

Chancen und Risiken des Tiefseebergbaus

Themenkurzprofil Nr. 61 | Christoph Bogenstahl | Februar 2023

Schon vor über 140 Jahren wurden in der Tiefsee Vorkommen wertvoller Rohstoffe wie Nickel, Kupfer, Kobalt und Seltene Erden entdeckt. Diese abzubauen, war bislang technisch kaum möglich, ökonomisch unrentabel und ist zudem mit ökologisch nur unzureichend abzuschätzenden Risiken verbunden. Aktuell steigt die weltweite Nachfrage nach diesen Edelmetallen und Mineralien kontinuierlich. Die Rohstoffe sind u.a. für die Energiewende von kritischer Bedeutung, weil sie für die Herstellung etwa von Stromspeichern, Windkraftanlagen und Solaranlagen benötigt werden. Die Versorgung mit diesen Rohstoffen wird aufgrund der politischen Lage in einzelnen Förderländern, steigender Extraktionskosten und der Verschärfung sozialer und ökologischer Standards zunehmend kritisch. Vor diesem Hintergrund wird die Erschließung neuer Rohstoffvorkommen intensiviert, auch bislang ungenutzte Ressourcen in der Tiefsee rücken (erneut) in den Fokus.

Dabei stellen sich technische, ökologische und regulatorische Herausforderungen. Die Entwicklung von Technologien für die Erkundung und den Abbau von Rohstoffen in der Tiefsee wird vorangetrieben. Es stehen verschiedene prototypische Technologien für den Abbau mineralischer Rohstoffe aus der Tiefsee zur Verfügung, die bislang aber noch nicht im industriellen Maßstab und nicht unter den Extrembedingungen der potenziellen Abbaugebiete einsetzbar sind. Der Tiefseebergbau kann zwar einen Beitrag zur Rohstoffversorgung leisten – beispielsweise entsprechen die Manganeserven unter Wasser in etwa denen an Land –, aber der Abbau ist nach derzeitigem Ermessen mit erheblichen ökologischen Risiken verbunden. Erste experimentelle Fördertests in der Tiefsee deuten auf irreparable Umweltschäden hin. Die Folgen für das hoch empfindliche Ökosystem der Tiefsee sind noch nicht ausreichend erforscht. Wissenschaftliche Erkenntnisse sind lückenhaft, was Prognosen hinsichtlich schädli-

cher Auswirkungen des Tiefseebergbaus, wie etwa das Aussterben von Meeresarten, erschwert. Regulatorisch befindet sich ein Großteil der für den Tiefseebergbau relevanten Lagerstätten außerhalb der jeweiligen nationalen Hoheitsgebiete von Küstenstaaten, unterliegt damit der Aufsicht der Internationalen Meeresbodenbehörde und gehört laut UN-Definition zum „Gemeinsamen Erbe der Menschheit“. Diese Gebiete müssen u.a. vor schädlichen Auswirkungen auf die Meeresumwelt bewahrt werden.

Akuter Regulierungsbedarf auf internationaler Ebene ergibt sich, nachdem der Pazifikstaat Nauru die Zweijahresklausel des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen aktiviert hat, wonach innerhalb von 2 Jahren nach der Ankündigung eines Abbauvorhabens in der Tiefsee (im Falle Naurus bis 2023) Regeln für dessen Durchführung entwickelt werden müssen. Die Verhandlungen mit der Internationalen Meeresbodenbehörde dazu laufen gegenwärtig (Stand November 2022).

Hintergrund und Entwicklung

Tiefseebergbau – Definition, Lagerstätten und weltweite Vorkommen

Unter Tiefseebergbau versteht man das Aufsuchen und Gewinnen von Mineralien aus dem tiefen Meeresboden. Insbesondere Vorkommen von Kobalt, Mangan, Titan und Seltenen Erden sowie Gold, Kupfer und Nickel könnten so erschlossen werden. Die wichtigsten Arten von Lagerstätten sind Manganknollen (polymetallische Knollen), kobaltreiche Eisenmangankrusten sowie Massivsulfide und Erzschlämme (Tab. 1). Sie sind weltweit verteilt (Abb. 1) und befinden sich typischerweise in 2.000 bis 6.000 m Tiefe an den Hängen von Seebergen, auf Mittelozeanischen Rücken, am Tiefseeboden sowie am Boden des Roten Meeres (UBA 2021).

Die genannten Mineralien spielen eine wichtige Rolle in Industrien wie Elektronik, Informations- und Kommunikationstechnik, Energie, Transport, Luft- und Raumfahrt, Bauwesen und Gesundheitswesen. Bodenschätze des Tiefseebodens enthalten verschiedene kritische Metalle, die insbesondere für die Umsetzung der Energiewende auf nationaler Ebene gebraucht werden (Jensen 2022; WOR 2021). Als kritisch werden Rohstoffe bezeichnet, die einerseits eine große wirtschaftliche Bedeutung haben, andererseits durch spezielle Versorgungsrisiken charakterisiert sind (Bundesregierung 2020). Nickel, Mangan, Kupfer und Kobalt werden beispielsweise in der Stahlveredlung und für die Herstellung von Stromspeichern (Lithiumbatterien) benötigt, Seltene Erden für Smartphones, Elektromotoren und Windturbinen.

Für Elektrofahrzeugbatterien und Energiespeicherung würde die Europäische Union (EU) verglichen mit der derzeitigen Versorgung der gesamten EU-Wirtschaft 2030 bis zu 18-mal mehr Lithium und 5-mal mehr Kobalt und 2050 fast 60-mal mehr Lithium und 15-mal mehr Kobalt benötigen (EK 2020a). Die Nachfrage nach Seltenen Erden könnte sich in der EU nach Angaben der Europäischen Kommission (EK 2020b) bis 2050 verzehnfachen. Zwar gibt es weltweit

ausreichende Vorkommen der benötigten Mineralien, allerdings stellen Abhängigkeiten von einzelnen Förderländern, steigende Extraktionskosten und die wachsende Bedeutung von sozialen und ökologischen Standards innerhalb der Lieferketten die Versorgung zukünftig vor Herausforderungen.

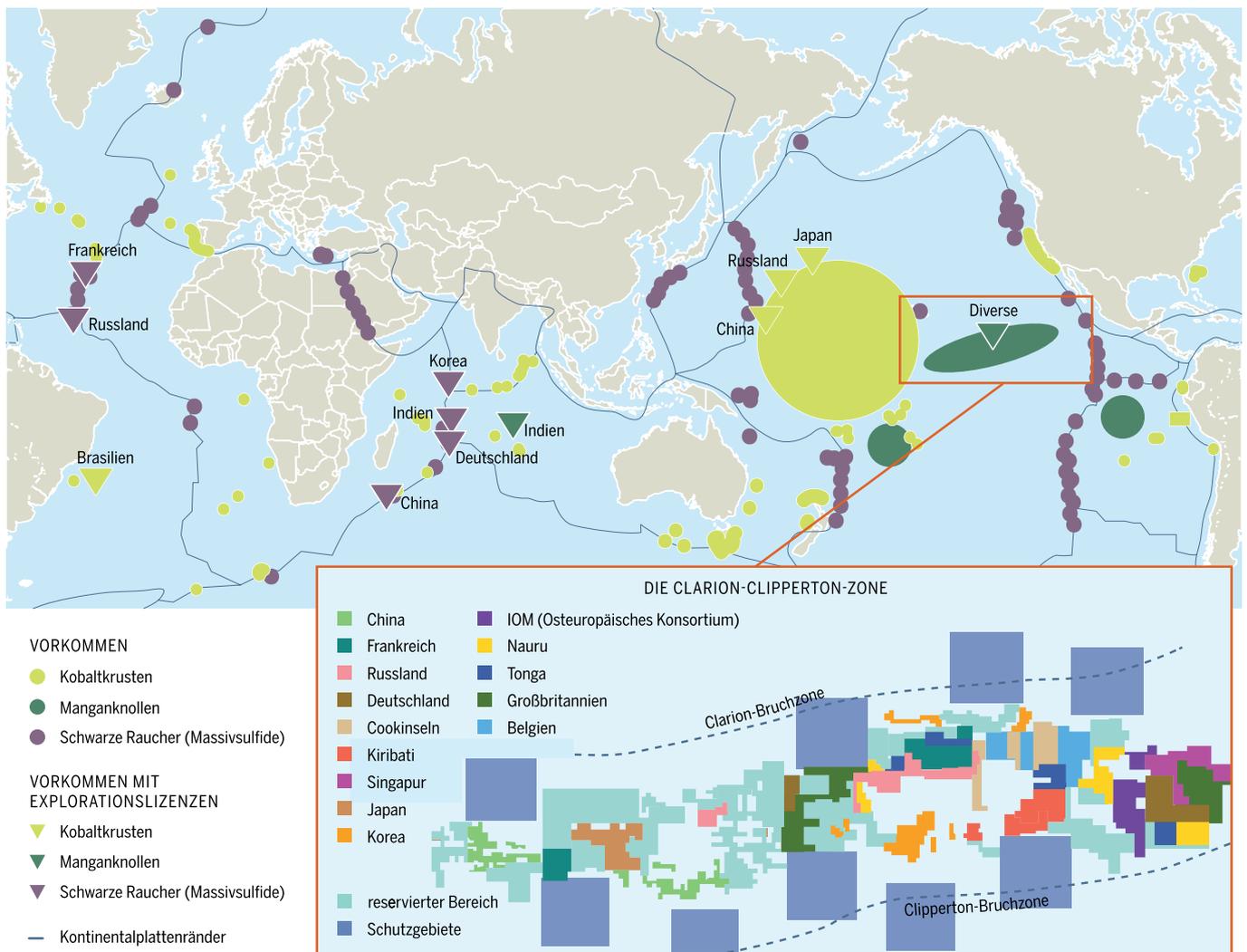
Die Lagerstätten liegen sowohl innerhalb als auch außerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszonen (AWZ) von Küstenstaaten (Rühlemann et al. 2019). Die AWZ sind eine bis zu 200 Seemeilen von der Basislinie (entspricht in etwa der Küstenlinie eines Staates) reichende Zone, innerhalb derer Küstenstaaten über hoheitliche Rechte zur Erforschung und wirtschaftlichen Nutzung des Meeres und des Meeresbodens verfügen. Die AWZ schließt auch den Festlandssockel (Kontinentalschelf) mit ein. Außerhalb der AWZ befindet sich das internationale Gewässer (Abb. 2). Rund 81 % aller bekannten Manganknollenfelder, 46 % der Eisenmangankrusten und 58 % der Massivsulfide befinden sich in internationalen Gewässern (WOR 2021). Eine bedeutsame Lagerstätte ist die Clarion-Clipperton-Zone, die sich über 1,7 Mio. km² zwischen Hawaii und Mexiko erstreckt und über ein reiches Vorkommen manganhaltiger polymetallischer Knollen verfügt (Abb. 1).

Tab. 1 Arten von Lagerstätten für den Tiefseebergbau

Art der Lagerstätte	enthaltene Mineralien	Abbauort und größte wirtschaftlich relevante Vorkommen in der Tiefsee
Manganknollen (polymetallische Knollen)	Nickel, Kupfer und Kobalt sowie Mangan, Eisen, Titan, Molybdän, Zink und Lithium	Manganknollen haben eine Größe von bis zu einigen Zentimetern. Sie liegen in sedimentbedeckten Tiefseeebenen der Ozeane in 4.000 bis 6.000 m Tiefe. Pazifischer Ozean: Manganknollengürtel der Clarion-Clipperton-Zone zwischen Hawaii und Mexiko (5 Mio. km ²); Manganreserven dort entsprechen etwa der globalen Gesamtmenge an Land (Sharma 2017). Weitere Vorkommen im Perubecken (Südostpazifik), im Penrhynbecken (Westpazifik) sowie im zentralen Indischen Ozean. Die größten wirtschaftlich relevanten Vorkommen liegen in internationalen Gewässern.
kobaltreiche Eisenmangankrusten (Kobaltkrusten, polymetallische Krusten)	Kobalt, Titan, Molybdän, Zirkon, Tellur, Bismut, Niob, Wolfram, Seltene Erden sowie Platin	Ablagerungen von bis zu 20 cm Dicke, die sich an Hängen von Unterseevulkanen, an Rändern von Bergrücken und Seebergen in 800 bis 2.500 m Tiefe bilden ca. 66 % der Vorkommen im Pazifischen Ozean, weitere 23 % im Atlantik und rund 11 % im Indischen Ozean, ca. die Hälfte davon in internationalen Gewässern
Massivsulfide (hydrothermale Schlote)	Kobalt, Antimon, Indium, Selen, Tellur, Gallium, Germanium, Bismut und Molybdän sowie Kupfer, Zink, Blei, Silber und Gold	Ablagerungen am Meeresboden von bis Hunderten Metern Ausdehnung an heißen Quellen um vulkanische Strukturen (Schlote) herum; in 1.600 bis 4.000 m Tiefe Vorkommen grundsätzlich an allen tektonischen Plattengrenzen der Erdkruste – beispielsweise an Mittelozeanischen Rücken (Backarc-Spreizungszonen) sowie an Inselbögen

Quellen: Rühlemann et al. 2019; UBA 2021; WOR 2021

Abb. 1 Für den Tiefseebergbau relevante Rohstoffvorkommen inklusive der für einzelne Länder reservierten Bereiche



Quelle: Heinrich-Böll-Stiftung 2017, S. 35; lizenziert unter CC BY 4.0

Experimentelle Erkundung und Abbaupläne

Bislang gibt es im Tiefseebergbau ausschließlich experimentelle Probeerkundungen, somit keinen industriellen Abbau. Für die Erkundung und möglicherweise den späteren Abbau sind neue Technologien erforderlich. Um größere Mengen Material vom Meeresboden abzuräumen, beispielsweise zur Gewinnung von polymetallischen Knollen, besteht ein Ansatz darin, große Bereiche des Meeresbodens systematisch auszubaggern und den Aushub über hydraulische Pumpen und Schlauchsysteme an die Oberfläche auf Schiffe oder schwimmende Plattformen zu befördern (Abb. 3). In ähnlicher Weise könnten Sulfidvorkommen an hydrothermalen Schloten oder an Hängen unterseeischer Berggrücken durch Bohren, Schneiden und anschließendes Abpumpen erschlossen werden.

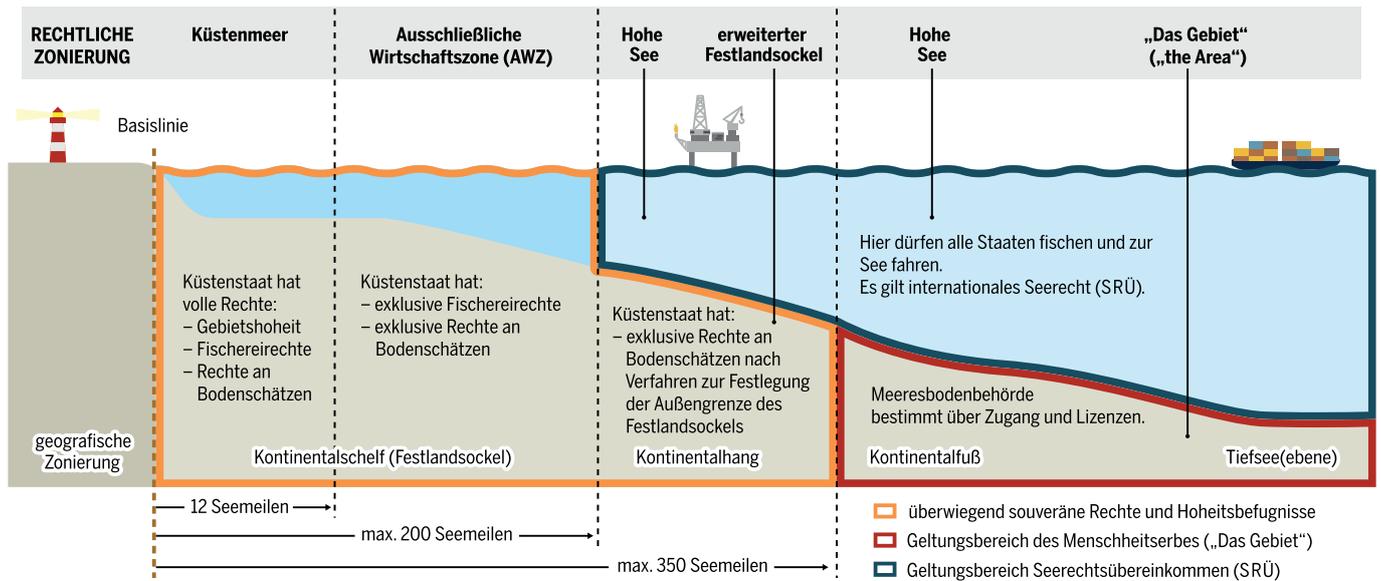
Am zuverlässigen, möglichst wartungsarmen Betrieb unter Extrembedingungen wird allerdings noch geforscht. Das zur Verfügung stehende Equipment aus der Offshoreförderung von Öl und Gas bzw. der küstennahen Förderung von rohstoffhaltigen Sanden ist für die in der Tiefsee herrschenden Extrembedingungen nicht ausgelegt. Selbst die

derzeit leistungsfähigsten Bohrinseln reichen nur bis in etwa 3.500 m Tiefe, während die wertvollen Sedimente erst in mehr als 5.000 m Tiefe zu finden sind (Nature 2021). Es existieren kaum Erfahrungen für den Dauereinsatz verfügbarer Fördertechnik in 4.000 bis 6.000 m Wassertiefe, bei sehr hohen Drücken (400 bis 600 bar) und Temperaturen nahe null (Rühlemann et al. 2019).

Weitere benötigte Technologien befinden sich derzeit noch in der Testphase und Weiterentwicklung. Dazu gehören akustische Tiefseekartierungstechnologien, ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge und Schlammumpen (Nature o.J.). Fortschritte gibt es in der Unterwasserbildgebung, bei der Software zur Vorhersage der Lage von Mineralienfeldern und bei der Steuerung von Unterwasserfahrzeugen. Dennoch wäre eine Rohstoffförderung noch immer sehr kostspielig und damit wirtschaftlich nicht rentabel (Nature o.J.).

Auch die Erkundung ist sehr ressourcenintensiv und verschlingt jährlich Millionensummen: 2018 musste das mittlerweile insolvente kanadisch-australische Unternehmen Nautilus Minerals ein eigens angefertigtes Spezialschiff,

Abb. 2 Meereszonen gemäß Seerechtsübereinkommen



Quelle: Heinrich-Böll-Stiftung 2017, S. 32; lizenziert unter CC BY 4.0

das den Aushub abpumpen und auffangen sollte, aufgrund von Zahlungsunfähigkeit aufgeben. Nautilus Minerals erhielt 2011 eine Erkundungslizenz vor der Küste Papua-Neuguineas. Der Inselstaat unterstützte ursprünglich das Projekt mit etwa 100 Mio. Euro, spricht mittlerweile aber von einem „Totalversagen“ (Kirschgens 2019). Des ungeachtet verfolgen Unternehmen wie die Nauru Ocean Resources Inc. (NORI), eine Tochtergesellschaft der kanadischen The Metals Company (TMC), gemeinsam mit dem Pazifikstaat Nauru, aber auch die norwegische und die indische Regierung, die Pläne für einen industriellen Abbau der Tiefseemineralien weiter (Adomaitis 2021; Alberts 2022; Shankar 2022).

Mögliche Umweltschäden

Ein zentraler Kritikpunkt an Plänen für einen möglichen Tiefseebergbau sind die potenziell gravierenden, dabei noch gar nicht gänzlich absehbaren Umweltauswirkungen entsprechender Vorhaben, deren Erforschung noch am Beginn steht (Röhrlich 2022). So muss beispielsweise zur Gewinnung von 5.000 t Manganknollen etwa 1 km² Meeresboden ausgebaggert werden (Jensen 2022). Die extremen Bedingungen der Tiefsee, mit hohem Druck und fast vollständiger Abwesenheit von Licht, haben einzigartige und zugleich sehr empfindliche, bislang unberührte Ökosysteme entstehen lassen, die durch solche Maßnahmen bedroht sein könnten.

Die potenziellen Umweltauswirkungen des Tiefseebergbaus sind noch nicht hinreichend bekannt und werden daher derzeit noch erforscht. Es fehlen insbesondere Informationen über die biologische Vielfalt, die Ökosystemleistung der Tiefsee und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Störungen durch den Bergbau (Nature o.J.). Eine belastbare Sammlung ökologischer Basisdaten muss erst noch aufgebaut werden, um mögliche Auswirkungen eines künftigen Tiefseebergbaus

abschätzen zu können, insbesondere, inwiefern sich irreversible Schäden an Tiefseeökosystemen ergeben könnten (UBA 2021; UN 2021). Eine „Versteppung der Meere“ könnte die Folge sein (Danovaro et al. 2020).

Diskutiert werden im Wesentlichen drei direkte Formen von Umweltbeeinträchtigungen als Folge von Abbauvorhaben in der Tiefsee (UBA 2021):

Entzug der Lebensgrundlage von Organismen

Die Entnahme von Rohstoffen aus der Tiefsee entzieht den dort existierenden Organismen ihre Lebensgrundlage. So leben beispielsweise auf den Manganknollen Mikroorganismen und Schwämme, die wiederum viele andere Tierarten beheimaten und somit eine Rollen im Tiefseeökosystem erfüllen; ohne die Knollen wäre der Artenreichtum deutlich geringer (MPIMM 2021). Ein Abbau hätte daher nachteilige Auswirkungen auf die Biodiversität: Wissenschaftliche Studien weisen auf die Gefahr des durch Tiefseebergbau bedingten Artensterbens hin (Niner et al. 2018; Van Dover et al. 2017).

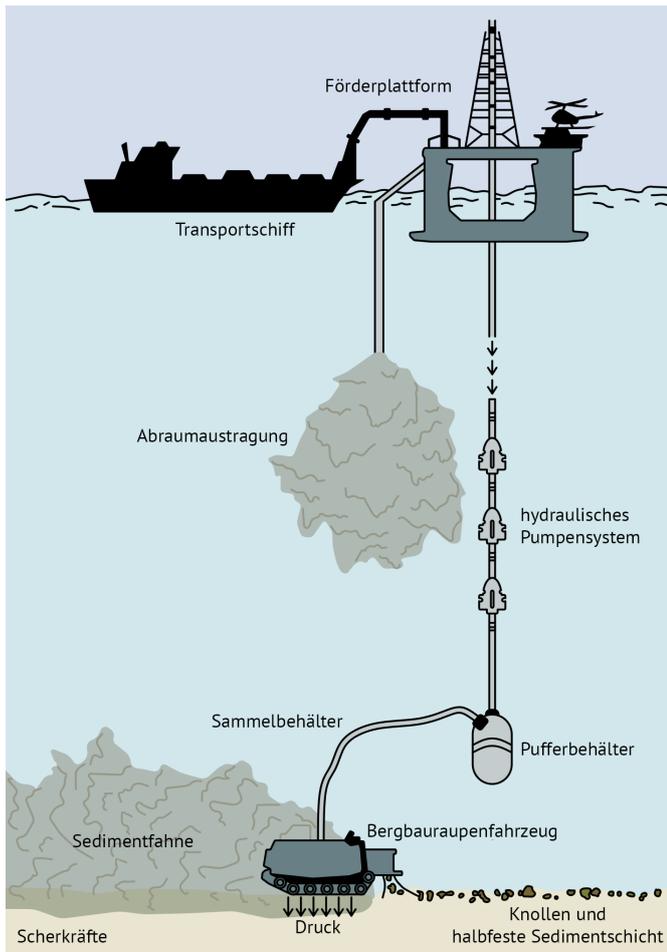
Aufwirbelungen und Verbreitung von Sediment

Durch den Abbau wird Sediment aufgewirbelt und verbreitet, was u.a. zu einer Trübung des Wassers und zur Bedeckung von Bodenlebewesen führt, die in der Folge absterben. Die auf dem Meeresboden oder im Wasser darüber entstehenden Sedimentwolken enthalten zudem giftige Schwermetalle, die sich über weite Strecken ausbreiten und schließlich wieder auf dem Meeresboden absetzen.

Wasserverschmutzung

Die Aufbereitung der Erze an der Fundstelle würde schließlich mit weiteren absehbaren Umweltauswirkungen einhergehen. Neben der Verunreinigung von Wasser im Produktionsprozess und seiner Umwälzung innerhalb der Wasser-

Abb. 3 Möglicher Abbau von Manganknollen



Quelle: MimiDeepSea; lizenziert unter CC0 1.0

säule können weitere mögliche nachteilige Effekte durch Lärm- und Lichtemissionen verursacht werden (UBA 2021).

Das Ökosystem der Tiefsee ist dabei in großen Teilen unbekannt. So stellte ein internationales Forschungsteam bei der Auswertung von 2 Mrd. DNA-Sequenzen aus 15 internationalen Tiefseeexpeditionen fest, dass fast zwei Drittel der auf dem Meeresboden lebenden Organismen keiner bislang bekannten Gruppe zugeordnet werden können. Zudem belegen die Arbeiten zwei wichtige Ökosystemleistungen der Tiefsee in Bezug auf das globale Klima: das Aufrechterhalten von Nahrungsnetzen und das Binden atmosphärischen Kohlenstoffs (Cordier et al. 2022; Senckenberg 2022).

Die durch ein Umpflügen des Meeresbodens entstehenden Spuren bestehen jahrzehntelang und beeinträchtigen auch die natürlichen Ökosystemfunktionen und Mikrobengemeinschaften im Meeresboden langfristig (MPG 2020). Beim experimentellen Abbau von Manganknollen entstanden Ende der 1980er Jahre durch Umpflügen einer Fläche von knapp 3 km² Pflugspuren, die aufgrund der geringen Strömungen in 4.000 m Wassertiefe noch 30 Jahre später fast unverändert waren, die bakterielle Besiedlung war allerdings deutlich beeinträchtigt (Vonnahme et al. 2020). Schätzungen deuten darauf hin, dass mikrobiell vermittelte biogeochemische

Funktionen mehr als 50 Jahre benötigen, um wieder das Niveau vor der Störung zu erreichen (Vonnahme et al. 2020). Alle derzeit verfügbaren Abbautechnologien würden das Ökosystem auf dem Meeresboden massiv stören, was bei einem kommerziellen Abbau eine Fläche von bis zu mehreren Tausend km² jährlich betreffen würde (Pluta 2020).

Regulatorischer Rahmen, Stand der Erkundung und internationale Perspektive

Gegenwärtig ist der Tiefseebergbau aufgrund des Internationalen Seerechtsübereinkommen (SRÜ) der Vereinten Nationen von 1982 verboten. Das multilaterale SRÜ regelt u.a. die Abgrenzung der verschiedenen Meereszonen (wie beispielsweise der AWZ), deren wirtschaftliche Nutzung und den Umweltschutz (UBA 2014). Der Tiefseeboden inklusive der darin enthaltenen mineralischen Ressourcen stellt außerhalb der jeweiligen nationalen Hoheitsgebiete das „Gemeinsame Erbe der Menschheit“ dar (UN 2021) (Abb. 2). Negative Effekte auf die Meeresumwelt müssen entsprechend dieser Regularien vermieden werden und Staaten können keine Hoheitsrechte am Tiefseeboden erheben. Eventuelle Erlöse und weitere Vorteile aus bergbaulichen Vorhaben müssen über einen Vorteilsausgleich (Benefit Sharing) mit anderen Staaten geteilt werden.

Zur Kontrolle des Umgangs mit dem internationalen Tiefseeboden wurde die Internationale Meeresbodenbehörde (International Seabed Authority – ISA) mit Sitz in Kingston (Jamaika) eingerichtet (UBA 2021). Die ISA regelt den gesamten Tiefseebergbau in Gebieten außerhalb der AWZ, während innerhalb der AWZ die nationale Gerichtsbarkeit der jeweiligen Küstenstaaten gilt und der jeweilige Staat gemäß SRÜ über souveräne Rechte zur Erforschung und wirtschaftlichen Nutzung des Meeres und des Meeresbodens verfügt (Jaeckel et al. 2022; UBA 2014). Die ISA ist auch zuständig für die Erarbeitung von Regelungen für die Erkundung und den Abbau von mineralischen Rohstoffen (Mining Codes), die Genehmigung entsprechender Vorhaben und die konkrete Ausgestaltung des Vorteilsausgleichs. Während die Regelungen zum Vorteilsausgleich und für Abbauvorhaben noch erarbeitet werden, wurden für Erkundungsvorhaben bereits Regelungen erlassen und seit 2001 insgesamt 31 Genehmigungen erteilt.

Diese Lizenzen haben eine Laufzeit von je 15 Jahren und betreffen Gebiete von mehr als 1,3 Mio. km² mit Vorkommen von

- Manganknollen (Nordostpazifik, Indischer Ozean und Nordwestpazifik),
- Massivsulfiden an Hydrothermalquellen auf Mittelozeanischen Rücken (Atlantik, Indischer Ozean) und
- Kobaltkrusten an Seebergen im Nordwestpazifik.

Einen Antrag auf eine Explorationslizenz können sowohl staatliche als auch private Unternehmen gegen eine Gebühr von 500.000 US-Dollar stellen (Rühlemann et al. 2019). Die

Genehmigungsverfahren für Erkundungsvorhaben gleichen denen für den terrestrischen Bergbau. Neben einem Antrag muss ein Arbeitsprogramm vorgelegt und die technische und finanzielle Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden. Darüber hinaus muss der Antrag durch einen SRÜ-Vertragsstaat unterstützt werden, welcher auch die Kontrolle über die geplante Tätigkeit haben muss (Röhrlich 2022). Die Auswirkungen der Exploration auf die Meeresumwelt müssen beobachtet und evaluiert werden.

19 Verträge wurden bislang zur Erkundung von Manganknollen vergeben, davon 17 im tropischen Nordostpazifik und je einer im Indischen Ozean und im Nordwestpazifik. Des Weiteren wurden 7 Explorationsverträge für Massivsulfide und 5 für die Erkundung von polymetallischen Krusten an Seebergen im Nordwestpazifik vergeben (UBA 2021). Die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) verfügt über 2 Erkundungsverträge (Manganknollen und Massivsulfide). Weitere staatliche Institutionen sind durch die Regierungen Frankreichs, Südkoreas und Indiens entsandt. Auch privatwirtschaftliche Unternehmen verfügen über Explorationslizenzen, wie die belgische Global Sea Mineral Resources NV, das britisch-amerikanische Unternehmen Seabed Resources und die bereits erwähnte TMC.

Abbauverträge wurden durch die ISA bislang nicht genehmigt. Ein erster Entwurf für die Vorschriften zum Abbau von Tiefseeressourcen wurde 2017 vorgelegt. Bis Juli 2023

müssen die Vorschriften verabschiedet werden, da der Pazifikstaat Nauru im Juni 2021 einen Abbauantrag ankündigte. Gemäß der Zweijahresklausel des SRÜ müssen innerhalb von 2 Jahren Regularien für den Abbau und den Vorteilsausgleich entwickelt werden, ansonsten muss der Abbau ohne konkrete Vorschriften genehmigt werden (Jaeckel et al. 2022). In den in Jamaika laufenden Konsultationen und Verhandlungen über die Regeln für den industriellen Tiefseebergbau konnte zwar bislang noch keine Einigung erzielt werden, doch liegt mittlerweile eine bereits weit fortgeschrittene, dritte Fassung vor (Stand November 2022). Insgesamt werden darunter 105 Einzelregularien gefasst, u.a. zu Gebühren und Abgaben, Arbeitssicherheit an Bord, Inspektionen und Umweltschutz (Röhrlich 2022).

Eine formale Unterstützung von Abbauanträgen durch einen Mitgliedstaat des SRÜ ist zwingende Voraussetzung dafür, dass ein Unternehmen eine Genehmigung der ISA erhält (BMWK/BMUV 2022). Die Bundesregierung unterstützt zum Schutz der Meere bis auf Weiteres keinen Tiefseebergbau, wie zuletzt das Wirtschafts- und das Umweltministerium am 1. November 2022 gemeinsam bekanntgaben (BMWK/BMUV 2022). Im Oktober 2022 schloss sich die Bundesregierung bei den ISA-Verhandlungen in Jamaika gemeinsam mit Spanien und Costa Rica der Forderung mehrerer Staaten (u.a. Chile, Ecuador, Frankreich, Panama, die Förderierten Staaten von Mikronesien, Fidschi, Neuseeland, Palau und Samoa) nach einem Moratorium beim Tiefseebergbau an (Demony et al. 2022). Entsprechend der im Koalitionsvertrag festgelegten



Position (SPD et al. 2021) setzt sich die Bundesregierung in den ISA-Verhandlungen für „strenge, wissenschaftsbasierte Umweltvorgaben bei grundsätzlicher Offenhaltung der Möglichkeit des Tiefseebergbaus und der weiteren Erforschung der Tiefsee“ ein; „aufgrund erheblichen Wissensmangels“ sei „die Grundlage für die Entscheidung über einen möglichen Abbau noch nicht gegeben“, die Verhandlungsführung richte sich auf die „strenge Regulierung eines möglichen zukünftigen Tiefseebergbaus“ (Deutscher Bundestag 2022). Andere Länder, wie Australien, China, Indien, Japan, Norwegen und Südafrika, sprechen sich für die Ermöglichung von Tiefseebergbau aus (The Guardian 2022; Trainer 2022).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Der Tiefseebergbau könnte die Abhängigkeit von Rohstofflieferungen aus Ländern wie China, Russland oder der Demokratischen Republik Kongo reduzieren. Der Abbau von Tiefseemineralien könnte eine alternative Quelle für kritische Mineralien darstellen.

Die Bodenschätze des Tiefseebodens liegen in der Regel – aber wie im Fall des Pazifikstaates Nauru nicht immer – weit von größeren menschlichen Siedlungen entfernt. Die unmittelbaren sozialen Auswirkungen ihrer Ausbeutung sind möglicherweise geringer im Vergleich zum terrestrischen Bergbau wertvoller Mineralien, Edelmetalle und Seltener Erden, da beispielsweise keine direkte Beeinträchtigung von Anwohnern durch Emissionen (Lärm, Staub) oder An- und Abtransport von Materialien anfallen würde. Durch den maschinengebundenen Abbau auf dem Tiefseeboden würden – im Vergleich zum terrestrischen Bergbau mit seinen körperlich sehr belastenden Arbeitsbedingungen für Bergbauarbeiter – vordergründig Fortschritte erzielt. Inwiefern dies jedoch für den gesamten Arbeitsprozess der Weiterverarbeitung und Veredlung gilt, lässt sich nicht einschätzen. Gleichzeitig erschwert der maschinengebundene Abbau auf dem Tiefseeboden eine wirksame Kontrolle, da diese Regionen unzugänglich sind. Etwaige ökologische Schäden werden womöglich erst mit hohem zeitlichem Verzug offenkundig. In der deutschen Rohstoffstrategie werden zudem Piraterie und Terrorismus als Risiken für die Sicherheit der Rohstoffversorgung genannt (Bundesregierung 2020), die auch schwimmende Produktionsplattformen oder die damit verbundenen Lieferwege betreffen können. Die Beschädigungen der Nord-Stream-Pipelines, bei denen es sich offenbar um gezielte Anschläge handelte, haben jüngst die Vulnerabilität submariner Infrastruktur aufgezeigt.

Insbesondere die erheblichen Bedenken hinsichtlich des Verlusts an biologischer Vielfalt und Ökosystemleistungen einschließlich der Rolle der Tiefsee bei der Klimaregulierung machen eine sehr umfassende Güterabwägung notwendig. Dem potenziellen Nutzen angesichts des erwarteten steigenden Rohstoffbedarfs steht dabei das Risiko sehr langfris-

tiger, möglicherweise irreparabler Schäden des Ökosystems Tiefsee mit einer „Versteppung der Meere“ (Danovaro et al. 2020) und dem drohenden Verlust des „Gemeinsamen Erbes der Menschheit“ im Sinne des SRÜ gegenüber. Als Alternativen zur Sicherung der Versorgung mit kritischen Mineralen durch die Erschließung neuer Rohstoffvorkommen in der Tiefsee werden

- die Entwicklung neuer Technologien unter effizienterem Rohstoffeinsatz,
- Produktdesigns und rechtliche und infrastrukturelle Rahmenbedingungen, die ein Recycling der verwendeten Rohstoffe erlauben bzw. erleichtern, sowie
- die weitergehende Erkundung und Ausbeutung von (auch bereits aufgegebenen) Lagerstätten mithilfe neuer Technologien diskutiert (Bundesregierung 2020; Houses of Parliament 2015; TAB 2012).

Für die Abwägung zwischen den unterschiedlichen Optionen empfehlen Forschende einen offenen Dialog der unterschiedlichen Stakeholder, verantwortungsvolle Steuerung und wissenschaftlich informierte politische Entscheidungsprozesse (Levin et al. 2020).

Mehrere Initiativen der Zivilgesellschaft und der Wirtschaft wurden zum Schutz der Tiefsee initiiert. So haben sich Unternehmen wie Google, Samsung SDI, Philips und die Autohersteller BMW, VW, Renault, Scania und Volvo verpflichtet, vorerst keine durch Tiefseebergbau gewonnenen Rohstoffe zu verwenden (MarineForum 2022; Reid 2021; WWF 2021). Auch zivilgesellschaftlich hat sich ein breiter Konsens hinsichtlich des Schutzes der Tiefsee und Verhinderung eines großflächigen Abbaus von Rohstoffen gebildet: In der Deep Sea Conservation Coalition haben sich international mehr als 100 zivilgesellschaftliche und Forschungsorganisationen zusammengeschlossen, um die Tiefsee als Ökosystem zu schützen. Das Netzwerk fordert u.a. ein globales Moratorium für den Tiefseebergbau. In Deutschland forscht neben verschiedenen Umweltschutzorganisationen auch die kirchliche Organisation Misereor zum Thema Tiefseebergbau.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Ziel dieses Themenkurzprofils ist es, einen Kurzüberblick über den aktuellen Stand des Tiefseebergbaus insbesondere hinsichtlich ökonomischer Potenziale, ökologischer Risiken und aktueller regulativer Entwicklungen zu geben. Das Themenkurzprofil ergänzt insofern den bereits 2012 veröffentlichten TAB-Arbeitsbericht Nr. 150, der allgemein die deutsche Rohstoffstrategie behandelt.

Die Bedeutung und mögliche Implikationen des Tiefseebergbaus werden in Deutschland bereits durch staatliche und wissenschaftliche Einrichtungen untersucht, die etwa im Konsortium Deutsche Meeresforschung sowie der Deutschen Allianz Meeresforschung zusammengeschlossen sind.

Es besteht Konsens, dass insbesondere die Erforschung des Ökosystems der Tiefsee und seiner Ökosystemleistungen zur Verbesserung der Wissensbasis für politische Entscheidungen über den Tiefseebergbau weitergeführt werden muss. Auf der politischen Ebene ist das Thema mit Deutschlands Beteiligung an der ISA, aber auch der Ernennung eines Meeresbeauftragten durch die Bundesregierung (BMWK/BMUV 2022) fest verankert. Der Rohstoffbedarf und die Versorgungssituation werden durch die bei der BGR angesiedelte Deutsche Rohstoffagentur kontinuierlich beobachtet.

Eine vertiefte Bearbeitung des Themas aus der interdisziplinären Perspektive der Technikfolgenabschätzung erscheint solange nicht zielführend, wie die Umweltrisiken nicht besser erforscht sind, um in einer Abwägung der sozialen, ökologischen und ökonomischen Chancen und Risiken berücksichtigt werden zu können. Gegebenenfalls könnten durch einschlägig ausgerichtete wissenschaftliche oder anderweitig beratende Einrichtungen juristische Unsicherheiten adressiert werden, die entstehen, wenn Länder außerhalb ihrer AWZ im Meeresraum agieren. Die USA beispielsweise sind nicht ISA-Vertragspartei, haben aber Abkommen mit einigen Ländern. Sowohl auf Völkerrechts- als auch auf nationaler Ebene in Deutschland gibt es zudem Konkretisierungs- und Regelungsbedarf in Hinblick auf den Schutz der Meeresumwelt (Petersen 2019).

Literatur

- ▶ Adomaitis, N. (2021): Environmentalists call on Norway to stop plans for deep-sea mining. Reuters, 12.4.2021, <https://www.reuters.com/world/europe/environmentalists-call-norway-stop-plans-deep-sea-mining-2021-04-12/> (7.2.2023)
- ▶ Alberts, E. (2022a): Regulator approves first deep-sea mining test, surprising observers. Mongabay, 16.9.2022, <https://news.mongabay.com/2022/09/regulator-approves-first-deep-sea-mining-test-surprising-observers/> (7.2.2023)
- ▶ BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz); BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz) (2022): Schutz der Meere: Deutschland unterstützt bis auf Weiteres keinen Tiefseebergbau. 1.11.2022, <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/11/20221101-schutz-der-meere-deutschland-unterstutzt-bis-auf-weiteres-keinen-tiefseebergbau.html> (14.11.2022)
- ▶ Bundesregierung (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung. Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hg.), https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (1.12.2022)
- ▶ Cordier, T.; Angeles, I.; Henry, N.; Lejzerowicz, F.; Berney, C.; Morard, R.; Brandt, A.; Cambon-Bonavita, M.-A.; Guidi, L.; Lombard, F.; Arbizu, P. et al. (2022): Patterns of eukaryotic diversity from the surface to the deep-ocean sediment. In: Science Advances 8(5), Art. eabj9309
- ▶ Danovaro, R.; Fanelli, E.; Aguzzi, J.; Billett, D.; Carugati, L.; Corinaldesi, C.; Dell'Anno, A.; Gjerde, K.; Jamieson, A.; Kark, S.; McClain, C. et al. (2020): Ecological variables for developing a global deep-ocean monitoring and conservation strategy. In: Nature Ecology & Evolution 4(2), S. 181–192
- ▶ Demony, C.; Goncalves, S.; Reid, H. (2022): „Not worth the risk“: Palau, Fiji call for deep-sea mining moratorium. Reuters, 27.6.2022, <https://www.reuters.com/business/environment/not-worth-risk-palau-fiji-call-deep-sea-mining-moratorium-2022-06-27/> (7.2.2023)
- ▶ Deutscher Bundestag (2022): Schriftliche Fragen mit den in der Woche vom 10. Oktober 2022 eingegangenen Antworten der Bundesregierung. Drucksache 20/3987, Berlin
- ▶ EK (Europäische Kommission) (2020a): Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU. A foresight study (Bobba, S.; Carrara, S.; Huisman, J.; Mathieux, F.; Pavel, C.). Luxemburg, <https://data.europa.eu/doi/10.2873/58081> (13.2.2023)
- ▶ EK (2020b): Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. COM(2020) 474 final, Brüssel
- ▶ Heinrich-Böll-Stiftung (2017): MEERESATLAS. Daten und Fakten über unseren Umgang mit dem Ozean. Juni 2017,

- https://www.boell.de/sites/default/files/web_170607_meeresatlas_vektor_v102_1.pdf (7.2.2023)
- ▶ Houses of Parliament (2015): Deep-Sea Mining. POST-note 508, <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-0508/POST-PN-0508.pdf> (7.2.2023)
 - ▶ Jaeckel, A.; Christiansen, S.; Unger, S.; Singh, P. (2022): Tiefseebergbau: Verhandeln über das Schicksal des gemeinsamen Erbes der Menschheit. Institute for Advanced Sustainability Studies, <https://www.iass-potsdam.de/de/blog/2022/03/meeresboden-bergbau-verhandeln-ueber-das-schicksal-des-gemeinsamen-erbes-der> (15.11.2022)
 - ▶ Jensen, M. (2022): Die Jagd auf die Schätze im Meer. Manager-magazin. 25.7.2022, <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/industrie/tiefseebergbau-die-jagd-auf-ozeanschaetze-a-41c0734c-42bb-4d62-ad63-90ab485c90ad> (20.9.2022)
 - ▶ Kirschgens, L. (2019): Fehlschlag in der Tiefsee. Süddeutsche Zeitung. 12.10.2019, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/tiefseebergbau-moratorium-nautilus-1.4631999> (7.2.2023)
 - ▶ Levin, L.; Amon, D.; Lily, H. (2020): Challenges to the sustainability of deep-seabed mining. In: *Nature Sustainability* 3(10), S. 784–794
 - ▶ MarineForum (2022): Wird Dekarbonisierung die Ausbeutung des Meeresbodens beenden? 25.7.2022, <https://marineforum.online/wird-dekarbonisierung-die-ausbeutung-des-meeresbodens-beenden/> (14.11.2022)
 - ▶ MPG (Max-Planck-Gesellschaft) (2020): Manganknollen-Abbau beeinträchtigt Tiefseeböden. 29.4.2022, <https://www.mpg.de/14662400/0408-mbio-064278-simulierter-manganknollen-abbau-beeintraechtigt-die-oe-kosystemfunktion-von-tiefseeboeden> (14.11.2022)
 - ▶ MPIMM (Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie) (2021): Untermieter auf Manganknollen: Schwämme sorgen für Artenreichtum. 10.6.2021, <https://www.mpi-bremen.de/Untermieter-auf-Manganknollen.html> (18.11.2022)
 - ▶ Nature (2021): Focal Point on Deep-sea Resources. 3.2.2021, <https://www.nature.com/collections/cacibafdga> (12.11.2022)
 - ▶ Nature (o.J.): The rich resources in Japan's deep-sea muds. <https://www.nature.com/articles/d42473-020-00528-8> (12.11.2022)
 - ▶ Niner, H.; Ardron, J.; Escobar, E.; Gianni, M.; Jaeckel, A.; Jones, D.; Levin, L.; Smith, C.; Thiele, T.; Turner, P.; van Dover, C. et al. (2018): Deep-Sea Mining With No Net Loss of Biodiversity – An Impossible Aim. In: *Frontiers in Marine Science* 5, <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00053> (7.2.2023)
 - ▶ Petersen, D. (2019): Der Tiefseebergbau: Eine umweltvölkerrechtliche Baustelle. Eine Einführung in ein junges Rechtsgebiet. In: *Zeitschrift für das Juristische Studium* 4/2019, S. 257–263
 - ▶ Pluta, W. (2020): Tiefseebergbau schädigt Meeresboden für lange Zeit. Golem.de, 30.4.2020, <https://www.golem.de/news/meeresschutz-tiefseebergbau-schaedigt-mee-resboden-fuer-lange-zeit-2004-148204.html> (14.11.2022)
 - ▶ Reid, H. (2021): Google, BMW, AB Volvo, Samsung back environmental call for pause on deep-sea mining. Reuters, 31.3.2021, <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/google-bmw-volvo-samsung-sdi-sign-up-wwf-call-temporary-ban-deep-sea-mining-2021-03-31/> (7.2.2023)
 - ▶ Röhrlich, D. (2022): Wie der Meeresbergbau vorangetrieben werden soll. Deutschlandfunk, 2.11.2022, <https://www.deutschlandfunk.de/tiefseebergbau-100.html> (6.2.2023)
 - ▶ Rühlemann, C.; Kuhn, T.; Vink, A. (2019): Tiefseebergbau – Ökologische und sozioökonomische Auswirkungen. In: *Bürger & Staat* 4/2020, S. 226–236
 - ▶ Senckenberg (Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung) (2022): Tiefsee-Leben: Erst ein Drittel bekannt. Pressemeldung vom 7.2.2022, <https://www.senckenberg.de/de/pressemeldungen/tiefsee-leben-erst-ein-drittel-bekannt/> (18.11.2022)
 - ▶ Shankar, P. (2022b): Deep-sea mining efforts gear up to meet clean energy demands amid concerns. Mongabay, 26.10.2022, <https://india.mongabay.com/2022/10/deep-sea-mining-efforts-gear-up-to-meet-clean-energy-demands-amid-concerns/> (7.2.2023)
 - ▶ Sharma, R. (Hg.) (2017): *Deep-Sea Mining. Resource Potential, Technical and Environmental Considerations*. Cham
 - ▶ SPD; Bündnis 90/Die Grünen; FDP (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. 7.12.2021, https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf (13.2.2023)
 - ▶ TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2012): Die Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Roh- und Werkstoffen für Hochtechnologien – Präzisierung und Weiterentwicklung der deutschen Rohstoffstrategie. (Gandenberger, C.; Glöser-Chahoud, S.; Marscheider-Weidemann, F.; Ostertag, K.; Walz, R.) TAB-Arbeitsbericht Nr. 150. Berlin
 - ▶ The Guardian (2022): Stop deep-sea mining, says Macron, in call for new laws to protect ecosystems. 1.7.2022, <https://www.theguardian.com/environment/2022/jul/01/stop-deep-sea-mining-says-macron-in-call-for-new-laws-to-protect-ecosystems> (14.11.2022)
 - ▶ Trainer, J. (2022): *The Geopolitics of Deep-Sea Mining and Green Technologies*. United States Institute of Peace, 3.11.2022, <https://www.usip.org/publications/2022/11/geopolitics-deep-sea-mining-and-green-technologies> (15.11.2022)
 - ▶ UBA (2021): Bergbau am Tiefseeboden. 18.8.2021, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/tiefseebergbau-andere-nutzungsarten-der-tiefsee> (13.2.2023)
 - ▶ UBA (Umweltbundesamt) (2014): Das Seerechtsabkommen der Vereinten Nationen. 22.12.2014, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-stra>

tegien-internationales/arktis/rechtlicher-institutioneller-rahmen-der-arktis/das-seerechtsuebereinkommen-der-vereinten-nationen#seerechtsuebereinkommen-sru (13.2.2023)

- ▶ UN (United Nations) (2021): The Second World Ocean Assessment. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789216040062/read> (7.2.2023)
- ▶ Van Dover, C.; Ardron, J.; Escobar, E.; Gianni, M.; Gjerde, K.; Jaeckel, A.; Jones, D.; Levin, L.; Niner, H.; Pendleton, L.; Smith, C. et al. (2017): Biodiversity loss from deep-sea mining. In: Nature Geoscience 10(7), S. 464–465
- ▶ Vonnahme, T.; 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. In: Science Advances 6(18), Art. eaaz5922
- ▶ WOR (World Ocean Review) (2021): Tiefseebergbau: Die Pläne nehmen Gestalt an. Kapitel 5. WOR 7, <https://worldoceanreview.com/de/wor-7/energie-und-rohstoffe-aus-dem-meer/tiefseebergbau-die-plaene-nehmen-gestalt-an/> (12.11.2022)
- ▶ WWF (World Wide Fund For Nature) (2021): Tiefsee unter Druck. 1.12.2021, <https://www.wwf.de/2021/dezember/tiefsee-unter-druck> (14.11.2022)

Das Horizon-Scanning ist Teil des methodischen Spektrums der Technikfolgenabschätzung im TAB.

Horizon
SCANNING

Mittels Horizon-Scanning werden neue technologische Entwicklungen beobachtet und diese systematisch auf ihre Chancen und Risiken bewertet. So werden technologische, ökonomische, ökologische, soziale und politische Veränderungspotenziale möglichst früh erfasst und beschrieben. Ziel des Horizon-Scannings ist es, einen Beitrag zur forschungs- und innovationspolitischen Orientierung und Meinungsbildung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zu leisten.

In der praktischen Umsetzung werden im Horizon-Scanning softwaregestützte Such- und Analyseschritte mit expertenbasierten Validierungs- und Bewertungsprozessen kombiniert.

Herausgeber: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)

Gestaltung und Redaktion: VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Bildnachweise: manpuku7/iStock (S.1); GEOMAR, lizenziert unter CC BY 4.0 (S.6)

ISSN-Internet: 2629-2874