

MARUM

Zentrum für Marine Umweltwissenschaften



 **marum**

DFG Forschungszentrum
Exzellenzcluster

MARUM

**Zentrum für Marine Umweltwissenschaften
Universität Bremen**



Unter dem Motto »Dem Meer auf den Grund gehen!« erforschen wir am MARUM seit mehr als zehn Jahren Schlüsselprozesse in der marinen Umwelt. Dieser Slogan ist durchaus wörtlich gemeint: Auf Schiffsexpeditionen in flachen Küstengewässern und auf dem offenen, tiefen Ozean untersuchen Wissenschaftlerinnen Ablagerungen und Prozesse am und im Meeresboden. Auch nach vielen Jahren intensiver Forschung machen sie dabei auf beinahe jeder Expedition neue Entdeckungen. Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen unsere spannenden Arbeiten näher bringen: allgemein verständlich, kurzweilig und, wie ich hoffe, interessant aufbereitet. Beim Durchblättern und Lesen werden Sie einige unserer Nachwuchskräfte kennenlernen, denn neben exzellenter Forschung haben wir uns exzellente Ausbildung auf die Fahnen geschrieben.

Seit 2001 wird das MARUM von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als eines der ersten DFG-Forschungszentren gefördert. Seit 2007 werden unsere weltweit anerkannten Arbeiten im Rahmen der Exzellenzinitiative gefördert. Schon im Jahr zuvor war die Internationale Graduiertenschule GLOMAR Teil der Exzellenzinitiative geworden. Hier erforschen junge Natur- und Gesellschaftswissenschaftlerinnen den globalen Wandel im Meer.

Einen wichtigen Meilenstein erreichten wir 2012. Damals bewilligte die DFG eine Weiterförderung des Exzellenzclusters MARUM – die Grundlage für die Anerkennung der Universität Bremen als »Exzellenzuniversität«. Gleichzeitig haben wir die Graduiertenschule GLOMAR in das Exzellenzcluster integriert. Parallel dazu wurde MARUM in die erste und einzige Forschungsfakultät der Universität Bremen überführt und ist als solche für

die langfristige Entwicklung des universitären Wissenschaftsschwerpunktes im Bereich der Meeres-, Polar- und Klimaforschung über alle Disziplinen und Fachbereiche hinweg zuständig.

Ein wichtiger Teil dieser Erfolgsgeschichte ist die enge Zusammenarbeit mit anderen renommierten regionalen Meeresforschungseinrichtungen wie dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung oder dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, um nur zwei zu nennen. Diesen Weg der Kooperation wollen wir auch in Zukunft weiter gehen.

Ein wichtiges Ziel des MARUM ist es, die Gleichstellung zwischen Frauen und Männern in der Wissenschaft zu verbessern. Ein Schritt auf dem Weg dahin ist das sehr erfolgreich laufende Mentoringprogramm »plan m«, in dem Frauen bei der Planung ihrer wissenschaftlichen Karriere von den Ratschlägen erfahrener Kolleginnen profitieren. Apropos: In dieser Broschüre haben wir uns dafür entschieden, durchgehend von Wissenschaftlerinnen bzw. Forscherinnen zu sprechen, auch wenn wir Männer und Frauen meinen.

Anregende Tauchgänge in unsere Wissenschaft wünscht Ihnen

Ihr

Michael Schulz

Direktor des MARUM

Inhalt

2

Der Ozean im System Erde

Dem Meer auf den Grund gehen!

6

Die Rolle des Ozeans im Klimasystem

Das MARUM-Forschungsfeld »Ozean und Klima«

8

Klimaschnappschüsse aus der Vergangenheit

Korallen archivieren Temperatur und Salzgehalt des Ozeans

10

Kleine Organismen, große Wirkungen

Das MARUM-Forschungsfeld »Wechselwirkungen zwischen Geosphäre und Biosphäre«

12

Methan im Meer

Auf den Spuren eines Starkbebens

14

Von der Küste bis in die Tiefsee

Das MARUM-Forschungsfeld »Dynamik des Meeresbodens«

16

Erdrutsche im Meer

Eine unterschätzte Naturgefahr

18

Über 150 Kilometer Meeresboden

Das Bremer Bohrkernlager des IODP

20

Orientierung im Datenmeer

Das Daten-Informationssystem PANGAEA

22

Schweres Gerät

Meeresforschungs-Technologien am MARUM

24

Das Unsichtbare erfassen

Die Laborinfrastruktur am MARUM

26

Gute Perspektiven!

Junge Talente fördern

28

Wie das Meer an Land kommuniziert wird

Das MARUM im Dialog mit der Öffentlichkeit

Der Ozean im System Erde

Dem Meer auf den Grund gehen!

Unser blauer Planet ist ein faszinierendes System: Atmosphäre, Ozeane und Gesteinshülle, die von großen und kleinen Lebewesen besiedelte Biosphäre sowie Meereis und Gletscher bilden seine wesentlichen Bestandteile, die durch komplexe Wechselwirkungen eng miteinander verwoben sind. Nie herrscht Stillstand. Stürme, Erdbeben und Vulkanausbrüche, Felsstürze und das aktuelle Schwinden vieler Gletscher belegen, wie dynamisch die Prozesse im System Erde ablaufen. Das gilt insbesondere für die Ozeane, die etwa 71 Prozent der Erdoberfläche bedecken. Weltumspannende Meeresströmungen, heiße und kalte Quellen am Meeresboden und viele weitere Phänomene machen die Meeresumwelt zu einem spannenden Forschungsfeld.

Am MARUM, dem Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen, erkunden Wissenschaftlerinnen und Technikerinnen durch gezielte Studien die tragende Rolle des Ozeans im System Erde. Das MARUM ist auf drei Forschungsfeldern aktiv: es ergründet die Wechselbeziehungen zwischen Ozean und Klima, nimmt biogeochemische Prozesse am und im Meeresboden genauer unter die Lupe und untersucht, wie sich der Meeresboden selbst verändert. Die

Wissenschaftlerinnen des MARUM beteiligen sich aktiv an der Entwicklung und Durchführung internationaler meeresorientierter Forschungsprogramme wie beispielsweise dem IODP, C-DEBI, IGBP-PAGES und InterRidge. Zudem betreibt das MARUM das größte der weltweit drei Bohrkernlager des International Ocean Discovery Program IODP.

Im Lauf der Jahre haben sich am Bremer Zentrum etliche geografische Forschungsschwerpunkte herauskristallisiert. Dazu zählen der gesamte Atlantische Ozean, das Mittelmeer und das Schwarze Meer sowie die Nordsee. MARUM-Wissenschaftlerinnen sind also in flachen Küstengewässern ebenso aktiv wie in tiefen Ozeanen.

Küstenmeere bilden die Übergangszonen zwischen den Kontinenten und den offenen Ozeanen. Hier wirken auf engem Raum natürliche geologische, chemische und biologische Prozesse sowie menschliche Einflüsse auf die Umwelt ein. Flüsse laden zum Beispiel große Mengen an Verwitterungsmaterial aus den Gebirgen des Hinterlands ab. Über geologische Zeiträume, also über Jahrtausende betrachtet, entscheiden Klimaveränderungen, Gebirgsbildungsprozesse, aber auch Meeresspiegelschwankungen darüber, wie viel Erosionsmate-





MARUM bietet das ideale Umfeld, um unseren Enthusiasmus für die Meeresforschung auszuleben. Mich freut, dass meine Forschung zu einem besseren Verständnis der im Ozean ablaufenden Prozesse beiträgt. Und ich bin nach wie vor davon beeindruckt, wie vielfältig und zugleich miteinander verzahnt die Forschung am MARUM ist.



Miriam Römer
Postdoktorandin am MARUM



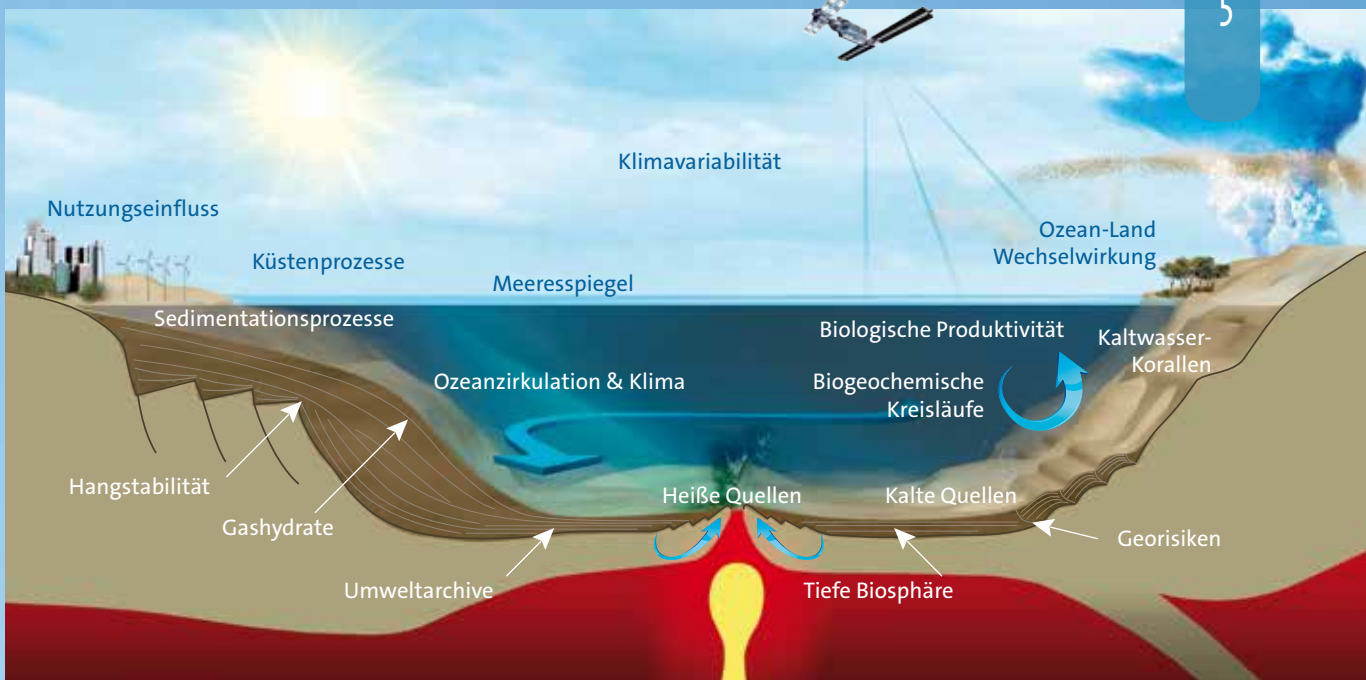
rial letztlich im Ozean landet. Gleichzeitig dienen die Küstenmeere als Auffangbecken für Schadstoffeinträge und als vielfältige Ressource, was in vielen Regionen zu Nutzungskonflikten führt. Kein Wunder, dass diese Regionen für Forscherinnen aus den Natur- und Gesellschaftswissenschaften echte »hot-spots« darstellen.

Hot-spots ganz anderer Art finden sich an den mittelozeanischen Rücken. Dieses mehr als 60.000 Kilometer lange untermeerische Gebirgssystem bildet die Grenzlinie zwischen den Erdplatten. An der bis zu mehrere Zehnerkilometer breiten Zentralspalte bahnt sich heißes Magma seinen Weg nach oben. So entsteht ständig neuer Meeresboden. Durch Spalten und Risse dringt Meerwasser in den Ozeangrund ein. Man schätzt, dass ständig etwa zwei Prozent des gesamten Ozeanwassers

in dieser obersten Lithosphärenschicht zirkulieren.

An den mittelozeanischen Rücken wird es aufgeheizt und schießt, mit gelösten Mineralen beladen, mehr als 400 Grad Celsius heiß an sogenannten Rauchern aus dem Meeresboden. Videoaufnahmen, die mit Hilfe von Tauchrobotern gewonnen werden, dokumentieren, dass an solchen Hydrothermalsystemen hoch spezialisierte Ökosysteme gedeihen. In unmittelbarer Nähe der heißen Quellen fühlen sich Garnelen, Muscheln und andere Organismen wohl. Sie profitieren von der Symbiose mit Bakterien, deren Stoffwechsel nicht auf Sauerstoff, sondern auf Schwefelwasserstoff oder Wasserstoff basiert.

Aufgrund seiner enormen Ausdehnung ist die Erforschung des Meeresbodens buchstäblich ein weites



Die Rolle des Ozeans im System Erde – Forschungsfelder des MARUM

Feld. Großflächige Untersuchungen durch den Einsatz von Satelliten sind nur begrenzt möglich, zum Beispiel, wenn es um Schwerfeld-Messungen geht. Alle anderen Beobachtungen und Messungen müssen vor Ort durchgeführt werden. Dafür sind Forschungsschiffe im Einsatz, von deren Arbeitsdecks ferngesteuerte Tauchroboter, autonom operierende Unterwasserfahrzeuge, Meeresboden-Lander und weitere spezielle Technologien für direkte Messungen und Probenahmen eingesetzt werden. Als eines der wenigen Institute weltweit betreibt das MARUM eine Flotte modernster Unterwassergeräte für den Einsatz in der Tiefsee. Dadurch hat es sich zu einem Zentrum der Meeresforschungstechnik sowie zu einem gefragten Partner in internationalen Kooperationsprojekten entwickelt.

Im MARUM arbeiten im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder Geowissenschaftlerinnen, Geochemikerinnen, Mikrobiologinnen, Physikerinnen und Vertreterinnen gesellschaftswissenschaftlicher Disziplinen eng mit Kolleginnen anderer Meeresforschungseinrichtungen in der Nordwestregion zusammen. So mit dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven (AWI), dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, Bremen (MPI), dem Institut Senckenberg am Meer, Wilhelmshaven (SGN), dem Leibniz-Zentrum für marine Tropenökologie, Bremen (ZMT), sowie der privaten Jacobs University Bremen und der Universität Oldenburg.

Die Rolle des Ozeans im Klimasystem

Das MARUM-Forschungsfeld »Ozean und Klima«

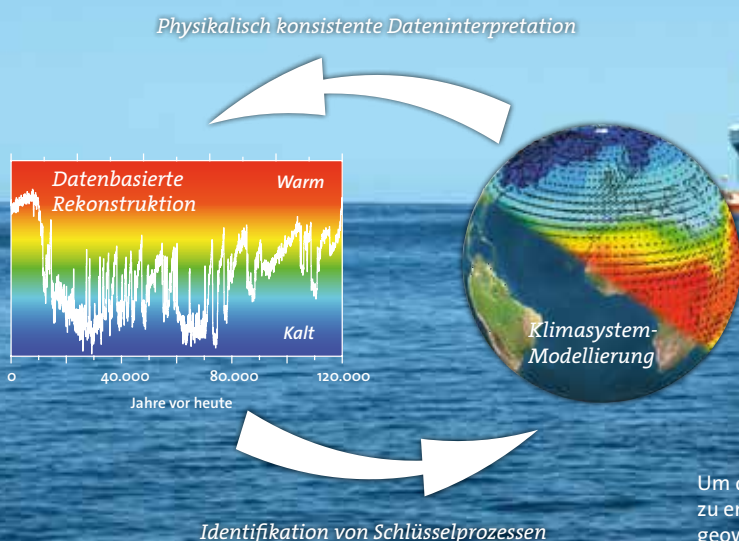
Der Weltozean speichert viel Wärmeenergie. Meeresströmungen transportieren diese Wärme vom Äquator in Richtung der Pole und sorgen etwa im Norden Europas für ein milderes Klima. Zudem sind im Ozean viele Stoffe gelöst; so das klimawirksame Kohlendioxid. Diese werden mit dem Meerwasser verteilt und langfristig gespeichert. Daher stellt das Weltmeer eine zentrale Komponente unseres Klimasystems dar.

Um zukünftige Klimaentwicklungen besser abzuschätzen, muss die Rolle des Ozeans im Klimasystem möglichst genau verstanden werden. Vor diesem Hintergrund gehen MARUM-Wissenschaftlerinnen u.a. folgenden Fragen nach:

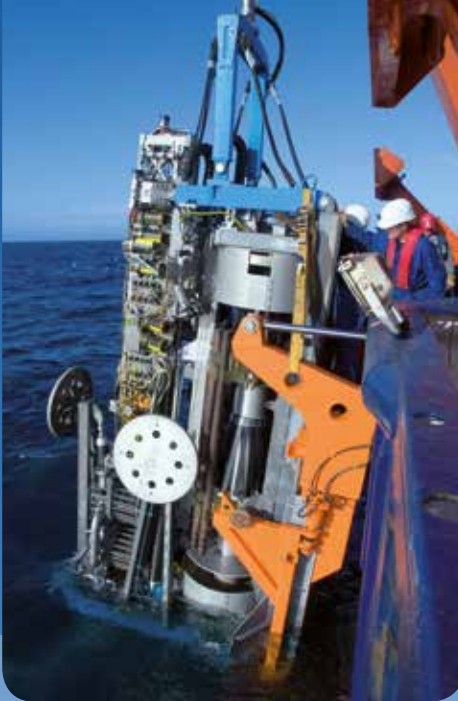
- Wie verändern sich Meeresströmungen bei Übergängen zwischen kalten und warmen Klimazuständen?
- Gibt es Kipppunkte der Meeresströmungen?

- Wie beeinflussen Änderungen der Ozeanzirkulation das Landklima, insbesondere den Wasserkreislauf in niederen Breiten?
- Auf welchen Zeitskalen schwankt die großräumige Ozeanzirkulation?
- Welche Mechanismen bestimmen diese Schwankungen?
- In welchem Maß beeinflussen Klimaveränderungen die miteinander verknüpften biologischen, geologischen und chemischen Prozesse im Ozean?

In diesem Zusammenhang sind Messreihen von Salzgehalt, Temperatur, Strömungen oder Stoffverteilungen im Ozean wichtig, um zu entschlüsseln, wie der Ozean und die übrigen Komponenten des Klimasystems – Landbiosphäre, polare Eisschilde und die Atmosphäre – miteinander wechselwirken. Dabei kommt es auch auf Zeitreihen aus der Klimageschichte an. Im Vergleich



Um die Dynamik vergangener Klimaschwankungen zu entschlüsseln, werden am MARUM geowissenschaftliche Klimarekonstruktionen mit Ergebnissen der Klimasystemmodellierung kombiniert.



Mit dem Meeresbodenbohrgerät MARUM-MeBo70 können bis zu 70 Meter lange Kerne vom Meeresboden gewonnen werden. Dies ermöglicht die Untersuchung sehr viel längerer Zeitreihen als bei konventionellen Verfahren mit Schwere- oder Kolbenlot. Mit dem neuen MeBo200 wird es möglich sein, bis zu 200 Meter tief in den Meeresboden zu bohren.

zu instrumentell erhobenen Daten reichen diese sehr weit zurück. Zudem bieten sie ein einzigartiges Archiv, um natürliche Schwankungen im Ozean sowie ihre Wechselwirkungen mit den anderen Komponenten des Klimasystems quantitativ nachzuzeichnen.

Als Archive dienen dabei Sedimentkerne, die im Rahmen nationaler und internationale Expeditionen von den Tropen bis in polare Breiten gewonnen und mit mikropaläontologischen, geochemischen oder physikalischen Methoden analysiert werden. Die so gewonnen Zeitreihen reichen Jahrtausende bis Jahrmillionen in die Erdgeschichte zurück und dokumentieren Zustände des globalen Klimas, die ganz anders waren als das heutige, aber in Zukunft möglicherweise wieder erreicht

werden. Diese Klimarekonstruktionen werden mit direkten Beobachtungsdaten von Schiffen und Satelliten sowie mit Erdsystem-Modellexperimenten verknüpft. So gewinnen die Wissenschaftlerinnen Einblicke in die Mechanismen von Klimavariationen und den ihnen zugrundeliegenden Wirkungsketten. Die Erkenntnisse tragen zu verlässlicheren Aussagen über die mögliche zukünftige Klimaentwicklung bei.

Der Ozean bedeckt den größten Teil unseres Planeten und beeinflusst das Klimageschehen maßgeblich. Am MARUM wird entschlüsselt, wie er das Klimageschehen in der Vergangenheit mitprägte und zukünftig beeinflussen wird. Ein Ziel dabei: direkte instrumentelle Beobachtungen, rekonstruierte Klimazeitreihen und Klimarechenmodellen zu kombinieren, um bessere Einblicke in die Dynamik von Klimaschwankungen und den ihnen zugrundeliegenden Wirkungsketten zu gewinnen.

In unserem Forschungsbereich rekonstruieren wir die Geschichte von Ozean und Klima. Mich fasziniert, wie vielfältig die Methoden sind, die wir am MARUM dafür nutzen. Ich selbst habe zwei unterschiedliche Methoden kombiniert, dabei mit Kolleginnen kooperiert, um meine aktuellen Forschungsfragen adäquat anzugehen.



Sebastian Hötzel
Doktorand am MARUM

Klimaschnappschüsse aus der Vergangenheit

Korallen archivieren Temperatur und Salzgehalt des Ozeans

Anders als das täglich wechselnde Wettergeschehen spielen sich Klimaänderungen meist innerhalb von Zeiträumen ab, die das menschliche Wahrnehmungsvermögen übersteigen. Dennoch: kurzfristige Klimaschwankungen prägen auch unser Dasein. Sie vollziehen sich innerhalb von Jahren bis Jahrzehnten, resultieren aus einem Zusammenspiel von Ozean und Atmosphäre und beeinflussen unser Wetter. Ein Beispiel dafür ist das Klimaphänomen El Niño-Südliche Oszillation.

Das El Niño Phänomen hat seinen Ursprung im tropischen Pazifik und verursacht weltweit Dürren und Überflutungen. In unseren Breiten prägt dagegen die Nordatlantische Oszillation Wetter und Klima. Sie bestimmt mit darüber, wie hart die Winter ausfallen bzw. wie viel Regen von Skandinavien bis zum Mittelmeer im Winter fällt. Darüber hinaus haben in den vergangenen Jahren die klimatologisch gesteuerte Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Hurrikanen oder Hitzewellen für viel Aufmerksamkeit gesorgt.

Um die natürliche Dynamik dieser Klimaphänomene zu erforschen, studieren Wissenschaftlerinnen das Klimageschehen der Vergangenheit. Instrumentelle Aufzeichnungen von Wetter und Klima reichen nur etwa 150 Jahre zurück – nicht weit

genug, um die natürliche Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen abschätzen bzw. Veränderungen von Klimaphänomenen und Extremereignissen unter dem Einfluss des globalen Klimawandels projizieren zu können. Benötigt werden Klimaarchive, die sowohl weiter in die Vergangenheit zurück reichen als auch Klimaschwankungen abbilden, die sich kurzfristig abspielen, das heißt innerhalb von Monaten, Jahren oder Jahrzehnten.

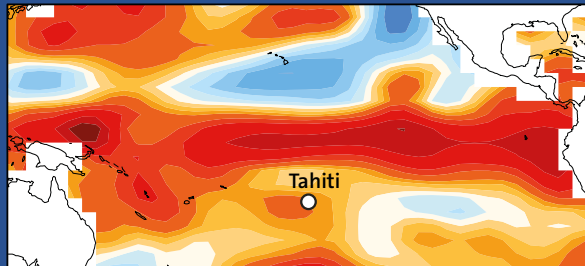
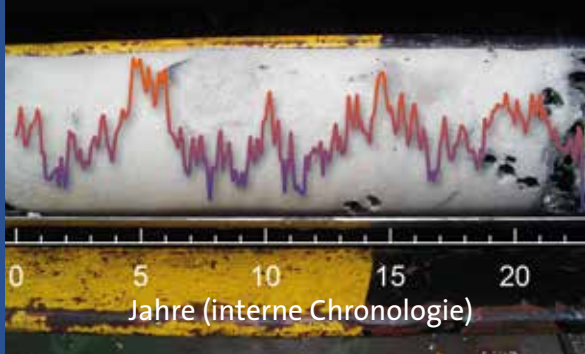
Wissenschaftlerinnen des MARUM nutzen solch zeitlich hochauflösende Archive. Sie beproben massive Steinkorallen, die im flachen, warmen Wasser tropisch-subtropischer Riffe leben. Steinkorallen haben einen unschätzbaren Vorteil: Sie bilden pro Jahr zwei Bänder unterschiedlicher Dichte in ihrem Kalkskelett aus. Darüber hinaus bauen sie Spurenelemente und



stabile Isotope in ihr Skelett ein, welche die Umweltbedingungen im Meerwasser widerspiegeln. Dank ausgefeilter Untersuchungsmethoden ist es möglich, Temperatur und Salzgehalt des Oberflächenwassers anhand von Korallenproben mit einer zeitlichen Auflösung von Monaten bis Wochen zu rekonstruieren. Die jährlich gebänderten Korallen eignen sich daher ideal, um Informationen über die Wechselwirkungen von Ozean und Atmosphäre aus der Vergangenheit zu gewinnen – und das auf Zeitskalen, die für den Menschen relevant sind.

Anhand von Korallenanalysen konnten MARUM-Wissenschaftlerinnen Temperatur und Salzgehalt des subtropischen Nordwestpazifiks in jährlicher Auflösung bis ins Jahr 1873 zurückverfolgen. Die Untersuchungen zeigten, dass der Salzgehalt in der Region der Kuroshio-Strömung vor Japan im frühen 20. Jahrhundert innerhalb von nur fünf Jahren abrupt abfiel. Die MARUM-Wissenschaftlerinnen konnten zudem belegen, dass dieser „Verschiebung“ im Salzgehalt des Oberflächenozeans eine Abschwächung der Westwinde vorausgegangen war. Dass solch abrupte Schwankungen möglich sind, dass ihnen Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre zugrunde liegen, sollte daher in Projektionen der zukünftigen Klimaentwicklung berücksichtigt werden.

Die hoch auflösenden Klimaarchive reichen weit in die Erdgeschichte



Korallenkern (oben links) erbohrt im Rahmen des Integrierten Ozeanbohr-Programms (IODP) vor Tahiti/Südpazifik mit dem Bohrschiff DP HUNTER (oben rechts). Kurve (oben links): Rekonstruierte Temperaturschwankungen am Ende der letzten Kaltzeit. Karte (unten links): Ein Klimamodell zeigt verstärkte El-Niño-Aktivität im selben Zeitraum.

S. 8: Korallenriff im Golf von Aqaba, nördliches Rotes Meer (links). Um Klimaschwankungen nachzuzeichnen werden fossile Korallenkerne in der südlichen Karibik bzw. in Aqaba erbohrt (Mitte). Röntgenaufnahme, auf der die Dichtebänder eines Korallenkerns sichtbar werden (rechts).

zurück. Auf einer Expedition des Integrierten Ozean-Bohrprogramms konnten vor Tahiti fossile Korallenriffe beprobt werden, die während der letzten Kaltzeit vor rund 15.000 Jahren wuchsen. MARUM-Wissenschaftlerinnen nahmen eine besonders gut erhaltene fossile Koralle unter die Lupe. Damit konnten sie zurückverfolgen, wie sich die Temperatur des Oberflächenwassers zum Ende der letzten Kaltzeit im monatlichen Rhythmus änderte. Das Temperaturmuster dieses Klima-Schnappschusses ließ nur einen überraschenden Schluss zu: Damals lag Tahiti im Bereich des El Niño, während die für dieses Klimaphänomen typischen Temperaturschwankungen heutzutage nicht bis Tahiti reichen. Solche Befunde zeigen zweierlei: El Niño war auch am Ende der letzten Kaltzeit aktiv, und sein Einfluss reichte damals weiter in den Südpazifik als heute.

Computerbasierte Simulationen des Klimas, ergänzen die Laboranalysen. Für das Ende der letzten Kaltzeit konnte so eine abgeschwächte Ozeanzirkulation im Nordatlantik mit der prägnanten El Niño-Aktivität im tropischen Pazifik in Verbindung gebracht werden. Da derartige Klimamodelle auch für Prognosen des zukünftigen Klimas eingesetzt

werden, bietet der Vergleich von Klimadaten aus fossilen Korallen mit Simulationen vergangener Kli-

maschwankungen eine einzigartige Möglichkeit, die Klimamodelle zu überprüfen.

Fernerkundung



Satellitenmessungen ergänzen die auf Schiffsexpeditionen erfassten geophysikalischen Größen in idealer Weise. Schon seit mehr als zwei Jahrzehnten liefern Satelliten globale Messwerte atmosphärischer Bestandteile. Umweltphysikerinnen untersuchen im Rahmen von MARUM die Rolle des Saharastaubs im Klimasystem. Dabei erfassen die Wissenschaftlerinnen, wie stark die in die Atmosphäre aufgewirbelten Staubpartikel die Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche abschwächen. Daraus schätzen sie ab, wieviel Staub auf welchen Bahnen aus der Wüste in Richtung Atlantik transportiert und dort abgelagert wird. Diese Daten werden dann sowohl mit jenen verglichen, die von Sedimentfallen aus dem Atlantik stammen als mit Ergebnissen von Klimamodellen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels werden so viele neue Erkenntnisse gewonnen: über Klimaprozesse, aber auch über Nährstoffkreisläufe.

Kleine Organismen, große Wirkungen

Das MARUM-Forschungsfeld

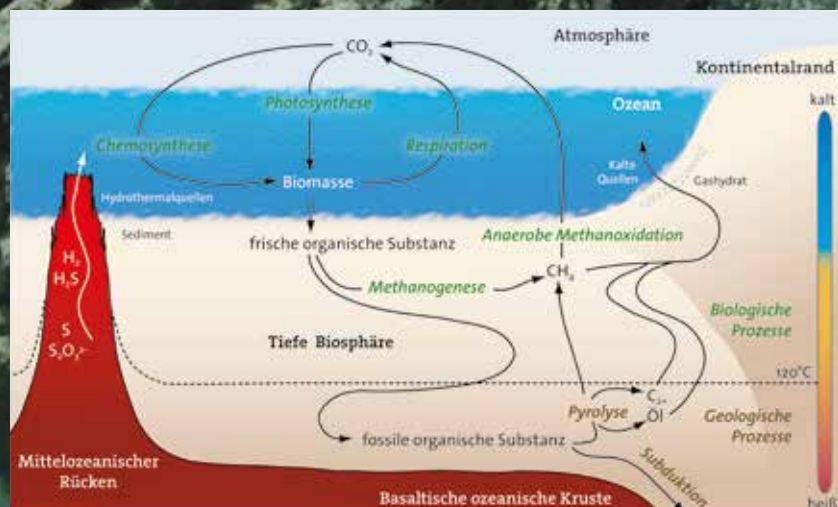
»Wechselwirkungen zwischen Geosphäre und Biosphäre«

Unvorstellbare 3,5 Milliarden Jahre! So weit reichen die ältesten, bislang nachgewiesenen Spuren des Lebens auf der Erde zurück. Seitdem prägen nicht nur geodynamische Prozesse, sondern auch die Existenz und Aktivität von Organismen das Gesicht unseres blauen Planeten. Ihre Stoffwechselreaktionen beeinflussen maßgeblich die globalen Kreisläufe der Elemente. Dabei kommt insbesondere den Kleinsten unter ihnen, den Bakterien und Archaeen, eine oft unterschätzte Bedeutung zu. Die einzelligen Organismen spielen für die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre, der Ozeane, des Grundwassers sowie vieler Gesteine eine tragende Rolle. Ihre Stoffwechselreaktionen, mit denen sie die zum Leben benötigte Energie erzeugen, sind überaus vielfältig und

zumeist in komplexen Wechselbeziehungen miteinander verknüpft. Gleichzeitig werden biologische Abläufe stets auch durch geologische Umwandlungsprozesse mit beeinflusst. Lebensräume verändern sich; einige Lebensformen verschwinden, andere überdauern, passen sich an oder entwickeln sich neu.

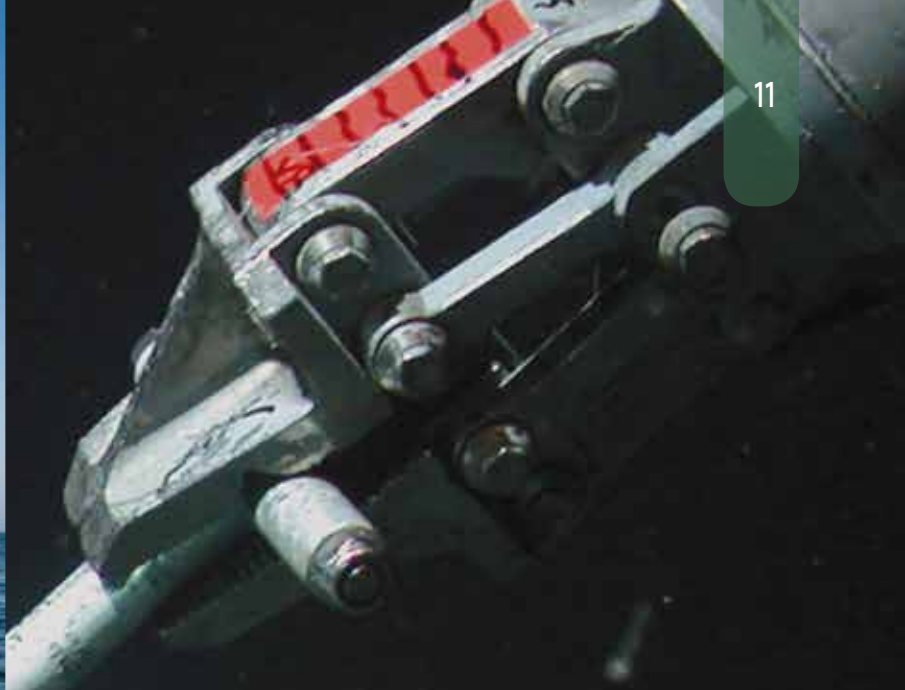
Es sind solche Wechselwirkungen an der Schnittstelle von fester Erde und Lebewelt, denen sich das MARUM in diesem Forschungsfeld widmet. Das breite Spektrum der interdisziplinären Projekte beinhaltet sowohl Untersuchungen zu Kreisläufen von Kohlenstoff, Nähr- und Spurenstoffen im Meer als u.a. auch Studien zur Verteilung, Funktionalität und Diversität bestimmter Organismengruppen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf den unterschiedlichen Ursachen von Quellaus-

Die tiefe Biosphäre im Meeresboden ist eines der größten zusammenhängenden Ökosysteme der Erde. Am MARUM wird ihre Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf erforscht.





Unverzichtbares Werkzeug: Aussetzen des Tauchroboters MARUM-QUEST



treten am Meeresboden und den dort stattfindenden Prozessen. Zumeist extreme chemische Bedingungen und je nach Quellentyp sehr hohe Temperaturen von teilweise mehr als 400 Grad Celsius haben einzigartige Lebensgemeinschaften hervorgebracht. Deren Erforschung ist mit der Hoffnung auf wichtige Erkenntnisse zur Entstehung des Lebens auf der Erde verbunden.

Im Gegensatz dazu erscheinen die Weiten der Tiefseeebenen und die Hänge, an denen die Kontinente zur Tiefsee abfallen, nahezu frei von Organismen. Doch dieser Eindruck täuscht, denn hier spielt sich das Leben nicht am, sondern überwiegend im Meeresboden ab. Im Rahmen internationaler Kooperationen und For-

schungsprogramme konnten MARUM-Wissenschaftlerinnen Mikroorganismen in Ablagerungen viele hundert Meter unterhalb des Meeresbodens nachweisen. Auch wenn die Erforschung dieser sogenannten tiefen Biosphäre erst in den Anfängen steckt, deutet vieles darauf hin, dass die hier stattfindenden, vergleichsweise langsamen Austauschprozesse zwischen Geosphäre und Biosphäre dennoch einen Beitrag zur Klimaentwicklung auf der Erde leisten können.

Am MARUM erforschen Wissenschaftlerinnen die Wechselwirkungen zwischen geologischen, biologischen und chemischen Prozessen sowohl am und im Meeresboden als auch in der freien Wassersäule. Im Fokus stehen Themenbereiche wie die Bedeutung mikrobieller Lebensgemeinschaften im Meer für Material- und Energieflüsse, die Steuermechanismen heißer und kalter Quellen am Meeresboden oder die Bilanzierung von Prozessen auf unterschiedlichen Skalen. Die erzielten Ergebnisse sind zumeist unmittelbar mit Fragestellungen von globaler Bedeutung verknüpft, wie der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre.



Unser Interesse gilt den hoch dynamischen Wechselwirkungen zwischen Geosphäre und Biosphäre im Ozean, von fein strukturierten mikrobiellen Gemeinschaften bis hin zu globalen geochemischen Kreisläufen. Am MARUM treffen sich die richtigen Kooperationspartner, um die Vielfalt der Meeresökosysteme zu entschlüsseln.



Lars Wörmer
Postdoktorand am MARUM





Methan im Meer – Auf den Spuren eines Starkbebens

Am 28. November 1945, um 5.26 Uhr Ortszeit, bebte vor der pakistanischen Küste heftig die Erde. Das Beben, dessen Epizentrum unweit der Küstenstadt Pasni in 15 Kilometer Tiefe lag, erreichte eine Stärke von 8,1 auf der Richter-Skala. Entsprechend verheerend waren die Folgen: Ein Tsunami rollte durch den nördlichen Indischen Ozean und verwüstete Küstenregionen der Anrainerstaaten. In den bis zu elfeinhalb Meter hohen Wellen starben rund 4.000 Menschen. Vor der pakistanischen Makran-Küste brach ein untermeerischer Schlammvulkan aus, der vier kleine Inseln entstehen ließ. Begleitet wurden die Schlammeruptionen von Austritten des klimawirksamen Gases Methan. Augenzeugen berichteten, dass sich das Gas auf einer der Inseln entzündete und die Flammen mehrere Hundert Meter hoch in den Himmel schossen.

Im Jahr 2007, also 62 Jahre nach der Katastrophe, war ein Team unter Leitung des MARUM mit dem Forschungsschiff *METEO*R in der Makran-Region unterwegs. Das Ziel der Forscherinnen: Zu untersuchen, wie sich das Beben auf die Verbreitung und Mobilität von Methan im Meeresboden ausgewirkt hatte. Dort kommt Methan in drei Phasen vor: gelöst im Wasser, das die einzelnen Sedimentkörner umgibt, als freies Gas sowie als Gashydrat. Gashydrate sind eisartige Verbindungen, die ausschließlich aus Kohlenwasserstoffgasen – hauptsächlich Methan – und Wasser bestehen. Sie bilden sich bei geringen Temperaturen und unter hohem Druck, sobald die Methan-

konzentration einen Sättigungswert überschreitet.

Bekannt ist, dass sich am Makran-Kontinentalrand aufgrund von Dichteunterschieden eine ozeanische, tektonische Platte unter die Eurasische Platte schiebt. Dabei schabt die kontinentale Platte große Mengen methanreichen Sediments von der abtauchenden Platte ab. Solche Bewegungen laufen indes selten störungsfrei ab. Die Platten verhaken sich ineinander – bis sich die Spannung in Form von Erdbeben löst. Im Untersuchungsgebiet vor Pakistan treten Beben der Stärke größer 8 ungefähr alle ein- bis zweihundert Jahre auf.

Während ihrer Expedition setzten die Wissenschaftlerinnen u.a. das

Tauchfahrzeug *MARUM-QUEST* ein; zudem gewannen sie Sedimentkerne vom Meeresboden und analysierten geophysikalische Datensätze. So ließ sich untermauern, dass durch Erdbeben Methan im Sediment mobilisiert werden kann, das dann unter gewissen Umständen sogar ins Meer entweicht: Das 1945er Beben brach den Meeresboden mechanisch auf; das unter den Gashydratlagen gefangene freie Methan bahnte sich seinen Weg durch Risse und Klüfte Richtung Meeresbodenoberfläche und entwich in den Ozean. Vorsichtigen Schätzungen zufolge sind seit dem Erdbeben – umgerechnet auf die Druckverhältnisse an der Meeresoberfläche – etwa 7,4 Millionen Kubikmeter Methan aus dem Mee-

resboden in den Ozean geströmt. Das entspricht etwa der Ladung von zehn großen Gastankern. Darin sind nicht jene Methanmengen eingerechnet, die als unmittelbare Folge des 1945er Bebens freigesetzt wurden.

Im Untersuchungsgebiet vor Pakistan trat das Methan 2.861 Meter unter der Wasseroberfläche aus dem Meeresboden aus. Im Hinblick auf aktuelle Untersuchungen des globalen Klimas bedeutet dies, dass Methan in flacheren Meeresregionen sogar direkt aus dem Meeresboden in die Atmosphäre gelangen könnte. Dies scheint zum Beispiel in der Laptewsee vor Sibirien der Fall zu.

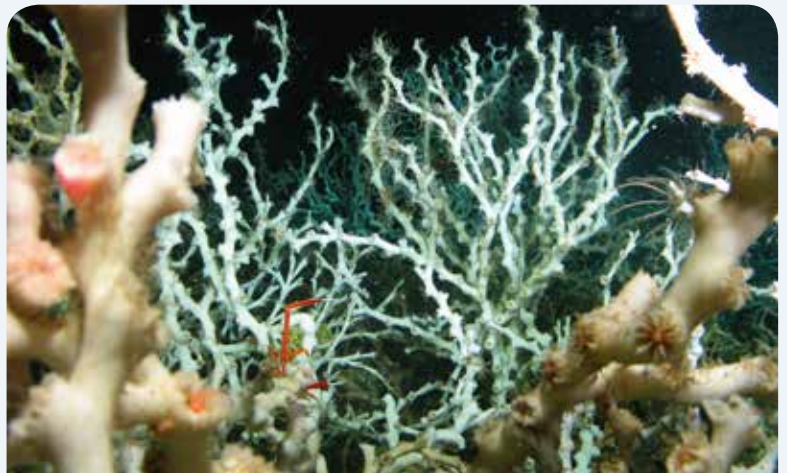
Der Grund, warum MARUM-Forscherinnen der Frage nachgehen, ob natürliches Methan, das aus dem Meeresboden entweicht, in der Wassersäule verbleibt oder aber in die Atmosphäre gelangt, liegt auf der Hand: In der Atmosphäre ist das Treibhausgas Methan etwa 20-mal wirksamer als Kohlendioxid.

Neben natürlichem und anthropogenem Methan, das auf den Kontinenten entsteht, werden vor allem im Ozean bzw. im Meeresboden enorme Methanmengen produziert. Dies geschieht insbesondere in Gebieten mit hoher biologischer Produktion. Das sind Meeresregionen, in denen sehr viel Kohlenstoff und weitere Nährstoffe zur Verfügung stehen, die mikroskopisch kleine Pflanzen und Tieren auf der untersten Ebene des Nahrungsnetzes dann mit Hilfe von Licht in organische Substanz umwandeln. Sterben diese Organismen ab, lagern sich deren Überreste am Meeresboden ab. Daher steht dort entsprechend viel Kohlenstoff zur Verfügung, eine Hauptzutat für die Produktion von Methan. Solche hochproduktiven Gebiete finden sich meist an den Kontinentalrändern wie etwa vor der pakistanischen Küste – und sind daher immer wieder Ziel von MARUM-Schiffsexpeditionen, die den Geheimnissen des Methans auf die Spur kommen wollen.



In Wassertiefen von mehr als 400 Metern sind Methanhydrate im Meeresboden aufgrund der dort herrschenden niedrigen Temperatur und des hohen Drucks stabil. Im Labor, unter normalen atmosphärischen Bedingungen, zerfallen die Hydrate und setzen große Mengen brennbaren Methans frei (oben). An bestimmten Lokationen, wie etwa vor der Küste Pakistans, steigen Methanblasen aus dem Meeresboden (Foto S. 12).

Ozean und Leben



Dort, wo die Küstenmeere zur Tiefsee abfallen, bilden Kaltwasserkorallen Brennpunkte ökologischer Vielfalt. Vor allem in Wassertiefen zwischen 200 und 1.000 Metern bilden sie am Meeresboden außergewöhnliche Strukturen. Manche ähneln Riffen, die sich über mehrere Zehner Quadratkilometer ausdehnen; andernorts stößt man auf untermeerische Korallenhügel von mehr als 300 Meter Höhe. MARUM-Wissenschaftlerinnen erforschen, wie sich diese Ökosysteme im Lauf der Zeit entwickelt haben – vor allem in Abhängigkeit von Klimaschwankungen. Dabei setzen sie ferngesteuerte Tauchfahrzeuge ein, deren HD-Videokameras Einblicke in die Vielfalt und Funktionsweise dieser Ökosysteme gewähren. Regional reichen die Schwerpunkte der Kaltwasserkorallenforschung am MARUM vom nordöstlichen Atlantik und dem Mittelmeer bis zum Golf von Mexiko und der Florida-Straße.

Von der Küste bis in die Tiefsee

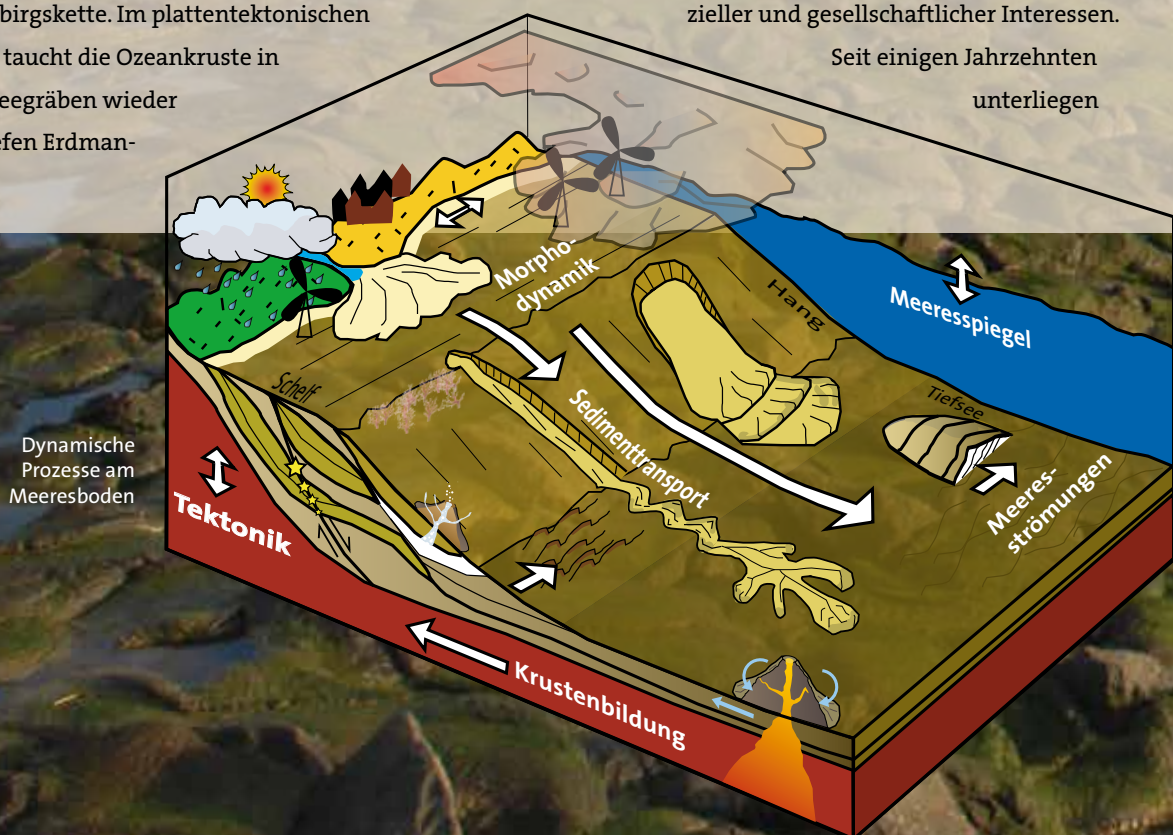
MARUM-Forschungsfeld »Dynamik des Meeresbodens«

Etwa 71 Prozent der Erdoberfläche sind von Meerwasser bedeckt. Flüsse und Winde transportieren Sedimente vom Festland in die Weltmeere. Strömungen verlagern diese von den Küsten über die flachen Schelfmeere seewärts zum Kontinentalhang und teilweise bis in die Tiefsee. So entstehen zum Teil mehrere Kilometer mächtige Sedimentschichten, die auf der ozeanischen Kruste lagern. Gleichzeitig bilden aufsteigende Magmen an den mittelozeanischen Rücken ständig neue Ozeankruste; die Rücken formen eine weltumspannende, 60.000 Kilometer lange untermeerische Gebirgskette. Im plattentektonischen Kreislauf taucht die Ozeankruste in den Tiefseegräben wieder in den tiefen Erdmantel ab.

Eine Vielzahl unterschiedlicher dynamischer Prozesse ist für die Gestaltung des Meeresbodens verantwortlich. Sedimenttransport und -ablagerung, submariner Vulkanismus, tektonische Bewegungen und damit verbundene Erdbeben formen den Meeresboden ständig um. Zudem fließt ein Teil des Meerwassers durch die Kruste und bildet Schlammvulkane sowie kalte und heiße Quellen mit jeweils vielfältigen Ökosystemen. All diese Vorgänge machen den Meeresboden zu einem der dynamischsten und vielfältigsten Räume der Erde.

Der Meeresboden steht auch im Blickpunkt kommerzieller und gesellschaftlicher Interessen.

Seit einigen Jahrzehnten unterliegen



Dynamische Prozesse am Meeresboden



Aussetzen des Autonomen Unterwasserfahrzeugs MARUM-SEAL vom deutschen Forschungsschiff METEOR. Dieses AUV taucht bis zu 5.000 Meter tief und erstellt hochgenaue Karten des Meeresbodens.

Küsten und Schelfmeere einer zunehmend intensiveren Nutzung etwa durch Baumaßnahmen: Neue Häfen, Offshore-Windparks, Vertiefung von Fahrrinnen. Viele dieser Eingriffe wirken auf die natürlichen Sedimentbewegungen zurück. Darüber hinaus ist der Meeresboden Quelle für Rohstoffe und Ursprung von Naturkatastrophen, wie beispielsweise Tsunamis, die weltweit eine wachsende Bevölkerung in den Küstenregionen bedrohen.

Im Forschungsfeld »Dynamik des Meeresbodens« erforschen MARUM-Wissenschaftlerinnen, wie Meeresböden strukturiert sind und wie sich sie gebildet haben. Ihr Ziel: ein verbessertes Verständnis der einzelnen Prozesse und vor allem von deren Wechselwirkungen zu gewinnen. Eine besondere Herausforderung stellen dabei unterschiedliche zeitliche und räumliche Skalen

der einzelnen Vorgänge dar. So laufen manche Prozesse relativ schnell ab, andere hingegen sehr langsam, manche sind räumlich eng begrenzt, andere wirken sich hingegen weiträumig aus.

In Zusammenarbeit mit internationalen Partnern und unter Beteiligung unterschiedlicher Disziplinen gehen MARUM-Wissenschaftlerinnen diese Fragestellungen an. Neben Feldmessungen, Laborexperimenten und numerischen Modellierungen setzen sie fortschrittlichste Technologien wie Unterwasserfahrzeuge und Meeresbodenbohrgeräte ein. Das Ziel ist stets ein tieferes Verständnis der Dynamik der Meeresböden: von der Küste bis in die Tiefsee.

Der Meeresboden ist hoch dynamisch: Von seiner Entstehung durch vulkanische und tektonische Prozesse über die Besiedlung durch Organismen bis hin zu Massenbewegungen an Kontinentalrändern und in Küstenregionen. Ozeankruste, Sedimente, Meerwasser und Ökosysteme stehen in regem Austausch miteinander. Massenbewegungen können bisweilen katastrophale Auswirkungen haben. Das Forschungsfeld »Dynamik des Meeresbodens« zielt darauf ab, die Prozesse besser zu verstehen, die den Meeresboden gestalten.



Meine Forschung konzentriert sich auf Sedimentationsprozesse in Küstenzonen. Mir gefällt am MARUM insbesondere der gute Zugang zu unterschiedlichen Technologien und die Teamarbeit mit internationalen Küstenforscherinnen; außerdem profitiere ich von den Programmen für Nachwuchswissenschaftlerinnen.



Eva Kwohl
Postdoktorandin am MARUM

Erdrutsche im Meer – eine unterschätzte Naturgefahr

Vor allem in alpinem Gelände kommt es immer wieder zu Geröll-, Schutt- oder Schlammlawinen, die in den betroffenen Tälern oft erhebliche Sachschäden anrichten und bisweilen auch Menschenleben kosten. Weitgehend unbekannt ist jedoch, dass auch untermeerische Hänge ins Rutschen geraten können. Dabei sind neben Gas- und Ölpipelines auch Telekommunikationskabel und Offshore-Bauten bedroht. Darüber hinaus können größere Rutschmassen, wenn sie hinreichend Fahrt aufnehmen, auch Tsunamis auslösen. So, wie 1979 an der Mittelmeerküste vor Nizza. Damals rutschten etwa fünf Kubikkilometer Sediment bis in 2.000 Meter Wassertiefe ab. Ein bis zu drei Meter hoher lokaler Tsunami war die Folge. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass es wichtig ist, untermeerische Rutschungen zu erforschen, um die Ursachen ihrer Entstehung sowie ihre Dynamik besser zu verstehen und wenn möglich ihre Auswirkungen abzuschwächen.



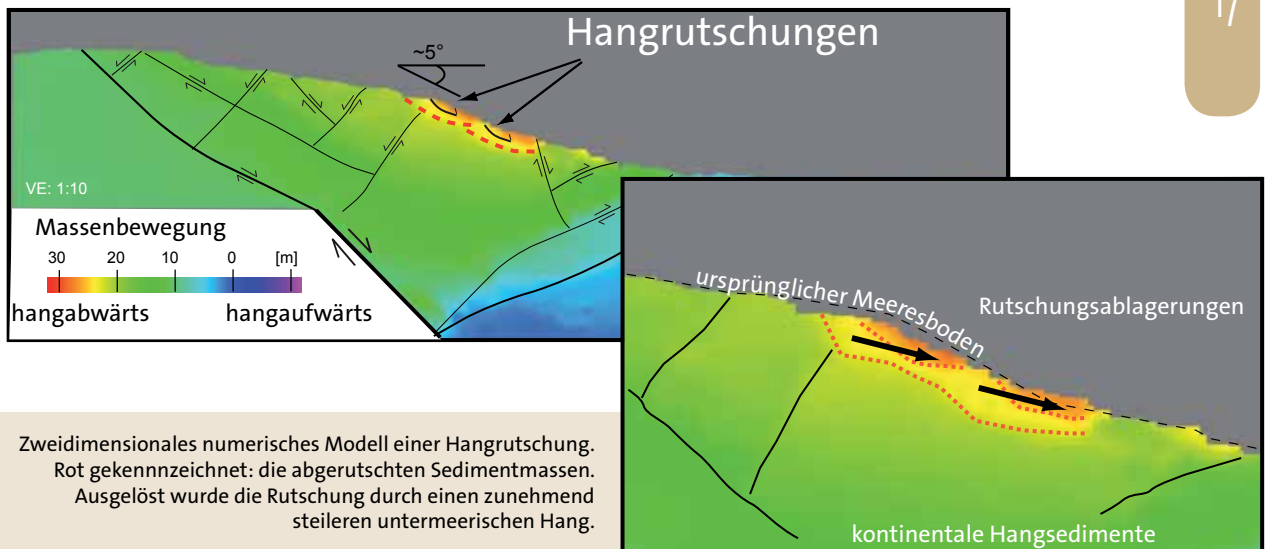
Die MARUM-Piezometerlanze wird zur Langzeitbeobachtung der Deformation von submarinen Hangsedimenten und Fluidbewegungen am Kontinentalhang vor Nizza (Frankreich) vom Forschungsschiff POSEIDON aus installiert. Hier ereignete sich 1979 eine submarine Hangrutschung, die einen Tsunami auslöste. Die Ursachen dieses Ereignisses werden von MARUM-Forscherinnen untersucht.

Untermeerische Rutschungen sind viel größer als Bergrutsche an Land. So wurden bei einem der größten Ereignisse – der Storegga-Rutschung, die sich vor etwa 8.000 Jahren an der norwegischen Küste ereignete – Zehnermeter dicke Sedimentpakete über mehr als 600 Kilometer den Kontinentalhang hinab transportiert. Die dabei ausgelöste Tsunami-Welle erreichte Höhen von bis zu sechs Metern an der Ostküste Schottlands und sogar mehr als 20 Meter auf den Shetland-Inseln. Neben diesen gigantischen Rutschungen ereignen sich weltweit viele kleinere Massenbewegungen. Aufgrund ihrer Anzahl, Häufigkeit und weiten Verbreitung sind diese von großer gesellschaftlicher Bedeutung. Besonders, da in den letzten Jahrzehnten die Kontinentalhänge zunehmend wirtschaftlich genutzt werden, etwa zur Förderung von

Erdöl und -gas. Gleichzeitig wächst die Zahl der Menschen, die in Küstenregionen siedeln. Untermeerische Hangrutschungen bedrohen somit zunehmend mehr Menschen und eine wachsende Infrastruktur und hätten potenziell weit schlimmere Folgen als noch vor wenigen Jahrzehnten.

Hangrutschungen werden mit dem Ziel erforscht ein besseres Verständnis der Auslösemechanismen sowie des Transportverhaltens rutschender Massen zu erhalten. Obwohl untermeerische Hänge oft nur wenige Grad Gefälle aufweisen, ist immer noch nicht vollständig geklärt, wie die teils riesigen Rutschmassen kilometerweit hangabwärts transportiert werden.

Ob, wann und wo ein Sedimentpaket abreißt und eine Rutschung auftritt, ist maßgeblich von den physikalischen Eigenschaften des Hangmaterials abhängig. Eine



Zweidimensionales numerisches Modell einer Hangrutschung. Rot gekennzeichnet: die abgerutschten Sedimentmassen. Ausgelöst wurde die Rutschung durch einen zunehmend steileren untermeerischen Hang.

Rutschung wird ausgelöst, wenn es zu einer Ver- bzw. Übersteilung des Hangs kommt oder sich die Scherfestigkeit des Sedimentkörpers in kurzer Zeit deutlich verringert. Letzteres kann durch eine plötzliche Zunahme des Porendrucks ausgelöst werden, d.h. des Drucks, der in den winzigen Räumen zwischen den Sedimentkörnern eingeschlossenen Flüssigkeiten. Häufigster Auslösemechanismus sind aber Erdbeben. Weitere Auslöser sind schnell wachsende Sedimentauflast, pulsierender Grundwasserfluß oder Fluide, die aus tieferen Schichten des Meeresbodens aufsteigen. Infolge der Erschütterungen bricht die Struktur der Sedimentkörner zusammen, woraufhin die in den Porenräumen eingelagerten Wasser heraus gepresst werden.

Die Rutschungsforschung am MARUM liefert ein besseres Verständnis des Gefahrenpotentials, das mit den durch untermeerische Hangrutschungen ausgelösten Tsunamis verbunden ist.

Um diese Fragestellungen anzugehen, kombinieren MARUM-Wissenschaftlerinnen eine Vielzahl moderner Untersuchungstechniken: hochauflösende geophysikalische Kartierung von Rutschkörpern, sedimentologische, geochemische und geotechnische Analyse von Sedimentkernen; Messungen der physikalischen Eigenschaften des

Sediments direkt am Meeresboden und im Labor; Langzeitüberwachung durch Observatorien am

Meeresgrund sowie numerische Simulation von Rutschungsprozessen am Computer.

Ozean und Gesellschaft



Der Mensch beeinflusst zunehmend die Meeresumwelt und die Küstenregionen. Gesetze und Verordnungen, wie etwa die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie der EU, verlangen eine Überwachung der Meeresumwelt. MARUM-Wissenschaftlerinnen entwickeln beispielsweise Verfahren, um den Zustand von Küstengewässern zu erkunden. Wissenschaftliche Erkenntnisse werden an Entscheidungsträgerinnen in Politik und Verwaltung sowie an die interessierte Öffentlichkeit vermittelt. Interessenkonflikte zwischen Umweltschutz auf der einen und der Nutzung des Küstenraums und der Meere auf der anderen Seite werden unter Einbeziehung von Sozial- und Rechtswissenschaftlerinnen untersucht.



Für meine Forschung gibt es keinen besseren Ort als das MARUM. Die Fülle hervorragenden Wissens, die europä- wenn nicht weltweit einmalige Infrastruktur, das IODP-Bohrkernlager und die exzellenten internationalen Kontakte bieten beste Voraussetzungen für Forschung auf höchstem Niveau.



Thomas Westerhold
Senior Scientist am MARUM



Über 150 Kilometer Meeresboden

Das Bremer Bohrkermlager des IODP

Am MARUM befindet sich das größte der weltweit drei Kernlager des International Ocean Discovery Program (IODP). In diesem großen Forschungsprogramm haben sich internationale Wissenschaftseinrichtungen aus 27 Ländern, darunter die Vereinigten Staaten, Japan und ein Konsortium europäischer Staaten zusammengeschlossen, um weltweit mit Bohrschiffen und Plattformen Bohrexpeditionen in den Ozeanen durchzuführen.

In der Bremer IODP-Einrichtung lagern weit mehr als zweihunderttausend Bohrkernabschnitte: aus dem Atlantik, dem Arktischen Ozean, dem Mittelmeer, dem Schwarzen Meer und der Ostsee. Sie wurden seit 1968 im Rahmen der wissenschaftlichen Bohrprogramme Deep Sea Drilling Project (DSDP), Ocean Drilling Program (ODP), Integrated Ocean Drilling Program (IODP) sowie dem neuen, im Oktober 2013 gestarteten International Ocean Discovery Program (IODP) gewonnen.

Zuerst werden die zylindrischen Bohrkern der Länge nach geteilt. Aus den sogenannten Arbeitshälften dürfen Proben genommen werden, während die Archivhälften zunächst nur mit zerstörungsfreien Methoden, etwa mit Farb- oder Röntgenscannern untersucht werden. Im ersten Jahr nach einer Bohrexpedition haben nur deren Teilnehmerinnen Zugang zu Proben und Daten. Nach Ablauf dieser Frist steht es jeder Forscherin weltweit frei, Proben zu beantragen. So kommen jedes Jahr ungefähr 200 Wissenschaftlerinnen an das Bremer IODP Kernlager. Andere lassen sich die gewünschten Proben zusenden; jährlich werden etwa 50.000 Proben verschickt.

Deutschland ist mit 18 weiteren Staaten Mitglied des europäischen Bohrkonsortiums ECORD. Es führt im Rahmen des IODP Expeditionen in Seegebieten durch, in denen die großen IODP-Bohrschiffe JOIDES RESOLUTION (USA) und CHIKYU (Japan) nicht operieren können.



Dazu zählen eisbedeckte Gewässer am Nordpol sowie flache Küsten- oder Binnenmeere.

Für die Expeditionen chartert ECORD spezielle Schiffe oder Bohrplattformen. Diese haben in der Regel keine Labore an Bord. Deshalb werden mobile Laborcontainer vor allem des MARUM an Deck installiert. Darin führen die Wissenschaftlerinnen unaufschiebbare Arbeiten wie etwa geochemische Messungen oder mikrobiologische Beprobungen durch. Alle anderen Auswertungen finden erst an Land in Bremen statt.

Nach jeder Expedition treffen sich etwa 30 Forscherinnen zur »Onshore Science Party« in den Laboren des Bremer Kernlagers, um die Bohrkerne dem Standard-Messprogramm des IODP zu unterziehen. Mehrere Wochen lang, in zwei Schichten, von früh morgens bis spät abends, beschreiben die Forscherinnen das Aussehen und Inventar des Materials. Sie messen u.a. physikalische Eigenschaften wie Dichte und Wärme-

leitfähigkeit und bestimmen z.B. die chemische Zusammensetzung des im Sediment enthaltenen Porenwassers, aber auch das Alter der jeweiligen Probe. Schließlich fassen sie die Ergebnisse in Berichten zusammen.

So fügt jede Expedition unserem Bild der Erde einen weiteren Puzzlestein hinzu.

In den fünfeinhalb Meter hohen Regalen des Bremer Bohrernlagers werden 154 Kilometer Bohrkerne (Stand: Mitte 2014) in 250.000 Kunststoffbehältern aufbewahrt. Sie sind jeweils eineinhalb Meter lang und haben einen Durchmesser von knapp sieben Zentimetern. Die Bohrkerne sind die Früchte einer mehr als 45jährigen Expeditionstätigkeit.

Orientierung im Datenmeer

Das Daten-Informationssystem PANGAEA

Das MARUM betreibt gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) ein Informationssystem, in dem Daten aus der Erdsystemforschung archiviert und publiziert werden. Da das System die ganzheitliche Betrachtungsweise der Erde fördern soll, ist es nach jenem Superkontinent benannt, in dem vor 200 Millionen Jahren alle Kontinente vereint waren: PANGAEA.

Die Leistungsfähigkeit der in den Erdwissenschaften eingesetzten Beprobungs- und Analysegeräte und mit ihnen die damit gewonnene Datenmenge ist in den letzten Jahrzehnten exponentiell gewachsen. Gleichzeitig lassen sich dank fortschrittlicher Informationstechnologien mittlerweile nahezu unbegrenzt Datenmengen speichern, verteilen und verarbeiten. Dennoch gehen im schnellen Wandel von Hard- und Software noch viel zu viele Daten verloren. Denn bislang wurde

die bibliothekarische Ablage von Primärinformationen aus Forschungsprojekten und den daraus folgenden Publikationen nicht als integraler Bestandteil des wissenschaftlichen Arbeitsprozesses betrachtet.

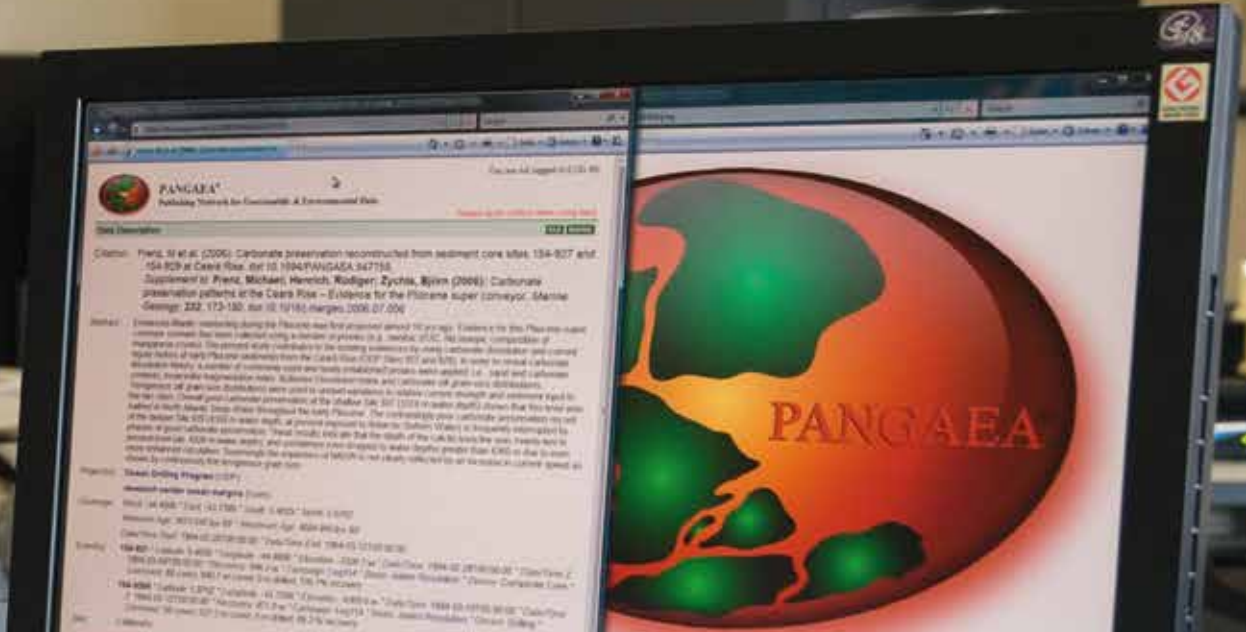
PANGAEA stellt der Wissenschaft ein Werkzeug bereit, das es gewährleistet, auf jegliche bei der Erforschung unserer Erde gewonnenen Daten langfristig und zuverlässig zuzugreifen. Die neuartige elektronische Bibliothek orientiert sich an internationalen Standards und fügt sich daher nicht nur harmonisch in die sich global entwickelnde Geodateninfrastruktur ein, sondern dient auch als Publikationssystem. Sie integriert Daten in den etablierten Prozess der wissenschaftlichen Veröffentlichung. Diese Daten unterliegen, genau wie wissenschaftliche Aufsätze in Fachzeitschriften, einem Review-Prozess und sind durch andere Wissenschaftlerinnen in deren eigenen Arbeiten zitierbar. So entsteht ein Anreizsystem für die Wissenschaft, Daten zu veröffentlichen.



Am MARUM bin ich an Expeditionsplanungen und an der Erstellung neuer Datensätze beteiligt. Beides erfordert schnellen Zugang zu bereits veröffentlichten Daten. Das Daten-Informationssystem PANGAEA ist daher für meinen wissenschaftlichen Alltag ein unentbehrliches Werkzeug.



Stefan Mulitza
Senior Scientist am MARUM



Dem Publikationssystem liegt ein wohl definierter redaktioneller Prozess zugrunde. Eingehende Daten werden mit allen notwendigen Metainformationen verknüpft und zitierfähig abgelegt. Dazu zählen neben bibliografischen Daten unter anderem auch die auf Forschungsschiffen erhobenen Positions- und Zeitangaben sowie Informationen über die während der Messung verwendeten Geräte und Methoden.

PANGAEA kann alle denkbaren Messgrößen aus allen Disziplinen der Erdwissenschaften erfassen – von der oberen Atmosphäre bis in den Meeresboden. Wichtiger Teil des Systems ist das sogenannte Data-Warehouse. Damit lassen sich beliebige Datenteilmengen aus dem Gesamtbestand extrahieren. So kann die Entwicklung der lokalen Meerwassertemperatur aus vielen unterschiedlichen Publikationen, die im Lauf der letzten einhundert Jahre erschienen sind, zusammengestellt werden. PANGAEA unterstützt damit die Bearbeitung

neuartiger wissenschaftlicher Fragestellungen, mit denen Erdwissenschaftlerinnen unser Verständnis des komplexen Systems Erde erweitern.

Im Daten-Informationssystem PANGAEA befinden sich etwa 350.000 Datensätze. Sie bestehen aus mehr als sechs Milliarden einzelner Messwerte und Datenobjekte, darunter auch rund 100 Terabyte an Bildmaterial, seismischen Profilen und Daten aus Klimamodellen. Täglich kommen etwa einhundert neue Datensätze hinzu. In PANGAEA sind in den letzten zehn Jahren Daten aus mehr als einem Jahrhundert erdwissenschaftlicher Forschung gesammelt und archiviert worden.

Die Technologien am MARUM bieten uns einzigartige Möglichkeiten, den Meeresboden zu erforschen. Die langen Sedimentkerne, die wir mit dem MARUM-MeBo erbohren, enthalten Informationen zu Klimaveränderungen, die mehrere Hunderttausend Jahre in die Erdgeschichte zurück reichen.



Gema Martínez Méndez
Postdoktorandin am MARUM

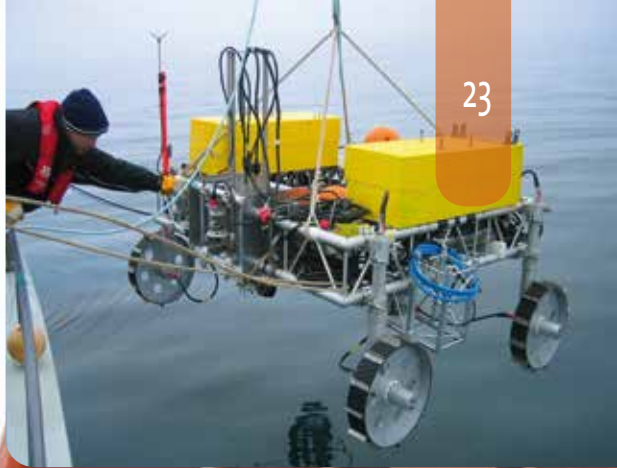
Schweres Gerät

Meeresforschungs-Technologien am MARUM

Seit mehr als 20 Jahren setzt das MARUM auf Schiffsexpeditionen meeres technische Geräte ein. Es nutzt auf dem Markt verfügbare Geräte, entwickelt aber auch selbst neue Technologien. So stehen inzwischen mehrere Unterwasser-Fahrzeuge zur Verfügung. Zu den Tauchrobotern, den kabelgeführten und somit vom Forschungsschiff ferngesteuerten »remotely operated vehicles« (ROVs), zählt das MARUM-QUEST mit 4.000 Meter Tauchtiefe. Ende 2015 wird ein weiteres, 2.000 Meter tief tauchendes ROV, das MARUM-SQUID, zur Verfügung stehen. Eingebaute hochauflösende Kameras dokumentieren die Umgebung in nie zuvor gesehener Qualität. Videokontrolliert nehmen die Greifarme der Tauchroboter Proben oder setzen Messgeräte für Experimente am Meeresboden auf optimalen Positionen ab.

Ferngesteuerte Tauchroboter können für viele wissenschaftliche Fragestellungen eingesetzt werden,

allerdings nur begrenzte Bereiche des Meeresbodens untersuchen. Größere Areale werden mit Fächerloten vermessen, die im Boden der Forschungsschiffe installiert sind. Ihre Schallwellen tasten den Ozeangrund ab und liefern so Karten des Meeresbodens. Doch je größer die Meeres-tiefe, desto gröber erscheint das Echolot-Abbild. Daher hat das MARUM ein autonom operierendes Unterwasserfahrzeug (autonomous underwater vehicle, AUV) beschafft: das MARUM-SEAL. Es ist ebenfalls mit einem Fächerecholot ausgestattet und fährt bestimmte Meeresgebiete auf zuvor festgelegten Kursen etwa 50 Meter über Grund ab. Das 5,50 Meter lange, torpedoförmige Gerät kann bis zu 5.000 Meter tief tauchen und kartiert hochpräzise das Relief des Meeresbodens. Es registriert sogar Strukturen, die nur wenige Dezimeter groß sind.



Für Forschungsarbeiten unterhalb des Meereises wird zurzeit ein Unterwasserfahrzeug entwickelt, das sowohl autonom operieren als auch vom Schiff aus in Echtzeit ferngesteuert werden kann. Dieses Tauchgerät wird in der Lage sein, mehrere Kilometer von der Meereiskante entfernt unter dem Eis zu manövrieren, um an ausgewählten Positionen Proben von der Unterseite des Meereises zu nehmen.

MARUM-Forscherinnen profitieren davon, dass sich die einzelnen Geräte hervorragend ergänzen. Lokationen, die das SEAL genauestens kartiert, können anschließend mit Tauchfahrzeugen wie dem QUEST, aber auch mit dem Meeresmobil MARUM-CMove zielgenau untersucht werden. CMove ist ein autonom operierendes, allradgetriebenes Fahrzeug für Einsätze in bis zu 3.000 Meter Wassertiefe. Es fährt langsam und energieeffizient über den Meeresboden und bietet eine sehr stabile Plattform für wissenschaftliche

Experimente an der Grenzschicht Wassersäule-Sediment.

Eine besondere Technologie stellt das MARUM-MeBo70 dar. Das knapp sieben Meter hohe Bohrgerät wurde am MARUM entwickelt. Er wird von Forschungsschiffen in bis zu 2.000 Meter Wassertiefe ausgesetzt, per Kupferdraht mit Energie versorgt und über eine »Nabelschnur« aus Glasfasern ferngesteuert. MeBo70 kann bis zu 70 Meter lange Bohrkerne gewinnen. Es schließt die Lücke zwischen herkömmlichen Geräten zur Probenahme wie etwa dem Schwerelot und den Bohrschiffen des International Ocean Discovery Program. Ab 2015 steht das verbesserte Nachfolgemodell MARUM-MeBo200 zur Verfügung, das in bis zu 2.700 Meter Wassertiefe bis 200 Meter tief in den Meeresgrund bohren kann.

Die moderne Ausstattung der Labore und das technische Know-how meiner Kolleginnen sind für mich und meine Forschung von unschätzbarem großem Wert. Hier am MARUM und an unseren kooperierenden Instituten kann ich meine Ideen mit vielen motivierten Wissenschaftlerinnen diskutieren und immer direkt in die Tat umsetzen.



Nadine Goldenstein
Doktorandin am MARUM

Das Unsichtbare erfassen

Die Laborinfrastruktur am MARUM

Meereswissenschaftlerinnen setzen auf umfangreiche und komplexe Laboruntersuchungen, um frühere Klima- und Umweltbedingungen nachzuzeichnen und aktuelle Prozesse zu bewerten. In den MARUM-Laboren sind dafür hoch entwickelte Spektrometer, Chromatographen, Röntgenscanner, Magnetometer und andere moderne Geräte rund um die Uhr im Einsatz. Um etwa die voneinander abhängigen biologischen, geologischen und chemischen Prozesse im Ozean zu entschlüsseln, werden zum einen die Mengenanteile anorganischer und organischer Spurensubstanzen in Meerwasser-, Sediment- oder Korallenproben bestimmt.

Zum anderen werden organische Komponenten in Meerwasser- oder Sedimentproben wie Methan oder Lipidbestandteile nach chromatographischer Vortren-

nung in Massenspektrometern untersucht. So erhalten die Meereswissenschaftlerinnen umfangreiche Informationen über die Verteilung des organischen Materials, über vergangene Klimaereignisse und über die Wechselwirkungen zwischen mikrobiellem Leben und Stoffkreisläufen.

Die Bestimmung der Mengenanteile von Spurensubstanzen wird durch eine umfangreiche Isotopenanalytik ergänzt. Dabei geht es zum Beispiel darum, die Verteilung der stabilen sowie der durch natürlichen radioaktiven Zerfall entstandenen Isotope von Elementen zu untersuchen.

Isotope eines Elements enthalten zwar gleich viele Protonen, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Neutronenzahl. Um z.B. stabile Isotope an Korallen zu messen, bereiten die Wissenschaftlerinnen das



Ausgangsmaterial auf und analysieren es dann mit Isotopenmassenspektrometern. Auch die organischen Einzelkomponenten werden in ähnlicher Weise analysiert, wodurch sowohl Temperatur und Salzgehalt in früheren Klimaepochen rekonstruiert als auch der Kohlenstoffkreislauf und die Nährstoffgehalte im Ozean entschlüsselt werden können. Um zu verstehen wie Umweltbedingungen Isotopenverhältnisse und Stoffkreisläufe beeinflussen, betreibt das MARUM Genetik- und Kulturlabore für marine Algen und Foraminiferen. Dadurch können die Diversität dieser Organismen und ihr Wachstum in Abhängigkeit von Klimaveränderungen unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden.

Neben den stabilen Isotopen werden auch jene genutzt, die durch natürlichen radioaktiven Zerfall entstehen. Sie werden in hochmodernen Massens-

pektrometern untersucht und geben Aufschluss über die geochemische Entwicklung unseres Planeten oder frühere Umweltentwicklungen im Ozean. Dazu werden chemische Spurenelemente im Reinraumlabor aufgearbeitet.

Für die Untersuchung komplexer organischer Zellmembranbestandteile werden Flüssigkeitschromatographen mit ausgewählten Massenspektrometern gekoppelt. Gezielt werden sogenannte intakte polare Lipide in Extrakten aus Sedimenten, Wasserproben und Zellkulturen analysiert. So erhalten die Wissenschaftlerinnen Informationen über die Anwesenheit, die Vielfalt und die Lebensweise der verschiedenen (Mikro)Organismen in den Umweltproben.

Ich bin sehr stolz, als wissenschaftliche Mitarbeiterin Promovierende bei ihrer Doktorarbeit und allem was dazu gehört, zu unterstützen. Ich schätze das interdisziplinäre Umfeld im MARUM bzw. GLOMAR, aber auch die große Kursvielfalt. Sie hilft sowohl den Promovierenden als auch mir bei unseren Forschungsaufgaben.



Alice Lefebvre
GLOMAR Associate Scientist am MARUM

Gute Perspektiven!

Junge Talente fördern

Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs hat am MARUM eine lange und gute Tradition. Hier finden Promovierende und Postdocs aus gegenwärtig mehr als 30 Ländern ein inspirierendes Umfeld.

Die Promovierenden haben die Möglichkeit, Mitglied der Bremer Internationalen Graduiertenschule für Meereswissenschaften, kurz: GLOMAR, zu werden. Sie bietet den Rahmen für ein weitgefächertes Angebot an Weiterbildungskursen und schafft optimale Bedingungen, um die für die späteren Karrieren so wichtigen internationalen und interdisziplinären Netzwerke aufzubauen.

Da GLOMAR eine große Breite an Disziplinen abdeckt, fungiert die Graduiertenschule auch als Schnittstelle zwischen dem MARUM und solchen meereswissenschaftlichen Aktivitäten in der Region, die nicht in di-

rektem Zusammenhang mit den Forschungsaktivitäten des MARUM stehen. Der disziplinäre Hintergrund der GLOMAR-Mitglieder reicht daher von den Geowissenschaften, der Physik, Biologie und Chemie über Human-geographie, Politik- und Sozialwissenschaften bis hin zu den Wirtschafts- und Rechtswissenschaften.

Zum Betreuungskonzept gehört nicht zuletzt eine gute Einbindung in die internationale Wissenschaftsgemeinschaft. Auf dem Weg dorthin werden Vorträge auf internationalen Konferenzen und mehrmonatige Forschungsaufenthalte an internationalen Forschungsinstituten von GLOMAR finanziell gefördert.

Einer der zentralen Erfolgsfaktoren der Graduiertenausbildung ist die Unterstützung durch ein betreuendes Team aus erfahrenen Wissenschaftlerinnen. In regelmäßigen Treffen werden das Promotionsprojekt



selbst, die Karriereplanung und der Erwerb von Schlüsselqualifikationen besprochen. Fachlich bietet GLOMAR eine Vielzahl an Einführungs- und Expertenkursen an, die auf die jeweilige wissenschaftliche Disziplin abgestimmt sind oder interdisziplinäre Aspekte in den Mittelpunkt stellen. Dieses Weiterbildungsprogramm zielt darauf ab, die Entwicklung der Promovierenden optimal zu unterstützen. Offensichtlich mit Erfolg: die Angebote werden von Promovierenden wie Postdocs aus Bremen und darüber hinaus gut angenommen.

In den Graduiertenprogrammen sind Doktorandinnen und Doktoranden anteilig noch etwa gleich stark vertreten; auf höheren Karriereebenen nimmt der Frauenanteil dagegen deutlich ab. Um dieses Defizit nachhaltig zu verringern und Frauen darin zu unterstützen, ihren Weg in der Wissenschaft weiter zu gehen,

bietet das MARUM in Zusammenarbeit mit dem Universitätsprogramm »plan m« ein Mentoringprogramm für Wissenschaftlerinnen an.

Am MARUM sind auch zwei internationale Graduiertenkollegs angesiedelt: Das deutsch-neuseeländische Projekt INTERCOAST besteht seit 2009 und fördert gegenwärtig dreizehn Promovierende, die sich mit Fragen der angewandten Küstenforschung beschäftigen. Im Jahr 2013 hat das Projekt ArcTrain mit der ersten Gruppe von 12 Promovierenden seine Arbeit aufgenommen. In Zusammenarbeit mit kanadischen Partnerinstitutionen werden dabei klimabedingte Umweltveränderungen in der Arktis untersucht.

Wie das Meer an Land kommuniziert wird

Das MARUM im Dialog mit der Öffentlichkeit

Die Öffentlichkeitsarbeit des MARUM richtet sich an Journalistinnen, Schülerinnen und Lehrerinnen, Entscheidungsträgerinnen sowie an die interessierte Öffentlichkeit. Ein wichtiges Kommunikationsmittel ist der Internetauftritt des MARUM. Auf der Homepage finden sich aktuelle Meldungen aus dem Institutsalltag; in der Rubrik »Entdecken« sind Pressemitteilungen, Expeditionstagebücher oder die vor 15 Jahren initiierte Wissenschafts-Hotline »Das Blaue Telefon«, eine Kooperation mit der Hamburger Zeitschrift »mare – die Zeitschrift der Meere« zu finden.

Eine wichtige Rolle spielt seit April 2008 das Projekt MARUM TV auf YouTube. Inzwischen sind dort fast 100 Kurzfilme abrufbar, viele davon auf Deutsch und Englisch. Der Kanal hat über 330 Abonnentinnen und verzeichnete bislang rund 430.000 Videoaufrufe. Vielfach sind in den Videos attraktive Tiefseeaufnahmen des

Tauchfahrzeugs MARUM-QUEST zu sehen. Sie werden auch in Meeresausstellungen renommierter deutscher Museen gezeigt. Zudem wird das QUEST-Material intensiv vom Fernsehen nachgefragt.

Einen ungewöhnlichen Weg geht das MARUM seit 2009 mit der Wanderausstellung MeerErleben, die noch bis 2015 durch große deutsche und europäische Einkaufszentren tourt. Mensch und Meer, Vielfalt und Evolution, Entstehung von Vulkanen und Erdbeben, moderne Meeresforschungstechnologien sind einige der Themen in den sieben Ausstellungsmodulen. Ein Mix aus faszinierenden Fotos, Videos, Animationen, Texten und Grafiken sowie unterhaltsamen Mitmach-Exponaten bietet den Besucherinnen vielfältige Möglichkeiten, in die Ausstellung einzusteigen. Zu den Höhepunkten von MeerErleben zählt das HD-Tiefseekino mit Unterwasser-Aufnahmen des Tauchroboters MARUM-QUEST

Am MARUM habe ich die Möglichkeit, ganz neue Wege in der Öffentlichkeitsarbeit zu beschreiten. Die vielen innovativen Projekte machen meine Arbeit hier so abwechslungsreich und spannend. Dabei macht mir die Arbeit mit Kindern besonders Spaß – sie stellen die besten Fragen!



Jana Stone
MARUM-Öffentlichkeitsarbeit



sowie ein zylindrisches 2.500-Liter-Aquarium, in dem Besucherinnen mit einem echten Mini-Tauchroboter experimentieren können.

Für Kinder und Jugendliche bietet das MARUM UNISchullabor gezielt Veranstaltungen für Kindergärten sowie für die Sekundarstufen I und II an. Lehrerinnen können Kurse mit MARUM-Bezug im Rahmen der von der Universität veranstalteten Sommeruniversität belegen. Zudem sind die Geowissenschaften im Land Bremen Teil des Lehrplans. Daraus resultierten u.a. Erfolge im Rahmen des bundesweiten Wettbewerbs Jugend forscht.

Das MARUM engagiert sich seit vielen Jahren auch in nationalen und internationalen Public Relations-Netzwerken; zum Beispiel in der Öffentlichkeitsarbeit des Konsortiums Deutsche Meeresforschung oder des weltweiten International Ocean Discovery Program.

Abgerundet wird dieses Engagement durch Nutzung von Social Media wie @marum_de bei Twitter.

Das MARUM entwickelt stetig neue Angebote für bestimmte Zielgruppen. So setzt das MARUM UNISchullabor auf Kooperationen mit Schulen und bietet eine Vielzahl von Kursen an. Familien und Kinder besuchen Tage der offenen Tür auf dem Campus oder auf Forschungsschiffen. Im Ausstellungsbereich kooperiert das MARUM mit führenden deutschen Museen und entwickelt erfolgreich eigene Ausstellungen. Nationale und internationale PR-Netzwerke sind hilfreich, wenn es darum geht, auf Kongressen und Konferenzen Entscheidungsträger oder Nachwuchswissenschaftler anzusprechen.

Impressum

Herausgeber

Michael Schulz
MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften
Universität Bremen
Leobener Str., 28359 Bremen
+49 421 218 65500
mschulz@marum.de

Fotos

Gr. Foto Umschlag, und S. 3 kleines Foto 4: Sean Diaz, SDProPho; Umschlag Mitte und unten, Portraits und S. 3 kleine Fotos 2 and 3, S. 6/7, 7 oben, 11 oben, 13 oben, 15 oben, 19 oben, 20/21, 22/23, 23 Mitte, 24/25, 26/27, 27 oben: Volker Diekamp; Umschlag oben, S. 28/29: Jana Stone (alle MARUM); Foto Vorwort: Kai Uwe Bohn, Universität Bremen; S. 2/3: C. Lott, HYDRA; S. 3 kleines Foto 1, S. 14/15, 18/19, 29 unten: Albert Gerdes, MARUM; S. 4/5: Husemann/Timmermann/Hidde – Architekten und Ingenieure, Braunschweig; S. 8 links, unten rechts: Thomas Felis; S. 8 oben rechts: Jürgen Pätzold (alle MARUM); S. 9 oben links: ECORD/IODP und Felis et al. 2012, doi:10.1038/ncomms1973; X-radiograph: Felis et al. 2009, doi:10.1130/G25581A.1; S. 9 oben rechts: ECORD/IODP; S. 9 unten: NASA; S. 10/11, 12, 13 und Rückseite: Unterwasseraufnahmen des Tauchroboters MARUM-QUEST; S. 16: Achim Kopf; S. 17 unten, 29 oben: Frank Schmieder (alle MARUM); S. 19 Mitte: Carlos A. Alvarez Zarikian, IODP; S. 23 oben: MARUM; S. 25 oben: Xavier Prieto Mollar; S. 25 unten: Matthias Zabel; S. 27 unten: Christina Klose (alle MARUM)

Grafiken

S. 5: Medieningenieure Bremen; S. 6: Michael Schulz, MARUM (Daten: NGRIP); S. 9 oben links: Felis et al. 2012, doi:10.1038/ncomms1973; S. 9 Mitte: Felis et al. 2012, doi:10.1038/ncomms1973; S. 10: Verena Heuer; S. 14, 17: Katrin Huhn; S. 22: Till von Wahl (alle MARUM)

Texte

Wolfgang Bach, Torsten Bickert, Marcus Elvert, Thomas Felis, David Fischer, Albert Gerdes, Lydia Gerullis, Dierk Hebbeln, Sebastian Hötzel, Katrin Huhn, Achim Kopf, Ursula Röhl, Michael Schulz, Gerold Wefer, Christian Winter, Matthias Zabel (all MARUM)

Redaktion

Albert Gerdes MARUM

Layout und Satz

Frank Schmieder, MARUM

Druck

Asco Sturmdruck, Bremen

Auflage

2. Auflage, 4.000 Stück

Bremen, August 2014



MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften
Universität Bremen
Leobener Str.
28359 Bremen
www.marum.de


Dem Meer auf den Grund gehen!

Das MARUM entschlüsselt mit modernsten Methoden und eingebunden in internationale Projekte die Rolle des Ozeans im System Erde – insbesondere in Hinblick auf den globalen Wandel. Es erfasst die Wechselwirkungen zwischen geologischen, physikalischen und biologischen Prozessen im Meer und liefert Informationen für eine nachhaltige Nutzung der Ozeane.

Das MARUM umfasst im Kern das DFG-Forschungszentrum und den Exzellenzcluster »Der Ozean im System Erde« sowie weitere nationale und internationale Forschungsprojekte.