

C Rühlemann, M. Blöthe, A. Eisenhauer,  
M. Frank, A. Janssen, S. Kasten, T. Kuhn,  
P. Martínez Arbizu, K. Mewes,  
A. Schippers, A. Wegorzewsk



Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

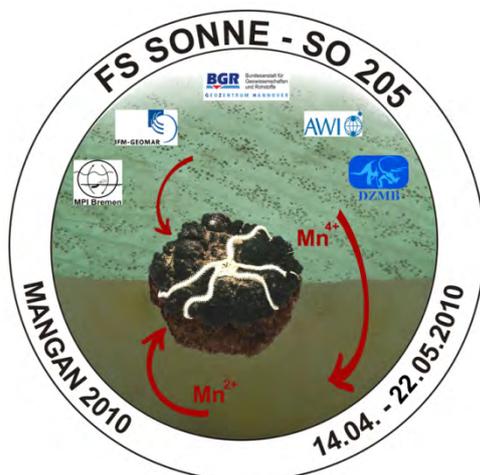
## Fachlicher Abschlussbericht

Forschungsvorhaben 03G0205A - D

# MANGAN

## FS SONNE-Expedition SO205

Mikrobiologie, Geochemie,  
Paläozeanographie und Biodiversität  
im Manganknollengürtel des  
äquatorialen NE-Pazifik



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Abschlussbericht SO205 - MANGAN

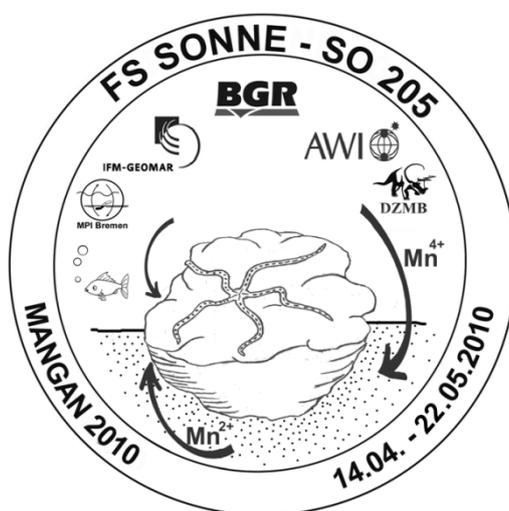
Mikrobiologie, Geochemie, Paläozeanographie und Biodiversität  
im Manganknollengürtel des äquatorialen NE-Pazifik

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, GEOMAR, Kiel

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, Wilhelmshaven



Koordinator	C. Rühlemann (BGR)
Projektleiter	A. Eisenhauer, M. Frank (GEOMAR), S. Kasten (AWI), P. Martínez Arbizu (DZMB), A. Schippers (BGR)
Wissenschaftliche Beiträge	M. Blöthe, A. Eisenhauer, M. Frank, A. Janssen, S. Kasten, T. Kuhn, P. Martínez-Arbizu, K. Mewes, C. Rühlemann, A. Schippers, A. Wegorzewski
Auftraggeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen	03G0205A (BGR), 03G0205B (GEOMAR), 03G0205C (AWI), 03G0205D (DZMB)
Ort, Datum	Hannover, 31. Juli 2013

*Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren*



# Abschlussbericht

## BMBF-Verbundvorhaben SO205 - MANGAN

<b>Koordinator</b>	<b>Dr. C. Rühlemann</b> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Stilleweg 2 30655 Hannover ☎ 0511/643-2412, 💻 c.ruehlemann@bgr.de
<b>Projektleiter</b>	<b>Prof. Dr. Anton Eisenhauer</b> Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR) Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel ☎ 0431/600-2282 💻 aeisenhauer@geomar.de
	<b>Prof. Dr. Martin Frank</b> Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR) Wischhofstraße 1-3 24148 Kiel ☎ 0431/600-2218 💻 mfrank@geomar.de
	<b>PD Dr. Sabine Kasten</b> Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung Am Handelshafen 12 27570 Bremerhaven ☎ 0471/4831-1936 💻 sabine.kasten@awi.de
	<b>Prof. Dr. Pedro Martínez Arbizu</b> Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung Forschungsinstitut Senckenberg Südstrand 44 26382 Wilhelmshaven ☎ 04421/9475-100 💻 pmartinez@senckenberg.de
	<b>Prof. Dr. Axel Schippers</b> Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Stilleweg 2 30655 Hannover ☎ 0511/643-3103 💻 axel.schippers@bgr.de
<b>BMBF-Förderkennzeichen</b>	03G0205A (BGR), 03G0205B (GEOMAR), 03G0205BC (AWI), 03G0205D (DZMB)
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	1.2.2010 bis 31.1.2013
<b>Berichtszeitraum:</b>	1.2.2010 bis 31.7.2013

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung, Voraussetzungen und Durchführung des Vorhabens.....</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung.....	1
1.2	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Projektes.....	6
1.4.1.	Frühdiaagenetische Prozesse und Bildungswege von Manganknollen.....	6
1.4.2.	Mikrobielle Prozesse der Manganknollen-Genese.....	7
1.4.3.	Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation.....	7
1.4.4.	Diversität der benthischen Lebensgemeinschaft.....	8
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
<b>2</b>	<b>Wissenschaftliche Ergebnisse, zahlenmäßiger Nachweis und Nutzen.....</b>	<b>8</b>
2.1	Wissenschaftliche Ergebnisse.....	8
2.1.1.	Frühdiaagenetische Prozesse und Bildungswege von Manganknollen (AWI)	8
2.1.2.	Mikrobielle Prozesse der Manganknollen-Genese (BGR).....	11
2.1.3.	Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation (GEOMAR).....	12
2.1.4.	Diversität der benthischen Lebensgemeinschaft (DZMB).....	14
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	27
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	28
2.4	Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse .....	28
2.5	Fortschritte anderer Arbeitsgruppen auf dem Gebiet des Vorhabens.....	30
2.6	Referenzliste.....	30
<b>3</b>	<b>Liste der Veröffentlichungen.....</b>	<b>32</b>
3.1	Publikationen und Manuskripte (PDFs).....	32
3.2	Manuskripte in Vorbereitung.....	33
3.3	Dissertationen.....	34
3.4	Diplom-/Masterarbeiten und Bachelorarbeiten.....	34
3.5	Berichte.....	35
3.6	Tagungsbeiträge (Vorträge, Poster).....	35
<b>Anlage 1: Vertraulicher Erfolgskontrollbericht (aus der Kopie entfernt)</b>		
1.	Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	1
2.	Wissenschaftlich-technischer Erfolg des Vorhabens.....	1
2.1.	Neodym Konzentrationen und -isotopie in der Wassersäule.....	1
2.2.	Datierung der Manganknollen, krusten und Sedimente.....	2
2.3.	Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation aus Manganknollen und -krusten.....	4
2.4.	Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation aus Sedimentkernen.....	5
2.5.	Vergleich der Archive zur Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation.....	6
2.6.	Spätquartäre Wachstumsraten und Geochemie der Knolle 56KG2.....	8

### Anlage 2: Publikationen und Manuskripte

## Vorbemerkung

Das interdisziplinäre Projekt MANGAN wurde in Kooperation von BGR, GEOMAR, AWI und DZMB durchgeführt. Die Förderung erfolgte separat, wir haben jedoch einen gemeinsamen Abschlussbericht erstellt, da sich die wissenschaftlichen Fragestellungen der vier Arbeitsgruppen sehr gut ergänzen und Analyseergebnisse eines Instituts oft auch von den anderen Gruppen verwendet wurden.

# 1 Aufgabenstellung, Voraussetzungen und Durchführung des Vorhabens

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Bundesrepublik Deutschland hat im Juli 2006 mit der Internationalen Meeresbodenbehörde einen 15 Jahre laufenden Vertrag über die Erforschung polymetallischer Knollen in einem Lizenzgebiet im nordöstlichen äquatorialen Pazifik geschlossen. Diese Lizenz sieht die Untersuchung der polymetallischen Knollen sowie die Erhebung von Daten über Umweltparameter inklusive der biologischen Vergesellschaftung vor. Im Rahmen des MANGAN-Projektes sollten in einer Kooperation von BGR, GEOMAR, AWI und DZMB folgende fachübergreifend angelegten Forschungstätigkeiten im deutschen Lizenzgebiet durchgeführt werden:

**(1) Untersuchungen zur Genese von Manganknollen durch die Aufklärung mikrobieller und frühdiagenetisch-abiotischer Prozesse.** Ziel der geomikrobiologischen Arbeiten im Erkundungsgebiet war die Untersuchung der Bedeutung des mikrobiellen Mangankreislaufs für die suboxische Diagenese. Um den Beitrag von Mikroorganismen für die Bildung von Manganknollen abschätzen zu können, sollten mit molekularökologischen Methoden die mikrobiellen Lebensgemeinschaften auf der Oberfläche der Manganknollen sowie in den darunter liegenden Sedimenten charakterisiert werden. Relevant waren hierbei vor allem Mikroorganismen, die Mn mobilisieren (anaerobe Mn(IV)-Reduzierer) oder immobilisieren (aerobe Mn(II)-Oxidierer). Vertreter dieser Gruppen sollten zudem klassisch mikrobiologisch angereichert, isoliert und physiologisch charakterisiert werden, um das Manganknollen-Bildungspotential der Mikroorganismen abschätzen zu können.

Die Analysen der Porenwasser- und Festphasengeochemie sollten durchgeführt werden, um die Verfügbarkeit und Reaktivität verschiedener Eisen- und Manganminerale für biogeochemische Prozesse in der „tieferen Biosphäre“ zu untersuchen. Weiterhin sollten hochauflösende Konzentrationsprofile von Sauerstoff und anderen gelösten Porenwasser-Inhaltsstoffen bestimmt werden, um die Sauerstoffeindringtiefe und die (gegenwärtige) Bedeutung der suboxischen Diagenese im Vergleich zu den anderen Akkretionsprozessen (hydrogenetisch, oxisch-diagenetisch) zu quantifizieren. Begleitende Festphasenuntersuchungen an den Sedimentkernen sollten klären, ob ein erhöhter Eintrag organischen Materials in der Vergangenheit möglicherweise zu einer Verflachung der Redoxzonierung und einem zeitweise signifikanten diffusiven Transport von gelösten Metallen an die Sedimentoberfläche und einem erhöhten Wachstum der Manganknollen durch suboxische Diagenese geführt hat.

**(2) Rekonstruktionen der steuernden Parameter während der Knollenbildung wie Tiefenwasserzirkulation, Durchlüftung des Bodenwassers und Paläoproduktivität mit geochemischen und isotopengeochemischen Methoden.** Über die Messung radiogener Isotopensysteme (Nd, Pb; Sr) und der Elementverteilungen sollten die vergangene Wassermassenzusammensetzung und die Bildungsbedingungen der polymetallischen Manganknollen und -krusten im deutschen Lizenzgebiet im Zentralpazifik untersucht werden. Hierzu sollten zunächst die Wachstumsraten ausgewählter Manganknollen und -krusten unterschiedlicher Morphologie und unterschiedlichen Ablagerungsmilieus sowie ausgewählte Mangankrusten und Knollen mittels des kosmogenen Radionuklids  $^{10}\text{Be}$  und radioaktiver U-Serien-Isotope ( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) datiert werden. Darüber hinaus sollten die Auswirkungen von Änderungen der Umweltbedingungen, wie der Sauerstoffverfügbarkeit (Redoxbedingungen), Tiefenwasserzirkulation und der Bioproduktivität auf das Wachstum und die Zusammensetzung der polymetallischen Knollen und Krusten über die letzten 10 Millionen Jahre mittels Isotopenmessungen untersucht werden. Flankierend sollten diese Messungen durch einen innovativen Ansatz mittels der Bestimmung nicht-traditioneller Isotopensysteme (Mo, Fe) ergänzt werden, um die Migrationswege der Metalle, aus denen sich die Mn-Knollen und -Krusten auf Sediment und Hartsubstraten bildeten, zu verstehen. Insbesondere sollte durch einen Vergleich der Nd- und Pb-Isotopendaten von Mn-Krusten und -Knollen die Änderungen der Wassermassenzusammensetzung rekonstruiert werden. Hierzu war es auch von Bedeutung Messungen der radiogenen Isotope in der Wassersäule, sowie der authigenen Fe-Mn-Oxyhydroxide in den darunterliegenden Sedimenten (die ebenfalls mittels  $^{10}\text{Be}$  datiert wurden) durchzuführen.

**(3) Untersuchungen zur qualitativen und quantitativen Zusammensetzung und zur Diversität der benthischen Lebensgemeinschaften.** Die Untersuchungen zur Biodiversität der benthischen Gemeinschaften hatten das Ziel, die Abhängigkeit der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung und der Diversität der benthischen Lebensgemeinschaften im östlichen Zentralpazifik von der Topographie und Exposition in der Wassersäule und der daraus resultierenden Faziesbeschaffenheit des Meeresbodens zu untersuchen. Weiterhin sollte der Einfluss des äquatorialen Oberflächen-Strömungssystems mit einer nach Westen hin abnehmenden Exportproduktion (und damit abnehmenden Nährstoff-Zufuhr zum Meeresboden) auf die benthische Faunenvergesellschaftung erfasst werden. Im Einzelnen wurden folgende Themenkomplexe bearbeitet:

- a) Untersuchung der Abhängigkeit der Faunenvergesellschaftung und der Diversität vom Knollenfaziestyp (dichte Knollenbelegung gegenüber knollenfreien Zonen)
- b) Bestimmung des Einflusses der Topographie auf die Faunenvergesellschaftung und die Diversität durch die Beprobung von Tiefseekuppen, Hanglagen und Beckenpositionen mit unterschiedlich mächtiger semiliquider Oberflächensedimentschicht
- c) Einfluss des E-W gerichteten äquatorialen Strömungssystems und der nach Westen sukzessive verringerten Nährstoffzufuhr auf die Faunenvergesellschaftung und Diversität.

Durch den Vergleich der Fauna des deutschen und des 1300 km westlich gelegenen französischen Lizenzgebietes, das zuvor ebenfalls von der Arbeitsgruppe des DZMB untersucht wurde, sollte mithilfe morphologischer und molekularer Methoden erstmals ein Großflächenvergleich durchgeführt werden. Ziel dieses Vergleichs war es, eine verbesserte Datengrundlage für die Bestimmung der Empfindlichkeit der Fauna der Manganknollenfelder gegenüber Störungen zu liefern.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung von MANGAN umfassten:

- Zwei durch die BGR finanzierte Expeditionen zur Vermessung der Bathymetrie und Schallhärte in den Jahren 2008 und 2009. Damit wurde eine ausgezeichnete Grundlage für die spezifischen Detailarbeiten der MANGAN-Kampagne geschaffen.
- Finanzierung der Schiffs- und Transportkosten der Expedition SO205 mit FS SONNE durch das BMBF in 2010.
- Bereitstellung von Probenahmegeräten (Kolbenlot, Schwerelot, Multicorer, Großkastengreifer, etc.) durch BGR und DZMB für den Zeitraum der SO205-Expedition.
- Finanzierung von wissenschaftlichem Personal durch das BMBF, darunter:
  - a) Postdoc-Stelle, BGR (Dr. Marco Blöthe, 26 Monate) für die molekularbiologische quantitative Analyse und Diversitätsanalyse der Mikroorganismen an Manganknollen und den darunter liegenden Sedimenten sowie die Anreicherung, Isolierung und Charakterisierung von anaeroben Mn(IV)-Reduzierern und aeroben Mn(II)-Oxidierern.
  - b) Doktorandenstelle, AWI (Konstantin Mewes, 26 Monate) für die Analytik von Porenwasserinhaltsstoffen und der sedimentären Festphase sowie der Modellierung der Transport/Reaktionsprozesse. in Sediment Die Stelle wurde durch AWI-Mittel auf eine Gesamtdauer von 36 Monaten aufgestockt.
  - c) Doktorandenstelle, GEOMAR (Lasse Heuer, 26 Monate) für die Durchführung und paläozeanographische Auswertung der isotopengeochemischen Messungen an den Manganknollen und -krusten und Sedimente (radiogene Nd, Pb, Sr-Isotope; nicht-traditionelle Isotope). Die Stelle wurde durch GEOMAR-Mittel auf eine Gesamtdauer von 36 Monaten aufgestockt.
  - d) Doktorandenstelle, DZMB (Annika Janssen, 26 Monate) für die Untersuchung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung sowie der Diversität der benthischen Lebensgemeinschaften mit molekularbiologischen Methoden einschließlich des Vergleichs mit den französischen Lizenzgebiet. Die Stelle wurde durch DZMB-Mittel auf eine Gesamtdauer von 36 Monaten aufgestockt.
  - e) Drei studentische Hilfskräfte (BGR, AWI, GEOMAR) für die Aufbereitung von Probenmaterial.
- Umfangreiche Bereitstellung von Laborinfrastruktur in BGR, GEOMAR, AWI und DZMB.
- Etablierung und Weiterentwicklung von Analysemethoden (z.B. zur Messung der Isotopie von Nd und Pb in Wässern, Manganknollen und -krusten und Sedimenten).
- Bereitstellung von Sedimentkern- und Probenlager durch die BGR.
- Datenhaltung und Datenverwaltung in der PANGAEA-Datenbank ([www.pangaea.de](http://www.pangaea.de)).
- Finanzierung von zwei nachfolgenden Expeditionen in das deutsche Lizenzgebiet durch die BGR in 2012 und 2013, deren Daten zur mineralogischen und chemischen Zusammensetzung der Manganknollen, zur Biodiversität und zur Porenwasserchemie ebenfalls für die Beantwortung der Fragestellungen des MANGAN-Projektes herangezogen wurden.
- Zusätzliche Personalmittel von GEOMAR, AWI und DZMB zur Aufstockung der Doktorandenstellen von 26 auf 36 Monate.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Winter 2009/10 diente den logistischen Vorbereitungen für die Expedition SO205. Nach zwei Vorbereitungstreffen an der BGR wurde die 35-tägige Expedition vom 14.4. bis 22.5.2010 in das deutsche Lizenzgebiet zur Exploration von Manganknollen im zentralen NE-Pazifik durchgeführt, mit dem Starthafen Papeete (Tahiti) und dem Zielhafen Manzanillo (Mexiko). Für die Expedition waren 23 Arbeitstage geplant. Aufgrund eines medizinischen Notfalls mussten die Stationsarbeiten jedoch nach 14 Tagen unterbrochen und der Hafen von Manzanillo angelaufen werden. Die Hin- und Rückfahrt dieses Zwischenstopps umfassten zusammen 6 Tage, so dass 17 Arbeitstage verblieben. Die ersten Ergebnisse der Expedition sind im Fahrtbericht vom August 2010 dokumentiert, der dem PTJ vorliegt.

Direkt im Anschluss an die Expedition erfolgten die Untersuchungen der entnommenen Proben in den Laboren der vier Institute (Tab. 1). Die geochemische Analytik der Porenwässer und Sedimente wurden im AWI, isotopengeochemische Untersuchungen im GEOMAR und mikrobiologische Studien in der BGR durchgeführt. Die Biodiversität wurde durch das DZMB untersucht. Ein wichtiger Bestandteil des Forschungsvorhabens waren regelmäßige Treffen der vier Arbeitsgruppen (Tab. 1 und 2), bei denen der Fortschritt der Untersuchungen vorgestellt und intensiv diskutiert sowie die Planung der weiteren Arbeiten koordiniert und angepasst wurde. Durch diese Besprechungen wurden ein ständiger Austausch von Ideen und die Zusammenarbeit der einzelnen Wissenschaftler gefördert. Dies drückt sich auch in den institutsübergreifenden Koautorenschaften der Publikationen aus (s. Kapitel 3).

**Tabelle 1.** Zeitliche Übersicht der Expedition SO205 und der durchgeführten Arbeiten.

	2010 (Quartale)				2011				2012				2013	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
<b>Fahrtvorbereitung Expedition SO205</b>	■	■												
<b>Biodiversität</b> Analytik, Auswertung			■	■	■	■	■	■	■					
<b>Geomikrobiologie</b> Analytik, Auswertung			■	■	■	■	■	■	■					
<b>Radiogene Isotope</b> Analytik, Auswertung			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Mn-Knollen, Mineralogie</b> Analytik, Auswertung			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Porenwasseranalytik</b> Probenauswertung		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Sediment, Festphasen</b> Analytik, Auswertung							■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Projekttreffen aller AGs SONNE Statusseminar</b>				■	■		■			■			■	
<b>Berichtlegung/ Publikationen</b>			■	■					■				■	■

Im April/Mai 2012 und 2013 fanden zwei Explorationsfahrten statt (BIONOD und MANGAN 2013), die durch die BGR finanziert wurden. Auf diesen beiden Expeditionen konnten für das MANGAN-Projekt, insbesondere für die geochemischen Untersuchungen und die Biodiversitätsstudien, weitere Proben gewonnen und zusätzliche Messungen durchgeführt werden, so

dass die Datengrundlage deutlich vergrößert wurde. Während der BIONOD-Expedition mit dem französischen Forschungsschiff L'ATALANTE, die 2012 in Kooperation mit dem IFREMER-Institut (Brest, Frankreich) durchgeführt wurde, konnte sowohl im deutschen als auch im 1300 km westlich gelegenen französischen Lizenzgebiet die benthische Fauna beprobt werden. Dies bot die Möglichkeit, den Grad der Verbreitung von Arten großskalig zu untersuchen. Die im Mai 2013 beendete Expedition MANGAN 2013 mit dem US-amerikanischen Forschungsschiff KILO MOANA war auf ein 2000 km<sup>2</sup> großes Teilgebiet des östlichen deutschen Lizenzgebietes fokussiert. Dort wurden weitere biologische Proben entnommen, um die Folgen einer Wiederbesiedlung nach einem potentiellen Manganknollenabbau abschätzen zu können. Die Forschungsergebnisse des MANGAN-Projektes wurden regelmäßig auf Fachtagungen vorgestellt. Die Daten der Expeditionen, Arbeitsgruppentreffen und Präsentationen der Untersuchungsergebnisse zum MANGAN-Projekt sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengefasst.

Tabelle 2: Projekttreffen und Expeditionen

Datum	Ort	Expedition / Projekttreffen	Teilnehmer
Sep 2009	BGR, Hannover	Abstimmungsgespräch zur Fahrtvorbereitung	Alle
Jan 2009	BGR, Hannover	Abstimmungsgespräch zur Fahrtvorbereitung	Alle
Apr/Mai 2010	Deutsches Lizenzgebiet	Expedition SO205 mit FS SONNE	Alle
Okt 2010	AWI, Bremerhaven	Projekttreffen der 4 Arbeitsgruppen	Alle
Sept 2011	GEOMAR, Kiel	Projekttreffen der 4 Arbeitsgruppen	Alle
Apr/Mai 2012	DE und FR Lizenzgebiet	BIONOD-Expedition mit FS L'ATALANTE	AWI, BGR, DZMB
Jun 2012	DZMB, Wilhelmshaven	Projekttreffen der 4 Arbeitsgruppen	Alle
Apr/Mai 2013	Deutsches Lizenzgebiet	MANGAN 2013-Expedition mit FS KILO MOANA	BGR, DZMB

Tabelle 3: Präsentationen der Ergebnisse der SO205-Expedition auf Konferenzen

Datum	Ort	Konferenz	Teilnehmer
Jun 2010	BSH Hamburg	Meeresumwelt-Symposium	DZMB
Nov 2010	ISA, Kingston, Jamaika	ISA-Workshop zu Umweltuntersuchungen der Lizenznehmer	BGR, DZMB
Feb 2011	BGR, Hannover	BMBF-Statusseminar FS Sonne	Alle
März 2011	IHK Kiel	4. Kieler Marktplatz: Maritime Rohstoffe	BGR
Mai 2011	WWF, Hamburg	Workshop "Ökolog. Auswirk. des Tiefseebergbaus"	BGR, DZMB
Jun 2011	Mau, Hawaii	ISOPE - Ocean Mining Symposium	BGR
Sep 2011	Aberdeen, Schottland	World Conference on Marine Biodiversity	DZMB
Sep 2011	CSU, Changsa, China	International Biohydrometallurgy Symposium	BGR
Sep 2011	Dt. Schiffahrtsmuseum, Bhv.	YouMaRes 2.0 Conference	AWI
Sep 2011	Dt. Bundestag, Berlin	SPD-Workshop "Zukunft der Meeresforschung"	BGR
Okt 2011	Marum, Bremen	2 <sup>nd</sup> Young Scientist Excellence Cluster Conference on Marine and Climate Research	AWI
Nov 2011	Prag, Tschechien	Goldschmidt-Tagung	GEOMAR
Nov 2011	Zürich, Schweiz	Swiss Geoscience Meeting	AWI
Nov 2011	BBAW, Berlin	Workshop "Bio-Resources from Oceans"	DZMB
Jan 2012	ISA, Kingston, Jamaika	Informelles Treffen von ISA und Lizenznehmern	BGR
Feb 2012	Hamburg	KDM-Workshop "Tiefsee-Observatorien"	BGR

Datum	Ort	Konferenz	Teilnehmer
März 2012	Tübingen	Vereinigung für Allg. und Angewandte Mikrobiologie	BGR
Jun 2012	BMW, Berlin	Fachtagung für Tiefseebergbau	Alle
Sep 2012	IHK Berlin	Podiumsdiskussion Maritime Wirtschaft	BGR
Okt 2012	Tongji Univ., Shanghai, China	UMI-Konferenz zum Tiefseebergbau	BGR
Okt 2012	Univ. Hannover	GeoHannover	BGR
Nov 2012	BMW, Berlin	National. Masterplan Marit. Technol. - Statustagung	Alle
Nov 2012	NGU, Trondheim, Norwegen	NGU-Workshop "Deep Sea mining in the North Atlantic"	BGR
Dez 2012	NIWA, Wellington, Australien	13 <sup>th</sup> International Deep-Sea Biology Symposium	DZMB
Dez 2012	San Francisco, USA	AGU Fall Meeting	AWI, BGR
Feb 2013	GEOMAR, Kiel	BMBF-Statusseminar FS Sonne	Alle
Feb 2013	JUB, Bremen	PTJ-Workshop "DISCOL revisited"	Alle
Feb 2013	BAM, Berlin	Fachtagung - Ökologischen Auswirkungen des Tiefseebergbaus auf die marine Umwelt	AWI, BGR, DZMB
Mai 2013	Universität Oldenburg	International Symposium on Subsurface Microbiology	BGR
Jun 2013	DZMB, Wilhelmshaven	ISA-Workshop zur Megafauna-Standardisierung	BGR, DZMB
Jun 2013	Int. Marit. Museum, Hamburg	KDM-Workshop "Tiefsee-Observatorien"	BGR, DZMB

## 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Projektes

### 1.4.1 Frühdiagenetische Prozesse und Bildungswege von Manganknollen

Die Manganknollen im Bereich des nordöstlichen äquatorialen Pazifik wurden basierend auf ihrer Mineralogie und Elementzusammensetzung verschiedenen Akkretionsprozessen zugeordnet. Die häufigsten Typen sind hydrogenetisch, diagenetisch und gemischt hydrogenetisch/diagenetisch wachsende Knollen (z.B. Halbach et al. 1981, 1988; Glasby 2006). Die Rolle der suboxischen Diagenese bei der Akkretion der Manganknollen der Clarion-Clipperton-Bruchzone (CCFZ) war zu Beginn des Projektes nur unzureichend untersucht. Einige Autoren nahmen an, dass die suboxische Diagenese – einhergehend mit der Reduktion von Manganoxiden in tieferen O<sub>2</sub>-freien Sedimentbereichen, aufwärts gerichteter Diffusion von Mn<sup>2+</sup> und Re-Präzipitation von Mn-Oxiden an der oxisch/suboxischen Redoxgrenze (Mangankreislauf) – gegenwärtig nur eine untergeordnete Rolle für das Knollenwachstum spielt (Dymond et al., 1984; Müller et al., 1988). Nach Glasby und Thijssen (1982), Knoop et al. (1998) sowie Müller et al. (1988) stellt die oxische oder „oberflächennahe“ Diagenese an der Sedimentoberfläche, welche Prozesse des aeroben Abbaus organischer Substanz und die Lösung von Silikatschalen umfasst, den wichtigsten diagenetischen Bildungspfad dar. Nach Müller (1988) stammen 96% der die Manganknollen aufbauenden Metalle aus der Zufuhr von Spurenmetallen, die an absinkendes biogenes Material gebunden sind. Die Metalle werden dabei an der Sediment/Wasser-Grenzschicht zunächst freigesetzt und anschließend in die Manganpräzipitate eingebaut. Variationen im Export organischer Substanzen zum Meeresboden bestimmen deshalb in hohem Maße die Wachstumsrate dieser authigenen Minerale.

Andererseits bestand bezüglich der suboxischen Diagenese weiterhin Unklarheit hinsichtlich der Charakterisierung des oberflächennahen Redoxmilieus der Sedimente. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass Einteilungen der Redoxzonierung fast ausschließlich auf der Basis von Nitrat-Porenwasser-Konzentrationsprofilen vorgenommen wurden. Messungen der Sauer-

stoffeindringtiefe, die eine präzise Bestimmung der Lage der oxisch/suboxischen Redoxgrenze 4 im Oberflächensediment erlaubt hätten, waren bis auf wenige Ausnahmen nicht verfügbar oder erbrachten widersprüchliche Ergebnisse. Messungen von Sauerstoffkonzentrationen (an nur einer Station) und anderen Porenwasserkomponenten von Jahnke et al. (1982) zeigten, dass die Sauerstoffeindringtiefe in den MANOP (Manganese Nodule Program) Untersuchungsgebieten des zentralen Pazifiks zwischen 10 und ca. 50 cm Sedimenttiefe liegt. Basierend auf Daten von Grundmanis und Murray (1982) kamen Müller et al. (1988) dagegen zu dem Schluss, dass die obersten (bis zu 10) Meter der Sedimente des zentralen Pazifik durchgehend oxisch sind. Für die Klärung der Frage nach Sauerstoffeindringtiefen im oligotrophen Zentralpazifik und der Bedeutung der oxischen gegenüber der suboxischen Diagenese für die Manganknollenbildung waren daher tiefere *in situ*-Messungen von O<sub>2</sub>-Konzentrationsprofilen notwendig.

#### **1.4.2 Mikrobielle Prozesse der Manganknollen-Genese**

Zu Beginn des Projektes war bekannt, dass Mikroorganismen bei den frühdiagenetischen Prozessen und Bildungswegen von Manganknollen eine wesentliche Rolle spielen. Manganknollen sind mit drei Gruppen von Bakterien besiedelt: Mn(II)-oxidierende, Mn(IV)-reduzierende und aerobe, organische Substanz abbauende Bakterien (Ehrlich, 2002). Die Mn(II)-oxidierenden Bakterien bewirken eine enzymatische Mn(II)-Oxidation und bestimmen somit entscheidend die Kinetik der Manganknollenbildung (Bakterien, die nichtenzymatisch Mn(II) oxidieren, wurden auf den Manganknollen nicht nachgewiesen). Organische Substanz wird sowohl von Mn(IV)-Reduzierern als auch von aeroben Bakterien abgebaut, was wiederum die Aktivität der Mn(II)-Oxidierer stimulieren soll. Weiterhin wird der bakterielle Abbau organischer Mn-Komplexe diskutiert, was zu einer Freisetzung von Mn<sup>2+</sup> und anschließender Oxidation und Fällung führt (Graham, 1959). Weiterhin wurden benthische Foraminiferen auf den Manganknollen gefunden, die sich vermutlich von den Bakterien ernähren und möglicherweise die Manganpräzipitation an ihrer Oberfläche bewirken (Graham & Cooper, 1959; Mullineaux, 1989; Ehrlich, 2002). Erste systematische Untersuchungen zur Mikrobiologie von Manganknollen erfolgten in den 1960er Jahren durch H. L. Ehrlich in den USA, diese basierten jedoch fast ausschließlich auf Kultivierungsmethoden. Molekularbiologische Untersuchungsmethoden, welche tiefergehende und umfangreichere Untersuchungen als kultivierungsbasierte Methoden ermöglichen, wurden erst in den letzten Jahrzehnten entwickelt. Mit diesen wurden im Projektverlauf die mikrobiellen Lebensgemeinschaften in den Manganknollen, im umgebenden Sediment und in einer Mangankruste vergleichend umfassend untersucht.

#### **1.4.3 Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation**

Neodym, Blei, und Hafnium werden durch Verwitterungsprozesse in den Ozean eingetragen. Die Isotopensignaturen dieser Spurenmetalle, die Fall von Nd und Hf im offenen Ozean quasi konservativ sind, sind charakteristisch für Wassermassen wie das Antarktische Bodenwasser oder das Pazifische Tiefenwasser. Wenn sich die Mischungsverhältnisse dieser Wassermassen ändern, verändert sich auch die Isotopenzusammensetzung im entsprechenden Verhältnis. Hydrogenetische Mangankrusten und gemischt hydrogenetisch-diagenetische Manganknollen zeichnen diese Veränderungen auf und dienen als Archiv für den Ozean der Vergangenheit (Frank, 2002; Frank et al., 2002; van de Flierdt, 2004). So konnte beispielsweise anhand dieser Untersuchungen gezeigt werden, dass sich im Laufe der letzten 3 Millionen Jahre die Zumischung des Nordatlantischen Tiefenwassers in den Südozean verringert (Frank et al., 2002) und die Zumischung des Antarktischen Bodenwassers in den Pazifik über die letzten 38 Millionen Jahre verändert hat (van de Flierdt et al., 2004). Die wenigen verfügbaren Daten aus den nur an wenigen untermeerischen Gesteinsaufschlüssen zu findenden Krusten erlauben jedoch bislang keine umfassende Rekonstruktion der Strömungsverhältnisse. Hier könnten Manganknollen als

weitverbreitete Archive für die letzten bis zu 15 Millionen Jahren (Segl et al., 1984; Frank et al., 2002) einen entscheidenden Fortschritt bringen.

#### 1.4.4 Diversität der benthischen Lebensgemeinschaft

Die Artenzusammensetzung und Besiedlungsdichte der benthischen Lebensgemeinschaften der Tiefsee waren zu Beginn des Projektes nur zu einem geringen Teil erfasst und molekularbiologische Methoden, die einen schnellen und objektiven Vergleich zwischen Individuen erlauben und zudem die Bearbeitung großer Probenmengen ermöglichen, kamen dabei nur selten zum Einsatz. Im tiefen Pazifik wurde bislang lediglich das KAPLAN-Projekt im westlichen Bereich des Mn-Knollengürtels durchgeführt und die von Frankreich initiierte Studie „NODINAUT“, an der das DZMB beteiligt war, im französischen Lizenzgebiet innerhalb der CCFZ. Die häufigsten und artenreichsten Organismengruppen der Tiefsee sind die Polychaeten, Isopoden (Macrofauna), Nematoden, Copepoden und Foraminiferen (Meiofauna) (z.B. Paterson et al., 1998; Glover, 2001; Brown et al., 2001; Gutzmann et al., 2004; Rose et al., 2005). Im NE-Pazifik wurden bereits die Lebensgemeinschaften der Polychaeten und Nematoden fragmentarisch untersucht (Glover, 2001; Lamshead et al., 2003). Beide Arbeiten zeigten eine Korrelation zwischen benthischer Diversität und Nahrungsverfügbarkeit. Bei den Polychaeten ist der Prozentsatz der neuen Arten mit 90 % deutlich höher als in anderen Tiefseebecken (Atlantik etwa 50%).

### 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

- **Eidgenössische Technische Hochschule Zürich**, Schweiz (P. Kubik, M. Christl): Kosmogenes  $^{10}\text{Be}$  zur Datierung von Mn-Knollen, Mn-Krusten und Sedimenten
- **European Synchrotron Radiation Facility**, Grenoble, Frankreich (Barbara Fayard):  $\mu$ -XANES-Spektroskopie,  $\mu$ -Strukturen von Manganknollen und Mn-Oxidationsstufen.
- **Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)**, Brest, Frankreich (Joelle Galeron, Lenaick Menot): Biodiversität
- **International Seabed Authority**, Kingston, Jamaika: Erarbeitung von Regularien und Standardisierungen zur Umweltüberwachung
- **Jacobs University Bremen** (A. Koschinsky): Spurenmetallanalytik an Mn-Knollen
- **Leibniz-Institut für Polymerforschung**, Dresden (Frank Simon): Röntgenphotoelektronenspektroskopie, Oberflächenchemie von Mn-Knollen
- **Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie** und **DFG-Forschungszentrum und Exzellenzcluster „The Ocean in the Earth System (MARUM)**, Bremen (Aude Picard, Timothy Ferdeman): Biogeochemie der Sedimente

## 2 Wissenschaftliche Ergebnisse, zahlenmäßiger Nachweis und Nutzen

### 2.1 Wissenschaftliche Ergebnisse

#### 2.1.1 Frühdiagenetische Prozesse und Bildungswege von Manganknollen (AWI)

*S. Kasten, K. Mewes*

Die Schwerpunkte der geochemischen und biogeochemischen Arbeiten im Rahmen des MANGAN-Projektes waren (1) die Ermittlung des Redoxmilieus der Sedimente der CCFZ und

der Rolle der verschiedenen Akkretionsprozesse am Wachstum der Knollen, (2) die Untersuchung und Quantifizierung der diagenetischen und biogeochemischen Prozesse in den durch sehr niedrige Gehalte an organischem Kohlenstoff charakterisierten Sedimenten, und (3) die Bestimmung der die Belegungsdichte und Größe der Manganknollen steuernden Faktoren.

Die in enger Kooperation mit Dr. Aude Picard (MPI für Marine Mikrobiologie und MARUM) durchgeführten hochauflösenden *ex situ*-Sauerstoffmessungen an Schwerelot- und Kolbenlotkernen repräsentieren die ersten jemals im Untersuchungsgebiet sowie in der CCFZ des nördlichen äquatorialen Pazifik durchgeführten tiefen Sauerstoffmessungen. Unsere Messungen zeigen, dass die Sauerstoffeindringtiefe in den untersuchten Regionen des östlichen deutschen Lizenzgebietes im Durchschnitt bei etwa 2.5 m liegt (Rühlemann et al., 2011; Mewes et al., Manuskript siehe Anlage 2). Dieses Ergebnis steht damit im Gegensatz zu Annahmen aus den 1970er und 1980er Jahren, dass die Sedimente des pazifischen Manganknollengürtels über mehrere Zehnermeter tief oxisch sind. Dieser Befund belegt, dass oxisch-diagenetische und hydrogene-tische Prozesse das gegenwärtige Wachstum der Knollen steuern, da gelöstes Mangan aufgrund der breiten oxischen Zone die Sedimentoberfläche nicht erreichen und suboxische Diagenese demnach zumindest aktuell als Bildungspfad ausgeschlossen werden kann.

Unterstützt wird diese Annahme durch die Arbeiten an einer begrabenen Manganknolle im Rahmen der Bachelorarbeit von Herrn Jan Hansen. Die Arbeit wurde in enger Kooperation mit Dr. Thomas Kuhn (BGR) durchgeführt und hatte das Ziel zu untersuchen, ob sich die begrabene Knolle gegenwärtig im Wachstum oder bereits im Stadium der Auflösung befindet. Herr Hansen hat seine Arbeit im September 2010 eingereicht und kann zeigen, dass die Knolle einen deutlichen oxisch-diagenetischen Anwachsraum zeigt, der auf eine aktuelle Wachstumsphase der Knolle hinweist.

Im östlichen deutschen Lizenzgebiet wurden vier Stationen detailliert untersucht, die sich hinsichtlich der Knollenbelegung an der Sedimentoberfläche und der Knollengröße signifikant voneinander unterscheiden (Mewes et al., Manuskript siehe Anlage 2). Die Ergebnisse der Porenwasser- und Sedimentuntersuchungen zeigen, dass Stationen mit kleinen Knollen oder ohne Knollenbelegung im Vergleich zu den Lokationen mit größeren Manganknollen durch höhere Sedimentationsraten, höhere mikrobielle Respirationsraten, geringere Gehalte mobilisierbaren Mangans sowie Mangan- und Nitratreduktion unterhalb der Sauerstoffeindringtiefe charakterisiert sind. Wie darüber hinaus  $^{230}\text{Th}$ -Messungen ergeben haben, weisen Stationen mit kleinen oder keinen Knollen Sedimentfokussierungseffekte auf, während die Standorte mit größeren Knollen durch sogenannte „winnowing“ Effekte (Sedimenterosion) geprägt sind. Wir führen die beobachteten kleinräumigen Unterschiede in der Knollengröße und in der Knollen-Belegungsdichte des Meeresbodens daher auf die auf kurzen lateralen Distanzen stark variierende Interaktion zwischen Meeresbodentopographie (z.B. Seamounts) und Bodenwasserströmungen zurück.

Auf der Basis des im Rahmen der Doktorarbeit von Herrn Konstantin Mewes gewonnenen Datensatzes wurde unter der Federführung von Dr. José Mogollón ein Transport/Reaktions-Modell entwickelt, um die geochemischen und biogeochemischen Prozesse in den Sedimenten der CCFZ an drei ausgewählten Stationen detailliert zu untersuchen und zu quantifizieren (Mogollón et al., Manuskript siehe Anlage 2). Die Simulationen ergaben, dass der Abbau der organischen Substanz nach der Ablagerung am Meeresboden zu mehr als 99 % im Bereich der oberen oxischen Zone des Sedimentes stattfindet. Die organischen Komponenten, die mit fortschreitender Sedimentation unter die Sauerstoffeindringtiefe gelangen, sind daher stark refraktärer Natur. Wie die Modellierungen weiterhin gezeigt haben, sind die Prozesse innerhalb der

suboxischen Zone der Sedimente durch sekundäre Redoxprozesse, die den Stickstoff- und den Mangankreislauf koppeln, dominiert. Ammonium, das beim aeroben Abbau im Oberflächensediment gebildet wird, diffundiert in die darunterliegende suboxische Zone, wo es als Reduktionsmittel für die Manganoxid-Reduktion fungieren kann. Das als Ergebnis dieser Reaktion entstehende Nitrat kann wiederum durch gelöstes zweiwertiges Mangan ( $Mn^{2+}$ ) zu elementarem Stickstoff ( $N_2$ ) reduziert werden. Dieser Prozess wurde bisher lediglich postuliert und ist bisher nicht quantitativ untersucht worden. Unsere Transport/Reaktions-Modellierungen legen nun den Schluss nahe, dass diese endgültige Umwandlung von Ammonium zu  $N_2$  einen bedeutenden anaeroben Stoffwechselfad darstellt, der zum Verlust reaktiven Stickstoffs (über die  $N_2$  Bildung) aus den Sedimenten des Untersuchungsgebietes führt. Darüber hinaus liefert dieser Stoffwechselfad eine Erklärung für die beobachtete Reduktion von Mangan in Sedimenten mit hohen Nitrat-Konzentrationen.

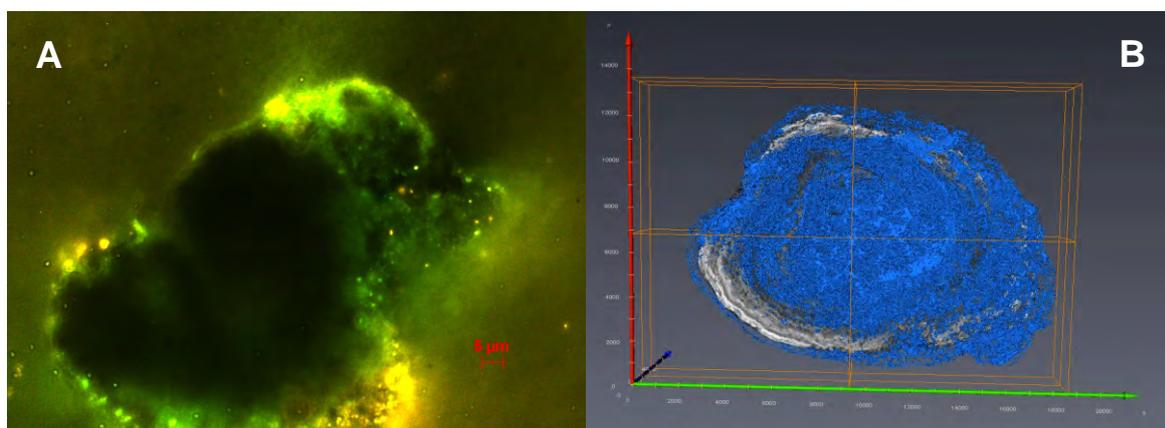
Geochemische und mineralogische Untersuchungen von Manganknollen im deutschen Lizenzgebiet haben einen stetigen Wechsel von hydrogenetisch, oxisch-diagenetisch gebildeten Lagen ( $Mn/Fe$ -Verhältnis  $\leq 3$ ) und suboxisch-diagenetischen Lagen ( $Mn/Fe$ -Verhältnis  $> 3$ ) ergeben (Wegorzewski et al., Manuskript siehe Anlage 2). Die beobachteten Wechsel weisen darauf hin, dass es im Gegensatz zum heute vorherrschenden hydrogenetischen und oxisch-diagenetischen Wachstum während der Glaziale zu einer Akkretion der Knollen durch suboxisch-diagenetische Prozesse kam. Wir untersuchen gegenwärtig, ob es während der Glazialzeiten möglicherweise zu einer Komprimierung der Redoxzonierung der Sedimente oder einem verstärkten Eintrag von Manganoxiden im Untersuchungsgebiet gekommen ist (Mewes et al., in prep. a). Als mögliche Ursachen werden (a) Änderungen im Sauerstoffgehalt des Bodenwassers bzw. in der vertikalen Ausdehnung der Sauerstoffminimumzone (OMZ), (b) ein erhöhter Fluss reaktiver organischer Substanz zum Meeresboden und/oder (c) eine partielle Ventilation der unteren OMZ am Übergang vom Glazial zum Interglazial, die zu einer Oxidation von  $Mn^{2+}$  in Teilen der OMZ und einem stärkeren Eintrag von Manganoxiden in das Sediment geführt haben, diskutiert. Laugungsversuche zur Bestimmung des Gehaltes an mobilisierbarem Mangan an Sedimenten von vier Stationen lassen darauf schließen, dass zur Zeit des letzten glazialen Maximums eine erhöhte Mobilisierung von Mangan aus den entsprechenden Sedimenthorizonten stattgefunden haben könnte, was auf eine komprimiertere Redoxzonierung zu dieser Zeit hinweist. Des Weiteren konnten  $^{230}Th$  Messungen an den betreffenden Sedimenten zeigen, dass im Verlauf der letzten 300.000 Jahre stetige Wechsel in den Sedimentationsbedingungen gab. Wir nehmen an, dass diese Wechsel das Knollenwachstum zusätzlich zu möglichen Änderungen der Redoxzonierung oder des Manganoxid-Eintrags beeinflusst haben.

Ein weiterer sehr bedeutender Befund unserer hochauflösenden *ex situ*-Sauerstoffmessungen, der über die ursprünglichen Zielsetzungen dieses Projektes hinausgeht, waren drei durchgehend oxische Schwerelot- und Kolbenlotkerne, die im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes entlang eines Profils an der Flanke eines Seamounts gewonnen wurden (Mewes et al., in prep. b). Die Stationen zeigten zunächst eine leichte Abnahme der Sauerstoffgehalte mit der Tiefe, an die sich jedoch ein Wiederanstieg der Sauerstoffkonzentrationen bis zum Ende der Kerne anschloss. Wir führen diesen Konzentrationsverlauf auf die Zirkulation von Meerwasser im Basalt des Seamounts und einen diffusiven Transfer von Sauerstoff aus der basaltischen Kruste in das darüberliegende Sediment zurück. Dieses Ergebnis legt den Schluss nahe, dass Fluid/Meerwasserzirkulation in den Seamount-Basalten ein wichtiger aktiver – wenn auch bisher weitestgehend unbekannter und unverstandener – Prozess für den Stoffaustausch zwischen Meerwasser, ozeanischer Kruste und Sediment ist und möglicherweise ebenfalls einen starken Einfluss auf geochemische und biogeochemische Prozesse in den überlagernden Sedimenten hat.

## 2.1.2 Mikrobielle Prozesse der Manganknollen-Genese (BGR)

*M. Blöthe, A. Schippers*

Hauptziel der Arbeiten in der BGR war neben der Erforschung frühdiagenetischer Prozesse die Aufklärung mikrobieller Einflüsse bei der Manganknollen-Bildung. Zur Bestimmung von Zellzahlen wurden Zählungen der Gesamtzellzahl unter dem Fluoreszenzmikroskop durchgeführt (Abbildung 1A) sowie mittels quantitativer real-time PCR (qPCR) die 16S rRNA Genkopienzahlen von Archaeen und Bakterien ermittelt. Zur phylogenetischen Charakterisierung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften wurden 16S rRNA Klondatenbanken, 16S rRNA Pyrosequenz-Daten und eine spezifische PCR angewendet. Zur Visualisierung des für eine mikrobielle Besiedlung zur Verfügung stehenden Porenraumes in den Knollen wurde zusätzlich Computertomographie eingesetzt (Abbildung 1B).



**Abbildung 1.** (A) Visualisierung von Mikroorganismen in und an einer Manganknolle im Fluoreszenzmikroskop nach Färbung mit dem in DNA interkalierenden Farbstoff SybrGreen; (B) Visualisierung des für eine mikrobielle Besiedlung zur Verfügung stehenden verbundenen Porenraumes in einer Knolle mittels Computertomographie.

Für die Untersuchung wurden ausschließlich Knollen und Sedimentkerne aus dem Multicorer verwendet. Die Kernrohre wurden durch eine Mechanik an beiden Rohrenden verschlossen. Dies gewährleistete, dass die Proben relativ ungestört ans Schiffdeck geholt werden konnten. Auch wurde dadurch vermieden, dass sowohl Knollen also auch Sediment beim hochholen vom Meeresboden nicht mit den Mikroorganismen der Wassersäule vermischt wurden. Die Knollen wurden mittels einer elektrischen Säge in vier Teile (hydrogenetisch, diagenetisch, Kernbereich und äquatorialer Rand) unterteilt. Insgesamt wurden neun Manganknollen aus sechs Arbeitsgebieten im Deutschen Lizenzgebiet untersucht.

Die Zellzahlbestimmung mittels qPCR an den neun Manganknollen zeigte eine höhere Zellzahl für Bakterien ( $9 \times 10^6$  -  $3 \times 10^8$ ) als für Archaeen ( $8 \times 10^5$  -  $8 \times 10^7$ ). Als ein deutliches Muster konnte dabei beobachtet werden, dass die Zellzahlen für Bakterien in der äquatorialen Randzone der Knollen am höchsten waren, während im Knolleninneren die geringsten Zellzahlen bestimmt werden konnten. Die Zellzahlen für den hydrogenetischen und den diagenetischen Teil lagen dazwischen. Dies korrelierte mit der gemessenen Porosität, welche von außen nach innen abnahm. Die zahlenmäßig höhere Abundanz der Bakterien in den Manganknollen im Vergleich zu den Zellzahlen für die Archaeen konnte ebenfalls an den untersuchten Sedimentkernen sowie einer Mangankruste bestätigt werden.

Die phylogenetische Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften in einer Manganknolle wurde über die Erstellung einer 16S rRNA-Gen-Klonbibliothek erfasst. Von den 925 erhaltenen 16S Klonsequenzen konnten über 90% elf phylogenetischen Gruppen zugeordnet werden. Als dominant in der Manganknolle, der Mangankruste und dem Sediment wurde hierbei die Gruppe der Proteobakterien identifiziert. In den Manganknollen waren diese mit 70%, im Sediment mit 68% und in der Mangankruste mit 46% der Klone vertreten. Die Proteobakterien der Manganknolle setzten sich mit 75% aus Gammaproteobakterien zusammen, wobei mit über 50% *Shewanella* und *Colwellia* die dominanten Gattungen stellten. Vertreter der Gattungen *Shewanella* und *Colwellia* konnten über die erstellte Klonbibliothek nur in einer Manganknolle, nicht aber im Sediment oder in der Mangankruste nachgewiesen werden. Dieser Befund konnte durch zwei weitere unabhängige Methode (Pyrosequenzierung und spezifische PCR) bestätigt werden. Vertreter dieser zwei Gattungen sind in der Literatur als Mn(IV)-Reduzierer beschrieben. Bei *Shewanella* kommt hinzu, dass für einige Arten auch eine Mn(II)-Oxidation in Kultur-experimenten gezeigt wurde. Die hohe Abundanz von Mn-oxidierenden und Mn-reduzierenden Bakterien in den Manganknollen lässt auf einen räumlich eng ablaufenden Mangankreislauf in den Knollen schließen, der für ihre Bildung eine große Rolle spielt.

### 2.1.3 Rekonstruktion der Tiefenwasserzirkulation (GEOMAR)

*A. Eisenhauer, M. Frank*

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Arbeiten im GEOMAR kurz zusammengefasst. Eine detaillierte Datenpräsentation und -interpretation finden sich im **Vertraulichen Erfolgskontrollbericht** (Anlage 1), da die wissenschaftlichen Ergebnisse überwiegend noch nicht publiziert sind.

Die Untersuchungen zeigen, dass die im Meerwasser gemessenen Nd-Konzentrationen der ungefilterten Wasserproben zwischen 8 und 58 pmol/kg liegen, wobei ein systematischer Konzentrationsanstieg mit zunehmender Wassertiefe aufgrund von Scavenging-Prozessen zu beobachten ist (Abb. 2). Abgesehen von der Oberflächenwasserprobe sind die Profile der ca. 350 km voneinander entfernt liegenden Stationen S0205-01CTD und SO205-21CTD nahezu deckungsgleich.

Die  $\epsilon$ Nd-Werte im östlichen deutschen Lizenzgebiet (Abb. 1) liegen zwischen -5 und +1 (Abb. 2) und reflektieren die Verwitterungsprodukte junger vulkanischer Gesteine aus dem Pazifischen Raum. Das Tiefenwasser hingegen hat seinen Ursprung im Zirkumpolaren Tiefenwasser, das sich ausgehend vom Süd Ozean bis in den Nordpazifik ausbreitet (Kawabe & Fujio, 2010). Die Nd-Isotopensignaturen des Tiefenwassers liegen in beiden Profilen identisch bei einem  $\epsilon$ Nd-Wert von ca. -3.5  $\epsilon$ Nd-Einheiten.

Die Wachstumsraten der Knollen des Lizenzgebietes liegen zwischen 3 und 45 mm/Myr und sind typisch für hydrogenetisches (niedrigere Raten, Material direkt aus der Wassersäule) und diagenetisch (hohes Wachstum, Material aus dem Porenwasser) beeinflusstes Wachstum. Das maximale Alter im Zentrum der Knolle konnte zu 1,5 Millionen Jahre ermittelt werden.

Die ermittelten Wachstumsraten der beiden untersuchten Krusten liegen zwischen 1,8 und 17 mm/Myr, wobei auch hier die höchsten Werte vermutlich auf diagenetische oder hydrothermale

Beiträge im ältesten Bereich einer der Krusten für die hohen Wachstumsraten verantwortlich waren. Maximale Alter betragen für beide Krusten etwa 8 Millionen Jahre.

Die Sedimentationsraten der 4 Kerne liegen zwischen 0.1 und 0.6 cm/kyr und sind damit ähnlich wie andere pazifische Tiefseesedimente unterhalb der Karbonatkompensationstiefe (Abb. 3). Die Daten zeigten außerdem Hiati im Kern 14KL an, von denen einer bereits vorher aufgrund von sedimentologischen Parametern vermutet wurde. Aus der Datierung resultierten maximale Alter der Kerne zwischen 2.1 und 10.5 Millionen Jahren.

Die Nd-Isotopendaten der pazifischen Tiefseekerne SO205-54KL und 15KL zeigen dass von 5,7 Millionen Jahren bis ca. 3,5 Millionen Jahren  $\epsilon\text{Nd}$ -Werte zwischen -3,1 und -2,8. Zwischen 3,5 und 2,4 Millionen Jahren wurden die  $\epsilon\text{Nd}$ -Signaturen mit  $\epsilon\text{Nd}$ -Werten um -3,5 weniger radiogen, was bis heute anhält. Der zweite Kern SO205-15KL (Zeitreihe bis ca. 2,3 Mio. Jahre) schwankt ebenfalls mit nur 0,16  $\epsilon\text{Nd}$ -Einheiten um den Wert von -3,5.

Die  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Zeitreihe des Kerns 54 KL zeigen ab 5,7 Millionen Jahre einen Trend zu radiogeneren Bleiisotopenverhältnissen. Bei ca. 3,5 Millionen Jahren erfolgt eine Umkehrung des Trends bis ca. 2,2 Millionen Jahre. Es schließt sich ein weiteres radiogenes Maximum bei 0,5 Millionen Jahren an. Danach sinkt das Bleiverhältnis wieder leicht bis in die heutige Zeit ab. Eine Erklärung für die weniger radiogeneren Bleiverhältnisse bei 2,2 Millionen Jahren könnte ein verstärkter Eintrag vulkanischen Bleis durch eine Intensivierung der vulkanischen Aktivität entlang der pazifischen Inselbögen gewesen sein (Prueher und Rea, 2001). Die Pb-Isotopenverhältnisse des Detritus und des Tiefenwassers lagen in dieser Zeit näher an der Signatur der pazifischen Inselbögen.

Die aus den  $^{230}\text{Th}_{\text{excess}}$ -Datierungen (Knolle 56KG2) gewonnenen Erkenntnisse machten es möglich, Wachstumsraten von ca. 3.8 mm pro Mio. Jahre zu ermitteln. Der Vergleich zur geologischen und klimatologischen Entwicklung zeigt, das Mn/Fe-Verhältnis hohe Werte in den glazialen Zeiten 2, 4, 6 und 8 und geringe Werte in den interglazialen Zeiten 3, 5 und 7 zeigt. Eine mögliche Erklärung dieser Ergebnisse ist eine erhöhte Kalklösung innerhalb der kalkhaltigen Sedimente im Südpazifischen Ozean während der Glazialphasen verbunden mit einer erhöhten kontinentalen Verwitterung und Eintrag in den Ozean sowie eine Intensivierung Stromfluss des Antarktischen Bodenwassers.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die hier ermittelten Tiefenwasser-Nd-Pb-Th-Isotopendaten aus den Manganknollen und -krusten sowie Tiefseesedimenten untereinander sehr gut übereinstimmen und auch konsistent mit älteren Daten aus dem Nordpazifik (Ling et al., 1997) sind. Die  $\epsilon\text{Nd}$ -Signatur des Tiefenwassers zeigt bei 3,5 Millionen Jahren eine Änderung zu negativeren Werten. Dies wird in einen Zusammenhang mit der Schließung des Isthmus von Panama gebracht, wodurch sich das globale Zirkulationssystem änderte und dadurch ein erhöhter Eintrag von Antarktischem Bodenwasser (AABW) in den Pazifik stattfand. Darüber hinaus wechselwirkt die klimatische Abfolge von Glazial und Interglazialzeiten mit dem Wachstum und der chemischen Zusammensetzung der Manganknollen derart, dass die Schichten in der Knolle welche Glazialzeiten entsprechen ein höheres Mn/Fe-Verhältnis aufweisen als diejenigen welche Interglazialphasen entsprechen. Letzteres beeinflusst natürlich auch die Zusammensetzung der mit Mn und Fe ko-präzipitierenden Spurenmetalle.

## 2.1.4 Diversität der benthischen Lebensgemeinschaft (DZMB)

*A. Janssen, P. Martínez Arbizu*

### Molekulare Analysen

Die Analyse der molekularbiologischen Daten erlaubt Aussagen über die Verbreitung, Isolation und den Genfluss einzelner benthischer Arten. Dadurch kann die Empfindlichkeit der Fauna gegenüber Störungen bei einem potentiellen Abbau von Manganknollen beurteilt werden. Für die genetische Analyse der Makrofauna (insb. Polchaeten und Isopoden) wurde das mitochondriale Gen Cytochrom Oxidase Untereinheit 1 (Col) gewählt. Mitochondriale DNA verfügt über eine schnelle Mutationsrate, die zu einer signifikanten Variabilität von Sequenzunterschieden zwischen Arten und einer vergleichbar geringen Variabilität innerhalb von Arten führt (Mardulyn & Whitfield, 1999). Das Col Gen eignet sich deshalb besonders gut für molekularbiologische Untersuchungen und wird darüber hinaus sehr häufig für genetische Analysen verwendet wie z.B. das Barcoding, das in Zukunft einen Vergleich von Arten im großen Maßstab (z.B. innerhalb der gesamten Tiefsee) erlauben wird.

Für die genetische Analyse der Meiofauna (Copepoden) lag die Erfolgsquote für die Extraktion und Amplifikation des Col Gens unter 10%. Deshalb wurde das mitochondriale 12S Gen verwendet, welches über die gleichen Vorteile wie das Col Gen verfügt aber gleichzeitig deutlich bessere Erfolgsquoten hervorbrachte. Zusätzlich wurde das nukleare Gen 28S analysiert, da die nukleare DNA im Gegensatz zur mitochondriale DNA eine geringere Sequenzvariabilität zwischen den Arten aufweist und so die Bestimmung phylogenetischer Verwandtschaften erlaubt (Mardulyn & Whitfield, 1999).

Mit den drei geplanten Publikationen von Janssen et al. (s. Kapitel 3.2) ist die Veröffentlichung der Sequenzen in internationalen Datenbanken wie dem National Center of Biotechnology Information (NCBI) oder dem Barcode of Life Data Systems (BOLD) vorgesehen.

Aus dem Probenmaterial der Expedition SO205 wurde von insgesamt 1621 Individuen DNA extrahiert (Tab. 4). Die Extraktion und Amplifikation des jeweiligen Gens verlief 1368 mal erfolgreich. wie bei Tiefseeorganismen üblich, konnte nicht in jedem Fall eine brauchbare Sequenz für eine anschließende Analyse gewonnen werden. Dieses Problem sowie die geringe Individuendichte in der Tiefsee verringerten die Wahrscheinlichkeit, mehrere Vertreter einer Art im Probenmaterial zu finden. Daher war es das Ziel unserer Arbeit, möglichst viele Organismen zu analysieren, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, brauchbare Sequenzen einer Art mehrmals zu finden.

**Tabelle 4.** Molekularbiologisch untersuchte Organismen von Proben der Expedition SO205.

Taxa	Anzahl der Extraktionen	Gen	Anzahl der Sequenzierungen
Meiobenthos			
Copepoda	416	12S	285
		28S	247
Makrofauna			
Polychaeta	758	Col	448
Ophiuroidea	72	Col	40
Bryozoa	59	Col	44
Isopoda	300	Col	94
		16S	94
		12S	94
andere Organismen	16	Col	3
		28S	14
		12S	5
<b>Gesamt</b>	<b>1621</b>		<b>1368</b>

Phylogenetische Bäume wie in den Abbildungen 2, 3 und 4 zeigen die genetische Similariät zwischen den untersuchten Organismen. Die Organismen, die genetisch am ähnlichsten sind, bilden ein Cluster innerhalb eines Astes, wobei die Länge der Äste dem genetischen Sequenzunterschied entspricht (Baldauf, 2003). Die Bootstrap-Werte stellen eine Art Qualitätsfaktor dar. Das Bootstrapping testet im Wesentlichen, ob der gesamte Datensatz die Aussage des Baums unterstützt, oder ob es nur ein zufälliges Resultat unter vielen möglichen Alternativen zeigt. Das Herzstück eines phylogenetischen Baumes ist ein Alignment, wobei alle Sequenzen die gleichen Basenpositionen aufweisen müssen. Dies ist bei einem sehr großen Alignment eine nahezu unmögliche Aufgabe. Aus diesem Grunde haben wir eine weitere Analysemethode (CD-HIT-EST) gewählt und diese beiden kombiniert. CD-HIT (Weizhong *et al.*, 2006; Ying *et al.*, 2010) verhindert den Vergleich aller Sequenzen miteinander mit Hilfe eines Word Filters.

Die Analyse der Sequenzen des mitochondrialen 12s Gens der meiobenthischen Copepoden durch CD-HIT-EST zeigt eine sehr hohe Anzahl an Arten, welche nur mit einem einzigen Vertreter gefunden werden konnte. Es können 11 Cluster identifiziert werden, welche einen Sequenzunterschied von  $\geq 95\%$  aufweisen (Tab. 5), aber nur 6 Cluster konnten als eine Art mit mehreren Vertretern identifiziert werden. Insgesamt konnten 132 Arten identifiziert werden aber nur eine Art (Cluster 3, Ameiridae sp.) wurde in verschiedenen Teilgebieten des deutschen Lizenzgebiets gefunden. Dieses Ergebnis belegt die sehr hohe Biodiversität innerhalb des Lizenzgebietes.

# Abschlussbericht SO205 - MANGAN



Abbildung 2. Baumdiagramm der Sequenzdaten des 12s Genfragments.

**Tabelle 5.** Vergleich der Sequenzidentität: Cluster-Analyse des 12s Genfragments mit CD-Hit.

Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
131-Miraciidae	100%	19-Argestidae	100%	204-Ameiridae	100%
86-Ameiridae	100%	20-Argestidae	99%	77-Harpacticoida	100%
18-Amphiascus	99%	297-Harpacticoida	98%	359-Ameiridae	100%
271-Harpacticoida	96%	P6-Leptocletodes	96%		

Cluster 4		Cluster 5		Cluster 6	
163-Cyclopoida	100%	106-Cyclopoida	100%	22-Proameira	100%
165-Cyclopoida	100%	59-Cyclopoida	96%	341-Miraciidae	95%
175-Cyclopoida	100%	72-Cyclopoida	97%	17-Pseudameira	97%

Cluster 7		Cluster 8		Cluster 9	
222-Pseudotachidiidae	100%	168-Cyclopoida	100%	82-Ameiridae	100%
169-Cyclopoida	96%	176-Cyclopoida	98%	48-Ameiridae	99%
178-Cyclopoida	97%				

Cluster 10		Cluster 11	
90-Ameiridae	100%	146-Ameiridae	100%
231-Ameiridae	99%	275-Ameiridae	98%

Nicht alle Gene eines Organismus können mit dem gleichen Erfolg amplifiziert und sequenziert werden. Da die Erfolgsrate für das 28s Gen höher war als für das 12s Gen sind mehr brauchbare Sequenzen des 28S Gens für einen genetischen Vergleich der Individuen vorhanden (Tab. 6). Aufgrund der geringen Sequenzvarianz zwischen einzelnen Arten löst das 28s Gen jedoch nicht bis auf Gattungs- oder Artniveau auf. Deshalb eignet es sich nicht für eine eindeutige Identifizierung von Arten sondern erlaubt eher einen interspezifischen Vergleich um phylogenetische Verwandtschaften zu bestimmen. Dennoch können wir hier die genetisch sehr ähnlichen Individuen als Gruppen identifizieren. Im Wesentlichen unterstützt die Analyse der Sequenzen des 28S Gens also die des 12s Gens. Einige Individuen, die als Art in der Sequenzanalyse des 12S Gens ein Cluster bilden, können ebenfalls für die Sequenzen des 28S Gens identifiziert werden (z.B. die Copepoden Nr. 22 und 17; Nr.19. und 20. Nr. 48. und 82).

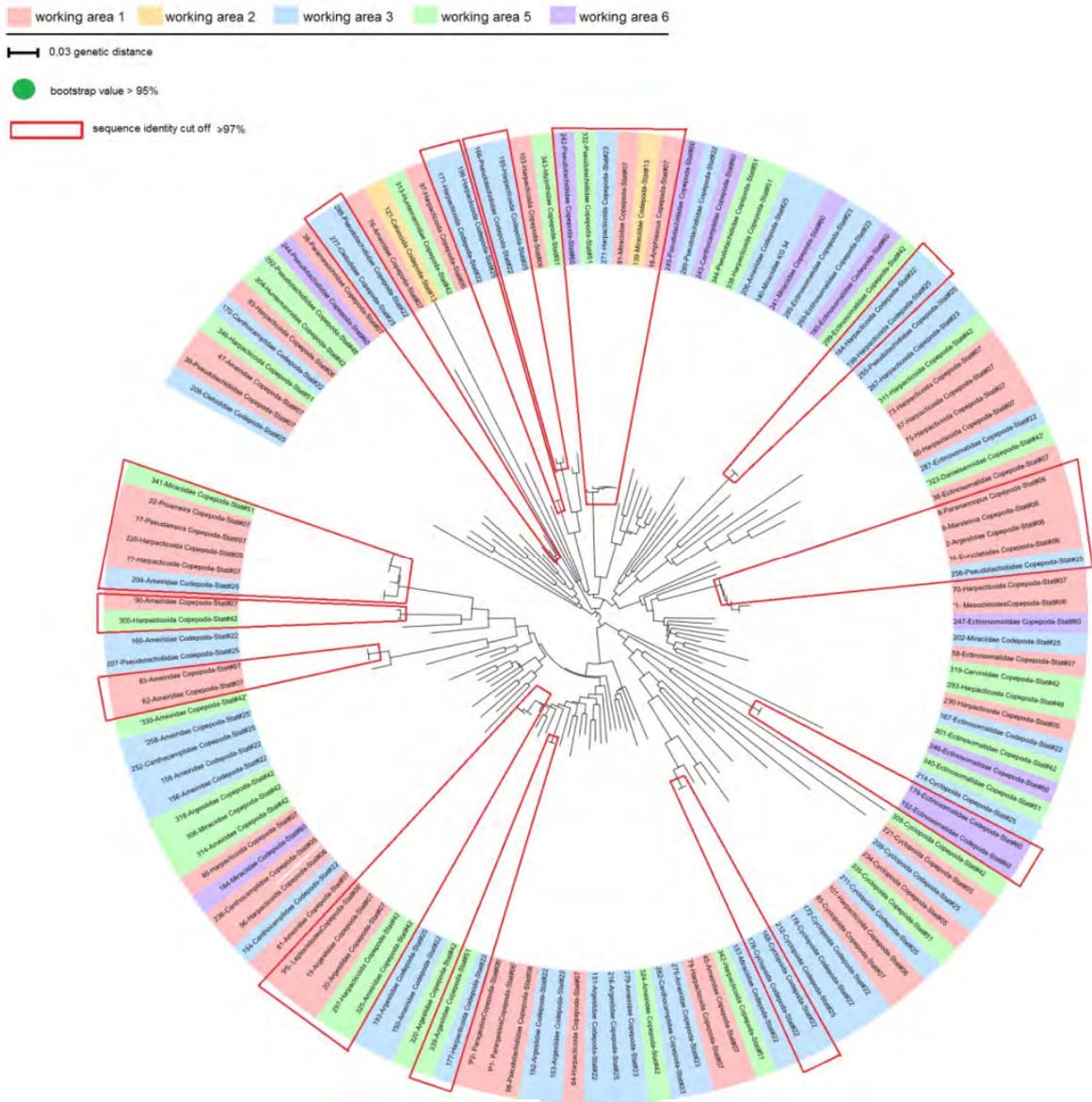


Abbildung 3. Baumdiagramm der Sequenzdaten des 28s Genfragments.

**Tabelle 6.** Vergleich der Sequenzidentität: Cluster-Analyse des 28s Genfragments mit CD-Hit.

Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
204-Ameiridae	100%	39-Miraciidae	100%	16-Eurycletodes	100%
22-Proameira	98%	18-Amphiascus	100%	2-Argestidae	100%
220-Harpacticoida	98%	42-Pseudotachidiidae	99%	256-Pseudotachidiidae	100%
341-Miraciidae	98%	271-Harpacticoida	99%	6-Marsteinia	100%
77-Harpacticoida	100%	332-Pseudotachidiidae	99%	8-Paranannopus	100%
17-Pseudameira	98%	91-Miraciidae	100%		

Cluster 4		Cluster 5		Cluster 6	
19-Argestidae	100%	168-Cyclopoida	100%	83-Ameiridae	100%
297-Harpacticoida	99%	176-Cyclopoida	100%	82-Ameiridae	99%
325-Ameiridae	97%				
20-Argestidae	100%				
P5-Leptocletodes	100%				

Cluster 7		Cluster 8		Cluster 9	
277-Cletodidae	100%	305-Harpacticoida	100%	177-Harpacticoida	100%
288-Pseudotachidiidae	97%	90-Ameiridae	99%	339-Argestidae	99%

Cluster 10		Cluster 11		Cluster 12	
179-Ectinosomatidae	100%	164-Harpacticoida	100%	171-Harpacticoida	100%
192-Ectinosomatidae	100%	199-Harpacticoida	100%	196-Harpacticoida	100%

Cluster 13	
166-Pseudotachidiidae	100%
195-Harpacticoida	99%

Die Analyse der Sequenzen des Col Gens des Makrobenthos zeigt, dass bezüglich der Makrofauna deutlich mehr Arten durch mehr als ein Individuum repräsentiert sind (Tab. 7). Für das Col Gen wurde gezeigt, dass eine Abweichung der Sequenzen von 3 % (entsprechend einer Übereinstimmung von 97%) innerhalb einzelner Arten der Metazoenfauna möglich ist. Der Schwellwert des Sequenzunterschiedes kann zwischen verschiedenen metazoischen Taxa stark variieren (Bucklin et al 2011). Ein morphologischer Abgleich, ob es sich tatsächlich um identische Arten handelt ist unabdingbar.

Bisher konnten bereits 28 makrobenthische Arten identifiziert werden, die durch mehr als ein Individuum vertreten sind. Besonders interessant ist dabei, dass die Vertreter, die eine Art repräsentieren, in unterschiedlichen Teilgebieten des östlichen deutschen Lizenzgebietes gefunden wurden. Dies spricht für eine weite Verbreitung vieler Arten innerhalb des Lizenzgebietes. Die makrobenthischen Lebensgemeinschaften der verschiedenen Teilgebiete sind nicht voneinander isoliert und innerhalb des Lizenzgebietes sehr ähnlich. Dennoch sollte berücksichtigt werden, dass mehr als die Hälfte aller gefundenen Arten nur durch einen einzigen Vertreter repräsentiert sind. Auch die Analyse des Makrobenthos zeigt also eine hohe Biodiversität innerhalb des deutschen Lizenzgebietes.

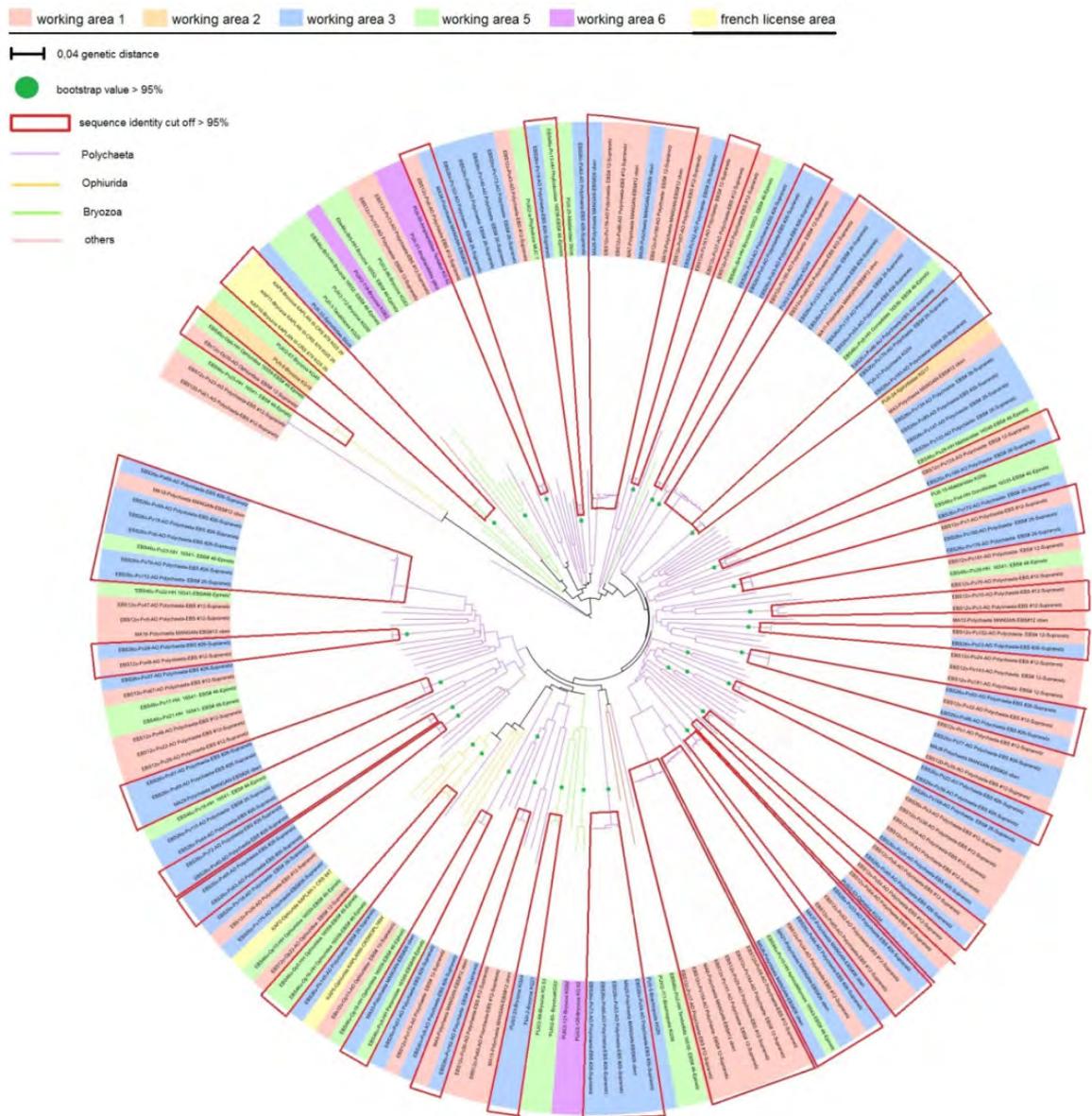


Abbildung 4. Baumdiagramm der Sequenzdaten des Col Genfragments.

Tabelle 7. Vergleich der Sequenzidentität: Cluster-Analyse des Col Genfragments mit CD-Hit.

Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	
EBS12o-Po40	100%	EBS12o-Po59	100%	EBS26o-Po112	100%
EBS26o-Po133	97%	EBS12o-Po151	99%	EBS26o-Po18	99%
EBS26o-Po137	97%	EBS12o-Po17	95%	EBS26o-Po59	99%
EBS26o-Po55	97%	EBS12o-Po184	100%	EBS26o-Po6	99%
EBS26o-Po71	97%	EBS12o-Po25	99%	EBS26o-Po69	99%
EBS26o-Po96	98%	MA8-Po	99%	EBS26o-Po79	100%
EBS46u-Po8	97%	EBS12o-Po154	99%	EBS46u-Po23	100%
MA11-Po	97%			MA10-Po	98%

Cluster 4		Cluster 5		Cluster 6	
EBS12o-Po178	100%	EBS26o-Po68	100%	EBS12o-Po32	100%
EBS12o-Po190	99%	EBS26o-Po81	99%	EBS26o-Po86	100%
EBS12o-Po66	98%	MA29-Po	99%	EBS26o-Po92	100%
MA19-Po	98%				
MA7-Po	98%				
MA20-Po	98%				
MA28-Po	97%				

Cluster 7		Cluster 8		Cluster 9	
EBS26o-Po170	100%	KAP10	100%	EBS12o-Po52	100%
EBS26o-Po183	100%	KAP11	99%	EBS12o-Po65	99%
PUII-21-Po	100%	KAP9	100%	EBS26o-Po33	99%

Cluster 10		Cluster 11		Cluster 12	
EBS12o-Po7	100%	EBS12o-Po34	100%	EBS12o-Po152	100%
EBS26o-Po100	96%	EBS26o-Po64	100%	EBS26o-Po23	99%
EBS26o-Po178	99%	MA21-Po	99%		
		MA26-Po	99%		
		EBS46u-Po10	99%		

Cluster 13		Cluster 14		Cluster 15	
EBS26o-Po63	100%	EBS12o-Po8	100%	EBS26o-Po162	100%
EBS26o-Po65	99%	EBS26o-Po80	99%	MA9-Po	99%

Cluster 16		Cluster 17		Cluster 18	
EBS46u-Op16	100%	EBS26o-Po19	100%	EBS12o-Po161	100%
EBS46u-Op5	98%	EBS46u-Po13	99%	EBS12o-Po37	100%

Cluster 19		Cluster 20		Cluster 21	
EBS12o-Po12	100%	EBS26o-Po5	100%	EBS12o-Po10	100%
MA36-Po	98%	EBS26o-Po83	99%	EBS12o-Po3	97%

Cluster 22		Cluster 23		Cluster 24	
EBS12o-Po64	100%	EBS12o-Op30	100%	EBS12o-Po124	100%
PUII/2-53-Po	99%	EBS46u-Op6	100%	EBS26o-Po109	95%

Cluster 25		Cluster 26		Cluster 27	
PUII-2-Bry	100%	EBS46u-Po9	100%	EBS12o-Po185	100%
PUII/2-23-Bry	98%	MA33-Po	99%	PUII/2-52	98%

Cluster 28		Cluster 29	
EBS12o-Po48	100%	EBS26o-Po22	100%
EBS26o-Po28	99%	EBS26o-Po38	97%

Zusammenfassend zeigen die molekularbiologischen Untersuchungen im Rahmen des MANGAN-Projektes, dass scheinbar keine geographischen Barrieren innerhalb des deutschen Lizenzgebietes existieren, die eine Rekolonisierung nach industriellem Manganknollenabbau verhindern würden. Dieses wird belegt durch das Vorkommen von mehreren Arten des Makro- und Meiobenthos, die in unterschiedlichen Teilgebieten vertreten sind. Durch die geringe Individuendichte und das geringe Vorkommen vieler Vertreter einer Art besteht jedoch die Gefahr,

dass sehr seltene Arten als Folge eines industriellen Manganknollenabbaus aussterben und eine Rekolonisierung zu einer natürlichen Faunenvergesellschaftung nicht möglich ist.

### Gemeinschaftsanalyse

Ziel der Gemeinschaftsanalyse des Meiobenthos war es, die Diversität und Gemeinschaftszusammensetzung in Abhängigkeit von der Knollenbelegung und der Knollenfazies zu untersuchen. Der metazoischen Meiofauna konnten 23 Großgruppentaxa zugeordnet werden. Es wurden alle typischen benthischen Tiefseetaxa gefunden, z.B. Nematoden (mit Abstand häufigstes Tiefseetaxon), gefolgt von den Copepoden, Anneliden, Kinorhynchen, Ostracoden, Gastroticha, Loricifera und Tardigraden. Die Präsenz oder Absenz der typischen Taxa unterscheidet sich nicht zwischen den Arbeitsgebieten.

Die Medianwerte der Meiofaunadichten variieren zwischen 193 Ind. pro 10 cm<sup>2</sup> und 435 Ind. pro 10 cm<sup>2</sup> (Abb. 5). Ein genereller Trend der Individuendichte zwischen den einzelnen Arbeitsgebieten lässt sich nicht erkennen (Abb. 6). Auch die nichtmetrische multidimensionale Skalierung (nMDS) in Abb. 5, welche die Ähnlichkeiten der Gemeinschaften zwischen den Arbeitsgebieten in Relation zueinander darstellt, zeigt keine klaren Unterschiede. Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Meiofaunagemeinschaften wurde mit Hilfe der „Similarity of Analysis“ ANOSIM getestet. Die H<sub>0</sub>-Hypothese, dass sich die Gemeinschaften zwischen den Arbeitsgebieten unterscheiden, wurde zurückgewiesen (R-Wert: 0,285; Signifikanzlevel: 0,023).

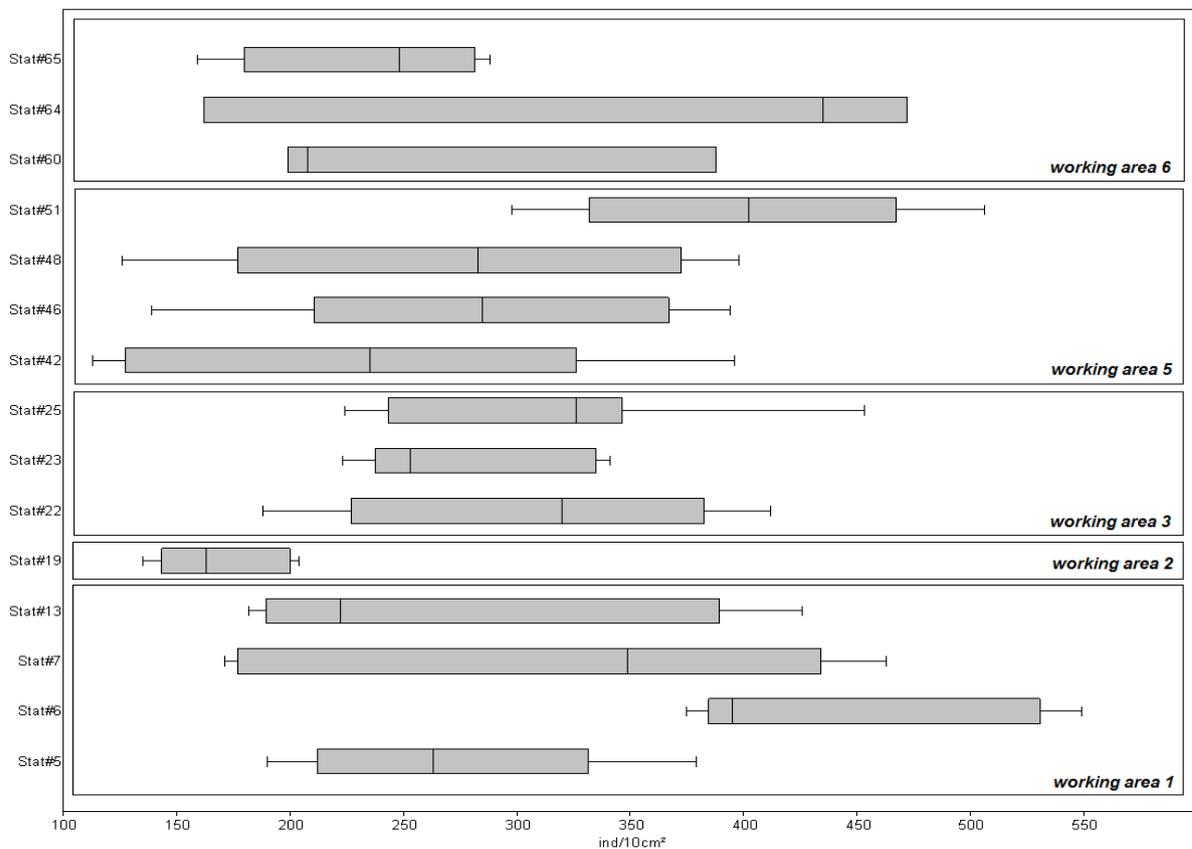
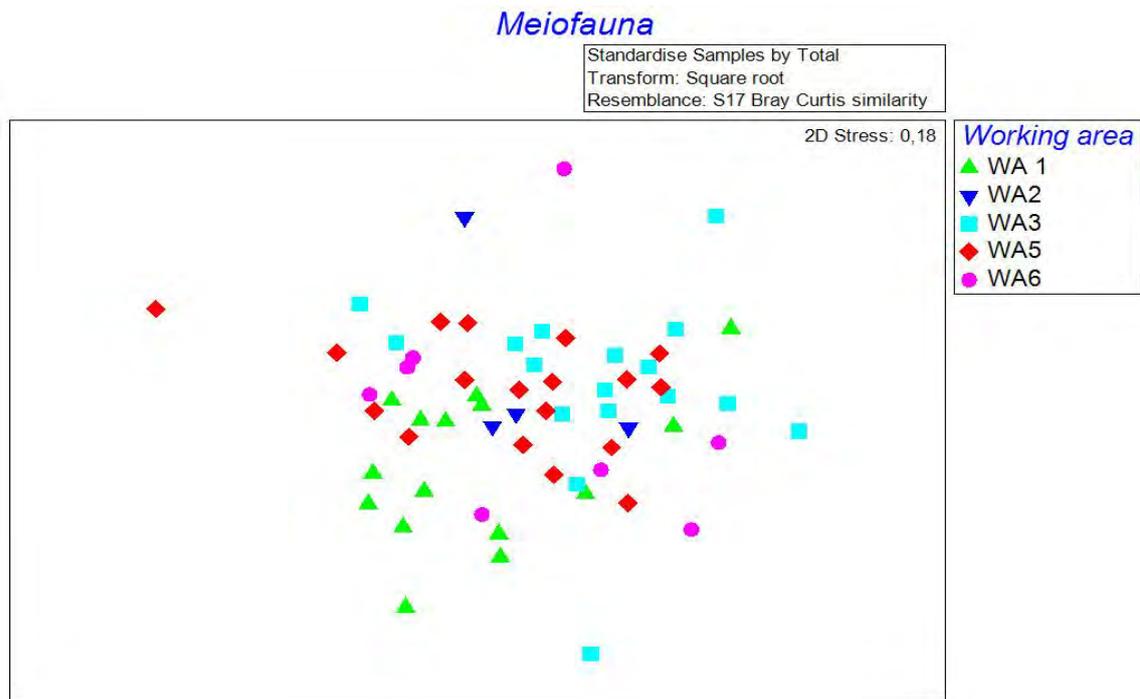
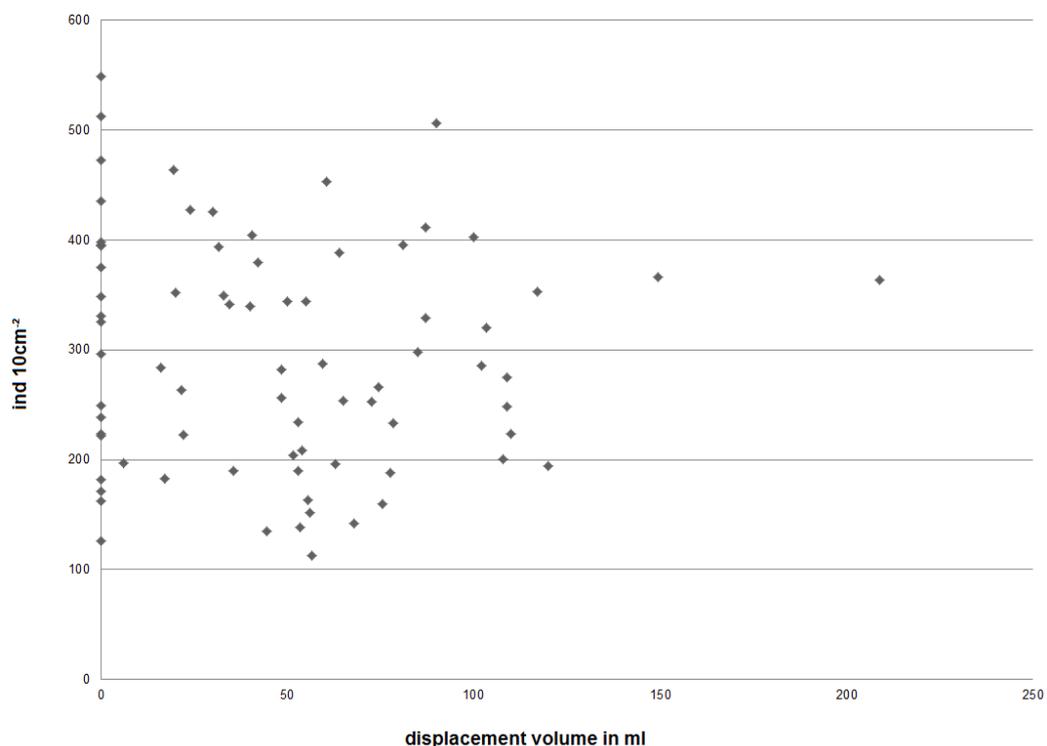


Abbildung 5. Individuendichte der Meiofauna innerhalb der Arbeitsgebiete



**Abbildung 6.** nMDS Plot des Meiobenthos innerhalb des deutschen Lizenzgebiets.

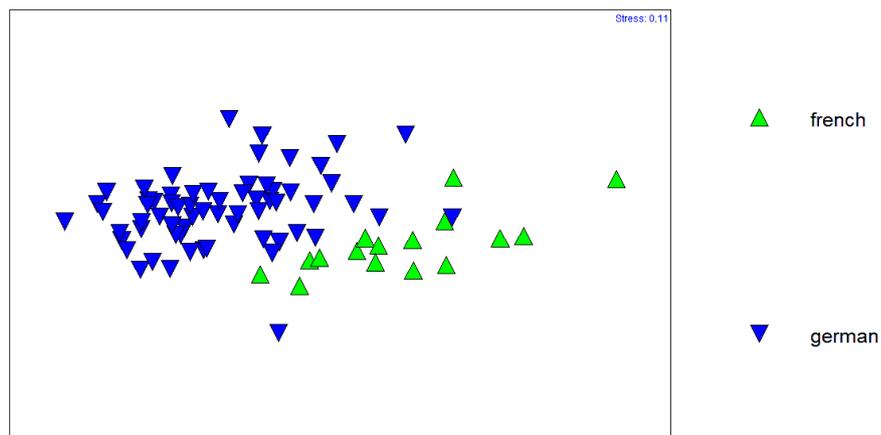
Weiterhin konnte keine Korrelation zwischen der Individuendichte der Meiofauna-Organismen und den Knollenvorkommen, bzw. -größe (Verdrängungsvolumen der Knollen in den Proben) festgestellt werden. In Abb. 7 ist die Individuendichte dem Verdrängungsvolumen der Knollen pro Probe gegenübergestellt. Proben ohne Knollen weisen unterschiedlich hohe Individuendichten auf, genauso wie Proben mit großen oder vielen Knollen. Ein Unterschied der Meiofauna-Abundanzen in Gebieten mit keinen, mittleren oder großen Knollen konnte also nicht bestätigt werden und scheint damit nicht von der Knollenbelegung oder Knollenfazies abhängig zu sein.



**Abbildung 7.** Korrelation zwischen Individuendichte und Knollenvolumen

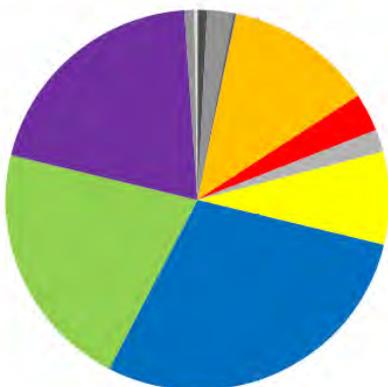
Auch der Einfluss der Nahrungsverfügbarkeit auf die Faunenvergesellschaftung und Diversität im NE-Pazifik wurde im Rahmen dieses Projektes untersucht. Die nach Westen sukzessive abnehmende biologische Produktivität im Oberflächenwasser des äquatorialen Pazifik führt zu einer verminderten Exportproduktion und verringertem Nährstoffangebot in den westlicher gelegenen Regionen der CCFZ. Die Ergebnisse des Projektes SO205 zeigen im Vergleich zu französischen NODINAUT-Projekt (Expedition in 2004), dass sich die verringerte Nahrungsverfügbarkeit in dem etwa 1300 km westlich gelegenen französischen Lizenzgebiet auf die Abundanzen der Meiofaunagemeinschaft auswirken. Die Abb.7 zeigt einen nichtmetrischen multidimensionalen Similaritäts-Plot (nMDS), in welchem die Ähnlichkeiten der Gemeinschaften der beiden Lizenzgebiete dargestellt werden. Mit Hilfe der ANOSIM konnten signifikante Unterschiede ( $R = 0,425$ ;  $p = 0,001$ ) zwischen den Gemeinschaften der beiden Gebiet festgestellt werden, die ausschließlich auf die unterschiedlichen Abundanzen zurückzuführen sind, da sich die Zusammensetzung der Gemeinschaften nicht unterscheidet.

Bei der Untersuchung des Probenmaterials der BIONOD-Expedition wurden ebenfalls geringere Abundanzen und eine geringer Diversität der Makrofauna im französischen Lizenzgebiet festgestellt. Abb. 8 zeigt eine stärkere Gleichverteilung von Taxa innerhalb des deutschen Gebietes, welches in einer höheren Biodiversität resultiert. Das französische Lizenzgebiet zeigt eine deutliche Dominanz von drei Taxa (Janssen et al, 2012).

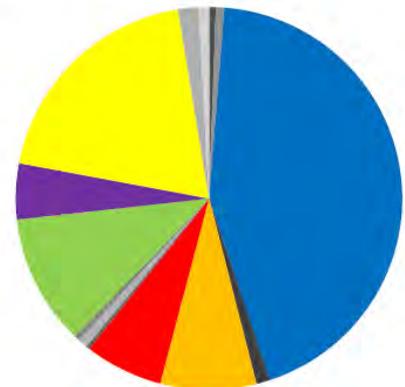


**Abbildung 8.** nMDS Plot der Meiofaunagemeinschaften im französischen und deutschen Lizenzgebiet

### französisches Lizenzgebiet



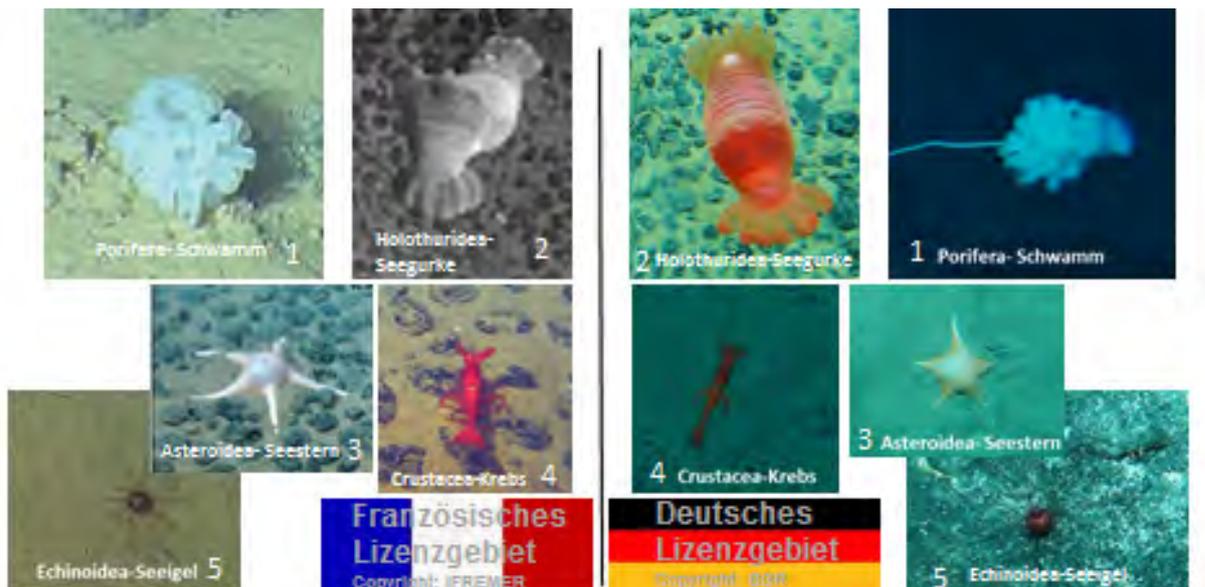
### deutsches Lizenzgebiet



**Abbildung 9.** Relative Abundanzen der Isopodenfamilien im deutschen und im französischen Lizenzgebiet.

## Megafauna

Für einen Vergleich der Megafauna wurden Fotos vom Meeresboden des deutschen Lizenzgebietes (Fotoschlitten, SO205) mit Aufnahmen des französischen Lizenzgebietes (Tauchboot Nautil, IFREMER) von 2004 ausgewertet. Der Vergleich zeigt, dass das Megabenthos innerhalb des deutschen Lizenzgebietes deutlich der benthischen Lebensgemeinschaft der Megafauna in dem französischen Lizenzgebiet gleicht. Dies deutet, ebenso wie die molekularbiologischen Analysen des Makrobenthos darauf hin, dass innerhalb der CCFZ keine geographischen Wanderbarrieren bestehen, die eine Wiederbesiedlung nach einem möglichen kommerziellem Abbau der Manganknollen verhindern könnten.



**Abbildung 10.** Vergleich des Megabenthos zwischen deutschem und französischem Lizenzgebiet.

Innerhalb des deutschen Lizenzgebietes konnten bisher folgenden Taxa nachgewiesen werden:

### Protista

- **Xenophyophora**

- Phylum Foraminifera d'Orbigny 1826

- Order Psamminida (classification sensu Tendal 1972)

- Family Psamminidae (Haeckel, 1889)

- Genus *Psammina*

- Species 1. *Psammina* sp.1

- Species 2. *Psammina* sp.2

- Genus *Spiculammia*

- Species 3. *Spiculammia delicata*

- 4. Genus sp. nov

- Family Syringamminidae (classification sensu Tendal 1972)

- Genus *Syringammina*

- Species 5. *Syringammina* sp.

- Genus *Ashemonella*

- Species 6. *Ashemonella* sp.1

- Species 7. *Ashemonella* sp. 2

- Genus *Occultammia*

- Species 8. *Occultammia* sp.1

- Species 9. *Occultammia* sp.2

- Species 10. Xenophyophore-like black thick bush

- Order Stannomida Tendal 1972

- Family Stannomidae Haeckel 1889

- Genus *Stannophyllum*

- Species 11. *Stannophyllum* fragment

- **Komokiacea (sensu Tendal, Hessler, 1977)**

Family Komokiidae Tendal, Hessler, 1977

Genus *Komokia*

Species 1. *Komokia multiramosa*

Genus *Septuma*

Species 2. *Septuma ocotillo*

Genus *Ipoa*

Species 3. *Ipoa fragile*

Genus *Reticulum*

Species 4. *Reticulum* ex gr. *reticulata* (sp.1)

5. *Reticulum* sp.2

6. *Reticulum* sp.3

7. *Reticulum* sp.4 (very thin and grey)

Genus *Lana*

Species 8. *Lana* sp.1 (thin)

9. *Lana* sp.2 (thick)

Genus *Cerebrum*

Species 10. *Cerebrum* sp.

Genus *Normanina*

Species 11. *Normanina conferta*

Genus *Staphylion*

Species 12. *Staphylion* sp.

Genus *Arbor*

Species 13. *Arbor multiplex*

14. *Arbor* sp.1

15. *Arbor* sp.2

16. *Arbor* sp.3

Family Baculellidae Tendal, Hessler, 1977

Genus *Baculella*

Species 17. *Baculella hirsute*

18. *Baculella globofera*

Genus *Edgertonia*

Species 19. *Edgertonia tylota*

20. *Edgertonia argillispherula*

21. *Edgertonia* ex gr. *floccula*

22. *Edgertonia* sp.1

23. *Edgertonia* sp.2

24. *Edgertonia* sp.3

Family Rhizamminidae Wiesner, 1931

Genus *Rhizammina*

Species 25. *Rhizammina* ex gr. *algaeformis*

26. *Rhizammina* -like tubule

- Undescribed groups of protists closed to Komokiacea

27. Chain of large rounded chambers

28. Chain of elongate chambers

29. Bush of soft flat rounded chambers

30. Chain of brown star-like chambers

31. Mass of rounded chambers

32. Mudball sp.1 (grey)

33. Mudball sp.2 (with caviar inside)

34. Mudball sp.3 (with black chambers on the surface)

35. Mudball sp.4 (with net of tubules on the surface)

## Metazoa

Number of morphospecies

- Phylum Cnidaria
  - Class Anthozoa 20
  - Class Hydrozoa 3
- Phylum Bryozoa 7
- Phylum Porifera
  - Class Demospongiae 1
  - Class Hexactinellida 16
- Phylum Echinodermata
  - o Class Asterozoa 11
  - Class Crinozoa 3
  - Class Ophiurozoa 3

	Echinoidea	4
	Holothuriodea	31
•	Phylum Arthropoda	8
•	Phylum Mollusca	
	Class Polyplacophora	1
	Gastropoda	2
	Cephalopoda	2
•	Phylum Chordata	
	Class Pisces	11
•	unidentifizierte Taxa	14

## 2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

### AWI

**0812 Personalmittel:** Im Rahmen des Projektes wurde Herr Konstantin Mewes für 26 Monate vom 1.4.2010 bis 31.5.2012 am AWI angestellt.

**0822 Beschäftigungsentgelte, HiWIs:** Zur Unterstützung von Herrn Mewes bei der Probenaufbereitung und bei den Analysen des Porenwassers und der sedimentären Festphase haben zwei Studenten (Jan Hansen, Olaf Kreft) im Projektzeitraum mitgearbeitet. Herr Hansen hat darüber hinaus an der Expedition SO205 teilgenommen. Die bewilligten Mittel für Hiwis wurden in voller Höhe verbraucht.

**0838 Verbrauchsmaterial:** Die Zuwendungen für Verbrauchsmaterial wurden für die Expedition SO205 verwendet. Die wichtigsten Positionen waren Sauerstoffmikro-Elektroden, Einwegküvetten, Laborchemikalien und Kalibrationsstandards.

**0845 Reisekosten:** Die Reisekosten wurden für die Anreise zum Starthafen der Expedition sowie die Teilnahme von Herrn Mewes an der AGU Fall Conference im Dezember 2012 in San Francisco verwendet.

### BGR

**0812 Personalmittel:** Im Rahmen des Projektes wurde Herr Dr. Marco Blöthe für 26 Monate vom 1.4.2010 bis 31.5.2012 an der BGR angestellt.

**0817 Beschäftigungsentgelte, HiWIs:** Zur Unterstützung von Herrn Blöthe haben zwei Studenten bei der Anreicherung der Bakterien mitgearbeitet. Die bewilligten Mittel für Hiwis wurden in voller Höhe verbraucht.

**0835 Vergabe von Aufträgen:** Die bewilligten Mittel wurden für die Sequenzierung von DNA-Proben verwendet.

**0838 Verbrauchsmaterial:** Die Zuwendungen für Verbrauchsmaterial wurden zur Durchführung der Expedition SO205 und zur biologischen Analytik verwendet. Die wichtigsten Positionen waren Material für Probenahmegeräte für die Expedition sowie Chemikalien und Material zur Anreicherung von Bakterien und für die quantitative PCR-Analytik.

**0845 Reisekosten:** Die Reisekosten wurden für die Anreise zum Starthafen der Expedition und für die Teilnahme von Herrn Blöthe am International Biohydrometallurgy Symposium im September 2011 in China verwendet.

## GEOMAR

**0812 Personalmittel:** Im Rahmen des Projektes wurde Herr Lasse Heuer vom 1.2.2010 bis 31.3.2012 am GEOMAR angestellt.

**0822 Beschäftigungsentgelte, HiWIs:** Zur Unterstützung bei der sedimentologischen und geochemischen Aufbereitung und zu vorbereitenden Maßnahmen für die geochemische Analytik am Massenspektrometer (*Nu Instruments*-MCICP-MS haben mehrere Studenten im Projektzeitraum mitgearbeitet. Die bewilligten Mittel für Hiwis wurden in voller Höhe benötigt.

**0835 Vergabe von Aufträgen:** Am GEOMAR wurden die bewilligten Mittel entsprechend dem Antrag für die Messung radiogener und radioaktiver Isotope, sowie von Haupt und Spurenelementverteilungen in den Manganknollen und -krusten (mittels Mikrosondenanalysen), sowie den Sedimentkernen verwendet.

**0838 Verbrauchsmaterial:** Die dem GEOMAR bewilligten Mittel wurden entsprechend dem Antrag für allgemeines Laborverbrauchs- und Verschleißmaterial verwendet, das für die Aufbereitung der Proben, sowie für die eigentliche geochemische Analytik benötigt wurde.

**0844 Reisekosten Inlandsreisen:** Die Inlands Reisekosten wurden entsprechend der ursprünglichen Planung Projekt-spezifisch verwendet.

**0845 Reisekosten Auslandsreisen:** Die Auslands Reisekosten wurden entsprechend der ursprünglichen Planung für die Anreise zum Starthafen der Expedition und für die Teilnahme an der Goldschmidt-Konferenz 2011 verwendet.

## DZMB

**0812 Personalmittel:** Im Rahmen des Projektes wurde Frau Annika Janssen (vormals Tiltack) für 26 Monate vom 1.4.2010 bis 31.5.2012 am DZMB angestellt.

**0835 Vergabe von Aufträgen:** Die bewilligten Mittel wurden für Aufträge zur Sequenzierung von DNA-Proben verwendet.

**0838 Verbrauchsmaterial:** Die Zuwendungen für Verbrauchsmaterial wurden zur Durchführung der Expedition SO205 verwendet. Die wichtigsten Positionen waren Chemikalien für die Probenkonservierung und DNA-Kits.

**0845 Reisekosten:** Die Reisekosten wurden für die Anreise zum Starthafen der Expedition verwendet.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Alle durch BGR, AWI, GEOMAR und DZMB geleisteten Arbeiten waren zur Durchführung des Projektes notwendig und angemessen und Voraussetzung zur Beantwortung der Ausgangsfragenstellungen. Sie wurden im beantragten finanziellen und personellen Rahmen durchgeführt.

## 2.4 Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Die **geochemischen und biogeochemischen** Arbeiten haben zu einem wesentlichen Erkenntnisgewinn hinsichtlich des geochemischen Milieus und der biogeochemischen Prozesse in den Sedimenten der beiden deutschen Lizenzgebiete im Gebiet der CCFZ geführt. Zum ersten Mal in dieser Meeresregion ist es uns gelungen tiefe Sauerstoff-Messungen im Sediment durchzuführen und damit frühere Annahmen über die Redoxzonierung der Sedimente der CCFZ zu revidieren.

Die entlang eines Profils von drei Sedimentkernen an der Flanke eines Seamounts durchgeführten *ex situ*-Sauerstoffmessungen haben die ursprünglichen Ziele des vorliegenden Vorhabens noch wesentlich erweitert. Unsere Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse auf dem Gebiet der Migration von Fluiden in Seamount-Basalten und deren Einfluss auf das geochemische Milieu und die biogeochemischen Prozesse in den darüber liegenden Sedimenten. Diese Prozesse sind – unseres Wissens nach – weltweit bisher lediglich an zwei anderen Lokationen im Pazifik und im Atlantik beschrieben. Die Bedeutung dieser Prozesse für marine Stoffkreisläufe und die genauen Parameter, die den Transport von Fluiden oder gelösten Komponenten durch porösen Basalt sowie in das und durch das darüber liegende feinkörnige, kohäsive Sediment steuern, sind bisher weitestgehend unverstanden. Unsere gewonnenen Daten und Ergebnisse besitzen daher eine hohe wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und wir haben auf der Basis der im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Ergebnisse einen (inzwischen positiv begutachteten) Forschungsantrag gestellt, der sich in einem multidisziplinären und innovativen Ansatz der Erforschung der Fluidmigration und des Stofftransportes an Seamounts bzw. in den überlagernden Sedimenten widmen wird. Die Ergebnisse des MANGAN-Projektes sind darüber hinaus allgemein für die Exploration des deutschen Lizenzgebietes von großem Interesse. Sie zeigen u.a., dass die Knollenbelegung und Knollengröße starken kleinräumigen Variationen unterliegen, die sich in erster Linie auf Heterogenitäten in den Sedimentationsbedingungen zurückführen lassen. Diese wiederum werden offenbar durch den Einfluss der Seamounts auf die lokalen Bodenwasserströmungen gesteuert.

Die bei den **mikrobiologischen Studien** neu beobachteten Organismen könnten zur Aufarbeitung metallischer Rohstoffe (z.B. Manganknollen) mit biotechnologischen Verfahren geeignet sein. Zurzeit werden in der BGR Untersuchungen durchgeführt, die an die Resultate des MANGAN-Projektes anknüpfen. Dabei werden neutrophile und auch acidophile Eisen(III) reduzierende Bakterien eingesetzt, die unlösliche Eisenminerale in lösliche Eisen(II)ionen umwandeln sollen. Damit einhergehen soll die Lösung anderer Metalle wie Nickel, Kobalt und Kupfer. Diese Untersuchungen können Grundlage zur Entwicklung eines Aufbereitungsprozesses für Manganknollen sein.

Die Daten und Interpretationen zur **Paläozeanographie, Paläoumwelt und Paläoklima** können nachfolgend von nationalen bzw. internationalen Wirtschafts- und Forschungseinrichtungen als auch politisch Verantwortlichen für weiterführende Studien zu Themen wie Funktionsweise von Klimamechanismen, und zukünftige Klimafolgen-Risikoabschätzung genutzt werden. Die erzielten Ergebnisse tragen zu einem besseren Verständnis der Faktoren beigetragen, die die Genese von Manganknollen und -krusten beeinflussen und neue Erkenntnisse zu den Zeitskalen, auf denen sich diese ökonomisch relevanten Präzipitate bilden. Dies wird eine direkte Bedeutung für die weiteren Forschungsarbeiten an den Manganknollen und -krusten des deutschen Lizenzgebietes und deren potentielle Exploration haben.

Die Untersuchungen der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung und der **Diversität der benthischen Lebensgemeinschaften** im deutschen Lizenzgebiet sowie der Vergleich des deutschen mit dem französischen Lizenzgebiet haben die Datengrundlage für die Bestimmung der Empfindlichkeit der Fauna der Manganknollenfelder gegenüber Störungen erheblich vergrößert.

Diese Erkenntnisse sind ebenso wie alle weiteren Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Untersuchungen direkt in die Pflege des deutschen Lizenzgebietes eingegangen und haben einen wertvollen Beitrag zur Berichtspflicht der Bundesrepublik gegenüber der Inter-

nationalen Meeresbodenbehörde geleistet. Außerdem sind unsere Ergebnisse auch für einen potentiellen zukünftigen Meeresbergbau in der Tiefsee von großer Relevanz, weil sie eine bessere Abschätzung der möglichen Umwelteffekte beim Abbau von Manganknollenvorkommen erlauben, so z.B. die Sauerstoffzehrung durch Sedimentsuspension, Störungen des Redoxmilieus und des benthischen Habitats der Oberflächensedimente, mögliche Stoff-Freisetzungen, die Verletzlichkeit der benthischen Fauna gegenüber Störungen sowie Möglichkeiten der Wiederbesiedlung.

## 2.5 Fortschritte anderer Arbeitsgruppen auf dem Gebiet des Vorhabens

Für die mikrobiologischen Arbeiten war eine in 2012 publizierte Studie von Vandieken et al. (The ISME Journal, 6: 2078-2090) von Bedeutung. Darin identifizieren und beschreiben die Autoren zwei isolierte Stämme der Gattung *Colwellia* als Mn(IV)-Reduzierer. Von keinem Vertreter dieser Gruppe war bisher die Fähigkeit zur Manganreduktion bekannt. Wir konnten damit einer in unseren Proben abundant auftretenden Art eine potentielle physiologische Funktion und Mitwirkung bei der Manganknollenbildung zuweisen.

Hinsichtlich der weiteren Forschungsthemen im Rahmen dieses Projektes hat es nach unseren Informationen während der Projektlaufzeit keine wesentlichen Änderungen im Stand der Wissenschaft durch andere Arbeitsgruppen gegeben.

## 2.6 Referenzliste

- Abouchami, W., Goldstein, S.L. (1995). A lead isotopic study of Circum- Antarctic manganese nodules. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 1809-1820.
- Amakawa, H., Sasaki, K., Ebihara, M. (2009). Nd isotopic composition in the central North Pacific, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73: 4705-4719.
- Baldauf, S.L. (2003). The deep roots of eukaryotes. *Science* 300: 1703-1706.
- Brown, C.J., P.J.D. Lamshead, C.R. Smith, L.E. Hawkins, R. Farley (2001). Phytodetritus and the abundance and biomass of abyssal nematodes of the central, equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.* 48: 555-565.
- Bucklin, A., Steinke, D., Blanco-Bercial, L. (2011). DNA Barcoding of Marine Metazoa. *Annu. Rev. Mar.Sci.* 3: 471-508. (doi:10.1146/annurev-marine-120308-080950).
- Dymond, J., M. Lyle, B. Finney, D.Z. Piper, K. Murphy, R. Conard, N. Pisiyas (1984). Ferromanganese nodules from MANOP Sites H, S, and R – Control of mineralogical and chemical composition by multiple accretionary processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 931-949.
- Ehrlich, H.L. (2002). *Geomicrobiology*, 4th edition, New York, Marcel Dekker, Inc., pp. 768.
- Frank, M. (2002). Radiogenic isotopes: Tracers of past ocean circulation and erosional input. *Rev. Geophys.* 40, 1001, 10.1029/2000RG000094.
- Frank, M., N.Whiteley, S. Kasten, J.R. Hein, K. O’Nions (2002). North Atlantic Deep Water export to the Southern Ocean over the past 14 Myr: Evidence from Nd and Pb isotopes in ferromanganese crusts. *Paleoceanography*, 17, 1022, 10.1029/2000PA000606.
- Frank, M., Reynolds, B.C., O’Nions, R.K. (1999). Nd and Pb isotopes in Atlantic and Pacific water masses before and after closure of the Panama gateway. *Geology*, 27: 1147-1150.
- Glasby, G.P. (2006). Manganese: Predominant role of nodules and crusts. [in]: *Marine Geochemistry*, H.D. Schulz and M. Zabel (eds.), Springer, Heidelberg, 371-428.

- Glasby, G.P., T. Thijssen (1982). Control of the mineralogy and composition of the manganese nodules by the supply of divalent transition metal ions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlung*, 145: 291-307.
- Glover, A.G. (2001). Abyssal polychaete assemblages along latitudinal gradients of productivity in the Equatorial Pacific and North Atlantic Oceans. University of Southampton. PhD Thesis.
- Graham, J.W. (1959). Metabolically induced precipitation of trace elements from sea water. *Science* 129: 1428-1429.
- Graham, J.W. and Cooper (1959). Biological origin of manganese-rich deposits of the sea floor. *Nature* 183: 1050-1051.
- Grundmanis, V., J.W. Murray (1982). Aerobic respiration in pelagic marine sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 1101-1120.
- Gutjahr, M., Frank, M., Stirling, C.H., Klemm, V., van De Flierdt, T., Halliday, A.N. (2007). Reliable extraction of a deepwater trace metal isotope signal from Fe- Mn oxyhydroxide coatings of marine sediments. *Chemical Geology*, 242: 351-370.
- Gutzmann, E., P. Martínez Arbizu, A. Rose, G. Veit-Köhler (2004). Meiofauna communities along an abyssal depth gradient in the Drake Passage. *Deep-Sea Res. II*, 51: 1617-1628.
- Halbach, P., C. Scherhag, U. Hebisch, V. Marchig (1981). Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific Ocean. *Mineral. Deposita*, 16: 59-84.
- Halbach, P., G. Friedrich, U. von Stackelberg (eds.) (1988). *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Geological Environment, Nodule Formation, and Mining Aspects*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 254 p.
- Han, X., Jin, X., et al. (2003). Rhythmic growth of Pacific ferromanganese nodules and their Milankovitch climatic origin. *Earth and Planetary Science Letters*, 211: 143-157.
- Jahnke, R., D. Heggie, S. Emerson, V. Grundmanis (1982). Pore water of the central Pacific Ocean: nutrient results. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 61: 233-256.
- Janssen A., S. Kaiser, L. Albers, I. Mohrbeck, D. Miljutin, K. Larsen, L. Neal, A. Rogacheva, L. Menot, C. Rühlemann, P. Martínez Arbizu P. (2012). Deep-sea treasures - macrobenthic assemblages of the tropical Pacific nodule province (Clarion-Clipperton Fracture Zone). 13th International Deep-Sea Biology Symposium. Wellington, New Zealand.
- Kawabe, M., Fujio, S. Pacific ocean circulation based on observation, *Journal of Oceanography*, 66: 389-403.
- Knoop, P.A., R.M. Owen, C.L. Morgan (1998). Regional variability in ferromanganese nodule composition: north-eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Geology* 147: 1-12.
- Lacan, F., Jeandel, C. (2001). Tracing Papua New Guinea imprint on the central Equatorial Pacific Ocean using neodymium isotopic compositions and Rare Earth Element patterns, *Earth and Planetary Science Letters*, 186: 497-512.
- Lamshead P.J.D., C.J. Brown, T.J. Ferrero, L.E. Hawkins, C.R. Smith, N.J. Mitchell (2003). Diversity of nematode assemblages from the region of the Clarion-Clipperton Fracture Zone, an area of commercial mining interest. *BMC Ecology*, 3: 1-12.
- Ling, H.F., Burton, K.W., O'Nions, R.K., Kamber, B.S., von Blanckenburg, F., Gibb, A.J., Hein, J.R. (1997). Evolution of Nd and Pb isotopes in Central Pacific seawater from ferromanganese crusts. *Earth and Planetary Science Letters*, 146: 1-12.
- Mahatma, R. (2009). Meiofauna communities of the Pacific Nodule Province: abundance, diversity and community structure. Dissertation, Universität Oldenburg.

- Mardulyn, P., Whitfield, J.B. (1999). Phylogenetic signal in the COI, 16S, and 28S genes for inferring relationships among genera of Microgastrinae (Hymenoptera: Braconidae): evidence of a high diversification rate in this group of parasitoids. *Mol. Phylogenet. Evol.* 12: 282-294.
- Müller, P.J., M. Hartmann, E. Suess (1988). The chemical environment of pelagic sediments. In: P. Halbach, G. Friedrich, U. von Stackelberg (eds.), *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Geological environment, Nodule Formation, and Mining Aspects.* Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, pp. 70-90.
- Mullineaux, L.S. (1989). Vertical distributions of the epifauna on manganese nodules: Implications for settlement and feeding. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 1247-1262.
- Paterson, G.L.J., G.D.F. Wilson, N. Cosson, P.A. Lamont (1998). Hessler and Jumars (1974) revisited: abyssal polychaete assemblages from the Atlantic and Pacific, *Deep-Sea Research II*, 45: 225-251.
- Piepgras, D.J., Wasserburg, G.J. (1982). Isotopic Composition of Neodymium in Waters from the Drake Passage, *Science*, 217, 207-214.
- Prueher, L.M., Rea D.K. (2001). Tephrochronology of the Kamchatka- Kurile and Aleutian arcs: Evidence for volcanic episodicity. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 106, 67-84.
- Rose, A. S. Seifried, E. Willen, K.H. George, G. Veit-Köhler, K. Bröhdick, J. Drewes, G. Moura, P. Martínez Arbizu, H.K. Schminke (2005). A method for comparing within-core alpha diversity values from repeated multicorer samplings, shown for abyssal Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) from the Angola Basin. *Organisms Diversity and Evolution*, 5: 3-17.
- Segl, M., A. Mangini, G. Bonani, H.J. Hofmann, M. Nessi, M. Suter, W. Wöflfi, G. Friedrich, W.L. Plüger, A. Wiechowski, and J. Beer (1984). <sup>10</sup>Be dating of a manganese crust from Central North Pacific and implications for oceanic paleocirculation, *Nature*, 309: 540-543.
- van de Fliedrt, T., M. Frank, A.N. Halliday, J.R. Hein, B. Hattendorf, D. Günther, P.W. Kubik (2004), Deep and bottom water export from the Southern Ocean to the Pacific Ocean over the past 38 million years, *Paleoceanography* 19, PA 1020, 10.1029/2003PA000923.
- Weizhong L, Godzik A (2006). CD-HIT: a fast program for clustering and comparing large sets of protein or nucleotide sequences. *Bioinformatics*, 22:1658-1659.
- Ying H, Beifang N, Ying G, Limin F, Weizong L (2010). CD-HIT Suite: a web server for clustering and comparing biological sequences. *Bioinformatics*, 26: 680-682.

### 3 Liste der Veröffentlichungen

#### 3.1 Publikationen und Manuskripte (PDFs in Anlage 2)

- 1) Blöthe, M., A. Wegorzewski, T. Kuhn, A. Schippers (2013). Deep-sea manganese nodules harbor a specific prokaryotic community dominated by Mn-cycling bacteria. *ISME Journal*, eingereichtes Ms.
- 2) Kuhn, T., Rühlemann, C., Wiedicke-Hombach, M. (2011). Development of methods and equipment for the exploration of manganese nodules in the German license area in the central equatorial Pacific, *Proc. Ninth (2011) ISOPE Ocean Mining Symposium*, 174-177.
- 3) Kuhn, T., C. Rühlemann, M. Wiedicke-Hombach (2012). Developing a strategy for the exploration of vast seafloor areas for prospective manganese nodule fields. In Zhou, H. and Morgan, C.L. (eds.) *Marine Minerals: Finding the right balance of sustainable development and environmental protection.* The Underwater Mining Institute 2012, 9 pp.

- 4) Matsuyama, K., Janssen, A., Martínez Arbizu, P. (2013): Note on some Ascophoran Species records (Fam. Catinicellidae and Fam. Hippopodinidae) from the RV SONNE deep sea cruises SO167 "Louisville" and SO 205 "Mangan". *Zootaxa*, Magnolia Press, eingereichtes Ms.
- 5) Mewes, K., Mogollón, J.M., Picard, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Nöthen, K., Eisenhauer, A., Kasten, S. (in prep.). The impact of depositional and biogeochemical processes on small scale variations in nodule abundance in the Clarion-Clipperton Fracture Zone. Ms. im fortgeschrittenen Bearbeitungszustand zum Einreichen bei Deep-Sea Research Part I.
- 6) Mogollón, J.M., Mewes, K., Kasten, S. (prep.) The coupling of manganese and nitrogen cycles under carbon-starved conditions in marine sediments. Ms. im fortgeschrittenen Bearbeitungszustand zum Einreichen bei Nature Geoscience.
- 7) Rühlemann, C., Kuhn, T., Wiedicke, M., Kasten, S., Mewes, K., Picard, A. (2011) Current status of manganese nodule exploration in the German license area. Proceedings of the Ninth (2911) ISOPE Ocean Mining Symposium, Maui, Hawaii, USA, June 19-24, 2011, 168-173.
- 8) Schöning, T., Kuhn, T.W. Nattkemper (2012). Estimation of polymetallic nodule coverage in benthic images. In: H. Zhou and C.L. Morgan (eds.) *Marine Minerals: Finding the Right Balance of Sustainable Development and Environmental Protection*. The Underwater Mining Institute 2012, 11 pp.
- 9) Wegorzewski, A.V. und Kuhn, T. (2013): The influence of suboxic diagenesis on the formation of Manganese nodules in the Clarion-Clipperton nodule belt of the Pacific Ocean. *Marine Geology*, eingereichtes Ms.

### 3.2 Manuskripte in Vorbereitung

- 1) Janssen, A., Martínez Arbizu, P., Meissner, K., Kaiser, S., Brenke, N., (in prep.). Biodiversity and spatial distribution of macrobenthic Fauna in the Pacific Nodule Province. *PLOS ONE Journal*.
- 2) Janssen, A., Martínez Arbizu, P. (in prep.). Metazoan meiofauna of the Pacific nodule province (Clarion Clipperton Fracture Zone): abundance, diversity and community structure in dependence of polymetallic nodule and ocean surface bioproductivity. *Deep Sea Research Part I*.
- 3) Mewes, K., Eisenhauer, A., Kretschmer, S., Rutgers van der Loeff, M., Kuhn, T., Mogollón, J.M., Rühlemann, C., Wegorzewski, A., Kasten, S. (in prep. a). Effects of glacial-interglacial climate variability on sediment geochemistry and nodule growth in the equatorial Pacific Ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- 4) Mewes, K., Eisenhauer, A., Kuhn, T., Mogollón, J.M., Picard, A., Rühlemann, C., Kasten, S. (in prep. b). Impact of oxygen fluxes from recharge seamounts on biogeochemical processes in overlying sediments: An example from the eastern equatorial Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*.
- 5) Tietjens, A., Eisenhauer, A., Frank, M., Heuer, L., Reichert, P. (in prep.). Comparison of the reliability of seawater trace element and radiogenic isotope signatures in diagenetic ferromanganese nodules, hydrogenetic crusts and deep sea sediments from the eastern equatorial North Pacific. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.

- 6) Wegorzewski, A. V., Kuhn, T., Rühlemann, C., Simon, F. (in prep.). Porosity distribution and permeability of Mn nodules deduced from computer tomography and XPS analyses. *American Mineralogist*.
- 7) Wegorzewski, A. V., Kuhn, T., Rühlemann, C., Dohrmann, R. (in prep.). Ion-exchange capacity and mineral composition of Mn nodules from the Clarion-Clipperton fracture zone. *Clays and Clay Minerals*.

### **3.3 Dissertationen**

- 1) Janssen, Annika (in prep.). Biodiversität der benthischen Lebensgemeinschaft des Manganknollengürtels im äquatorialen NE-Pazifik, Dissertation, Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften.
- 2) Mewes, Konstantin (in prep.). Genesis of Mn/Fe precipitates and biogeochemical processes in sediments of the manganese nodule belt of the NE Pacific. Dissertation, Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften.
- 3) Wegorzewski, Anna V. (in prep.). The genesis of polymetallic nodules from the Clarion-Clipperton nodule belt in the Pacific Ocean. Dissertation, Universität Hannover, Institut für Mineralogie.
- 4) Heuer, Lasse: Die geplante Dissertation von Herrn Heuer kann krankheitsbedingt nicht fertiggestellt werden. Gleichwohl sind die bereits gewonnenen Daten von hoher Qualität. Die Antragsteller (Eisenhauer, Frank) werden diese Daten nach Rücksprache mit Herrn Heuer in Fachzeitschriften publizieren.

### **3.4 Diplom-/Masterarbeiten und Bachelorarbeiten**

- 1) Armbrorst, Sarah (2012). Comparison of the macrofauna from Pacific sediments covered or not covered with manganese nodules. Bachelorarbeit, Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, 78 S.
- 2) Armbrorst, Sarah (in prep.). Do the same isopod species occur in the German and the French manganese nodule claim areas in the deep sea of the NE Pacific? Masterarbeit, Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2013.
- 3) Hansen, Jan (2010). Geochemie und Mineralchemie einer Manganknolle aus dem Manganknollengürtel des Nord-Ost-Pazifiks. Bachelorarbeit, Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, 38 S.
- 4) Hirte, Anja (2013). Zerkleinerungsversuche an Manganknollen, Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 87 S.
- 5) Kleint, Charlotte (2012). Phase associations of some rare valuable metals (Pt, Zr, Hf, Nb, Ta, Mo, W, Th and REY) in ferromanganese nodules and crusts and potential methods for selective extraction. Masterarbeit, Jacobs University, 62 S.
- 6) Krapf, Eva (in prep.). Die Verteilung von Spurenelementen in Manganknollen vom äquatorialen NE-Pazifik. Masterarbeit, TU Clausthal, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2013.

- 7) Ladwig, Amrei (in prep.). Laser-induzierte Ablation und Messung von Sr-Isotopenverteilung und -fraktionierung an einer Manganknolle aus dem Pazifik, Universität Kiel, Institut für Geowissenschaften, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2013.
- 8) Raschka, Uwe (in prep.). Molekularbiologische Analysen ausgewählter Isopoden und Polychaeten. Masterarbeit, Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Fertigstellung voraussichtlich Ende 2013.
- 9) Reichert, Patrick (2012). Geochronology and Geochemistry of the ferromanganese nodule 56KG2 from the German license area. Diplomarbeit, Universität Kiel, Institut für Geowissenschaften, 74 S.
- 10) Soijanda, Phattarawadee (2012). Relationship between spatial variability of benthic macrofauna and environmental variables in the Northeast Pacific. Bachelorarbeit; Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, 55 S.
- 11) Tietjens, Annika (2013). Rekonstruktion der Tiefenzirkulation im äquatorialen Pazifik der letzten 6 Myr mit radiogenen Nd- und Pb-Isotopen. Bachelorarbeit, Universität Kiel, Institut für Geowissenschaften, 90 S.
- 12) Widmann, Philipp (in prep.). Manganese concentrations of deep-sea sediments from various depositional environments within the German license area for polymetallic nodule exploration. Masterarbeit. Universität Tübingen, Fakultät für Mikropaläontologie, Fertigstellung voraussichtlich Juli 2014.

### **3.5 Berichte**

- 1) Heuer L., Rühlemann, C., Frank, M., Christl, M., Eisenhauer, A. (2011). Pacific deep-sea sediments and nodule formation: Dating of sediment cores from the northeast equatorial Pacific Ocean. Annual Report Ion Beam Physics, ETH Zürich, p. 59.
- 2) Rühlemann, C. und Fahrtteilnehmer (2010). Cruise report SO-205 MANGAN - Microbiology, Paleoceanography and Biodiversity in the Manganese Nodule Belt of the Equatorial NE Pacific. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 248 S.

### **3.6 Tagungsbeiträge (Vorträge, Poster)**

#### **2010**

- 1) Kuhn, T., C. Rühlemann, M. Wiedicke-Hombach, U. Barckhausen, U. Schwarz-Schampera, J. Rutkowski, S. Lehmann (2010). New insights of Mn nodule exploration from the German license area in the Pacific manganese nodule belt. In: Cherkashev, G., Morgan, C.L. (Eds.). Underwater Mining Institute 2010: Towards the Sustainable Development of Marine Minerals: Geological, Technological, and Economic Aspects. Gelendzhik, Russland, 4.-9.10.2010 (Vortrag).
- 2) Martinez Arbizu, P. (2010). Biodiversität in der Tiefsee: Probleme des Umweltschutzes außerhalb der AWZ. Meeresumwelt-Symposium, 1.6.2010, Hamburg (Vortrag).
- 3) Martinez Arbizu, P. (2010). Additional data and information that could be provided by CeDAMar. ISA Workshop for the establishment of a regional Environmental Management Plan for the Clarion-Clipperton Zone in the Central Pacific, 8.-12.11.2010, Kingston, Jamaika (Vortrag).

- 4) Rühlemann, C. Blöthe, M., Kuhn T., Schippers, A. Martínez-Arbizu P., Tiltack, A., Schüchel, S., Schüchel, U., Miljutina, M. Mewes, K., Kasten, S. Picard, A. (2010). Environmental work carried out by BGR. ISA Workshop for the establishment of a regional Environmental Management Plan for the Clarion-Clipperton Zone in the Central Pacific, 8.-12.11.2010, Kingston, Jamaika (Vortrag).

## 2011

- 5) Blöthe, M., Schippers, A. (2011). Geomicrobiological investigation of manganese nodules collected during the R/V Sonne cruise SO 205 from the Clarion-Clipperton-Zone, Pacific Ocean - International Biohydrometallurgy Symposium (IBS2011), 18.-22.9.2011, Central South University, Changsha, China (Vortrag).
- 6) Blöthe, M., Schippers, A. (2011). Geomicrobiological investigation of manganese nodules collected during the R/V SONNE cruise SO205 from the Clarion-Clipperton-Zone, Pacific Ocean – International Symposium on Subsurface Microbiology (ISSM), 11.-16.9.2011, Garmisch-Partenkirchen (Poster).
- 7) Blöthe, M., Schippers, A. (2011). Geomikrobiologische Untersuchungen an Manganknollen der SONNE-Fahrt SO 205. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 9.-10.2.2011, BGR, Hannover (Vortrag).
- 8) Heuer, L., Frank, M., Eisenhauer, A., Christl, M. (2011). Tracing water masses with radiogenic isotopes: Water column and Fe-Mn crust records from the eastern equatorial Pacific Ocean. Goldschmidt Conference, 14.-19.8.2011, Prag, Tschechien (Poster).
- 9) Heuer L., Frank, M., Eisenhauer, A. (2011) Neodym als Tracer für Wassermassen: Konzentrationen und Isotopenzusammensetzungen im östlichen äquatorialen Pazifik. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 9.-10.2.2011, BGR, Hannover (Vortrag).
- 10) Kuhn, T., Rühlemann, C., Wiedicke-Hombach, M. (2011). Development of Methods and Equipment for the Exploration of Manganese Nodules in the German License Area in the Central Equatorial Pacific. ISOPE/Ocean Mining Symposium, 19.-24.6.2011, Maui, Hawaii (Vortrag).
- 11) Martinez Arbizu, P. (2011). Symposium “Marine Benthic Biodiversity and Ecosystem Functioning: an Outlook to the Future, Amsterdam, Niederlande (Vortrag).
- 12) Martinez Arbizu, P. (2011). Workshop Bioresources from Oceans: “The Challenge of Economic Development Allowing for Deep-Sea Biodiversity Protection”. Berliner Akademie der Wissenschaften, Berlin, (Vortrag).
- 13) Martinez Arbizu, P. (2011). Biodiversität in der CCFZ. Informeller Workshop zum marinen Tiefseebergbau, World Wide Fund for Nature (WWF), 31.5.2011, Hamburg (Vortrag).
- 14) Mewes, K., Picard, A., Hansen, J., Rühlemann, C., Kuhn, T., Kasten, S. (2011) Geochemische Prozesse in Sedimenten des Manganknollengürtels im äquatorialen Nordost Pazifik. Erste Ergebnisse der FS Sonne Expedition SO 205. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 9.-10.2.2011, BGR, Hannover (Vortrag).
- 15) Mewes, K., Picard, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Kasten, S. (2011) Biogeochemical processes in sediments of the eastern Clarion-Clipperton Fracture Zone. YouMaRes 2.0 - Oceans amidst science, innovation and society; 7-9.9.2011, Bremerhaven, (Poster).

- 16) Mewes, K., Picard, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Kasten, S. (2011) Geochemical processes in sediments of the German license area for polymetallic nodule exploration in the NE Pacific Ocean. 2nd Young Scientist Excellence Cluster Conference on Marine and Climate Research: Perspectives from Natural and Social Sciences; 3-5.10.2011, Bremen (Poster).
- 17) Mewes, K., Picard, A., Rühlemann, C., Kuhn, T., Kasten, S. (2011) Biogeochemical processes in sediments of the manganese nodule belt in the equatorial NE Pacific Ocean. Swiss Geoscience Meeting, 11-13.11.2011, Zürich, Schweiz (Vortrag).
- 18) Rühlemann, C. und Fahrtteilnehmer (2011). Das deutsche Lizenzgebiet zur Exploration polymetallischer Knollen: Erste Ergebnisse des Forschungsprojektes MANGAN (SO-205). BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 9.-10.2.2011, BGR, Hannover (Vortrag).
- 19) Rühlemann, C. (2011). Das deutsche Lizenzgebiet zur Exploration polymetallischer Knollen: Manganknollen als potentielle zukünftige Rohstoffquelle. 4. Kieler Marktplatz, Maritimes Cluster Norddeutschland / Ozean der Zukunft, 10.3.2013, Kiel (Vortrag).
- 20) Rühlemann, C. (2011). Das deutschen Manganknollen-Lizenzgebiet: Chancen und Verpflichtungen. Informeller Workshop zum marinen Tiefseebergbau, World Wide Fund for Nature (WWF), 31.5.2011, Hamburg (Vortrag)
- 21) Rühlemann, C. (2011). Die Meere als neue Rohstoffquelle? Das Beispiel Manganknollen. SDP-Workshop "Zukunft der Meeresforschung", 22.9.2011, Deutscher Bundestag, Berlin (Vortrag).
- 22) Rühlemann, C., Kuhn, T. Wiedicke, M. (2011). Current Status of Manganese Nodule Exploration in the German License Area. ISOPE/Ocean Mining Symposium, 19.-24.6.2011, Maui, Hawaii (Vortrag).
- 23) Tiltack A., Martínez Arbizu P., Miljutina M., Schücker U., Schücker S. (2011). Biodiversität der benthischen Lebensgemeinschaften im Manganknollengürtel im NE-Pazifik: Expedition SO205, MANGAN. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 9.-10.2.2011, BGR, Hannover (Vortrag).
- 24) Tiltack A., Martínez Arbizu P., Miljutina M., Görtemaker K. (2011). Biodiversität des Megabenthos innerhalb des Manganknollengürtels (NE Zentral-Pazifik). Statusseminar "Meeresforschung mit FS SONNE". BGR Hannover, Germany (Poster).
- 25) Tiltack, A., Martínez Arbizu, P. (2011). Manganese nodules and deep sea fauna (5min). Digital object contribution to the World Conference on Marine Biodiversity in Aberdeen, Scotland in 2011 (digitaler Beitrag).

## 2012

- 26) Blöthe, M., Schippers, A. (2012). Microorganisms in Pacific Ocean manganese nodule. GeoHannover 2012, 1.-3.10.2012, Universität Hannover (Vortrag).
- 27) Blöthe, M., Schippers, A. (2012). Prokaryotic Diversity in Manganese Nodules from the Clarion-Clipperton Zone, Pacific Ocean – International Symposium on Microbial Ecology (ISME), 19.-24.8.2012, Kopenhagen, Dänemark (Poster).

- 28) Blöthe, M., Schippers, A. (2012). Prokaryotic diversity in Pacific Ocean manganese nodule – Jahrestagung der Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie (VAAM), 18.-21.3.2012, Tübingen (Vortrag).
- 29) Janssen A., Kaiser S., Albers L., Mohrbeck I., Miljutin D., Larsen K., Neal L., Rogacheva A., Menot L., Rühlemann C., Martínez Arbizu P. (2012). Deep-sea treasures - macrobenthic assemblages of the tropical Pacific nodule province (Clarion-Clipperton Fracture Zone). 13th International Deep-Sea Biology Symposium. 3.-7.12.2012, Wellington, New Zealand (Poster).
- 30) Kuhn, T., C. Rühlemann, M. Wiedicke-Hombach (2012). Developing a Strategy for the Exploration of Vast Seafloor Areas for Prospective Manganese Nodule Fields, The 41st Conference of the Underwater Mining Institute, 15.-20.10.2012, Tongji University, Shanghai, China (Vortrag).
- 31) Martinez Arbizu, P. (2012). "Sustainable management of Europe's deep-seafloor and sub-seafloor resources", Brüssel, Belgien (Vortrag).
- 32) Martinez Arbizu, P. (2012) Marine Rohstoffe und Umweltschutz in der Tiefsee. Kolloquium "Biologie und Umwelt". Universität Bielefeld (Vortrag).
- 33) Mewes, K., Picard, A., Mogollón, J.M., Nöthen, K., Rühlemann, C., Kuhn, T., Eisenhauer, A., Kasten, S. (2012). Impact of biogeochemical processes on small scale variations in manganese nodule abundance in the Clarion-Clipperton Fracture Zone. AGU Fall Meeting, 3.-7.12.2012, San Francisco (Poster).
- 34) Vink, A., Blöthe, M., Kasten, S., Kuhn, T., Martinez-Arbizu, P., et al. (2013). Environmental Work in the German License Area. Informal consultations between exploration contractors and the ISA, Januar 2012, Kingston, Jamaika (Vortrag).
- 35) Wegorzewski, A., Kuhn, T. Mewes, K., Picard, A., Kasten, S., Reichert, P., Eisenhauer, A. (2012). Is the enrichment of metals in Mn-Fe nodules from the central Pacific correlated with glacial-interglacial stages? AGU Fall Meeting, 3.-7.12.2012, San Francisco (Poster).
- 36) Wegorzewski, A., Kuhn, T. (2012). Mineralogy of ferromanganese nodules and the metal association. GeoHannover, 1.-3.10.2012, Universität Hannover (Vortrag).

## 2013

- 37) Blöthe, M., Schippers, A. (2013). Mikrobielle Diversität in Manganknollen aus der Clarion-Clipperton Zone, Pazifischer Ozean - BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“, 13.-15.2.2013, Kiel (Vortrag).
- 38) Blöthe, M., Schippers, A. (2013). Prokaryotic diversity in Pacific Ocean manganese nodules - Mikrobiologisches Seminar, 18.5.2013, ICBM, Universität Oldenburg (Vortrag).
- 39) Janssen A., Martínez Arbizu P. (2013). Biodiversität im Manganknollengürtel des östlichen Zentralpazifik, Expedition SO205 MANGAN. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“; 13-15.2.2013, Kiel (Vortrag)
- 40) Janssen A., Kaiser S., Albers L., Mohrbeck I., Miljutin D., Larsen K., Neal L., Rogacheva A., Menot L., Rühlemann C., Martínez Arbizu P.(2013): Tiefsee-Schätze: makrobenthische Lebensgemeinschaften des Manganknollengürtels im nordöstlichen äquatorialen Pazifik

– deutsches Lizenzgebiet vs. französisches Lizenzgebiet. Statusseminar "Meeresforschung mit FS SONNE". Geomar Kiel, Germany, (Poster).

- 41) Kasten, S., Mewes, K., Picard, A., Mogollón, J.M., Nöthen, K., Rühlemann, C., Kuhn, T., Eisenhauer, A. (2013). Biogeochemische Prozesse in Sedimenten des deutschen Lizenzgebietes für Manganknollenexploration im äquatorialen Nordost Pazifik: Ergebnisse der FS Sonne Expedition SO205. BMBF Statusseminar „Meeresforschung mit FS SONNE“; 13-15.2.2013, Kiel (Vortrag).
- 42) Rühlemann, C., Martínez Arbizu, P. (2013). Deep-sea biodiversity and environmental observatories at polymetallic nodule fields in the NE Pacific. KDM-Workshop "Zukunftsperspektiven deutscher Ozean-Observatorien", 18.-19.6.2013, Hamburg (Vortrag).
- 43) Rühlemann, C., A. Vink, T. Kuhn, M. Wiedicke (2013). Umweltuntersuchungen der BGR im deutschen Manganknollen-Lizenzgebiet. Fachtagung des Umweltbundesamtes zu den ökologischen Auswirkungen des Tiefseebergbaus auf die marine Umwelt, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 28.2.2013, Berlin (Vortrag).
- 44) Rühlemann, C., Kuhn, T., Vink, A., Wiedicke, M., Janssen, A., Martínez Arbizu, P. (2013). Exploration in the German license area. ISA workshop to standardize megafaunal taxonomy in polymetallic nodules exploration contract areas in the Clarion-Clipperton Fracture Zone, 10.-15.6.2013, Wilhelmshaven (Vortrag).

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Abschlussbericht SO205 - MANGAN</b>	
3. Titel <b>Mikrobiologie, Geochemie, Paläozeanographie und Biodiversität im Manganknollengürtel des äquatorialen NE-Pazifik</b>		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] C. Rühlemann, A. Eisenhauer, M. Frank, S. Kasten, P. Martínez Arbizu, A. Schippers, M. Blöthe, A. Janssen, T. Kuhn, K. Mewes, A. Wegorzewski	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.1.2013	6. Veröffentlichungsdatum 31.7.2013
	7. Form der Publikation BGR-Bericht	
	9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, Südstrand 44, 26382 Wilhelmshaven Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel	10. Förderkennzeichen *) 03G0205A, B, C, D	
	11. Seitenzahl 39	
	13. Literaturangaben 40	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstr. 2 53175 Bonn	14. Tabellen 7	
	15. Abbildungen 10	
	16. Zusätzliche Angaben Anhang: 228 Seiten mit 17 Tabellen und 80 Abbildungen	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Jülich, Rostock, August 2013		
18. Kurzfassung: Die FS SONNE-Expedition SO205 fand unter Federführung der BGR vom 14.4. bis 22.5.2010 statt. Das interdisziplinär angelegte Projekt befasste sich mit folgenden Fragestellungen: (1) Untersuchungen zur Genese von Manganknollen durch die Aufklärung mikrobieller und frühdiaogenetisch-abiotischer Prozesse, (2) Rekonstruktionen der steuernden Parameter während der Knollenbildung wie Tiefenwasserzirkulation, Durchlüftung des Bodenwassers und Paläoproduktivität mit geochemischen und isotopengeochemischen Methoden und (3) Untersuchungen zur qualitativen und quantitativen Zusammensetzung und zur Diversität der benthischen Lebensgemeinschaften.  Die wichtigsten Ergebnisse sind: (1) Manganknollen sind dicht besiedelt durch eine artenreiche, prokaryotische Lebensgemeinschaft, die durch Mn(IV)-reduzierende und Mn(II)-oxidierende Bakterien dominiert ist. Dies spricht für einen biologisch gesteuerten, geschlossenen Mn-Zyklus bei der Bildung und möglicherweise auch beim Abbau der Knollen. (2) Hochauflösende <i>ex situ</i> -Sauerstoffmessungen zeigen, dass die O <sub>2</sub> -Eindringtiefe im Durchschnitt bei 2-3 Metern liegt und dass oxisch-diaogenetische und hydrogenetische Prozesse das gegenwärtige Wachstum der Knollen steuern. (3) Die Sauerstoffgehalte des Bodenwassers der CCFZ schwankten auf Zeitskalen von 10 <sup>5</sup> bis 10 <sup>6</sup> Jahren zwischen oxisch und suboxisch, vermutlich aufgrund von Variationen in der Bioproduktivität und / oder der Ventilation des Tiefenwassers. Dies hatte starken Einfluss auf die Wachstumsraten der Knollen, da sie unter suboxischen Bedingungen deutlich schneller wachsen. (4) Molekulargenetische Analysen der benthischen Faunengemeinschaft zeigen eine hohe Biodiversität und geringe Individuendichte. Biodiversität und Organismenanzahl sind im deutschen Lizenzgebiet größer als im 1300 km westlich gelegenen franz. Gebiet. Wanderbarrieren, die eine Wiederbesiedlung nach einem Tiefseebergbau verhindern könnten, existieren offenbar nicht.		
19. Schlagwörter Manganknollen, Clarion-Clipperton-Zone, Porenwasserchemie, Mineralogie, Isotopengeochemie, Spurenmetalle, Biodiversität, Geomikrobiologie		
20. Verlag BGR	21. Preis	

\*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.



## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of document (e.g. report, publication) <b>Final Report SO205 - MANGAN</b>
3. Title <b>Microbiology, geochemistry, paleoceanography and biodiversity in the Manganese Nodule Belt of the equatorial northeast Pacific</b>	
4. Author(s) (family name, first name(s)) C. Rühlemann, A. Eisenhauer, M. Frank, S. Kasten, P. Martínez Arbizu, A. Schippers, M. Blöthe, A. Janssen, T. Kuhn, K. Mewes, A. Wegorzewski	5. End of project 31.1.2013
	6. Publication date 31.7.2013
	7. Form of publication BGR report
8. Performing organization(s) (name, address): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, Südstrand 44, 26382 Wilhelmshaven Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel	9. Originator's report no.
	10. Reference no. 03G0205A, B, C, D
	11. No. of pages 39
12. Sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstr. 2 53175 Bonn	13. No. of references 40
	14. No. of tables 7
	15. No. of figures 10
16. Supplementary notes Appendix: 228 pages with 17 tables and 80 figures	
17. presented at (title, place, date) Projekträger Jülich, Rostock, August 2013	
18. Abstract: R/V SONNE expedition SO205 was carried out from April 14 <sup>th</sup> to May 22 <sup>nd</sup> 2010 under the auspice of BGR. The multidisciplinary research aimed at carrying out (1) investigations on the role of microbial and abiotic early diagenetic processes on the formation of manganese nodules, (2) reconstructions of the processes controlling the formation of nodules, such as deep-water circulation, bottom-water ventilation and paleoproductivity, using geochemical and isotopic methods, and (3) detailed analyses of the diversity of the deep-sea benthic faunal assemblage.  The main research outcomes are: (1) Manganese nodules provide a suitable habitat for prokaryotes, with an abundant and diverse prokaryotic community that is dominated by nodule-specific Mn(IV)-reducing and Mn(II)-oxidizing bacteria. This implies that a biologically-driven closed manganese cycle inside the nodules may be relevant for their formation and potentially also for their degradation. (2) High resolution <i>ex situ</i> oxygen measurements show that the O <sub>2</sub> penetration depth is 2-3 meters on average and that oxic-diagenetic and hydrogenetic processes control the present-day growth of manganese nodules. (3) The oxygen concentrations of CCFZ bottom water masses fluctuated between oxic and sub-oxic conditions on time scales of 10 <sup>5</sup> to 10 <sup>6</sup> years, presumably due to variations in surface water bioproductivity and/or ventilation rates of deep-water masses. This strongly influenced the growth rates of nodules, as manganese oxides precipitate faster under sub-oxic conditions. (4) Molecular genetic analyses of benthic faunal assemblages reveal a high biodiversity and a low density of individuals. Biodiversity and the quantity of organisms are larger in the German license area than in the French area some 1300 km to the west. No natural migration barriers that could prevent recolonisation of impacted areas after potential future deep-sea mining could be found.	
19. Keywords: manganese nodules, Clarion Clipperton Zone, porewater chemistry, mineralogy, isotope geochemistry, trace metals, biodiversity, geomicrobiology	
20. Publisher BGR	21. price