

Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft, www.eskp.de

Energiewende & Umwelt · Rohstoffe

MANGANKNOLLEN-ABBAU GEFÄHRDET DIE ÖKOSYSTEME DER TIEFSEE

Felix Janssen¹, Tobias Vonnahme², Matthias Haeckel³

¹ Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)

² Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie

³ GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Zuerst publiziert: 14. Mai 2020, 7. Jahrgang

Digitaler Objektbezeichner (DOI): <https://doi.org/10.2312/eskp.024>

Teaser

Die Versorgung der globalen Wirtschaft mit Metallen für Hightech-Produkte könnte auch vom Tiefseebergbau abhängen. Das ist aber problematisch.

Keywords

Tiefseebergbau, Kupfer, Nickel, Kobalt, Lithium, DISCOL, Manganknollen, Mikroorganismen, 16S rRNA-Marker, Meeresboden, Tiefseeboden, Census of Marine Life, Meeresbodenbehörde, ISA, MiningImpact, UNCLOS

Der Tiefseebergbau wird als eine neue Möglichkeit diskutiert, um wichtige Rohstoffe zu fördern. Entsprechende Technologien befinden sich in der Entwicklung. Wir sprechen mit Forschenden vom Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, vom Alfred-Wegener-Institut und vom GEOMAR, die sich mit den Auswirkungen des Abbaus von Rohstoffen in der Tiefsee auf das dortige Ökosystem befassen.

Lieber Herr Dr. Janßen, lieber Herr Vonnahme, lieber Herr Dr. Haeckel, warum sind der Tiefseeboden und die dort befindlichen Manganknollen so interessant? Wieso befasst man sich überhaupt damit, wenn die Rohstoffe, die in den Knollen enthalten sind, doch auch im normalen Bergbau gewonnen werden können?

Die polymetallischen Knollen enthalten neben ihren Hauptbestandteilen, nämlich Mangan- und Eisen-Oxiden auch circa drei Prozent kritische Metalle, vor allem Kupfer, Nickel und Kobalt sowie Lithium. Diese Metalle werden für verschiedenste Hightechprodukte ebenso

wie für den Ausbau von erneuerbaren Energieträgern, z.B. Windräder und Batteriespeicher benötigt. Bei dem derzeitigen Bevölkerungswachstum und ungezügelm Rohstoffverbrauch wird prognostiziert, dass Landbergbau und Recycling diese Nachfrage ab 2050 nicht mehr abdecken können. Außerdem werden einige Rohstoffe, wie die Seltenen Erden, momentan nur in wenigen Ländern abgebaut, was zu politischer Abhängigkeit führt. Daher wird der Manganknollenabbau trotz der hohen Kosten interessant.

Infokasten: „Kritische“ Rohstoffe

- Als „kritisch“ gilt ein Rohstoff, wenn für die deutsche Wirtschaft ein Versorgungsrisiko und/oder eine Verwundbarkeit besteht.
- Versorgungsrisiken: Es bestehen bei diesen Rohstoffen Risiken hinsichtlich einer sicheren, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Versorgung.
- Verletzbarkeit (Vulnerabilität): Die deutsche Wirtschaft kann bei auftretenden Störungen der Versorgung mit solchen mineralischen Rohstoffen besonders geschädigt werden.
- Vorsorgende Maßnahmen seitens der Unternehmen sowie politischer Akteure können diese Risiken minimieren (Erdmann et al., 2011).



Abb. 1: Probenahme mit einem ferngesteuerten Fahrzeug (ROV) an einer der experimentellen Störungsstrecken, die 1989 mit einem Schiffsschlepppflug angelegt wurden. (Foto: GEOMAR, ROV Kiel 6000)

Im Jahr 1989 führten deutsche Wissenschaftler im Peru-Becken eine Studie zu den Auswirkungen des Tiefseebergbaus durch. Welche Ziele verfolgte diese Impact-Studie und wie wurde sie durchgeführt? In welcher Weise wurde dabei ein möglicher Tiefsee-Bergbau simuliert?

Bei diesem als „DISCOL“ (Disturbance and reColonization) bezeichneten Störungs- und Wiederbesiedlungsexperiment wurden innerhalb eines circa 11 Quadratkilometer großen Areal die oberen 10 bis 15 Zentimeter des Meeresbodens in einer Wassertiefe von 4200 Metern mit einer Pflug-Egge umgegraben. Um einen Tiefseebergbau mit den verfügbaren Mitteln zu simulieren wurden die Manganknollen in den einzelnen, 8 Meter breiten Pflugspuren untergepflügt und damit von der Oberfläche entfernt. Zusätzlich wurde durch das Pflügen eine Sedimentwolke erzeugt, die sich in der Umgebung wieder abgelagert hat und dort die Meeresboden-Oberfläche und die Fauna zudeckte. Die experimentelle Störung unterscheidet sich in der Art ihrer Entstehung und in ihrem Ausmaß von einem tatsächlichen Tiefsee-Bergbau, der die Manganknollen zusammen mit der Fauna am Meeresboden auf großen Flächen komplett entfernen würde. Das Experiment erlaubt aber auf einer kleineren Skala eine Untersuchung, wie ein Manganknollen-Ökosystem in der Tiefsee auf direkte mechanische Störungen und Ablagerungen aufgewirbelter Sedimente reagiert, ob es sich davon erholen kann und wie lange dies dauert. Dies lässt daher auch Rückschlüsse auf die zu erwartenden Konsequenzen von zukünftigem Tiefseebergbau zu.

Nun haben Sie den damals untersuchten Bereich noch einmal unter die Lupe genommen. Welche Erkenntnisse konnten dabei im Hinblick auf die Inanspruchnahme des Tiefseebodens und des betreffenden Ökosystems durch einen möglichen Tiefsee-Bergbau gewonnen werden?

Auf den ersten Blick konnten wir sehen, dass die Pflugspuren auch nach 26 Jahren immer noch deutlich sichtbar sind - ein Beleg für die äußerst stabilen Bedingungen in diesen Systemen mit relativ geringen Strömungen und geringer natürlicher Umlagerung der Sedimente. Eine Untersuchung der im Meeresboden lebenden Mikroorganismen mit einer Sequenzierung des 16S rRNA-Marker-Gens ergab keinen eindeutigen Nachweis für Veränderungen in der Artenzahl und Zusammensetzung der Mikroorganismen-Gemeinschaften. Wir waren allerdings sehr erstaunt festzustellen, dass sowohl die Aktivität als auch die Individuenzahlen der Mikroorganismen in den gestörten Bereichen des Meeresbodens auch nach 26 Jahren noch deutlich reduziert waren. Dies bedeutet, dass eine wichtige Komponente an der Basis des Meeresboden-Nahrungsnetzes auch ein Vierteljahrhundert nach der Störung in seiner Produktivität eingeschränkt ist und für die höheren trophischen Ebenen des Ökosystems, die direkt oder indirekt von Mikroorganismen leben, weniger Nahrung bereitgestellt wird. Aus der beobachteten Reduktion in den Individuenzahlen und den gemessenen Wachstumsraten haben wir berechnet, dass die Mikroorganismen mindestens 50 Jahre brauchen, um wieder Ihre ursprüngliche Biomasse zu erreichen.

Was unterscheidet diese Impact-Studie von anderen Untersuchungen?

Zum einen stellt die 1989 begonnene Studie die längste Zeitreihe für ökologische Studien in der Tiefsee dar, zum anderen ist sie die einzige Untersuchung, die einen so umfassenden Datensatz aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, von Biologie über Biogeochemie und Geologie bis zur Ozeanographie und - mit der Verfügbarkeit molekularbiologischer Verfahren - jetzt auch Mikrobiologie, geliefert hat. Die nun publizierte Arbeit ist die erste Studie, die sich, im Zusammenhang mit der Simulation der durch einen potentiellen Tiefseebergbau hervorgerufenen Störungen, mit dem mikrobiellen System befasst. In der Studie wurden sowohl die Sedimentstruktur und -zusammensetzung, mikrobielle Aktivitäten und Diversität sowie die Auswirkungen auf biogeochemische Prozesse berücksichtigt. Außerdem haben es uns die eingesetzten Tiefsee-Roboter und -Technologien, mit denen Untersuchungen direkt am Meeresboden möglich sind, erstmals erlaubt, sowohl die unterschiedlichen Typen von Störungen im DISCOL-Gebiet als auch die resultierenden, graduellen Abstufungen der Auswirkungen auf kleinstem Raum quantitativ zu untersuchen.



Abb. 2: Spuren von Leben in der Tiefsee: Gelegentlich finden sich verkrustende Würmer und weiße Spuren auf einigen polymetallischen Knötchen. Sie sind das einzige offensichtliche Leben auf vielen Metern Meeresboden. (Foto: GEOMAR, ROV Kiel 6000)

Welche Bedeutung hat die mikrobielle Artenvielfalt in der Tiefsee für das Ökosystem und die Biodiversität im Meer? Können Sie anschauliche Beispiele nennen? Wo bestehen noch Wissenslücken, die dringend beforscht werden müssen?

Mikroorganismen im Tiefseeboden sind wichtig für den Abbau von abgestorbenem pflanzlichem und tierischem Material, das in der lichtdurchfluteten Oberfläche der Ozeane produziert wird und durch die Wassersäule zum Meeresboden absinkt. Durch den Abbau

dieses organischen Materials am Meeresboden vermehren sich Mikroorganismen, sie produzieren also Biomasse. Diese Biomasse steht als Nahrung für größere Organismen z.B. verschiedenste Würmer, Krebstiere und Seegurken, die wiederum von Fischen und anderen Tieren gefressen werden, zur Verfügung. Mikroorganismen stehen somit an der Basis des Tiefsee-Nahrungsnetzes und leisten einen Beitrag für intakte Lebensgemeinschaften der Tiefseeböden, deren außerordentliche Vielfalt zum Beispiel im „Census of Marine Life“ (www.coml.org) – einer umfassenden Erfassung aller bekannten Meeresorganismen – eindrucksvoll demonstriert wurde. Dennoch ist ein Großteil der Meeresvielfalt noch unbekannt.

Gleichzeitig nehmen wir an, dass produktive mikrobielle Lebensgemeinschaften eine entscheidende Voraussetzung für eine Wiederbesiedlung gestörter Flächen sind. Eine weitere Bedeutung besteht in der Freisetzung von Nährstoffen und Kohlenstoffdioxid beim Abbau des organischen Materials, welches die globalen Stoffkreisläufe u.a. für Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff auf geologischen Zeitskalen beeinflusst und langfristig die Produktivität der Ozeane erhält. Die genauen Prozesse und möglichen Funktionen der Mikroorganismen sind noch bei weitem nicht vollständig erforscht. Ein großes Potential für eine zukünftige Nutzung im Rahmen von biotechnologischen Anwendungen liegt auch in der genetischen Vielfalt der Mikroorganismen.

Wie wirken in der Entwicklung befindliche Tiefsee-Bergbau-Technologien auf den Meeresboden vermutlich ein? Welche Erwartungen bezüglich der Folgen der Nutzung dieser Technologien können aus Ihren Untersuchungen abgeleitet werden?

Die bisher angedachten Tiefseebergbau-Technologien und die, die in den nächsten Jahren getestet werden, entfernen mit den Manganknollen auch das Oberflächensediment, bis etwa 15 cm Tiefe, und damit auch die gesamte Meeresbodenfauna in den Abbaufächern. Diese Oberflächenschicht ist auch für die mikrobiellen Prozesse und Stoffumsätze am wichtigsten. Daher hat die Entfernung der Oberflächensedimente langfristige Auswirkungen auf die mikrobielle Aktivität und Produktivität - mit potentiell bedeutenden Folgen für die Lebensgrundlage und die Funktionen anderer Organismen und das Ökosystem insgesamt. Dazu kommt die mit einem Abbau einhergehende Aufwirbelung von Sediment. Die Ausbreitung der Sedimentwolken, die nachfolgende Bedeckung umliegender Flächen mit diesem Material und - vor allem - die Konsequenzen für Tiefsee-Lebensgemeinschaften, sind bislang nur unzureichend untersucht.

Sie empfehlen dringend die Entwicklung ökologisch nachhaltiger Technologien. Aber sind solche überhaupt wirtschaftlich zu betreiben? Könnten wirtschaftliche Zwänge dann nicht doch zu einer noch höheren Inanspruchnahme von Bergbau-betroffenen Ökosystemen an Land führen, zumal die alternative Technologie des Weltraum-Bergbaus vorerst auch noch in den Kinderschuhen steckt?

„Ökologisch nachhaltige Technologien“ ist vielleicht etwas missverständlich im Zusammenhang mit dem Abbau eines nicht-nachwachsenden Rohstoffs - „minimalinvasive Technologien“ trifft es besser. Hierzu zählt - neben dem Einsatz möglichst schonender und spezifisch für den Tiefseebergbau entwickelter Abbaumaschinen - auch eine umsichtige Raumplanung der Abbauaktivitäten in der Tiefsee, mit der langanhaltende Umweltschäden außerhalb der Abbauflächen vermieden werden. Dies haben die verantwortungsbewussten Akteure auch verstanden und der Mining Code der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) sollte diese Grundgedanken nun auch reflektieren, damit sich alle Firmen in Bezug auf ihre Technologieentwicklungen und Abbaukonzepte daran orientieren können. Zudem muss die Gesellschaft, also wir alle, in der Zukunft zu einer Ressourcen-schonenderen Lebensweise mit einem angemessenen Konsumverhalten kommen.

Jede Art von Bergbau ist mit einem massiven Eingriff in ein Ökosystem verbunden. Was spricht dafür beispielsweise die Tiefsee zu verschonen, den kongolesischen Regenwald jedoch vielleicht durch Bergbautätigkeiten für immer zu vernichten. Wie kann man hier klug argumentieren und überregional abwägen? Wie können mögliche Zielkonflikte entschieden werden?

Die ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen der verschiedenen Optionen für eine künftige Rohstoffversorgung sind außerordentlich komplex und ihre Bewertung erfordert Beiträge verschiedenster wissenschaftlicher Disziplinen. Idealerweise findet eine Entscheidung für oder gegen einen Tiefseebergbau im Rahmen einer sachlichen und gut informierten gesellschaftlichen Abwägung statt. Zu einer solchen Abwägung leisten wir einen Beitrag, indem wir wissenschaftliche Erkenntnisse zu den Auswirkungen auf Tiefsee-Ökosysteme zusammentragen. Dies beinhaltet in der aktuellen Phase des Projektes MiningImpact auch eine Risikobewertung, inklusive ökonomischer Kosten-Nutzen-Analyse. So unterstützen unsere Arbeiten hoffentlich die Ausgestaltung der Regularien für den Tiefseebergbau.

Welche wesentlichen Punkte müssten von zukünftigen Umweltstandards für den Tiefseeboden aus ökologischer Sicht abgedeckt werden?

Zukünftige Umweltstandards sollten gewährleisten, dass Kriterien festgelegt werden, die eine unumkehrbare Schädigung des Tiefsee-Ökosystems verhindern oder zumindest auf die unmittelbar abgebauten Flächen beschränken. Da wir dieses Ökosystem derzeit noch nicht in all seiner Komplexität verstehen, müssen die Regularien adaptiv gestaltet werden, d.h. es muss möglich sein, neu erlangte Erkenntnisse aufzunehmen und Grenzwerte dann auch zu korrigieren. Zudem sollten Methoden definiert werden, die die Bewertung eines „gesunden Umweltzustands“ sowie die Feststellung des Grades der Schädigung ermöglichen. Dazu haben wir in unserer Veröffentlichung einige Methoden vorgestellt, um Änderungen der Sedimentstruktur, Anzahl an Mikroorganismen und Aktivitäten zu

verfolgen. Es ist auch wichtig, Referenzgebiete vorzuhalten, die von jeglicher Störung geschützt sind und in ihren Eigenschaften - z.B. bezüglich Meeresbodenbeschaffenheit, Produktivität, und Lebensgemeinschaften - vergleichbar zu den durch einen Abbau gestörten Gebieten (also Abbauflächen und deren geschädigte Umgebung) sind. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass auch Gebiete, die sehr ähnlich aussehen, sehr unterschiedlich bezüglich ihrer mikrobiellen Diversität und Aktivität sein können.

Kann für Genehmigungsverfahren für den Tiefseebergbau außerhalb der Außenwirtschaftszonen auf schon bestehende Routinen zurückgegriffen werden? Müssen diese gegebenenfalls erweitert werden?

Hier gilt das 1994 ratifizierte „Seerechtsübereinkommen“ der Vereinten Nationen (UNCLOS - UN Convention of the Law of the Sea), welches die Aufgaben der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) definiert. Dazu gehören auch die zu beachtenden Besonderheiten, wie z.B. die Festlegung, dass die Ressourcen in diesem Gebiet ein „Erbe der Menschheit“ darstellen, also uns allen gehören und keinem Einzelnen. Dies bedeutet andersherum, dass wir alle in der Verantwortung stehen, hiermit sorgsam umzugehen. In den meisten Industriestaaten gibt es funktionierende Genehmigungsverfahren für die Förderung von Rohstoffen, etwa für Öl und Gas oder Sand, die adaptiert werden können. Zu vermeiden ist sicher, dass die Regulierung und Überwachung von Abbauaktivitäten in der Hand derselben Behörde liegen, die die Abbaulizenzen erteilt. Dies führt unweigerlich zu Interessenkonflikten.

Zum Abschluss, wie ist der aktuelle Stand bei der Entwicklung eines Mining Codes der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA)? Das Projekt MiningImpact hat ja weitreichende Vorschläge gemacht, um Umweltschäden beim Meeresbodenbergbau zu verhindern (siehe u.a. JPI Oceans, 2018; Boetius & Haeckel, 2018; Haeckel, 2018)? Wie wurden diese Vorschläge aufgenommen oder fließen in den Mining Code ein?

Umweltschäden verhindern kann das Projekt MiningImpact sicher nicht, denn diese sind unabdingbare Konsequenz jeglicher Tiefseebergbauaktivitäten. Unsere Vorschläge tragen aber hoffentlich dazu bei, dass die von der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) zu entwickelnden Umweltstandards und Protokolle möglichst hoch und wissenschaftlich abgesichert sind und im Mining Code auch für alle Vertragspartner verbindlich festgelegt werden. Der ISA ist bewusst, dass die Wissenschaft in diesen Prozess von Anfang an eingebunden sein muss und hat daher auch gleich zu Beginn des Projektes den Kontakt zu MiningImpact gesucht. Zudem tauschen wir uns regelmäßig mit den verschiedenen nationalen und internationalen Akteuren, wie Nichtregierungsorganisationen, Behörden, Firmen und der rechtlichen und technischen Kommission der Internationalen Meeresbodenbehörde aus, um über die Ergebnisse von MiningImpact zu informieren.

Außerdem nehmen aktiv an den Diskussionen zum Mining Code, z.B. auf ISA Workshops, teil. Momentan wird der dritte Entwurf des Mining Codes diskutiert und überarbeitet.

Lieber Herr Dr. Janßen, lieber Herr Vonnahme, lieber Herr Dr. Haeckel, wir danken Ihnen für das Gespräch.

Das Interview führten Oliver Jorzik und Dierk Spreen (ESKP).

Referenzen

Biogeosciences. (2018). *Assessing environmental impacts of deep-sea mining - revisiting decade-old benthic disturbances in Pacific nodule areas* [Sonderausgabe der Zeitschrift Biogeosciences zu MiningImpact, www.biogeosciences.net]. Aufgerufen am 09.05.2020.

Boetius, A. & Haeckel, M. (2018). Mind the seafloor. *Science*, 359(6371), 34-36. doi:10.1126/science.aap7301

Erdmann, L, Behrendt, S & Feil, M. (2011). *Kritische Rohstoffe für Deutschland* (Kurzfassung) [Studie im Auftrag der KfW Bankengruppe, www.kfw.de]. Berlin: Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung - IZT/adelphi.

Gollner, S., Kaiser, S., Menzel, L., Jones, D. O. B., Brown, A., Mestre, N. C., ... Martinez Arbizu, P. (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research*, 129, 76-101. doi:10.1016/j.marenvres.2017.04.010

Haeckel, M. (2018). Nachhaltige Auswirkungen des Tiefseebergbaus. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft* (S. 42-44) [themenspezial.eskp.de]. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2018.2.3.1

Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans - JPI Oceans. (2018). MiningImpact [Projektwebseite, miningimpact.geomar.de]. Aufgerufen am 09.05.2020.

Thiel, H., Schriever, G., Ahnert, A., Bluhm, H., Borowski, C. & Vopel, K. (2001). The large-scale environmental impact experiment DISCOL- Reflection and foresight. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 48(17-18), 3869-3882. doi:10.1016/S0967-0645(01)00071-6

Vonnahme, T. R., Molari, M., Janssen, F., Wenzhöfer, F., Haeckel, M., Titschack, J. & Boetius, A. (2020). Effects of a deep-sea mining experiment on seafloor microbial communities and functions after 26 years. *Science Advances*, 6(18):eaaz5922. doi:10.1126/sciadv.aaz5922

Zitiervorschlag

Janßen, F., Vonnahme, T. & Haeckel, M. (2020, 14. Mai). Manganknollen-Abbau gefährdet die Ökosysteme der Tiefsee (Interview). *Earth System Knowledge Platform* [www.eskp.de], 7. doi:10.2312/eskp.023



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

eskp.de | Earth System Knowledge Platform - die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft