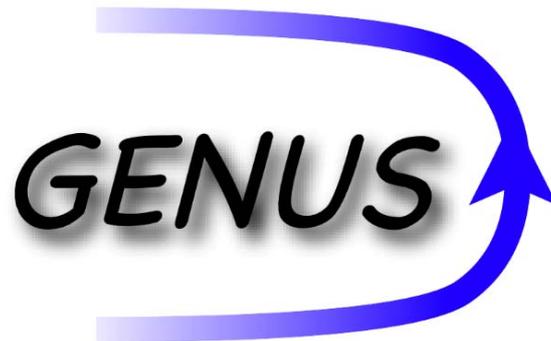


Antrag zur Teilnahme am Wettbewerb

Norddeutscher Wissenschaftspreis 2012

- Norddeutsche Kooperationen in der Meeresforschung -
Kooperationsprojekt



Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System
Einfluss des Klimawandels auf biogeochemische Zyklen und
ökologische Prozesse im Schelfgebiet des Südostatlantiks

Ansprechpartner/Koordinator:

Prof. Dr. Kay-Christian Emeis
Universität Hamburg
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit
Institut für Biogeochemie und Meereschemie
Bundesstraße 55, 20146 Hamburg
Tel: 040-42838 4992
Fax: 040-42838 6347
E-Mail: kay.emeis@zmaw.de



1. Partnereinrichtungen

Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Institut für Küstenforschung

Teilprojekt 1

(Prof. Dr. Hans von Storch, Dr. Eduardo Zorita, Dr. Birgit Hünicke)

Max-Planck-Straße 1

21502 Geesthacht

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Teilprojekt 2

(Dr. Volker Mohrholz, Dr. Martin Schmidt, Dr. Norbert Wasmund)

Seestraße 15

18119 Rostock

Universität Hamburg

Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit

Institut für Biogeochemie und Meereschemie

Teilprojekt 3

(Prof. Dr. Kay-Christian Emeis, Dr. Niko Lahajnar)

Bundesstraße 55

20146 Hamburg

Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) GmbH

Teilprojekt 4

(Dr. Werner Ekau, Dr. Tim Rixen, Dr. Andreas Kunzmann)

Fahrenheitstraße 6

28359 Bremen

Universität Hamburg

Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit

Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft

Teilprojekt 5

(Prof. Dr. Christian Möllmann, Dr. Rolf Koppelman, Dr. Bettina Martin)

Große Elbstraße 133

22767 Hamburg

Universität Bremen

Marine Zoologie (FB 2)

Teilprojekt 6

(Prof. Dr. Wilhelm Hagen, PD Dr. Holger Auel)

Leobener Straße

28359 Bremen

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

Teilprojekt 7

(Prof. Dr. Friedrich Buchholz)

Am Handelshafen 12

27570 Bremerhaven

Beitrag zum internationalen **IMBER-Projekt**

Partner der **Benguela Current Commission** (Windhuk, Namibia)

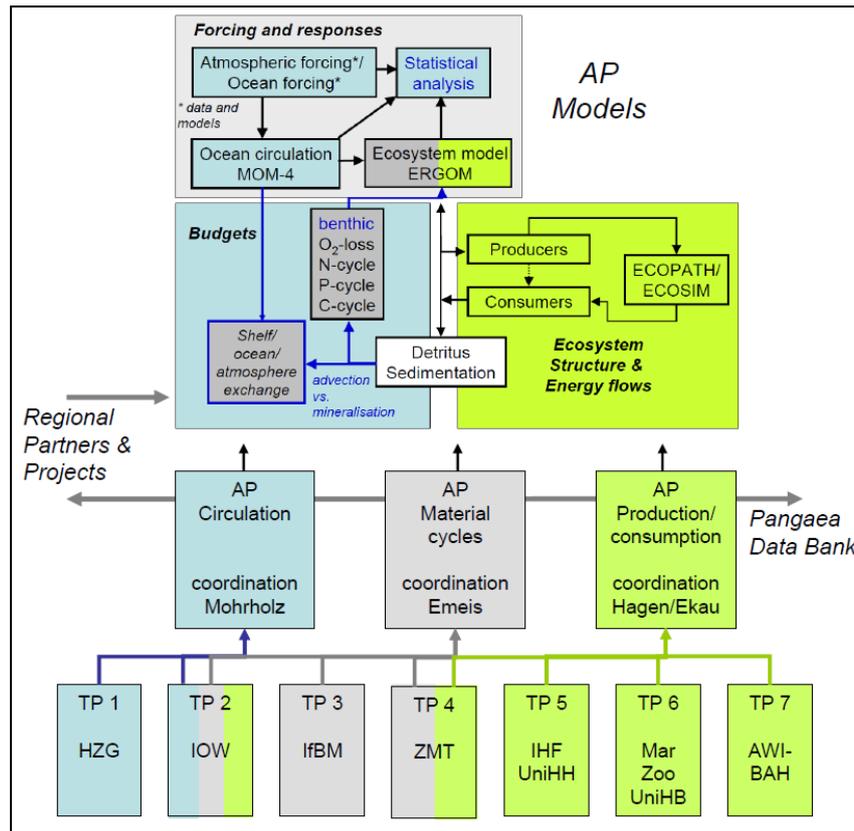


Abb. 1: GENUS Teilprojekte (TP), Arbeitspakete (AP) und Modellstruktur

2. Zeitlicher Verlauf der Kooperation

Die wissenschaftliche Kooperation wird seit 2009 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als Verbundprojekt GENUS (*Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System*) gefördert. Die Mitglieder des Konsortiums kooperierten bereits vor dieser Zeit im Rahmen nationaler und internationaler Projekte (z.B. JGOFS, GLOBEC, NAMIBGAS). GENUS wurde in Vorbereitung auf das international koordinierte IMBER (*Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research*) Projekt konzipiert, und bereits im Jahr 2008 wurden zwei Pilotstudien mit den Forschungsschiffen MARIA S. MERIAN und METEOR in der Region durchgeführt, bevor das Projekt am 01.03.2009 begann. Diese Vorarbeiten haben die wissenschaftliche Grundlage für die Hypothesen des GENUS-Projekts gelegt und die ausgezeichnete Kooperation der beteiligten Gruppen und in der Region begründet. Die erste Projektphase endete am 30.04.2012, die zweite Phase begann am 01.05.2012 und wurde vom BMBF bis zum 30.04.2015 bewilligt. Es ist Teil der „Forschungspartnerschaften für die Bewertung komplexer Prozesse im System Erde in der Region Südliches Afrika - SPACES“ im BMBF-Rahmenprogramm "Forschung für nachhaltige Entwicklung" (FONA).

3. Wissenschaftliche Kurzdarstellung des Kooperationsprojektes

Wie werden marine Ökosysteme auf den globalen Umweltwandel reagieren? Klimaveränderung ist ein Schlüsselphänomen des durch menschliche Aktivitäten verursachten globalen Umweltwandels. Damit verbunden sind teilweise dramatische Veränderungen der globalen und regionalen Stoffflüsse in marinen Ökosystemen, die zu gravierenden ökologischen und sozioökonomischen Konsequenzen führen. Insbesondere Küsten- und Schelfmeere spielen eine zentrale Rolle für die Speicherung von Treibhausgasen im Ozean. Sie beherbergen 25% der globalen biologischen Produktivität, stellen als reiche Fischgründe 90% der Fischereierträge - insbesondere Küstenauftriebsgebiete wie das vor Südwestafrika - und bieten andere wertvolle Ressourcen wie Diamanten, Erdöl- und Erdgasvorkommen und Phosphorite.

Der Klimawandel beeinflusst Stoffflüsse und Nahrungsnetze im Auftriebs-Ökosystem vor SW Afrika

Das Schicksal des im Meer gespeicherten Kohlendioxids hängt entscheidend von den Nahrungsnetzstrukturen sowie vom Austausch zwischen Schelf und angrenzendem Ozean ab. Grundlegende Wechsel in der Zusammensetzung ökologischer Gemeinschaften an der Basis der Nahrungspyramide wurden in letzter Zeit häufig beobachtet, u.a. im Küstenauftriebsgebiet vor Namibia. Die Auswirkungen dieser Regimewechsel auf die nachfolgenden Glieder der Nahrungskette einschließlich kommerziell wichtiger Fischbestände (Fischerei ist der drittgrößte Wirtschaftsfaktor Namibias) lassen sich im Küstenauftriebsgebiet vor Namibia modellhaft untersuchen, da die Kopplung zwischen klimatischen Ursachen und ökologischen Folgen dort klarer hervortreten als in anderen Regionen.

Auftriebsgebiete sind von globaler Bedeutung für Stoffkreisläufe und Ressourcen

Wissenschaftliche Ziele von GENUS

Im GENUS-Konsortium entwickeln Modellierer, Biogeochemiker und Ökologen gemeinsam auf der Basis umfangreicher Felddaten (Expeditionen mit verschiedenen Forschungsschiffen) und Langzeitserien ein Modellsystem, das die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresumwelt im Auftriebsgebiet vor Namibia prognostizieren kann. Damit leistet das GENUS-Projekt einen wertvollen deutschen Beitrag zur internationalen IMBER-Initiative (*Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research*) des *International Geosphere-Biosphere Programs* (IGBP). Wissenschaftliche Schwerpunkte von GENUS sind:

Das Projekt GENUS untersucht Auswirkungen von Klimawandel durch Untersuchungen vor Ort und mit Modellsimulationen

- Retrospektive Analysen der physikalischen Randbedingungen und biogeochemischen Kreisläufe im Auftriebsgebiet
- Bestimmung der Schlüsselarten und wichtigsten Stoffumsatzraten in Bezug auf physikalische, biogeochemische und biologische Prozesse
- Parametrisierung und Modellierung der Nahrungsnetz- Beziehungen, Rückkopplung von Veränderungen im Nahrungsnetz auf biogeochemische Stoffflüsse (CO₂, Sauerstoff, Nährstoffe) im Auftriebsgebiet und im angrenzenden Ozean
- Modellierung der Interaktionen Schelfökosystem - Offener Ozean - Atmosphäre

Ausbildung/Capacity Building

Bereits seit Beginn der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit GENUS-Partnern aus Namibia, Südafrika und Angola Ende der 1990er Jahre waren Ausbildung, Training und *Capacity Building* integrale Bestandteile der Kooperation. Diese Kooperation war eingebettet in die regionale Entwicklungs- und Trainings- sowie Fischereimanagement-Initiative BENEFIT (*Benguela Environment and Fisheries Interaction and Training*) sowie in die trilaterale Benguela Current Commission (BCC), einem Zusammenschluss der Anrainerstaaten Südafrika, Namibia und Angola. An allen bisher acht Forschungsexpeditionen mit verschiedenen deutschen, südafrikanischen, britischen Schiffen nahmen Wissenschaftler und Studierende der Meereswissenschaften aus den drei südafrikanischen Staaten und Deutschland teil, die an Bord moderne Methoden der Meeresforschung erlernten und aktiv an den Forschungsarbeiten beteiligt waren.

GENUS setzt erfolgreiche Kooperationen mit Wissenschaftlern aus der Region fort und leistet einen erheblichen Beitrag zum Capacity-Building

Darüber hinaus bieten die deutschen GENUS-Partner in ihren internationalen, meereswissenschaftlichen Master- und Postgraduierten-Studiengängen ein vielfältiges Angebot, das auch von afrikanischen Studierenden gern angenommen wird. An das wissenschaftliche Projekt GENUS sind Diplom- und Doktorarbeiten in

Namibia angegliedert, die durch deutsche und namibische Wissenschaftler betreut und durch GENUS finanziert werden. Bisher wurden fünf Doktoranden und ein Masterstudent aus Namibia gefördert und institutsübergreifend betreut. Die Förderung von zwei weiteren Masterstudenten/innen und einem Doktoranden ist in Vorbereitung, die ausgewählten Kandidaten/in haben bereits zugesagt, dass sie die GENUS-Stipendien annehmen werden.

Kooperation

Das Projekt wurde wissenschaftlich und in seinen Ausbildungskomponenten in Abstimmung mit den regionalen Partnern konzipiert. Das vom BMBF finanzierte Verbundvorhaben umfasst die Forschungsarbeiten der deutschen Partner während der ersten drei Jahre sowie die Ausbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an deutschen Universitäten. Auf den Expeditionen mit F/S METEOR und MARIA S. MERIAN, FRS AFRICANA UND RRS DISCOVERY nehmen regelmäßig Vertreter der regionalen Forschungsinstitute und der Universitäten teil.

GENUS wurde als Kern eines trilateralen Forschungs- und Ausbildungsprogramms konzipiert

Am GENUS-Projekt sind sechs Partnereinrichtungen aus den vier norddeutschen Bundesländern (Hamburg, Bremen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein) beteiligt, die interdisziplinär und institutsübergreifend die wissenschaftlichen Fragestellungen bearbeiten.

Im Rahmen des Projekts stehen vier Aufgabenbereiche im Fokus empirischer und theoretischer Untersuchungen (siehe Abbildung 1):

- Änderungen physikalischer Randbedingungen und der Reaktionen biogeochemischer Kreisläufe sollen retrospektiv in Modellen nachgebildet, modelliert und mit Daten und Archiven verglichen werden
- Physikalische, biogeochemische und biologische Schlüsselprozesse und Stoffumsatzraten werden empirisch quantifiziert und parametrisiert
- Empirische Untersuchungen münden in konzeptionelle Modelle, die Prozesse, Interaktionen und Mechanismen der Regelung trophischer Beziehungen in Schelfmeer-Ökosystemen nachbilden
- Interaktionen von Schelfmeer-Ökosystemen mit dem angrenzenden Ozean und der Atmosphäre werden quantifiziert und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen in Modellen nachgebildet.

4. Kurzdarstellung der wissenschaftlich inhaltlichen und methodischen Beiträge der beteiligten Partnereinrichtungen

Teilprojekt 1 (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institut für Küstenforschung)

Die Ursachen der niederfrequenten Variabilität (dekadisch und längerfristig) des Küstenauftriebes vor der südwestafrikanischen Küste werden durch statistische Analysen von Beobachtungsdatensätzen und globalen und regionalen Klimasimulationen mit Atmosphären-, Ozean- und gekoppelten Modellen untersucht. Das Ziel dieses Teilprojekts besteht darin, die Beziehung zwischen großskaligen Klimamustern und den lokalen Prozessen, die letztendlich die Auftriebsintensität steuern, zu bestimmen. Das gewonnene Verständnis soll dazu führen, mögliche zukünftige Änderungen des Küstenauftriebs unter dem Einfluss des globalen Klimawandels abzuschätzen und seine Entwicklung in den letzten Jahrhunderten zu erklären.

Die Variabilität des Küstenauftriebs vor Namibia wird mit Simulationen und Modellen untersucht

Teilprojekt 2 (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde)

Das Ökosystem des Benguela-Auftriebsgebietes reagiert direkt auf die Variabilität der fernwirkenden und lokalen physikalischen Antriebe und besitzt deshalb eine hohe Sensitivität für klimatische Veränderungen. Die Anpassung der ozeanischen Zirkulation an Änderungen im atmosphärischen Antrieb führt im Benguelasystem zu Verschiebungen in der Verteilung der Zentralwassermassen und zu Schwankungen der Auftriebsintensität. Dadurch ändern sich grundlegende hydrographischen Rahmenbedingungen für das Ökosystem. Im TP-2 werden Prozessstudien und Langzeituntersuchungen durchgeführt. Zusammen mit den Ergebnissen zu biogeochemischen Zyklen und zur Physiologie des Zooplanktons der anderen Teilprojekte wurde es damit möglich, bisher nicht berücksichtigte Prozesse in Ökosystemmodelle zu integrieren und damit deren Prognosefähigkeit zu verbessern. Das erarbeitete, mit einem 3-dimensionalen Zirkulationsmodell gekoppelte Ökosystemmodell bildet die hydrographischen Verhältnisse, Strömungen sowie die Zyklen der Nährstoffe durch das Nahrungsnetz sowie die Variabilität der Sauerstoffkonzentration sowie das Auftreten anoxischer Verhältnisse auf dem Schelf Namibias gut ab. Durch Feldmessungen und Experimente wird die Datenbasis zu den physikochemischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet gezielt so erweitert, dass mit Hilfe numerischer Modelle Szenarien zu möglichen Veränderungen in Stoffflüssen in einer der biologisch produktivsten Meeresregionen der Erde erstellt werden können. Sie ermöglichen Prognosen über die Reaktion von marinen Systemen auf Klimaveränderungen. Schwerpunktthemen der interdisziplinär angelegten Arbeiten der 2. Phase des Teilprojektes sind: 1) Auftriebsfilamente und die mesoskale Dynamik und ihr Einfluss auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen, 2) die Primärproduktion und Phytoplankton Sukzession in Abhängigkeit von der physikalischen Umgebung, 3) der Einfluss kleinskaliger Prozesse wie Dünung, interne Wellen und turbulente Vermischung an der Sediment–Wasser-Grenzschicht auf die Resuspension von partikulärem Material und seinem lateralen Transport sowie 4) Planktonorganismen und ihre Rückkopplungen auf den Sauerstoff- und Kohlenstoffkreislauf unter besonderer Berücksichtigung der kalzifizierenden Primärproduzenten (Coccolithophoriden) und des Makrozooplanktons. Die Arbeiten des TP-2 sind eng mit den anderen Teilprojekten des Verbundes und den regionalen Partnern verzahnt, wobei besonders die Ökosystemmodellierung als integrierende Komponente wirksam wird.

Die Wassermassenverteilung auf dem namibischen Schelf moduliert Nährstoff- und Sauerstoffzyklen

Das biogeochemische Modell reproduziert Veränderungen im Ökosystem als Folge von modifizierten physikalischen Antrieben

Teilprojekt 3 (Universität Hamburg, Institut für Biogeochemie und Meereschemie)

Durch den Küstenauftrieb werden das Ökosystem und die angrenzenden Ozeanregionen des Benguela-Auftriebsgebietes mit Nährstoffen versorgt; dabei entzieht die biologische Pumpe verstärkt CO₂ aus der näheren Umgebung des Benguela Küstenauftriebssystems. Die Herkunft der Auftriebswassermassen und die internen Stoffkreisläufe bestimmen hierbei das Sauerstoff-Gleichgewicht, das wiederum zahlreiche andere Schlüsselquellen und -senken beeinflusst. Es ist ein direkt regulierender Mechanismus für die Mineralisation von Nährstoffen und steuert den Rückfluss von Phosphat aus den Sedimenten; es ist für die den Kreislauf von fixiertem Stickstoff von Bedeutung (Nitrifizierung vs. Denitrifizierung/anaerobe Ammoniumoxidation, "Anammox"); es steuert den Abbau von organischem Material im Sediment; und es beeinflusst entscheidend die Struktur des Nahrungsnetzes auf höherer trophischer Ebene. Veränderungen in der Zusammensetzung des Quellwassers der Auftriebswassermassen werden, wie zum Teil schon nachgewiesen, die allgemeine Redox-Fähigkeit der Wassermassen in den bodennahen Schichten absenken, wobei interne Prozesse

Der Küstenauftrieb versorgt den namibischen Schelf mit essentiellen Nährstoffen

(Oxidation von im Überfluss vorhandenem reduzierten Kohlenstoff und Schwefel) eine wichtige Rolle spielen. Physikalischer Antrieb und interner biologischer und chemischer Sauerstoffbedarf regulieren somit gemeinsam die Ökosystem-Strukturen und -Funktionsweisen mittels biogeochemischer Stoffkreisläufe. Das Teilprojekt hat die Konzentration von Nährstoffen im Oberflächenwasser zeitlich und räumlich hochauflösend gemessen und dabei insbesondere den Stickstoffkreislauf verfolgt. Diese Arbeiten trugen dazu bei, die beachteten Stickstoffisotopen-Anomalien (^{15}N and ^{14}N) in der Wassersäule, eingeschlossen der Stickstofffixierung, besser zu verstehen. Unsere neuen Messergebnisse, verbunden mit vorausgegangenen Erhebungen, weisen alle darauf hin, dass die Prozesse, die von den Sauerstoffbedingungen an der Sediment-Wasser-Grenzschicht abhängen, von entscheidender Bedeutung für die Stoffkreisläufe im Gesamtsystem sind. Die Aufklärung und Quantifizierung dieser Prozesse an der Sediment-Wasser-Grenzschicht sind ein zentrales Anliegen von GENUS.

Der Kreislauf der Nährstoffe auf dem Schelf hat direkten Einfluss auf das Sauerstoff-Gleichgewicht, die Sedimentationsprozesse und auf die Ökologie der Küstenregion

Teilprojekt 4, Biogeochemie (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie, Bremen)

Marine Organismen steuern durch die Photosynthese die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre sowie die Aufnahme von CO_2 im Ozean. Im Gegensatz zur Produktion und Einlagerung von organischem Material senkt der Niederschlag von Karbonaten und deren Konservierung in den marinen Sedimenten die CO_2 -Aufnahme des Ozeans. Der Netto-Effekt dieser entgegengesetzt wirkenden Prozesse wird als biologische Pumpe bezeichnet. Aufgabe des Teilprojektes ist es, die Funktion der biologischen Pumpe im Benguela-Auftriebsgebiet und ihre Reaktion auf sich verändernde Umweltbedingungen wie z.B. die Verringerung der Sauerstoff- oder ein Anstieg der CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre und dem Ozean zu untersuchen. Um die Funktionsweise der biologischen Pumpe besser verstehen zu können, sollen die für die biologische Pumpe wichtigen Kohlenstoffflüsse quantifiziert werden. Dies beinhaltet die Messung des pCO_2 im Ozean und der Atmosphäre, die Bestimmung des Kohlenstoffexportes von der Meeresoberfläche in die Tiefsee mittels Sedimentfallen sowie die Quantifizierung der Kohlenstoffflüsse an der Sediment-Wasser-Grenzschicht. Neben der Quantifizierung und Untersuchung von Prozessen, die momentan die saisonalen und interannuellen Variationen der Kohlenstoffflüsse beeinflussen, soll auch der Frage nachgegangen werden, inwieweit sich Kohlenstoffflüsse in Zukunft verändern können. Variationen in der Zusammensetzung der tieferen Wassermassen und der Auftriebsintensität können hier von zentraler Bedeutung sein. Ferner ist es wichtig, die Abhängigkeit der Kohlenstoffflüsse von der Sauerstoffkonzentration des Bodenwassers sowie die Bedeutung des bisher kaum berücksichtigten gelösten organischen Kohlenstoffs mit in die Untersuchungen einzubeziehen. Das DOC könnte eine wichtige Senke für CO_2 sein. Eine weitere wichtige Frage ist, warum man entlang der namibischen Küste einen Streifen fast karbonatfreier Sedimente vorfindet. Es gilt zu klären, ob eventuell ein hoher pCO_2 im Auftriebswasser die Bildung von Karbonatschalen verhindert und/oder Karbonate in den Oberflächensedimenten gelöst werden. Die Beantwortung dieser Frage ermöglicht es vielleicht sogar, einen atmosphärischen CO_2 -Grenzwert zu bestimmen, über dem Produktion und Konservierung von Karbonaten kaum mehr möglich ist. In anbetracht der zunehmenden globalen Ozeanversauerung wäre das eine Information von weitreichender Bedeutung.

Die biologische Pumpe entzieht CO_2 aus der Atmosphäre und dem Oberflächenwasser

Kohlenstoffflüsse sind abhängig von der Sauerstoffkonzentration und beeinflussen die Lösung von Kalkschalen

Teilprojekt 4, Ichthyologie (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie, Bremen)

Das übergeordnete Ziel der Ichthyoplanktonuntersuchungen ist das Verständnis der Dynamik in der Ichthyoplanktongemeinschaft des Benguelastrom-Ökosystems

und die Abhängigkeit von kurz- und mittelzeitigen Veränderungen der Umweltbedingungen. Verschiebungen in der Phyto- und Mikrozooplanktongemeinschaft kann die Entwicklung der frühen Stadien nachdrücklich beeinträchtigen und damit zu Veränderungen des Rekrutierungserfolges und der Bestandsgröße führen. Eine Verschlechterung der Umweltbedingungen kann auch zu physiologisch schwächeren Individuen führen, was für konkurrierende Arten einen Entwicklungsvorteil bedeuten kann. Tages-Zuwachsringe in Otolithen werden als Maß für rückgerichtete Untersuchungen für die Nahrungsbedingungen der frühen Stadien herangezogen. In Kombination mit Informationen über Fettsäuren- und Lipidgehalte der Larven lassen sie Rückschlüsse über den Ernährungszustand der einzelnen Larven zu. Sauerstoffverbrauch und -toleranz der Larven werden als Maß für ihre Kondition, Energieaufnahme und Anfälligkeit gegen hypoxische Bedingungen bewertet. Es werden Felduntersuchungen an Bord von Forschungsschiffen zum Sammeln entsprechenden Materials durchgeführt. Experimentelle Arbeiten erfolgen landbasiert in den Hälterungsanlagen der Partnerinstitute vor Ort.

Die Mächtigkeit der sauerstoff-gesättigten oberen Wasserschicht und die Toleranz gegenüber niedrigen Sauerstoffkonzentrationen beeinflussen die Überlebenschancen der Fischlarven

Teilprojekt 5 (Universität Hamburg, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft)

Teilprojekt 5 untersucht die horizontale und vertikale Verteilung des Meso- und Makrozooplanktons, die trophische Stellung dieser Organismen und ihren Beitrag zum Kohlenstoffkreislauf im hochproduktiven Auftriebsgebiet des Benguelastroms. Diese Basisdaten werden anderen Teilprojekten zur Verfügung gestellt und gehen in die Modelle ein. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ermöglichen das Verständnis der Rolle bestimmter Organismengruppen im Ökosystem und in den Stoffkreisläufen des namibischen Auftriebsgebietes. Das Gebiet zeichnet sich durch eine hohe Produktion, Remineralisierung und Sedimentation organischen Materials aus. Die Variabilität dieser Prozesse und die Beteiligung bestimmter Organismengruppen daran wird im weiteren Projektverlauf in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung untersucht. Zusätzlich wird die Dynamik biologischer Prozesse an Auftriebsfilamenten studiert. Über die Rolle des Mikrozooplanktons bei der Remineralisation und im Nahrungsnetz im Untersuchungsgebiet ist bisher wenig bekannt. Daher erfolgt zusätzlich zum Mesozooplankton eine Untersuchung dieser Faunengruppe. Abgesunkenes organisches Material wird am Meeresboden von Benthosorganismen konsumiert oder von Bakterien zersetzt, wodurch anoxische Areale entstehen. Kenntnisse über das Schicksal des abgesunkenen organischen Materials, die Prozesse in der Bodengrenzschicht und im Benthos sind nötig, um den Kohlenstoffkreislauf auf dem namibischen Schelf zu budgetieren und sollen daher genauer untersucht werden.

Zooplankton verbindet biogeochemische Kreisläufe und höhere trophische Ebenen (z.B. Fische)

Teilprojekt 6 (Universität Bremen, Marine Zoologie)

Das Ziele von Teilprojekt 6 bestehen darin, Schlüsselarten des Zooplanktons zu identifizieren, die eine wichtige Rolle im Nahrungsnetz des nördlichen Benguela-Auftriebssystems spielen, ihren Energiebedarf anhand der Respirometrie zu bestimmen und ihre Nahrungspräferenzen und trophische Positionen mithilfe von Fettsäure-Biomarkern und stabilen Isotopen-verhältnissen festzustellen. Auf der Grundlage dieser Felddaten wird ein Nahrungsnetzmodell entwickelt, wobei das Ecopath mit Ecosim-Softwarepaket (EwE) genutzt wird. Das EwE-Modell integriert alle Daten zu Energieanforderungen und trophischen Wechselwirkungen, die von den verschiedenen Teilprojekten gesammelt und gemessen wurden, die zum Arbeitspaket Produktion/Konsum beitragen. Die Daten und Ergebnisse erlauben eine großskalige Abschätzung der trophischen Interaktionen und eine Übersicht

über die Energieflüsse im nördlichen Benguela-Auftriebssystem. Es wurde jedoch auch deutlich, dass detailliertere Informationen zu mesoskaligen Prozessen wie Auftriebsfilamente, Grenzschichten und Grenzbereiche (Atmosphäre-Ozean, hydrographische Fronten, obere und untere Grenze der Sauerstoffminimumzone) notwendig sind, um die Prozesse und Mechanismen vollständig zu verstehen, die die Produktivität des nördlichen Benguela-Auftriebssystems bestimmen, sowie ihre Wechselwirkungen mit dem Klimawandel. Insbesondere die Zeitskala von Sukzessionen und Alterungsprozessen in Auftriebsfahnen ist bisher nur sehr unvollkommen verstanden. Außerdem müssen physiologische Toleranzgrenzen und Adaptationen an hypoxische Bedingungen erforscht werden, um die Auswirkungen der ausgeprägten und sich ausweitenden Sauerstoffminimumzonen (OMZ) auf die Zooplanktongemeinschaften und Räuber-Beute-Beziehungen zu bestimmen. Diese beiden Aspekte, d.h. die Sukzession in Auftriebsfahnen sowie Hypoxietoleranz/-effekte in der OMZ, bilden weitere Schwerpunkte von Teilprojekt 6. Basierend auf dem EwE-Modell wird das nördliche Benguela-Auftriebssystem außerdem mit den veröffentlichten Daten anderer Küstenauftriebssysteme in Bezug auf Ökosystemstabilität, Verwundbarkeit/Anfälligkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Umweltveränderungen verglichen.

Anhand eines komplexen Datensatzes aus ökologischen, ökophysiologischen und biochemischen Messgrößen werden Energiebedarf und Hauptnahrung des Zooplanktons bestimmt und modelliert

Teilprojekt 7 (Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven)

Euphausiiden sind eine zentrale Komponente der Zooplankton-Gemeinschaften des nördlichen Benguela-Auftriebssystems bestehend aus mindestens acht Arten, welche die Planktonbiomasse bis zu 60% dominieren können. Euphausiiden sind gute Wassermassen-Indikatoren und Kenntnisse der Horizontal- und Vertikalverteilungen werden ausgebaut. In GENUS sollen die Krillarten insbesondere dazu dienen, die Bildung und Weiterentwicklung kleinskaliger ozeanischer Strukturen, der Auftriebsfilamente, anzuzeigen. Verhaltenstudien an Grenzflächen werden dabei mit weiteren Untersuchungen der Vertikalverteilung und -wanderung verbunden. Detaillierte Studien von Wachstum, Reproduktion und Energiestoffwechsel im Zusammenhang mit der Bestimmung von Sauerstoffmangel- und Temperaturtoleranzen werden weitergeführt, besonders unter dem Aspekt, dass die jeweilige physiologische Leistung Phasen und Intensität des Auftriebs erkennen lässt. Unter Aspekten der Nahrungsnetze sind mehrere Arten omnivor, das heißt, sie spielen eine wesentliche Rolle als Planktonkonsumenten aber auch als Biomasse-Produzenten. Sie sind entscheidende Nahrungsquellen für (kommerzielle) Fischarten. Der thematische Zusammenhang des Gesamtprojekts mit Bestimmungen der Primär- und Sekundärproduktion ist optimal für eine Beurteilung der hydro-klimatischen Situation im Nahrungsnetz im Untersuchungsgebiet. Die besonders kurze Krill-Nahrungskette hat dabei Indikatorfunktion im integrativen Modellansatz.

Krill zeigt Fluktuationen und Entwicklungsrichtungen im Ökosystem an.

5. Synergieeffekte innerhalb der Kooperation

GENUS ist ein interdisziplinär arbeitendes Projekt, an dem Physiker, Geologen, Biogeochemiker, Biologen und Modellierer beteiligt sind. Das GENUS-Konsortium vertritt alle relevanten Disziplinen und Ressourcen, die zur erfolgreichen Durchführung des Projekts nötig sind. Im Projektverlauf werden von den empirisch arbeitenden Gruppen Arbeiten auf Expeditionen durchgeführt und an Land ausgewertet, um die oben genannten Teilziele zu erreichen und eine Verfeinerung der numerischen Modelle zu ermöglichen. Diese Arbeiten speisen die drei Arbeitspakete Zirkulation, Stoffkreisläufe und Produzenten/Konsumenten (Abbildung 1), welche die Grundlagen für die Adaptation der Modellkaskade legen. Synergien zwischen empirisch und theoretisch arbeitenden Gruppen in GENUS werden in

besonderem Maße durch regelmäßige Arbeitstreffen erreicht. Anlässlich dieser thematischen Arbeitstreffen zu den GENUS-Themen und speziell der Modellierung werden Arbeitsfortschritte abgefragt, die Datenerfordernisse der gekoppelten Modellierung je nach Arbeitsfortschritt definiert und das Arbeitsprogramm der nächsten Monate festgelegt. Nur durch den Zusammenschluss der verschiedenen norddeutschen Institutionen konnte das Projekt bisher so erfolgreich durchgeführt werden.

6. Darstellung der Nachhaltigkeit der Kooperationsbeziehungen

Komplexe Vorgänge im Meer können nur als Teil des Gesamtsystems Erde erkannt und untersucht werden – diese Einsicht prägt seit geraumer Zeit alle Kooperationen der deutschen Meeresforschung und führt zu einer Reihe fruchtbarer Projektverbünde. In ihnen sind interdisziplinäre Ansätze inzwischen die Norm. In besonderem Maße ist die Bündelung spezifischer Expertise bei der Untersuchung von Strukturen, Funktionen und Leistungen von Ökosystemen Voraussetzung für wissenschaftlichen Fortschritt über die Grenzen disziplinärer Bereiche hinaus. Jede Disziplin steuert neue Erkenntnisse bei und sorgt für Fortschritte in den Disziplinen, aber massiver Erkenntnisgewinn folgt aus dem Zusammenspiel der Disziplinen. Diese Erkenntnis lag der Konzeption des GENUS-Projekts zu Grunde. Die hier beteiligten Einrichtungen arbeiteten bereits vor dem Beginn des GENUS-Projekts in anderen Zusammenhängen und teilweise auch in der Region des Auftriebssystems des SW Afrika zusammen, und jede steuert disziplinäre Exzellenz zum Ganzen bei. Weitere Kooperationen sind auch nach dem Ende der zweiten Phase von GENUS zu erwarten, denn vom BMBF ist eine Ausweitung und Fortsetzung der SPACES-Initiative angekündigt. GENUS als bereits existierende Säule innerhalb von SPACES wird als Konsortium die Fortsetzung der Aktivitäten und die über Einzelprojekte hinaus reichende Kooperation betreiben, unter anderem in Form von regionalen Planungstreffen mit Institutionen und akademischen Vertretern des BCC (beantragt beim IB des BMBF für 2013).

Wesentliche Komponente ist der Austausch von Studenten und Doktoranden sowie die Betreuung von akademischem Nachwuchs aus der Region. Dabei werden theoretische und praktische Aktivitäten pragmatisch immer an der Partnereinrichtung durchgeführt, an der die Fragestellung entsprechende Expertise vorhanden ist. Diese Lehrkooperationen werden auch nach dem Auslaufen von GENUS fortgesetzt.

7. Darstellung der Kooperationsstrukturen und -maßnahmen

7.1. Gemeinsam genutzte Infrastruktur

Als interdisziplinär arbeitendes Projekt nutzt GENUS gemeinsame Infrastrukturen. Das beinhaltet die institutsübergreifende Beantragung und Nutzung großer Forschungsschiffe bei der Senatskommission für Ozeanographie (z.B. FS MARIA S. MERIAN und METEOR, RRS DISCOVERY im Rahmen des Barter-Verfahrens; bisher sechs bewilligte und z.T. bereits durchgeführte Reisen) und die Charter der südafrikanischen FRS AFRICANA (bisher zwei Reisen). Weiterhin werden von allen beteiligten Kooperationspartnern die erhobenen und georeferenzierten Forschungsdaten im Datenbanksystem PANGAEA archiviert. Das Institut für Ostseeforschung stellt einen FTP-Server und einen Live Access Server (LAS-Server) zum Austausch von Dateien bereit und das TP-2 veröffentlicht die Ergebnisse der numerischen Modellierung über einen LAS-Server am IOW (<http://phy-51.io-warnemuende.de/las>). Diese umfassen zurzeit 5-Tagesmittelwerte von Modellläufen 1999-2012 von 60 hydrographische und Ökosystemvariablen sowie atmosphärische Antriebsdaten. Andere Großgeräte (wie Mehrfachschlieβnetze zum Fang von Plankton, Remotely Operated Vehicles, Hälterungsanlagen usw.), die einzelnen Institutionen zugeordnet sind, werden regelmäßig gemeinsam genutzt.

7.2. Gemeinsame Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Im Rahmen von GENUS werden Doktoranden, Master- und Bachelorstudenten von den Partneruniversitäten und im Rahmen des *Capacity Buildings* aus Namibia ausgebildet (Tabelle 1). Die Hauptbetreuung obliegt dabei einer Universität aus dem Konsortium. Praktische Betreuung während der

Probennahme oder auch Unterstützung bei den Analysen und Modellieraktivitäten erfolgt je nach Bedarf innerhalb des Gesamtprojekts. Als ein erfolgreiches Beispiel soll der Master of Science Student Richard Horaeb genannt werden, der als namibischer Stipendiat am ISATEC (International Studies in Aquatic Tropical Ecology) Studiengang am ZMT in Bremen teilgenommen hat. Seine Masterarbeit wurde von Prof. Dr. Wilhelm Hagen (Universität Bremen) und Dr. Rolf Koppelman (Universität Hamburg) betreut. Die praktischen Arbeiten erfolgten am Institut für Ostseeforschung Warnemünde (Dr. Volker Mohrholz) und an der Universität Hamburg. Direkt nach seinem Abschluss übernahm er eine Position am NatMIRC (National Marine Information and Research Centre) in Namibia.

Tabelle 1: Laufende und abgeschlossene Bachelor-, Diplom-, Master- und Promotionsverfahren im Rahmen von GENUS (seit 2009).

	B.Sc.	M.Sc.	Dipl.-Ing.	Doktoranden
TP-1				2
TP-2	1			2
TP-3	3	1		2
TP-4	1	1		2
TP-5	7	2	1	1
TP-6		3	1	2
TP-7		1		1
<i>Capacity Building</i>		1		5

7.3. Gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt wird auf der projekteigenen Homepage (<http://genus.zmaw.de>) vorgestellt und laufend aktualisiert. Im Rahmen einer kleinen Filmreihe werden die Aktivitäten des Projekts vorgestellt (<http://genus.mmkh.de>). Die Videos sind auch auf den gängigen Internet-Videoportalen (YouTube, iTunes) zu finden. Ergebnisse der numerischen Modellierung werden über einen Live Access Server am IOW (<http://phy-51.io-warnemuende.de/las/getUI.do>) zum Abruf bereitgestellt. GENUS-Beiträge werden regelmäßig auf internationalen Fachkonferenzen vorgestellt.

7.4. Managementstrukturen zur Koordination der gemeinsamen Arbeit

Das Management für das Gesamtvorhaben GENUS erfolgt über das Teilprojekt 0 an der Universität Hamburg. Folgende Aufgaben werden in diesem Teilprojekt wahrgenommen:

- Überwachung der Meilensteinplanung
- Organisation und Durchführung von regelmäßig stattfindenden Projekttreffen
- Organisation und Koordination der Forschungsexpeditionen
- Überwachung der Maßnahmen im Rahmen des *Capacity Building*
- Ausrichtung gemeinsamer *Workshops* und *Summer Schools*
- Außendarstellung des Projekts in Form einer Projekt-Homepage und eines professionell erstellten Video-Podcasts

Die Kommunikation zwischen den deutschen Partnern wird im Wesentlichen durch mindestens jährlich geplante Koordinationstreffen der einzelnen Arbeitspakete an einer der Partnerinstitutionen sichergestellt. Das endgültige GENUS-Datenarchiv (GENUS I und GENUS II) wird in die Datenbank PANGAEA eingespeist.

7.5. Workshops, Tagungen, Summer Schools

GENUS führt regelmäßige Projekttreffen und themenbezogene Workshops an den Standorten der Kooperationspartner durch. Außerdem berichten Vertreter des Konsortiums regelmäßig bei den

Jahrestreffen der Benguela Current Commission (<http://www.benguelacc.org/index.php/en/>) in Namibia. Wissenschaftliche Ergebnisse werden auch auf internationalen Tagungen (z.B. ASLO, EGU, IMBER-IMBIZO) vorgestellt.

- 24.06.2009: GENUS Modellier-Workshop am IOW (Mohrholz, Schmidt, Eggert, Auel)
- 24.05. - 28.05.2010: Technische Schulung über Verankerungen und statistische Auswertung der Daten in Swakopmund, Namibia (Mohrholz, Eggert)
- 11.05. - 15.05.2011: GENUS/Nansclim, Ichthyoplankton-Workshop in Hentjes Bay, Namibia (Ekau)
- 17.09. - 18.09.2011: GENUS beim 8. BMBF-Forum für Nachhaltigkeit (FONA): Wissenschaftsjahr 2012 - Zukunftsprojekt ERDE (Lahajnar)

Die Doktoranden des Projekts organisieren einen Themenblock bei der YOUMARES (YOUng MARine REsearchers and engineers) Konferenz der Deutschen Gesellschaft für Meeresforschung im September 2012 mit dem Titel "*Environmental changes in the pelagic: consequences and acclimatization strategies - from plankton to fish*".

Im Oktober 2011 beteiligte sich GENUS an einer Ausbildungsfahrt mit dem Forschungsschiff MARIA S. MERIAN vor der Küste Namibias, an der Studierende aus Deutschland und Namibia gemeinsam teilnahmen.

Anhang

Gemeinsame Publikationen

Gemeinsame Drittmittelförderung

Anhang 1: Auflistung gemeinsamer Publikationen der Partnereinrichtungen

Die Kooperationsbeziehung läuft seit dem 01.03.2009. Nach der intensiven Feldphase bis Oktober 2011 werden zurzeit die Daten ausgewertet und zur Publikation vorbereitet. Deshalb werden nicht nur bereits publizierte Artikel aufgelistet, sondern auch solche, die eingereicht sind oder demnächst eingereicht werden.

- Auel H., Ekau W. (2009): Distribution and respiration of the high-latitude pelagic amphipod *Themisto gaudichaudi* in the Benguela Current in relation to upwelling intensity. *Progress in Oceanography* 83: 237-241.
- Auel H., Buchholz F., Koppelman R., Martin B., Mohrholz V., Muller A. (in Vorbereitung): Zooplankton and Euphausiid interaction within an upwelling filament of the Northern Benguela Upwelling System.
- Buchholz F., Eggert A., Schmidt M., Werner T. (in Vorbereitung): A model with integrated energy budgets of Daily Vertical Migration in krill species of the Northern Benguela Upwelling System.
- Ekau W., Auel H., Pörtner H.-O., Gilbert D. (2010) Impacts of hypoxia on the structure and processes in pelagic communities (zooplankton, macro-invertebrates and fish). *Biogeosciences* 7:1669-1699.
- Flohr, A., Rixen, T., van der Plas, A. (in Vorbereitung): Spatial patterns of N:P anomaly within the Benguela Upwelling System.
- Gutknecht, E., Dadou, I., Le Vu, B., Marchesiello, P., Cambon, G., Sudre, J., Garçon, V., Machu, E., Rixen, T., Kock, A., Flohr, A., Paulmier A., Lavik G. (2011): Nitrogen transfers and sea-air N₂O fluxes in the upwelling off Namibia within the oxygen minimum zone: a 3-D model approach. *Biogeosciences Discussions* 8, 3537-3618.
- Koppelman, R., Kullmann, B., Lahajnar, N., Martin, B., Mohrholz, V. (eingereicht): Onshore-offshore distribution of Thecosomata (Pteropoda) in the Benguela Current Upwelling Region off Namibia: species diversity and trophic position. *Hydrobiologia*.
- Martin, B., Eggert, A., Koppelman, R., Mohrholz, V., Möllmann, C. (in Vorbereitung): Zooplankton biomass distribution and onshore offshore gradients in the Namibian Upwelling area.
- Nagel, B., Emeis, K.-C., Flohr, A., Rixen, T., Schlarbaum, T., Mohrholz, V., van der Plas, A. (2012): N-Cycling and Balancing of the N-Deficit Generated in the Oxygen Minimum Zone over the Namibian Shelf – an Isotope-based Approach. (*JGR Biogeosciences*, eingereicht)
- Rixen, T., Flohr, A., van der Plas, A., Lahajnar, N., Emeis, K.-C. (in der internen Begutachtung): Spatial and temporal variations of pCO₂ in coastal waters off SW Africa.
- Werner T., Huenerlage K., Verheye H., Buchholz F. (im Druck): Thermal constraints on the respiration and excretion rates of krill, *Euphausia hanseni* and *Nematoscelis megalops*, in the northern Benguela upwelling system off Namibia. *African Journal of Marine Science*.

Andere Veröffentlichungen zu GENUS

- Burd, A., Hansell, D.A., Steinberg, D.K., Anderson, T.R., Aristegui, J., Baltar, F., Beupre, S.R., Buesseler, K.O., deHairs, F., Jackson, G.A., Kadko, D.C., **Koppelman, R.**, Lampitt, R.S., Nagata, T., Reinthaler, T., Robinson, C., Robison, B.H., Tamburine, C., Tanaka, T. (2010): Assessing the apparent imbalance between geochemical and biochemical indicators of meso- and bathypelagic biological activity: What the @\$#! is wrong with present calculations of carbon budgets? *Deep-Sea Research II* 57: 1557-1571.
- Fennel, W.**, Junker, T., **Schmidt, M.** **Mohrholz, V.** (2012): Response of the Benguela upwelling systems to spatial variations in the wind stress. *Continental Shelf Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2012.06.004>.

- Herzfeld, M, **Schmidt**, M., Griffies, S., Liang, Z. (2011): Realistic test cases for limited area ocean modelling. *Ocean Modelling*, 37(1-2), doi:10.1016/j.ocemod.2010.12.008.
- Meisel, S., **Struck**, U., **Emeis**, K.-C. (2011): Nutrient dynamics and oceanographic features in the central Namibian upwelling region as reflected in $\delta^{15}\text{N}$ -signals of suspended matter and surface sediments. *Fossil Record*, 14(2): 153-169.
- Meisel, S., **Emeis**, K.-C., **Struck**, U., Kristen, I. (2011): Nutrient regime and upwelling in the northern Benguela since the middle Holocene in a global context – a multi-proxy approach. *Fossil Record*, 14(2): 171-193.
- Mitra, A., Jónasdóttir, S.H., Flynn, K.J., Castellani, C., Gentleman, W., Halsband, C., Licandro, P., Agersted, M.D., Calbet, A., Lindeque, P., **Koppelman**, R., Møller, E.F., St. John, M. (submitted): Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link.
- Ohde, Th., **Mohrholz**, V. (2011): Interannual variability of Sulphur plumes off the Namibian coast. *J. Remote Sensing*, (in press).
- Robinson, C., Steinberg, D.K., **Koppelman**, R., Robison, B.H., Anderson, T.R., Aristegui, J., Carlson, C.A., Frost, J.R., Ghiglione, J.-F., Hernandez-Leon, S., Jackson, J.A., Queguiner, B., Ragueneau, O., Rassoulzadegan, F., Tamburine, C., Tanaka, T., Wishner, K.F., Zhang, J. (2010): Mesopelagic microbial and metazoan diversity and function - a synthesis. *Deep-Sea Research II* 57: 1504-1518.

Anhang 2: Auflistung gemeinsamer DrittmittelförderungBMBF Mittel (alle Angaben in Euro)

Teilprojekt	GENUS I 01.03.2009 - 30.04.2012	GENUS II 01.05.2012 - 30.04.2015	Summe
TP-0 - Koordination IfBM (HH)	505.892	475.012	980.904
TP-1 - MPI (HH)	95.930	-	95.930
TP-1 - HZG (SH)	-	144.412	144.412
TP-2 - IOW (MVP)	555.492	517.697	1.073.189
TP-3 - IfBM (HH)	117.392	255.844	373.236
TP-4 - ZMT (HB)	253.080	582.764	835.844
TP-5 - IHF (HH)	306.182	419.440	725.622
TP-6 - MarZoo (HB)	243.218	412.800	656.018
TP-7 - AWI (HB)	100.962	251.432	352.394
Summe	2.178.148	3.059.401	5.237.549

Im Rahmen des Deutsch-Südafrikanischen Wissenschaftsjahrs werden in 2012 Mittel in Höhe von 42.000 € zur Durchführung von Workshops zum Thema "*The development of multi-lateral and bilateral collaborations in marine science in South Africa*" bewilligt.

Deutsche Forschungsgemeinschaft - Senatskommission für Ozeanographie

Hier werden Anträge zur Durchführung der Schiffsexpeditionen aufgelistet:

2008	MARIA S. MERIAN	Alheit, Hagen, Piatkowski
2008	METEOR	Emeis, Mohrholz, Brüchert
2010	DISCOVERY (Barter)	Buchholz, Koppelman, Auel
2011	MARIA S. MERIAN	Emeis, Ekau, Rixen
2013	METEOR	Buchholz, Koppelman, Auel
2014	METEOR	Mohrholz, Koppelman, Auel

Höchstleistungsrechner Nord (HLRN)

Für die numerische Modellierung wurde Rechenzeit im Gegenwert von 53.000 € eingeworben.