



MARINE MINERALISCHE ROHSTOFFE AN DER BGR

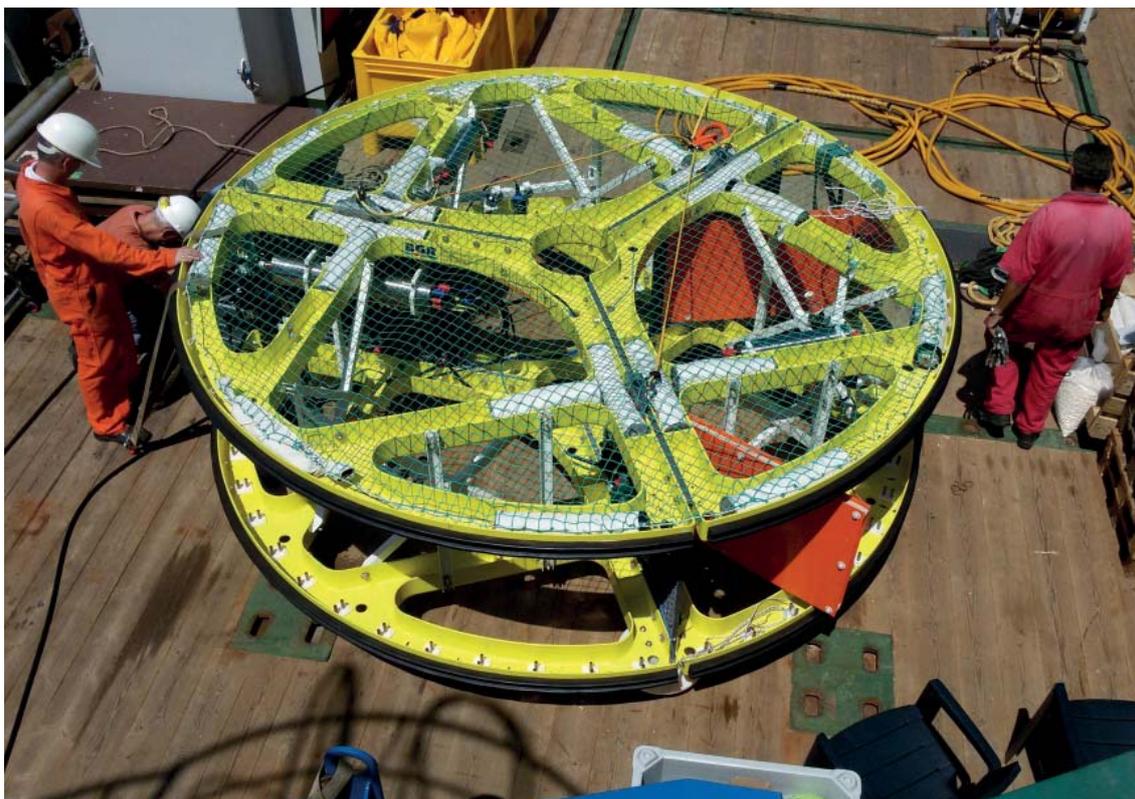


Abb. 1: GOLDEN EYE – Der elektromagnetische Profiler der BGR vor einem Einsatz.

EINLEITUNG

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hält im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zwei Explorationslizenzen bei der Internationalen Meeresbodenbehörde (IMB) in Jamaika zur Erkundung von Manganknollen und Massivsulfiden. Die Manganknollen-Lizenz gilt von Juli 2006 bis Juli 2021 für ein Gebiet von 75.000 km² Größe im östlichen äquatorialen Pazifik. Die Lizenz auf Massivsulfide im Indischen Ozean läuft von Mai 2015 bis Mai 2030 und sichert der Bundesrepublik Deutschland die exklusiven Explorationsrechte in einem insgesamt 10.000 km² großen Gebiet, aufgeteilt in 100 Blöcke zu jeweils 100 km².

Seit 2016 informiert die BGR in einem jährlichen Newsletter über die aktuellen Ergebnisse dieser Erkundungsarbeiten. Der diesjährige Newsletter bietet einen Überblick über die verwendeten Explorationstechniken in den beiden Projekten.

EXPLORATIONSTECHNIK FÜR MASSIVSULFIDE IM INDISCHEN OZEAN

Das Auffinden, die Größenabschätzung sowie die Bestimmung der Metallkonzentrationen von inaktiven hydrothermalen Erzlagerstätten am und im Meeresboden sind die Hauptziele der Explorationsarbeiten im Indischen Ozean. Dabei liegt der Fokus auf der Identifizierung von wirtschaftlich bedeutsamen Lagerstätten mit einem Metallgehalt von mehr als 2,5 Mio. Tonnen. In gleichem Umfang werden Umweltaspekte wie Biodiversität, Massentransfer, Wassersäulenanomalien und Bodenströmungen untersucht. Weitere Bausteine werden durch die Konzeptentwicklung für Abbautechnologien und, neben den etablierten Metallgewinnungs-Routinen für polymetallische Sulfide, die Erarbeitung optimierter metallurgischer Aufbereitungskonzepte beigesteuert.

Die gesuchten hydrothermalen Lagerstätten sind Erzkörper mit einem Volumen von 1 m³ bis zu etwa 20 Mio. m³ (etwa 280 x 280 x 280 m), wirtschaftlich bedeutsame Erzkörper beginnen in Abhängigkeit der enthaltenen Metallkonzentrationen bei einem Volumen von etwa 1 Mio. m³ (100 x 100 x 100 m). Die bisher bekannten Vorkommen im Lizenzgebiet liegen in Wassertiefen zwischen 2.400 und 3.900 m. Die Erzkörper müssen nicht immer am Meeresboden aufgeschlossen sein, außerdem können sie von jungen Sedimenten bedeckt sein. All dies macht das Auffinden verhältnismäßig schwierig und aufwändig. Dennoch gelang es der BGR in den vergangenen drei Jahren, bisher sieben aktive und zehn inaktive Vorkommen von polymetallischen Sulfiden zu kartieren.

Potentielle Zielgebiete für die Suche nach polymetallischen Sulfiden lassen sich durch die von 2011 bis 2012 erhobene grobe Schiffsbathymetrie über die gesamte Fläche des deutschen Lizenzgebietes ermitteln. So sind z. B. Bereiche interessant, in denen sich größere Bruch- oder Störungszonen kreuzen, da hier mit einer erhöhten Fluidwegsamkeit im Untergrund gerechnet werden kann. In der Nähe gelegene, junge submarine Vulkane sind ein Anzeiger für erhöhten Wärmefluss. Beides sind Voraussetzungen für die Bildung von hydrothermalen Quellen am Meeresboden mit Austritten von hydrothermalen Lösungen. Zwar sind diese Areale nicht das primäre Ziel der Explorationsarbeiten, dennoch sind aktive schwarze Raucher ein guter Indikator für inaktive Massivsulfid-Lagerstätten, die sich meistens in der weiteren Umgebung der aktiven Austritte befinden.

Zur Detektion und Vermessung der Erzkörper hat die BGR in den vergangenen Jahren zwei wichtige Geräte entwickelt: Die Vermessungsplattform HOMESIDE und die elektromagnetische Plattform Golden Eye.

HOMESIDE

Zur hochauflösenden Kartierung des Meeresbodens (~1 m) benutzt die BGR die tiefgeschleppte Vermessungsplattform HOMESIDE. Dieses Gerät ist bis 6.000 m Wassertiefe einsetzbar und wird zwischen 5 und 250 m über der Meeresbodenoberfläche mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 4 km/h hinter einem Forschungsschiff hergeschleppt. Die HOMESIDE-Plattform wurde unter Berücksichtigung hoher Flexibilität bezüglich der benutzten Sensoren und Instrumente an der BGR entwickelt. Die Plattform ist recht klein und an Bord von Forschungsschiffen einfach zu handhaben, die Anforderungen an das Forschungsschiff sind relativ gering. Allerdings wird ein Lichtwellenleiter-Hybridschleppkabel benötigt, da alle erfassten Daten in Echtzeit über das Kabel in die Schiffslabore übertragen werden.

Die Hauptkomponenten von HOMESIDE (Abb. 2) sind ein akustisches Fächerecholot zur hochgenauen Erfassung des Meeresbodenreliefs und zur Bestimmung der Eigenschaften des rückgestreuten

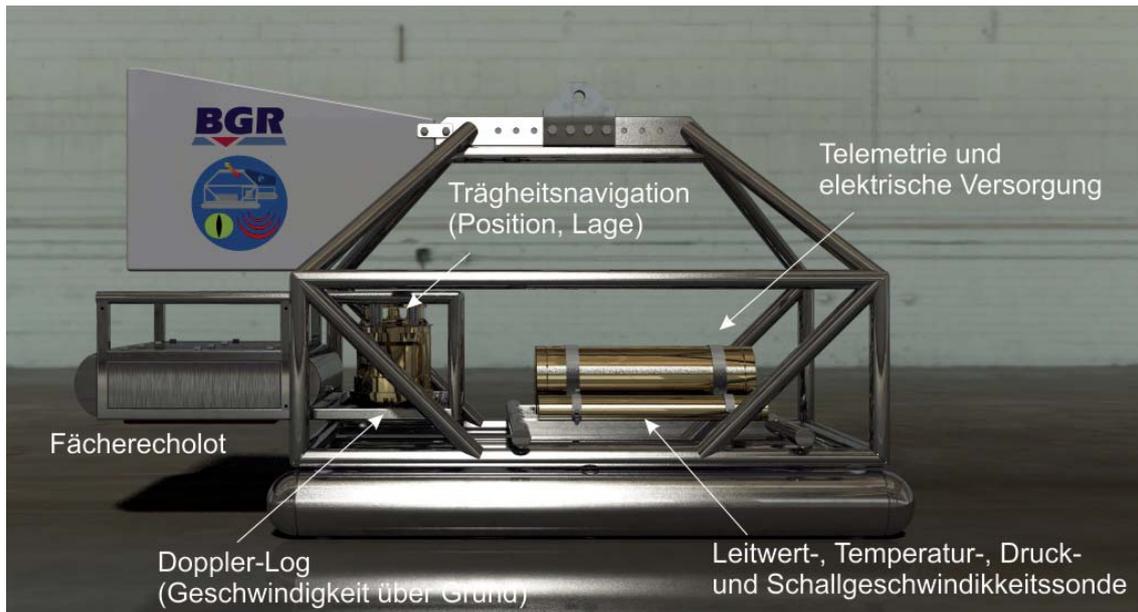


Abb. 2: Das HOMESIDE Unterwasserfahrzeug: Hauptkomponenten (gerenderte Darstellung).

Schalls, welcher Rückschlüsse auf die beschallte Gesteinsart zulässt. Zusätzlich werden Reflektionen in der durchschallten Wassersäule aufgezeichnet. Weitere Hauptkomponenten sind eine elektrische Leitfähigkeits-, Temperatur-, Tiefen- und Schallgeschwindigkeitssonde und ein Trägheitsnavigationssystem. Die Navigation wird unterstützt von einem akustischen (USBL) Lokalisierungssystem, sowie von einem mitgeschleppten Doppler-Sensor. In den typischen Wassertiefen im Lizenzgebiet zwischen 2.500 und 4.000 m beträgt die Genauigkeit der Positionierung etwa 3 m.

Je nach Bedarf kann die HOMESIDE-Plattform mit zusätzlichen Komponenten und Sensoren ausgestattet werden. So ist etwa seit 2017 ein Vektor-Magnetometer für geomagnetische Vermessungen installiert. Mehrere Sensoren erfassen physikochemische Eigenschaften des Wassers wie Redox-Potential, pH-Wert oder Trübung (Abb. 3). Weiterhin können für sehr hochauflösende Kartierungen dicht über dem Meeresgrund HD-Foto- und Videokameras und Beleuchtung integriert werden. Während der diesjährigen Expedition von Oktober bis Dezember 2018 wird auch erstmalig ein Sensor zur Messung des Eigenpotentials des Meeresbodens integriert.

Neben der reinen bathymetrischen Vermessung des Meeresbodens, also der Erstellung eines digitalen Geländemodells des Meeresbodens, leistet das System gute Dienste in der Erfassung von Anomalien in der Wassersäule. Sehr



Abb. 3: Die HOMESIDE-Vermessungsplattform vor einem Einsatz 2017 auf TFS Sonne. An der Vorderseite sind diverse wasserchemische Sensoren und ein Kollisionsvermeidungs-Sonar integriert.

häufig sind diese Anomalien mit hydrothermalen Fluidaustritten assoziiert (Abb. 4 und 5). Für 2019 ist eine Erweiterung des Fächerecholotes geplant (Dual-Rx-Konfiguration), welche die überdeckte Fläche verdoppelt und das durchschallte Wasservolumen vervierfacht.

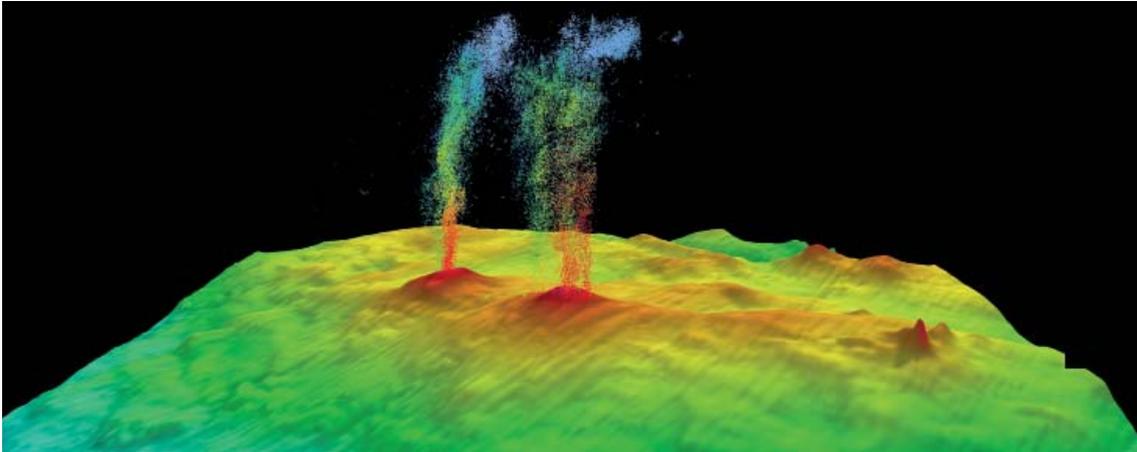


Abb. 4: Visualisierung von Austritten hydrothermaler Lösungen am Meeresboden in 3.000 m Wassertiefe (ALPHA-Feld, deutsches Lizenzgebiet Cluster 4). Die Fluide treten mit einer Temperatur von ca. 380° C auf Hügeln am Boden aus und kühlen im umgebenden Meerwasser rasch ab. Sie sind stark sauer, salzreich, chemisch reduziert und enthalten eine suspendierte Partikelfracht. Der daraus im Meerwasser resultierende Dichteunterschied kann mit dem Fächerecholot kartiert werden. Die „Rauchfahnen“ sind etwa 80 m hoch.

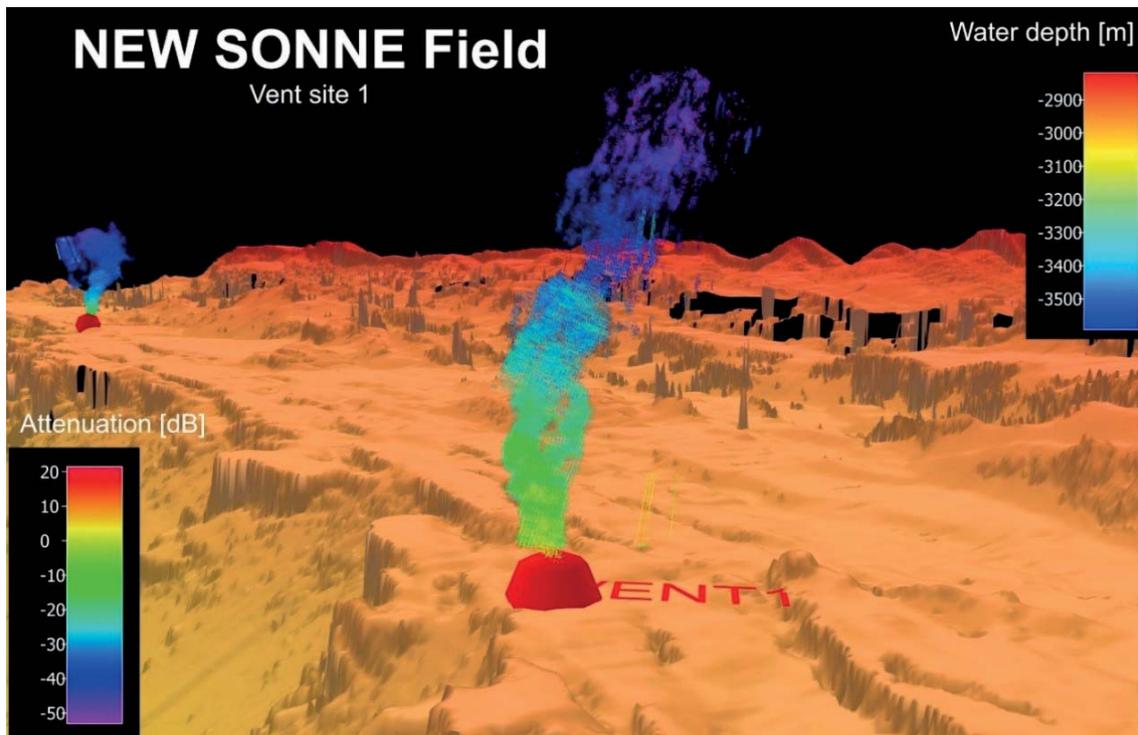


Abb. 5: Visualisierung der 2017 entdeckten aktiven Fluidaustritte am „Neue Sonne“-Feld (deutsches Lizenzgebiet, Cluster 11) in 2.950 m Wassertiefe aus HOMESIDE-Daten. Dieses Feld besteht aus mindestens zwei aktiven Fluidaustritten, deren „Wolke“ keine Partikel enthält. Der kartierte Dichteunterschied wird allein durch den geringen Wärmeunterschied und die chemische Zusammensetzung des Fluids erzeugt. Höhe der „Rauchfahne“ etwa 80 m, keine Überhöhung.

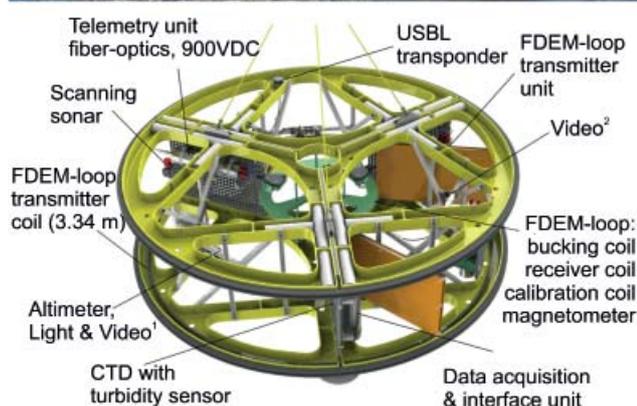
GOLDEN EYE

Etablierte Methoden der seismischen Erkundung mariner Rohstoffvorkommen sind zur Exploration von submarinen Massivsulfiden, Manganknollen, Phosphoriten und Schwermineralseifen nur bedingt aussagekräftig. Im Gegensatz dazu sind elektromagnetische (EM) Messverfahren vom physikalischen Ansatz besonders zur Erfassung elektrisch leitfähiger und/oder magnetisch kontrastierender mariner Erzvorkommen geeignet. An Land und in der Luft sind EM Verfahren zur Erzexploration etablierte Standardverfahren. Der Tiefseeinsatz in den morphologisch komplexen Arbeitsgebieten mittelozeanischer Rücken erfordert ausreichend große, räumlich stabile, operationell robuste und hochmobile Messsysteme, welches die in der Öl- und Gas-Exploration etablierten marinen EM Systeme nicht realisieren. Der im Auftrag der BGR an der Universität Bremen entwickelte EM-Profilier GOLDEN EYE erfüllt diese hohen Ansprüche und ermöglicht zudem ein optisches Umwelt-Monitoring potentieller Abbaugebiete.

Der GOLDEN EYE-Profilier der BGR (Abb. 6) ist ein neues und innovatives elektromagnetisches Messsystem, das speziell für den Tiefseeinsatz in morphologisch komplexen Arbeitsgebieten entwickelt wurde. Die verwendete Messmethodik liefert physikalische Schlüsselparameter und Strukturinformationen von aktiven und fossilen Hydrothermallagerstätten mit einer Sondierungstiefe von ca. 20 m. Aufgrund des hohen Eisen-, Kupfer- bzw. Zinkgehaltes der Massivsulfide sind die Lagerstätten i. a. sehr gute elektrische Leiter, zu deren Erfassung sich sowohl an Land wie auch in der Tiefsee elektromagnetische Spulensysteme besonders eignen. Auf GOLDEN EYE erzeugt eine große und leistungsstarke Induktionsspule mit knapp 3.5 Metern Durchmesser ein magnetisches Wechselfeld, welches elektrische Wirbelströme in leitfähige Materialien induziert. Je niedriger die Frequenz des Wechselfeldes, desto größer ist die Sondierungstiefe. Durch die Verwendung unterschiedlicher Sendefrequenzen zwischen 15 Hz und 20 kHz können so die elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Untergrunds räumlich erfasst und modelliert werden. Die Messung erfolgt dabei mit sehr empfindlichen magnetischen Sensoren im Zentrum der Messanordnung.

Um die hochempfindlichen elektromagnetischen Messungen zu ermöglichen, wurde GOLDEN EYE aus besonders robusten, elektrisch nichtleitenden und unmagnetischen Glasfaser- (GFK-)Elementen gefertigt. Der GFK-Geräteträger bietet ebenfalls Platz für komplementäre Mess- und Regelungssysteme in entsprechenden Druckgehäusen: für Kameras und Beleuchtung, eine akustische Positionierung und Mes-

Abb. 6. Der GOLDEN EYE Profiler wird vom Tiefsee-Forschungsschiff SONNE ausgesetzt; (unten) Systemaufbau des GOLDEN EYE EM Profilers (aus MÜLLER et al. 2018).



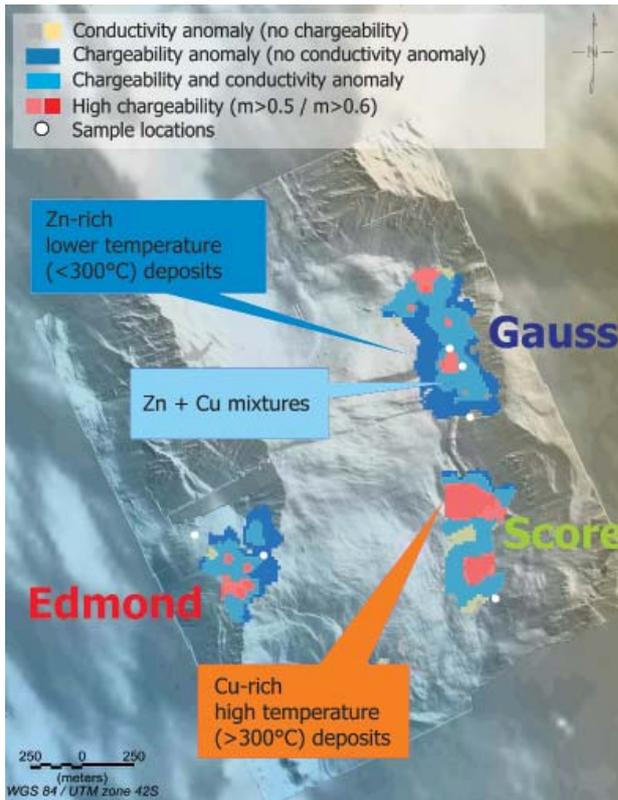


Abb. 7. Kartierung von Zink (Zn) und Kupfer (Cu) reichen Mineralablagerungen im Umfeld des Edmond Hydrothermalfeldes am Zentralindischen Rücken in ca. 3000 m Wassertiefe (aus MÜLLER et al. 2018).

sung des Grundabstands, Sonarsysteme, Lagesensoren, ozeanografische Messgeräte und ein elektrisches Dipol-Dipol Messsystem zur Erfassung des Gleichstromwiderstands und der Aufladbarkeit des nahen Untergrunds. Zur Vermessung kann GOLDEN EYE sowohl auf dem Meeresboden abgesetzt als auch im Abstand von zwei bis fünf Metern über Grund schwebend kartieren. Die Daten werden dabei in Echtzeit über das Tiefseekabel des Schiffes übertragen und direkt zur Kartierung des Meeresbodens abgebildet.

Die Effizienz der Methode wurde kürzlich in einem Artikel im Magazin „First Break“ der European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) vorgestellt

(MÜLLER et al., Oktober 2018). Die Ergebnisse liefern ein sehr scharfes Bild der Verteilung aktiver und fossiler Hydrothermallagerstätten in der Umgebung des Edmond-Hydrothermalfeldes im deutschen Lizenzgebiet in ca. 3.000 m Wassertiefe. Die Messungen bilden Bereiche erhöhter Zink- und Kupferkonzentrationen sowie die räumliche Ausdehnung und Mächtigkeit der Massivsulfidkörper ab (Abb. 7 und Abb. 8). Diese Informationen werden zur Volumenermittlung und Lagerstättenbewertung benötigt und dienen als Planungsgrundlage zukünftiger Erkundungsbohrungen.

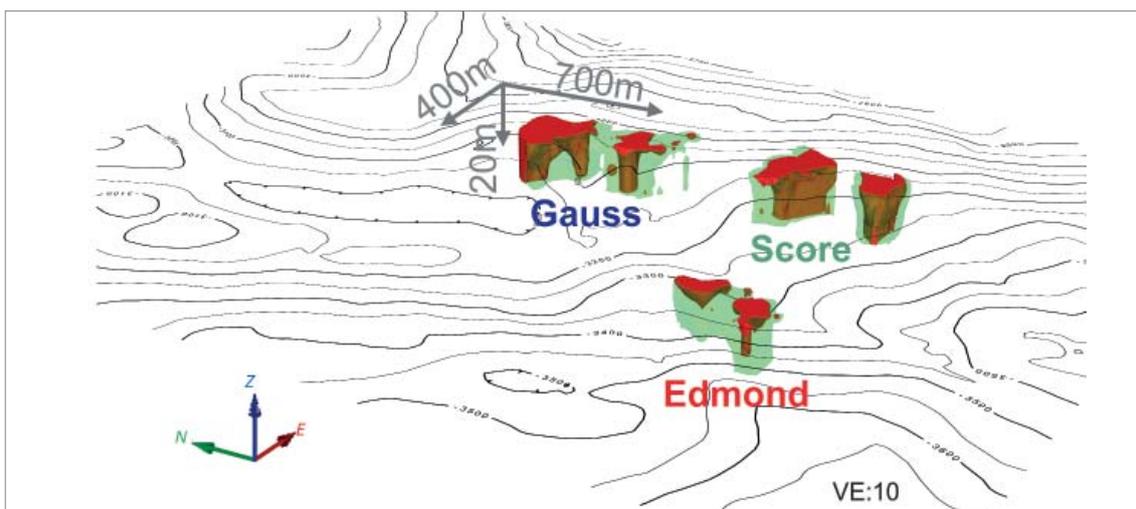


Abb. 8. Dreidimensionale Leitfähigkeits-Struktur der Massivsulfidvorkommen Edmond (aktives Hydrothermalfeld), Gauss und Score (beides inaktive, fossile Felder). Grüne (transparente) Bereiche zeichnen sich durch eine deutlich erhöhte elektrische Leitfähigkeit (>1.65 S/m) aus. Rot eingefasste Bereiche zeigen eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit (>2 S/m), die auf einen hohen Erzgehalt schließen lässt (aus MÜLLER et al. 2018).

EXPLORATIONSTECHNIK FÜR MANGANKNOLLEN IM PAZIFISCHEN OZEAN

Die polymetallischen Manganknollen kommen als schwarzbraune Konkretionen mit Durchmessern zwischen 1 und 15 cm in den sedimentbedeckten Tiefsee-Ebenen aller Ozeane in 4.000 bis 6.000 m Wassertiefe vor. Sie treten vorwiegend direkt am Meeresboden oder in den obersten 10 cm auf und können in großen zusammenhängenden Flächen den Meeresboden bis über 50 % bedecken. Sie bilden daher zweidimensionale Lagerstätten am Meeresboden. Für die Bewertung der Manganknollen-Vorkommen ist neben dem Metallgehalt die sogenannte Belegungsdichte, die in Kilogramm pro Quadratmeter (kg/m^2) angegeben wird, entscheidend. Unsere Arbeiten haben gezeigt, dass zusammenhängende Manganknollen-Felder am Meeresboden immer durch eine von zwei Faziestypen dominiert werden. Entweder bestehen die Felder aus kleinen Manganknollen mit einem dominierenden Knolldurchmesser von durchschnittlich 3,3 cm oder aus Knollen mit einem dominierenden Durchmesser von 5,7 cm. Darüber hinaus sind Felder mit kleinen Knollen durch eine sehr geringe Spreizung der Knollengrößenverteilung, durch eine hohe Anzahl an Knollen pro Flächeneinheit (ca. 1.000 Knollen pro Quadratmeter) sowie durch mittlere Belegungsdichten von $17,2 \text{ kg/m}^2$ (Naßgewicht) gekennzeichnet. Im Gegensatz dazu zeichnen sich die Felder mit großen Knollen durch eine große Spreizung der Größenverteilung, eine deutlich geringere Anzahl pro Fläche (ca. 320 Knollen pro Quadratmeter) sowie durch mittlere Belegungsdichten von $21,6 \text{ kg/m}^2$ aus (Abb. 9).

Die Verteilung der verschiedenen Knollenfazies kann mit einem herkömmlichen 12 kHz-Fächerecholotsystem von einem Oberflächenschiff aus kartiert werden (KUHNE et al., 2018). Dazu werden die sog. Rückstreudaten (engl. Backscatter) verwendet, die simultan zu den Tiefendaten von einem Fächerecholotsystem aufgezeichnet werden (z. B. Simrad EM 122). Die Rückstreudaten liefern Informationen über die geologischen Bedingungen am Meeresboden. Hohe Rückstreudaten sind typisch für Festgesteine wie Basalte, während weiche, wassergesättigte Sedimente durch geringe Werte gekennzeichnet sind. Sind solche Tiefseesedimente mit Manganknollen belegt, liegen die Rückstreuwerte um 11 bis 13 dB höher als bei gleichen knollenfreien Sedimenten. Darüber hinaus kann mittels der Rückstreudaten zwischen Feldern mit kleinen Knollen (<4 cm durchschnittliche Knollengröße) und solchen mit großen Knollen (>4 cm) unterschieden werden. Diese Unterscheidung beruht auf dem physikalischen Prinzip, dass hydroakustische Druckwellen an Oberflächen mit unterschiedlicher Mikrorauigkeit unterschiedlich zurückgestreut werden. Wie die jeweilige Fläche streut, hängt von der „relativen Frequenz“ ab, die über den Radius der Objekte am Meeresboden und die verwendete Wellenlänge (Frequenz) definiert ist. Ist die relative

ÖFFENTLICHKEITSVERANSTALTUNG ZU EINEM GEPLANTEN KOLLEKTORTEST IM MANGANKNOLLENGÜRTEL

Im April 2019 ist im deutschen Manganknollenlizenzengebiet im Zentralpazifik ein Kollektortest geplant. Der Kollektor - ein etwa 4 mal 8 Meter großes raupenartiges Tiefseefahrzeug, entwickelt durch die belgische Firma DEME-GSR - soll in einem Testgebiet von circa 0,1 Quadratkilometer Fläche innerhalb von vier Tagen Manganknollen vom Meeresboden einsammeln. Der Test wird in rund 4.100 Meter Meerestiefe stattfinden.

Die BGR ist als Lizenzinhaber für das Umweltmonitoring zuständig. Der Test wird wissenschaftlich von dem europäischen Forschungskonsortium JPI-Oceans „MiningImpact“ unter Leitung des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung begleitet. Dabei werden verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt der Tiefsee untersucht, wie z. B. der Einfluss auf die am Meeresboden lebenden Tiere sowie die räumliche und zeitliche Ausbreitung der aufgewirbelten Sedimentpartikel im Umfeld des Testgebietes.

Am 29. Oktober 2018 hatte das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) als deutsche Meeresbodenbergbaubehörde verschiedene Natur-, Umweltschutz- und Industrieverbände zu einer Informations- und Diskussionsveranstaltung eingeladen. Die Verbände hatten vorab schriftliche Stellungnahmen zum geplanten Test abgegeben und hatten so die Möglichkeit unter Moderation des LBEG ihre Standpunkte zu verdeutlichen und Fragen an die BGR, das GEOMAR und die belgische Firma DEME-GSR zu stellen. An der Veranstaltung im Geozentrum Hannover nahmen etwa 20 Interessenten teil.

Das LBEG wird jetzt gemeinsam mit dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und dem Umweltbundesamt die eingereichten Stellungnahmen auswerten. Die Ergebnisse der Auswertung sollen bei dem geplanten Test der Firma DEME-GSR und dem begleitenden Monitoring der BGR und des Forschungskonsortiums „MiningImpact“ berücksichtigt werden.

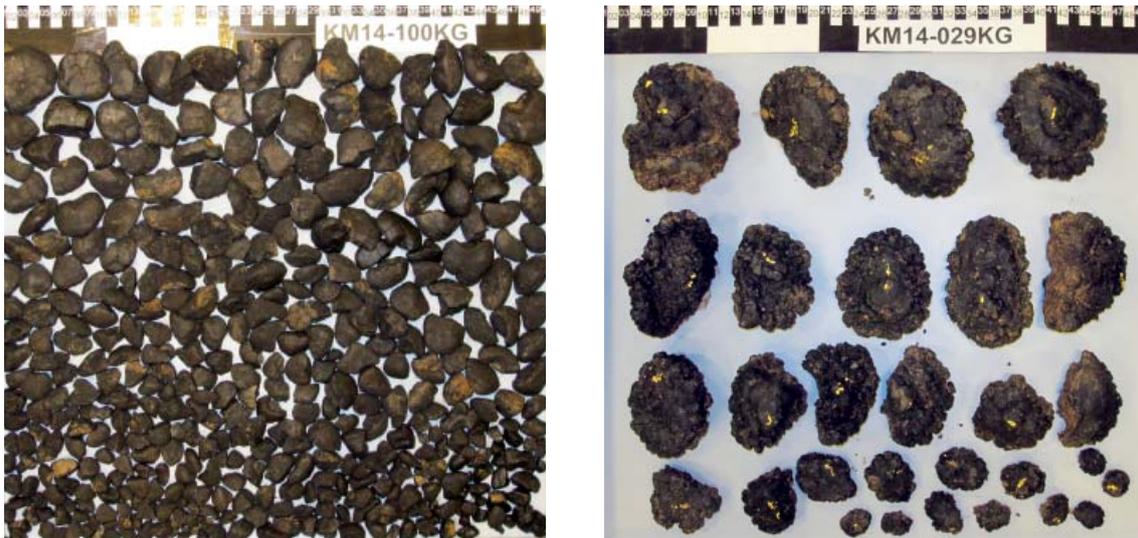


Abb. 9: Manganknollen aus einem Feld mit dominierend kleinen Manganknollen (< 4 cm; links) und dominierend großen Manganknollen (> 4 cm; rechts). Die Ablage entspricht den Maßen eines Kastengreifens (50 cm x 50 cm). Die unterschiedliche Charakteristik im Hinblick auf Knollengrößen und deren Verteilung sowie Beschaffenheit und Anzahl der Knollen pro Fläche werden deutlich. Die gelben Punkte auf den Knollen markieren die Oberfläche am Meeresboden.

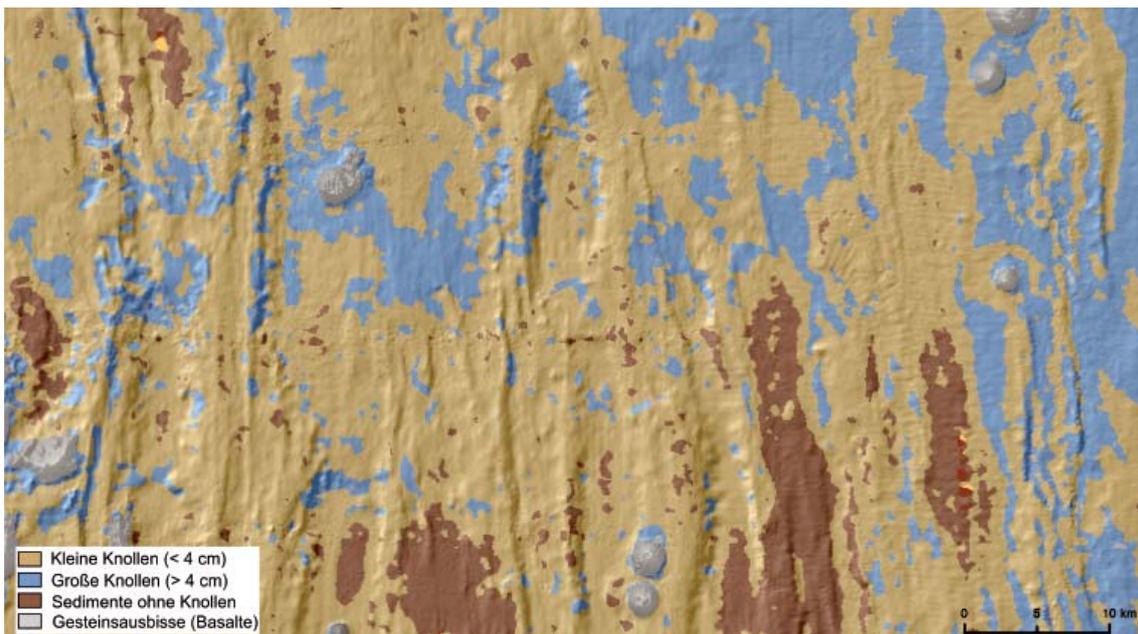


Abb. 10: Faziesverteilung in einem 3.500 km² großen Teilgebiet des deutschen Lizenzgebietes basierend auf der Auswertung der Rückstreudaten. Es wird deutlich, dass die unterschiedlichen Knollenfazies große, zusammenhängende Flächen bedecken. Die Faziesverteilung wurde auf die Schattierung der Meeresboden-Topographie gelegt. Es sind N-S-orientierte tektonische Strukturen erkennbar.

Frequenz kleiner 1, streut die Fläche eher regelmäßig (sog. Rayleigh-Streuung), ist sie größer 1 streut sie eher unregelmäßig (sog. Mie-Streuung). Ein Wert von 1 wird bei einem 12 kHz-System bei einem Partikeldurchmesser von 4 cm erreicht.

Mit Hilfe dieser Methode können große Flächen des Meeresbodens im Hinblick auf die Verteilung der Knollenfazies kartiert werden. Da jede Knollenfazies durch mittlere Belegungsdichten gekennzeichnet sind, kann so die Belegungsdichte an Manganknollen über große Flächen abgeschätzt und wirtschaft-

lich interessante Gebiete von weniger interessanten abgegrenzt werden. Erstere müssen dann noch detailliert geologisch untersucht werden, um eine Lagerstätte nach internationalen Standards (z. B. JORC) klassifizieren zu können. Mit der oben beschriebenen Backscatter-Methode können jedoch ganze Lizenzgebiete (75.000 km²) effizient erfasst und einer ersten Bewertung unterzogen werden (Abb. 10).

TERMINE • TAGUNGEN • WORKSHOPS

26.11. – 29.11.2018: UBA/ IASS International Expert Workshop: A Benefit sharing mechanism appropriate for the Common Heritage of Mankind; IASS, Potsdam

26.11. – 28.11.2018: Sustainable Blue Economy Conference, Nairobi, Kenya

Februar 2019: Sitzung des Rats der Internationalen Meeresbodenbehörde

Februar bis Mai 2019: DEME-GSR Kollektor-Komponententest im belgischen und deutschen Lizenzgebiet zur Exploration von Manganknollen; begleitendes Umwelt-

monitoring im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts JPIO – MiningImpact

Juli 2019: Jahressitzung des Rats und der Versammlung der Internationalen Meeresbodenbehörde

September 2019: Underwater Mining Conference, China

REFERENZEN UND LINKS

KUHN, T., UHLENKOTT, K., MARTINEZ, P., VINK, A., RÜHLEMANN, C. (2018): MANGANESE NODULE FIELDS FROM THE NE PACIFIC AS BENTHIC HABITATS. IN: P. HARRIS, E. BAKER (Eds.): Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat, 2nd edition. Elsevier, Chapter 38.

MÜLLER H., SCHWALENBERG K., REECK K., BARCKHAUSEN U., SCHWARZ-SCHAMPERA U., HILGENFELDT C., VON DOBENECK T. (2018) Mapping seafloor massive sulfides with the Golden Eye frequency-domain EM profiler. First Break, 36, 61 - 67.

Draft Regulations on Exploitation for Mineral Resources in the Area (Stand Juli 2018); https://www.isa.org/jm/sites/default/files/files/documents/isba24_itcwp1rev1-en_0.pdf

Europäisches Forschungsprojekt JPIO – MiningImpact; <http://jpi-oceans.eu/miningimpact-2/>; <https://miningimpact.geomar.de/>

DEME-GSRs Patania II Pre-Prototyp Knollenkollektor: <https://www.deme-group.com/news/deme-unveils-innovative-nodule-collector-pre-prototype-patania-ii>

IMPRESSUM

Herausgeber:

© **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, November 2018**

B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe

B1.4 Marine Rohstofferkundung

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Stilleweg 2 • 30655 Hannover

E-Mail: mineralische-rohstoffe@bgr.de

www.bgr.bund.de