

Kurz zum Klima: Schatzsuche im Ozean – liegt die Zukunft des Bergbaus am Meeresgrund?

Jutta Albrecht-Saavedra, Jana Lippelt und Leon Maierhofer

Angesichts stark wachsender Nachfrage nach Rohstoffen, insbesondere vonseiten der aufstrebenden Schwellenländer und entsprechend steigender Rohstoffpreise, richtet sich der Blick zunehmend auf die Tiefsee als enorme noch weitgehend unerschlossene Quelle reichhaltiger Rohstoffvorkommen.

Der Tiefseebergbau, der schon seit den 1960er Jahren in der Diskussion ist¹, war zwischenzeitlich bereits in greifbarer Nähe gerückt. Wirtschaftliche, politische, regulative und technische Faktoren bremsen jedoch die Weiterentwicklung auf diesem Gebiet. Lange Zeit war der Tiefseebergbau nicht wirtschaftlich, aber die technischen Möglichkeiten haben sich seitdem enorm weiterentwickelt, die Regulierung der Nutzung von Tiefseeressourcen ist vorangeschritten, der Nachfragedruck auf den Rohstoffmärkten wächst, und somit werden die Rohstoffe aus der Tiefsee zu einer immer attraktiveren Option.

Die Ausbeutung mariner Rohstoffe hat, z.B. im Bereich fossiler Energierohstoffe und Massenrohstoffe (Sande und Kiese im küstennahen Flachwasser), lange Tradition. Doch birgt der Ozean auch Erze, die wichtige Industriemetalle, Seltene Erden, Edelmetalle (vgl. Tab. 1) u.a. in teilweise weit höherer Konzentration als in Lagerstätten an Land enthalten und in drei Gruppen unterteilt werden können: *polymetallische Knollen*, *kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten* und *hydrothermale Sulfiderze* (vgl. BGR 2013). Diese metallischen Rohstoffe sind Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung.

Polymetallische Knollen wurden erstmals 1868 im Karasee im Arktischen Ozean entdeckt. Im Laufe weiterer Expeditionen im 19. Jahrhundert stellte sich heraus, dass sie in fast allen Ozeanen und sogar in einigen Seen zu finden sind. Sie kommen grundsätzlich in sämtlichen Wassertiefen vor, die höchsten Konzentrationen sind aber in Tiefen von 4 000 bis 6 000 Metern zu finden. 1965 wurden die Vorkommen polymetallischer Knollen noch auf über 1,5 Billionen Tonnen geschätzt, in den 1980er Jahren wurde diese Schätzung allerdings auf 500 Mrd. Tonnen herunterkorrigiert (vgl. International Seabed Authority 2013). Jedoch sind nicht alle Vorkommen abbaufähig, und bislang sind nur wenige Gebiete mit hinreichend hohen Konzentrationen für einen wirtschaftlich lohnenden Abbau bekannt: das Clarion-Clipperton-Gebiet im Nordostpazifik sowie ein Gebiet

in der Mitte des nordindischen Ozeans (vgl. Abb. 1). Eine besonders hohe Belegungsdichte weist der sog. »Manganknollengürtel« in der Clarion-Clipperton-Zone auf, wo 10–20 kg Knollentrockenmasse pro Quadratmeter gefunden wurden und die Gesamtmenge der Knollen auf 25 bis 40 Mrd. Tonnen geschätzt wird (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2013).

Die Polymetallischen Knollen werden aufgrund ihres hohen Mangangehalts auch als »Manganknollen« bezeichnet. Ihre Größe schwankt zwischen mikroskopisch kleinen Exemplaren und Exemplaren mit bis zu 20 cm Durchmesser, typischerweise haben sie jedoch einen Durchmesser von 5 und 10 cm. Sie entstehen durch Ausfällung von Mangan- und Eisenoxiden aus dem Meerwasser und wachsen außerordentlich langsam – um nur etwa 1 cm in mehreren Millionen Jahren. Bei dieser Wachstumsgeschwindigkeit beträgt das Alter der Manganknollen im Pazifik zwischen 2 und 3 Millionen Jahre (vgl. International Seabed Authority 2013). Die in den Knollen enthaltenen Metalle – neben einem hohen Mangangehalt weisen sie zahlreiche weitere Metalle auf (z.B. Eisen, Kupfer, Nickel u.a., vgl. Tab. 1) – sind wichtige Inputs z.B. für die Stahlveredelung und die Elektroindustrie.

Kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten (Fe-Mn-Krusten) entstehen ebenfalls durch Ausfällung aus dem Meerwasser auf die Gesteinsoberfläche. Die Krustenschicht besitzt eine Dicke von bis zu 25 cm und bedeckt einer Schätzung zufolge etwa 6,35 Mill. km² des Meeresgrundes, und damit etwa 1,7% des gesamten Meeresgrundes, was einen Kobaltgehalt von insgesamt 1 Mrd. Tonnen bedeuten würde.

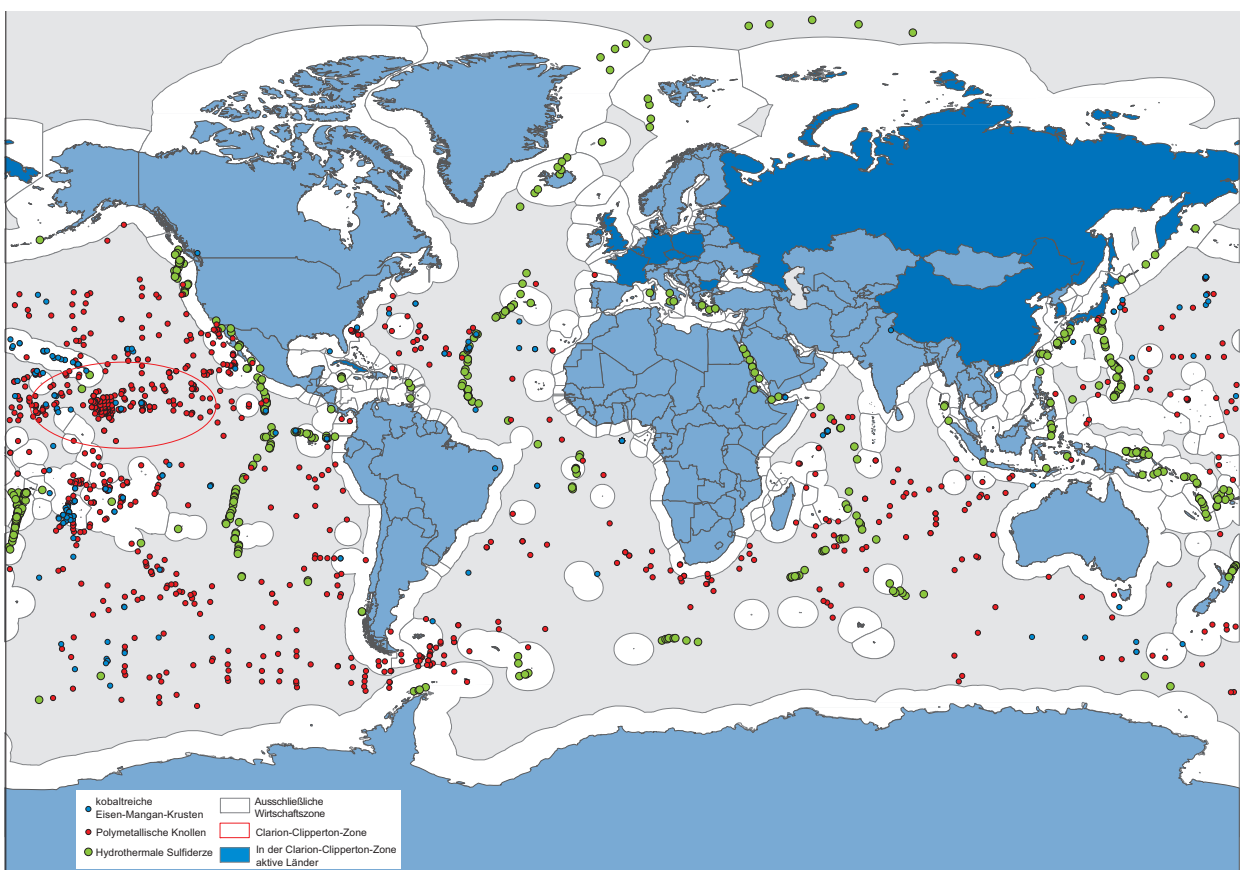
Tab. 1
Elementkonzentrationen in Manganknollen und Eisen-Mangan-Krusten

Element (Gewichtsprozent)	Polymetallische Knollen (Manganknollen)		Fe-Mn-Krusten
	Clarion- Clipperton-Zone	Östl. deutsches Lizenzgebiet	Pazifik- Seamounts
Mangan (%)	25,4	31,2	22,1
Eisen (%)	6,90	6,20	15,1
Kupfer (%)	1,02	1,17	0,11
Nickel (%)	1,28	1,36	0,54
Kobalt (%)	0,24	0,16	0,64
Titan (%)	0,53	0,25	0,77
Molybdän (µg/g)	520	604	455
Zirkon (µg/g)	350	300	172
Lithium (µg/g)	108	130	63
Tellur (µg/g)	5,1	3,4	50
Niob (µg/g)	34	19	44
Wolfram (µg/g)	76	65	74
Platin (µg/g)	0,124	0,109	0,705
Cer (µg/g)	428	249	1105
Neodym (µg/g)	112	128	162
Dysprosium (µg/g)	24	27	58

Quelle: BGR (2013); Hein et al. (2000; 2010).

¹ Im Jahre 1965 schrieb der Geologe John Meroe ein vielbeachtetes Buch mit dem Titel »The Mineral Resources of the Sea«, mit dem er Denkanstöße für die Weiterentwicklung des internationalen Seerechts gab (vgl. auch Mero 1968).

Abb. 1
Tiefseeresourcen



Die Karte erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit

Quellen: Eigene Darstellung auf der Basis von Daten aus US Geological Survey-NGDC; Interridge – Hydrothermal Vents Database; Marine Regions; International Seabed Authority.

»Eine eingehende Untersuchung des globalen und regionalen Auftretens von Eisen-Manganzkrusten und deren Metallgehalten ergab, dass vor allem die Vorkommen aus Wassertiefen von 800 bis 2500 m wirtschaftlich interessant sind. Etwa 66% der potenziellen Lagerstätten befinden sich im Pazifik (hier vor allem im westlichen Zentralpazifik), rund 23% im Atlantik und nur 11% im Indischen Ozean. Es wird eine Gesamtmenge an trockener Erzsubstanz von 40 Mrd. Tonnen abgeschätzt, von der etwa die Hälfte als potenziell gewinnungsfähig angesehen wird« (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2013). In Fe-Mn-Krusten enthaltene Metalle werden in der Stahlindustrie, der Luftfahrtindustrie sowie der chemischen- und der Elektroindustrie eingesetzt.

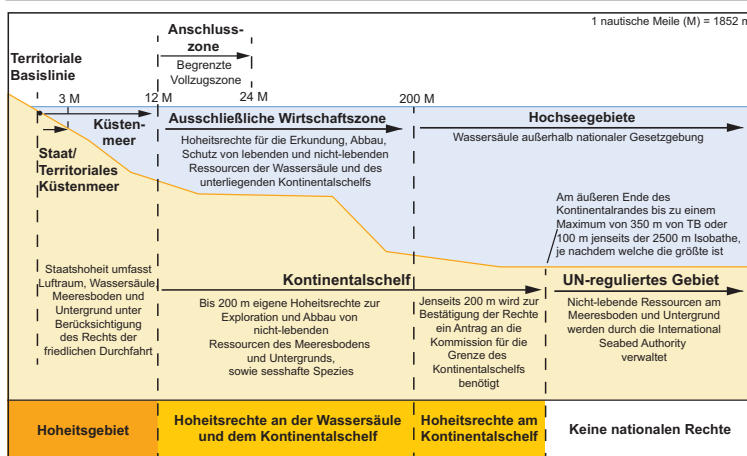
Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Gehalt an verschiedenen Metallen, Seltenen Erden und Edelmetallen in Manganknollen und Eisen-Mangan-Krusten im Pazifik. Die Angaben sind jeweils Mittelwerte.

Hydrothermale Sulfiderze treten im Zusammenhang mit vulkanischen Strukturen auf dem Meeresboden auf. 1979 ent-

deckten Wissenschaftler im Ostpazifik erstmals sogenannte »Black Smoker«, dunkle Gesteinsformationen, die bis zu 400° C heiße hydrothermale Flüssigkeit ausstießen, nach deren Vermischung mit dem kalten Meerwasser der Umgebung es zu Ausfällung und Anlagerung von Metallsulfiden kam. Auf diese Weise können sich »... lokale Lagerstätten von einigen hundert Metern Durchmesser bilden. Von wirtschaftlichem Interesse sind neben den hohen Buntmetallgehalten (Kupfer, Blei und Zink) besonders die Edelmetalle Gold und Silber sowie die Hochtechnologiemetalle wie Indium, Germanium, Wismut und Selen« (vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2013.) (Im Hinblick auf die Zahl der Vorkommen und die Tonnagen liegen anders als im Fall der Manganknollenvorkommen noch keine detaillierten Studien vor. »Zurzeit sind an die 150 Hochtemperaturaustritte mit Bildung massiver Metallsulfidangereicherungen in »Black Smokern« bekannt«, ebd.).

Manganknollen, kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten und hydrothermale Sulfiderze aus der Tiefsee können sich künftig als äußerst wichtige Rohstoffquelle erweisen, besonders für rohstoffarme Industrieländer wie Deutschland. An-

Abb. 2
Maritime Zonen und sie betreffende Hoheitsrechte



Quelle: Nach Symonds et al., 1998, Australian Government (2013), übersetzt ins Deutsche vom ifo Institut.

gesichts des riesigen zu hebenden Rohstoffpotenzials stellt sich die Frage nach den Zugriffsrechten und dem entsprechenden regulativen Rahmen. Die Rohstoffe der Tiefsee unterliegen nicht wie jene in Lagerstätten an Land nationaler Gesetzgebung, sondern gelten als Erbe der Menschheit und sind Gegenstand der UN-Verwaltung. Die rechtliche Grundlage für die Erkundung und die Erschließung der Tiefseerohstoffe wurde mit dem 1982 beschlossenen und 1994 in Kraft getretenen UN-Seerechtsabkommen (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS) geschaffen. Es regelt die Hoheitsrechte über die einzelnen maritimen Zonen, wie in der Abbildung 2 schematisch veranschaulicht. Demnach gelten die küstennächsten seewärtigen 200 Meilen als ausschließliche Wirtschaftszone (Exclusive Economic Zone, EEZ) des jeweiligen Küstenanrainerstaates (vgl. Abb. 1). Das sich daran anschließende Hochseegebiet untersteht der Verwaltung der Vereinten Nationen.

Die Erkundung, Erschließung und Ausbeutung der hier lagernden Ressourcen muss bei der Internationalen Seabed Authority (ISA) mit Sitz auf Jamaika beantragt werden.² Bei der Bewerbung um eine Lizenz müssen ein Sponsoring durch einen Staat sowie die entsprechenden technischen und finanziellen Möglichkeiten für eine erfolgreiche Wahrnehmung der Lizenzrechte nachgewiesen werden. Die Gebühr für die Prüfung einer Bewerbung liegt bei 500 000 US-Dollar, danach ist eine jährliche Lizenzgebühr von 1 Million US-Dollar an die ISA zu entrichten. Darüber hinaus muss der Lizenznehmer bei Beginn der kommerziellen Nutzung der Ressource die ISA an den daraus entstandenen Einkünften beteiligen (UNCLOS, Article 13). Der Lizenznehmer erhält im Gegenzug für 15 Jahre die Nutzungsrechte am Lizenzgebiet mit einer Fläche von bis zu 150 000 km² mit der Möglichkeit einer Verlängerung um weitere fünf Jahre. Die Erkun-

² Wobei für die Ausbeutung derzeit noch kein abschließendes Regelwerk existiert.

dungs- und Erschließungslizenz kann später in eine Abbaulizenz übergehen.

Interessanterweise haben sich bislang nur verhältnismäßig wenige Länder Explorationslizenzen gesichert (vgl. Tab. 2), was in erster Linie sicherlich an den hohen Investitionskosten liegen dürfte. Unter den ersten waren Russland, Südkorea, Japan und China, Indien und Frankreich. Deutschland hat im Juli 2006 ebenfalls ein Lizenzgebiet im Manganknollengürtel im äquatorialen Nordostpazifik erworben.

Technologie

Der Abbau mineralischer Rohstoffe in der Tiefsee steckt bisher noch in den Kinderschuhen. So gibt es noch keine erprobten Lösungen im industriellen Maßstab, sondern lediglich Konzepte. Neben technischen Innovationen beziehen derzeitige Konzepte auch Technologien aus der Off-Shore-Öl- und -Gasförderung ein. Es handelt sich jedoch um Wassertiefen, in die selbst die Ölindustrie noch nicht vorgedrungen ist. Die Herausforderung liegt vor allem im zuverlässigen Betrieb der Abbautechnologie in großen Tiefen von 1 000 bis mehr als 6 000 Metern unter den dort herrschenden extremen Bedingungen. Die Abbausysteme sind hohen Belastungen ausgesetzt und müssen dennoch über einen langen Zeitraum mit einem möglichst geringen Wartungsaufwand funktionieren. Es gilt, die bestehenden Technologien und Konzepte zu einem im industriellen Maßstab durchführbaren System auszubauen, um so eine wirtschaftliche Förderung zu ermöglichen (vgl. Sharma 2011). Aktuelle Konzepte für den Manganknollenabbau gehen beispielsweise von zwei ferngelenkten oder autonom arbeitenden Kollektorsystemen mit hydraulischem Antrieb aus, die die lose am Boden liegenden Knollen mit Hilfe einer Fördertrommel mit Greiferelementen aufsammeln (vgl. Kuhn et al. 2011). Die Knollen werden dann mit Hilfe eines sog. Risersystems zur Förderplattform an die Wasseroberfläche befördert, wo sie entwässert und für den Transport an Land auf Bulkerschiffe verladen werden. Auch für den Abbau der Massivsulfide gibt es bis heute keine nachweislich funktionierende, effiziente Abbautechnologie, sondern lediglich Konzepte. Die kanadische Firma Nautilus Minerals Inc. stand schon mehrfach vor dem Start des ersten Tiefseebergbauprojekts und damit der Erprobung der ausgearbeiteten Konzepte, musste die Inbetriebnahme jedoch immer wieder aufgrund wirtschaftlicher Unsicherheiten und zuletzt Uneinigkeiten mit der Regierung von Papua-Neuguinea, in dessen Hoheitsgebiet der Abbau erfolgen soll, verschieben (vgl. Miner 2013). Auch der Abbau der Eisen-Mangan-Krusten stellt die Ingenieure vor eine schwierige Aufgabe. Sowohl die beträchtlichen Hangneigungen und die

Tab. 2
Lizenzverträge für die Erkundung von Manganknollen

Lizenznehmer	Inkrafttreten des Lizenzvertrages	Sponsoring-Staat(en)	Lizenzgebiet	Lizenzenddatum
Interoceanmetal Joint Organization	29. März 2001	Bulgarien, Kuba, Tschechische Republik, Polen, Russland, Slowakei	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	28. März 2016
Yuzhmoregeologiya	29. März 2001	Russland	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	28. März 2016
Regierung Südkoreas	27. April 2001	Südkorea	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	26. April 2016
China Ocean Mineral Resources Research and Development Association	22. Mai 2001	China	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	21. Mai 2016
Deep Ocean Resources Development Co. Ltd	20. Jun 2001	Japan	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	19. Juni 2016
Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer	20. Juni 2001	Frankreich	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	19. Juni 2016
Regierung von Indien	25. März 2002	Indien	Indischer Ozean	24. März 2017
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	19. Juli 2006	Deutschland	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	18. Juli 2021
Nauru Ocean Resources Inc.	22. Juli 2011	Nauru	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	21. Januar 2026
Tonga Offshore Mining Limited	11. Januar 2012	Tonga	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	10. Januar 2017
Marawa Research and Exploration Ltd.	noch nicht unterzeichnet	Kiribati	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	
UK Seabed Resources Ltd.	8. Februar 2013	Großbritannien	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	7. Februar 2028
G-TEC Sea Mineral Resources NV	14. Januar 2013	Belgien	Clarion-Clipperton Fracture-Zone	13. Januar 2028

Quelle: International Seabed Authority (2013).

ausgeprägte Mikrotopographie der Fläche, auf der die Krusten vorkommen, als auch die technischen Methoden für das Abtragen der fest mit dem Untergrund verwachsenen Krusten stellen große technische Herausforderungen dar (vgl. Wiedicke et al. 2012). Ein weiteres ungelöstes Problem ist ein fehlendes, industriell etabliertes metallurgisches Aufbereitungsverfahren (vgl. Wiedicke et al. 2012). Lediglich für marine Massivsulfide gibt es ein erprobtes Extraktionsverfahren. Die bisher ausgearbeiteten Verfahren für Manganknollen und Eisen-Mangan-Krusten sind noch mit erheblichen Energie- und Umweltkosten verbunden. Auf sie entfallen in allen entwickelten Modellen mehr als die Hälfte der Gesamtinvestitionen (vgl. Yamazaki 2008; Rühlemann 2011; Kuhn et al. 2011).

Umweltauswirkungen

Neben technologischen Hindernissen spielen auch die Auswirkungen des Tiefseebergbaus auf die Ökosysteme der Tiefsee sowie die Einflüsse der umgebenden Umwelt auf den Bergbau eine entscheidende Rolle für dessen Entwicklung. Zu den Faktoren, welche die Arbeiten beeinflussen, zählen zum einen die hydrographischen und atmosphäri-

schen Bedingungen unter Wasser und an der Oberfläche. Zum anderen hat die Topographie des Meeresbodens einen Einfluss auf die Art der eingesetzten Geräte (vgl. Sharma 2011). Weiterhin spielen auch die vorliegenden Substrate und Charakteristika der Knollen bzw. Krusten eine wichtige Rolle. Erschwerend kommt hierbei hinzu, dass die für die Weiterentwicklung notwendige Forschungsarbeit, das Sammeln der Daten sehr zeit- und kostenintensiv und zudem ortsspezifisch ist. Das heißt, die Daten müssen für jeden Standort einzeln gesammelt und ausgewertet werden. Die Aufnahme der Daten über die vorherrschenden Bedingungen und die Bodenfauna nimmt in der Regel mehrere Jahre für die Kartierung und Beprobung in Anspruch.

Die Abbauarbeiten stellen einen großen Eingriff in die Ökosysteme der Tiefsee dar. Beeinträchtigte Gebiete sind hierbei u.a. der Meeresboden, die gesamte Wassersäule, die Meeresoberfläche und auch die Landflächen. Eine Beeinflussung findet insbesondere durch die von den Geräten aufgewirbelten Sedimentwolken sowie durch die Durchwirbelung des Wassers beim Auftauchen statt (vgl. Sharma 2011). Zudem können die Sedimente durch die Maschinen verfestigt werden. Auch der Transport an der Wasseroberfläche und der Abtransport der Sedimente an Land fließt hier ein. Die

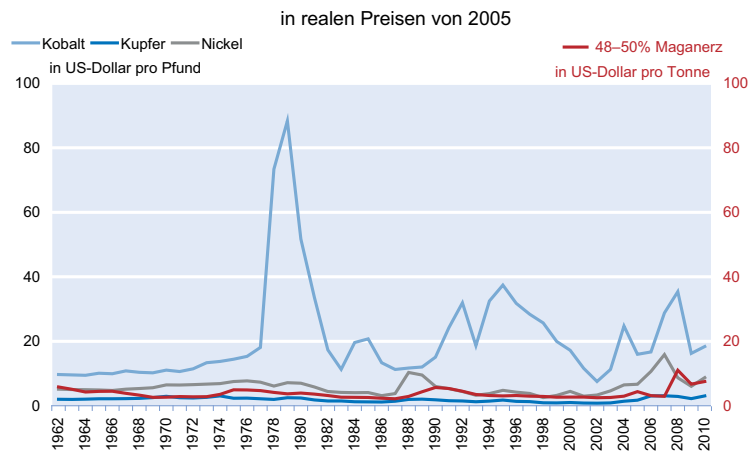
Intensität der Einflüsse hängt hierbei von der Größe der Abbaugelände ab, die von Ressource zu Ressource unterschiedlich groß sind (vgl. Wiedicke et al. 2012). Unsicherheit besteht vor allem in dem Ort der Ablagerung des Abraums, nachdem die Knollen, Krusten und Ablagerungen an Hydrothermalquellen abgebaut wurden. Laut Sharma (2011) ist der Abbau von einem Teil Knollen mit der Verfrachtung von neun Teilen Sedimentmassen verbunden. Bisher ist zudem nur wenig über vorherrschende Unterwasserströmungen bekannt, die den Abbau beeinträchtigen könnten. Weitere Gefahren gehen von dem Ausstreuen von Schadstoffen aus Pumpenrohren und Lecks an den Förderplattformen aus. Hinzu kommen mögliche Beeinträchtigungen durch die Einwirkung von Lärm und Lichtquellen unter Wasser sowie durch Abfälle der stationären Schiffe. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass Meerestiere mit den Geräten kollidieren und Bodenlebewesen durch den Abbau versetzt werden müssen (vgl. Nautilus Minerals 2008). Abgesehen davon ist bis heute zu wenig über die tatsächliche Zusammensetzung der Bodenfauna der Tiefsee bekannt.

Zwar sind die Ablagerungen in der Tiefsee in einer größeren Konzentration vorhanden, was eine relativ geringere Belastung in Relation zur Ausbeute bedeuten würde, da hierfür weitaus weniger Material bewegt werden muss (vgl. WHOI 2009). Dennoch stellt der Tiefseebergbau einen massiven Eingriff in die Unterwasserwelt dar. Die ISA besteht in ihrem Auftrag auf die Einhaltung von Umweltauflagen. Daher wurde im Juli 2012 ein Managementplan für die Clarion-Cliperton-Zone aufgestellt, der Gebiete von besonderem Umweltinteresse identifiziert. Nach Erscheinen der unvollständigen und umstrittenen Umweltverträglichkeitsstudie des Unternehmens Nautilus Minerals, der mangelnde wissenschaftliche Fakten vorgeworfen werden, wurde klar, dass die Einflüsse und Beeinträchtigungen auf die Umwelt der Tiefsee als weitaus größer sind, als bisher vermutet wurde (vgl. Mines and Communities 2011).

Wirtschaftliche Betrachtung

Die Entwicklung ausgewählter Rohstoffpreise zeigt Abbildung 3. Es ist damit zu rechnen, dass der Preisdruck aufgrund intensiver Nachfrage mittelfristig weiter zunehmen wird. Der jährliche Verbrauch der Rohstoffe Kobalt, Kupfer, Mangan und Nickel liegt momentan bei etwa 1–3% der bekannten Landreserven. Weitere potenzielle Ressourcen an Land sind für Mangan und Kupfer mittelfristig ausreichend vorhanden (vgl. U.S. Geological Survey 2013; vgl. auch Tab. 3). Angesichts eines erwarteten Anstiegs der Rohstoff-

**Abb. 3
Preisentwicklung ausgewählter Rohstoffe 1962–2010**



Quelle: Eigene Darstellung auf der Basis von Daten des USGS und der Weltbank (2013).

preise und globaler Verknappungsszenarien bei bestimmten Rohstoffen, rückt der Abbau mariner Rohstoffe aber dennoch immer mehr in den Fokus und wird mittel- bis langfristig an Bedeutung zunehmen. So wird davon ausgegangen, dass die marinen Rohstoffvorkommen die Nachfrage für das 21. Jahrhundert nach Metallen wie z.B. Mn, Fe, Ni, Co, Cu, wie auch u.a. Seltene Erden mehr als bedienen könnten (vgl. Sharma 2011). Die Kobaltvorkommen in der Tiefsee werden beispielsweise auf bis zu 1 Mrd. Tonnen geschätzt (vgl. U.S. Geological Survey 2013). Auch das Bevölkerungswachstum gekoppelt mit einer Verbesserung des Lebensstandards in aufstrebenden Industrienationen und Schwellenländern wird in Zukunft den Nachfragedruck nach Rohstoffen wie Kupfer und Nickel intensivieren. Ein deutsches Engagement in der Gewinnung mariner Rohstoffe würde die Rohstoffversorgung der deutschen Industrie weiter diversifizieren und so einen höheren Grad an Versorgungssicherheit gewährleisten. Des Weiteren bietet dieser »neue« Industriezweig enorme Chancen und Potenziale für den Hightech-Standort Deutschland als exportorientierte Wirtschaft.

Die Fläche des deutschen Lizenzgebiets im Manganknollengürtel beläuft sich auf rund 75 000 km² mit einer durchschnittlichen Dichte von 12 kg/m² (vgl. Rühlemann 2011). In den rohstoffreichsten Regionen des deutschen Lizenzgebiets (20% der Fläche) liegt die Manganknollendichte bei 20 bis 30 kg/m². Insgesamt werden die Rohstoffressourcen hier auf etwa 8 Mill. Tonnen Kupfer (6-mal so viel wie der deutsche Jahresverbrauch), 10 Mill. Tonnen Nickel (80-mal) und 1,2 Mill. Tonnen Kobalt (600-mal) geschätzt (vgl. Rühlemann 2011). Würden alle derzeitigen Lizenznehmer tatsächlich mit der kommerziellen Förderung von Manganknollen im Nordpazifik beginnen, hätte dies voraussichtlich deutliche Auswirkungen auf das weltweite Rohstoffangebot (20 Mill. Tonnen Manganknollen pro Jahr; vgl. Bundesre-

Tab. 3
Rohstoffvorkommen bedeutender Metalle

	Weltweit 2011 (Tsd. Tonnen)				
	Produktion	Verbrauch	Anteil Verbrauch/ Landreserven (in %)	Landreserven	Landressourcen
Kobalt	110	75	1,0	7 500	15 000
Kupfer	17 000	18 600	2,7	680 000	3 000 000
Mangan	17 200	16 500	2,6	630 000	–
Nickel	1 550	1 430	1,9	76 000	130 000

Quelle: U.S. Geological Survey (2012).

gierung 2012). Der Anteil der betreffenden Metalle am heutigen globalen Fördervolumen würde demnach rund 35% betragen. Für Mangan läge in diesem Szenario der Anteil an der Weltförderung bei rund 30%.

Für eine wirtschaftliche Förderung mariner Rohstoffe im Manganknollengürtel wird von einem Abbau von mindestens 2 Mill. Tonnen Manganknollen pro Jahr über einen Zeitraum von 20–25 Jahren ausgegangen. Hierfür müsste ein Konzentrationsgrad von mindestens 10 kg/m² gewährleistet sein, was einer Abbaufäche von 200 km² pro Jahr entspräche (vgl. Bundesregierung 2012). Die Wirtschaftlichkeit bzw. Rentabilität eines industriellen Bergbaus in der Tiefsee hängt neben der Verfügbarkeit der Metalle von terrestrischen Vorkommen und ihrem Preis auch von technoökonomischen Erwägungen in Bezug auf Kapital- und Betriebskosten ab. Aktuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gehen davon aus, dass durch die kleinere, mobile Abbaufäche und die damit verbundenen niedrigen Einrichtungskosten ein Abbau in der Tiefsee potenziell sogar kostengünstiger als die Gewinnung in konventionellen Abbaustätten an Land ist (vgl. Sharma 2011). Hinzu kommt die hohe Konzentration, in der die Metalle an der Oberfläche des Meeresgrunds (bzw. oberflächennah) lagern. Dies erlaubt einen höheren Ertrag bei relativ geringerer Abbaufäche und geringeren Abbaumengen.

Da es noch keine nachweislich funktionierenden Abbautechnologien für die Tiefsee im industriellen Maßstab gibt, sondern lediglich Konzepte, sind noch viele Fragen zur Rentabilität des marinen Bergbaus offen. Die technoökonomischen Rahmenbedingungen sind noch mit vielen Unwägbarkeiten verbunden, und die Faktoren, die zur Ermittlung der Kosten bekannt sein müssen, können nur in grober Schätzung angegeben werden und führen somit zu einer starken Streuung der Ergebnisse (vgl. Kuhn et al. 2011).

John Wiltshire, Leiter des Hawaii Undersea Research Laboratory, schätzt die Anlaufkosten zum Abbau von Masivsulfiden auf 1–2 Mrd. US-Dollar pro Projekt (vgl. Goodier 2001). Hinzu kämen nach Schätzungen der französischen Ingenieursfirma Technip laufende Kosten von 145–162 US-Dollar pro Tonne (vgl. McLeod 2008). Laut Sharma (2011) könnten sich die jährlichen Gesamtkosten

für den Abbau auf bis zu 12 Mrd. US-Dollar belaufen. Dies schließt etwaige unabsehbare Risiken oder Probleme, die eine Explosion der Kosten mit sich bringen würden, nicht mit ein. Einer Schätzung Yamazakis (2008) zufolge könnten sich die Gesamtinvestitionen für den Abbau von Manganknollen auf 1,3 Mrd. US-Dollar plus rund 200 Mill. US-Dollar jährlicher Betriebskosten belaufen (Abbau von Mangankrusten 724 Mill. US-Dollar plus 78 Mill. US-Dollar Betriebskosten p.a.) bei einer Laufzeit von 25 Jahren. Bei den bisher veröffentlichten ökonomischen Modellrechnungen liegt der interne Zinsfluss, eine wichtige Entscheidungsgrundlage für Investoren, bei höchstens 25% (vgl. Kuhn et al. 2011). Trotz der hohen Risiken und Unsicherheiten zeigt eine aktuelle Wirtschaftlichkeitsstudie, die im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen angefertigt wurde, dass der Tiefseebergbau bereits bei den aktuellen Rohstoffpreisen und den zu erwartenden Preisentwicklungen wirtschaftlich sein könnte. Hierfür müsste allerdings noch einiges an Grundlagenforschung betrieben werden. Ein umfassender »Pilot Mining Test« ist erforderlich, um die Technologien, die zur umweltgerechten, material- und energieeffizienten Gewinnung der Rohstoffe führen könnten, zu erarbeiten. Eine Wirtschaftlichkeits- und Umweltverträglichkeitsstudie muss ohnehin vor Beginn einer kommerziellen Förderung bei der ISA vorgelegt werden. Auch die Bundesregierung möchte eine Entscheidung zum Abbau erst gegen Ende der Explorationsphase (2021) fällen (vgl. Bundesregierung 2012).

Aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage findet momentan eine verstärkte Explorationstätigkeit statt. Staaten unternehmen beträchtliche Anstrengungen zur Erkundung der marinen mineralischen Rohstoffe sowie zur Entwicklung von Abbau- und Aufbereitungstechnologien. Mittelfristig wird sich daher wahrscheinlich ein internationaler Markt zur Gewinnung mariner mineralischer Rohstoffe entwickeln, auch wenn eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung noch nicht abschließend möglich ist. Es bedarf weiterer erheblicher Anstrengungen und Investitionen, um die Potenziale des marinen Bergbaus zu heben. Diese wird nur durch beides, private und öffentliche Investitionen, erfolgen können. Mit einem industriellen Abbau innerhalb der nächsten zehn Jahre ist vorerst nicht zu rechnen.

Literatur

Australian Government (2013), online verfügbar unter: http://www.ga.gov.au/webtemimage_cache/GA13555.gif, aufgerufen am 7. Juni 2013.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2013), *Tiefseebergbau*, online verfügbar unter: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Marine-Rohstoffforschung/Meeresforschung/Tiefseebergbau/tiefseebergbau_node.html, aufgerufen am 7. Juni 2013.

Bundesregierung (2012), »Antwort der Bundesregierung auf die Anfrage der Abgeordneten Oliver Krischer, Dr. Valerie Wilms, Krista Sager, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN«, Drucksache 17/8645, Auswirkungen des Tiefseebergbaus auf die marine Umwelt und Biodiversität, online verfügbar unter: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/086/1708645.pdf>.

Goodier, R. (2011), »Why Deep-Sea Rare-Earth Metals Will Stay Right Where They Are—For Now«, *Popular Mechanics*, online verfügbar unter: <http://www.popularmechanics.com/science/environment/why-deep-sea-rare-earth-metals-will-stay-right-where-they-are-for-now>.

Hein, J.R., T.A. Conrad und H. Staudigel (2010), »Seamount Mineral Deposits. A Source of Rare Metals for High-Tech Industries«, *Oceanography* 23(1), 184–189.

Hein, J.R., A. Koschinsky, M. Bau, F.T. Mannheim, J.-K. Kang und L. Roberts (2000), »Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts in the Pacific«, in: D.S. Cronau (Hrsg.), *Handbook of Marine Mineral Deposits*. CRC Press, Boca Raton, 239–279.

International Seabed Authority (2013), »Polymetallic Nodules«, online verfügbar unter: <http://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG7.pdf>, aufgerufen am 7. Juni 2013.

Kuhn, Th., C. Rühlemann, M. Wiedicke-Hombach, J. Rutkowsky, H.-J. von Wirth, D. Koenig, T. Kleinen und T. Mathy (2011), »Tiefseeförderung von Manganknollen«, *Schiff & Hafen*, online verfügbar unter: http://www.germanyattsbest.de/content/bp/5592b2653a0bc0c68c0d2af6a4d26cd4_54379702_schiffhafen_meeresbergbau.pdf

McLeod, J. (2008), »New Frontier Mining Under the Sea?«, online verfügbar unter: [tp://www.mining-technology.com/features/feature46357](http://www.mining-technology.com/features/feature46357).

Mero, J. (1968), »Whose is the Bed of the Sea?«, *Proceedings of the American Society of International Law* 62, 216–229.

Miner, M. (2013), »Will Deep-sea Mining Yield an Underwater Gold Rush?«, *National Geographic*, online verfügbar unter: <http://news.nationalgeographic.com/news/2013/13/130201-underwater-mining-gold-precious-metals-oceans-environment/>.

Mines and Communities (2011), »Independent Scientific Review Slams Nautilus's Environmental Plan«, online verfügbar unter: <http://www.minesandcommunities.org/article.php?a=10707>.

Nautilus Minerals (2008), Environmental Impact Statement, Solwara 1 Project, online verfügbar unter: <http://www.cares.nautilusminerals.com/assets/documents/main%20document%20text.pdf>.

Rühlemann, C. (2011), »Das deutsche Lizenzgebiet zur Exploration polymetallischer Knollen: Manganknollen als potentielle zukünftige Rohstoffquelle. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover«, online verfügbar unter: http://www.futureocean.org/fileadmin/user_upload/content/technologietransfer/pdf/ruehleman-manganknollen.pdf.

Sharma, R. (2011), »Deep-sea Mining: Economic, Technical and Environmental Considerations for Sustainable Development«, *Marine Technological Society Journal* 45(5), 28–41, online verfügbar unter: http://drs.nio.org/drs/bitstream/2264/3943/1/Mar_Technol_Soc_J_45_28a.pdf.

U.S. Geological Survey (2012), USGS Minerals Yearbook, online verfügbar unter: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>.

U.S. Geological Survey (2013a), »Mineral Commodity Summaries«, online verfügbar unter: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2013/mcs2013.pdf>.

U.S. Geological Survey (2013b), *USGS Minerals Yearbook*, online verfügbar unter: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>.

Wiedicke, M., T. Kuhn, C. Rühlemann, U. Schwarz-Schampera und A. Vink (2012), »Marine Mineralische Rohstoffe der Tiefsee – Chance und Herausforderung«, *Commodity Top News* 40, online verfügbar unter: http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/40_marine-mineralische-rohstoffe-tiefsee.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Woods Hole Oceanographic Institution WHOI (2009), »The Promises and Perils of Seafloor mining«, online verfügbar unter: <https://www.whoi.edu/oceanus/viewArticle.do?id=62986>.

Yamazaki, T. (2008), »Model Mining Units of the 20th Century and the Economies«, in: Proc. of The Seventh (Hrsg.), *ISOPE Ocean Mining Symposium*, Chennai, 1–9.