur vom Schiff aus durchgeführt werden können (zeitlich unlimitiert über Kabel oder autonom mit einer maximalen Einsatzzeit von etwa 15 Stunden). Zeitliche Umweltdatenreihen können bestenfalls aus individuellen oder weit auseinander verankerten Sensoren in der Wassersäule und/oder am Meeresboden erhoben werden.

Durch die Abhängigkeit von unterstützenden Schiffen ist ein derartiges Monitoring zeit- und kostenintensiv und erreicht nicht die erwünschte räumliche und zeitliche Auflösung. Weiterhin ist das Sensorik-Portfolio für biogeochemische Stoffflüsse für die Tiefsee jenseits einer Wassertiefe von 4000 Metern derzeit noch limitiert (z. B. für die Bestimmung von Nährstoff- oder Metallkonzentrationen am Meeresboden). Viele Entwicklungen sind noch im Stadium des Prototyps, während internationale Teams aus Wissen-

schaft und Technik derzeit Umweltmonitoring-Methoden evaluieren, die bereits jetzt einsatzfähig sind.

Optimale Technologien für Umweltmonitoring wären beispielsweise autonome Messroboter (Crawlers) für kontinuierliche Messungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften (u.a. Salinität, pH, O₂, Trübe, Temperatur, Strömung; sowie auch: Topographie und Faunenreichtum) sowie AUV-Schwärme (Unterwasser-Drohnen) für visuelle Beobachtungen des Meeresbodens.

Beide Technologien könnten am Meeresboden über sogenannten „Docking Stations“ mit autarker Energie versorgt werden und die räumliche und vor allem auch die zeitliche Auflösung der Messungen deutlich erhöhen. Insgesamt gilt aber für die innovative Weiterentwicklung von Monitoring-Technologien jeglicher Art, dass der Markt für Firmen sichtbar gemacht werden muss. Mit entsprechender Förderung können und sollen Monitoring-Technologien marktreif und standardisiert werden – mit den entsprechenden Entwicklungsschritten vom Prototyp bis hin zur kommerziellen Anwendung.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Weiterführende Informationen

- Robotische Exploration unter Extrembedingungen – ROBEX. (2016). TRAMPER - ROBEX [Informationen zum Tiefsee-Kettenfahrzeug TRAMPER, www.robex-allianz.de]. Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI).

Manganknollen: große technische Herausforderungen für die Gewinnung

Dr. Annemiek Vink (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Der Aufwand, um Manganknollen aus 4000 Metern Tiefe an die Oberfläche zu befördern ist immens. Viele der eingesetzten Technologien müssen komplett neu entwickelt werden, um den Anforderungen an einen Dauerbetrieb standzuhalten. Dabei warten noch viele Unabwägbarkeiten am Meeresgrund bis es zum tatsächlichen Einsatz kommt.

- Bislang gibt es noch keine Erfahrungen beim langfristigen Einsatz von Abbautechnik in der Tiefsee.
- Viele Fragen sind noch ungeklärt, z. B. ob ein Manganknollen-Kollektor in weiche Sedimente einsinkt.
- Aus Umweltsicht ist es wichtig, minimal-invasive Abbautechniken zu entwickeln.

Die Erkundung und ein zukünftiger Abbau polymetallischer Knollen ist vergleichsweise einfacher als bei Massivsulfiden oder Kobalt-reichen Krusten, da Manganknollen ähnlich den Kartoffeln auf einem Acker dicht an dicht auf dem Meeresboden liegen und keine Tiefenerstreckung aufweisen. Trotzdem gibt es bislang weltweit noch keinen Abbau von Manganknollen, obwohl in den letzten zehn Jahren die internationalen Aktivitäten im Bereich der Erkundung von Knollenfeldern sowie der technischen Vorbereitung für deren Abbau und Verarbeitung stark zugenommen haben.

Alle bisherigen Konzepte zur Gewinnung der Manganknollen gehen davon aus, dass man die Knollen durch raupenähnliche Fahrzeuge, die sich am Meeresboden bewegen, mechanisch oder hydraulisch aufsammelt. Die Knollen werden im sogenannten Kollektor von anhaftendem Sediment gereinigt, zerkleinert und an ein vertikales Fördersystem übergeben. Die Knollen müssen je nach Konzept über ein Lufthebverfahren oder mittels Dickstoffpumpen über mehr als 4000 Metern zur Förderplattform an der Wasseroberfläche gefördert werden. Dort werden die Knollen entwässert und für den Transport an

Land auf sogenannte Bunker-Schiffe verladen. Dabei handelt es sich um spezielle Lastschiffe, die für den Transport dieser Rohstoffe geeignet sind.

Die zu erwartenden technischen Herausforderungen liegen vor allem im zuverlässigen Betrieb der Unterwassertechnik über einen langen Zeitraum (300 Tage im Jahr) bei möglichst geringem Wartungsaufwand. Auch wenn die prinzipiellen technischen Komponenten in der Offshore Öl- und Gasförderung sowie im küstennahen Abbau von Kiesen, Sanden und Seifenlagerstätten bereits eingesetzt werden, gibt es bisher keine Erfahrungen beim langfristigen Einsatz dieser Technik in der Tiefsee.

Die beste verfügbare und umweltschonende Technik als Ziel

Viele Komponenten für die Kollektoren, das Pumpgestänge und die Schiffe sind Neuentwicklungen, die erst noch unter realen Bedingungen getestet werden müssen. Zu erwartende technische Probleme liegen zum Beispiel in der Bewegungsfreiheit des Kollektors am Meeresboden. Wird der Kollektor in die weichen, wasserhaltigen

Sedimente einsinken? Wie wirkt sich die durch den Kollektor selbst aufgewirbelte Sedimentwolke mit ihrer hohen Partikeldichte im Inneren des Kollektors auf die technischen Systeme aus? Wie effektiv ist der Sammelmechanismus des Kollektors, d. h. wie viel Prozent der Knollen können tatsächlich aufgenommen werden? Im Hinblick auf den vertikalen Transport durch die Wassersäule ist beispielsweise die Frage zu klären, ob es eine Knollengrößensortierung gibt, die zu einem Verstopfen des Stranges führen kann? Daraus leitet sich die Frage ab, bis zu welcher Größe die Knollen im Kollektor zerkleinert werden müssen.

Aus Umweltsicht ist es wichtig, minimal-invasive Abbautechniken zu entwickeln, die den Richtlinien „Best Available Technology“ (BAT) und „Best Environmental Practice“ (BEP) der Umweltbehörde der Vereinten Nationen (UNEP) entsprechen. Das bedeutet Abbautechniken, die den Eintrag von Sediment in das Wasser (Sedimentwolke) soweit wie möglich verringern und höchste Umweltstandards erfüllen. Da sich mit Hilfe von Modellrechnungen zurzeit nicht klären lässt, welches Verfahren am besten geeignet ist, können nur Versuche vor Ort im Rahmen von Komponententests oder Pilot Mining Tests Klarheit schaffen, die die prinzipielle Funktionalität des Systems nachweisen.



Abb. 1: Testkollektor Patania II der Belgischen Firma DEME-GSR, dessen Funktionalitäten im Frühling 2019 im belgischen und im deutschen Lizenzgebiet getestet werden.
Bild: © DEME-GSR

In Europa hat die Belgische Firma DEME-GSR einen hydraulischen Kollektorprototyp konstruiert, dessen Fahrwerk 2017 (Patania I) im belgischen Lizenzgebiet erfolgreich in 5000 m Wassertiefe getestet wurde. Für 2019 ist geplant, diese Weiterentwicklung (Patania II), die mit einem Aufnahmesystem für Knollen ergänzt wurde, im belgischen und im deutschen Lizenzgebiet zu testen. Begleitende Untersuchungen zu den Umweltauswirkungen werden durch den europäischen Forschungsverbund JPIO – MiningImpact2 durchgeführt. Bei positiver Durchführung des Tests plant die Firma bis 2023 einen Kollektor im industriellen Maßstab herzustellen.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen und weiterführende Informationen

- DEME unveils innovative nodule collector pre-prototype ‘Patania II’. (2018, 21. September). [Pressemitteilung der DEME Group, www.deme-group.com/news]. Aufgerufen am 28.11.2019.
- Ecological Aspects of Deep-Sea Mining. (o.D.). [Webseite, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 28.11.2019.
- Kalvelage, T. (2019). „Der Abbau von Manganknollen rückt in greifbare Nähe“ [Interview mit Carsten Rühlemann (BGR) und Ulrich Schwarz-Schampera (BGR)]. *Spektrum der Wissenschaft*, (12), 52-58.
- JPI Oceans. (2018). Long-term Impacts of Deep-Sea Mining. Latest Results from Marine Scientific Research (Factsheet) [jpi-oceans.eu]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Golden Eye – auf der Suche nach Massivsulfiden

Dr. Katrin Schwalenberg (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Massivsulfide gehören zu den elektrisch leitfähigsten natürlichen Gesteinen überhaupt. Das Aufspüren von Massivsulfiden in der Tiefsee gleicht jedoch der Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Zu diesem Zweck wurde „GOLDEN EYE“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine bislang weltweit einzigartige Multisensorplattform für elektromagnetische Messungen in der Tiefsee.

- Für die Erkundung von Massivsulfiden sind inaktive Vorkommen interessant, an denen die hydrothermale Aktivität bereits erloschen ist.
- Das Aufspüren von derartigen Erzvorkommen in der Tiefsee gleicht der Suche nach der Nadel im Heuhaufen.
- Mit dem GOLDEN EYE wurde eine weltweit einzigartige Multisensorplattform für elektromagnetische Messungen in der Tiefsee entwickelt.

Massivsulfide bilden sich in Folge hydrothermalen Aktivität an mittelozeanischen Spreizungszentren und sogenannten Backarc Rift-Systemen. Ihr bekanntestes Erscheinungsbild sind Schwarze Raucher, mineralische Schornsteine, die einige Zehnmeter hoch vom Meeresboden in die Wassersäule aufragen können. Sie bilden sich durch Ausfällung mineralischer Bestandteile aus heißen Fluiden, die aus der basaltischen ozeanischen Kruste aufsteigen. Um die Raucher herum wimmelt es von Leben. Krabben, Muscheln, Röhrenwürmer, Anemonen, teilweise auch Fische bilden hier angepasste Lebensgemeinschaften.

Diese aktiven Systeme sind als potentielle Lagerstätte uninteressant – zum einen auf Grund ihres artenreichen Ökosystems, zum anderen ist der Mineralgehalt noch zu gering. Für die Erkundung interessant sind inaktive Vorkommen, an denen die hydrothermale Aktivität bereits erloschen ist. Oft befinden sie sich in der näheren Umgebung der aktiven Felder. Manchmal sind sie an gelb bis rötlichen Verfärbungen erkennbar oder überdeckt von Sedimenten und Talus - basaltischen Schutthalden.

Das Aufspüren von derartigen Erzvorkommen in der Tiefsee gleicht der Suche nach der berühmten Nadel im Heuhaufen. Um im Bild zu bleiben: Die Nadeln sind inaktive Sulfidfelder etwa von der Größe eines Fußballfelds, der Heuhaufen ist die Tiefsee mit Wasserdrücken bis zu 400 bar, Temperaturen um die 1 °C, kompletter Dunkelheit, hoch korrosivem Meerwasser und schroffen Unterwassergebirgen mit Steilwänden, tiefen Gräben, Nadelspitzen und mächtigen Geröllhalden. Das Auffinden der Sulfidfelder erfordert einerseits eine hochempfindliche Messtechnik, die andererseits robust genug ist, um dem immensen Wasserdruck und der rauen Meeresbodentopographie standzuhalten.

Eine hochauflösende bathymetrische Karte vom Meeresboden ist der erste Schritt auf der Suche nach neuen Sulfidfeldern. Es folgen Untersuchungen in der Wassersäule. Mit hydroakustischen, physikalischen und geochemischen Sensorsystemen, die auf tiefgeschleppten Messplattformen installiert sind, wird die Wassersäule nach Anomalien abgesucht, die Hinweise auf hydrothermale Aktivitäten liefern. Zeigen die Daten eine Anomalie, wird im nächsten Schritt die verdächtige Stelle mit einem Videoschlitten

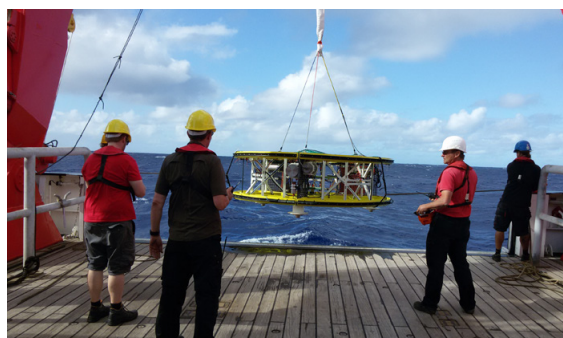
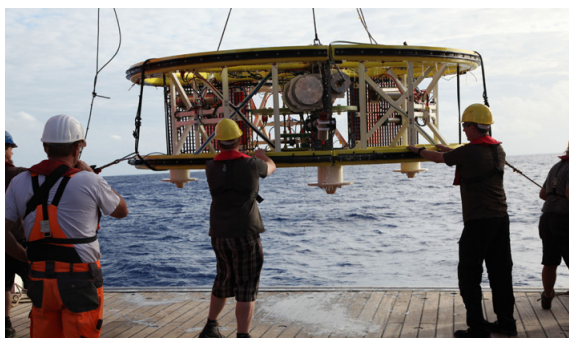


Abb.1 + 2: GOLDEN EYE auf dem Weg in die Tiefsee mit dem Forschungsschiff SONNE
Foto: K. Schwalenberg, BGR

oder mit einem Tauchroboter (ROV für remotely operated vehicle) abgesucht, der neben Videomaterial auch Probenmaterial vom Meeresboden mitbringen und direkte Messungen vor Ort durchführen kann.

Das räumliche Ausmaß einer potentiellen Erzlagerstätte wird damit allerdings noch nicht erfasst. Teile können von Sediment und Schutt überdeckt sein, und Kamerabilder und Messungen in der Wassersäule liefern noch keine Aussagen über die Tiefenerstreckung des möglichen Erzvorkommens. Wie aus vergleichbaren Lagerstätten an Land bekannt ist, kann diese einige Zehnermeter betragen.

Aufschluss hierüber liefern Bohrungen, die jedoch mit immens hohen Kosten verbunden sind und den letzten Schritt der Erkundung darstellen sollten. Hier kommen geophysikalische Untersuchungen zum Einsatz, mit deren Hilfe sich das räumliche Ausmaß bestimmen lässt. Aus Messungen an Land und an Gesteinsproben ist bekannt, dass Massivsulfide zu den elektrisch leitfähigsten, natürlichen Gesteinen gehören. Zudem haben sie besondere magnetische Eigenschaften und können elektrische Ladungen speichern ähnlich wie ein Kondensator. Im Vergleich mit Labormessungen und geochemischen Untersuchungen an Probenmaterial lassen sich sogar Aussagen zum Mineralgehalt eines potentiellen Vorkommens machen.

Wertvolle Informationen aus 3.000 Meter Tiefe

Mit diesem Ziel wurde das GOLDEN EYE Messsystem entwickelt. GOLDEN EYE ist eine bislang weltweit einzigartige Multisensorplattform für elektromagnetische Messungen in der Tiefsee. Namensgeber ist der aus glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigte, leuchtend gelbe Geräteträger, der mit seinem Durchmesser von 3.6 m an eine riesige Filmrolle erinnert. Damit ist die Plattform fast vollständig metallfrei, was die elektromagnetischen Messungen empfindlich beeinflussen würde. In der unteren Ebene ist die Sendespule installiert sowie das konzentrisch angeordnete und druckdicht vergossene Ensemble aus Kompensations-, Empfangs- und Referenzspule.

In einem Frequenzbereich von 15 Hz bis 20 kHz werden Wirbelströme im Meeresboden induziert. Die elektrischen und magnetischen Eigenschaften können dadurch bis in ca. 20 Meter Tiefe räumlich erfasst und modelliert werden. GOLDEN EYE bietet außerdem Platz für weitere Sensorsysteme. Ein elektrisches Dipol-Dipol-system liefert den Gleichstromwiderstand und die Aufladbarkeit des nahen Untergrunds in drei Raumrichtungen.

Um die Messungen durchzuführen, muss das GOLDEN EYE sicher den Meeresboden erreichen. Das bedeutet eine mehrstündige Reise durch die

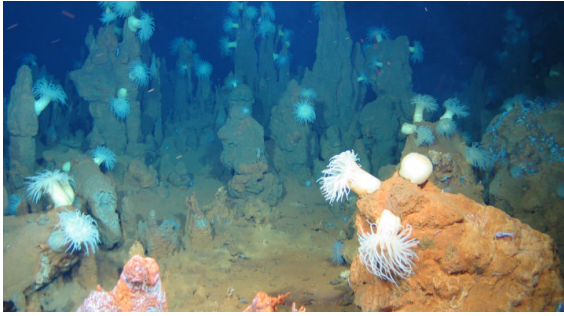


Abb. 3: Anemonen und Bakterienmatten im Umfeld von Schwarzen Rauchern. Foto: BGR

Wassersäule, bei der Wellen- und Schiffsbewegungen der Plattform zusetzen. Dabei helfen Kameras und Beleuchtung, eine akustische Positionierung und Messung des Grundabstands sowie Sonarsysteme und Lagesensoren. Gesteuert wird GOLDEN EYE passiv über die Schiffsbewegung und das Tiefseekabel. Ein Motorantrieb wie bei einem ROV würde die Messungen stören. Die Spannungsversorgung der Systeme erfolgt über Kupferleitungen im Kabel, die Kommunikation sowie die Bild- und Datenübertragung in Echtzeit über Lichtwellenleiter.

In der Tiefsee angekommen, wird GOLDEN EYE im dichten Abstand von ca. 2–5 Meter über raues Terrain und komplexe Morphologie navigiert. In der Datenzentrale an Bord des Forschungsschiffs werden dazu Videos, Lagesensoren und Bedienoberflächen der Sensorsysteme auf Monitoren überwacht. Wo es der Untergrund zulässt, wird das GOLDEN EYE am Meeresboden für eine Messung abgesetzt, oftmals bei über 30° Hangneigung.

GOLDEN EYE wurde bislang auf zwei Forschungsfahrten in die deutschen Lizenzgebiete zur Exploration von Massivsulfidvorkommen am Zentralindischen Rücken eingesetzt. Die Auswertung der Daten aus 3.000 Meter Tiefe zeigt eine deutliche Korrelation mit der Verteilung aktiver sowie fossiler Sulfidvorkommen in der Umgebung des bekannten Edmond Hydrothermalfelds. Die Auswertung und der Vergleich mit Messungen an Gesteinsproben zeigen Bereiche erhöhter Zink- und Kupferkonzentrationen, sowie die räumliche Ausdehnung und Mächtigkeit der Massivsulfidkörper. Diese Informationen werden dringend zur Rohstoffbewertung und Tonnageermittlung benötigt und dienen als Planungsgrundlage zukünftiger Beprobungs- und Bohrprogramme.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- GOLDEN EYE - ein neues elektromagnetisches Messsystem zur Erkundung von submarinen Massivsulfidvorkommen. (o.D.). [BGR-Information, www.bgr.bund.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Müller, H., Schwalenberg, K., Reeck, K., Barckhausen, U., Schwarz-Schampera, U., Hilgenfeldt, Ch. & von Dobeneck, T., (2018). Mapping seafloor massive sulfides with the Golden Eye frequency-domain EM profiler. *First Break*, 36(10), 61-67. doi:10.3997/1365-2397.n0127

Schweres Gerät auffahren: Nautilus Minerals und Japan auf dem Weg zum Tiefseebergbau

Interview mit Dr. Sven Petersen (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

In Papua-Neuguinea versucht ein kanadisches Unternehmen, dem Meer wirtschaftlich Gold und Kupfer Meer abzurufen. Wie realistisch ist das Vorhaben? Was sind möglicherweise limitierende Faktoren? Wie weit ist die Technik bei anderen Akteuren wie Japan? Dazu GEOMAR-Experte Dr. Sven Petersen im Interview.

- Das kanadische Unternehmen Nautilus Minerals plant vor Papua-Neuguinea den Abbau von Massivsulfiden. Allerdings konnte die Firma noch nicht zeigen, dass die entwickelten Abbaugeräte in der Tiefsee tatsächlich einsetzbar sind.
- Das Unternehmen hat bei den vorgeschriebenen Umweltbeobachtungsstudien transparent gearbeitet. Alle Informationen und Ergebnisse sind im Internet frei verfügbar.
- Japan will sich unabhängig von Rohstoffimporten machen. Die von Japan entwickelten Abbaugeräte wurden in der Tiefsee getestet und sie funktionieren.

Herr Petersen, vor Papua-Neuguinea will das Unternehmen Nautilus Minerals im kommenden Jahr mit dem Abbau von Massivsulfiden beginnen. Was halten Sie davon, wie ist der Stand der Dinge?

Dr. Petersen: Nautilus Minerals wollen 2019 vor Papua-Neuguinea anfangen. Das Unternehmen hat drei Abbaugeräte gefertigt und in flachem Wasser getestet. Sie brauchen noch weiteres Geld, um das Abbauschiff fertig zu stellen. Dies allein kostet locker 300 Millionen Dollar. Alle anderen Aktivitäten außerhalb des Schiffbaus sind zurückgestellt. Wenn das Geld nicht zusammenkommt, wird es keinen Bergbau geben.

Von Unternehmensseite ist jedoch zu hören, dass sie das jetzt in Angriff nehmen wollen. Das Unternehmen selbst sagt, dass sie die Einzigen sind, die untersuchen, wie die Einflüsse auf das Ökosystem sind. Da bleibt die Frage, wie repräsentativ sind diese Untersuchungen?

Dr. Petersen: Nautilus Minerals hat das als Unternehmen sehr gut gemacht. Sie haben die notwendigen und vorgeschriebenen Umweltbeobachtungsstudien an Wissenschaftler weltweit

vergeben. Die Wissenschaftler haben zwar Verträge mit Nautilus Minerals geschlossen, aber alle Untersuchungen konnten auch öffentlich publiziert werden. Eine Transparenz der Beobachtungen ist damit gegeben. Die Informationen zu Manganknollen und Massivsulfiden stehen im Netz frei zur Verfügung – übrigens im Gegensatz zu fast allen anderen Kontraktoren der Meeresbodenbehörde. Für diese Umweltuntersuchungen hat das Unternehmen sehr viel Geld ausgegeben. Dies ist auch vor dem Hintergrund bemerkenswert, dass sie eine Aktiefirma sind. Es gab Kritik daran, wie viel bzw. wie wenig sie gemacht haben, aber Kritik gibt es immer. Von Seiten derjenigen Biologen, die ich international kenne, gab es jedoch eine hohe Zufriedenheit mit dem, was dort zur Untersuchung von Lebensgemeinschaften gemacht wurde.

Welchen Nutzen wird Papua-Neuguinea haben, in dessen Hoheitsgebiet der Abbau stattfindet?

Dr. Petersen: Papua-Neuguinea ist mit 30 Prozent an der Firma beteiligt. Das heißt, von jedem Gewinn, den die Firma irgendwann mit dem Abbau erzielt, erhält Papua-Neuguinea

seinen Anteil. Papua-Neuguinea ist zwar reich an Bodenschätzen. Derzeit ist es jedoch so, dass der Landbergbau viel Geld aus Papua-Neuguinea abzieht. Ursache dafür sind die Verträge, die in der Vergangenheit geschlossen wurden. Bei dem Vertrag mit Nautilus Minerals ist das hoffentlich anders. Abschließend kann ich das aber aus jetziger Perspektive nicht beurteilen. Papua-Neuguinea hat durch die Negativ-Erfahrungen, die sie mit Bergbau-Firmen gemacht haben, gelernt, wie sie mit Verträgen umgehen. Daher denke ich, dass Papua-Neuguinea, wenn es denn irgendwann mal Gewinn machen sollte, finanziellen Nutzen daraus zieht. Sollte der Abbau aber nicht wirtschaftlich sein, macht auch das Land Verluste. Bei dem Abbau werden teilweise Arbeiter aus Papua-Neuguinea eingesetzt. Die Anzahl der Personen, die auf dem Spezialschiff arbeiten wird, ist aber natürlich begrenzt. Hinzu kommen noch einmal ein paar Leute an Land. Ob sie dort genug daran verdienen, hängt von den Vereinbarungen in den Verträgen ab.

Gibt es auch Risiken bei diesem Deal?

Dr. Petersen: Man muss sagen, diese bilateralen Verträge sind immer ein zweischneidiges Schwert. Man kann den Anteil an der Gewinnbeteiligung, den das Land bekommt, hoch anlegen. Dann bekommt man aber niemanden, der mit einem einen Vertrag schließt. Und es kann auch ein Negativ-Szenario eintreten: Wenn die Unternehmung keinen Gewinn abwirft, wird Papua-Neuguinea zu 30 Prozent an den Kosten beteiligt sein. Und im Moment laufen nur Kosten auf, und es wird kein Gewinn gemacht. Nautilus Minerals ist eine australische Firma, aber die Firma, die den Abbau macht, ist Nautilus Papua-Neuguinea Limited. Das ist ja wie so häufig in der Wirtschaft sehr verschachtelt. Das heißt: Nautilus Minerals sitzt in Brisbane, aber die Leute, die vor Ort arbeiten, sind in einer eigenständigen Firma in Papua-Neuguinea angesiedelt. Vor einigen Jahren gab es eine Wahl in Papua-Neuguinea und die Partei, die die Wahl gewonnen hat, wollte aus den existierenden Verträgen aussteigen und hat gesagt, wir halten die Verträge nicht ein. Beide Parteien sind in Australien vor Gericht gezogen und Papua-Neuguinea hat verloren. Es

musste das Geld, welches vertraglich zugesichert wurde, auch bereitstellen.

Sie sind skeptisch, was den wirtschaftlichen Erfolg angeht. Was sind aus Ihrer Sicht die limitierenden Faktoren?

Dr. Petersen: Es gibt für mich zwei Gründe. Die Geräte, die Nautilus Minerals gebaut hat oder derzeit noch baut, sowie das Schiff sind noch nie in einer relevanten Umgebung getestet worden. Sie wurden in einem See in England getestet und 2017 in Papua-Neuguinea dem Salzwasser ausgesetzt. Allerdings konnte die Firma noch nicht zeigen, dass sie in der Tiefsee tatsächlich einsetzbar sind. Als Nicht-Ingenieur und Nicht-Technologe halte ich es für vermessen anzunehmen, dass die Geräte sofort einwandfrei funktionieren. Gemeint sind die Geräte, die ganz konkret am Meeresboden den Abbau machen sollen. Daneben gibt es Japan als wichtigen Player. Japan hat im Jahr 2009 ein sehr großes Programm aufgestellt, um marine Rohstoffe in seinen Hoheitsgewässern zu untersuchen. Da Japan komplett von Rohstoffimporten abhängig ist, gibt das Land sehr viel Geld für Erkundungs- und Abbautechnologieentwicklung aus. Japan hat in wenigen Jahren Nautilus Minerals technisch bereits überholt. Das Land hat letztes Jahr (2017, Anmerkung der Redaktion) bereits die dritte Generation von Abbaugeräten in der Tiefsee getestet und es wurde dabei auch Material gefördert. Japan ist also am weitesten. Die Geräte sind gebaut, in einer relevanten Umgebung eingesetzt wurden und sie funktionieren. Ob sie jedoch auch 300 Tage im Jahr wartungsfrei und ohne größere Ausfälle funktionieren, das kann man momentan nur schwer abschätzen. Das wird die Zeit zeigen. Zum wirtschaftlichen Aspekt: In der zweiten Geräteversion Japans wurden 60 Kilogramm Erz in fünf Stunden gewonnen. 60 Kilogramm Erz, da kann man sich ausrechnen, wie viele 100 Dollar da drin sind und das Ganze bei fünf Stunden Einsatz auf hoher See, da schmilzt der Gewinn sofort dahin. Nautilus Minerals hat im Gegensatz zu Japan für das betroffene Gebiet „Solwara 1“ noch nicht einmal den ersten Abbautest gemacht. Ich denke daher, es werden noch Jahre des Finanzie-

rens und des Testens ins Land gehen, bis man an 250 Tagen im Jahr möglichst wartungsfrei fördern kann. Denn erst dann erreicht man die Gewinnzone.

Ok, nehmen wir mal an, sie schaffen das.

Dr. Petersen: Gut, gehen wir einmal davon aus, dass sie das alles hinkriegen. Dann müsste das Unternehmen über mehrere Jahre gewinnbringend arbeiten können. Das Vorkommen „Solwara 1“ hat etwa 2,5 Millionen Tonnen Erzinhalt. Das reicht für knapp 1,5 Jahre Abbau, wenn man es etwas streckt. Das Konzept der Firma Nautilus setzt aber auf einen Abbau über ca. zehn Jahre. Nautilus Minerals exploriert jedoch seit knapp 20 Jahren und es gibt keine weiteren Vorkommen, welche groß und wirtschaftlich genug sind, um nach knapp 1,5 Jahren das Vorkommen „Solwara 1“ zu ersetzen und die zehn Jahre Abbau abzudecken. Das wäre jedoch nötig, um die Investitionen wieder reinzuholen und das Ganze am Leben zu erhalten. Das Unternehmen hat nicht einmal Material, um die zweite Hälfte vom zweiten Jahr zu überstehen. Also ich mache mir da große Sorgen. Aktuell ist das Unternehmen darauf angewiesen, dass Geld über Aktienverkäufe reinkommt. Alles, was sie über diesen Weg einnehmen, geht in das Equipment. Die Explorationsarbeiten sind momentan auf ein Minimum zurückgefahren. Der letzte Geophysiker ist freiwillig gegangen, Ende letzten Jahres. Das bedeutet, sie haben momentan gar keinen Geophysiker mehr. Alles wartet auf den Bau des Schiffes, dann stellen sie auch hoffentlich wieder Leute ein.

Schauen wir auf Japan, kann es dort eher klappen?

Dr. Petersen: Ich glaube, dass es technologisch klappt. Und ich glaube nicht, dass Japan daran interessiert ist, gewinnbringend zu arbeiten. Es ist dort ähnlich wie hier in Deutschland. Immer noch wird Kohle abbaut und dieser Abbau wird seit Jahrzehnten subventioniert. Japan hat Interesse daran, sich von Rohstoffimporten unabhängig zu machen. Das heißt allerdings nicht nach dem Prinzip zu arbeiten: „Koste es, was es wolle“. Japan hat aber Rohstoffe inner-

halb seiner Hoheitsgewässer, und sie geben sehr viel Geld für die Erkundung aus, viele Millionen Dollar pro Jahr. Im letzten Jahr wurden aufgrund der hohen Erkundungstätigkeit und des Einsatzes neuer Technologien vor Japan über 20 neue Massivsulfid-Vorkommen gefunden. Bei einigen besteht zumindest die Möglichkeit, dass sie ökonomisch interessant sind. Dafür müssten von diesen Vorkommen neben Oberflächenproben auch Bohrungen durchgeführt werden. Bei allen neuen Vorkommen handelt es sich allerdings um aktive Vorkommen, da sie durch Anomalien in der Wassersäule aufgefunden wurden. Ob Japan innerhalb seiner eigenen „Ausschließlichen Wirtschaftszone“ aktive Felder abbauen will und ob es dazu auch technologisch fähig ist, kann ich nicht sagen.

Das Risiko eines Abbaus aktiver schwarzer Raucher in der sogenannten „Area“, also in den Gebieten, die von der Internationalen Meeresbodenbehörde bearbeitet werden, sehe ich als gering an. Alle Kontraktoren, die ich kenne, wollen sich an die bereits bestehenden Regularien halten, und bereits die Erkundungsregularien sagen, dass es keinen größeren – was auch immer größeren bedeutet – Einfluss auf Faunengemeinschaften am Meeresboden geben darf. Deutschland zum Beispiel hat explizit gesagt, dass nicht daran gedacht ist, aktive Vorkommen abzubauen. Die bekannten Vorkommen sind ja auch meist sehr klein und damit wirtschaftlich tatsächlich nicht interessant. Durch die austretenden Hydrothermalfluide sind diese aktiven Vorkommen durch einen niedrigen pH-Wert (= sauer) und hohe Temperaturen gekennzeichnet. Firmen und Konsortien hätten es mit hoher Wahrscheinlichkeit auch mit einer schlechten Publicity zu tun.

Das soll auch vor Papua-Neuguinea nicht gemacht werden?

Dr. Petersen: Das Vorkommen „Solwara 1“ ist schwach aktiv, das ist richtig. Dort gibt es eine Hydrothermalfauna, das würde ich nicht als inaktiv bezeichnen. Allerdings gibt es in der unmittelbaren Umgebung weitere Vorkommen mit ähnlicher Makrofauna. Von einer gänzlichen

Zerstörung dieser Lebensgemeinschaften ist daher nicht auszugehen.

Sie sagten, dass das Gebiet recht gut untersucht ist, respektive der Einfluss des Abbaus auf das Ökosystem.

Dr. Petersen: Ja, aber der Bereich, der tatsächlich abgebaut wird, wird auf jeden Fall zerstört. Mit der gesamten Makrofauna. Aber es gibt einen Referenzort – wenige Kilometer entfernt – von dem aus eine Wiederbesiedlung stattfinden könnte, entweder durch die Firma Nautilus oder auch durch die Natur selbst, ohne Hilfe, da die schwache hydrothermale Aktivität durch den Abbau nicht ausgeschaltet wird. Das bedeutet: Die den Lebensgemeinschaften zugrunde liegende Nahrungsversorgung ist durch die chemischen Komponenten in den Fluiden weitergegeben. Ich sehe das bei „Solwara 1“ insgesamt nicht so kritisch, und ich sehe auch einen möglichen Bergbau von Massivsulfiden nicht so kritisch, weil ich hoffe – vielleicht bin ich da naiv – dass aus wirtschaftlichen Gründen nur inaktive große Vorkommen für einen Abbau in Frage kommen. Nichtsdestotrotz gibt es bei diesen inaktiven Vorkommen wahrscheinlich endemische Faunengemeinschaften, meist Kleinstlebewesen, die vom „Verrosten“ dieser Massivsulfide am Meeresboden leben. Überall in der Umgebung solcher Vorkommen gibt es Mikroben und auch Makrofauna, die generell vorhanden ist und die auf dem Basaltsubstrat des normalen Ozeanbodens lebt. Aber auf diesen inaktiven Vorkommen wird es solche endemischen Faunengemeinschaft geben, die eben nur auf verrosteten Massivsulfiden vorkommen. Also auch hier kann es ein Auslöschen von ganzen Spezies geben wie bei den Schwarzen Rauchern. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass ein Abbau inaktiver Vorkommen die Sulfide zu 100 Prozent vom Meeresboden entfernt. Das ist weder technisch machbar noch wirtschaftlich sinnvoll. Der Mittelozeanische Rücken ist 67.000 Kilometer lang. Alle Erkundungen passieren derzeit in der sogenannten neovulkanischen Zone, die nur wenige Kilometer breit ist. Die weiteste Entfernung, die wir in der internationalen Erkundung

solcher inaktiven Vorkommen davon weggegangen sind, ist vielleicht 15 Kilometer. Auch unsere GEOMAR-Forschung findet relativ nah an der Rückenachse statt, nur Russland exploriert ein bisschen weiter weg.

Vielen Dank für das Gespräch.

Auszug aus einem Interview, geführt von Dr. Christina Bonanati für ESKP.

4. Handlungsoptionen

Einleitung

Die Umweltauswirkungen des Tiefseebergbaus sind zum Teil erheblich. Ökosysteme werden empfindlich gestört und Sedimentwolken entfalten noch viele Kilometer vom Abbauort entfernt ihre Wirkung. Das Verständnis dieser komplexen Prozesse muss weiter verbessert werden, wirksame Umweltregularien werden benötigt. Zudem müssen neue Konzepte für die Verarbeitung der Rohstoffe entwickelt werden, damit ein möglicher Abbau nachhaltig organisiert werden kann. Aber auch an Land muss gehandelt werden, um Ressourcen einzusparen, das Recycling zu stärken oder die Ausbildungsinhalte in der wissenschaftlichen Ausbildung anzupassen.

Themen-Überblick

- ▶ Die Vermessung des Meeresbodens
- ▶ Sedimentationsprozesse und Trübungswolken erforschen
- ▶ Strategien zur Renaturierung von Abbaugebieten
- ▶ Regeln für den Abbau: Die Verfassung der Meere und die IMB
- ▶ Rechtliche Verfahren vor dem Internationalen Seegerichtshof
- ▶ Abbau- und Managementstrategien
- ▶ Die Verarbeitung von Manganknollen nach dem „Zero-Waste-Konzept“
- ▶ Phosphor und Metalle – die Phosphorite am Meeresboden
- ▶ Kann Kobalt zukünftig in Batterien ersetzt werden?
- ▶ Von der Utopie einer Kreislaufwirtschaft
- ▶ Eine Denkfabrik für die Rohstoffwende
- ▶ Impulse für die naturwissenschaftliche Ausbildung

Die Vermessung des Meeresbodens

Dr. Anne-Cathrin Wöfl (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Betrachtet man eine Weltkarte, scheint jeder Winkel der Erde lückenlos kartiert. Selbst der Meeresboden wirkt auf Karten so, als ob bekannt sei, wie seine Oberfläche in der Tiefe der Ozeane aussieht. Dabei ist nur ein Bruchteil davon bisher erforscht.

- Aktuell gibt es für weniger als 20 Prozent der Meeresbodenoberfläche hochauflösende, direkte Tiefenmessungen.
- Eine systematische Kartierung des Meeresbodens ist jedoch wichtig für die Unterschutzstellung und Verwaltung von Schutzgebieten in der Tiefsee.
- Ein vielversprechender Weg, um die Kartierung des Meeresbodens weiter voranzutreiben, ist die Nutzung von Forschungsschiffen auf ihren Transitstrecken.

Was wissen wir über die Topographie unserer Meeresböden, der sog. Bathymetrie, eigentlich wirklich? Trägt man neueste Forschungsergebnisse zusammen, zeigt sich, dass wir für weniger als 20 Prozent der Meeresbodenoberfläche hochauflösende, direkte Tiefenmessungen haben. Fast 300 Millionen Quadratkilometer Meeresboden von der Küste bis zur Tiefsee sind im Detail noch gänzlich unbekannt. Allein für die Kartierung von küstennahen Gebieten würde ein einzelnes Schiff über 600 Jahre benötigen. 70 Prozent der Erde sind mit Ozeanen bedeckt, aber letztlich wissen wir über die Oberfläche von Mond und Mars weitaus mehr als über unsere Weltmeere.

Was sehen wir aber nun eigentlich, wenn wir uns den Meeresboden auf Weltkarten anschauen? Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Daten aus der Satellitenaltimetrie, einer Methode, deren Erfolgsgeschichte in den 1970er-Jahren begann, als die ersten Altimetersatelliten in den Weltraum geschickt wurden. Altimeter messen die Höhe der Meeresoberfläche, die die zugrundeliegende Bathymetrie widerspiegelt. Allerdings zeigen diese Daten lediglich kilometergroße Strukturen des Meeresbodens auf. Wesentlich genauer sind direkte Messungen von Schiffen oder Unterwasserfahrzeugen mit sogenannten

Fächerecholoten. Diese senden fächerförmig Schallsignale aus, die am Meeresboden reflektiert werden. Über die Zeit von der Aussendung bis zur Rückkehr des Signals, kann die Wassertiefe bestimmt werden. Schiffsecholote können zum Beispiel Strukturen von deutlich weniger als 100 Meter in der Tiefsee sichtbar machen, während Echolote an bodennah operierenden Tauchfahrzeugen sogar Strukturen im Zentimeterbereich auflösen können.

Bathymetrische Daten sind wichtig für die Sicherheit auf See, für die Definition politischer Grenzen oder auch für die Entwicklung mariner Infrastrukturen. Sie haben auch schon immer eine bedeutsame Rolle in den Meereswissenschaften gespielt, zum Beispiel bei der Entdeckung des Mittelatlantischen Rückens in den 1950er-Jahren des letzten Jahrhunderts. Die Daten finden darüber hinaus Anwendung in Ozeanmodellen, Tsunami-Prognosen, Untersuchungen von marinen Ökosystemen und vielen anderen Bereichen. Hochauflösende Karten des Meeresbodens sind aber auch unabdingbar bei der Suche nach vermissten Flugzeugen, wie durch das tragische Verschwinden des Air-France-Fluges 447 im Juni 2009 und des Malaysia-Airlines-Fluges 370 im März 2014 deutlich wurde. Die vorhandenen Daten in dem umfangreichen Suchgebiet waren

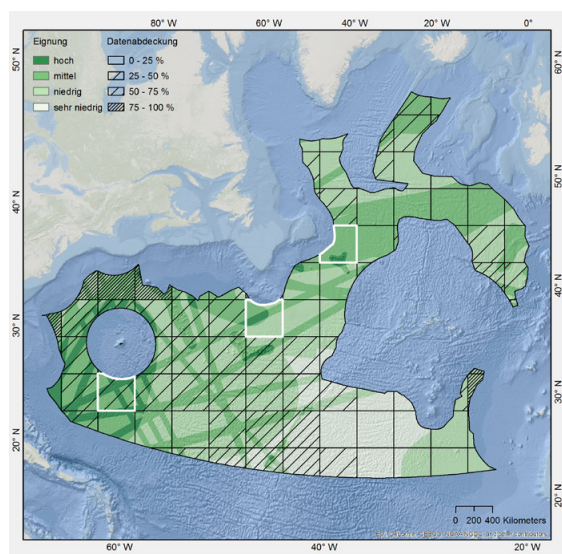


Abb. 1: Karte mit den drei identifizierten Zielgebieten sowie der Eignung und der prozentualen Datenabdeckung der einzelnen Gebiete (verändert nach Wölfel et al. 2017 mit Erlaubnis von JOT).

größtenteils zu ungenau, um mit Tauchfahrzeugen eine detaillierte Untersuchung des Meeresbodens ohne Voruntersuchung durchzuführen.

Bathymetrische Daten spielen auch eine zentrale Rolle bei der Erreichung des 14. Zieles für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen – Leben unter Wasser. Dieses zielt auf Erhaltung der ökologischen Vielfalt, nachhaltige Nutzung und gerechte Aufteilung des Ozeans und der marinen Ressourcen ab. Angestrebt wird u. a. die Unterschutzstellung mariner Ökosysteme und die nachhaltige Verwaltung von Schutzgebieten. Dazu sind aber wesentlich mehr Informationen über diese teilweise noch unbekannt Lebensräume notwendig als uns heute zur Verfügung stehen.

Welcher Teil des Meeresbodens soll als Nächstes kartiert werden?

Die lückenlose Kartierung des Meeresbodens ist eine gewaltige Aufgabe und kann nur gelingen durch internationale Zusammenarbeit und Koordination, sowie öffentliche Datenfreigabe und Strategien zur weiteren Datenaufnahme. Kostspielige Doppelarbeiten gilt es zu vermeiden

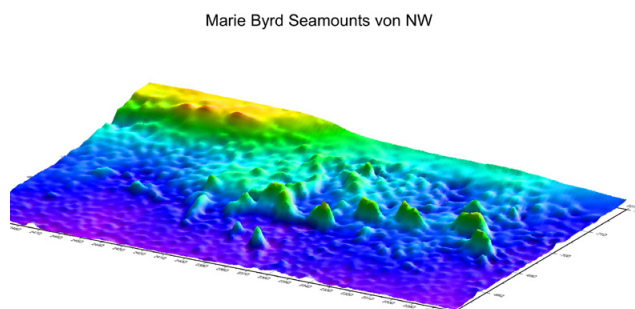


Abb. 2: 3D-Darstellung der Marie Byrd Seamounts. Grafik: R. Werner, GEOMAR; (Datengrundlage: Smith and Sandwell, 1997, Science 277)

und nachteilige Umweltauswirkungen, wie zum Beispiel Unterwasserlärm durch Schiffe und Echolote, so gering wie möglich zu halten.

Wie eine systematische Kartierung des Meeresbodens aussehen kann, zeigt ein Modellversuch im Nordatlantik von der Atlantic Seabed Mapping International Working Group (ASMIWG), der innerhalb des EU-Projektes AtlantOS durchgeführt wurde. Ziel dieses Versuchs war es, drei Gebiete für zukünftige Kartierungsvorhaben zu identifizieren. Dafür wurde das nordatlantische Hochseegebiet in 400 x 400 Kilometer große Gebiete unterteilt und jedem Gebiet ein Eignungswert zugewiesen. Die Analyse beruhte auf der Abdeckung momentan verfügbarer bathymetrischer Daten und der Verbreitung verschiedener Parameter im Untersuchungsgebiet, die gemeinsam mit Wissenschaftlern, Industrie und Umweltorganisationen ausgewählt wurden.

Zu den Parametern gehörten u. a. Meeresschutzgebiete, Luftkorridore, sowie Gebiete mit potentieller Manganknollenbildung. Für die Analyse wurden alle Parameter in 3 Kategorien eingeordnet: 1) umweltsensible Regionen, 2) Regionen von allgemeinem Interesse und 3) Regionen mit hohem Rohstoffpotential. Die Ergebnisse der Analyse zeigen die Eignung jedes einzelnen Gebietes, die sich aus dem Vorkommen der Parameter ergibt. Die Grundannahme ist, je mehr Kategorien in einem Gebiet vorkommen, also je größer das Interesse an einem bestimmten Gebiet

ist, desto geeigneter ist es für zukünftige Kartierungsvorhaben. Basierend auf den Eignungswerten sowie der Datenabdeckung wurden drei potentielle Gebiete hervorgehoben.

Das erste Zielgebiet, das Milne-Seamount Gebiet, liegt im nördlichen Teil des Untersuchungsgebiets in der Nähe des Kontinentalhangs und reicht bis in Wassertiefen von 6.000 Metern. Es beinhaltet Teile des 21.000 km² großen sog. Milne Seamount Complex MPA, eines von sieben Meeresschutzgebieten im nordatlantischen Hochseegebiet. Bisher wurden nur 13 Prozent des Zielgebietes mit Fächerecholoten kartiert. Südwestlich des Milne-Seamount Gebietes, liegt das Sohm-Plain Gebiet. Hierbei handelt es sich um eine große Tiefseeebene, aus der immer wieder vereinzelt Unterwasserhügel und -berge aufragen. In diesem Gebiet wurden bereits 24 Prozent des Meeresbodens hochauflösend kartiert. Das dritte Zielgebiet ist das östlich der US-Küste und der Karibik gelegene Sargasso-Sea-Gebiet. Auch dieses Gebiet liegt in einer Tiefseeebene. Die derzeitige Datenlage lässt erahnen, dass sich in diesem Gebiet Bereiche im sogenannten Hadal befinden, also in Wassertiefen unterhalb von 6.000 Metern. Die Datenabdeckung liegt hier bei 26 Prozent. Durch das US-amerikanische Forschungsschiff Okeanos Explorer wurde bereits im Juli und August dieses Jahres eine erste große Kartierungskampagne in dem Sargasso-Sea Gebiet durchgeführt. Insgesamt wurden über 50.000 Quadratkilometer Meeresboden mit Fächerecholoten kartiert, was ungefähr der Größe Niedersachsens entspricht.

Ziel des Modellversuchs im Nordatlantik war die Hervorhebung von Gebieten, die für Kartierungsvorhaben geeignet sind, weil an ihnen ein erhöhtes Interesse besteht. Die Ergebnisse sollten nicht dazu verleiten, Gebiete mit einem geringen Eignungswert auszuschließen. Die Analyse hat nämlich auch gezeigt, dass das Fehlen regionaler bathymetrischer Daten zu geringen Eignungswerten führen kann, da nicht ausreichend Kenntnisse über den Meeresboden vorliegen, um zum Beispiel Aussagen über Rohstoffvorkommen zu treffen oder Regionen in Schutzkonzepte einzugliedern. Daher ist es ebenso wichtig, sich auf

Regionen zu konzentrieren, die großflächige Datenlücken aufweisen. Gleichzeitig ist der Analyseansatz ein dynamisches Bewertungssystem, das neue Informationen jederzeit integrieren kann, wodurch sich auch die Priorität für ein Gebiet zeitnah verändern kann.

Jede nautische Meile zählt

Ein vielversprechender Weg, um die Kartierung des Meeresbodens weiter voranzutreiben, ist die Nutzung von Forschungsschiffen auf ihren Transitstrecken. Größere Forschungsschiffe operieren international und haben zudem häufig lange Transite zu bewältigen, sei es vom Hafen ins Untersuchungsgebiet oder zwischen verschiedenen Einsatzgebieten. Beispielsweise bestehen 15 Prozent der Strecken, die deutsche Forschungsschiffe zurücklegen, aus Transitstrecken, die zur Kartierung genutzt werden könnten. Bathymetrische Daten können uneingeschränkt in internationalen Gewässern aufgezeichnet werden und moderne Fächerecholote können inzwischen auch ohne ständige Überwachung erfolgreich betrieben werden.

Im Jahr 2015 haben drei deutsche Forschungsschiffe – Maria S. Merian, Meteor und Sonne – mit der Erhebung von bathymetrischen Daten auf Transitstrecken begonnen. Dieser Ansatz wird seitdem aktiv von der Schiffsbesatzung und von den leitenden Wissenschaftlern unterstützt. Pro Jahr kartieren diese Schiffe etwa 200.000 Quadratkilometer Meeresboden. Das entspricht zwar nur einem geringen Prozentanteil der nicht erfassten Fläche in der Tiefsee, liefert aber immer noch eine nicht unerhebliche Menge neuer Informationen über die Struktur des Meeresbodens. Vor kurzem hat sich auch das niederländische Forschungsschiff Pelagia diesem Ansatz angeschlossen.

Nach Beendigung des Transits, werden die Rohdaten zum GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel geschickt, wo sie einer Qualitätskontrolle unterzogen und Fehlmessungen entfernt werden. Anschließend werden verschiedene Datenprodukte in gängigen Formaten (z. B. Rasterformat) erstellt, um sie einem größeren

Personenkreis zugänglich zu machen. Öffentlich zur Verfügung gestellt werden Rohdaten und Datenprodukte unter einer Creative-Commons-Lizenz bei PANGAEA – Data Publisher for Earth & Environmental Science, einem digitalen Archiv für Daten aus der Erdsystemforschung und den Umweltwissenschaften.

Darüber hinaus werden die Daten an das Datenzentrum für Digitale Bathymetrie der Internationalen Hydrographischen Organisation (IHO DCDB) geschickt, das bei NOAA in Boulder, Colorado beheimatet ist. Von dort aus werden die Daten in das Seabed 2030 Projekt integriert und sind darüber hinaus für Forschende aus aller Welt frei zugänglich. Ähnliche Arbeitsabläufe gibt es inzwischen auch für den Forschungseisbrecher Polarstern. Die bathymetrischen Daten von der Polarstern werden vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) verwaltet und bearbeitet.

Ausblick

Die lückenlose Kartierung unserer Weltmeere ist in vollem Gange. Deutlich zu erkennen ist, dass die Erfüllung dieser Aufgabe nur durch internationale Zusammenarbeit und Koordination möglich ist. Datenfreigabe ist eines der zentralen Themen und ist unabdingbar für eine vollständige Inventur der weltweiten bathymetrischen Datenbestände. Ebenso wichtig ist die Entwicklung von Strategien für die zukünftige Datenaufzeichnung. Eine vollständige Karte der Weltmeere wird unser Wissen über den Meeresboden, seine Prozesse und über die Ozeane im Allgemeinen verbessern. Dieses Wissen ist ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung eines nachhaltigen Meeresmanagements und eröffnet die Chance angemessen auf moderne Herausforderungen wie Umweltzerstörung, Klimawandel, Georisiken und eine wachsende marine Industrie zu reagieren.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Das Projekt Seabed 2030

Das Seabed 2030 Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, eine verbindliche, hochauflösende bathymetrische Karte der Weltmeere bis zum Jahr 2030 zu erstellen und öffentlich verfügbar zu machen. Seabed 2030 ist ein Gemeinschaftsprojekt der japanischen Nippon Foundation und der General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO).

GEBCO arbeitet unter der Schirmherrschaft der Internationalen Hydrographischen Organisation (IHO) und der Zwischenstaatlichen Ozeanographischen Kommission (IOC) der UNESCO und ist ein Zusammenschluss führender Wissenschaftler/-innen und Forschungsorganisationen auf dem Gebiet der Meeresforschung. Beteiligt sind u. a. auch Wissenschaftler/-innen vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) und vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel.

Seabed 2030 begann offiziell auf der Ozeankonferenz der Vereinten Nationen im Juni 2017 in New York. Angetrieben wurde das Projekt von der Motivation, die Welt dazu zu ermächtigen politische Entscheidungen zu treffen, die Ozeane nachhaltig zu nutzen und wissenschaftliche Forschung zu betreiben, auf Grundlage hochauflösender, bathymetrischer Informationen. Dabei hat man sich folgende Mindestziele gesetzt, was die Auflösung der Daten in der jeweiligen Meerestiefe angeht (s. Tabelle).

Meerestiefe in m	Zellgröße in m	Meeresboden in %
0–1.500	100 x 100	13,7
1.500–3.000	200 x 200	11
3.000–5.750	400 x 400	72,6
5.750–11.000	800 x 800	2,7

Referenzen

- Mayer, L., Jakobsson, M., Allen, G., Dorschel, B., Falconer, R., Ferrini, V., Lamarche, G., Snaith, H. & Weatherall, P. (2018). The Nippon Foundation – GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World’s Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, 8(2):63. doi:[10.3390/geosciences8020063](https://doi.org/10.3390/geosciences8020063)
- Wöfl, A.-C., Jencks, J., Johnston, G., Varner, J. D. & Devey, C. D. (2017). Where to Go Next? Identifying Target Areas in the North Atlantic for Future Seafloor Mapping Initiatives. *The Journal of Ocean Technology*, 12(4), 28-42.

Sedimentationsprozesse und Trübungswolken in der Tiefsee

Dr. Annemiek Vink (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Beim Abbau von Manganknollen in der Tiefsee wird Sediment vom Meeresboden aufgewirbelt. Es bilden sich sogenannte Trübungswolken, die in bis zu 30 Kilometern Entfernung noch deutliche Spuren am Meeresboden hinterlassen. Um die Prozesse und Folgen aber wirklich zu verstehen, ist noch eine intensive Forschungsarbeit nötig.

- Trübungswolken erhöhen die natürliche Sedimentationsrate drastisch.
- Tiere, Schwämme und Korallen können dadurch beeinflusst werden.
- Bisherige Modellergebnisse zeigen, dass es noch in 20–30 km Entfernung zu erhöhten Sedimentraten kommt.

Manganknollen liegen auf weichem Tiefseesediment, das beim „Abernten“ der Knollen je nach Aufnahmetechnik des Kollektors teilweise entfernt und aufgewirbelt wird. Es entstehen Trübungswolken, die eine der wesentlichen Beeinträchtigungen für die Lebensgemeinschaften am, auf und in der Nähe des Meeresbodens darstellen. Solche Trübungswolken erhöhen die natürliche Sedimentationsrate, die nur wenige Millimeter pro tausend Jahre beträgt, drastisch. Die in direkter Nachbarschaft zum Abbauggebiet auf dem Meeresboden oder auf Knollen siedelnden Tiere werden durch herabsinkende Sedimente bedeckt, aber auch die Lebensfunktionen von Wasser-filtrierenden Lebewesen wie Schwämmen, Korallen, manchen Fischarten oder Larven können durch die erhöhte, eventuell mit freigesetzten Schwermetallen belastete Partikelfracht im Wasser beeinflusst werden.

Konstrukteure von Abbaugeräten rechnen damit, dass mit jeder Tonne Manganknollen, je nach Kollektortechnik, 2 bis 5 Tonnen Sediment aufgewirbelt und umgelagert werden. So würden für ein industrielles Abbauprojekt voraussichtlich zwischen 500 und 1000 Tonnen Sediment pro Stunde am Meeresboden freigesetzt.

Ein Großteil der Grobfraktion wird direkt hinter dem Kollektor wieder abgelagert, allerdings hat die neu gebildete Sedimentoberfläche eine andere Struktur und Zusammensetzung als vor dem Abbau und entspricht somit nicht mehr dem natürlichen Lebensraum.

Insgesamt ist es notwendig zu verstehen, wie schnell sich das aufgewirbelte Sediment wieder ablagert und wie es sich räumlich mit den Strömungen verteilt. Wichtige Fragen dabei sind: Wie verhalten sich die Tiefseesedimente, wenn sie aufgewirbelt werden? Wie schnell werden Aggregate gebildet und sinken ab? Welche Sedimentmengen setzen sich pro Tag oder Jahr in welcher Entfernung zum Abbauggebiet ab? Wie ändert sich die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Tiere? Um diese Fragen zu beantworten, müssen ozeanographische Bedingungen wie Strömungsgeschwindigkeit und -richtung am Meeresboden über Jahre hinweg untersucht werden (Aleynik et al., 2017). Weiterhin liefern realitätsnahe Labor- und Feldversuche wichtige Einblicke über Sedimenteigenschaften wie Aggregatbildung und Sinkgeschwindigkeiten (Gillard et al., 2019). Schließlich sind derartige Informationen wichtig um die Ausbreitung von



Eine künstlich erzeugte Sedimentwolke über einem Manganknollenfeld. Foto: ©BGR

Sedimentwolken zu modellieren. Diese Arbeiten wurden und werden im Rahmen des europäischen Forschungsverbundes JPIO – MiningImpact durchgeführt (JPI Oceans, 2018a, 2018b).

Bisherige Modellergebnisse aus dem Projekt zeigen, dass es im Fall eines industriellen Abbaus auch 20 bis 30 km entfernt noch zu deutlich

erhöhten Sedimentationsraten kommt. Die Ergebnisse müssen jedoch durch Abbaubersuche im industrienahen Maßstab verifiziert werden. Eine erste Möglichkeit dazu bietet ein Kollektortest der belgischen Firma DEME-GSR, der für April 2019 geplant ist. Im Rahmen des Mining-Impact-Projektes soll ein gezieltes Monitoring der dabei entstehenden Sedimentwolke durchgeführt werden.

Detaillierte Kenntnisse zur Ausbreitung der Sedimentwolken sind eine wichtige Voraussetzung hinsichtlich der Ausweisung von Schutzzonen und der Festlegung von Schwellwerten. Unklar ist beispielsweise, bis zu welcher erhöhten Sedimentationsrate und welcher Mächtigkeit der Sedimentbedeckung die Lebensgemeinschaften nicht beeinträchtigt werden.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Aleynik, D., Inall, M. E., Dale, A. & Vink, A. (2017). Impact of remotely generated eddies on plume dispersion at abyssal mining sites in the Pacific. *Scientific Reports*, 7:16959. doi:[10.1038/s41598-017-16912-2](https://doi.org/10.1038/s41598-017-16912-2).
- Gillard, B., Purkiani, K., Chatzievangelou, D., Vink, A., Iversen, M. H. & Thomsen, L. (2019). Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elementa, Science of the Anthropocene*, 7(1), 5. doi:[10.1525/elementa.343](https://doi.org/10.1525/elementa.343)
- Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans – JPI Oceans. (2018a). MiningImpact [Projektwebseite, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans – JPI Oceans. (2018b). MiningImpact 2 [Projektwebseite, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Strategien zur Renaturierung von Abbaugelieten

Dr. Felix Janssen & Dr. Thomas Soltwedel

(Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Dr. Matthias Haeckel (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Mehr als 100.000 verschiedene Arten in den Ozeanen sind mittlerweile bekannt, die biologische Vielfalt ist jedoch noch weit größer und viele Arten noch nicht entdeckt. Gerade in der Tiefsee stößt man bei jeder Probenentnahme auf weitere unbekannte Arten. Belastbare Aussagen zu einer potentiellen Wiederbesiedlung abgebauter und gestörter Flächen können nur auf der Basis intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen getroffen werden.

-
- Die Beurteilung des Wiederbesiedlungspotentials hängt vom Verständnis der Ökologie der Organismen ab. Es braucht u. a. Kenntnisse zu Lebens- und Reproduktionsweisen.
 - Konnektivitätsstudien können Informationen zum Verbreitungs- und Wiederbesiedlungspotential geben – sind aber bei seltenen Arten nicht anwendbar.
 - Es gibt einige Ideen, eine Wiederbesiedlung zu unterstützen. Untersuchungen zur Machbarkeit im industriellen Maßstab und zur Wirksamkeit stehen noch aus.
 - Ohne eine wissenschaftliche Bewertung der Handlungsoptionen zur Reduktion der Schädigungen und zur Renaturierung auf Basis zusätzlicher Studien sollten keine Lizenzen für einen großflächigen, industriellen Abbau vergeben werden.
-

Die biologische Vielfalt im Ozean stellt einen Schatz dar, dessen Umfang wir erst langsam erfassen. Im Rahmen des sogenannten Census of Marine Life sind in einem Jahrzehnt mehr als 100.000 Arten zusammengetragen worden. Im Rahmen der Explorationsaktivitäten und in Forschungsprojekten zu den Umweltfolgen von Tiefseebergbau sind in den letzten Jahren zahlreiche weitere Taxa identifiziert und beschrieben worden. Dies schließt vor allem auch Untersuchungen in Gebieten des pazifischen Manganknollengürtels in der Clarion- Clipperton Bruchzone (CCZ) ein, die zuvor kaum beprobt wurden.

Diesen wertvollen neuen Erkenntnissen steht die Einsicht gegenüber, dass wir derzeit von einem vollständigen Arteninventar immer noch weit entfernt sind. Jede neue Probenahme enthält typischerweise immer noch unbekannte Arten von denen viele Einzelfunde sind oder nur in sehr geringen Abundanzen angetroffen werden. Prinzipiell hat Tiefseebergbau zwei unterschied-

liche negative Auswirkungen auf die Fauna des Meeresbodens: eine plötzliche Dezimierung der dort vorkommenden Tierbestände und eine dauerhafte Veränderung des Lebensraumes. Das Prekäre an einem solchem menschlichen Eingriff in die betreffenden Ökosysteme ist, dass sich die Organismen in ihrer Entwicklungsgeschichte über Millionen von Jahren an die vorherrschenden Umweltverhältnisse angepasst und dadurch in der Regel nur eine geringe Toleranz gegenüber Umweltveränderungen haben.

Wiederbesiedlung erst nach Generationen

An kleinen bis mittelgroßen experimentellen Störungen in pazifischen Manganknollengebieten, die in der ersten Phase des industriellen Interesses an mineralischen Ressourcen der Tiefsee durchgeführt wurden, konnten in Folgestudien lang anhaltende Änderungen der Abundanzen und Zusammensetzungen der bodenlebenden

(benthischen) Gemeinschaften nachgewiesen werden. Viele Änderungen im Vergleich zu ungestörten, zum Teil nur wenige Meter entfernten Vergleichsgebieten, waren für mehrere Jahrzehnte nachweisbar und belegen eindrücklich, dass eine Wiederbesiedlung auch nach geringer Störung Generationen in Anspruch nehmen kann.

Belastbare Aussagen zu einer potentiellen Wiederbesiedlung abgebauter und gestörter Flächen können nur auf der Basis intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen getroffen werden. Dabei sind die Erkenntnisse ökosystemspezifisch und nicht auf andere mineralische Ressourcen übertragbar: Die abiotischen Gegebenheiten und die vorkommenden Lebensgemeinschaften sind zu unterschiedlich.

So herrschen im Bereich aktiver Schote (engl. vents), an denen sulfidische Erze vorkommen, relativ artenarme, jedoch Individuen-reiche und hochproduktive Gemeinschaften vor, die an ein sich ständig änderndes Habitat angepasst sind. Ganz im Gegensatz dazu zeichnen sich die Gemeinschaften in den Manganknollen-Ökosystemen der Clarion-Clipperton-Zone durch hohe Artenzahlen, aber niedrige Individuenzahlen und eine Anpassung an gleichmäßige Bedingungen und geringste Nahrungseinträge durch Partikel-export vom oberflächennahen Wasserkörper aus. Wieder andere Bedingungen herrschen an untermeerischen Bergen, sogenannten Seamounts, an denen Kobaltkrusten zu finden sind oder an erloschenen Schloten jenseits der hydrothermal aktiven Mittelozeanischen Rücken.

Einschätzung des Wiederbesiedlungspotentials

Ein breites Spektrum wissenschaftlicher Erkenntnisse ist nötig, um auf der Basis der Ökologie der Organismen das Wiederbesiedlungspotential nach erfolgtem Abbau vorherzusagen. Ein Inventar der vorkommenden Arten und der Verteilungsmuster der einzelnen Spezies und die Identifikation spezifischer Gemeinschaften wären hier nur ein allererster Schritt.

Weitere, relevante Informationen betreffen die Lebens- und Ernährungsweise der Organismen und ihre Habitatansprüche, aber auch die Interaktionen der Spezies untereinander. Entscheidend ist aber vor allem die Kenntnis der Reproduktionsweisen, Geschlechtsreife, Reproduktionszyklen, sowie der Larventypen, ihrer Lebensdauer und Verbreitungsweise: benthisch/ am Meeresboden lebend, benthopelagisch/ der Lebensraum zwischen Freiwasser und Meeresboden und pelagisch/ uferferner Freiwasserbereich. Leider liegen derart umfangreiche Informationen allenfalls für einige Hydrothermalsysteme Mittelozeanischer Rücken in nennenswertem Umfang vor. Eine entsprechende Datenbasis für die artenreicheren und Individuenärmeren Gemeinschaften der anderen potentiellen Abbaugebiete aufzubauen, wäre nur mit einem immensen Aufwand möglich.

Genetischer Austausch zwischen Populationen verschiedener Gebiete

Eine Alternative zu einer Vorhersage einer potentiellen Wiederbesiedlung anhand detaillierter Untersuchungen zur Lebens- und Fortpflanzungsweise, stellen Untersuchungen der Konnektivität dar. Dabei wird anhand molekularer Methoden der Genaustausch zwischen Individuen einer Art an verschiedenen Standorten quantifiziert. Stehen weit voneinander entfernte Populationen miteinander in engem Genaustausch, lässt das auf die Fähigkeit zur Wiederbesiedlung aus ungestörten Gebieten über weite Distanzen schließen.

Konnektivitätsuntersuchungen sind besonders aussagekräftig, wenn die Verbreitungsmechanismen und die Richtungen des Individuen-Austauschs bekannt sind. Auf dieser Grundlage sind gezielte Vorhersagen zu einer möglichen Wiederbesiedlung möglich z. B. über Simulationen des Larventransports mit den Bodenwasserströmungen.

Untersuchungen zur Konnektivität erfordern aufwändige molekulare Untersuchungen und sind nur für eine Auswahl der vorkommenden Taxa durchführbar. Das liegt vor allem daran, dass die Untersuchungen auf Arten beschränkt

sind, die in großen Individuenzahlen vorkommen – also ohnehin schon eine gute Ausgangslage für Verbreitung und Arterhalt besitzen.

Ein Ausweg aus diesem Dilemma ist, für Konnektivitäts-Studien bestimmte Arten als Modellorganismen auszuwählen, deren Lebensweise und Reproduktionspotential die vorhandenen Organismen bestmöglich repräsentieren. Da die bisher vorliegenden Erkenntnisse meist noch keine gezielte Identifikation repräsentativer Modellorganismen erlauben, müssen andere Kriterien für die Auswahl herangezogen werden.

Modellorganismen mit kontrastierenden Lebensweisen

In der ausgedehnten und artenreichen CCZ werden Modellorganismen ausgewählt, die sich nach den verfügbaren Informationen in ihrer Lebensweise möglichst stark unterscheiden. So werden sowohl mobile Organismen untersucht als auch solche die ortsfest (sessil) sind. Daneben werden Spezies ausgewählt, deren Eier und Larven eine planktische Phase haben und solche, die ihre Nachkommen lebend gebären. Weiter werden Modellorganismen ausgewählt, die eine kleinräumige Verbreitung aufweisen und mit anderen verglichen, die über große Distanzen hinweg vorkommen. Auf Basis der ermittelten, relevanten räumlichen Skalen des Genaustauschs und Erkenntnissen zu den relevanten Eigenschaften der jeweiligen Organismen wird versucht, Abschätzungen zur potentiellen Verbreitung auch für andere Spezies abzuleiten.

Neben der Frage der Verbreitung erfordert eine erfolgreiche Besiedelung, dass in der Abbauregion geeignete Lebensbedingungen angetroffen werden. Da zahlreiche Organismen auf das Erz selbst als Lebensraum angewiesen sind (z. B. sessile Organismen auf Manganknollen oder an den Schloten von Hydrothermalquellen), kann eine Wiederbesiedlung durch die gleichen Arten nur stattfinden, wenn ein Teil der Erze zurückgelassen wird oder andere geeignete Substrate zur Verfügung stehen.

Bereitstellung künstlicher Substrate und Nahrung

Im Zusammenhang mit dem Tiefseebergbau wurden bereits verschiedene Renaturierungsmaßnahmen diskutiert. Im Fall von Manganknollen-Ökosystemen beinhalten denkbare Maßnahmen z. B. ein Ausbringen von artifiziellen Knollen, die durch Verpressen von Sedimenten oder Knollen-Aufbereitungsrückständen erzeugt werden. In jüngerer Zeit haben einige wissenschaftliche Versuche mit künstlichen Substraten vor allem in Hydrothermal-Ökosystemen stattgefunden. Das Bergbauunternehmen Nautilus Minerals, das einen Abbau von Massivsulfiden in nationalen Gewässern vor Papua-Neuguinea im „Solwara“-Projekt vorbereitet, plant laut ihrer eigenen Umweltverträglichkeitsprüfung Betonplatten oder andere artifizielle Substrate als zusätzliche Oberflächen auszubringen und damit eine Wiederbesiedlung zu unterstützen. Außerdem sollen Gesteine komplett mit der anhaftenden Fauna vor dem Abbau in umliegende Gebiete ausgelagert und, nach Abschluss der Abbau-Tätigkeit, wieder zurückgebracht werden.

Auch die Anreicherung der gestörten Meeresböden mit organischem Material, um Nahrung für eine rasche Wiederbesiedlung und eine effektive Reproduktion der eingewanderten Organismen zu fördern, wird als eine mögliche Option diskutiert. Ungeachtet der großen Zahl verschiedener Ideen, fehlen bislang aber systematische und langfristig angelegte Experimente, die die Effektivität der Maßnahmen zur Förderung der Wiederbesiedlung auf relevanten Skalen untersuchen. Solche Experimente müssten so rasch wie möglich begonnen werden, da viele Jahre vergehen können, bevor die Experimente wissenschaftlich aussagekräftig ausgewertet werden können. Dies ist umso mehr der Fall, wenn die Studien neben der ersten Besiedlung auch die Entwicklung funktionierender Gemeinschaften einschließen sollen.

Resümee und weiterführende Informationen

In allen Teilaspekten der Umweltfolgen von Tiefseebergbau und geeigneter Maßnahmen, um die Schädigung der Ökosysteme zu minimieren und eine Erholung zu fördern, bestehen nach wie vor große Wissenslücken. In Bezug auf die Förderung einer Wiederbesiedlung ist nach jetzigem Kenntnisstand nicht absehbar, welche der vorgeschlagenen Renaturierungsmaßnahmen im industriellen Maßstab durchführbar und geeignet sind, die mit dem Abbau einhergehenden Schädigungen der benthischen Gemeinschaften und Funktionen zu kompensieren. Ebenso sind – wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben – zusätzliche Erkenntnisse nötig, um geeignete Abbaustrategien zu identifizieren und zu bewerten.

Ohne zusätzliche Untersuchungen der Handlungsoptionen zur Reduktion der Schädigungen und zur anschließenden Renaturierung, fehlen aus wissenschaftlicher Sicht die Voraussetzungen für eine informierte gesellschaftliche Entscheidung für oder gegen den Tiefseebergbau ebenso wie für die Vergabe von Lizenzen für einen großflächigen, industriellen Abbau.

Weitere Informationen zu künftigem Forschungsbedarf und Empfehlungen zu Management und Regularien für Tiefseebergbau sind den Fact Sheets des MiningImpact Projektes und den Publikationen im EU-Projekt MIDAS Projektes zu entnehmen. Hinweise finden sich zum Beispiel im Kapitel „Recommendations for future regulations“ und den Reports D4.1, D4.2, D9.5, D9.6.

Referenzen

- JPI Oceans. (2015). Pilot Action. Ecological Aspects of Deep-Sea Mining (Factsheet 1) [miningimpact.geomar.de/publications]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- JPI Oceans. (2016). Long-term Impacts of Deep-Sea Mining. Latest Results from Marine Scientific Research. (Factsheet 2) [miningimpact.geomar.de/publications]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- JPI Oceans. (2017). Long-term Impacts of Deep-Sea Mining Results of the MiningImpact project (Factsheet 3) [miningimpact.geomar.de/publications]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Managing Impacts of Deep-Sea Resource exploitation – MIDAS. (2013). Welcome to MIDAS [Projektwebseite, eu-midas.net]. Aufgerufen am 09.11.2018
- Managing Impacts of Deep-Sea Resource exploitation – MIDAS. (2016). *Implications of MIDAS results for policy makers: Recommendations for future regulations* [eu-midas.net]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Regeln für den Abbau: Die Verfassung der Meere und die Internationale Meeresbodenbehörde IMB

Interview mit Dr. Sven Petersen (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Ein tragfähiges internationales Regelwerk, noch bevor der Run auf einen Rohstoff beginnt? Dies wäre ein Novum in der Menschheit. Die „United Nations Convention on the Law of the Sea“ hat sich genau das zum Ziel gesetzt. Sie beschreibt die Hohe See mit ihren Ressourcen als gemeinsames Erbe der Menschheit. Über die Nutzung der Rohstoffe am Meeresboden wacht die Internationale Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen (IMB). Sie ist für alle mineralischen Ressourcen am Meeresboden zuständig. Wie funktioniert der Regelapparat? Kann ein solcher Abbau auch umweltschonend gestaltet werden? Dazu ein Interview mit Dr. Sven Petersen, Experte für marine Rohstoffe am GEOMAR in Kiel.

-
- Die Internationale Meeresbodenbehörde (IMB) ist außerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone für die Rohstoffe verantwortlich und kann dort Erkundungs- und Abbaulizenzen vergeben.
 - Nur Länder, die das Seerechtsübereinkommen UNCLOS ratifiziert haben, können Anträge auf Erkundungs- und Abbaulizenzen stellen oder unterstützen.
 - Die IMB entwickelt aktuell als Abbauregeln den sogenannten „Mining Code“, den Bergbau-Kodex für den Tiefseebergbau.
-

Herr Petersen, die Internationale Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen vergibt Lizenzen für die Nutzung mariner Rohstoffe am Meeresboden außerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszonen der Nationalstaaten. Wie werden diese Lizenzen vergeben, wie wird entschieden, ob der Abbau ökologisch verträglich ist oder warum ein Land eine Lizenz bekommt?

Dr. Petersen: Ganz oft wird gesagt oder gedacht, dass man auf dem Ozean machen kann, was man will. Das war auch lange Zeit so, bereits in den 1970er-Jahren wurden Manganknollen gefördert. Diese Gewinnung von marinen Rohstoffen hat vielen Regierungen in den sogenannten Entwicklungsländern nicht gefallen, weil sie die Gefahr sahen, dass die Bodenschätze in der Tiefsee nur den reichen Ländern zur Verfügung stehen. Daher wurde ein Prozess angestoßen, der 1982 in das Seerechtsübereinkommen der

Vereinten Nationen mündete, der „UN Convention on the Law of the Sea“, UNCLOS. Darin werden die Ressourcen der Tiefsee als gesamtes Erbe der Menschheit angesehen.

1994 wurde dann von den Vereinten Nationen die Internationale Meeresbodenbehörde IMB ins Leben gerufen (*engl.: International Seabed Authority, ISA*), um marinen Bergbau zu ermöglichen. Sie hat ihren Sitz in Jamaica. Sie entwickelt aktuell als Abbauregeln den sogenannten „Mining Code“, den Bergbau-Kodex. Dieser bezieht sich auf die Gesamtheit der von der Internationalen Meeresbodenbehörde herausgegebenen Regeln, Vorschriften und Verfahren zur Regulierung der Erkundung und des Abbaus von Meeresmineralien im internationalen Meeresbodenbereich. Erste Codes wurden bereits früher erstellt: Beispielsweise gibt es bereits Verordnungen zur Erkundung von polymetallischen

Knollen sowie von polymetallischen Sulfiden. In der jetzigen Entwurfsfassung zur Regelung von Abbau-Lizenzen, die seit 2017 vorliegt, sind auch Vorschriften enthalten, um negative Umweltauswirkungen zu vermeiden.

Was ist dort geregelt? Wie funktioniert das Regelwerk?

Dr. Petersen: Nach den in UNCLOS festgelegten Regularien darf ein Abbau nur stattfinden, wenn er allen zu Gute kommt. Aus diesem Grunde wurde die Gesetzgebung für die Meere so angepasst, dass ein Staat neben seinen Territorialgewässern (zum Hoheitsgebiet eines Staates gehört das sogenannte Küstenmeer, es beinhaltet 12 nautische Meilen) auch Zugriff in den Ausschließlichen Wirtschaftszonen (200 Seemeilen) hat. Alles, was außerhalb der nationalen Gesetzgebung ist, nennt sich „The Area“ (das Gebiet). Hier beginnt die Hohe See. Die Internationale Meeresbodenbehörde ist für die Rohstoffe verantwortlich und kann dort Erkundungs- und Abbaulizenzen vergeben. Und nur dort. Innerhalb der 200-Seemeilen-Zone hat ein Land Zugriff auf die Wassersäule (Fischerei) und alles was im Meeresboden ist. Hier endet die Überwachung des Abbaus durch die Meeresbodenbehörde.

Es gibt ja immer wieder Diskussionen, wo die Ausschließliche Wirtschaftszone beginnt.

Dr. Petersen: Länder können einen Antrag auf die Erweiterung des Festlandssockels über die Ausschließliche Wirtschaftszone hinaus stellen, wenn sie zeigen können, dass die Geologie ihrer jeweiligen Kontinentalsockel über diese 200 Seemeilen hinausgeht. Dann kann die Ausschließliche Wirtschaftszone durch die „UN-Kommission für die Auswahl eines Kontinentalsockels“ bis zu 350 Seemeilen erweitert werden. Diese Erweiterung gilt aber nur für den Meeresboden und nicht für z. B. die Fischereirechte. In vielen Bereichen sind Öl- und Gasvorkommen außerhalb von 200 Seemeilen bekannt, und durch diese Regelung wollten sich die Länder Öl- und Gasrechte sichern. Von der Gesamtfläche des Ozeans sind jetzt noch 50 Prozent unter internationaler UN-Gesetzgebung, „The Area“ genannt. 41 Prozent sind „Ausschließliche Wirtschaftszonen“ und neun Prozent fallen unter die

derzeit eingereichten Anträge zur Erweiterung des Festlandssockels. Was die marinen Rohstoffe betrifft, steht also nur noch die Hälfte des Ozeans unter internationaler Beobachtung.

Was macht die Internationale Meeresbodenbehörde genau? Welche Aufgaben hat sie? Und wie funktioniert die Beantragung von Lizenzen?

Dr. Petersen: Viele Leute denken, die Internationale Meeresbodenbehörde soll auf die Umwelt achten. Das ist jedoch nicht ihre eigentliche Aufgabe. Vielmehr soll sie marinen Bergbau möglich machen, unter anderem auch deswegen, damit Geld gewonnen wird, das dann auch für sogenannte Entwicklungsländer zugänglich ist („Common Heritage of Mankind“). Diese Länder wollen ja von einem möglichen Abbau profitieren. Nur Länder, die UNCLOS ratifiziert haben, können Anträge auf Erkundungs- und Abbaulizenzen stellen oder unterstützen – aktuell sind das 168 Länder plus die EU. Es gibt aber durchaus Länder, die das Abkommen nicht unterschrieben haben. Dazu zählen beispielsweise die Vereinigten Staaten von Amerika. Die USA dürfen deshalb z. B. keine eigene Manganknollenlizenz beantragen.

Wer kann noch Lizenzen beantragen?

Dr. Petersen: Neben den Staaten, die zur UN gehören und UNCLOS unterschrieben haben, können auch Firmen oder Einzelpersonen, die einem Staat zugeordnet sind und von einem Staat unterstützt (Sponsor) werden, Anträge einreichen. Der juristische Partner für die Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen ist demnach immer ein Land. Eine Firma könnte zum Beispiel eine durch Deutschland gesponserte Erkundungslizenz beantragen. Mit diesem Schritt sind dann auch rechtliche Pflichten für das Land verbunden. Wenn es zu dramatischen Unfällen kommt, die Hunderte von Millionen Euro kosten können, ist das Land unter Umständen regresspflichtig und nicht die Firma. Das heißt, es muss sehr gute Verträge geben zwischen den Industriepartnern und dem jeweiligen Staat, damit der Staat juristisch gut abgedeckt ist. Für Deutschland wäre so etwas kein Problem. Aber momentan gibt es viele Erkundungslizenzen für den Manganknollenabbau, die von

Industriefirmen eingereicht werden mit Partnerländern wie Nauru, Tonga oder Kiribati, die eventuell nicht über die notwendige juristische Erfahrung verfügen. Wenn es da zu einem Unfall kommt, dessen Folgen 500 Millionen oder eine Milliarde Euro kosten, dann sollten diese Verträge für die jeweiligen Länder schon relativ gut abgesichert sein.

Was passiert dann?

Dr. Petersen: Die Firma oder der Staat sucht sich z. B. für die Manganknollen eine Fläche aus, die er haben möchte, durch die Regularien festgelegt auf 300.000 Quadratkilometer. Diese Fläche wird untersucht und zwei Hälften bestimmt, die den gleichen Wert haben sollten. Diese werden der Internationalen Meeresbodenbehörde IMB vorgelegt, damit sie festlegt, welchen Teil sie selbst einbehält. Mit dem anderen Teil darf der Antragsteller weiterarbeiten, erkunden und irgendwann eine Bergbaulizenz beantragen. Die Meeresbodenbehörde behält den zweiten Teil ein und reserviert sie für Entwicklungsländer. Sie können sie dann nutzen, wenn sie selbst über die technischen Möglichkeiten verfügen oder anderen Interessenten zur Verfügung zu stellen.

Wie sieht das Antragsverfahren genau aus? Gibt es wirksame Kontrollmechanismen?

Dr. Petersen: Als 1994 die Internationale Meeresbodenbehörde angefangen hat, wurde zuerst über die Regularien der Erkundungslizenzvergabe diskutiert. Das hat viele Jahre gedauert und dann wurden 2001 die ersten sechs Anträge für Erkundungslizenzen auf Manganknollen gestellt. Diese Erkundungslizenzen haben, wie gesagt, eine Laufzeit von 15 Jahren. Nach acht Jahren muss der Lizenzinhaber bzw. -halter für Manganknollen und Kobaltkrusten die Hälfte abgeben; nach weiteren drei oder vier Jahren – hier bin ich mir nicht ganz sicher – nochmals 25 Prozent. Das heißt, das Areal wird immer kleiner, was sinnvoll ist. Denn so kann der nächste Kontraktor in dem Areal Erkundungsarbeiten durchführen. Nach 15 Jahren kann dann der Lizenzhalter einen Antrag auf Abbau stellen. Dieser Antrag wird, wie auch die Erkundungsanträge, an die Legal and Technical Com-

mission (LTC) innerhalb der Meeresbodenbehörde gestellt, dort bearbeitet und zur Entscheidung an den Council weitergereicht.

Wie arbeitet dieses Gremium?

Dr. Petersen: Dieses Gremium bestand am Anfang aus knapp über 20 Leuten, die von den jeweiligen Ländern berufen werden und auf freiwilliger Basis einmal im Jahr zusammenkamen und meist den Erkundungslizenzen zugestimmt haben. Grundsätzlich muss man sagen: Die Meeresbodenbehörde ist dafür verantwortlich, Meeresbergbau zu ermöglichen. Daher wurde gerade am Anfang kein Antrag abgelehnt. Die Anträge, die vom LTC kontrolliert werden, sind umfangreich. Die Antragsteller müssen darlegen, dass sie die Technologie und die finanziellen Mittel für die Erkundung haben. Sie müssen offenlegen, was sie in den nächsten Jahren machen möchten. Geologen, aus denen sich das LTC zuerst hauptsächlich zusammensetzte, sind nicht besonders bekannt dafür, auf Grund der Bedrohung von einzelnen Fadenwürmern Anträge auf Erkundungslizenzen zurückzustellen. Es ist schon lange ein großer Kritikpunkt, dass in diesem Entscheidungsgremium nicht die richtigen Leute sitzen, um Umweltbeeinträchtigungen überhaupt feststellen zu können. Denn ein Geologe kann den Einfluss einer vorgeschlagenen Technologie für den Abbau auf die Umwelt oft nicht beurteilen. Inzwischen sind neben den vielen Geologen aber auch Juristen im LTC, die sich jetzt aus 30 Personen zusammensetzt. Es sollte auch erwähnt werden, dass die Meeresbodenbehörde keinen Einfluss auf die Fachrichtung der entsendeten Mitglieder des LTC hat. Dies ist Sache der Länder. Aber auch Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs) wie Greenpeace, WWF und viele andere sind durch einen Beobachterstatus eingebunden. Ihre Einflussmöglichkeiten sind jedoch immer noch relativ gering und sie können die Entscheidungen des LTC nicht beeinflussen oder verhindern.

Gibt es internationale Regeln, um ökologische Auswirkungen des Tiefseebergbaus einzugrenzen?

Dr. Petersen: Im Moment gibt es Regularien für die Erkundung von Knollen, Krusten und

Massivsulfiden, in denen geregelt ist, was gemacht werden darf und mit welchen Umweltauswirkungen. Die Internationale Meeresbodenbehörde versucht derzeit, die Abbauregularien in einem mehrstufigen Prozess unter Einbindung aller Stakeholder zu konzipieren. Im Februar (2018) bin ich zum dritten Treffen nach London gefahren, bei dem notwendige Änderungen und Änderungswünsche angesprochen wurden. Diese Änderungen wurden dann auf den Jahrestreffen der Meeresbodenbehörde im März und im Juli 2018 weiter diskutiert.

Wo gibt es aus Ihrer Sicht noch Regelbedarf?

Dr. Petersen: Den größten Regelbedarf gibt es tatsächlich bei der Frage, welchen Einfluss man durch den marinen Bergbau erlaubt. Und da kommen natürlich unterschiedliche Interessen ins Spiel. Ich gebe mal ein Beispiel: Ein Manganknollen-Crawler, der etwa 18 m breit ist, wird eine Sedimentwolke aufwirbeln. Diese Sedimentwolke gilt neben dem Entfernen des ganzen Substrats als größtes Gefährdungspotential. Die Sedimentwolke kann über den Bereich, der abgebaut wird, hinaus verdriften und Gebiete beeinträchtigen, in denen selber nicht abgebaut wird. Diese Auswirkungen gilt es zu minimieren.

Wie kann so etwas funktionieren?

Dr. Petersen: Theoretisch sollte man dafür Grenzwerte festlegen. Beispielsweise: welche Partikelkonzentration darf in einem Kubikmeter Wasser in einem Kilometer Entfernung noch vorhanden sein? Dann wären die Ingenieure gefragt, ob sie dies einhalten können. Aber das kostet Geld und reduziert den Gewinn. Jetzt könnte der Ingenieur fragen: „Aber natürlich können wir das machen, wie hoch ist denn dieser Grenzwert?“ Von der Wissenschaft wird man hierzu allerdings derzeit keine Antwort bekommen. Aber wir müssen die Frage beantworten: Wie viel Zentimeter Sedimentbedeckung erlauben wir 100 Meter von der Abbauregion entfernt? Solche technischen Grenzwerte für den Abbau sind das, was derzeit fehlt. Die Wissenschaftler müssen hinzugezogen werden, sie müssen aber auch die nötigen Zahlen liefern. Denn der Ingenieur benötigt diese Grenzwerte, damit er sein Abbaugerät oder auch den gesamten Abbauplan dementsprechend anpassen kann. Dies fehlt momentan. Es reicht nicht aus, zu sagen dieses oder jenes muss aus Umweltschutzgründen minimiert werden. Notwendig wird es, messbare Grenzwerte festzulegen.

Vielen Dank für das Gespräch

*Auszug aus einem Interview, geführt von
Dr. Christina Bonanati für ESKP.*

Referenzen und weiterführende Informationen

- Die Rechtsordnung der Ozeane. (2010). In J. Lehmköster (Hrsg.), *World Ocean Review 1 – WOR1. Mit den Meeren leben – ein Bericht über den Zustand der Weltmeere* (S. 200-207) [worldoceanreview.com]. Hamburg: maribus gGmbH.
- JPI Oceans. (2017). Long-term Impacts of Deep-Sea Mining Results of the MiningImpact project (Factsheet 3) [miningimpact.geomar.de/publications]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Umweltbundesamt – UBA. (2019, 8. April). Tiefseebergbau [www.umweltbundesamt.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Die Entwicklung des Mining Code, ein Blick in die Zukunft

Dr. Carsten Rühlemann (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR)

Um Prospektion, Exploration und Abbau der Rohstoffe vom Meeresboden des internationalen Ozeans zu regulieren ist die IMB dabei, den „Mining Code“ zu entwickeln, dessen Regeln, Vorschriften und Verfahren für die beiden erstgenannten Tätigkeiten in separaten Regelwerken für die drei Rohstofftypen der Tiefsee vorliegen. Zurzeit erarbeitet die IMB die Regularien für den Abbau. Die Rechts- und Fachkommission der IMB hat im Juli 2016 den ersten Arbeitsentwurf dieser Regularien und im August 2017 sowie Juli 2018 überarbeitete Fassungen, sogenannte „draft regulations“ vorgelegt, die auf der Internetseite der IMB verfügbar sind.

Die jeweiligen Versionen der „draft regulations“ werden u. a. durch Regierungen, Behörden, Lizenznehmer, Wirtschaftsunternehmen und Umweltverbände kommentiert. Diese Stellungnahmen veröffentlicht die IMB auf ihrer Internetseite. Der Fokus des aktuellen Entwurfs liegt zunächst auf den Manganknollen, weil die Exploration für diesen Rohstoff am weitesten fortgeschritten ist. Er ist in 13 Teile gegliedert und umfasst auf 113 Seiten 105 Regularien, 14 Anlagen (bislang teilweise nur schlagwortartig vorliegend) und eine Begriffserklärung.

Der Entwurf reguliert die formalen Aspekte der Antragstellung, den Schutz der Umwelt über Umweltverträglichkeitserklärungen inklusive Umweltmanagement und -monitoring sowie Öffentlichkeitsbeteiligung, den Arbeitsschutz, die Überwachung des Abbaus durch Inspektoren, die Gebühren und Abgaben und den Stilllegungsplan (siehe auch Jenisch, 2018).

Um die Höhe der Abgaben angemessen festlegen zu können, lässt die IMB durch das Massachusetts Institute of Technology (MIT) derzeit ein Finanz- und Wirtschaftsmodell erarbeiten, das auf den Ergebnissen mehrerer Finanzworkshops und bereits vorliegender Wirtschaftlichkeitsstudien, u. a. aus Deutschland (Ramboll IMS Ingenieurgesellschaft et al., 2016), aufbaut und so-

wohl die Kosten für die metallurgische Verarbeitung der Knollen als auch für das Umweltmonitoring berücksichtigt.

Das Ziel der IMB ist, das Regelwerk im Sommer 2020 zu verabschieden. Neben der bislang ungeklärten Frage zur Höhe der Abgaben sind dazu vor allem noch weitere Arbeiten an den Standards und Richtlinien zum Schutz der Meeresumwelt notwendig. Da die meisten Grenz- und Schwellwerte zurzeit noch nicht festgelegt werden können, weil das Wissen über die Belastbarkeit der Tiefseeökosysteme dafür noch nicht ausreicht, verfolgt die IMB grundsätzlich den Ansatz des adaptiven Managements.

Es ist derzeit nicht wahrscheinlich, dass der Tiefseebergbau im internationalen Ozean innerhalb der nächsten Dekade beginnt. Deshalb sollen Umweltgrenzwerte und Monitoringmaßnahmen durch regelmäßige Anpassungen mit fortschreitendem wissenschaftlichen Erkenntniszuwachs in den kommenden Jahren in das Regelwerk aufgenommen werden, so wie es bereits erfolgreich für die Explorationsregularien praktiziert wird.

Referenzen

- Jenisch, U. (2018). Neue Regeln für den Tiefseebergbau. Draft Exploitation Regulations 2018. *Hydrographische Nachrichten*, 34(111), 38-46. doi:[10.23784/HN111-08](https://doi.org/10.23784/HN111-08)
- Ramboll IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburger Weltwirtschaftsinstitut (HWWI), MH Wirth GmbH, Koschinsky, A. & Jenisch, U. (2016). *Analyse des volkswirtschaftlichen Nutzens der Entwicklung eines kommerziellen Tiefseebergbaus in den Gebieten, in denen Deutschland Explorationslizenzen der Internationalen Meeresbodenbehörde besitzt, sowie Auflistung und Bewertung von Umsetzungsoptionen mit Schwerpunkt Durchführung eines Pilot-Mining-Tests* (Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Referat I C 4, Projekt Nr. 59/15) [www.bmwi.de]. Hamburg: Gutachtergemeinschaft.

Rechtliche Verfahren vor dem Internationalen Seegerichtshof in Hamburg

Prof. Dr. Nele Matz-Lück

(Christian-Alberts-Universität zu Kiel, Walther-Schücking-Institut für Internationales Recht)

Welche Fälle verhandelt das „Seabed Disputes Chamber“ am Internationalen Seegerichtshof in Hamburg? Wie würde eine Streitschlichtung beim Tiefsee-Bergbau aussehen und welche Rechtsverbindlichkeit hätten künftige Urteile?

- Die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten am Internationalen Seegerichtshof in Hamburg ist grundsätzlich zuständig für alle Streitigkeiten, die sich aus den Regelungen zum Tiefseebergbau ergeben können.
- Dabei kann es sich um Streitigkeiten zwischen Staaten handeln, aber auch private Unternehmen oder die Meeresbodenbehörde können Streitparteien ein.
- Ob und welche Fälle zukünftig zur Entscheidung vor die Kammer gebracht werden, wird voraussichtlich stark vom tatsächlichen Beginn kommerzieller Meeresbergbauaktivitäten abhängen.

Die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten am Internationalen Seegerichtshof hat bestimmte Zuständigkeiten, die im Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (SRÜ) aufgelistet sind. Bisher handelt es sich dabei weitestgehend um rein theoretische Fallkonstellationen. Die Kammer ist bislang erst in einem einzigen Verfahren tätig geworden. Dabei handelte es sich um die Erstellung eines Rechtsgutachtens zu Fragen der Verantwortlichkeit und der Pflichten von Staaten, die Tiefseebergbauaktivitäten eines Vertragsnehmers unterstützen, und nicht um die Beilegung eines Rechtsstreites zwischen zwei Parteien.

Die Zuständigkeit für Rechtsgutachten, die auf Antrag der Versammlung oder des Rates der Internationalen Meeresbodenbehörde zur Klärung rechtlicher Fragen des Tiefseebergbaus erstellt werden müssen, steht neben der Zuständigkeit für streitige Verfahren. Die Kammer ist grundsätzlich zuständig für alle Streitigkeiten, die sich aus den Regelungen zum Tiefseebergbau erge-

ben können. Das beinhaltet Streitigkeiten zwischen Vertragsstaaten, zwischen einem Staat und der Meeresbodenbehörde, aber auch zwischen den Parteien eines Vertrages zum Tiefseebergbau und weitere Konstellationen.

Diese Bestimmungen stellen insofern eine Besonderheit dar, als internationale Streitbeilegung sich in den meisten Fällen auf Streitigkeiten zwischen Staaten bezieht. Vor der Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten können aber auch private Unternehmen, die Meeresbodenbehörde und das bisher nicht gegründete Bergbau-Unternehmen der Meeresbodenbehörde („the Enterprise“) Parteien sein und zukünftige Verfahren einleiten.

Streitschlichtung beim Tiefsee-Bergbau

Die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten ist ein vom SRÜ eingerichtetes „Gericht im Gericht“, das mit einer Besetzung von elf Richterinnen und Richtern des Seegerichtshofs einsatzbereit

sein muss, sodass jederzeit Fälle an die Kammer herangetragen werden können. Alle im SRÜ genannten möglichen Parteien können bei Streitigkeiten über rechtliche Fragen des Tiefseebergbaus ein Verfahren vor die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten am Internationalen Seegerichtshof bringen. Dass dies auch für solche Antragsteller gilt, die im Abschnitt über den Tiefseebergbau genannt sind und die keine Vertragsstaaten sind, hebt das Statut des Internationalen Seegerichtshofs noch einmal ausdrücklich hervor.

Da die Streitbeilegung im Rahmen des Seerechtsübereinkommens insoweit verbindlich ist, als Vertragsstaaten sich mit der Ratifikation des Vertrages der Gerichtsbarkeit bereits unterworfen haben, bedarf es keiner gesonderten Zustimmung eines Staates zum jeweiligen streitigen Verfahren mehr. Darin unterscheidet sich die Streitbeilegung für seerechtliche – und damit auch tiefseebergbaurechtliche – Streitigkeiten im Rahmen des SRÜ von anderen internationalen Verfahren, in denen Staaten zumeist für jede Streitigkeit neu entscheiden können, ob sie sich der juristischen Streitbeilegung vor einem internationalen Gericht unterwerfen. In Übereinstimmung mit den Regeln über die Arbeitsweise des Gerichtshofes gibt es auch für Verfahren vor der Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten ein schriftliches Verfahren, in dem Schriftsätze zwischen den Parteien ausgetauscht werden, eine mündliche Verhandlung und schlussendlich ein verbindliches Urteil.

Mögliche Fälle, die in Zukunft auftreten können

Ob und welche Fälle zukünftig zur Entscheidung vor die Kammer gebracht werden, wird voraussichtlich stark vom tatsächlichen Beginn kommerzieller Meeresbergbauaktivitäten abhängen. Es sind bereits heute, vor allem aber in der Zukunft vielfältige Konstellationen denkbar, die unter die Zuständigkeit der Kammer am Seegerichtshof fallen würden. Es sind sowohl Streitigkeiten zwischen Staaten und der Meeresbodenbehörde über die Auslegung der Regeln

des kommerziellen Tiefseebergbaus möglich, sobald dieser stattfindet, als auch zwischenstaatliche Streitigkeiten über Rechte und Pflichten z. B. zu den Gebieten, in denen Lizenzen vergeben werden als auch Fragen des Meeresumweltschutzes.

Auf Erfahrungswerte lässt sich in tiefseebergbaurechtlichen Fragen noch nicht zurückgreifen. Betrachtet man die Anzahl der Fälle, die Staaten bisher an den Internationalen Seegerichtshof in allgemeinen seerechtlichen Fragen herangetragen haben, so ist diese verhältnismäßig niedrig. Auch dies ist für die Frage zukünftiger Fälle vor der Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten aber nur wenig aussagekräftig.

Gerade der größere Kreis antragsberechtigter Parteien einschließlich privater Unternehmen kann dazu führen, dass von der Kompetenz der Richterinnen und Richter in Hamburg verstärkt Gebrauch gemacht werden wird, wenn und sobald die potentiell streitträchtigen Aktivitäten am Meeresboden zunehmen. Daneben scheint die Möglichkeit der Rechtsgutachten durch die Kammer ein erfolgversprechender Weg Rechtsfragen zu klären, bevor es zu konkreten Streitigkeiten zwischen Parteien kommt. Hier wären die Versammlung und der Rat der Meeresbodenbehörde gefragt, entsprechend Fragen zu formulieren und der Kammer zur Entscheidung vorzulegen.

Rechtsverbindlichkeit der Urteile

Alle Entscheidungen der Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten in streitigen Verfahren sind rechtlich bindend und gelten zwischen den Parteien zum jeweiligen Fall. Obwohl sie für andere Staaten und Unternehmen nicht verbindlich sind, kommt diesen Entscheidungen eine Rechtsfortbildungswirkung zu, indem die Auslegung rechtlicher Bestimmungen für die Zukunft und über das Ursprungsverfahren hinaus geprägt wird.

Rechtsgutachten, wie das Gutachten, das die Kammer für Meeresbodenstreitigkeiten im Jahre 2011 erstellt hat, sind nicht rechtlich bindend.

Auch ihnen kommt aber eine erhebliche Wirkung zu, da Staaten sich bei der Entfaltung von rechtlich relevanten Aktivitäten daran orientieren. Auch hier hat die Kammer eine mögliche rechtsgestaltende Funktion, da viele rechtliche Fragen des Tiefseebergbaus ungeklärt sind.

Durchsetzungsmöglichkeiten im engeren Sinne, also z. B. Strafen oder Geldbußen bei Nichtbefolgung durch eine Partei, kennt das internationale Seerecht nicht. Die Nichtbefolgung eines bindenden Urteils stellt allerdings einen Bruch des Völkerrechts dar, für den der entsprechende Staat völkerrechtlich verantwortlich ist. Das Recht der Staatenverantwortlichkeit kennt bestimmte Gegenmaßnahmen, die ein Staat bei einem ihm gegenüber erfolgtem Rechtsbruch ergreifen darf. Ob solche Maßnahmen aber tatsächlich ergriffen werden und wie erfolgreich sie sind, fällt eher in den Bereich internationaler Politik. Die Durchsetzung einer Entscheidung gegenüber Privaten dürfte über den Staat der Staatszugehörigkeit des Unternehmens bzw. über den Staat, der die Bergbautätigkeit eines Vertragsnehmers unterstützt, dahingegen leichter zu erwirken sein.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Abbau- und Managementstrategien

Dr. Felix Janssen & Dr. Thomas Soltwedel

(Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Dr. Matthias Haeckel (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Momentan wird erwartet, dass Schädigungen durch den Abbau reduziert werden können, wenn gestörte Flächen durch ungestörte Areale unterbrochen sind. Es besteht jedoch noch umfassender Forschungsbedarf, um wissenschaftlich fundierte Empfehlungen zu geeigneten Abbaustrategien zu geben. Es kann gegenwärtig noch nicht vorhergesagt werden, inwieweit diese geeignet sind, durch Tiefseebergbau verursachte Umweltfolgen abzumildern und irreversible Schädigungen abzuwenden.

-
- Es wird erwartet, dass die Schädigungen durch den Abbau reduziert werden können, wenn gestörte Flächen durch ungestörte Areale unterbrochen sind.
 - Organismen benötigen Mindestgrößen zusammenhängender Habitats.
 - Die Areale sollten die natürlich vorkommenden, unterschiedlichen Habitat-Klassen umfassen.
-

Die wichtigsten Anforderungen an einen nachhaltigen Tiefseebergbau liegen im Erhalt der Artenvielfalt und der Funktionen der Lebensgemeinschaften in den Tiefsee-Ökosystemen, in denen ein Abbau mineralischer Ressourcen stattfinden würde. Dies stellt die Voraussetzung dafür dar, intakte Ozeane für folgende Generationen zu erhalten und steht im Einklang mit der Forderung des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen (UNCLOS), die Meeresumwelt vor „schädlichen Auswirkungen“ von Ressourcenabbau zu schützen und dafür zu sorgen, dass beträchtliche und schädliche Veränderungen vermieden werden.

Neben moralischen Verpflichtungen und internationalen Abkommen sprechen auch wirtschaftliche Erwägungen gegen eine irreversible Zerstörung von Habitats und Lebensgemeinschaften als Nebeneffekt von Tiefseebergbau. Besteht doch die Gefahr, dass im Zuge eines naturgemäß nicht nachhaltigen Abbaus der in geologischen Zeiträumen entstandenen mineralischen Rohstoffe, auch potentiell nachwachsende biologische und genetische Ressourcen dauerhaft verloren gehen.

Für die Flächen, in denen die mineralischen Rohstoffe entnommen werden, muss davon ausgegangen werden, dass deren Fauna durch den Abbau weitestgehend ausgelöscht wird. Für diese Areale kann eine gewisse Reduktion langfristiger Auswirkungen nur über eine Optimierung der Abbautechnologien erreicht werden – etwa indem eine Kompaktierung und Störung des Meeresbodens und ein Verlust der nahrungsreicheren Meeresbodenoberfläche vermieden wird. Mehr noch als die verwendeten Abbaugeräte, werden aber wohl die Abbaustrategien über die Ausdehnung, den Grad, und die Zeitskalen der Ökosystem-Schädigung entscheiden. Neben der Gesamtgröße der Abbaugelände ist hier vor allem die räumliche Anordnung der Abbauflächen von Belang.

Räumliche Anordnung der Abbauflächen

Es wird erwartet, dass die Schädigungen durch den Abbau reduziert werden können, wenn gestörte Flächen durch ungestörte Areale unterbrochen sind. In den ungestörten Flächen können die für die Region charakteristischen

Gemeinschaften weiter existieren und Organismen, die nicht auf die abgebauten Substrate angewiesen sind, wie etwa Sedimentbewohner in Manganknollen-Ökosystemen, können von dort aus wieder in die Abbaugelände einwandern. Daneben können diese ungestörten Areale als sogenannte „stepping-stones“ dabei helfen, eine Isolation voneinander weit entfernter Populationen zu verhindern.

Ob Abbaustrategien, z. B. bezüglich der Geometrie und Anordnung der abgebauten und ungestörten Areale, oder aber im Flächenverhältnis bzw. in der jeweiligen Größe der Einzelflächen geeignet sind, die Schädigung der Gemeinschaften zu minimieren, hängt vor allem von den für die verschiedenen Spezies relevanten räumlichen Skalen ab. So benötigen Organismen oft Mindestgrößen zusammenhängender Habitats zur erfolgreichen Reproduktion und können sich mit ihren Larven nur über begrenzte Distanzen verbreiten.

Bei der Gestaltung der Abbaugelände und der ungestörten Flächen muss außerdem berücksichtigt werden, wie eng der „Saum“ der sekundären Störungen durch die von den Abbaugeräten verursachten Suspensionswolken eingegrenzt werden kann. Davon und von der Toleranz der Organismen hinsichtlich der Partikelfracht in Suspension oder der Mächtigkeit der Abdeckung mit Partikeln, die sich aus den Sedimentwolken absetzen, hängt letztendlich die tatsächliche Größe der zur Verfügung stehenden „ungestörten“ Flächen ab.

Habitats-Klassen als Anhaltspunkte für Abbaustrategien

Zum jetzigen Zeitpunkt besteht noch ein großer Mangel an Erkenntnissen, die nötig wären, um belastbare Empfehlungen zu geeigneten Abbaustrategien geben zu können. Das betrifft vor allem biologische Informationen aber auch Information zu den technischen Merkmalen der Abbaugeräte und ihres Verhaltens unter realen Bedingungen. Hier sind kurzfristig keine Durchbrüche zu erwarten: Neben den biologischen und technologischen Informationen, die für Vor-

hersagen nötig wären, fehlen bislang auch Untersuchungen zu unterschiedlichen Abbaustrategien.

Ein erster Ansatz für eine sinnvolle räumliche Planung von Test- und Abbau-Aktivitäten könnte darin bestehen, die Ausdehnung ungestörter Areale zwischen den Abbaugeländen so zu wählen, dass sie die natürlich vorkommenden, unterschiedlichen Habitats umfassen, wie sie zum Beispiel von hochauflösenden akustischen Daten abgeleitet werden können. Dabei finden insbesondere das Bodenrelief und die Bedeckung mit weichen Sedimenten oder aber Hartsubstraten, wie z. B. Manganknollen, Beachtung. Weitere Anhaltspunkte für Skalen natürlicher Variabilität können aus Foto-Surveys oder einfachen, probenbasierten Analysen biologischer und biogeochemischer Parameter gewonnen werden. Folgende Parameter erscheinen geeignet für eine erste Charakterisierung der Ökosysteme:

- die Verbreitung großer Organismen an der Meeresboden-Oberfläche (Megafauna)
- die Besiedlungsdichte und Biomasse der Organismen im Meeresboden
- die Nahrungsverfügbarkeit am Meeresboden, die beispielsweise über Pigmente abgesunkener planktischer Algen abgeschätzt wird
- die Abbauraten organischer Materialien durch die Meeresbodenbewohner, die anhand der Redoxzonierungen im Porenwasser ermittelt werden können
- die Intensität und Tiefe der Sedimentumlagerung durch die Organismen im Meeresboden, die aus vertikalen Profilen natürlicher Radioisotope abgeleitet werden kann

Einbettung der Abbau-Aktivitäten in großräumige Strategien

Das Management der Aktivitäten – z. B. bezüglich Größe, Zahl, und Anordnung der Abbau-Lizenzen – sollte in großräumige Strategien auf regionalen bis hin zu globalen Skalen eingebettet sein. Dies ermöglicht eine gemeinsame Betrachtung der Aktivitäten aller Bergbau-Lizenznehmer und schafft die Voraussetzung, Tiefseebergbau mit den anderen Nutzungen der Ökosysteme abzustimmen und die Interessen der

Fischerei, Schifffahrt oder der Unternehmen, die Unterwasserkabel verlegen und betreiben, zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen sollten, in Übereinstimmung mit Vorschlägen des Umweltprogramms der Vereinten Nationen, hierarchisch angelegte Management-Pläne entwickelt werden.

Eine solche Herangehensweise schlagen Prof. Philip Weaver (Seascope Consultants) und Dr. Daniel Jones (NOC, Southampton) in einem Konzeptpapier für die Internationale Meeresbodenbehörde vor. Dabei wird ein globaler Plan mit einem Plan für die einzelnen Regionen, zum Beispiel für die Clarion-Clipperton-Bruchzone mit ihren Manganknollen-Vorkommen oder dem Mittelatlantischen Rücken, an dem vor allem Massivsulfide auftreten, kombiniert. Die globalen und regionalen Pläne bilden dann gemeinsam die Grundlage für die Umweltverträglichkeitsprüfungen und Managementpläne der Lizenznehmer für die einzelnen Abbauprojekte.

In die großräumigen Planungen sollten natürlich die existierenden Erkenntnisse aus den Untersuchungen der benthischen Ökosysteme einfließen. Von Relevanz ist hier beispielsweise die Frage, wo Biodiversitäts-Hotspots liegen oder in welchem Austausch Populationen auf großen Skalen stehen. Zum jetzigen Zeitpunkt müssen die Planungen erst einmal auf den verfügbaren Daten aufbauen, sowie auf Parametern, die schnell und über größere Areale hinweg erfasst werden können. Großräumige Produktivitätsverteilungen können anhand von Satellitendaten

abgeschätzt werden. Auch schiffsbasierte Bathymetriemessungen sind zum Teil bereits vorhanden oder können relativ rasch aufgenommen werden. Diese Karten des Meeresbodens sollten sukzessive durch optische und akustische Untersuchungen kleinerer Strukturen am Meeresboden sowie durch Verteilungsmuster größerer Organismen ergänzt werden. Für den Atlantik wird bereits ein erster regionaler Plan (Regional Environmental Management Plan, REMP) mit einem Fokus auf Tiefseebergbau unter großer Beteiligung der Wissenschaft entwickelt (Internationale Workshops, z. B.: 1 / 2).

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass nach wie vor umfassender Forschungsbedarf besteht, um wissenschaftlich fundierte Empfehlungen zu geeigneten Abbaustrategien zu geben. Noch kann nicht vorhergesagt werden, inwieweit diese geeignet sind, durch Tiefseebergbau verursachte Umweltfolgen abzumildern und größere, irreversible Schädigungen abzuwenden. Um eine Balance zwischen Rohstoffbedarf und einer strikten Auslegung des Vorsorgeprinzips zu finden, sind abgestufte Operationen nötig, die dazu genutzt werden sollten, die Auswirkungen von Abbauaktivitäten und Optionen zu ihrer Abschwächung wissenschaftlich zu untersuchen. Solche Operationen sollten neben Experimenten auf relevanten räumlichen und zeitlichen Skalen auch Komponententests, Pilot-Miningtests und Abbaumaßnahmen in kleinerem Maßstab einschließen und Lizenzgebiet-übergreifend und unabhängig wissenschaftlich bewertet werden.

Referenzen

- European Commission. (2018, Februar 1). Workshop: Towards the development of a strategic Environmental Management Plan for deep seabed mineral exploration and exploitation in the Atlantic basin [webgate.ec.europa.eu]. Maritime Forum – European Commission.
- International Seabed Authority. (2018). Workshop for Developing a Framework for Regional Environmental Management Plans (REMPs) for Polymetallic Sulphide Deposits in Mid-Ocean Ridges (27-29 June 2018) | International Seabed Authority [www.isa.org.jm].

Die metallurgische Verarbeitung von Manganknollen nach dem „Zero-Waste-Konzept“

Dr. Thomas Kuhn (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR)

Die wertvollen Rohstoffe in Manganknollen machen nur einen kleinen Teil der Gesamtknollen aus. Bei den momentan verfügbaren Verarbeitungsverfahren würde ein Großteil der Knollenanteile ungenutzt auf Deponien landen. Damit die Nutzung von Manganknollen nachhaltig organisiert wird, müssen neue Wege eingeschlagen werden.

- Die in Manganknollen potentiell enthaltenen Rohstoffe, d. h. Metalle wie Kobalt, Nickel oder Kupfer, machen lediglich bis zu drei Gewichtsprozent aus.
- Aus diesem Grund wurde ein Verfahren entwickelt, welches die Verwendung der gesamten Knolle im Sinne eines „Zero-Waste-Ansatzes“ ermöglicht.
- Dieses „Zero-Waste-Konzept“ ist bislang weltweit einmalig und wurde im erweiterten Labormaßstab (20–30 Kilogramm Knollen pro Versuch) bereits erfolgreich getestet.

Zur Wertschöpfung beim Abbau mariner mineralischer Rohstoffe gehören neben der Gewinnung und dem Transport des Rohstoffs vom Meeresboden auch die Extraktion der Metalle und die Herstellung verkaufsfähiger Zwischenprodukte. Ein Verfahren zur Extraktion von Metallen aus Manganknollen existiert im industriellen Maßstab noch nicht, da es keine landgebundenen Lagerstätten gibt, die den Manganknollen ähnlich sind und daher keine entsprechende Verarbeitungsindustrie aufgebaut wurde. Die Entwicklung eines solchen Verfahrens sowie der Aufbau entsprechender Industrieanlagen beanspruchen nach aktuellen ökonomischen Modellen 50–60 Prozent der Investitionskosten und rund die Hälfte der Betriebskosten eines industriellen Manganknollenabbaus.

Manganknollen sind potentielle Rohstoffe für die Metalle Kobalt, Nickel, Kupfer und Molybdän, die allerdings nur in relativ geringen Mengen in den Knollen enthalten sind. Sie machen lediglich bis zu drei Gewichtsprozent aus. Bisher wurden im Labormaßstab Extraktionsverfahren entwickelt, die sich in den meisten Fällen nur auf diese Metalle beschränken. Es ist u. a. aufgrund

des Nachhaltigkeitsaspektes jedoch nicht mehr vertretbar, den Großteil der Knollen, nämlich die Eisen- und Manganoxid-Trägerphasen, ungenutzt zu deponieren. Aus diesem Grund wurde von den Instituten für Metallurgische Prozesstechnik & Metallrecycling (IME) und Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR) an der RWTH Aachen gemeinsam mit der BGR ein kombiniertes hydro- und pyrometallurgisches Verfahren entwickelt, welches die Verwendung der gesamten Knolle im Sinne eines „Zero-Waste-Ansatzes“ ermöglicht. Unter „Zero-Waste“ wird hierbei die Herstellung verkaufsfähiger Zwischenprodukte aus den Manganknollen verstanden, ohne dass eine Restphase deponiert werden muss. Benutzte Reaktionsmittel wie Flussmittel oder Säuren sollen entweder im Kreislauf geführt oder in die Zwischenprodukte eingebaut werden.

Konventionelle Extraktionsverfahren intelligent miteinander verbinden

Konventionelle Verarbeitungsverfahren für mineralische Rohstoffe bestehen in der Regel aus einer mechanischen Aufbereitung zu Voranreicherung von Wertstoffen in Konzentraten, ge-

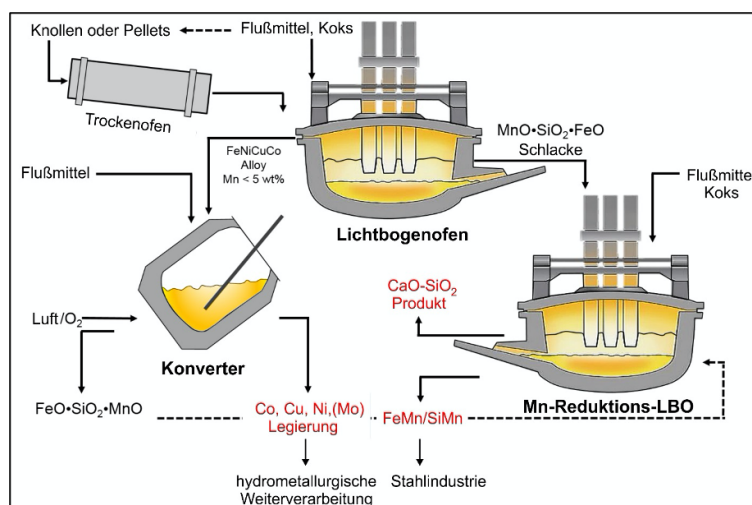


Abb. 1: Optimierte, „Zero-Waste“-Prozessroute zur metallurgischen Verarbeitung von Manganknollen. Der rot markierte Text stellt die Zwischenprodukte der pyrometallurgischen Verarbeitung dar. Grafik: RWTH Aachen/IME

folgt von einer metallurgischen Weiterverarbeitung zu Metallen. Die mechanische Aufbereitung von Manganknollen mittels konventioneller Aufbereitungsverfahren wie zum Beispiel Magnetscheidung, Dichtentrennung oder Flotation ist nicht durchführbar, weil die Trägerphasen der Metalle (Mangan- und Eisenoxide) sehr feinkörnig ausgebildet und miteinander verwachsen sind. Daher müssen die Knollen nach einer Trocknung und Vorbrechung komplett aufgeschlossen werden. Hierzu wurde der sogenannte INCO-Prozess des früheren deutsch-kanadischen Konsortiums Ocean Management Inc. (OMI) adaptiert und weiterentwickelt (siehe Friedmann et al., 2016).

In diesem Verfahren werden die Knollen zunächst mit Flußmitteln und Koks in einen Elektrolichtbogenofen chargiert. Durch die chemische Reduktion der Oxide mit Kohlenstoff entsteht eine Eisen-Nickel-Kupfer-Kobalt-Molybdän-Metallphase. Weiterhin wird eine manganreiche Schlacke gewonnen, die in weiteren Aufschmelzungsschritten zu Ferromangan und Silicomangan reduziert wird. Beide Zwischenprodukte werden bei der Stahlherstellung verwendet. Ein weiteres Produkt des pyrometallurgischen Prozesses ist eine Kalzium- und Silizium-reiche Schlacke für die Bauindustrie (s. Abb.1, rechte Seite).

Die im ersten Schmelzschrift gebildete eisenreiche Metallphase wird in einen Konverter überführt, um die Zielmetalle Nickel, Kupfer, Kobalt und Molybdän vom Eisen zu reinigen (s. Abb. 1, linke Seite). Die so entstandene eisenarme Metall-Legierung wird hydrometallurgisch unter Verwendung spezieller Verfahren wie zum Beispiel Ionenaustauscher, Solventextraktion oder Gewinnungselektrolyse weiterverarbeitet und in Zwischenprodukte überführt. Hierzu zählen beispielsweise Kobaltsalze für die Lithium-Ionen Batterieherstellung oder Kathoden-Kupfer.

Dieses „Zero-Waste-Konzept“ ist bislang weltweit einmalig und wurde im erweiterten Labormaßstab (20–30 Kilogramm Knollen pro Versuch) bereits erfolgreich getestet. In einem nächsten Schritt wird dieses Verfahren im Rahmen eines Demonstrationsprojektes in den industriellen Maßstab überführt. Nur so kann die Machbarkeit des „Zero-Waste-Konzeptes“ im industrienahen Maßstab nachgewiesen werden. Dieser Schritt ist neben der technologischen Realisierung auch für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit und die technische Auslegung eines Aufbereitungswerkes notwendig.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

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

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

* SEY = Summe der Seltene Erden Elemente und Yttrium

Referenzen

- Friedmann, D. & Friedrich, B. (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 (Hrsg.), *Advances in Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts* (S. 97-104). Cham: Springer. doi:[10.1007/978-3-319-48769-4_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48769-4_10)

Phosphor und Metalle – die Phosphorite am Meeresboden

Dr. Hermann Kudrass (Zentrum für Marine Umweltwissenschaften MARUM, Universität Bremen)

Phosphorite enthalten den Phosphor, der als Düngbestandteil für die hohe Produktivität der globalen Landwirtschaft unverzichtbar ist. Der Abbau von Phosphorit am Meeresboden wird immer wahrscheinlicher und die enthaltenen Metalle könnten mitgenutzt werden.

- Wegen hoher Transportkosten werden Phosphorit-Vorkommen im Meer wirtschaftlich immer interessanter.
- Zudem sind diese Vorkommen wegen der geringen Wassertiefe, in der sie sich befinden, relativ leicht abzubauen.
- Aber der Abbau ist mit erheblichen Umweltrisiken verbunden. So könnten vor der Küste Namibias die lokalen Benthohabitate beschädigt werden.

Eigentlich gibt es genug Phosphorit auf der Erde. Die großen Lagerstätten in Nordafrika, im Nahen Osten, in China und Nordamerika könnten beim jetzigen Verbrauch den Weltmarkt für Phosphatdünger über einige Jahrhunderte versorgen. Aber die ungleiche Verteilung der Phosphorit-Lagerstätten auf der Nordhalbkugel führt zu langen Transportwegen des Massenprodukts Phosphor und erhöht die Kosten für die Landwirtschaft auf der Südhalbkugel. Eine lokale Förderung würde die Transportkosten und damit den CO₂-Footprint verringern. Gleichzeitig würde sich die Abhängigkeit von fernen Lieferanten reduzieren. Zudem könnten vor Ort Arbeitsplätze geschaffen werden.

Aus diesem Grund wurden die marinen Phosphorit-Vorkommen in Neuseeland, Namibia, Peru und auch in Mexiko in den letzten Jahren intensiv exploriert (Foto). Das Vorkommen in Neuseeland ist relativ klein und befindet sich in 500 Meter Wassertiefe. Es könnte den Bedarf der lokalen Landwirtschaft von einer Million Tonne pro Jahr für 25 Jahre decken. Weitaus größer sind die Phosphorit-Vorkommen vor den Küsten Namibias (s. Karte S. 86) und Mexikos. Sie umfassen mehr als die zehnfache Menge Neusee-

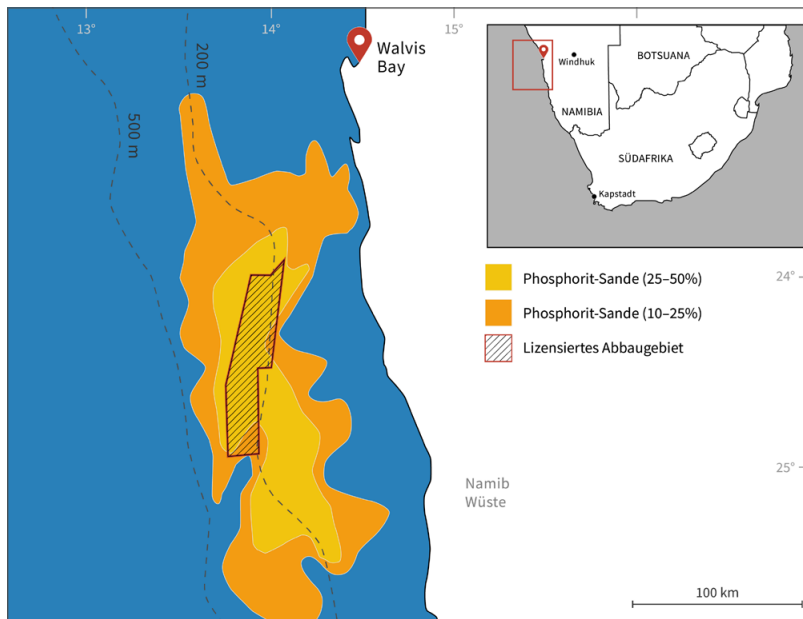
lands. Sie liegen noch leichter erreichbar in geringeren Wassertiefen vor den jeweiligen Küsten.

Wie Phosphorit-Vorkommen entstehen

Diese Vorkommen, und wahrscheinlich auch die viel älteren Vorkommen auf der Nordhalbkugel, sind durch bakterielle Anreicherung des Phosphors unter den Hochproduktionszonen der Auftriebsgebiete entstanden. Die im Meeresboden lebenden Bakterien reichern Phosphate aus dem organischen Detritus – beispielsweise nicht gefressenen Algenresten – als Energieträger in ihren Zellen an. Die gespeicherten Phosphatverbindungen geben sie bei Bedarf in das Poren-



Abb. 1: Phosphoritknollen und Gesteinsgerölle aus dem Auftriebsgebiet vor Peru, die durch Phosphorit zementierte Platte ist etwa 1 m² groß. Foto: BGR



Karte: Phosphoritsande vor Namibia und das Lizenzgebiet des Sandpiper Projekts (nach Kudrass et al. 2017, verändert)
Karte: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de

wasser der obersten Sedimente am Meeresboden ab. Dabei wird das Phosphat als Phosphorit gefällt und die ebenfalls im Porenwasser gelösten Metalle wie zum Beispiel Yttrium oder Cadmium werden teilweise integriert.

Die so entstandenen Ablagerungen des Phosphorits werden von der Menge des Phosphors in dem organischen Detritus bestimmt, der aus der Hochproduktionszone der ozeanischen Auftriebszellen auf den Meeresboden absinkt. Da der Phosphorgehalt in dem Detritus klein ist, weniger als 1 Prozent, sind die Phosphor-Akkumulationsraten mit kaum einem Millimeter pro tausend Jahre sehr klein. Das bedeutet: Wirtschaftlich interessante Vorkommen entstehen nur über lange Zeiträume.

Die marinen Phosphorite können ohne weitere Aufbereitung für die Düngung verwendet werden. Dabei gehen jedoch wertvolle Metalle verloren. Gleichzeitig können ökologisch kritische Elemente wie Uran, Arsen und Cadmium als langfristige Akkumulate die gedüngten Böden schädigen.

In der Regel werden die herkömmlichen Phosphorite aber bei der Aufbereitung als Düngemittel zuerst gelöst und die wirtschaftlich wertvollen, bzw. ökologisch kritischen Elemente könnten bei diesem Produktionsprozess abgetrennt werden. Das Problem hierbei: Zwar sind diese Verfahren in ersten Ansätzen vorhanden, sie werden jedoch zurzeit nicht industriell verwendet. Besonders attraktive Elemente der Phosphorite wären auch die Seltenen Erden und dabei die besonders schweren Elemente. Hier müssten geeignete Verfahren zur Aufbereitung und Abtrennung beispielsweise mit den Herstellungsfirmen der Düngemittel entwickelt werden.

Erhebliche ökologische Folgen

Wie sieht es mit den ökologischen Folgen eines Phosphorit-Abbaus im Meer aus? Die Gewinnung der Phosphorit-Sande aus dem Schelf ist ein massiver Eingriff in die marine Umwelt, da anoxische Schlämme mit vielen organischen Bestandteilen und gelösten Schwermetallen mobilisiert werden.

Bislang ist bei den Abbauverfahren vorgesehen, die phosphorhaltigen Schlämme an Bord zu saugen, die Phosphoritkörner auszusieben und die Feinfraktion wieder ins Meer zurückzuleiten. Dies hätte gravierende Folgen: Die Ausbreitung der Suspensionswolke und die Freisetzung der gelösten Metalle würden die lokalen Benthohabitate schädigen und die Fischerei beeinträchtigen.

Aus diesen nicht ausreichend bedachten Gründen sind alle drei marinen Bergbauprojekte in Neuseeland, Namibia und Mexiko vorerst gescheitert, auch wenn z. B. der Antragssteller des namibischen Sandpiper-Projekts betont, dass der Abbau keine gravierenderen Schäden verur-

sacht als beispielsweise die Grundschieppnetz-fischerei oder der laufende marine Diamantbergbau.

In Namibia wird ein echter Interessenkonflikt zwischen dem Abbauunternehmen und der Fischereindustrie sichtbar, die um ihre wertvollste Einkommensquelle fürchtet. Dieser Konflikt ließ sich bislang noch nicht auflösen. Eine Alternative könnte sein, das gesamte phosphoritführende Sediment an Land unter besser kontrollierbaren Bedingungen aufzubereiten und alle Aufbereitungsprodukte zu verwerten. Hierzu müsste aber erst ein funktionierendes „Zero-Waste-Konzept“ entwickelt werden, das sich am Ende auch wirtschaftlich tragen muss.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Kudrass, H., Wood, R. & Falconer, R. (2017). Submarine Phosphorites: The Deposits of the Chatham Rise, New Zealand, off Namibia and Baja California, Mexico – Origin, Exploration, Mining, and Environmental Issues. In R. Sharma (Hrsg.), *Deep-Sea Mining. Resource Potential, Technical and Environmental Considerations* (S. 165-187). Cham: Springer. doi:[10.1007/978-3-319-52557-0_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0_5)

Weiterführende Informationen

- Röhrlich, D. (2017, 3. Mai). Namibia erteilt Lizenz für Phosphatabbau im Meer. *Deutschlandfunk* [www.deutschlandfunk.de]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Sand, Kies und Phosphat aus dem Meer. (2014). In J. Lehmköster (Hrsg.), *World Ocean Review 3 – WOR3. Rohstoffe aus dem Meer – Chancen und Risiken* (S. 64-65) [worldoceanreview.com]. Hamburg: maribus gGmbH.

Kann Kobalt zukünftig in Batterien ersetzt werden?

Jana Kandarr (Earth System Knowledge Platform ESKP)

Fachliche Prüfung: Prof. Stefano Passerini & Dr. Dominic Bresser

(Karlsruher Institut für Technologie KIT / Helmholtz-Institut Ulm HIU)

Kobalt ist für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus unverzichtbar. Dementsprechend groß ist die Abhängigkeit vieler Hersteller, auch hier in Deutschland. Um diese Abhängigkeit zu reduzieren, werden am Helmholtz-Institut Ulm, eine Gründung des KIT, kobaltfreie Energiespeichermaterialien erforscht.

- Potenziell großes Einsparpotential für Kobalt haben Batterien für stationäre Anwendungen wie bspw. Heimspeichersysteme, aber auch für die Elektromobilität geht der Trend hin zu nickelreichen und somit kobaltarmen Kathodenmaterialien.
- In den Batterien der Smartphones und Tablets wird Kobalt voraussichtlich kurz- bis mittelfristig kaum ersetzbar sein.
- Schwefel ist ein nahezu ideales Material für günstigere und leichtere Batterien – allerdings bei tendenziell größeren Volumina.
- Eine potentiell kobaltfreie, vielversprechende Alternative zur Lithium-Ionen-Technologie ist die Natrium-Ionen-Technologie.

Ohne Kobalt wird es schwer, wiederaufladbare Batterien herzustellen. Vor allem für Lithium-Ionen-Batterien ist der Bedarf am begehrten Kobalt groß. Batterien sind mit knapp 46 Prozent das mit Abstand wichtigste Anwendungsfeld von Kobalt, einem metallischen Rohstoff, der in größeren Mengen im Meer als an Land vermutet wird. Die Nachfrage für Batterien könnte 2050 zweimal so hoch sein wie die heute identifizierten Kobaltreserven an Land. In Batterien ist Kobalt vor allem wichtiger Bestandteil der Kathode und er stellt aufgrund seines hohen Marktpreises die teuerste Komponente dar.

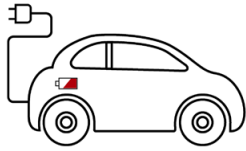
Hinzu kommt ein hohes Länderrisiko für Kobalt. Laut Prognosen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Ressourcen für das Jahr 2026 werden über 70 Prozent des Kobalts aus der weltweiten Bergwerksförderung allein aus der diktatorisch geführten Demokratischen Republik Kongo stammen und China hat sich diese Reserven bereits fast vollständig gesichert (DERA). Die Abhängigkeit von einem Staat wie der DR

Kongo, den die Vereinten Nationen im Human Development Index auf Platz 176 führt und in welchem intern große gewalttätige, politische Machtkämpfe ausgefochten werden, ist äußerst kritisch.

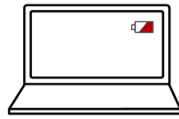
Häufig nicht im öffentlichen Bewusstsein ist die Tatsache, dass Kobalt meist nur als Nebenprodukt von Nickel und Kupfer abgebaut wird. Fällt deren Preis, wird der Abbau von Nickel bzw. Kupfer also unattraktiver, hat das direkte Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Kobalt. Die wenigen Batterieproduzenten haben zudem eine große Einkaufsmacht. Sie kontrollieren nahezu 80 Prozent des Marktes und hatten in den letzten Jahren aufgrund alter bestehender Verträge mit Autokonzernen nur eine geringe Gewinnmarge. In den nächsten Jahren muss deshalb mit großen Preissteigerungen gerechnet werden.

Um die Abhängigkeit von Kobalt zu reduzieren, wird intensiv nach Rohstoffen geforscht, die die-

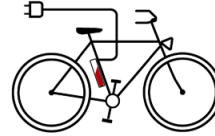
WIE VIEL KOBALT STECKT IN ELEKTROGERÄTEN?



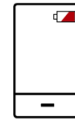
1.863–12.241 g



24–71 g



18–48 g



4–13 g

Zahlen: Vaalma et al. 2018: A cost and resource analysis of sodium-ion batteries | Grafik: eskp.de

sen in Batterien zu ersetzen vermögen. Ziel ist es, Materialien zu verwenden, die zum einen reichlich vorhanden, gleichzeitig jedoch weniger toxisch sind als Kobalt. Beispielsweise führt Kobalt beim Menschen zur Schädigung der Schilddrüse. Bei einer wachsenden Nutzung von Batterien dürften sich die gesundheitlichen Risiken verschärfen, wenn durch Alt-Akkus aus E-Bikes oder E-Autos giftiger Abfall anfällt. Doch wie kann man sich eine Substitution dieses einen, momentan noch so wichtigen Rohstoffs vorstellen, kann das überhaupt gelingen?

Einsparpotentiale für die Elektromobilität groß
In Smartphones und Tablets werden kobaltreiche Hoch-Energiebatterien voraussichtlich kaum ersetzt werden können. Bei diesen Geräten liegt der Anteil von Lithium-Kobaltdioxid (LiCoO_2) bei knapp 80 Prozent. Und in diesen Geräten ist auch der Kobaltanteil relativ am größten, denn das Ziel ist, eine möglichst hohe Energiedichte bei kleiner Größe zu erreichen. So ist der stabilisierende Effekt von Kobalt in den Oxidschichten unverzichtbar, sodass die Verwendung von kobaltreichem Kathodenmaterial wie LiCoO_2 aller Voraussicht nach für tragbare Geräte auch in Zukunft nahezu unumgänglich bleibt. Für die Elektromobilität wie auch Energiespeichersysteme in Häusern hingegen sind die Einsparpotentiale für Kobalt sehr groß. Nur ein Drittel, teils auch noch weniger Kobalt würde gebraucht, wenn nickel- und kobaltarme Kathoden zum Einsatz kämen.

Erforschung alternativer Batterietypen ist in vollem Gange

Potentiell kobaltarme Batterien enthalten vor allem mehr Nickel und Mangan. Bei diesen Anwendungen rückt Nickel an die Stelle von Kobalt als elektrochemisch aktive Komponente. Unserer Einschätzung hier am Helmholtz-Institut Ulm für zukunftsweisende elektrochemische Energiespeicherung (HIU) nach, wird es jedoch noch zehn bis zwanzig Jahre dauern, bis sich marktfähige Lösungen ergeben, die nahezu oder idealerweise vollkommen ohne Kobalt auskommen und ähnliche oder gar höhere Energiedichten bieten.

Die Erforschung von kobaltfreien Energiespeichermaterialien und Post-Lithium-Ionen-Technologien wie bspw. Lithium-Schwefel-Batterien ist jedoch in vollem Gange – dies parallel zu Lithium-freien Technologien, die auf unkritischen Elementen wie Natrium oder Magnesium, aber auch Zink, Kalzium und Aluminium basieren.

Eine vielversprechende Alternative sind insbesondere Natrium-Ionen-Batterien. Diese basieren auf Natriumkarbonat (Na_2CO_3), Natriumsulfat (Na_2SO_4) aber auch einfachem Natriumchlorid als Ausgangsmaterialien. Der Vorteil hier: In diesem Batterietyp müsste überhaupt kein Kobalt verbaut werden. Doch dieser Batterietyp wird voraussichtlich immer nur eine Ergänzung darstellen und erst dann zum Einsatz kommen, wenn sich Lithium verknappt und der potentielle Preisvorteil stark ins Gewicht fällt. Insbesondere

Natriumkarbonat ist als Ausgangsstoff reichlich verfügbar und kann auch aus Kochsalz gewonnen werden.

Sicher ist, dass Natrium-Ionen-Batterien weniger toxisch sind. Doch die Atommasse und das Redoxpotential von Natrium sind höher, die Energiedichte somit niedriger – alles Faktoren, die ihren Einsatz momentan noch weniger attraktiv gestalten. Dennoch sind sie für stationäre Energiespeicher potentiell hoch interessant. Allerdings sind hier noch mehrere große wissenschaftliche Fortschritte hinsichtlich der Effizienz der aktuell vielversprechendsten Komponenten für die Anode und Kathode nötig, damit Natrium-Ionen-Batterien eine echte Alternative darstellen.

In der Zwischenzeit muss vor allem die Lithium-Ionen-Batterie besser werden. Und dies schnell, denn: In der errechneten Anzahl an elektrischen Geräten, die sich 2050 im Umlauf befinden werden, würden Batterien Energie von insgesamt circa 15.056–107.390 Gigawattstunden pro Jahr speichern müssen. Dem gegenüber steht eine Batterieproduktion, die akkumuliert weltweit allerdings nur „magere“ 1.540 Gigawattstunden pro Jahr leisten kann. Dass man hierbei den Kobaltanteil reduzieren oder komplett darauf verzichten kann, hängt von notwendigen Innovationen ab.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Forschungssteckbrief

Das Karlsruher Institut für Technologie und die Universität Ulm arbeiten gemeinsam in dem Exzellenzcluster „Energy Storage beyond Lithium: New storage concepts for a sustainable future“, welches die Entwicklung von Natrium-Ionen-, Magnesium-Ionen- und anderen Batterien basierend auf reichlich vorhandenen Materialien vorantreibt.

Referenzen

- Bresser, D. & Passerini, S. (2019). Electrical and Electrochemical Energy Storage Applications. In V. Badescu, G. C. Lazaroiu & L. Barelli (Hrsg.), *Power Engineering. Advances and Challenges Part B: Electrical Power* (S. 111-129). Boca Raton: CRC Press.
- Bresser, D., Paillard, E. & Passerini, S. (2014). Lithium-Ion Batteries (LIBs) for Medium- and Large-Scale Energy Storage: Current Cell Materials and Components. In C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos & T. M. Lim (Hrsg.), *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage. Types and Applications* (S. 125-211). Cambridge: Woodhead Publishing.
- Vaalma, C., Buchholz, D., Weil, M. & Passerini, S. (2018). A cost and resource analysis of sodium-ion batteries. *Nature Review Materials*, 3:18013. doi:[10.1038/natrevmats.2018.13](https://doi.org/10.1038/natrevmats.2018.13)
- Varzi, A., Raccichini, R., Passerini, S. & Scrosati, B. (2016). Challenges and prospects of the role of solid electrolytes in the revitalization of lithium metal batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 4, 17251-17259. doi:[10.1039/C6TA07384K](https://doi.org/10.1039/C6TA07384K)

Lesetipps

- Bresser, D. (2018). Energiespeicher für eine elektromobile Gesellschaft. *Spektrum der Wissenschaft*, 05/2018, 20-25.
- Witsch, K. (2018, 6. November). Die Batteriehersteller erhöhen die Preise – und bauen so ihre Macht über die Autokonzerne aus. *Handelsblatt* [www.handelsblatt.com]. Aufgerufen am 04.12.2018.

Von der Utopie einer Kreislaufwirtschaft

Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter
(Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie HIF)

Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter, Direktor am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, zur Recyclingfähigkeit von Mobiltelefonen, den Grenzen des Stoffkreislaufs und möglichen Strategien im Umgang mit immer komplexeren High-Tech-Produkten.

- Elektronische Produkte und anfallende Schrotte werden immer komplexer.
- Beim Recycling entstehen dadurch immer größere Materialverluste und es wird schwieriger, den Stoffkreislauf zu schließen.
- Bei vielen Elektronikartikeln ergibt sich eine Mixtur aus vielen wertvollen Metallen und zum Teil wertlosen Kunststoffgemischen, die das Recycling unwirtschaftlich macht.

Wie recycelbar ist ein Mobiltelefon? Dieser Frage haben sich der Smartphone-Hersteller Fairphone und ein Forscherteam des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie – ein Institut am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf – gestellt. Die Firma Fairphone gewährte den Freiburger Wissenschaftlern umfassende Einblicke in ihre Stück- und Materiallisten („Bill of Materials“ und „Full Material Declaration“), sodass mithilfe einer Simulationssoftware die möglichen Recyclingraten errechnet werden konnten. Das Ergebnis: Zwischen 30 und 40 Prozent der Materialien aus dem modular aufgebauten Fairphone 2 sind zurückgewinnbar. Die erstmals für ein Mobiltelefon durchgeführte Studie zeigt, dass sich ein spezielles „Design-for-Recycling“, also ein recyclingfreundliches Produktdesign, positiv auf die Wiederverwertbarkeit auswirkt. Ein Interview mit Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter, Direktor am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie, zu simulationsbasiertem Design-for-Recycling sowie zu den Möglichkeiten und Grenzen der Kreislaufwirtschaft.

Herr Prof. Reuter, die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit ist häufig: Jedes Produkt ist recycelbar, alles ist nur eine Frage des Willens und des Preises?

Prof. Reuter: Wenn sie ihr altes Mobiltelefon abgeben, dann erhoffen sich viele Menschen, dass daraus ein schönes Häufchen Schrott, Kunststoff und Metall entsteht, das sich leicht weiterverarbeiten lässt. Also, dass alles zu 100 Prozent recycelt wird. Tatsächlich ergibt sich aber eine Mixtur aus vielen wertvollen Metallen und zum Teil wertlosen Kunststoffgemischen, die das Recycling unwirtschaftlich macht. Wenn man mit solchen Materialmischen technologisch und umwelttechnisch nicht gut umgeht, bleibt die zirkuläre Wirtschaft ein leeres Wort. Je komplexer die Produkte werden, die wir benutzen – und dies ist nun einmal der Fall –, desto größer werden auch die Materialverluste beim Recycling. Folglich gerät die Wirtschaftlichkeit der Kreislaufwirtschaft ins Wanken.

Was ist physikalisch im Recycling überhaupt möglich? Können Sie uns vielleicht anhand des „Metal Wheel“ einige grundlegende Prinzipien erläutern?

Prof. Reuter: Die essentiellen Aussagen des „Metal Wheel“ (dt. Metallrad, Anm. d. Red.) sind relativ einfach: Wir brauchen bestimmte Hauptmetallurgie-Sparten, um überhaupt mit den vielfältigen Metallmischungen in modernen Produkten umgehen zu können. Ist zum Beispiel

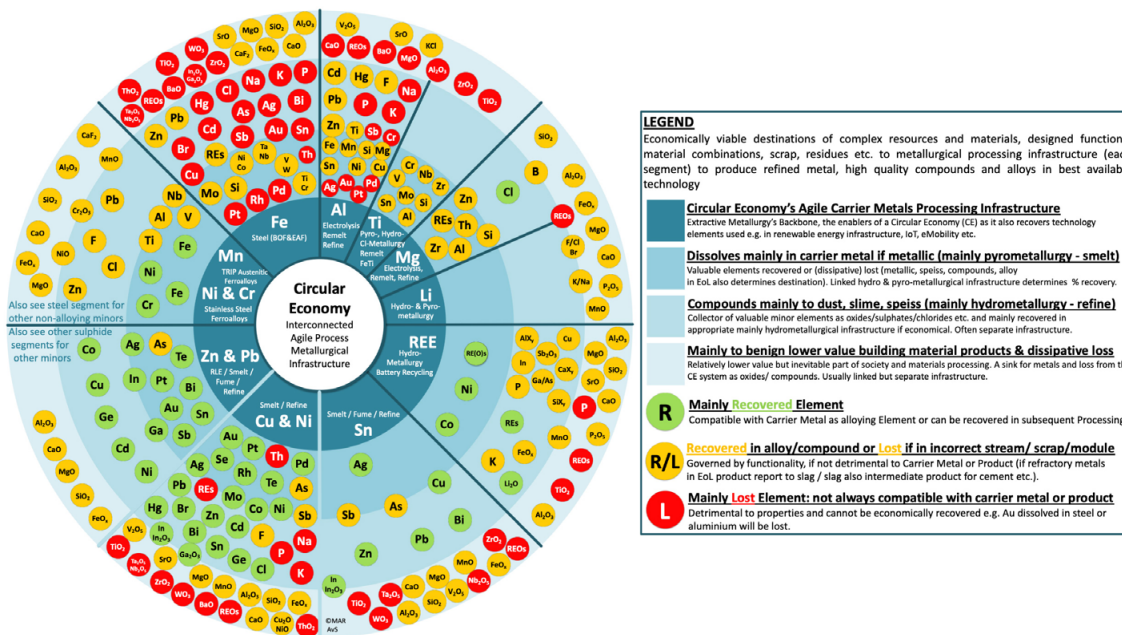


Abb.1: In der Natur und auch beim Recycling stehen die Metalle miteinander im Zusammenhang. Wäre ein Element nicht mehr vorhanden, hätte das folgenschwere Auswirkungen auf das ganze System der Metallproduktion. Das „Metal Wheel“ bzw. „Metallrad“ beschreibt diese Abhängigkeiten. Grafik: HZDR/ Markus Reuter

keine Kupfermetallurgie vorhanden, so wird es schwerer, Gold, Platin und andere Elemente wirtschaftlich zu gewinnen. Diese Substanzen sind chemisch ähnlich wie Kupfer, das für deren Gewinnung deshalb ein sogenanntes Trägermetall ist. Ohne die Kupfermetallurgie gingen viele Raffinationsmöglichkeiten verloren. Entsprechend kann man Metalle nicht einzeln betrachten, sondern muss sie im Zusammenhang mit den jeweiligen, in der Mischung vorhandenen Metallen sehen. Auch müssen wir Rohstoffe und Energie gemeinsam betrachten, da sie eng miteinander verknüpft sind. Im Diskurs zur Kreislaufwirtschaft geht es häufig nur um die Ressourcen, aber die Energie wird vergessen. Umgekehrt werden auch in der Energiediskussion oft die Rohstoffe ausgeklammert, die beispielsweise für die nachhaltigen Energieinfrastrukturen der Zukunft benötigt werden. Dabei kann nur eine ganzheitliche Perspektive den notwendigen Überblick verschaffen.

Ist das „Metal Wheel“ ein neues Instrument?

Prof. Reuter: Das „Metal Wheel“ hat bereits eine fünfundzwanzigjährige Geschichte hinter sich. Damals wollte man Zink als toxisch ausweisen. Es ging darum, deutlich zu machen, dass sich das Metallrad ohne die gemeinsame Zink- und Bleimetallurgie sowie Technologieelemente wie Indium, Germanium, Silber usw. nicht drehen kann. Das hätte katastrophale Folgen. Denn ohne diese Metalle und die dazugehörigen metallurgischen Produktionsanlagen können wir nicht gut recyceln. Man kann sich das wie einen Fahrradreifen vorstellen, bei dem ein Stück fehlt: Das ganze Rad funktioniert dann nicht mehr. Heute gibt es Überlegungen im EU-Parlament, die Nutzung von Blei zu verbieten. Die European Chemical Agency hat das Metall im Juni 2018 auf die Liste der Stoffe von sehr hoher Bedenklichkeit gesetzt. Ein Verbot hätte jedoch immense Auswirkungen auf die Kreislaufwirtschaft, da Blei ein Lösungsmittel für andere Elemente ist. Mit einem Blei-Verbot würde eine ganze Infrastruktur verloren gehen, mit der Indium, Antimon, Bismut, Gold und andere Substanzen wiedergewonnen werden. Davon wäre dann auch

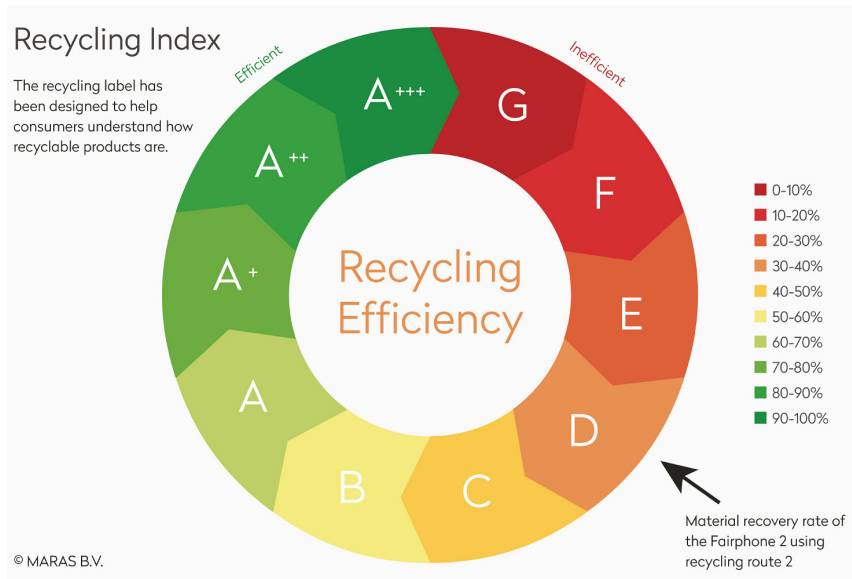


Abb. 2: Ein Recyclingsiegel könnte die Verbraucher ähnlich wie die Energieeffizienzklassen bei elektrischen Geräten über die tatsächliche Recyclingfähigkeit elektronischer Produkte informieren. Aus dem modular aufgebauten Fairphone 2 können zwischen 30 und 40 Prozent der Materialien zurückgewonnen werden, lautet das Ergebnis einer am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) durchgeführten Recyclingstudie.

Grafik: MARAS B.V. / Fairphone

das für die Elektromobilität unverzichtbare Element Kobalt betroffen, da die mit der Bleimetallurgie gekoppelte Zinkmetallurgie immer auch Kobalt in den Kreislauf bringt.

Was sind Ihre Sorgen?

Prof. Reuter: Die Politik könnte unwissentlich den Betrieb einiger metallurgischer Sparten unmöglich machen. Dann gäbe es nicht mehr die Vielfalt der vernetzten Prozessmetallurgie, um Metalle herzustellen oder aus komplexen Gemischen zurückzugewinnen. Wenn man dem Kreislauf auch nur ein einziges Element wie Blei entnimmt, gerät das Gesamtsystem in Gefahr, wie die Fahrrad-Metapher zeigt. Die großen E-Waste-Recycler in Europa – Umicore, Boliden und Aurubis – haben alle Blei im Kreislauf ihrer Betriebe. Wenn es in Europa keine Blei-Metallurgie mehr gibt, wird das Recycling wahrscheinlich woanders stattfinden, zum Beispiel in China. Dort ist bereits eine große metallurgische Prozessvielfalt mit zum Teil hochmodernen Anlagen vorhanden, mit der sich das Metallrad gut drehen lässt. Wir sollten sehr genau aufpassen, dass wir nicht über Kreislaufwirtschaft und Design-for-Recycling sprechen, während die dafür nötige Industrie langsam auswandert. Dabei könnte vor allem Deutschland aufgrund des hier vorhandenen, großen metallurgischen Wissens eine führende Position einnehmen.

Ist nicht auch in der Politik etwas falsch gelaufen?

Prof. Reuter: Vor allem in Deutschland hat das Cradle-to-Cradle-Konzept (Philosophie von der vollständigen Rückführung aller Nährstoffe und Ressourcen nach dem Gebrauch von Produkten in biologische und technologische Stoffkreisläufe, Anm. der Red.) sehr viel Aufmerksamkeit erhalten. Es vereinfacht allerdings den Energie- und Rohstoffkreislauf und bildet ihn nicht in seiner ganzen Komplexität ab, sodass es zu falschen Signalen an die Politik kommt. Vergangenes Jahr hat die deutsche Ressourcenforschung einen Verein gegründet, das „German Resource Research Institute (GERRI)“. Es geht darum, der Metallurgie eine deutliche Stimme zu geben und die technischen und ökonomischen Grenzen der Kreislaufwirtschaft zu quantifizieren.

Also sind wir weit weg von der Kreislaufwirtschaft?

Prof. Reuter: Die elektronischen Produkte und auch die anfallenden Schrotte werden immer komplexer. Beim Recycling entstehen dadurch immer größere Materialverluste und es wird schwieriger, den Stoffkreislauf zu schließen. Um die Grenzen des Recyclings und der Kreislaufwirtschaft begreifen zu können, ist vor allem eine systemische Betrachtung der Material-

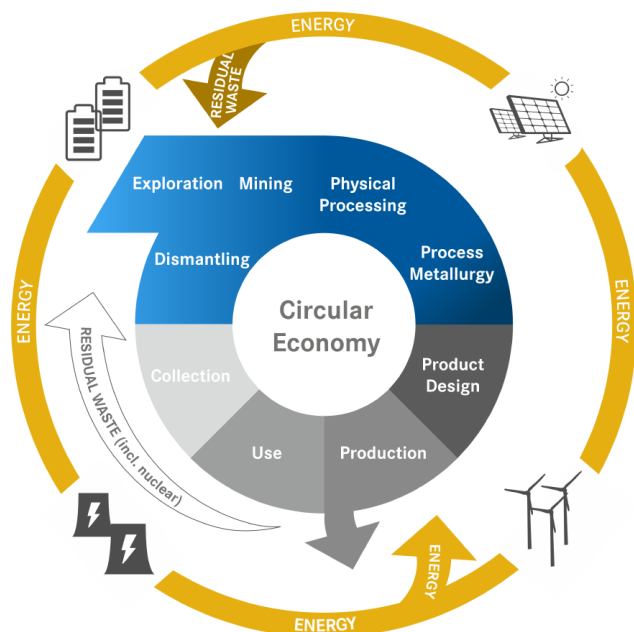


Abb. 3: Die Produktion von Rohstoffen kostet viel Energie. Umgekehrt werden für den Bau von Energiesystemen erhebliche Ressourcen benötigt. Rohstoff- und Energiekreisläufe müssen deshalb zusammen betrachtet werden. Nur dann kann man die Nachhaltigkeit von Kreislaufprozessen beurteilen. Grafik: HZDR

ströme und des Energieverbrauchs nötig. Im Prinzip müsste man bei jedem Gerät den gesamten Lebenszyklus in den Blick nehmen und fragen: Welche Materialien werden dafür benötigt? Welche Rückstände oder Abfälle entstehen? Wie viel Energie wird verbraucht? Durch entsprechende Informationen und ein zertifiziertes Recyclingsiegel könnte dann jeder Konsument beurteilen, inwieweit er zur Kreislaufwirtschaft beiträgt und auch, wie nachhaltig sein Lebensstil ist.

Welche Rolle hat das Produktdesign in diesem Prozess?

Prof. Reuter: Durch die funktionale Verknüpfung von Materialien in Produkten sind der Rückgewinnung Grenzen gesetzt. Das hat das Beispiel Fairphone gezeigt. Es hat aber auch demonstriert, dass eine modulare Bauweise die Recyclingfähigkeit verbessert. Die Frage ist nur, wie viele Module in einem Produkt den Verlust minimieren. Das Fairphone mit seinen sieben Modulen kann eine Recyclingrate zwischen 30 und 40 Prozent erzielen. Man kann also viel erreichen, wenn bei der Produktion der Smartphones die Rohstoffe so auf die Module verteilt werden, dass man am Ende die thermodynamisch und kinetisch bedingten Materialverluste in der Metallurgie verringert. Eine weitere wichtige Frage ist auch, wie stark man die Produkte

vor dem Recycling zerkleinert, da dies die Verluste erhöht. Wir sollten uns zudem bewusst sein, dass auch das Produktdesign nicht beliebig verändert werden kann. Letztlich kann man nur durch eine detaillierte simulationsbasierte Analyse, wie wir sie am Beispiel von Fairphone durchgeführt haben, das Optimum der wiederverwertbaren Materialien für jedes Gerät bestimmen und auf dieser Basis recyclingfreundliche Produkte entwickeln.

Was sagen Sie aus wissenschaftlicher Perspektive zu dem beim Fairphone verfolgten Ansatz? Ist das ein gelungener Versuch und Vorbild für die Elektronikbranche?

Prof. Reuter: Das Unternehmen kam auf uns zu und hat uns umfassende Einblicke in seine Stück- und Materialliste gegeben. Dadurch wissen wir genau, welches Material in dem Produkt mit welchem verklebt ist, welches Oxid, welche Legierung und welcher Kunststoff in dem Smartphone steckt und wie diese miteinander gekoppelt sind. Wenn man diese Informationstiefe hat, ist es relativ einfach, mithilfe von Prozesssimulationsmodellen zu berechnen, wie recycelbar ein Produkt wirklich ist. Eine derartige Betrachtung brauchen wir für die Zukunft. Dann können sich die Verbraucher besser informieren. Greenpeace hat unsere Recyclingstudie in seinen Bericht über nachhaltiges „Green Design“

aufgenommen und bewertet Fairphone als Vorreiter in der Elektronikbranche. Das Unternehmen ist mit gutem Beispiel vorangegangen, dem die größeren Konzerne nun folgen sollten.

Welche Motivation sollten die Original-Gerätehersteller haben, ihre Rezepturen preiszugeben? Was kann die Wissenschaft tun?

Prof. Reuter: Keiner kann ein Unternehmen dazu zwingen, die Stücklisten seiner Produkte offenzulegen. Dennoch verfügt jeder Hersteller über diese Listen, sodass die Verbindung zwischen den Designmodellen und unseren Prozesssimulationsmodellen im Grunde nur einen Mausklick auseinanderliegt. Jedes Produkt im Handel könnte also eine Recyclingkennzeichnung erhalten, vergleichbar mit den Energieeffizienzklassen für elektrische Geräte. Vielleicht ändert sich dann das Konsumverhalten.

Sie benutzen „HSC Sim“ für die Simulation. Wie funktioniert der Simulator? Was leistet er?

Prof. Reuter: Während meiner Tätigkeit in der Industrie bei dem Anlagenbauer Outotec haben wir die Softwareplattform „HSC Chemistry“ entwickelt und zur Konstruktion metallurgischer Anlagen sowie zur Steuerung und Optimierung von Prozessen eingesetzt. Prinzipiell kann man damit den Massen-, Energie- und Exergiefluss – in der modernen Metallurgie sind das die entscheidenden physikalischen Größen und Prozesse – in sehr großen Systemen bei beliebigen Produktdesigns bestimmen. Am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie haben wir die Software so weiterentwickelt, dass man den ökologischen Fußabdruck von Produkten sowie den exergetischen Verlust bei der Verarbeitung verschiedenster metallischer und mineralischer Stoffe in unterschiedlichen metallurgischen Prozesssystemen simulieren kann. Des Weiteren arbeiten wir an innovativen Prozessmodellen und Datenstrukturen, mit denen sich die Systeme der Kreislaufwirtschaft abbilden lassen.

Wir können die Nutzung sowohl von primären natürlichen Rohstoffen als auch von Sekundärmaterialien aus ausgedienten Produkten betrachten und mit dem Produktdesign verknüpfen. Unsere Modelle stellen die Wege der ver-

wendeten metallischen und mineralischen Rohstoffe dar. Das Ergebnis sind komplexe Lebenszyklusanalysen. Die Material-, Energie- und Exergieflüsse in der Kreislaufwirtschaft können wir mit der Software schon relativ gut abbilden.

Wo liegen die Vorteile der Software gegenüber bisherigen Verfahrensweisen?

Prof. Reuter: Obwohl die Software kommerziell verfügbar ist, greifen die meisten Akteure weiterhin auf vergleichsweise unpräzise Materialflussanalysen zurück, um zu bewerten, wie kreislauffähig ein Produktdesign oder ein System ist. Solche Materialflussanalysen sind aber viel zu grob und können die Systeme nicht im Detail darstellen und evaluieren, zum Beispiel im Hinblick auf Exergieflüsse. Um eine Kreislaufwirtschaft zu beschreiben, die viele Milliarden Euro wert ist, muss man genauer vorgehen. Also müssen Methoden genutzt werden, die ökonomisch haltbare Zahlen liefern, auf deren Grundlage dann die Wirtschaftlichkeit von Systemen bestimmt werden kann. Solche Methoden werden schon lange im Bereich Prozess-Engineering eingesetzt, allerdings noch nicht im Produktdesign und da müssen wir hinkommen.

Warum werden immer noch Materialflussanalysen verwendet?

Prof. Reuter: Das ist eine lange Geschichte. Recycling ist aus der Abfallindustrie hervorgegangen. Man hat sich die groben Ströme von Glas, Stahl, Aluminium usw. angeschaut und die Modelle waren entsprechend einfach. Die Welt hat sich jedoch verändert. Die abbaubaren Erze wurden immer komplexer und damit wurden auch immer mehr Verunreinigungen in den Kreislauf gebracht. In der Primärindustrie ist sehr wohl bekannt, dass man damit gut umgehen muss und in der Verantwortung steht, Metalle wie Arsen oder Quecksilber auf eine umwelttechnisch vertretbare Weise aus dem System herauszuschleusen. Im Recycling haben wir es heutzutage ebenfalls mit Nebenelementen, Vermischungen, Verbindungen und Verklebungen zu tun. Dabei geht es insbesondere um die Technologieelemente, die nur in geringen Mengen vorhanden sind.

Warum wird heute nach wie vor eher traditionell an das Thema herangegangen?

Prof. Reuter: Es reicht heute nicht mehr, wie zuvor beschrieben, die groben Ströme zu betrachten. Wichtig sind auch die Technologieelemente, die die moderne Gesellschaft antreiben. Also Kobalt, Nickel, Lithium, Indium, Germanium und dergleichen. Das Kreislaufsystem ist sehr viel komplexer und detaillierter geworden und kann im Prinzip nur noch mithilfe von metallurgischer Simulationssoftware beschrieben werden. Wir haben eine renommierte Community, die an den Universitäten dieser Welt immer noch diese Materialflussanalysen lehrt. Die Community der Prozessmetallurgen wird hingegen immer kleiner. In Zukunft, wenn wir von Kreislaufwirtschaft sprechen wollen, müssen wir mit den Nebenelementen umgehen. Hier kommt es dann sehr stark auf detailgenaues Fachwissen und die Erfahrung aus der Industrie an.

Zum Abschluss noch eine Frage: Wie sieht es mit alten Bergbauhalden aus, können wir diese reaktivieren?

Prof. Reuter: Meine erste Aufgabe in der Industrie vor fast 40 Jahren war es, eine Anlage zur Gewinnung von Gold aus den Halden der südafrikanischen Goldbergwerke zu betreiben. Wenn es sich wirtschaftlich lohnt, dann können Halden wertvoll werden. Das Thema Remining ist also immer aktuell. Natürlich brauchen wir dafür eine entsprechende Prozessmetallurgie und es muss sich wirtschaftlich auszahlen.

Herr Prof. Dr. Reuter, wir danken für das Gespräch.

Das Interview führten Jana Kandarr und Oliver Jorzik (ESKP), November 2018

Referenzen

- Abadias-Llamasa, A., Delgadoc, A. V., Capilla, A. V., Cuadrac, C. T., Hultgren, M., Peltomäki, M., Roine, A., Stelter, M. & Reuter, M. A. (2019). Simulation-based exergy, thermo-economic and environmental footprint analysis of primary copper production. *Minerals Engineering*, 131, 51-65. doi:[10.1016/j.mineng.2018.11.007](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.007)
- Cook, G. & Jardim, E. (2017, 17. Oktober). *Guide to Greener Electronics 2017* (Greenpeace Report) [www.greenpeace.org]. Washington, D.C.: Greenpeace Inc.
- Reuter, M. A. (2016). Digitalizing the Circular Economy. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47, 3194–3220. doi:[10.1007/s11663-016-0735-5](https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5)
- Reuter, M. A., van Schaik, A., Gutzmer, J., Bartie, N. & Abadias-Llamasa, A. (2019). Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. *Annual Review of Materials Research*, 49, 253-274. doi:[10.1146/annurev-matsci-070218-010057](https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070218-010057)

Lesetipps

- How recyclable is the Fairphone 2? (2017, 27. Februar). [www.fairphone.com]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- UNEP. (2013). Metal Recycling: *Opportunities, Limits, Infrastructure. A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel* (Reuter, M. A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C. & Hagelüken, C.) [www.resourcepanel.org]. Paris: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics.

Eine Denkfabrik für die Rohstoffwende

Jana Kandarr (Earth System Knowledge Platform ESKP)

Fachliche Prüfung: Prof. Dr. Thomas Hirth & Prof. Dr. Jochen Kolb (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Der THINKTANK „Industrielle Ressourcenstrategien“ ist national und europaweit einzigartig. Hochrangige Experten aus Wissenschaft, Politik und Industrie entwickeln gemeinsam Strategien, um die Rohstoffverfügbarkeit besser im Blick zu haben und unseren Bedarf präziser abzuschätzen. Neue Wege der Kreislaufführung für Massenrohstoffe sollen beschritten und ressourceneffiziente Prozesse frühzeitig angestoßen werden.

- Rohstoffinformationen sollten systematisch vorgehalten werden.
- Durch digitale Technologien soll die Verwendung der Rohstoffe entlang der Wertschöpfungsketten transparenter werden. Das stärkt auch die soziale Unternehmensverantwortung.
- Hierbei helfen sollen Datenbanksysteme, Blockchain-Technologien, oder auch digitale Zwillinge.
- Der THINKTANK bewertet ökonomisch und ökologisch zudem die Nachhaltigkeit von Recycling.

Die Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch in Deutschland ist das erklärte strategische wirtschaftspolitische Ziel des THINKTANK. Momentan steigt der Ressourcenverbrauch schneller als die Wertschöpfung. Neue Technologien haben zudem starke Auswirkungen auf den Rohstoffbedarf. Für die Elektromobilität werden Kobalt, Lithium, Seltene-Erden-Elemente und Kupfer in weitaus größeren Mengen als bisher benötigt. Drei Pilotprojekte des THINKTANK „Industrielle Ressourcenstrategien“, der im Februar 2018 am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) seine Arbeit aufnahm, werden einen besonders starken Bezug zu metallischen Rohstoffen haben.

Pilotprojekt I - Verfügbarkeit wirtschaftsstrategischer Rohstoffe

Viele strategisch wichtige Rohstoffe sind – weltweit gesehen – geologisch nicht knapp. Wirtschaftlich oder technisch abbaubar jedoch sind sie nicht immer, oder einzelne Länder haben einen großen technischen Vorsprung bei der Ex-

traktion der Wertmetalle aus dem Erz wie China bei den Seltenen-Erden-Elementen. Die Verfügbarkeit metallischer Rohstoffe ist auch, wie das Beispiel Kobalt oder Platin zeigt, mit politischen Risiken verbunden.

Eine (vorübergehende) Knappheit ist deshalb häufig nicht geologischer Art. Sich allein auf die Marktmechanismen zu stützen, wird nicht immer funktionieren, vor allem nicht bei disruptiven Technologien. Zieht die Nachfrage nach einem Rohstoff plötzlich an, dann hängt von den vorhandenen Strategien im Vorfeld ab, wie viel Zeit verstreichen wird bis der Rohstoff zur Verfügung steht. Zehn bis fünfzehn Jahre können es sein, wenn Exploration und Erkundung erst erfolgen und Extraktionstechniken erst entwickelt werden müssen. Deshalb ist es strategisch empfehlenswert, Rohstoffinformationen systematisch vorzuhalten. Es ist die einzige Möglichkeit, zukünftige Rohstoffengpässe proaktiv anzugehen.

Wie gelingt also auf der Angebotsseite schnell eine Kapazitätsanpassung? Welche Investitionen sind in Bergbau und Exploration nötig und

was kann Recycling leisten? Die Frage ist auch, über welche alternativen Lagerstätten wir in Deutschland verfügen.

Einen genaueren Überblick soll der neue THINK-TANK „Industrielle Ressourcenstrategien“ schaffen. Welche Rohstoffe können beispielsweise aus alten Abraumhalden des Bergbaus oder aus ehemaligen Abfalldeponien zu welchen Kosten gewonnen werden? Simulationstools zum kontinuierlichen Monitoring aktueller Rohstoffmärkte auf Nachfrage- und Angebotsseite sollen konzipiert werden. Dynamische Materialflussmodelle mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung sollen dabei aktuelle Verbrauchsmengen, Verwendungsstrukturen und Verwendungszyklen darstellen. Diese Materialflussmodelle sollen um marktdynamische Anpassungsmechanismen erweitert werden. Ein weiterer Baustein sind Szenario-Analysen, die in Zusammenarbeit mit Industriepartnern durchgeführt werden, dies unter Berücksichtigung verschiedener Diffusionspfade neuer Technologien.

Pilotprojekt II - Transparenz von Rohstoffdaten durch digitale Technologien

In der Vergangenheit sind Recyclingbetriebe oft an wirtschaftliche Grenzen gestoßen. Im THINK-TANK will man nun deren Wissen aufgreifen und die Chancen der Digitalisierung nutzen, um die Informationen über Wertstoffströme und ihre Nutzbarkeit zu bündeln. In diesem Pilotprojekt wird deshalb versucht, mehr Transparenz zu schaffen, damit Stoffinformationen auch ganz am Ende der Wertschöpfungskette ankommen können.

Zumeist ist es so, dass ein Kunde vom Lieferanten ausreichend Informationen über Qualität und Mengen der verwendeten Rohstoffe erhält. Doch wenige Schritte weiter in der Wertschöpfungskette sieht es weniger gut aus, der Informationsfluss verebbt. Für Unternehmen, die beispielsweise Computerfestplatten verbauen, ist die Herkunft der Rohstoffe nicht mehr zwingend transparent. Recyclingbetriebe stehen am Ende der Wertschöpfungskette vor dem Dilemma, selbst herausfinden zu müssen, welche

(Spuren-)Metalle sich in welcher Menge in den sich schnell wandelnden Elektronikprodukten finden. Allein die genaue Zusammensetzung von Metalllegierungen kann schon Wissen darstellen, das Unternehmen nicht weitergeben wollen. Dies stellt natürlich alle vor eine Herkulesaufgabe.

Hoffnungen liegen hier in der Blockchain-Technologie. So könnten wichtige Eckdaten zu den verwendeten Rohstoffen weitergegeben werden. Denn Ziel ist es, Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus zu schaffen ohne dabei Betriebsgeheimnisse anzutasten. Hierbei helfen sollen Datenbanksysteme, Permissioned-Ledgers oder auch digitale Zwillinge. Mit einer Konzeptstudie, die sich mit Datensicherheit, rechtlichen Rahmenbedingungen, der Datenerhebung, dem Datenumfang, Nutzungskonzepten, Chancen und Risiken befasst, wird zunächst begonnen. Daran an wird sich die konkrete Ausarbeitung für einzelne Branchen wie die Stahl- oder Automobilindustrie schließen.

Transparenz entlang der Wertschöpfungsketten ermöglicht schlussendlich auch mehr soziale Unternehmensverantwortung, wenn Wissen darüber ans Licht kommt, woher die Metalle ursprünglich stammen und wie viele „Konfliktmaterialien“ sich am Ende in unseren Produkten befinden.

Pilotprojekt III - Wie viel Recycling ist nachhaltig?

Um Metalle wiederzugewinnen, müssen stets Energie und auch Primärrohstoffe zugeführt werden. Nicht immer ist es energetisch sinnvoll, Produkte mit viel Strom zu schreddern oder unter enormer Wärmezufuhr zu schmelzen, dann pyrometallurgisch einzelne Metalle bei hohen Temperaturen aufwendig wiederzugewinnen, zumal bei Verbrennungsprozessen immer auch Schadstoffe entstehen.

Daher ist es in bestimmten Fällen tatsächlich energetisch und ökologisch sinnvoller, auf Primärrohstoffe zurückzugreifen, denn ein Recycling-System ist kein Perpetuum mobile, das ist thermo-

dynamisch unmöglich. Hinzu kommt: In unseren Elektronikprodukten sind Metalle auf kleinstem Maßstab und nur in sehr geringen Mengen miteinander verbaut. Wirtschaftlich ist deren Wiedergewinnung deshalb oft nicht. Einige Produkte sind an sich überhaupt nicht recyclingfähig. Ein einhundert Prozent geschlossener Kreislauf wird niemals möglich sein. Dessen ist sich die Öffentlichkeit nicht bewusst.

Es gilt, intensiv unterschiedliche Schritte in industriellen Prozessen zu betrachten und zu priorisieren, um als Gesellschaft dem Ziel näher zu kommen, Recycling möglichst nachhaltig zu gestalten. Am Ende dieses Pilotprojektes soll eine Methodik zur Kombination ökologischer und ökonomischer Bewertungsansätze stehen.

Dabei geht es auch um Materialeffizienz und die Rückgewinnung von Rohstoffen aus strategischen Baugruppen, sowie um die Vermeidung von Schrott und Abfall. Ein Beispiel hierfür sind Wendeschneidplatten oder Drehmeißel. Sie werden zur Zerspanung von Metallen oder Holz benötigt. Das Problem: Wenn auch nur wenige Mikrometer von diesen Wendeschneidplatten verbraucht wurden, sind sie wertlos. Bisher gibt es kein Unternehmen, das seine verschlissenen Werkzeugsammlung gezielt in einen Kreislauf zurückgibt. Regulatorische Prinzipien fehlen bislang. Hier werden Re-Use- und Re-Manufacturing Konzepte benötigt, die in diesem Pilotprojekt des THINKTANK mitentwickelt werden.

Mit dem THINKTANK am KIT soll also die Gewinnung, Nutzung und das Recycling von Rohstoffen ganzheitlich betrachtet werden – mitsamt den technologischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen.

Referenzen

- Fuchs, S. (2018, 19. Juli). Rohstoffwende – Der Think Tank „Industrielle Ressourcenstrategien“ nimmt seine Arbeit auf [Podcast KIT.audio, Folge 16, www.sek.kit.edu]. Aufgerufen am 09.11.2018.
- Karlsruher Institut für Technologie – KIT. (2018, 9. Januar). Denkfabrik macht Technologien zukunftsfest [Presseinformation 001/2018, www.kit.edu]. Aufgerufen am 09.11.2018.

Impulse für die naturwissenschaftliche Ausbildung

Dr. Alena Bleicher (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Wie entstehen Konflikte um die Rohstoffgewinnung? Wie weit reicht die Verantwortung der Forschung? Mit diesen Fragen können Verantwortliche im Tiefseebergbau und der damit verbundenen Technologieentwicklung konfrontiert werden. Sozialwissenschaftliche Perspektiven können beim Verständnis hilfreich sein.

-
- Sozial- und geisteswissenschaftliche Perspektiven müssen mit naturwissenschaftlichen zusammengebracht werden.
 - Durch die Entwicklung von Lehrveranstaltungen, die relevantes sozialwissenschaftliches Wissen für den Abbau von Rohstoffen (im Meer) in gut handhabbarer Form modular aufbereiten, lassen sich Inhalte in bestehende Curricula der Aus- und Weiterbildung gut integrieren.
 - Dadurch kann die Wissensbasis entsprechend erweitert werden.
-

Die Rohstoffgewinnung aus maritimen Lagerstätten ist nicht nur eine technisch-naturwissenschaftliche Herausforderung, sondern auch eng mit verschiedenen sozialen Systemen verknüpft. Hierzu zählen beispielsweise spezifische soziale Systeme und Gesellschaften in den Regionen der (potentiellen) Rohstoffgewinnung, das System internationalen Rechts, aber auch das System von Wissenschaft und Industrie. Zunehmend sehen sich gerade Naturwissenschaften mit der Anforderung konfrontiert, Forschung und Technologieentwicklung gesellschaftlich zu legitimieren (Felt & Wynne, 2007). Das gilt auch für die maritime Rohstoffgewinnung, an die verschiedene Ansprüche gestellt werden. So soll sie nicht nur ökologisch verträglich sein, sondern gleichzeitig verantwortungsvoll erfolgen, sodass tatsächlich die Gesellschaft von den Investitionen in Naturwissenschaften und Technologieentwicklung profitieren kann (Baker & Beaudoin, 2013). Diese Perspektive erfordert die Berücksichtigung ethischer Fragen und gesellschaftlicher Bedürfnisse. Grundlage einer solchermaßen verstandenen Verantwortung von Forschung und Entwicklung ist ein Verständnis gesellschaftlicher Strukturen, Ansprüche und Ziele.

Vor diesem Hintergrund ist es ratsam, ein grundlegendes Verständnis für die Relevanz gesellschaftlicher Perspektiven in der Aus- und Weiterbildung zukünftiger Wissenschaftler, Technologieentwickler und Experten zu schaffen. Hierbei können Erkenntnisse aus den Sozial- und Geisteswissenschaften eine nützliche Grundlage bilden (Stilgoe & Guston, 2016). Gerade in rohstoffbezogenen Studiengängen wird entsprechendes Wissen bislang jedoch kaum vermittelt. Dabei gibt es eine Reihe relevanter Themen, die in zukünftigen Lehrmodulen aufgegriffen werden sollten. Hierzu zählen unter anderem:

- **Konfliktanalyse:** Konflikte, die im Zusammenhang mit der Rohstoffgewinnung und neuen Rohstofftechnologien entstehen können, sollten identifiziert und ihre vielfältigen Ursachen verstanden und mögliche Lösungsstrategien entwickelt werden.
- **Technikfolgenabschätzung:** Ansätze zur Abschätzung von Technikfolgen, die es erlauben, gesellschaftliche Perspektiven einzubeziehen, sind gerade bei neu aufkommenden Technologien, deren Wirkungen noch nicht vorhersehbar sind, angemessen.

- Gesellschaftliche Wahrnehmung: Akteure handeln aufgrund ihrer (unterschiedlichen) Wahrnehmung und Interpretation eines Themas. Unterschiedliche Faktoren wie persönliche Betroffenheit, kulturelle Interpretationsmuster oder Interessen beeinflussen die Wahrnehmung.
- Verteilungsgerechtigkeit: Vor- und Nachteile der Rohstoffgewinnung sind in der Regel ungleich verteilt. Es bedarf einer Auseinandersetzung damit, wie sie möglichst angemessen und ‚gerecht‘ verteilt werden können als auch damit, wie und durch wen definiert werden kann wann eine Verteilung gerecht und angemessen ist.
- Ethische Perspektive: Die eingehende Betrachtung ethischer Belange, Wertefragen und Fragen der Verantwortung in interkultureller Perspektive ist notwendig, um Konflikte zu verstehen, aber auch, um die Entwicklung innovativer Technologien gesellschaftlich verantwortlich zu gestalten.
- Gestaltung von Rohstoffindustrie und -politik: Ein Diskurs darüber, ob Governance-Ansätze wie z. B. die „Social License to Operate“ auf den Tiefseebergbau übertragbar sind und welche Vor- und Nachteile dies mit sich bringt.

Durch die Entwicklung von Lehrveranstaltungen, die relevantes sozialwissenschaftliches Wissen für den Abbau von Rohstoffen (im Meer) in gut handhabbarer, modularer Form aufbereiten, können Inhalte in bestehende Curricula der Aus- und Weiterbildung leichter integriert und die Wissensbasis entsprechend erweitert werden. Lehrveranstaltungen sind dann sinnvollerweise so konzipiert, dass ein interdisziplinärer und sozialwissenschaftlicher Fokus den Ausgangspunkt bildet und die naturwissenschaftlich-technische Perspektive auf die Thematik ergänzt. Auf diese Weise kann sozialwissenschaftliches Wissen so nutzbar gemacht werden, dass es ohne vertiefende theoretische und konzeptuelle Kenntnisse erlern- und anwendbar ist.

Die Lehrveranstaltungen können sowohl die universitäre Ausbildung in relevanten naturwis-

senschaftlich-technischen Studiengängen ergänzen als auch in die Weiterbildungscurricula von Experten und Expertinnen z. B. in Bergbau- und Explorationsunternehmen einbezogen werden. Unterschiedliche Formate wie eine regelmäßige Veranstaltung im Lauf eines Semesters oder Blockveranstaltungen, z. B. als Sommerschule oder als Wochenendfortbildung, sind dabei denkbar.

In Verbindung mit Themen der Rohstoffgewinnung wurde in der Nachwuchsgruppe GORmin ein entsprechendes Lehrmodul entwickelt, das erstmals im kommenden Wintersemester 2018/2019 an der Technischen Universität Clausthal im Masterstudiengang „Umweltverfahrenstechnik und Recycling“ unterrichtet wird (Bleicher et al., 2018).

Einen ähnlichen Ansatz, aber bezogen auf Energiethemen, verfolgt das Projekt TEACHENER. Im Rahmen dieses Projektes werden acht Lehrmodule entwickelt, die ab Mitte 2019 frei zur Verfügung stehen werden und von jedermann genutzt werden können. Die erarbeiteten Themen sind auch auf Rohstoffthemen übertragbar.

Gerade diejenigen Studiengänge, die sich mit Rohstoffgewinnung und Rohstoffsicherung beschäftigen, müssen sich noch stärker damit auseinandersetzen, dass ihre Forschungsarbeit in einen gesellschaftlichen und politischen Kontext eingebunden ist. Lösungsangebote aus den Naturwissenschaften werden immer stärker gesellschaftlich hinterfragt und sehen sich zunehmend kritischen Fragestellungen über den Nutzen, mögliche Umweltfolgen und mögliche gesellschaftliche Auswirkungen gegenübergestellt.

Die öffentliche Bewertung von Naturwissenschaft und ihrer Folgen, aber auch die Partizipationsansprüche an Wissenschaft insgesamt haben sich verändert. Die Integration aktueller und künftig zu erwartender gesellschaftlicher Debatten in Verbindung mit sozialwissenschaftlichen Erklärungsansätzen in die Aus- und Weiterbildung kann das gegenseitige Verständnis von

Wissenschaft und gesellschaftlichen Akteuren und Sensibilität wissenschaftlicher Akteure für gesellschaftliche Themen fördern. Die Integration sozialwissenschaftlicher Perspektiven würde auch den Erkenntnisprozess in den Naturwissenschaften befruchten.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Baker, E. & Beaudoin, Y. (Hrsg.). (2013). *Deep Sea Minerals: Deep Sea Minerals and the Green Economy* (Vol. 2). Secretariat of the Pacific Community.
- Bleicher, A., David, M. & Rutjes, H. (2018). *Rohstoffpolylog – Governanceinstrumente für eine verantwortungsvolle Entwicklung von Rohstofftechnologien* [Policy Brief, www.ufz.de]. Aufgerufen am 08.10.2018.
- Felt, U. & Wynne, B. (2007). *Taking European Knowledge Society Seriously. European Commission. Report of the Expert Group on Science and Governance to the Science, Economy and Society Directorate, Directorate-General for Research, European Commission*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Owen, J. R. (2016). Social license and the fear of Mineras Interruptus. *Geoforum*, 77, 102-105. doi:[10.1016/j.geoforum.2016.10.014](https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.10.014)
- Owen, J. R. & Kemp, D. (2013). Social license and mining: A critical perspective. *Resources Policy*, 38(1), 29-35. doi:[10.1016/j.resourpol.2012.06.016](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.06.016)
- Parsons, R. & Moffat, K. (2014). Constructing the Meaning of Social Licence. *Social Epistemology*, 28(3-4), 340-363. doi:[10.1080/02691728.2014.922645](https://doi.org/10.1080/02691728.2014.922645)
- Prno, J. (2013). An analysis of factors leading to the establishment of a social licence to operate in the mining industry. *Resources Policy*, 38(4), 577-590. doi:[10.1016/j.resourpol.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.09.010)
- Stilgoe, J. & Guston, D. H. (2016). Responsible Research and Innovation. In U. Felt, R. Fouché, C. Miller & L. Smith-Doerr (Hrsg.), *The Handbook of Science and Technology Studies* (4th Edition) (S. 853-880). Cambridge: MIT Press, Cambridge.

Hintergrund: Social License to Operate

Die Idee der „Social License to Operate“ (SLO) wurde in den 1990er-Jahren von der Rohstoffindustrie in Reaktion auf den zunehmenden öffentlichen Widerstand gegen Rohstoffgewinnungsprojekte und die Forderung nach stärkerer Einbeziehung lokaler Gemeinden in entsprechende Vorhaben entwickelt (Prno, 2013). Es wurde deutlich, dass die Erfüllung (umwelt-) rechtlicher Anforderungen allein nicht mehr ausreichte, um gesellschaftliche Erwartungen an bergbauliche Vorhaben zu erfüllen (Prno, 2013).

Vor diesem Hintergrund wird die Erreichung einer sogenannten „Social License to Operate“ als ein Mittel verstanden, möglicherweise kostspielige Konflikte zu vermeiden und das unternehmerische Risiko zu senken. Die Idee der SLO ist, dass Nachhaltigkeitsaspekte beachtet und lokale Akteure frühzeitig in Bergbauvorhaben einbezogen, ihre Belange aufgegriffen werden und auf diese Weise eine kontinuierliche Unterstützung eines Bergbauvorhabens durch lokale Gemeinden entsteht.

Allerdings ist der Begriff der License oder Genehmigung insofern irreführend, als dass es sich (bislang) nicht um ein transparentes Verfahren oder ein rechtlich bindendes Dokument handelt, das auf Grundlage nachvollziehbarer Kriterien entsteht (Owen, 2016; Parsons und Moffat, 2014). Einige Autoren argumentieren sogar, dass die Idee der SLO in der Praxis eher dem Abwehren kritischer Diskussionen und der Durchsetzung der Geschäftsinteressen der Rohstoffindustrie dient als einer tatsächlichen und bestenfalls gleichwertigen Einbeziehung lokaler Belange (Owen & Kemp, 2013).

Was muss im Meeresbodenbergbau noch weiter erkundet werden?

Mitglieder der Strategieguppe Marine Mineralische Ressourcen des Konsortiums
Deutsche Meeresforschung, KDM

Es gibt noch viele offene Fragen, wenn es um die Folgen des Meeresbodenbergbaus für die dortigen Ökosysteme geht. Bis es zur wirtschaftlichen Nutzung mariner mineralischer Rohstoffe der Tiefsee kommt, kann die Forschung Grundlagen für eine Risikoabschätzung erarbeiten. Es müssen aber auch völlig neue Technologien entwickelt werden, um ein verlässliches Umweltmonitoring in der Tiefsee zu gewährleisten.

-
- Wir wissen noch wenig über Tiefseeökosysteme, beispielsweise ihre Fähigkeit, sich nach Störungen durch Tiefseebergbau wieder zu regenerieren.
 - Durch neue Forschungsansätze müssen Grundlagen für Risikoabschätzungen eines Tiefseebergbaus gelegt werden.
 - Im Mittelpunkt dabei stehen verschiedene Aspekte wie z. B. Umweltverträglichkeit oder die Entwicklung von Geräten zum Umweltmonitoring.
-

Durch die Einführung neuer Technologien wie der Elektromobilität werden in den kommenden 20 Jahren deutliche Zunahmen beim Verbrauch von Metallrohstoffen erwartet. Dazu zählen Nickel, Kupfer, Lithium, Kobalt und die sogenannten Seltenen Erden. Auch der globale Bevölkerungsanstieg, gekoppelt mit einem steigenden Lebensstandard, wird den Verbrauch massiv steigern. Auch wenn das Recycling einen zunehmenden Anteil dieses Mehrbedarfs decken kann, wird die bergbauliche Gewinnung von mineralischen Rohstoffen an Land noch über Jahrzehnte die Grundlage der globalen Rohstoffversorgung bilden. Mineralische Rohstoffe aus der Tiefsee können einen Beitrag zur Deckung dieses Mehrbedarfs leisten.

Erste Abbautests mariner mineralischer Rohstoffe im Pilotmaßstab wurden innerhalb von ausschließlichen Wirtschaftszonen bereits durchgeführt (beispielsweise auf Massivsulfide in Japan), während Abbauregularien für internationale Gewässer derzeit durch die Internationale

Meeresbodenbehörde erst erarbeitet werden. Die Herausforderungen zur Entwicklung von Technologie zur Erkundung, zum Abbau und zum Monitoring in der Tiefsee sowie zur Verhütung sind groß. Wir wissen zudem noch wenig über die Fähigkeit der sensiblen Tiefseeökosysteme, etwa bei Fragen der Kompensation von Störungen durch einen Tiefseebergbau und der anschließenden Regeneration.

Die gesellschaftspolitische Diskussion zur Erschließung von Rohstoffvorkommen in der Tiefsee wird kontrovers geführt, da mögliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft sowie Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz wissenschaftlich noch nicht ausreichend untersucht und beantwortet worden sind. Ein wesentlicher Aspekt betrifft dabei das Ausmaß von Schädigungen der Tiefseeökosysteme: Was ist hier vertretbar, welche sozio-ökologischen Szenarien sind zu erwarten und wie sind diese im Vergleich mit Szenarien im Landbergbau zu bewerten?

Durch neue Forschungsansätze müssen Grundlagen für Risikoabschätzungen eines Tiefseebergbaus gelegt werden. Langfristige und kumulative Effekte für die marine Umwelt müssen identifiziert und die Entwicklung multifaktorieller Managementkonzepte vorangetrieben werden. Bis zum Beginn der wirtschaftlichen Nutzung mariner mineralischer Rohstoffe der Tiefsee kann die Forschung Grundlagen erarbeiten, auf denen eine Risikoabschätzung, gesellschaftlich akzeptable Handlungsszenarien und rechtlich verbindliche Vorschriften zum Umweltschutz entwickelt werden können. Beispiele für konkrete Forschungsansätze sind:

- **Forschung zu Entstehungsprozessen und Bildungsbedingungen.** Dazu gehört beispielsweise die Bestimmung von Material- und Energieflüssen (z. B. von Spurenmetallen in der benthischen Zone) und von den zugrundeliegenden biogeochemischen Prozessen, die zu lagerstättenrelevanten Anreicherungen sowie ggf. zu Umweltauswirkungen bei einem Abbau führen. Diese Untersuchungen sind eine wichtige Grundlage für die belastbare Bewertung der Potentiale dieser Rohstoffvorkommen.
- **Forschung zur globalen Verteilung mariner mineralischer Rohstoffe.** Derzeitige Aussagen bezüglich des globalen Rohstoffpotentials mariner mineralischer Rohstoffe beruhen auch auf unzureichenden Daten zu ihrer Verteilung. Insbesondere für die Massivsulfide liegen hier nur unzureichende Angaben vor. Jüngere Forschungsergebnisse im Atlantik und im westlichen Pazifik haben aber auch gezeigt, dass die Verteilung wirtschaftlich interessanter Vorkommen von Manganknollen und -krusten bei Weitem nicht vollständig erfasst sind. Für diesen Forschungsschwerpunkt ist neben einer internationalen Kooperation auch eine freie Verfügbarkeit von Forschungsdaten erforderlich.
- **Erforschung der Umweltverträglichkeit von Tiefseebergbau.** Dazu gehören Untersuchungen der Biodiversität und der Ausbreitungsareale von Fauna und Mikroorganismen, ebenso wie die Erforschung der Resilienz von Tiefseeorganismen gegenüber mechanischen Störungen, dem Freisetzen toxischer Metalle und der Rückkopplungen zwischen biogeochemischen Prozessen, Ökosystemfunktionen und Faunengemeinschaften. Kenntnisse über großräumige genetische Verbundenheit von Populationen sind nötig, die potentiell das Überleben von Arten sichern. Weiterhin müssen Rückkopplungseffekte mit anderen marinen und küstennahen Ökosystemen untersucht werden, beispielsweise durch verdriftende Partikelwolken, die eutrophierende oder hemmende Wirkung für die biologische Produktion haben können.
- **Entwicklung von Geräten zum Umweltmonitoring** in ungestörten Gebieten, bei Abbauteests bzw. für einen zukünftigen kommerziellen Tiefseebergbau. Dazu gehört die Entwicklung von Geräten und Konzepten für ein zeitlich und räumlich hoch aufgelöstes Monitoring (Baseline und Langzeitbeobachtungen), beispielsweise durch die Entwicklung von Sensoren oder autonomen Systemen, ebenso wie die Bestimmung von Grenzwerten für die Umweltbelastung.
- **Entwicklung von Geräten zur Erkundung mineralischer Vorkommen.** Hier werden beispielsweise kostengünstige und schnelle Erkundungstechnologien benötigt. Für die Massivsulfide werden Technologien zur Erfassung der Tiefenerstreckung der Lagerstätte und deren Metallgehalt, beispielsweise im Bereich der Bohrtechnik oder der Geophysik, benötigt. Für die Manganknollen sind beispielsweise Vermessungsgeräte zur detaillierten Kartierung der Befahrbarkeit des Meeresbodens zu entwickeln.
- **Forschung und Entwicklung zur Verhütung.** Insbesondere für die metallurgische Verarbeitung von Manganknollen stehen keine etablierten Verfahren zur Verfügung, die neben Kupfer, Kobalt, Nickel und Mangan auch die wertvollen Nebenmetalle wie z. B. Seltene Erden effizient extrahieren können. Aus Gründen des Umweltschutzes und einer nachhaltigen Nutzung sollten Verfahren entwickelt werden, die das gewonnene Erz vollständig verwerten, ohne Reststoffe

zu erzeugen. Neben pyrometallurgischen Verfahren bieten auch andere Ansätze, wie beispielsweise die Biolaugung, weitere Potentiale.

- **Erforschung der gesellschaftlichen Folgen von Tiefseebergbau** in Form von sozio-ökonomischen Betroffenheitsstudien, z. B. zur Beeinträchtigung des Fischfangs, und Konzeptentwicklungen für gesellschaftlich akzeptable, ökonomisch und ökologisch nachhaltige Nutzungsszenarien mariner mineralischer Rohstoffe. Hierbei müssen auch die besonderen wirtschaftlichen, kulturellen und gesellschaftlichen Situationen der Bewohner pazifischer Inselstaaten sowie die sozio-ökonomischen Auswirkungen von Tiefseebergbau auf Staaten mit Landbergbau (z. B. in Afrika) berücksichtigt werden.

Beitrag erstellt am 6. Dezember 2018

Referenzen

- Konsortium Deutsche Meeresforschung – KDM. (o.D.). Strategiegruppe Mineralische Ressourcen [Webseite, www.deutsche-meeresforschung.de]. Aufgerufen am 08.11.2018.

Was ist ESKP ?

Die **Earth System Knowledge Platform** (www.eskp.de) ist die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft.

Getragen wird ESKP vom **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)**, dem **Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**, dem **Forschungszentrum Jülich (FZJ)**, **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel**, dem **Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)**, dem **Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG)**, dem **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** sowie dem **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**.

Das Themenspezial-Format der Wissensplattform bietet übergreifende Syntheseperspektiven zu jeweils einem besonderen Thema (themenspezial.eskp.de). Bereits erschienen sind die Ausgaben „**Rohstoffe in der Tiefsee**“, „**Metropolen unter Druck**“, „**Plastik in Gewässern**“, „**Biodiversität im Meer und an Land**“ sowie „**Vulkanismus und Gesellschaft**“ .

Heft-DOI: <https://doi.org/10.2312/eskp.2018.2>