

Abschlussbericht

MiningImpact – Environmental Impacts and Risks of Deep-Sea Mining

Projektleitung: Dr. Annemiek Vink

Zuwendungsempfänger: BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Förderkennzeichen: 03F0812H

Vorhabenbezeichnung: Natürliche und abbaubedingte Partikelflüsse in der Wassersäule und am Meeresboden in der Clarion Clipperton Zone (CCZ), NE-Pazifik

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 – 28.02.2022

Ort, Datum: Hannover, den 22.07.2022



Gefördert vom Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung.....	3
1. Ursprüngliche Aufgabenstellung	3
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben von Seiten der BGR durchgeführt wurde	3
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	4
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	7
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	9
II. Wissenschaftliche Ergebnisse, zahlenmäßiger Nachweis und Nutzen.....	10
1. Erfolge und erzielte wissenschaftlich-technische Ergebnisse	10
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	15
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	15
4. Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse	16
a) Wissenschaftlich-technischer Nutzen	16
b) Wirtschaftlicher Nutzen	17
5. Fortschritte anderer Arbeitsgruppen auf dem Gebiet des Vorhabens	17
6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	18
a) Artikel in internationalen Fachzeitschriften	18
b) Vorträge und Poster bei internationalen Konferenzen und Instituten	20
c) Berichte und Beiträge.....	21
7. Literaturverzeichnis	22
III. Erfolgskontrollbericht	24
1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	24
2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen	24
3. Fortschreibung des Verwertungsplans.....	25
a) Erfindungen/ Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte.....	25
b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)	25
c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Vorhabenende (mit Zeithorizont).....	25
d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase.....	26
e) Verwertungsplan mit Zeithorizont	26
4. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	26
5. Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	27
6. Berichtsblatt / Document Control Sheet.....	27

I. Kurze Darstellung

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Um den global wachsenden Rohstoffbedarf zu decken sind Mineralvorkommen der Tiefsee, hierunter auch Manganknollen, in das Blickfeld von Politik und Wirtschaft gerückt. Tiefseebergbau könnte jedoch zu einer Veränderung der vom Eingriff betroffenen Ökosysteme am Meeresboden und in der darüber liegenden Wassersäule führen. Je nach Methode und Ausmaß des Abbaus könnten dadurch einzigartige Habitate von Tiergemeinschaften am Meeresboden und im Wasser betroffen sein und Tierarten könnten gefährdet werden.

Hauptziele der zweiten Phase des MiningImpact-Projektes waren die Untersuchung und die erstmalige, quantitative Erfassung von Umweltauswirkungen eines Manganknollen-Kollektortests der belgischen Firma Global Sea Mineral Resources (GSR) in der CCZ, mit einem Schwerpunkt auf der Ausbreitung und großflächigen Auswirkung der aufgewirbelten, feinpartikulären Suspensionswolke, im östlichen BGR (deutschen) Lizenzgebiet und im GSR (belgischen) Lizenzgebiet in der CCZ. Um die Umweltrisiken, die aus der Verbreitung der Suspensionswolke („Plume“) resultieren, besser beurteilen und die Prozesse des vertikalen und horizontalen Sedimenttransports in der Wassersäule einschätzen zu können, war es Aufgabe der BGR in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, das bodennahe Strömungsregime sowie die räumlichen und zeitlichen Variationen bodennaher Partikel Flüsse und deren Zusammensetzung vor, während und nach dem Kollektortest zu analysieren (Teil der Arbeitspakete WP2 und CCT1). Hierzu sollten im Projekt der BGR wiederholt Strömungs- und Sinkstofffallenverankerungen mit zusätzlichen Trübungssensoren ausgesetzt werden, die über längere Zeiträume am Meeresboden stehen und hochaufgelöste Datenreihen erheben. Die Partikelproben aus Sinkstofffallen sollten quantitativ ausgearbeitet und sedimentologisch/geochemisch/mineralogisch analysiert werden. Alle ozeanographischen Daten sollten zudem genutzt werden um die, in der ersten Projektphase entwickelten, hydrodynamischen Modelle zur Ausbreitung der aufgewirbelten Suspensionswolke zu verifizieren bzw. anzupassen und weiterzuentwickeln, z.B. um ein "upscaling" der Auswirkungen auf industriellen Maßstab zu ermöglichen (WP2; Universität Bremen).

Darüber hinaus war die BGR auch am Querschnittsthema CCT3 beteiligt. Hier sollte ein Strategiepapier entwickelt werden, das den derzeitigen Wissensstand und die neuen Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen und -risiken, sowie Konzepte zum Monitoring von Tiefsee-Bergbauaktivitäten zusammenfasst und Empfehlungen entwickelt, wie Umweltmanagementplänen in geeignete rechtliche Rahmenbedingungen der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA), der EU und einzelnen Ländern umgesetzt werden können.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben von Seiten der BGR durchgeführt wurde

Wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung des Projektes MiningImpact umfassten:

- Bereitstellung eines Monitoringschiffes (FS SONNE) und Finanzierung der Transportkosten für die Expedition SO268 durch das BMBF in April/Mai 2019: Während der SO268-Fahrt sollten ursprünglich die Tests des Manganknollenkollektors von GSR und das begleitende wissenschaftliche Monitoring durchgeführt werden. Dies konnte jedoch aufgrund eines technischen Defekts am Versorgungsstrang des Kollektors nicht wie geplant umgesetzt werden. Daher wurde während dieser Ausfahrt ein Alternativprogramm durchgeführt (Baseline-Datenerhebung; kleinskaliges Störungsexperiment). Im Rahmen dieses Alternativprogramms konnten Daten und Proben für das BGR Vorhaben erhoben werden, diese deckten jedoch nicht das Hauptziel des Vorhabens ab. Leider hat ein herstellerbedingter Defekt des Uhrenchips in den beiden ausgesetzten Sinkstofffallen auch dazu geführt, dass nur unvollständige Probensätze erhoben werden konnten.

- Einladung der BGR an das MiningImpact Konsortium um sich an die BGR Explorationsfahrt MANGAN 2021 (IP21 auf MV ISLAND PRIDE) zu beteiligen, um das Monitoring der Kollektortests im Rahmen des JPI-O Verbundprojektes in April/Mai 2021 noch zu ermöglichen (Kosten von insgesamt 4,9 Mio. Euro).
- Bereitstellung von Verankerungsgeräten und -zubehör durch die BGR (600 kHz ADCPs, RCMs, Trübungssensoren, Sinkstofffallen) und durch die beteiligten Projektpartner (CTDs, ADCPs, Trübungssensoren wie JFEs und OBSs, Partikelkameras, optische Kameras) während der Schiffsexpeditionen.
- Finanzierung einer wiss. Stelle durch das BMBF (34 Monate).
- Bereitstellung von BGR Haushaltspersonal für die Projektleitung, technische Betreuung der Geräte und wissenschaftliche Tätigkeiten im Rahmen der Wasser- und Sedimentgeochemie (insgesamt ca. 22 Monate für die Dauer des Projektes).
- Bereitstellung von Laborinfrastruktur und analytischen Arbeiten der BGR (Probenaufbereitung; Analysegeräte, geochemische Analysen; Mineralogie; Korngrößenanalysen).
- Intensive Zusammenarbeit mit Partnern aus MiningImpact, insbesondere der Universität Bremen, Jacobs University (JUB), GEOMAR, AWI und NIOZ.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Winterhalbjahr 2018/2019 diente vor allem der Planung und logistischen Vorbereitung der Expedition SO268 auf FS SONNE. Während der SO268-Fahrt sollten ursprünglich der Test des Manganknollenkollektors von GSR und das begleitende wissenschaftliche Monitoring durchgeführt werden. Dies konnte jedoch aufgrund eines technischen Defekts am Versorgungsstrang des Kollektors nicht wie geplant umgesetzt werden. Daher wurde während dieser Ausfahrt ein Alternativprogramm durchgeführt. Dieses umfasste (i) umfangreiche Baseline-Untersuchungen des Meeresbodens und der Wassersäule im BGR- und im GSR-Arbeitsgebiet, (ii) ein kleinskaliges Störungsexperiment und das begleitende Umweltmonitoring im BGR-Arbeitsgebiet, und (iii) das Ausbringen eines Transekts von Strömungs- und Sinkstofffallenverankerungen im BGR-Arbeitsgebiet, um mögliche Auswirkungen eines mesoskaligen Wassermassenwirbels (Eddy), der das Arbeitsgebiet während der Ausfahrt durchquerte, auf das bodennahe Strömungsregime und damit einhergehende Sediment-Resuspension zu untersuchen. Zur Erfassung des bodennahen Strömungsregimes und der natürlichen Partikelflussvariabilität hatte die BGR bereits während der BGR Explorationsfahrt SO262 drei Strömungsverankerungen (jeweils bestückt mit ADCPs, Strömungspunkt- und Trübungssensoren) und eine Sinkstofffallenverankerung im Arbeitsgebiet ausgesetzt, um über den Zeitraum eines Jahres Veränderungen im bodennahen Strömungsregime und Partikelfluss aufzuzeichnen. Diese Verankerungen wurden geborgen und für ein weiteres Jahr erneut ausgesetzt.

Im Anschluss an die SO268 Fahrt begann die Auswertung der gewonnenen ozeanographischen und sedimentologischen Daten. Die Strömungsdaten dienten zusammen mit weiteren ozeanographischen und sedimentologischen Daten auch der Anpassung von Modellen zur Verdriftung künstlich verursachter Suspensionswolken. Die gesammelten Sinkstofffallenproben wurden im Hinblick auf die (natürliche) Partikelflussvariabilität und biogeochemischen Zusammensetzung analysiert. Dies umfasste neben einer makroskopischen Beschreibung vor allem die Bestimmung der Hauptkomponenten (z.B. Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff, organischer Kohlenstoff und Biogen-Opal). Außerdem wurde die mineralogische und geochemische Zusammensetzung einiger Proben bestimmt. In Bezug auf die Mineralogie ist vor allem die Zusammensetzung der lithogenen Komponente von Interesse. Aufgrund des geringen Anteils lithogenen Materials an den Gesamtproben kann diese jedoch nicht bestimmt werden ohne die lithogenen Bestandteile zuvor zu isolieren. Nach einer Literaturrecherche wurde ein Aufbereitungsprotokoll für diese spezifischen Proben entwickelt,

mit der die biogenen Komponenten (Karbonate, Opal und organisches Material) möglichst schonend aus den Proben eliminiert werden konnten, d.h. ohne dabei lithogene Partikel anzugreifen, und erste Messungen (XRD) durchgeführt. Die BGR hat sich außerdem an den Auswertungen der Ergebnisse des kleinskaligen Störungsexperiments (CCT1 und WP2) hinsichtlich der Verdriftung und Sedimentation aufgewirbelter Sedimente und der Analyse des angewandten Monitoring-Konzepts beteiligt (Purkiani et al. 2021; Haalboom et al. 2022).

Besonders im Zeitraum von 2020 bis Frühjahr 2021 lag ein Schwerpunkt außerdem auf der sehr aufwändigen technischen und wissenschaftlichen Planung einer weiteren, diesmal durch die BGR geleiteten Expedition (IP21), um die Monitoringziele des Projektes in Zusammenhang mit den geplanten GSR Tests des Kollektors „Patania II“ im GSR- und BGR-Lizenzgebiet zu erreichen. Die Kollektortests und das Begleitmonitoring konnten schließlich im April/Mai 2021 durchgeführt werden. Nach einem sehr effizienten ersten Kollektortest im GSR Gebiet, der sowohl die Funktionstüchtigkeit des Kollektorfahrzeugs als auch die Eignung der Monitoringstrategie zur Gewinnung wertvoller Daten für die Abschätzung der Umweltfolgen bestätigte, war der Versorgungskabel des Kollektors bei der Bergung gerissen und das Gerät zum Meeresboden gesunken. Durch die technische und personelle Fähigkeit des Schiffes MV ISLAND PRIDE konnte Patania II jedoch vom Meeresboden geborgen und für den nächsten Einsatz fähig gemacht werden. Der Test und das Monitoring im BGR-Gebiet konnte somit doch noch stattfinden, jedoch mit einigen Tagen Verspätung und erst kurz vor Abfahrt aus dem Gebiet.

Die von der BGR während der SO268-Fahrt ausgesetzten Verankerungen wurden während IP21 geborgen und für ein weiteres Jahr erneut ausgesetzt. Leider fehlte durch den späten Einsatz des Kollektors im BGR-Lizenzgebiet im Anschluss des Kollektortests die Zeit um die ausgesetzten Sinkstofffallen mit den gesammelten Proben und Daten des Tests zu bergen. Dies wird nun voraussichtlich während SO295 (Dezember 2022) stattfinden. Im Anschluss an die IP21-Fahrt wurde mit der Auswertung der gewonnenen ozeanographischen, sedimentologischen und geochemischen Daten aus den Vorjahren begonnen. Ebenso wurden innerhalb von CCT1 die gesammelten Daten des Plume-Sensor-Netzwerkes und der AUV-Kartierung ausgewertet, kalibriert und zusammengetragen.

In dem Vorhaben neu hinzugekommen sind Untersuchungen zur Spurenelement-Biogeochemie im bodennahen Meerwasser und an der Sediment-Wassergrenze. Die Untersuchungen wurden durchgeführt, um das wissenschaftliche Verständnis zum Verhalten und zur Bioverfügbarkeit potentiell toxischer Spurenmetalle im Rahmen eines möglichen zukünftigen Manganknollenabbaus zu erweitern und die erforderlichen Grundlagendaten zu erheben, und basieren auf den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnen der BGR in der Zeit nach Antragsstellung. Die BGR hat insbesondere in den letzten zwei Jahren innovative Forschung dazu betrieben und das Arbeitsfeld bedeutend vorangebracht, im Rahmen der MiningImpact-Tätigkeiten und in enger Kooperation mit Kollegen der JUB. Die Studien fügten sich in die übergeordneten Fragestellungen des Gesamtprojektes zu Umweltauswirkungen durch anthropogene Störungen infolge von Tiefseebergbau-Aktivitäten ein und ergänzten die Arbeiten der Partner JUB, GEOMAR und AWI.

Aus abbaubedingten Suspensionswolken können potentiell toxische Spurenelemente freigesetzt werden, ebenso durch die Entfernung der obersten Sedimentschichten. Zur Bewertung dieser Risiken sind u.a. Daten zur natürlichen Variabilität der Elemente und ihrer Bioverfügbarkeit in den verschiedenen Ökosystemen-Kompartimenten (bodennahes Meerwasser, Sediment-Wassergrenze, Oberflächen-sediment) notwendig. Hierzu wurde eine neue analytische Infrastruktur an der BGR geschaffen. Diese ermöglichte an der BGR die Analyse einer Reihe der für Umweltrisikobewertungen wichtigen Elemente im Meerwasser und im Porenwasser, die für das Vorhaben essentielle Daten liefern (Metall-Gesamtkonzentrationen, Bioverfügbarkeit von Metallen, Redox-Bedingungen im Sediment, Interaktion mit organischem Material). Während der Fahrt SO268 hat die BGR für Grundlagenstudien der Spurenmetalle Beprobungen des bodennahen Meerwassers mittels Wasserschöpfern durchgeführt und über einen mehrwöchigen Zeitraum DGT-Passivsammler an den Sedimentfallenverankerungen eingesetzt. Während der Monitoring-Fahrt IP21 wurden die durch den Kollektor generierten Suspensionswolken ebenfalls mittels Wasserschöpfern und Passivsammlern

beprobt. Die BGR hat neben der Meerwasser-Spurenelementanalytik und der Analytik der Passivsammler auch einen Teil der Porenwasser-Spurenelementanalytik übernommen, insbesondere der Elemente, die an der JUB nicht bestimmt werden konnten, aber für die Ziele des Verbundprojektes von Bedeutung sind (Fe, Mn, Co, Ni, Zn, etc.).

Ein wichtiger Bestandteil des Forschungsvorhabens waren regelmäßige Treffen der Partner, auf denen der Fortschritt der Untersuchungen vorgestellt und intensiv diskutiert sowie die weiteren Arbeiten koordiniert und angepasst wurden (Tabelle 2). Durch diese Besprechungen entstand ein ständiger Austausch von Ideen, und die Zusammenarbeit der einzelnen Wissenschaftler wurde gefördert. Vor allem auf den Jahrestreffen des Gesamtprojekts hat die BGR wiederholt über den Stand ihrer Arbeiten berichtet.

Tabelle 1: Zeitliche Übersicht der durchgeführten Arbeiten¹

Teilaufgaben BGR	2018		2019				2020				2021				2022
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
Austausch mit GSR bzgl. Kollektortests/Planung															
Vorbereitung der Fahrten SO268 und IP21															
SO268 und IP21-Fahrten															
Analyse und Auswertung des hydrodynamischen Systems im deutschen Testgebiet															
Quantitative Ausarbeitung und Analyse von Sedimentproben aus Sinkstofffallen															
Analyse und Auswertung Spurenmetalle Meerwasser ²															
Analyse und Auswertung Spurenmetalle Sediment ²															
Evaluierung Monitoring & Managementstrategien															
WP2, CCT1 Meetings; Workshops															
Stakeholder-Kommunikation															
Präsentationen (Meetings, Tagungen)															
Projekt Meetings															
Berichte / Publikationen															

¹Es sind nur die Projektarbeiten dargestellt, an denen die BGR beteiligt war

²Arbeiten sind im Projektzeitraum neu hinzugekommen

Tabelle 2: Projekttreffen und Expeditionen

Datum	Ort	Expedition/Projekttreffen	Teilnehmer
September 2018	Brüssel	MiningImpact Kick-off Meeting und Open Stakeholder Day	BGR, Alle
Oktober 2018	Hannover	Öffentliche Informationsveranstaltung zum EIA für den Kollektortest im BGR Lizenzgebiet	BGR, GEOMAR
Februar 2019	Kiel	MiningImpact Planning Meeting	BGR, Alle
April/Mai 2019	CCZ	Expedition SO268 mit FS SONNE	BGR, Alle
Oktober 2019	Aveiro	MiningImpact Annual Meeting	BGR, Alle
Februar 2020	Bremen	MiningImpact Planning Meeting	BGR, Alle
Oktober 2020	Online	MiningImpact Annual Meeting	BGR, Alle
Januar 2021	Online	Öffentliche Informationsveranstaltung zu den Kollektortests und zum Begleitmonitoring	BGR, Alle
April/Mai 2021	CCZ	Expedition MANGAN 2012 (IP21) mit MV ISLAND PRIDE	BGR, Alle
Januar 2022	Online	Abschlussmeeting und Open Stakeholder Day	BGR, Alle

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die BGR hat im Rahmen der ersten Phase vom JPI-O Verbundprojekt MiningImpact die Leitung des WP4 „Sediment plume dilution and dispersion“ zusammen mit Dr. H. de Stichter (NIOZ) übernommen und Verankerungsarbeiten durchgeführt (Förderkennzeichen 03F0708A). Bereits zu diesem Zeitpunkt (2015) hatte die BGR die bodennahen Strömungen an geeigneten Positionen im deutschen Lizenzgebiet mittels verankerter 600 kHz ADCPs und RCMs über 3 Jahre hinweg erfasst. Im Rahmen des WP4 trug die BGR dazu bei, die räumlichen und zeitlichen ozeanographischen Variationen des heutigen hydrodynamischen Systems der CCZ in einem „Pilot Study Area“ im deutschen Manganknollenlizenzengebiet zu analysieren und zu charakterisieren. Die gewonnenen Datenreihen waren als Input für die Modellierung der potenziellen Ausbreitung einer abbaubedingten Suspensionswolke notwendig. Ein 3D-hydrodynamisches Modell wurde in WP4 entwickelt (Universität Bremen) und wurde, auch in der zweiten Phase des Projektes, auf Einzelheiten überprüft, verbessert und getestet (Purkiani et al. 2020; 2021). Darüber hinaus wurden an der BGR und in Kooperation mit der JUB wichtige Daten zum Suspensionsverhalten der Tiefseesedimente (Partikelgrößen, Sinkgeschwindigkeiten, Aggregationsprozesse) und der Dauer des Verbleibs einer Suspensionswolke in der Wassersäule erhoben, die in dem an das 3D hydrodynamische Modell gekoppelte Transportmodell der Universität Bremen Anwendung fanden (Gillard et al. 2019). Weiterhin konnten die ozeanographischen und sedimentologischen Arbeiten der BGR und der Projektpartner in der zweiten Projektphase an durchgeführten Studien im Rahmen des EU-Projektes MIDAS (Managing Impacts of Deep-Sea Resource Exploitation, 2013-2016) anknüpfen.

Die Laboranalyse der Sinkstofffallen-Partikelproben (Bestimmung der Partikelflussraten; biogeochemische Charakterisierung), besonders an sehr kleinen Proben, so wie sie aus dem Tiefseebereich des äquatorialen NE-Pazifiks vorliegen (< 1 g Sediment), setzt eine umfassende fachliche Expertise und eine entsprechende Laborausstattung voraus. Die Arbeitsgruppe Biogeochemie der Universität Hamburg verfügt über langjährige Erfahrung, tiefgreifende Expertise und die notwendige Laborausstattung für die biogeochemische Analyse und Interpretation mariner Tiefseesedimente aus Sinkstofffallen, und wurde im Rahmen dieses Vorhabens mit Laborarbeiten sowie mit der Übertragung von Erfahrung und Wissen beauftragt.

Alle während der Fahrten erzeugten Daten, auch aus der ersten Phase des Projektes, werden im Informationssystem PANGAEA des World Data Center for Marine Environmental Sciences (WDC-MARE) archiviert, um die langfristige Speicherung und den Zugang zu den Daten für die weltweite wissenschaftliche Gemeinschaft zu gewährleisten. Das Kieler Datenmanagementteam ist aktiver Kurator in PANGAEA und unterstützt das Projekt über das Ocean Science Information System Kiel (OSIS Kiel). Hierdurch wird die langfristige Bewahrung, Nutzbarkeit und globale Verfügbarkeit der Daten durch Webdienste und Metadaten-Sammeldienste sichergestellt. Diese Datenbanken sorgten für einen einfachen Austausch und die vertrauensvolle Nutzung von Daten zwischen Partnern. Weiterhin wurde stets an publiziertes Wissen in geeigneten, peer-reviewed Fachzeitschriften angeknüpft.

Ein wichtiger Aspekt der Umweltuntersuchungen bezieht sich auf die potentiell erhöhte Toxizität von Spurenmetallen im bodennahen Meerwasser, bedingt durch die abbaubedingte Ausbreitung von Partikelwolken und veränderte Elementflüsse an der Sediment-Wassergrenze. Toxische Effekte können entweder durch die direkte Aufnahme von Metall-angereicherten Partikeln (Sedimentpartikel, zerkleinertes Erzmaterial) durch filtrierende Organismen induziert werden oder durch die Aufnahme gelöster Stoffe über die Kiemen, die Körperwand und den Verdauungstrakt exponierter Organismen. Um das konkrete Gefährdungspotential bewerten und eingrenzen zu können, sind neben toxikologischen Untersuchungen auch geochemische Studien zu Spurenmetallkonzentrationen in verschiedenen Größenfraktionen und zu ihrer chemischen Speziation, sowohl unter natürlichen Bedingungen als auch für Impakt-Szenarios, erforderlich. Diese Untersuchungen liefern auch die notwendigen Daten für die Definition von robusten Hintergrundwerten sowie von Umweltqualitätsstandards und Schwellenwerten für Spurenmetallschadstoffe zum Schutz der Umwelt in der bodennahen Wasserschicht. Zudem müssen geeignete Indikator-Variablen festgelegt und Monitoring-Ansätze entwickelt werden.

Vor Projektbeginn lagen keine Spurenmetalldaten für das bodennahe Meerwasser in der CCZ natürlichen Bedingungen vor, weder für Gesamtkonzentrationen und deren räumliche und zeitliche Variabilität noch zur Aufteilung auf verschiedene Größenfraktionen (partikulär, gelöst <0.2 µm etc.) oder zur chemischen Speziierung. Experimentelle Untersuchungen zur Freisetzung von Spurenmetallen mit frischem Sediment des Peru-Beckens (Koschinsky et al. 2001) haben gezeigt, dass es durch die Aufwirbelung von Oberflächensedimenten in Meerwasser unter oxischen Bedingungen nach einer zügigen, signifikanten Freisetzung von Spurenmetallen zu einer raschen Abnahme der gelösten Metallkonzentrationen durch Adsorption an suspendierte Partikel wie z.B. Mn-Oxide kommt. Es kam also nicht zu einer anhaltenden erhöhten Konzentration der gesamtgelösten Fraktionen. An diese experimentellen Untersuchungen wurde im Rahmen von MiningImpact2 angeschlossen, mit Wasserprobenahmen in Suspensionswolken unter den realitätsnahen Bedingungen der Patania-II-Kollektortests.

Umweltqualitätsstandards zur Bewertung der Wasserqualität beziehen sich für Metalle häufig auf gesamtgelöste Konzentrationen, allerdings können Metalle in verschiedenen chemischen Formen auftreten und dadurch unterschiedlich bioverfügbar und toxisch sein. Die klassische Punkt-Probenahme mit anschließender Filtration durch einen 0.2 µm oder 0.45 µm Filter erfasst oft nicht die tatsächliche Bioverfügbarkeit und potenzielle Toxizität der Schadstoffe. Die Qualität der Bewertung kann durch die gezielte Bestimmung der Metall-Spezies, die sich direkter mit den ökotoxikologischen Auswirkungen in Verbindung bringen lassen, verbessert werden. Die chemische Form von Metallen und somit ihre Bioverfügbarkeit kann sich durch die Eingriffe am Meeresboden auch ändern. So kann Cu eine stark toxische Wirkung haben, ist im natürlichen marinen Milieu der Tiefsee jedoch kaum bioverfügbar. Eine Änderung der chemischen Speziierung kann allerdings die potentielle Toxizität von Cu deutlich erhöhen, deshalb sind Untersuchungen zur chemischen Bindung der Metalle unter verschiedenen Bedingungen und zur Festlegung geeigneter Monitoring-Tools notwendig.

Passivsammler können *in situ* zur Bestimmung labiler (d.h. leicht für Organismen verfügbare) Spurenelementkonzentrationen über einen bestimmten Zeitpunkt eingesetzt werden und stellen durch ihre einfache und praktikable Handhabung, ihre Selektivität für labile Metall-Spezies und durch

die Möglichkeit der in *situ*-Bestimmung ein potentielles Monitoring-Tool für Metalle dar. Die BGR hat Passivsammler erstmalig 2017 im Indischen Ozean eingesetzt, im Rahmen des MiningImpact-Projektes sollten sie nun in der CCZ im NE-Pazifik getestet werden. Passivsammler werden bereits in der Gewässerüberwachung nach EU-Wasserrahmenrichtlinie und weiterer nationaler, regionaler und europäischer Richtlinien und Konventionen (z. B. WWRL, MSRL, HELCOM- und OSPAR-Konventionen) eingesetzt, hauptsächlich jedoch für organische Schadstoffe. Sie werden in diesem Rahmen allerdings inzwischen auch als Probenahme- und Monitoringtechnik für Metalle diskutiert. In der Tiefsee wurden sie vor dem Einsatz durch die BGR nicht angewendet, bisherige Anwendungen zur Untersuchung der Labilität und Bioverfügbarkeit von Spurenelementen und zu Monitoringzwecken im marinen Milieu beschränkte sich auf Küstengewässer (z.B. Rodriguez et al., 2021) und Oberflächen-Meerwasser im offenen Ozean (z.B. Bayon et al., 2018).

Abbaubedingte Umweltbelastungen wie Sedimentabtrag und -verdichtung, Vermischung, Resuspension und Ablagerung werden sich unter anderem auf die mikrobiologischen und biogeochemischen Prozesse und Funktionen an der Meeresbodenoberfläche auswirken, durch veränderte mikrobielle Vergesellschaftungen und Aktivitäten, veränderte geochemische und mineralogische Zusammensetzungen des Oberflächensediments sowie Veränderungen der physikalischen Eigenschaften und der biologischen Aktivitäten (z.B. König et al. 2001; Paul 2018; Volz et al. 2020; Vonnahme et al. 2020; Haffert et al. 2020). Die BGR hat im Rahmen der Lizenzverpflichtungen seit 2008 neben der Bestimmung physikalischer Eigenschaften umfangreiche Untersuchungen zur Biogeochemie (u.a. Gehalte an organischem und anorganischem Kohlenstoff) in den Oberflächensedimenten des deutschen Lizenzgebietes durchgeführt. Seit 2018 wurde verstärkt die Mineralogie (Rasterelektronenmikroskop, Röntgendiffraktometrie), Korngrößenverteilung sowie die Haupt- und Nebenelementzusammensetzung (Röntgenfluoreszenz) in ungestörten Oberflächensedimenten des BGR-Gebietes für den Kollektortest und des Referenzgebiet untersucht, ebenso wie die Spurenelementzusammensetzung des Porenwassers. An diese Expertise knüpften die im Rahmen von MiningImpact zusätzlich eingebrachten Untersuchungen der Oberflächensedimente an, die während SO268 und IP21 gemeinsam mit den Partnern GEOMAR, AWI und JUB gewonnen wurden.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Obwohl es insgesamt in dem Verbundprojekt MiningImpact eine sehr gute Verknüpfung zwischen Partnern gab, war eine intensive Zusammenarbeit mit folgenden Stellen besonders stark:

- **GEOMAR Helmholtz-Institut für Ozeanforschung Kiel:** Ozeanographie & AUV Bild- und Datenauswertung (Prof. Dr. Jens Greinert; Iason-Zois Gazis); Geochemie (Dr. Matthias Haeckel, Prof. Dr. Erik Achterberg)
- **Jacobs University Bremen:** Partikelcharakterisierung (Analyse der Partikelgrößen, Partikelsinkgeschwindigkeiten, Partikel-Resuspension) (Prof. Dr. Laurenz Thomsen, Dr. Benjamin Gillard); Geochemie (Prof. Dr. Andrea Koschinsky, Dr. Sophie Paul)
- **Universität Bremen:** Ozeanographie, Modellierung der Suspensionswolke (Dr. André Paul; Dr. Kaveh Purkiani; Dr. Maren Walter)
- **NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research:** Ozeanographie, Plume sensor array (Dr. Henko de Stigter; Sabine Haalboom)

Zusätzlich dazu:

- **Universität Hamburg:** Sinkstofffallenanalysen, Biogeochemie (Dr. Niko Lahajnar)
- **MIT Massachusetts Institute of Technology (USA):** Ozeanographie, Modellierung der Suspensionswolke (Prof. Dr. Thomas Peacock)
- **GSR Global Sea Mineral Resources (Belgien):** Technologieentwicklung Patania II, Fahrtplanung und Fahrtsynchronisierung (François Charlet)

II. Wissenschaftliche Ergebnisse, zahlenmäßiger Nachweis und Nutzen

1. Erfolge und erzielte wissenschaftlich-technische Ergebnisse

Zeitreihenmessungen des hydrografischen Regimes im deutschen Lizenzgebiet finden seit 2013 statt und zeigen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten am Meeresboden typischerweise weit unter 10 cm/s bleiben und die Richtungen sehr variabel sind. Starke halbtägige (12 h) und tägliche (24 h) Gezeitenzyklen treten auf (Aleynik et al. 2017). Regelmäßig lösen sich mesoskalige Wassermassenwirbel (sogenannten Eddies) von der mexikanischen Küste in Richtung CCZ (3-5 pro Jahr, besonders ausgeprägt während El-Nino-Phasen: Purkiani et al. 2020). Mit einer Verzögerungszeit von 200-300 Tagen erreichen sie das deutsche Lizenzgebiet, wo sie die Bodenströmungsgeschwindigkeiten um den Faktor 2-5 verstärken können (Aleynik et al. 2017; Purkiani et al. 2020). Es sind Geschwindigkeiten, bei denen eine Resuspension von abgelagerten Sedimenten, z.B. aus einer abbaubedingten Suspensionswolke, sich möglicherweise wieder resuspendieren würden (Gillard et al. 2019).

Darüber hinaus deuten Labor- und Modellierungsergebnisse von Gillard et al. (2019) darauf hin, dass unter typischen Tiefseeströmungsbedingungen eine schnelle Aggregation und Ablagerung von aufgewirbelten Partikeln zu erwarten ist, was eine starke Sedimentbedeckung auf einen kleineren Fallout-Bereich in der Nähe der Quelle beschränken würde. Für die Diskussion über die möglichen Auswirkungen der Suspensionswolke auf die benthische und pelagische Fauna ist aber auch eine Information über die zu erwartender natürlicher Partikelfluss in der Wassersäule sowie seine saisonale und interannuelle Variabilität wichtig. Bisher publiziert gibt es derartige Daten nur aus dem 800 km weiter westlich liegenden Lizenzgebiet von KIOST (Korea). Für den Zeitraum zwischen 1997 und 2012 berichten diese Studien von einem Gesamtpartikelfluss zwischen 3,5 und 130 mg/m²/Tag, mit einem Durchschnitt von 28 ± 23 mg/m²/Tag, der hauptsächlich aus CaCO₃, lithogenem Material, biogener Kieselsäure und organischem Kohlenstoff besteht (Kim et al. 2010; Kim et al. 2011; Kim et al. 2015). Beobachtete saisonale und zwischenjährliche Schwankungen des Gesamtflusses standen im Zusammenhang mit der Migration der Intertropischen Konvergenzzone (ITCZ) (Kim et al. 2010) und der El Niño Southern Oscillation (ENSO) (Kim et al. 2011; Kim et al. 2012).

Zur Erfassung des Partikelflusses vor, während und nach dem Kollektortest hat die BGR zwischen 2018 und 2022 fünf Sinkstofffallenverankerungen ausgebracht (Tabelle 3), wovon vier bereits wieder geborgen und die gesammelten Proben analysiert worden sind. Die Zeitreihen dieser vier Verankerungen spiegeln allesamt die natürliche Partikelflussvariabilität wieder. Eine makroskopische Beschreibung der gesammelten Sinkstofffallenproben zeigt, dass die Proben aus feinkörnigem Material bestehen; Spuren von grobkörnigem Material und Kotpillen sind in den meisten Proben vorhanden. Es wurden außerdem vereinzelt Schwammnadeln, Amphipoden, Copepoden, Ostrakoden oder Dekapoden, Spuren von Pteropodenschalen und Schalen planktischer Foraminiferen (<50%) gefunden.

Die bisher erhobenen Daten zum Partikelfluss zeigen sowohl räumlich als auch zeitlich eine hohe Variabilität mit Partikelflüssen zwischen etwa 12 und 110 mg/m²/Tag (Abb. 1); die errechneten Mittelwerte der einzelnen Falleneinsätze liegen zwischen 23 und 46 mg/m²/Tag. Zu beachten ist jedoch, dass die Daten, die während kurzer Beprobungszeiträume erhoben wurden (z.B. täglich), eine höhere Variabilität aufweisen, welche verloren geht, wenn die Flaschen über längere Zeiträume (z.B. zweiwöchentlich) geöffnet sind. Die Ergebnisse biogeochemischer Analysen zeigen, dass die Zusammensetzung der Partikel von biogenen Komponenten (Karbonate, Biogen-Opal und organisches Material) dominiert wird. Die ermittelten Partikelflüsse und die Zusammensetzung der Hauptkomponenten der unterschiedlichen Zeitreihen stimmen generell überein. Dies zeigt auch, dass es keine wesentlichen Unterschiede in der Partikelflusscharakteristik zwischen 500 mab und 7 mab gibt.

Tabelle 3. Spezifikationen ausgesetzter Sinkstofffallenverankerungen zwischen April 2018 und Mai 2021.

Trap series	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Water depth (m)	Trap depth (m)	Sampling period	Sampling intervals	No. of samples
SO262_28ST	11°55.325'	117°00.438'	4101	3550	17/04/2018-22/07/2018	16 days	7
SO268_123-1_MOOR-07	11°47.442'	116°57.846'	4072	4065	13/04/2019-10/05/2019	34 hrs	20
SO268_114-1_MOOR-050	11°19.922'	116°50.347'	4170	4163	10/04/2019-28/04/2019	30 hrs	16
SO268_204-1_MOOR12	11°55.311'	117°00.465'	4097	4090 and 3542	17/05/2019-07/02/2020	14 days	20 and 7
IP21_062ST	11°55.689'	117°1.280'	4100	4095 and 3545	Since 06/05/2021	12 hrs during and after the collector trial, monthly afterwards	

Im Vergleich zum Partikelfluss ist die Hauptkomponentenzusammensetzung der Partikel relativ stabil. Dies bezieht sich sowohl auf zeitliche als auch auf räumliche Variationen. Die Partikelzusammensetzung im deutschen Lizenzgebiet zeigt außerdem eine gute Übereinstimmung mit der Partikelzusammensetzung im koreanischen Lizenzgebiet (z.B. Kim et al. 2010; Kim et al. 2012; Kim et al. 2015). Dies legt nahe, dass der Partikelfluss stark von lokalen Einflüssen bestimmt wird, während die Partikelzusammensetzung eher durch überregionale Mechanismen gesteuert wird. Aufgrund defekter Zeitchips in den zwischen 2018 und 2021 ausgesetzten Sinkstofffallen haben diese jedoch z.T. nur über kurze Zeiträume Partikel aufgefangen, sodass langzeitliche (bsp. saisonale) Variationen bisher nur unzureichend erfasst werden konnten.

Während der kürzeren Sinkstofffalleneinsätze im April/Mai 2019 (SO268 Fahrt) passierte ein mesoskaliger Eddy das östliche deutsche Lizenzgebiet. Der Durchzug eines solchen Eddys durch die obere Wassersäule beeinflusst u.a. die Primärproduktion und den Transport der (lithogenen) Partikeln in der oberen Wassersäule. Darüber hinaus kann er ozeanografische Veränderungen in bodennahen Wasserschichten verursachen, wie z.B. Änderungen der Strömungsrichtung und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit (z. B. Aleynik et al., 2017; Purkiani et al., 2020), die wiederum eine Re-Suspension von Oberflächensedimenten verursachen können. Die von einem Eddy verursachte Sediment-Resuspension sollte in den Zeitreihen durch Änderungen der Strömungscharakteristika und einer gleichzeitigen Zunahme des Partikelflusses und Änderungen der Partikelzusammensetzung abgebildet sein. Unterschiede zwischen der Zusammensetzung des Primärpartikelflusses und aufgewirbelten Sedimente betreffen insbesondere den Karbonatgehalt, das Verhältnis zwischen lithogenem Material und TOC (Kim et al., 2015) und das C/N-Verhältnis. Die erhobenen Strömungsdaten zeigten jedoch keine deutliche Veränderung im bodennahen Strömungsregime nach Durchzug des Wirbels. Auch in den Zeitreihen der Partikelfluss und -zusammensetzung konnten keine signifikanten Änderungen dieser Parameter während des Eddy-Durchzugs beobachtet werden. Die Ergebnisse der BGR sind im Einklang mit CTD-Daten und Modellierungen die andeuten, dass die Auswirkungen des Wirbels die bodennahen Wasserschichten nicht erreicht haben (Purkiani et al., akzeptiert).

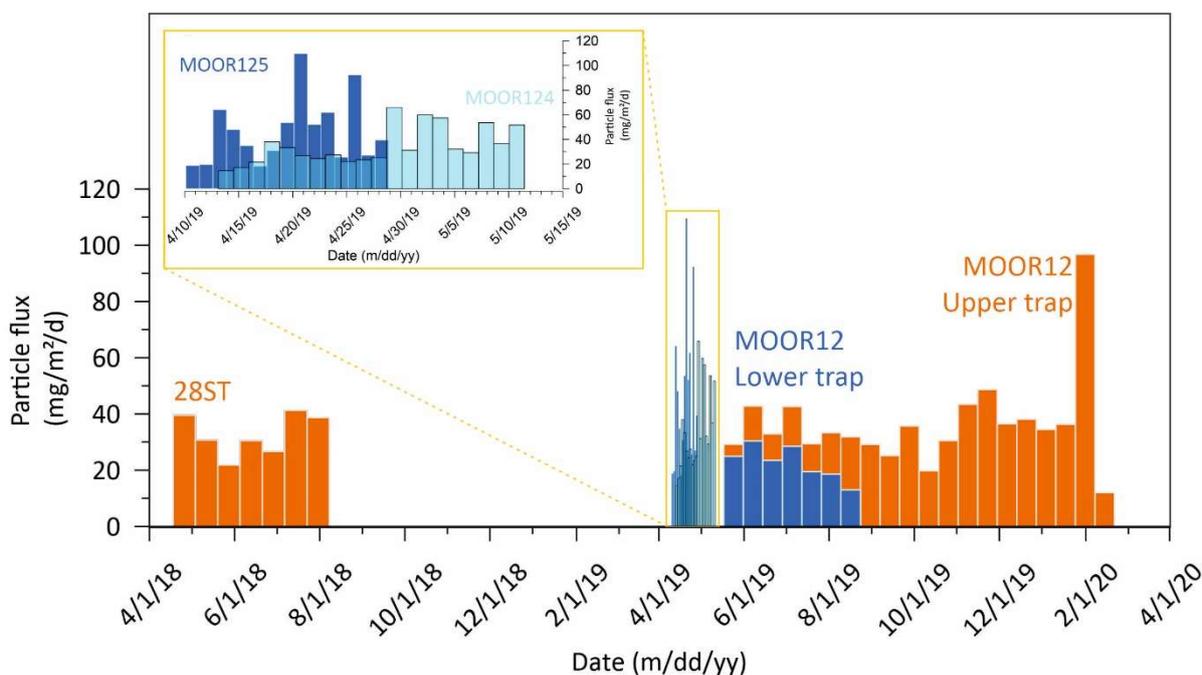


Abb. 1. Zeitreihen des Partikelflusses von Sedimentfalleinsätzen im deutschen Lizenzgebiet der CCZ zwischen 2018 und 2020. Blaue und orangefarbene Balken zeigen Partikelflüsse bei 5-7 bzw. 500-555 mab an.

Zur Analyse der mineralogischen Zusammensetzung lithogener Partikel wurde ein Probenaufbereitungsprotokoll in Anlehnung an Friese et al. (2016) angewendet, um die lithogene Komponente zu isolieren, und erste Proben wurden per Röntgendiffraktometrie (XRD) analysiert. Zwei der Proben wurden zusätzlich mit Ethylenglykol bedampft, um quellfähige Tonminerale wie Smektit detektieren zu können. Die Ergebnisse zeigen Quarz, Feldspäte wie Anorthit und Albit, Klinopyroxene (Diopsid), Amphibole (Hornblende), Minerale der Chlorit-Gruppe (Klinochlor), Glimmer (Muskovit) und Tonminerale (Kaolinit und Smektit) als Hauptbestandteile der Lithogenfraktion an. Außerdem konnte in einer Probe Lepidokrokit nachgewiesen werden, was auf das Vorhandensein von Eisen-Oxy-Hydroxiden in der Wassersäule hinweist. Weitere Untersuchungen der Proben unter einem Rasterelektronenmikroskop (REM) bestätigte das Vorhandensein der genannten Minerale. Zusätzlich wurden außerdem geringe Volumen an Baryt und Ilmenit gefunden.

Während der Ausfahrt IP21 im April/Mai 2021 wurde eine Verankerung mit zwei Sinkstofffallen (555 und 5 mab) ausgebracht, um potentielle Veränderungen im Partikelfluss während und nach dem durchgeführten Kollektortest (5 mab) gegenüber der natürlichen Partikelflussvariabilität (555 mab) zu erfassen. Durch den außerplanmäßigen späten Zeitpunkt der Kollektortest im deutschen Gebiet konnte die lange Verankerung am Ende der IP21 Fahrt nicht mehr geborgen werden. Die Fallen befinden sich deswegen derzeit noch im Arbeitsgebiet. Die Daten können somit erst ausgewertet werden, wenn diese Fallen geborgen worden sind (geplant während SO295 im Nov./Dez. 2022).

Neu hinzugekommen sind spurenelement-geochemische Untersuchungen von Meerwasser und von Porenwasser der Oberflächensedimente ungestörter und gestörter Gebiete sowie die tiefenaufgelöste mineralogische und geochemische Charakterisierung der Sediment-Festphase (siehe auch Kapitel I.4).

Die bisherigen Untersuchungen im Meerwasser umfassen zum einen die größtenfraktionierte Bestimmung der Metall-Konzentrationen (von Fe, Mn, Co, Cu, Ni, Zn, Cd, Hg, As, V, und Seltene Erden) in Wasserproben, die mittels CTD-Wasserprobennehmern oder einem Bodenwasserschöpfer (BWS) gewonnen wurden, zum anderen die *in situ*-Bestimmung labil gebundener (und somit potentiell bioverfügbarer) Spurenelemente mit Passivsammlern. Für Baseline-Untersuchungen wurden die Passivsammler an Sedimentfallen- und anderen bodennahen Verankerungen für Zeiträume von 4

Wochen (während SO268) und 2 Jahren (ausgesetzt in 2019 während SO268, eingeholt in 2021 während IP21) installiert (siehe Tabelle 3). Während eines kleinskaligen Dredge-Experiments im BGR-Lizenzgebiet und den beiden Patania-Tests im GSR- und im BGR-Lizenzgebiet wurden Passivsammler an Sensorplattformen verankert, um Daten zur Verfügbarkeit von Spurenmetallen in den generierten Suspensionswolken zu gewinnen. Eine direkte Beprobung der partikelreichen Suspensionswolken für Spurenelement-Untersuchungen erfolgte während IP21 in beiden Lizenzgebieten und wird gemeinsam mit den Passivsammler-Daten ausgewertet. Des Weiteren wurden an der neu ausgesetzten Sinkstofffallen-Verankerung weitere Passivsammler angebracht, die während SO295 eingeholt werden sollen. Im Detail konnten bisher folgende Ergebnisse erzielt werden: (1) Es stehen erste Baseline-Datensätze für Spurenmetalle (Mn, Cu, Co, Ni, V, As, REY, Cd) im bodennahen Meerwasser in den beiden Lizenzgebieten zur Verfügung, die neben Gesamtkonzentrationen die Element-Assoziationen mit verschiedenen Größen-Pools sowie die speziierungsabhängige potentielle Verfügbarkeit der untersuchten Metalle für Organismen umfassen. Die Daten wurden teilweise in Schmidt et al. (2022) publiziert. Weitere Baseline-Daten wurden im Rahmen von IP21 erhoben und werden derzeit noch ausgewertet. Sie dienen dazu, die natürliche zeitliche und räumliche Variabilität weiter zu schärfen; (2) Daten aus den IP21-Suspensionswolken zeigen erstmals die Mobilisierung und Verteilung von Spurenelementen in den verschiedenen Größenfraktionen sowie deren potentielle Verfügbarkeit für Organismen.,

In den Plume-Wasserproben wurde eine Partikelfracht von bis zu 70 mg/l bestimmt. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den durch die Trübesensoren am Meeresboden gemessenen Partikelkonzentrationen mit Maximalwerten von 100-120 mg/l überein. Damit einhergehend wurden signifikante Spurenmetallanreicherungen in der partikularen Phase für Mn, Fe, Co, und Ce bestimmt, mit Anreicherungsfaktoren von bis zu 300 für Mn. Die Anreicherungssignatur stimmt mit der Aufwirbelung von Fe-reichen Tonmineralen, Mn-Oxiden und Feldspäten überein, mit zusätzlichen Effekten wie Scavenging und Korngrößen (und somit Mineral) Fraktionierungen mit zunehmender Verdriftung. In der gelösten Fraktion < 0.2 µm ist die Anreicherung deutlich geringer, max. 20-fach für Mn und wahrscheinlich hauptsächlich mit Kolloiden assoziiert.

DGT-Passivsammler zeigen eine erhöhte Bioverfügbarkeit von bestimmten Spurenmetallen in den Suspensionswolken (Mn>Co, Ce>>Cu), die in einem sehr dynamischen Environment über Zeiträume von mehreren Tagen akkumuliert wurden. Die Daten der Passivsammler-Beprobungen sind besonders aufschlussreich, da sie Durchschnittskonzentrationen für die Exposition von sessilen Organismen über einen längeren Zeitraum liefern und leichter mit ökotoxikologischen Auswirkungen in Verbindung gebracht werden können. Eine detaillierte Auswertung der gewonnenen Daten steht noch aus. Die bisherigen Ergebnisse der BGR zeigen aber, dass die geochemischen Spurenmetall- Untersuchungen wichtige Grundlagen und Erkenntnisse zur Bewertung von Umweltrisiken eines Manganknollenabbaus liefern können. Es konnte gezeigt werden, dass die neu eingesetzte Methode mit DGT Passivsammlern als Beprobungs- und Monitoring-Tool funktioniert und eingesetzt werden kann. Die Daten spurenelementgeochemischer Studien liefern essentielle Datengrundlagen für ökotoxikologische Arbeiten und Umweltrisiko-Analysen, die von Kollegen an der Universität Algarve (Nelia Mestre) und des DNV (Jens Laugesen) durchgeführt werden.

Mineralogische Untersuchungen, die Bestimmung physikalischer Eigenschaften und Bestimmungen der Hauptelementzusammensetzung an den Oberflächensedimenten dienen einer vertieften Charakterisierung von gestörten Oberflächensedimenten in den verschiedenen beeinträchtigten Meeresbodenarealen und ergänzten die Arbeiten von GEOMAR, AWI und JUB hinsichtlich der Evaluierung von physikalischen Auswirkungen eines Manganknollenabbaus (Sedimentabtragung, neue Sedimentablagerungen) auf biogeochemische Prozesse und assoziierte Zeitskalen, und der Definition von Indikatorvariablen..

Die Datenerhebung und die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen, doch erste Schlussfolgerungen können gezogen werden:

Basierend auf den gemeinsam durch AWI, JUB, GEOMAR und BGR erzielten Ergebnissen wurden nützliche Indikatorvariablen für die quantitative und qualitative Bewertung der Sedimentabtragung und der Sedimentablagerung aus Sedimentfahnen ermittelt, die in Kombination mit optischen Methoden wie Kernfotos und CT-Scans verwendet werden sollten. Die charakteristischen Tiefenprofile der Feststoff-Corg-, Mn- (und teilweise Ca-) Konzentrationen und der Sedimentporosität sind durch die physikalischen Veränderungen verschoben und ein Vergleich der Profile vor und nach der Störung kann daher zur Quantifizierung der Veränderungen herangezogen werden. Aufgrund des Vorhandenseins eines karbonatreichen Horizonts im deutschen Lizenzgebiet mit Maxima in einer Tiefe von etwa 15-17 cm stellt Ca in diesem Gebiet eine zusätzliche Variable zur Quantifizierung physikalischer Störungen dar. Die Mächtigkeit des neu abgelagerten Sediments ist hierbei grundsätzlich schwieriger zu quantifizieren im Vergleich zur Sedimentabtragung. Eine Quantifizierung der Sedimentabtragung bzw. -Ablagerung von weniger als oder mit einer Genauigkeit von mehr als 1-2 cm basierend allein auf geochemischen Variablen ist nicht möglich, bedingt durch die natürliche Variabilität der Variablen, insensitiven Signalen und noch unvollständigen Datensätzen. Die kombinierten Beobachtungen einschließlich der visuellen Beobachtung zeigen, dass der Meeresboden nach dem SO268-Dredgeexperiment hauptsächlich durch Sedimentabtrag (5-12 cm) und eine nur geringfügige Umlagerung (< 1 cm) betroffen war. Während der Patania II-Tests (bisher nur GSR-Gebiet ausgewertet) reicht die Sedimentabtragung von etwa 3 cm bis max. 6-8 cm, mit einer neu abgelagerten Deckschicht von ca. 1 cm bis maximal 3-4 cm direkt im Kollektorgebiet. Im Kollektorgebiet selbst weist die Deckschicht eine starke Gradierung auf, die wahrscheinlich aus einer partikelreichen Dichteströmung und einer verzögerten Ablagerung von tonreichem Material entstanden ist, mit einer grobkörnigeren, Mn-Oxid-reichen Schicht an der Basis der umgelagerten Schicht und sehr feinkörnigem Material an der Oberseite. In den an das Kollektorgebiet angrenzenden Gebieten im Umkreis von wenigen hundert Metern beträgt die Mächtigkeit der Ablagerungsschicht zwischen 1 bis 4 cm, ohne klare Gradierung.

Die Verteilung der Spurenmetalle Fe, Mn, Co, Cu, Cd, Ni, und Zn im Porenwasser des Oberflächensediments gibt Einblicke in biogeochemische Prozesse wie die Remineralisation von organischem Material und die Reduzierung von Oxid-Partikeln. Die als Mikronährstoffe und potentiell als Schadstoff relevanten Elemente liefern zudem wichtige Erkenntnisse zu Erholungsraten nach anthropogenen Eingriffen. Die BGR erhebt seit 2018 gemeinsam mit der JUB Daten zu Konzentrationen und Größenfraktionierungen von Spurenelementen in Porenwässern, zum einen für Baseline-Untersuchungen in ungestörtem Sediment des deutschen und des belgischen Lizenzgebietes, zum anderen nach den IP21-Kollektortests und dem kleinskaligen SO268-Dredgeexperiment. Die Ergebnisse der Baseline-Untersuchungen werden im Abschlussbericht der JUB berichtet und sind teilweise zur Veröffentlichung eingereicht (Paul et al., in Review). Die Auswertung der Impakt-Proben dauert noch an. Durch abbaubedingte Eingriffe am Meeresboden kommt es zur Störung der biogeochemischen Gleichgewichte in den Oberflächensedimenten. Die Auswirkungen der physikalischen Störungen des Meeresbodens auf den Spurenmetallkreislauf im Porenwasser können durch den Vergleich von Tiefenprofilen des Porenwassers aus den beeinträchtigten Gebieten qualitativ untersucht werden, insbesondere für Elemente, die in den oberen 2 bis 4 cm einen ausgeprägten Peak aufweisen, wie z.B. Cu, V, Mn, Co, Ni. Zeitskalen zur Etablierung neuer Gleichgewichte zwischen Porenwasser und Sediment-Festphasen an der Meeresbodenoberfläche konnten im Rahmen des Projektzeitraumes nicht mehr untersucht werden, da die Probenahmen nach dem Dredge-Experiment und den Patania II Kollektortests wenige Tage bis Wochen nach dem Eingriff erfolgte und eine Zeitreihenuntersuchung nicht mehr möglich war.

Im Querschnittsthema CCT3 (Bewertung von Umweltrisiken und Entwicklung von Policy-Empfehlungen) gab es einen aktiven Austausch zwischen Partnern des Verbundprojektes und mit Stakeholdern der Tiefseebergbau-Community (Wissenschaft, Industrie, Nichtregierungsorganisationen, Behörden, ISA). Es wird an einem Leitfadendokument für Methoden zur Risikobewertung von Umweltgefahren gearbeitet, an dem Dr. Vink beteiligt ist.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Pos. 0812: Personalmittel

Die zur Verfügung gestellten Personalmittel wurden fast vollständig ausgegeben (€ 217.689 von € 218.751 im Gesamtfinanzierungsplan). Über eine im Vorhaben bereitgestellte Stelle ist Personal in Form einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin (Dr. Martina Hollstein, E13) eingestellt worden (Umfang 34 Monate á 39,5 Std./Woche, 01.05.2019 – 28.02.2022). Geplant waren ursprünglich 30 Monate; eine Verlängerung der Finanzierung bis zum Ende des Projektes wurde durch den sehr späten Zeitpunkt der Kollektortests und der Fahrt IP21 für die weitere Bearbeitung der gewonnenen Daten und Proben bewilligt (Aufstockungsantrag; € 38.602,66 zusätzlich zum bewilligten Gesamtfinanzierungsplan von 2018).

Pos. 0846: Reisekosten

Die Reisemittel wurden zur Finanzierung der Teilnahme von Frau Hollstein an Projekttreffen und Workshops verwendet (€ 1.723). Die ursprünglich zur Verfügung gestellten Mittel von € 8.550 wurden wegen der späten Anstellung von Frau Hollstein (keine Teilnahme an der SO268 Fahrt) und des andauernden Corona-Lockdowns (keine physischen Tagungen) nicht planmäßig ausgegeben. € 4.364,12 wurde in 2021 aus Pos. 0846 im Rahmen des Aufstockungsantrags zurückgezogen und für die Personalaufstockung (siehe oben) umgewidmet.

Pos. 0843: Verbrauchsmaterial, Transporte

Die zur Verfügung gestellten Mittel von € 21.620 wurden für die Anschaffung von Verbrauchsmaterial für die Expeditionen SO268 und IP21 (Ketten, Batterien für ADCPs, RCMs, Aquadopps, Verankerungsgewichte, Schäkel, Chemikalien: € 11.902) und für Containertransporte (1x 20 ft. Container SO268: € 7.169) verwendet. € 1.534,34 wurde in 2021 aus Pos. 0843 im Rahmen des Aufstockungsantrags zurückgezogen und für die Personalaufstockung (siehe oben) umgewidmet.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In den letzten zehn Jahren ist das Interesse am Abbau von Tiefseeressourcen stetig gestiegen, was beispielsweise durch die wachsende Zahl von Explorationsverträgen der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) und die „Blue Growth“-Strategie der EU (Horizon2020-Programm zur Finanzierung von Meeresbergbau-Technologieprojekten wie Blue Mining, Blue Atlantis, Blue Nodules, Blue Harvesting) dokumentiert wird. In diesem Zusammenhang wird die ISA mit der Erstellung von Regularien für den Abbau mariner Bodenressourcen in „the Area“ beauftragt (die neueste Version ist ISBA/23/LTC/CRP.3*), die voraussichtlich bis 2023 vom Rat und der Versammlung ratifiziert werden. Daher ist es an der Zeit, vor allem auch aus Sicht des „Gemeinsamen Erbes der Menschheit“, die zu erwartenden Umweltauswirkungen des Tiefseebergbaus wissenschaftlich zu untersuchen und zu bewerten.

Die BGR hat aus ozeanographischer und geochemischer Sicht einen wichtigen Beitrag zu diesen Zielen geleistet. Ozeanographische Daten (Strömungsdaten, Trübungsdaten, CTD Daten, Partikelflussdaten) haben zu einem verbesserten Verständnis des Meeresboden-Strömungsregimes beigetragen und sind die wesentlichen Inputs für die Entwicklung und Verifizierung der 3D hydrodynamischen (Plume) Modelle der Universität Bremen gewesen (WP2; Purkiani et al., 2021).

Vor Projektbeginn lagen keine Spurenmetalldaten für das bodennahe Meerwasser in der CCZ natürlichen Bedingungen vor, weder für Gesamtkonzentrationen und deren räumliche und zeitliche Variabilität noch zur Aufteilung auf verschiedene Größenfraktionen (partikulär, gelöst <0.2 µm etc.) oder zur chemischen Spezifizierung. Die BGR hat die Analyse bestimmter Elemente übernommen, die durch fehlende analytische Ausstattung nicht anderweitig im Projekt abgedeckt werden konnten. Die Arbeiten der BGR waren durch die Einbettung in die weiteren Spurenmetall-assoziierten Arbeiten durch die JUB abgestimmt und angemessen.

Die ozeanographischen und geochemischen Untersuchungen liefern notwendige Daten für die Definition von natürlichen Bedingungen bzw. natürlich vorliegenden Konzentrationsbereichen (Hintergrundwerten), sowie von Umweltqualitätsstandards und Schwellenwerten für Partikelkonzentrationen und Spurenmetallschadstoffe (Bioverfügbarkeit) zum Schutz der Umwelt in der bodennahen Wasserschicht.

Im Rahmen des Projektes hat die BGR Drittmittel für die Reise und Transporte in Bezug auf die Teilnahme an der SO268-Fahrt, Reisemittel für Arbeitsbesprechungen und Workshops mit den wichtigsten Partnern sowie Gelder für die Einstellung einer wiss. Angestellte für 34 Monate erhalten. Der Arbeitsumfang aus eigenen Mitteln hat sich für die Projektkoordination und Beschaffung der Geräte inkl. Zubehör auf 5 FKM belaufen (Dr. Vink). Alle geochemischen Arbeiten im direkten Bezug zum Projekt wurden auch durch die BGR finanziert, abgeschätzt ca. 12 FKM (Dr. Schmidt).

Die Organisation und Durchführung der Expedition MANGAN 2021 (IP21) durch die BGR in April/Mai 2021, zur Gewährleistung des Kollektortest-Monitoringprogramms durch das MiningImpact-Konsortium, hat der BGR zusätzlich etwa 20 FKM (Schiffsausschreibung, Vorbereitung, Austausch mit MI2 und GSR, Expeditionsteilnahme) und insgesamt 4,9 Mio. Euro an Schiffscharter gekostet.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die geleistete Arbeit im Hinblick auf die Ergebnisse des Projektes in jeder Hinsicht notwendig und angemessen waren.

4. Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

a) Wissenschaftlich-technischer Nutzen

Die gewonnenen Daten des Meeresboden-Strömungsregimes und der natürlichen Partikelflüsse in der Wassersäule wurden für die Entwicklung und Verifizierung der 3D hydrodynamischen (Plume) Modelle der Universität Bremen genutzt (WP2; Purkiani et al., 2021). Derartige Modelle werden für die Feststellung von Schwellenwerte bezüglich der maximal erlaubte Ausbreitung der Suspensionswolke und die Verknüpfung mit Mortalitätsraten der Fauna eine sehr wichtige Rolle spielen. Weiterhin haben sie auch das Verständnis von Eddies und deren möglichen Einflüsse auf Tiefseebergbauaktivitäten in der CCZ vorangebracht.

Die bisherigen geochemischen Ergebnisse der BGR zeigen, dass die neu eingesetzte Methode mit DGT Passivsammlern wichtige Grundlagen und Erkenntnisse zur Bewertung von Umweltrisiken eines Manganknollenabbau liefern können. Es konnte gezeigt werden, dass die Methode als Beprobungs- und Monitoring-Tool funktioniert und eingesetzt werden kann. Die Daten spurenelementgeochemischer Studien liefern weiterhin essentielle Datengrundlagen für weitere ökotoxikologische Arbeiten und Umweltrisiko-Analysen.

Die Projektergebnisse liefern insgesamt fundamentale Erkenntnisse zum wissenschaftlichen Verständnis von Tiefsee-Ökosystemen sowie ihr Vermögen, sich auf Umweltstörungen einzustellen, anzupassen und gestörte Areale wieder-zu-besiedeln. So können abbau-bedingte Umweltrisiken festgestellt und beurteilt werden, und können Prozesse und Dauer der Störungs- und Erholungsphasen abgeschätzt werden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden in Fachzeitschriften mit Peer-Review und in der PANGAEA-Datenbank veröffentlicht, wo sie einer breiteren internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus werden die in diesem Projekt gesammelten Informationen einen wichtigen Beitrag leisten (1) zur Entwicklung und Umsetzung von IMB-Umweltregularien und -Vorschriften (z.B. Definition von Hintergrundwerten, Entwicklung von Schwellenwerten und Indikatoren) in Bezug auf die Exploration und den Abbau von Manganknollen, (2) zur weiteren Umsetzung des CCZ-Umweltmanagementplans (ISBA/26/C/43), und (3) zur Unterstützung von Firmen und Nichtregierungsorganisationen die in diesem Bereich tätig sind, bei der Anpassung und Umsetzung ihrer eigenen Umweltprogramme. In dieser Hinsicht werden die Ergebnisse auch zu den SDGs der Vereinten Nationen beitragen, insbesondere zu SDG 14.

Die Ergebnisse dieses Vorhabens und des gesamten Projektes können sehr Hilfreich für die Projektplanung einer möglichen dritten Phase des Projektes MiningImpact, vorbehaltlich eines positiven Beschlusses über die Fortsetzung der gemeinsamen JPI-O Aktion.

b) Wirtschaftlicher Nutzen

Umweltverträgliche Technologien für den Tiefseebergbau und die Überwachung können nur entwickelt werden, wenn wir ein angemessenes Verständnis der Tiefseeumwelt und der Ökosysteme haben, einschließlich der Art und Ausbreitung der durch künstliche Störungen des Meeresbodens verursachten Auswirkungen. Die wissenschaftliche Begleitung des GSR-Kollektortests und eine detaillierte Analyse der anschließenden Veränderungen der Umwelt und der Ökosysteme über mehrere Jahre hinaus werden dazu beitragen, die Anforderungen an die Entwicklung neuer Monitoring- und Tiefseebergbautechnologien zu definieren bzw. anzupassen und Lösungskonzepte für eine umweltschonende Technologieentwicklung zu erproben, die in die Entwicklungspläne (deutscher) KMUs, die in diesem Bereich tätig sind, einfließen sollten.

5. Fortschritte anderer Arbeitsgruppen auf dem Gebiet des Vorhabens

GSR hat in den Kollektortest-Gebieten parallel zu den MiningImpact-Untersuchungen auch ein eigenes Monitoring durchgeführt. Die Arbeiten umfassten hauptsächlich ozeanographische Analysen mittels (1) auf Patania II montierten Geräten (Fächerecholot, Densitometer, HD-Kamera, ADCPs und Trübungssensoren, Niskon-Flaschen), und (2) Verankerungen (nur im GSR-Gebiet), um die Dynamik und Entwicklung der Suspensionswolke sehr nah am Kollektor („near-field“) in Beziehung zum Kollektorgeschwindigkeit, Knollenkollektion und Bodenwasserturbulenzen zu untersuchen. Die Analysen werden im Auftrag GSRs hauptsächlich durch MIT (Massachusetts Institute of Technology, USA) durchgeführt. Ein Austausch der Ergebnisse (Charakterisierung und Modellierung der Suspensionswolke) findet statt.

Hinsichtlich der natürlichen und abbaubedingten Partikelflüsse in der Wassersäule und am Meeresboden in der CCZ, sowie der geochemischen Charakterisierung der Spurenmetall-Konzentrationen im Bodenwasser und Porenwasser hat es keine wesentlichen Änderungen im Stand der Wissenschaft durch Arbeitsgruppen außerhalb des MiningImpact-Konsortiums gegeben. Einige Kontraktoren haben nun angefangen, ähnliche Langzeitverankerungen auszusetzen (z.B. GSR, NORI, UKSBL) und geochemische Analysen der unteren Wassersäule durchzuführen (z.B. NORI). Die Ergebnisse dieser Studien sind aber nicht veröffentlicht oder der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt worden.

Das neuseeländische wissenschaftliche Programm ROBES (Resilience of benthic communities to the effects of sedimentation) lief von 2016 bis 2021 und war mit europäischen Forschungsinitiativen verknüpft. In diesem Programm wurden die Auswirkungen von Suspensionswolken untersucht, die durch Störungen des Meeresbodens und die Rückführung von Ballastwasser entstehen. Untersuchungsgebiet war der „Chatham Rise“ östlich von Neuseeland, ein Gebiet das für eine mögliche Phosphoritabbau in Frage kommt. Die Forschung kombiniert Felduntersuchungen und in-situ-Beobachtungen mit Experimenten im Labor. Dieser komplementäre Ansatz wird, ähnlich wie bei MiningImpact, Informationen über die Konzentrationen und Entfernungen liefern, bei denen die Auswirkungen von Schwebstoffen auf Tiergemeinschaften "ökologisch signifikant" werden. Mit den Arbeiten sollen das Ausmaß und die Lebensdauer von Suspensionswolken, die unmittelbaren Auswirkungen und die anschließende Erholung der Meeresbodenumgebung, die diesen Wolken ausgesetzt ist, sowie die Auswirkungen von Schwebstoffen und abgesetzten Sedimenten auf die Funktionsweise ökologisch bedeutender Arten ermittelt werden.

Der CCZ-Kontraktor NORI plant für September 2022 einen „Pilot Mining Test“ im NORI Block D, etwas südlich vom deutschen Testgebiet. Getestet wird einen Kollektor ähnlich Patania II (hydraulische

Knollenaufnahme), inkl. Riser um die abgeerntete Knollen an die Oberfläche zu fördern und lagern. Eine Umweltverträglichkeitsstudie wurde für den Test bei der ISA eingereicht¹.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses²

a) Artikel in internationalen Fachzeitschriften

Hollstein, M., Schmidt, K., Purkiani, K., Gillard, B., Lahajnar, N., Vink, A. (2022). Particle flux and composition in near-bottom waters of the north-eastern Pacific Ocean. *In Vorbereitung*.

Uhlenkott, K., Simon-Lledó, E., Vink, A., Martínez Arbizu, P. (2022). Habitat heterogeneity enhances megafaunal biodiversity at bathymetric elevations in the Clarion Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity*, eingereicht.

Thiel, R., Christodoulou, M., Pogonoski, J., Appleyard, S.A., Weddehage, T., Vink, A., Uhlenkott, K., Martínez Arbizu, P. (2022). Comparative application of morphological analysis and DNA barcoding 1 confirms the identity of *Ipnots meadi* Nielsen, 1966 (Aulopiformes: Ipnotidae) from the Clarion-Clipperton Zone (CCZ). *Marine Biodiversity*, eingereicht.

Kaiser, S., Christodoulou, M., Kihara, T.C., Pascotti, F., Vink, A., Martínez Arbizu, P. (2022). Diversity, distribution and composition of abyssal benthic Isopoda in a region proposed for deep-seafloor mining – a synthesis. *Marine Biodiversity*, eingereicht.

Rossel, S. Uhlenkott, K., Peters, J., Vink, A., Martínez Arbizu, P. (2022). Evaluating species richness using proteomic fingerprinting and DNA barcoding – a case study on meiobenthic copepods from the Clarion Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity*, im Review.

Paul S.A.L., Schmidt, K., Achterberg, E.P., Koschinsky, A. (2022). The relative importance of the soluble and colloidal pools for trace metals in oxic deep-sea pore waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, im Review.

Sánchez, N., González-Casarrubios, A., Cepeda, D., Khodami, S., Pardos, F., Vink, A., Martínez Arbizu, P. (2022). Diversity and distribution of Kinorhyncha in abyssal polymetallic nodule areas of the Clarion-Clipperton Fracture Zone and the Peru Basin, East Pacific Ocean, with the description of three new species and notes on their intraspecific variation. *Marine Biodiversity*, akzeptiert.

Purkiani, K., Haeckel, M., Haalboom, S., Schmidt, K., Urban, P., Gazis, I., Walter, M., Paul, A., de Stigter, H., Vink, A., Schulz, M. (2022). Impact of a long-lived anticyclonic mesoscale eddy on seawater anomalies in the northeastern tropical Pacific Ocean: A composite analysis from hydrographic measurements, altimetry data and reanalysis model products. *Ocean Science*, akzeptiert.

Christodoulou, M., de Grave, S., Vink, A., Martínez Arbizu, P. (2022). Ground truthing a taxonomic assignment of deep-sea decapod crustaceans collected from polymetallic nodule fields of the East Pacific Ocean using an integrative approach. *Marine Biodiversity*, akzeptiert.

Schmidt, K., Paul, S.A.L., Achterberg, E.P. (2022). Assessing the availability of trace metals including rare earth elements in deep ocean waters of the Clarion Clipperton Zone, NE Pacific: Application of an in situ DGT passive sampling method. *Trends in Analytical Chemistry* 155, 116657, doi: 10.1016/j.trac.2022.116657.

Haalboom, S., Schoening, T., Urban, P., Gazis, I.-Z., de Stigter, H., Gillard, B., Baeye, M., Hollstein, M., Purkiani, K., Reichart, G.-J., Thomsen, L., Haeckel, M., Vink, A., Greinert, J. (2022). Monitoring of Anthropogenic Sediment Plumes in the Clarion-Clipperton Zone, NE Equatorial Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science* 9, 882155, doi: 10.3389/fmars.2022.882155.

¹ <https://www.eisconsultationnauruun.org/>

² Autoren der BGR in fett.

- Uhlenkott, K., Simon-Lledó, E., **Vink, A.**, Martínez Arbizu, P. (2022). Investigating the benthic megafauna in the eastern Clarion Clipperton Fracture Zone (NE Pacific) based on distribution models predicted with random forest. *Scientific Reports* 12, 8229, doi: 10.1038/s41598-022-12323-0.
- Van Doorn, E., Laugesen, J., Haeckel, M., Mestre, N., Skjeret, F., **Vink, A.** (2022). Risk assessment for deep-seabed mining. In: Sharma, R. (Ed), *Perspectives on Deep-Sea Mining*, Springer, 497-526.
- Gollner, S., Haeckel, M., Janssen, F., Lefaible, N., Molari, M., Papadopoulo, S., Reichart, G.-J., Alexandre, J.T., **Vink, A.**, Vanreusel, A. (2021). Restoration experiments in polymetallic nodule areas. *Integrated Environmental Assessment and Management* 18(3), 682-696, doi.org/10.1002/ieam.4541.
- Purkiani, K., Gillard, B., Paul, A., Haeckel, M., Haalboom, S., Greinert, J., De Stigter, H., **Hollstein, M.**, Baeye, M., **Vink, A.**, Thomsen L., Schulz, M. (2021). Numerical simulation of deep-sea sediment transport induced by a dredge experiment in the northeastern Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science* 8, 719463, doi: 10.3389/fmars.2021.719463.
- Jażdżewska, A.M., Brandt, A., Martínez Arbizu, P., **Vink, A.** (2021). Exploring the diversity of the deep sea — four new species of the amphipod genus *Oedicerina* described using morphological and molecular methods. *Zoological Journal of the Linnean Society* XX, 1–45, doi.org/10.1093/zoolinnean/zlab032.
- Uhlenkott, K., **Vink, A.**, **Kuhn, T.**, Gillard, B., Martínez Arbizu, P. (2021). Meiofauna in a Potential Deep-Sea Mining Area — Influence of Temporal and Spatial Variability on Small-Scale Abundance Models. *Diversity* 13, 3. <https://dx.doi.org/10.3390/d13010003>.
- Purkiani, K., Paul, A., **Vink, A.**, Walter, M., Schulz, M., Haeckel, M. (2020). Evidence of eddy-related deep ocean current variability in the North-East Tropical Pacific Ocean induced by remote gap winds. *Biogeosciences* 17, 6527–6544, doi.org/10.5194/bg-17-6527-2020.
- Haeckel, M., **Vink, A.**, Janssen, F., Kasten, S. (2020). Chapter 16: Environmental impacts of deep-sea mining. In: New Knowledge and Changing Circumstances in the Law of the Sea (Ed. Heidar, T.), Part 6: Deep Seabed Mineral Resources and the Marine Environment. Brill / Nijhoff, 15 pp.
- Harbour, R.P., Leitner, A.B., **Ruehlemann, C.**, **Vink, A.**, Sweetman, A.K. (2020). Benthic and Demersal Scavenger Biodiversity in the Eastern End of the Clarion-Clipperton Zone – An Area Marked for Polymetallic Nodule Mining. *Frontiers in Marine Science* 7, Article 458.
- Uhlenkott, K., **Vink, A.**, **Kuhn, T.**, Martínez Arbizu, P. (2020). Predicting meiofauna abundance to define preservation and impact zones in a deep-sea mining context using random forest modelling. *Journal of Applied Ecology* 57(7), 1210-1221, doi: 10.1111/1365-2664.13621.
- Christodoulou, M., O'Hara, T., Hugall, A., Khodami, S., Rodrigues, C., Hilario, A., **Vink, A.**, Martínez Arbizu, P. (2020). Unexpected high abyssal ophiuroid diversity in polymetallic nodule fields of the Northeast Pacific Ocean, and implications for conservation. In: Assessing environmental impacts of deep-sea mining – revisiting decade-old benthic disturbances in Pacific nodule areas. *Biogeosciences* 17, 1845-1876.
- Christiansen, S., Ginzky, H., Houghton, C., **Vink, A.** (2020). Environmental governance of deep seabed mining – Scientific insights and food for thought. Guest editors: *Special Issue, Marine Policy* 114, doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103827.
- Christiansen, S., Ginzky, H., Houghton, C., **Vink, A.** (2020). Environmental governance of deep seabed mining – Scientific insights and food for thought. *Marine Policy* 114, 103827.
- Watzel, R.**, **Ruehlemann, C.**, **Vink, A.** (2020). Mining mineral resources from the seabed: Opportunities and challenges. *Marine Policy* 114, 103828.
- Kuhn, T.**, Uhlenkott, K., **Vink, A.**, **Ruehlemann, C.**, Martínez Arbizu, P. (2020). Manganese nodule fields from the Northeast Pacific as benthic habitats. In: Harris, P.T., Baker, E.K. (Eds): Seafloor

Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats (Second Edition). Elsevier, pp. 933-947.

Janssen, A., Stuckas, H., **Vink, A.**, Martinez Arbizu, P. (2019). Biogeography and population structure of predominant macrofaunal taxa (Annelida and Isopoda) in abyssal polymetallic nodule fields: Implications for conservation and management. *Marine Biodiversity* 49, 2641–2658.

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 (east-central Pacific). *Elementa Science of the Anthropocene* 7 (5), doi.org/10.1525/elementa.343.

b) Vorträge und Poster bei internationalen Konferenzen und Instituten

Gazis, I., de Stigter, H., Mohrmann, J., Heger, K., Diaz, M., Veloso, M., Gillard, B., Baeye, M., Purkiani, K., **Hollstein, M.**, Schoening, T., Urban, P., Haalboom, S., Thomsen, L., Haeckel, M., **Vink, A.**, Charlet, F., Greinert, J. (2022). Deep-Sea Mining Plume Monitoring: Results from the first deep-sea trial of the Patania-II pre-prototype nodule collector and parallel plume monitoring. Tagung der Underwater Minerals Conference (UMC), Oktober 2022, Florida, USA (VORTRAG).

Purkiani, K., Gazis, I., Mohrmann, J., Heger, K., Diaz, M., Veloso, M., Gillard, B., Baeye, M., Paul, A., de Stigter, H., Haeckel, M., **Vink, A.**, Greinert, J., Thomsen, L., Schulz, M. (2022). Numerical simulation of deep-sea sediment dispersion induced by a pre-prototype nodule collector vehicle in the northeast tropical Pacific Ocean. Tagung der Underwater Minerals Conference (UMC), Oktober 2022, Florida, USA (VORTRAG).

Vink, A. and cruise participants (2022). Monitoring the environmental impacts of the Patania II collector tests at challenging water depths. ISA World Oceans Day Event 2022: Fostering international cooperation for advancing seabed mapping and better understanding of the Area and its environment for the benefit of humankind, Juni 2022, online (VORTRAG).

Vink, A. (2021). Marine Environmental Impact Assessment (EIA) and Monitoring – A contractor’s experience. ISA-IGF Deep Sea Mining Webinar Series, September 2021, online (VORTRAG).

Haeckel, M., **Vink, A.** (2021). Impacts of deep seabed mining – Initial results from the trial of a pre-prototype manganese nodule collector. 16th Deep Sea Biology Symposium, September 2021, Brest, Frankreich (VORTRAG).

Uhlenkott, K., **Vink, A.**, **Kuhn, T.**, Gillard, B., Simon-Lledo, E., Martínez Arbizu, P. (2021). Distribution modelling with random forest in a potential deep-sea mining area. 16th Deep Sea Biology Symposium, September 2021, Brest, Frankreich (VORTRAG).

Mejia, A., Jones, D., Amon, D., Uhlenkott, K., Martinez Arbizu, P., **Vink, A.**, Simon-Lledó, E. (2021). Polymetallic nodules and sessile megafauna: Body-size variations in the eastern Clarion-Clipperton Zone. 16th Deep Sea Biology Symposium, September 2021, Brest, Frankreich (POSTER).

Purkiani, K., Walter, M., Haeckel, M., **Schmidt, K.**, Paul, A., **Vink, A.**, Schulz, M. (2021). Anomalous transport of heat and salt by a long-lived anticyclonic eddy in the northeast tropical Pacific Ocean. EGU, April 2021, Wien, Österreich (POSTER).

Purkiani, K., Gillard, B., Paul, A., Haeckel, M., Haalboom, S., Greinert, J., de Stigter, H., **Hollstein, M.**, Baeye, M., **Vink, A.**, Thomsen, L., Schulz, M. (2021). Numerical simulation of the dispersion of a sediment plume induced by seabed dredging in the northeastern tropical Pacific Ocean. EGU, April 2021, Wien, Österreich (POSTER).

Schmidt, K., **Brengelmann, T.**, Paul, S., Achterberg, E. (2020). Role of colloids in controlling mobilization and transport of trace metals during the formation of deep sea sediment plumes. Ocean Sciences Meeting, Februar 2020, San Diego, USA (VORTRAG).

Vink, A., Kuhn, T., Schmidt, K. (2020). Status of Exploration in the German Contract Area for Polymetallic Nodules. Tagung der Underwater Minerals Conference (UMC), September 2020, online (VORTRAG).

Hollstein, M., Vink, A., Schmidt, K., Lahajnar, N., Lückge, A., Purkiani, K. (2020). Time series of near-bottom currents and particle fluxes from Ocean Bottom Moorings in the NE equatorial Pacific. EGU, Mai 2020, Wien, Österreich (POSTER).

Purkiani, K., Paul, A., **Vink, A.**, Walter, M., Schulz, M. (2020). New evidences of seasonal deep ocean current variability in the north-eastern tropical Pacific Ocean impacted by remote gap winds. EGU, Mai 2020, Wien, Österreich (POSTER).

Uhlenkott, K., **Vink, A.**, Martínez Arbizu, P. (2019). Predicting deep-sea meiofauna abundance on large geographic scale in the Clarion Clipperton Fracture Zone (CCZ). 17th Meiofauna Conference, Juli 2019, Évora, Portugal (VORTRAG).

c) Berichte und Beiträge

Vink, A., Aigner, T., Bardenhagen, M., Barz, J., Bouriat, A., Charlet, F., de Stigter, H., Gazis, I., Goossens, J., Haeckel, M., Hagedorn, D., Heger, K., Janssen, F., Kefel, O., Luongo, G., Maschmann, N., Mohrmann, J., Molari, M., Rossel, S., Rühlemann, C., Schmidt, K., Sevilgen, D., Stocks, M., Stratmann, T., Uhlenkott, K., Yapan, B. (2022). MANGAN 2021 (IP21) Cruise Report: Independent scientific monitoring of two collector tests in the BGR and GSR contract areas for the exploration of polymetallic nodules in the equatorial NE Pacific. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, *in Vorbereitung*.

Schmidt, K., Vink, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Freitag, R., Gerdes, K. (2021). BGR-Newsletter Marine Rohstoffe 2021, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 12 S.

Haeckel, M., Linke, P. (2021). RV SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO268: Assessing the Impacts of Nodule Mining on the Deep-sea Environment. Berichte aus dem GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel 59, 802 S.

Rühlemann, C., Kuhn, T., Vink, A. (2019). Tiefseebergbau – Ökologische und sozioökonomische Auswirkungen. In: (Ed. S. Frech), Bürger und Staat – Meere und Ozeane. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, 11 S.

Freitag, R., Kuhn, T., Rühlemann, C., Schwalenberg, K., Vink, A. (2018). BGR-Newsletter Marine Rohstoffe 2018, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 9 S.

Vink, A. (2018). Technische Herausforderungen beim Umweltmonitoring. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft (S. 48-49). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2018.2.3.3

Vink, A. (2018). Manganknollen: große technische Herausforderungen für die Gewinnung. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft (S. 50-51). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2018.2.3.4

Vink, A. (2018). Sedimentationsprozesse und Trübungswolken in der Tiefsee. In O. Jorzik, J. Kandarr & P. Klinghammer (Hrsg.), ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft (S. 65-66). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2018.2.4.2

Brengelmann, T. (2018). Potential release of metals from sediments and manganese nodules at the Pacific Ocean seabed – Implications for deep-sea mining. Masterarbeit, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 114 S.

Wulf, M.I. (2020). Spatial geochemical variability of deep-sea pore water and sediments and the impact of anthropogenic disturbances in the Clarion-Clipperton Zone (CCZ). Masterarbeit, Universität Bremen, 93 S.

7. Literaturverzeichnis

- Aleynik, Dmitry; Inall, Mark E.; Dale, Andrew; Vink, Annemiek (2017): Impact of remotely generated eddies on plume dispersion at abyssal mining sites in the Pacific. In: *Scientific Reports* 7 (1), S. 16959. DOI: 10.1038/s41598-017-16912-2.
- Gillard, Benjamin; Purkiani, Kaveh; Chatzievangelou, Damianos; Vink, Annemiek; Iversen, Morten H.; Thomsen, Laurenz (2019): Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). In: *Elem Sci Anth* 7 (1), S. 5. DOI: 10.1525/elementa.343.
- Haalboom, Sabine; Schoening, Timm; Urban, Peter; Gazis, Iason-Zois; Stigter, Henko de; Gillard, Benjamin et al. (2022): Monitoring of Anthropogenic Sediment Plumes in the Clarion-Clipperton Zone, NE Equatorial Pacific Ocean. In: *Front. Mar. Sci.* 9, Artikel 882155. DOI: 10.3389/fmars.2022.882155.
- Haffert, Laura; Haeckel, Matthias; Stigter, Henko de; Janssen, Felix (2020): Assessing the temporal scale of deep-sea mining impacts on sediment biogeochemistry. In: *Biogeosciences* 17 (10), S. 2767–2789. DOI: 10.5194/bg-17-2767-2020.
- Kim, Hyung Jeek; Hyeong, Kiseong; Yoo, Chan Min; Chi, Sang-Bum; Khim, Boo-Keun; Kim, Dongseon (2010): Seasonal variations of particle fluxes in the northeastern equatorial Pacific during normal and weak El Niño periods. In: *Geosci J* 14 (4), S. 415–422. DOI: 10.1007/s12303-010-0035-z.
- Kim, Hyung Jeek; Hyeong, Kiseong; Yoo, Chan Min; Khim, Boo Keun; Kim, Kyeong Hong; Son, Ju Won et al. (2012): Impact of strong El Niño events (1997/98 and 2009/10) on sinking particle fluxes in the 10°N thermocline ridge area of the northeastern equatorial Pacific. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 67, S. 111–120. DOI: 10.1016/j.dsr.2012.05.008.
- Kim, Hyung Jeek; Kim, Dongseon; Hyeong, Kiseong; Hwang, Jeomshik; Yoo, Chan Min; Ham, Dong Jin; Seo, Inah (2015): Evaluation of Resuspended Sediments to Sinking Particles by Benthic Disturbance in the Clarion-Clipperton Nodule Fields. In: *Marine Georesources & Geotechnology* 33 (2), S. 160–166. DOI: 10.1080/1064119X.2013.815675.
- Kim, Hyung Jeek; Kim, Dongseon; Yoo, Chan Min; Chi, Sang-Bum; Khim, Boo Keun; Shin, Hong-Ryeol; Hyeong, Kiseong (2011): Influence of ENSO variability on sinking-particle fluxes in the northeastern equatorial Pacific. In: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 58 (8), S. 865–874. DOI: 10.1016/j.dsr.2011.06.007.
- König, Iris; Haeckel, Matthias; Lougear, André; Suess, Erwin; Trautwein, Alfred X. (2001): A geochemical model of the Peru Basin deep-sea floor—and the response of the system to technical impacts. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 48 (17-18), S. 3737–3756. DOI: 10.1016/S0967-0645(01)00065-0.
- Koschinsky, Andrea; Gaye-Haake, Birgit; Arndt, Christine; Maue, Georg; Spitzky, Alejandro; Winkler, Andreas; Halbach, Peter (2001): Experiments on the influence of sediment disturbances on the biogeochemistry of the deep-sea environment. In: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 48 (17-18), S. 3629–3651. DOI: 10.1016/S0967-0645(01)00060-1.
- Paul, Sophie Anna Luise (2018): Biogeochemistry of Pacific deep-sea sediments and potential impacts of deep-sea polymetallic nodule mining. PhD thesis. Jacobs University Bremen.
- Purkiani, Kaveh; Gillard, Benjamin; Paul, André; Haeckel, Matthias; Haalboom, Sabine; Greinert, Jens et al. (2021): Numerical Simulation of Deep-Sea Sediment Transport Induced by a Dredge Experiment in the Northeastern Pacific Ocean. In: *Front. Mar. Sci.* 8, Artikel 719463. DOI: 10.3389/fmars.2021.719463.
- Purkiani, Kaveh; Paul, André; Vink, Annemiek; Walter, Maren; Schulz, Michael; Haeckel, Matthias (2020): Evidence of eddy-related deep ocean current variability in the North-East Tropical Pacific Ocean induced by remote gap winds.

Purkiani, Kaveh; Haeckel, Matthias; Haalboom, Sabine; Schmidt, Katja; Urban, Peter; Gazis, Iason; Walter, Maren; Paul, André; de Stigter, Henko; Vink, Annemiek; Schulz, Michael (2022): Impact of a long-lived anticyclonic mesoscale eddy on seawater anomalies in the northeastern tropical Pacific Ocean: A composite analysis from hydrographic measurements, altimetry data and reanalysis model products. In: *Ocean Science*, accepted.

Schmidt, Katja; Paul, Sophie A.L.; Achterberg, Eric P. (2022): Assessing the availability of trace metals including rare earth elements in deep ocean waters of the Clarion Clipperton Zone, NE Pacific: Application of an in situ DGT passive sampling method. In: *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 155, S. 116657. DOI: 10.1016/j.trac.2022.116657.

Volz, Jessica B.; Liu, Bo; Köster, Male; Henkel, Susann; Koschinsky, Andrea; Kasten, Sabine (2020): Post-depositional manganese mobilization during the last glacial period in sediments of the eastern Clarion-Clipperton Zone, Pacific Ocean. In: *Earth and Planetary Science Letters* 532, S. 116012. DOI: 10.1016/j.epsl.2019.116012.

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. In: *Science advances* 6 (18), eaaz5922. DOI: 10.1126/sciadv.aaz5922.

III. Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Im Rahmen der Expedition wurden die Umweltauswirkungen von zukünftigen Tiefseebergbauaktivitäten anhand der durch den Test eines Kollektor-Prototypen verursachten Störungen untersucht. Dazu gehörte auch der Einsatz geeigneter Tiefsee-Technologien, wie AUV-gestützte optische und akustische Kartierung des Meeresbodens, ROV-gestützte in-situ-Messungen mit profilierenden Sensoren und Foodweb-Experimenten, die wichtige Technologien für eine Umweltüberwachung von Tiefseebergbau-aktivitäten sein werden. Somit demonstriert das Projekt wichtige wissenschaftliche und technologische Grundlagen für einen zukünftigen deutschen Pilot-Abbauversuch, das Umweltmonitoring und umweltschonende Produktionsverfahren für marine mineralische Ressourcen, wie sie in der Maritimen Forschungsstrategie 2025 des BMWi skizziert sind. Die Projektergebnisse werden in Empfehlungen für nationale und internationale Regularien, wie den Mining Code der ISA, transferiert und unterstützen so die deutschen Vertreter im ISA Council bei Ihren Aufgaben. Die Ergebnisse des Projektes MiningImpact adressieren somit die Hauptziele der BMBF-Programme Mare:N und Geo:N, die Teil der FONA-Strategie sind. Die wissenschaftlichen Fragestellungen sind im Mare:N-Programm aufgenommen worden, um die Forschungsbedarfe bezüglich mariner mineralischer Rohstoffe zu definieren. Im Geo:N-Programm ist in Kapitel 4.4 „Mineralische Rohstoffe der Tiefsee“ ebenfalls die ökologische Begleitforschung als wichtiger Schwerpunkt genannt, um entscheiden zu können, ob Tiefseebergbau verantwortbar ist. In diesem Zusammenhang wird MiningImpact explizit in Geo:N genannt. Darüber hinaus adressiert das Projekt direkt die im Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung festgehaltene Notwendigkeit der Untersuchung der Umweltauswirkungen von Tiefseebergbau und Entwicklung von möglichst hohen Umweltstandards.

Konkret bezieht sich das Projekt damit in der FONA-Strategie auf das Ziel 2 „Lebensräume und natürliche Ressourcen erforschen, schützen, nutzen“ mit seinem Handlungsfeld 4 „Erhalt der Artenvielfalt und Lebensräume“ und den darin skizzierten Aktionen 11 „Systemzusammenhänge von Biodiversitätsveränderungen verstehen“ und 12 „Lebensräume und Ökosysteme erhalten“. Während die FONA-Strategie diese Problematik leider vor allem aus nationaler Sicht darlegt, sollte nicht vergessen werden, dass es ein globales Thema ist. Mit diesem Vorhaben kann ebenfalls zu den globalen Verhandlungen zu BBNJ und CBD beitragen werden. Das Projekt trug u.a. zur Analyse der Biodiversität in der Tiefsee bei, versuchte Kippunkte durch Klimaveränderungen und zukünftige Rohstoffausbeutung zu identifizieren, testete Renaturierungsmöglichkeiten für Tiefseehabitats, machte Vorschläge zur Minimierung von Ökosystemschäden (z.B. Raumplanung von Abbauoperationen, Kriterien für Schutzgebiete, Reduktion von Unterwasserlärm), und bewertete die Ökosystemleistungen in der Tiefsee. Es wurden konkrete politische und regulatorische Handlungsvorschläge ausgearbeitet.

2. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens im Vergleich zu den ursprünglichen Zielen, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen

Die wesentlichen wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Vorhabens, sowie der voraussichtliche Nutzen der Ergebnisse sind in den Kapiteln II.1 bzw. Kapitel II.4a zusammengefasst. Die unter I.1 genannten Ziele konnten im Wesentlichen erreicht werden. Aufgrund der wiederholten Verschiebung des Kollektortests von GSR konnte jedoch das Ziel, artifiziell verursachte Partikelflüsse in der Wassersäule zu analysieren, bis zum Projektende noch nicht erreicht werden. Zwar hat die BGR während der IP21-Ausfahrt eine Verankerung mit zwei Sinkstofffallen nahe des Testgebiets ausgebracht, die während und nach dem Kollektortest Partikel aufgefangen haben. Aus zeitlichen Gründen konnte die Verankerungen jedoch während der IP21-Fahrt nicht mehr geborgen und die gesammelten Proben somit nicht mehr innerhalb des Projektzeitraums analysiert werden. Die

Verankerungen sollen jedoch im Winter 2022 während der geplanten Expedition SO295 geborgen und die gesammelten Proben dann auch hinsichtlich der (veränderten) Partikelflussvariabilität analysiert werden.

Auch das Ziel, langzeitliche Partikelflussvariationen zu analysieren konnte nicht vollumfänglich erreicht werden. Aufgrund eines technischen Defekts im Zeitchip der ausgesetzten Sinkstofffallen haben diese zum Teil deutlich kürzer als geplant (siehe Kapitel II.1) Partikel aufgefangen, was nicht ausreicht, um z.B. die saisonale Partikelflussvariabilität zu analysieren. Die defekten Zeitchips wurden jedoch während der IP21 Fahrt ersetzt. Die BGR geht daher davon aus, dass die 2021 neu ausgesetzten Sinkstofffallen die fehlenden Daten liefern werden. Die Erfahrungen zeigen, dass technische Fehler der Verankerungsgeräte durch die lange Zeitspanne zwischen Schiffsausfahrten in diesen abgelegenen Forschungsarealen zu erheblichen, unvorhersehbaren Verzögerungen in Datenerhebung und -analyse führen können.

Trotz der o.g. Verzögerungen hat die BGR aus ozeanographischer Sicht einen wichtigen Beitrag zu den Projektzielen geleistet. Ozeanographische Daten (Strömungsdaten, Trübungsdaten, CTD Daten, Partikelflussdaten) haben zu einem verbesserten Verständnis des Meeresboden-Strömungsregimes beigetragen und sind die wesentlichen Inputs für die Entwicklung und Verifizierung der 3D hydrodynamischen (Plume) Modelle der Universität Bremen gewesen (WP2; Purkiani et al., 2021). Derartige Modelle werden für die Feststellung von Schwellenwerten bezüglich der maximal erlaubten Ausbreitung der Suspensionswolke, und für die Verknüpfung mit Mortalitätsraten der Fauna, eine sehr wichtige Rolle spielen. Weiterhin haben sie auch das Verständnis von Eddies und deren möglichen Einflüsse auf Tiefseebergbauaktivitäten in der CCZ vorangebracht.

Als wichtiges Nebenergebnis des Vorhabens sind die Ergebnisse zu Spurenmetallen und insbesondere deren Bioverfügbarkeit im bodennahen Meerwasser und im Porenwasser der BGR von großer Bedeutung (siehe Kapitel II.1). Die bisherigen geochemischen Ergebnisse zeigen, dass die durch die BGR neu eingesetzte Methode mit DGT Passivsammlern wichtige Grundlagen und Erkenntnisse zur Bewertung von Umweltrisiken eines Manganknollenabbaus liefern können. Es konnte gezeigt werden, dass die Methode als Beprobungs- und Monitoring-Tool funktioniert und eingesetzt werden kann. Die Daten spurenelementgeochemischer Studien liefern essentielle Datengrundlagen für weitere ökotoxikologische Arbeiten und Umweltrisik-Analysen.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans

a) Erfindungen/ Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Im Rahmen dieses Vorhabens sind keine Erfindungen gemacht worden. Es wurden keine Schutzrechte erteilt.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Nachhaltige Tiefseebergbau-Technologien und Abbaustrategien können erst entwickelt werden, wenn ausreichende Informationen über die möglichen Auswirkungen des Bergbaus am Meeresgrund, z.B. die mögliche Ausbreitung der durch das Abbaugerät entstehenden Suspensionswolke, bekannt sind. Die Ergebnisse des Vorhabens im Rahmen des gesamten Verbundprojekts MiningImpact sind daher sowohl für zukünftige Technologieentwicklungen durch kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) als auch für die Politik (Analyse des volkswirtschaftlichen Nutzens der Entwicklung eines kommerziellen Tiefseebergbaus; Entwicklung von hohen Umweltstandards; Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung der Umweltschäden) am Standort Deutschland von Bedeutung.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Vorhabenende (mit Zeithorizont)

Die Projektergebnisse liefern insgesamt fundamentale Erkenntnisse zum wissenschaftlichen Verständnis von Tiefsee-Ökosystemen sowie ihr Vermögen, sich auf Umweltstörungen einzustellen,

anzupassen und gestörte Areale wieder zu besiedeln. So können abbaubedingte Umweltrisiken festgestellt und beurteilt werden, und können Prozesse und Dauer der Störungs- und Erholungsphasen abgeschätzt werden.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieses Vorhabens werden über das Projektende hinaus zu einem besseren Verständnis der vorherrschenden sedimentologischen und ozeanographischen Bedingungen und Variabilität in der CCZ beitragen und eine bessere Einschätzung möglicher Risiken und Auswirkungen eines potentiellen Tiefseebergbaus ermöglichen. Erhobene Rohdaten werden in das Datenmanagementportal des GEOMAR (OSIS-Kiel) eingespeist und nach Publikation in der Datenbank PANGAEA veröffentlicht, wo sie einer breiteren internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung stehen werden.

Darüber hinaus werden die in diesem Projekt und im Projekt NoduleMonitoring2 gesammelten Informationen einen wichtigen Beitrag leisten (1) zur Entwicklung und Umsetzung von IMB-Umweltregularien und -Vorschriften (z.B. Entwicklung von Schwellenwerten und Indikatoren) in Bezug auf die Exploration und den Abbau von Manganknollen, (2) zur weiteren Umsetzung des CCZ-Umweltmanagementplans (ISBA/26/C/43), und (3) zur Unterstützung von Firmen und Nichtregierungsorganisationen die in diesem Bereich tätig sind, bei der Anpassung und Umsetzung ihrer eigenen Umweltprogramme. In dieser Hinsicht werden die Ergebnisse auch zu den SDGs der Vereinten Nationen beitragen, insbesondere zu SDG 14.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase

Das Netzwerk von wissenschaftlichen Instituten, die in den beiden Phasen des JPI-O MiningImpact-Projektes zusammengearbeitet haben, hat inzwischen eine solide Basis und ein zuverlässiges Konsortium gebildet, das die bestmöglichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung der bewilligten Monitoring Fahrt mit TFS SONNE bietet (SO295: BMBF Projekt NoduleMonitoring2). Auch im Rahmen einer möglichen dritten Phase von MiningImpact ist die Anschlussfähigkeit des Konsortiums bestmöglich gegeben.

e) Verwertungsplan mit Zeithorizont

lfd. Nr.	Bezeichnung	Zeithorizont
1	Einspeisung der Daten in PANGAEA	2022
2	Input für Projekt „NoduleMonitoring2“	2022
3	Publikation der Ergebnisse	2024
4	Entwicklung von Schwellenwerten und Indikatoren für IMB-Umweltregularien und –Vorschriften (Entwicklung von hohen Umweltstandards)	Bis 2025
5	Beratung der IMB für die Entwicklung von Umweltmanagementplänen und Abbauregularien; Entwicklung von Konzepten zur Reduzierung der Umweltschäden	Bis 2025
6	Beitrag zur umweltschonenden Technologieentwicklung (Abbautechnologie und Monitoringtechnologien)	Bis 2025

4. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Aufgrund der wiederholten Verschiebung des Kollektortests von GSR konnte das Ziel, artifizuell verursachte Partikelflüsse in der Wassersäule zu analysieren, bis zum Projektende noch nicht erreicht

werden. Zwar hat die BGR während der IP21-Ausfahrt eine Verankerung mit zwei Sinkstofffallen nahe des Testgebiets ausgebracht, die während und nach dem Kollektortest Partikel aufgefangen haben. Aus zeitlichen Gründen (Verspätung Test im BGR-Lizenzgebiet) konnte die Verankerungen jedoch während der IP21-Fahrt nicht mehr geborgen und die gesammelten Proben somit nicht mehr innerhalb des Projektzeitraums analysiert werden. Die Verankerungen sollen jedoch im Winter 2022 während der geplanten Expedition SO295 geborgen und die gesammelten Proben dann auch hinsichtlich der (veränderten) Partikelflussvariabilität analysiert werden.

Auch das Ziel, langzeitliche Partikelflussvariationen zu analysieren konnte nicht vollumfänglich erreicht werden. Aufgrund eines technischen Defekts im Zeitchip der ausgesetzten Sinkstofffallen haben diese zum Teil deutlich kürzer als geplant (siehe Kapitel II.1) Partikel aufgefangen, was nicht ausreicht, um z.B. die saisonale Partikelflussvariabilität zu analysieren. Die defekten Zeitchips wurden jedoch während der IP21 Fahrt ersetzt. Die BGR geht daher davon aus, dass die 2021 neu ausgesetzten Sinkstofffallen die fehlenden Daten liefern werden. Die Erfahrungen zeigen, dass technische Fehler der Verankerungsgeräte durch die lange Zeitspanne zwischen Schiffsausfahrten in diesen abgelegenen Forschungsarealen zu erheblichen, unvorhersehbaren Verzögerungen in Datenerhebung und -analyse führen können.

5. Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Der Stand des Vorhabens entspricht im Wesentlichen der ursprünglichen Arbeits- und Zeitplanung.

Der Zeitpunkt des Umweltmonitorings der beiden Kollektortests im GSR und BGR Lizenzgebiet wurde jedoch in diesem Vorhaben durch technische Probleme seitens GSR und anschließende Corona-Restriktionen um zwei komplette Jahre verschoben. Um dennoch die Analyse und Auswertung der gewonnenen Proben und Daten im Sinne der Projektziele zu gewährleisten, hat die BGR in Juni 2021 eine Aufstockung für Pos. 0812 (wiss. Mitarbeiterin Frau Dr. Martina Hollstein, bis Ende der Projektlaufzeit) von € 38.602,66 erhalten (ursprünglich € 174.250,00 genehmigt).

Durch die verwaltungsbedingte, relativ späte Einstellung von Dr. Hollstein in Mai 2019 waren Mittel in Pos. 0812 für 2019 übrig, die auf 2021 verschoben wurden. Die Gelder für Transporte (Pos. 0841: €6.910,00) sind in 2019 für die Teilnahme an SO268 vollständig abgeflossen. Mittel für verbr. Material (Pos. 0838: € 13.710,00) sind in 2020 für die Fahrt MANGAN2021 / IP21 nahezu vollständig abgeflossen. Die Gelder für Publikationen (Pos. 0842: € 1000,00) sind durch die späte Erhebung und Auswertung der Daten nicht abgeflossen und im Rahmen des Aufstockungsantrags für Personalmittel umgewidmet worden.

Durch die späte Anstellung von Frau Hollstein (keine Teilnahme an SO268) und Corona-Maßnahmen in 2020/2021 sind einige Reisegelder nicht abgeflossen (Pos. 0846: € 8.550,00). Etwa die Hälfte dieser Gelder wurden im Rahmen des Aufstockungsantrags für Personalmittel umgewidmet.

Die Zeitplanung wurde entsprechend der späten Kollektortests / zweiten Monitoringfahrt IP21 und der bewilligten Aufstockung geringfügig angepasst (siehe Kapitel I.3, Tabelle 1).

6. Berichtsblatt / Document Control Sheet

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel JPI-O MiningImpact – Umweltauswirkungen und -risiken von Tiefseebergbau Natürliche und abbaubedingte Partikelflüsse in der Wassersäule und am Meeresboden in der Clarion-Clipperton Zone (CCZ), NE-Pazifik	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr. Annemiek Vink	5. Abschlussdatum des Vorhabens 28.02.2022
	6. Veröffentlichungsdatum 30.07.2022
	7. Form der Publikation BGR-Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Stilleweg 2 30655 Hannover	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03F0812H
	11. Seitenzahl 27
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 17
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 1
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Rostock, Juli 2022	

18. Kurzfassung

Um den global wachsenden Rohstoffbedarf zu decken sind Mineralvorkommen der Tiefsee, hierunter auch Manganknollen, in das Blickfeld von Politik und Wirtschaft gerückt. Tiefseebergbau könnte jedoch zu einer Veränderung der vom Eingriff betroffenen Ökosysteme am Meeresboden und in der darüber liegenden Wassersäule führen. Ziel des Verbundprojekts „MiningImpact“ war es, eine fundierte wissenschaftliche Grundlage für die Analyse und Modellierung von abbaubedingten Umweltauswirkungen in der Tiefsee zu erarbeiten. Zentral standen Untersuchungen der natürlichen Habitate in der Tiefsee sowie das Umweltmonitoring des weltweit ersten Tests eines Manganknollen-Kollektors in rund vier Kilometern Wassertiefe. Die Untersuchungen fanden im Manganknollengürtel zwischen Hawaii und Mexiko im Pazifik, in der sogenannte Clarion-Clipperton Zone (CCZ), statt. Das belgische Unternehmen Global Sea Mineral Resources (GSR) hatte für den Test eine Vorstufe zu einem Kollektorprototyp entwickelt, dessen Aufnahmesystem in den von GSR (Belgien) und BGR (Deutschland) erkundeten Manganknollen-Lizenzgebieten jeweils eingesetzt wurde. Das Konsortium fokussierte insbesondere auf drei Forschungsschwerpunkte: (1) die Ausbreitung und großflächige Auswirkung der aufgewirbelten, feinstpartikulären Suspensionswolke, (2) die regionale Konnektivität von Arten und Biodiversität sowie deren Belastbarkeit bezüglich Störungen, und (3) die integrierten Effekte auf Ökosystemfunktionen wie benthische Nahrungsketten und biogeochemische Prozesse.

Aufgrund eines technischen Defekts am Versorgungsstrang des Kollektors konnte der Kollektortest nicht wie geplant während der SO268-Forschungsfahrt mit TFS SONNE in 2019 stattfinden. Mit der Bereitstellung eines gecharterten Schiffes (MV ISLAND PRIDE) durch die BGR konnte das Monitoring der GSR-Kollektortests allerdings durch das MiningImpact-Konsortium zwei Jahre später, in April/Mai 2021, während BGR Expedition MANGAN 2021 (IP21) ermöglicht werden.

Um die Umweltrisiken der abbaubedingten, feinstpartikulären Suspensionswolke beurteilen und die Prozesse des vertikalen und horizontalen Sedimenttransports in der Wassersäule besser einschätzen zu können, hat die BGR in diesem Vorhaben (03F0812H) die räumlichen und zeitlichen Variationen der bodennahen Partikelflüsse, Partikelgröße-Verteilungen, Aggregatgeochemie und Hydrographie vor, während und nach dem Kollektortest gemessen und analysiert. Dazu wurden zwischen 2018 und 2022 fünf Verankerungen mit Strömungsmessern und Sinkstofffallen ausgesetzt, die über längere Zeiträume am Meeresboden standen und hochauflösende Datenreihen erhoben, sowie in vorbestimmten Zeitintervallen die absinkenden Partikel in unterschiedlichen Wassertiefen sammelten. Die Zeitreihen dieser Verankerungen spiegeln allesamt die natürliche Partikelflussvariabilität wieder. Die bisher erhobenen Daten zum Partikelfluss zeigen sowohl räumlich als auch zeitlich eine hohe Variabilität mit Partikelflüssen zwischen etwa 12 und 110 mg/m²/Tag; die errechneten Mittelwerte der einzelnen Falleneinsätze liegen zwischen 23 und 46 mg/m²/Tag. Die Ergebnisse biogeochemischer Analysen zeigen, dass die Zusammensetzung der Partikel von biogenen Komponenten (Karbonate, Biogen-Opal und organisches Material) dominiert wird. Die ermittelten Partikelflüsse und die Zusammensetzung der Hauptkomponenten der unterschiedlichen Zeitreihen stimmen generell überein. Wir konnten zeigen, dass es keine wesentlichen Unterschiede in der Partikelflusscharakteristik zwischen 500 und 7 Metern oberhalb des Meeresbodens gibt. Die erhobenen Strömungsdaten sowie die Zeitreihen der Partikelfluss und -zusammensetzung zeigten keine deutliche Veränderung im bodennahen Strömungsregime nach Durchzug eines mesoskaligen Wassermassenwirbels (Eddy) in April/Mai 2019. Die gewonnenen Daten des Meeresboden-Strömungsregimes und der natürlichen Partikelflüsse in der Wassersäule wurden für die Entwicklung und Verifizierung der 3D hydrodynamischen Modelle der Universität Bremen genutzt. Derartige Modelle werden für die Feststellung von Schwellenwerte bezüglich der maximal erlaubte Ausbreitung der Suspensionswolke und die Verknüpfung mit Sterberaten der Fauna eine sehr wichtige Rolle spielen. Weiterhin haben die Daten auch das Verständnis von Eddies und deren möglichen Einflüsse auf Tiefseebergbauaktivitäten in der CCZ vorangebracht.

In dem Vorhaben neu hinzugekommen sind Untersuchungen zur Spurenelement-Biogeochemie im bodennahen Meerwasser und an der Sediment-Wassergrenze. Die Untersuchungen wurden durchgeführt, um das wissenschaftliche Verständnis zum Verhalten und zur Verfügbarkeit potentiell toxischer Spurenmetalle für die dort lebenden Tiere im Rahmen eines möglichen zukünftigen Manganknollenabbaus zu erweitern und die erforderlichen Grundlagendaten zu erheben. Während der Fahrt SO268 hat die BGR für Grundlagenstudien der Spurenmetalle Beprobungen des bodennahen Meerwassers mittels Wassers schöpfen durchgeführt und über einen mehrwöchigen Zeitraum sogenannten DGT-Passivsammler zur Bestimmung leicht für Organismen verfügbarer Spurenelementkonzentrationen an den Sedimentfallenverankerungen eingesetzt. Während der Monitoring-Fahrt IP21 wurden die durch den Kollektor generierten Suspensionswolken ebenfalls mittels Wassers schöpfen und Passivsammlern beprobt.

In den Wasserproben der durch den Kollektor verursachten Suspensionswolke wurde eine Partikelfracht von bis zu 70 mg/l bestimmt. Diese Ergebnisse stimmen gut mit den durch die Trübungssensoren am Meeresboden gemessenen Partikelkonzentrationen mit Maximalwerten von 100-120 mg/l überein. Damit einhergehend wurden signifikante Spurenmetallanreicherungen in der partikulären Phase für Mangan, Eisen, Kobalt, und Cer bestimmt, mit Anreicherungsfaktoren von bis zu 300 für Mangan. In der gelösten Fraktion < 0.2 µm ist die Anreicherung deutlich geringer, max. 20-fach für Mangan und wahrscheinlich hauptsächlich mit Kolloiden assoziiert.

DGT-Passivsammler zeigen eine erhöhte Verfügbarkeit von bestimmten Spurenmetallen in den Suspensionswolken (Mangan>Kobalt, Cer>>Kupfer), die in einem sehr dynamischen Umfeld über Zeiträume von mehreren Tagen akkumuliert wurden. Die Daten der Passivsammler-Beprobungen sind besonders aufschlussreich, da sie Durchschnittskonzentrationen für die Exposition von Bodentieren über einen längeren Zeitraum liefern und leichter mit ökotoxikologischen Auswirkungen in Verbindung gebracht werden können. Die bisherigen geochemischen Ergebnisse der BGR zeigen, dass die neu eingesetzte Methode mit DGT-Passivsammlern wichtige Grundlagen und Erkenntnisse zur Bewertung von Umweltrisiken eines Manganknollenabbaus liefern können. Es konnte zudem gezeigt werden, dass die Methode als Beprobungs- und Monitoring-Tool funktioniert und eingesetzt werden kann. Die Daten spurenelementgeochemischer Studien liefern weiterhin essentielle Datengrundlagen für weitere ökotoxikologische Arbeiten und Umweltrisik-Analysen.

Die Projektergebnisse von MiningImpact liefern insgesamt fundamentale Erkenntnisse zum wissenschaftlichen Verständnis von Tiefsee-Ökosystemen sowie ihr Vermögen, sich auf Umweltstörungen einzustellen, anzupassen und gestörte Areale wieder-zu-besiedeln. So können abbau-bedingte Umweltrisiken festgestellt und beurteilt werden, und können Prozesse und Dauer der Störungs- und Erholungsphasen abgeschätzt werden. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden in Fachzeitschriften mit Peer-Review und in der PANGAEA-Datenbank veröffentlicht, wo sie einer breiteren internationalen wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung stehen.

19. Schlagwörter

Tiefseebergbau, Monitoring, Suspensionswolke, Clarion-Clipperton Zone, Partikelfluss, Verankerung, Spurenelemente, Toxizität, DGT-Passivsammler

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title JPI-O MiningImpact – Environmental impacts and risks of deep-sea mining Natural and mining-related particle fluxes in the water column and close to the seafloor in the Clarion-Clipperton Zone (CCZ), NE Pacific	
4. author(s) (family name, first name(s)) Dr. Annemiek Vink	5. end of project 28.02.2022
	6. publication date 31.07.2022
	7. form of publication BGR Report
8. performing organization(s) (name, address) Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) Stilleweg 2 30655 Hannover	9. originator's report no.
	10. reference no. 03F0812H
	11. no. of pages 27
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 17
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 1
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Jülich, Rostock, July 2022	

18. abstract

In order to meet the growing global demand for raw materials, deep-sea mineral deposits, including manganese nodules, have become the focus of political and economic attention. However, deep-sea mining could adversely change the ecosystems on the seabed and in the water column. The aim of the joint project "MiningImpact" was to develop a sound scientific basis for the analysis and modelling of mining-related environmental impacts in the deep sea. Central to the project were investigations of the natural habitats in the deep sea and environmental monitoring of the world's first tests of a manganese nodule pre-prototype collector built and deployed by the Belgian company Global Sea Mineral Resources (GSR) at a water depth of around four kilometres. The investigations took place in the manganese nodule belt between Hawaii and Mexico in the Pacific, in the so-called Clarion-Clipperton Zone (CCZ), in the GSR (Belgian) and BGR (German) contract areas for nodule exploration. The consortium focused particularly on three main research topics: (1) the dispersion and large-scale impact of the suspended, fine-particulate sediment plume, (2) the regional connectivity of species and biodiversity and their resilience to disturbance, and (3) the integrated effects on ecosystem functions such as benthic food chains and biogeochemical processes.

Due to a technical defect in the collector umbilical (power supply), the collector tests could not take place as planned during the SO268 research cruise with RV SONNE in 2019. However, with the provision of a chartered vessel (MV ISLAND PRIDE) by BGR, the MiningImpact consortium was able to carry out an independent monitoring of the GSR collector tests two years later, in April/May 2021, during BGR Expedition MANGAN 2021 (IP21).

To assess the environmental risks of the mining-induced sediment plume and to better evaluate the processes of vertical and horizontal sediment transport in the water column in this project (03F0812H), BGR measured and analysed the spatial and temporal variations of near-bottom particle fluxes, particle size distributions, aggregate geochemistry and hydrography before, during and after the collector test. To this end, five bottom moorings were deployed with current meters and sediment traps between 2018 and 2022, which remained on the seafloor for long periods and collected high-resolution data series, as well as the sinking particles at predetermined time intervals in different water depths. The time series of these moorings all reflect natural the particle flux variability in the stud area. The particle flux data collected so far show high variability both spatially and temporally, with particle fluxes ranging from about 12 to 110 mg/m²/day; the calculated mean values of the individual trap deployments range from 23 to 46 mg/m²/day. The results of biogeochemical analyses show that the composition of the particles is dominated by biogenic components (carbonates, biogenic opal and organic material). The determined particle fluxes and the composition of the main components of the different time series show good agreement with each other. We were able to show that there are no significant differences in the particle flux characteristics between 500 and 7 metres above the seabed. The collected current data and the time series of particle flux and composition showed no significant change in the near-bottom flow regime after the passage of a large mesoscale eddy in April/May 2019. The obtained data of the seafloor current regime and the natural particle fluxes in the water column were used for the development and verification of the 3D hydrodynamic models of the University of Bremen. Such models play a very important role in determining threshold values for the maximum allowed dispersion of the sediment plume and its association with faunal mortality rates. Furthermore, the data have also advanced the understanding of eddies and their possible influences on deep-sea mining activities in the CCZ.

Newly introduced into the project are studies on trace element biogeochemistry in near-bottom seawater and at the sediment-water interface. Such investigations were carried out to increase our scientific understanding of the behaviour and availability of potentially toxic, mining-induced trace metals that could harm the deep-sea fauna, and to collect the necessary baseline data. During cruise SO268, BGR carried out sampling of the near-bottom seawater using a rosette water sampler for baseline studies of trace metals, and deployed DGT passive samplers on sediment trap moorings over a period of several weeks to determine trace element concentrations that are readily available (bioavailable) to the fauna. During the monitoring cruise IP21, the sediment plumes generated by the collector were also sampled using water samplers and passive samplers.

A particle load of up to 70 mg/l was determined in the water samples of the sediment plume generated by the collector. These results are in good agreement with the particle concentrations measured by the turbidity sensors on the seabed, with maximum values of 100-120 mg/l. Furthermore, significant trace metal enrichments in the particulate phase were determined for manganese, iron, cobalt, and cerium, with enrichment factors of up to 300 for manganese. In the dissolved fraction < 0.2 µm, the enrichment is significantly lower, max. 20-fold for manganese and probably mainly associated with colloids.

DGT passive samplers show increased availability of certain trace metals in the sediment plume (manganese>cobalt, cerium>>copper) that have accumulated over periods of several days in a very dynamic environment. The passive sampler data are particularly informative as they provide average concentrations for exposure of seafloor fauna over a longer period of time and can be more easily linked to ecotoxicological effects. The geochemical results obtained by BGR so far show that the newly applied method with DGT passive samplers can provide important fundamental baseline information and insights for the assessment of the environmental risks of manganese nodule mining. It could also be shown that the method works and can be used as a sampling and monitoring tool. The data from trace element geochemical studies continue to provide essential data for further ecotoxicological work and environmental risk analyses.

Overall, the project results of MiningImpact provide fundamental insights into the scientific nature of deep-sea ecosystems and their ability to adapt to environmental disturbances as well as to inhabit disturbed areas. Thus, mining-related environmental risks can be identified and assessed, and the processes and duration of disturbance and recovery can be estimated. The scientific results are published in peer-reviewed journals and in the PANGAEA database, where they are available to a wider international scientific community.

19. keywords

Deep-sea mining, monitoring, sediment plume, Clarion-Clipperton Zone, particle flux, mooring, trace elements, toxicity, DGT-passive sampler

20. publisher

21. price