



Universität  
Bremen

MARUM –  
Zentrum für Marine  
Umweltwissenschaften

# Der Ozean im System Erde



**marum**

Zentrum für Marine  
Umweltwissenschaften  
Universität Bremen



# Der Ozean im System Erde

MARUM – Zentrum für Marine  
Umweltwissenschaften







Die Erforschung der Ozeane erfordert den Einsatz modernster Technologien von Forschungsschiffen aus.

# Dem Meer auf den Grund gehen!

**MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften  
an der Universität Bremen**

Unser blauer Planet ist faszinierend. Atmosphäre, Ozeane und Gesteinshülle, die von großen und kleinen Lebewesen besiedelte Biosphäre sowie Eisschilde und Gletscher bilden seine wesentlichen Bestandteile, die durch komplexe Wechselwirkungen eng miteinander verwoben sind. Nie herrscht Stillstand. Der schnell voranschreitende Klimawandel,

Erdbeben und Vulkanausbrüche belegen, wie dynamisch die Prozesse im System Erde ablaufen. Das gilt besonders für die Meere und Ozeane, die etwa 71 Prozent der Erdoberfläche bedecken.

Weltumspannende Meeresströmungen, heiße und kalte Quellen am Meeresboden und viele weitere Phänomene machen die



„Das MARUM erforscht die Rolle des Ozeans und des Meeresbodens im Erdsystem und vermittelt Wissen für einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Meer.“

Prof. Dr. Michael Schulz  
Direktor des MARUM

Meeresumwelt zu einem zentralen Element im System Erde. Die Ozeane sind im Mittel 3.700 Meter tief und umspannen die ganze Erde. Sie beherbergen vielfältige, an die jeweilige Umgebung angepasste Ökosysteme. Der tiefe Ozean und der Ozeanboden sind noch weitgehend unbekannt, da sie bisher nur sporadisch mit direkten Messungen wissenschaftlich untersucht wurden. Sicher ist aber, dass diese Regionen bedeutende Funktionen für das gesamte Erdsystem erfüllen.

Durch globale Herausforderungen wie Klimawandel, Meeresspiegelanstieg, Energiegewinnung aus dem Meer sowie steigende Ressourcennutzung in

den Ozeanen steht die Meeresforschung vor neuen Aufgaben von großer gesellschaftlicher Bedeutung. Dies spiegelt sich sowohl im Meeresforschungsprogramm der Bundesregierung ‚MARE:N – Küsten-, Meeres- und Polarforschung für Nachhaltigkeit‘ als auch in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen wider. Hier widmet sich das Ziel 14 „Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen“ ausdrücklich auch Aspekten, die unmittelbar mit dem tiefen Ozean verknüpft sind. So hängen beispielsweise die langfristige Aufnahmekapazität des Ozeans für Kohlendioxid und die Verfügbarkeit von Rohstoffen

aus dem Meer von Prozessen im tiefen Ozean ab. Wir wissen aber noch zu wenig über die Prozesse in der Tiefsee, um entsprechendes Handlungswissen bereit zu stellen.

Das MARUM gewinnt grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse über die Rolle der Meere und Ozeane und des Meeresbodens im gesamten Erdsystem. Deren Dynamiken prägen durch Wechselwirkungen von geologischen, physikalischen, biologischen und chemischen Prozessen maßgeblich das gesamte Erdsystem. Über diese Prozesse beeinflussen sie auch das Klima sowie den globalen Kohlenstoffkreislauf und es entstehen einzigartige



Das ROV MARUM-Squid wird vor dem nächsten Einsatz im Tauchbecken auf dem MARUM-Gelände getestet.



Die Laborinfrastruktur am MARUM bietet ideale Bedingungen für Spitzenforschung.



Wartungsarbeiten am MARUM-MeBo70

Ökosysteme. Das MARUM steht für grundlagenorientierte und ergebnisoffene Forschung in Verantwortung vor der Gesellschaft und zum Wohl der Meeresumwelt.

Das Forschungszentrum ‚MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften‘ hat sich seit seiner Gründung zu einem international anerkannten Zentrum für Meeresforschung entwickelt, das an der

Universität Bremen verankert ist. Seit 2012 ist das Zentrum die erste und einzige Research Faculty der Universität Bremen. Im MARUM arbeitet die Universität Bremen eng mit dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven (AWI), dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen (MPI) mit Senckenberg am Meer in Wilhelmshaven (SGN),

dem Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung in Bremen (ZMT) sowie mit der Universität Oldenburg und der privaten Jacobs University in Bremen zusammen.

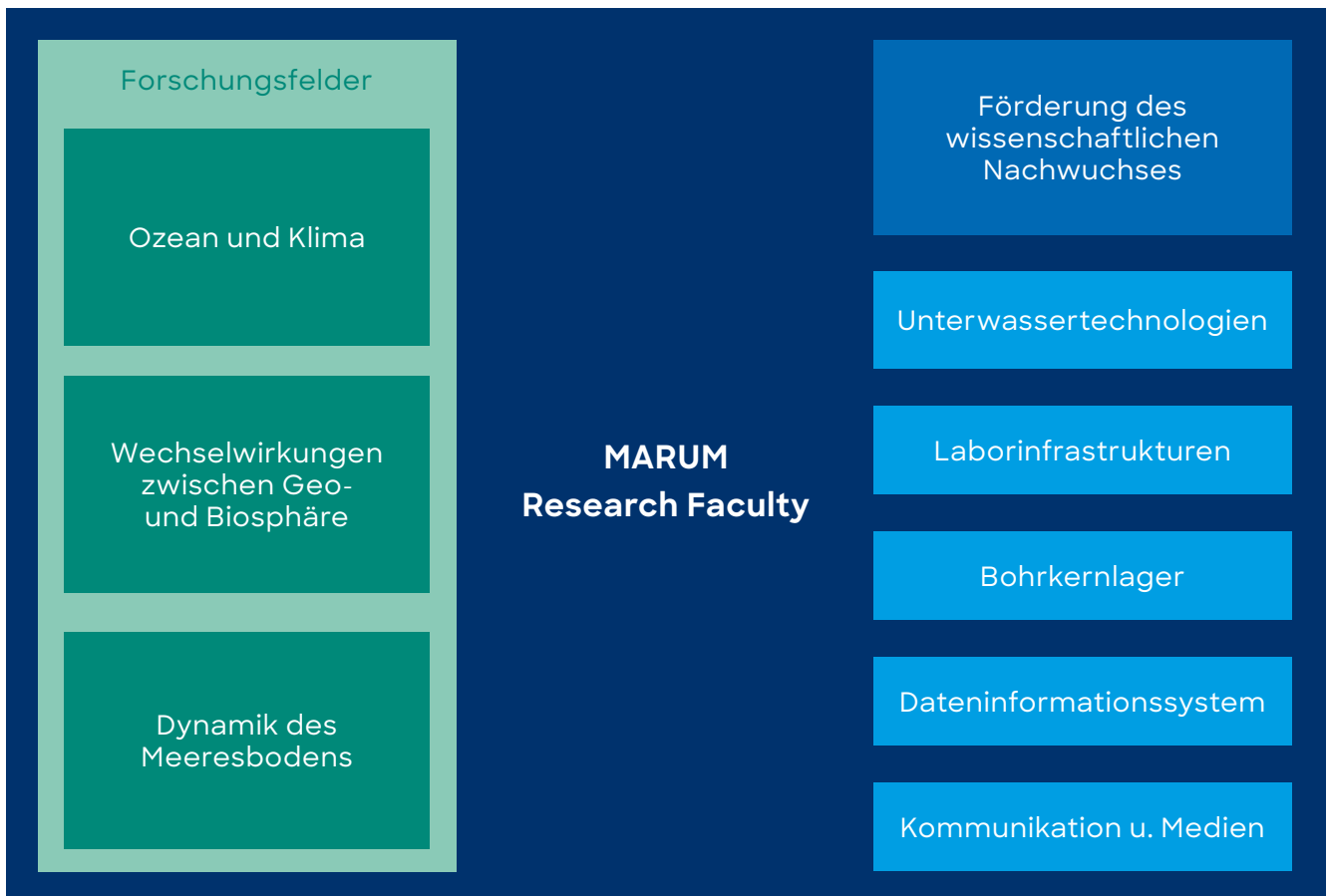
Am MARUM sind der Exzellenzcluster ‚Der Ozeanboden – unerforschte Schnittstelle der Erde‘ sowie weitere nationale und internationale Forschungsprojekte angesiedelt.





Auf dem Campus der Universität Bremen befinden sich die MARUM-Gebäude mit Büros, Laboren und Technikhallen.

Das MARUM gliedert sich in drei interdisziplinäre Forschungsfelder. Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses ist eine Querschnittsaufgabe.





Mit dem am MARUM entwickelten Meeresbodenbohrgerät MeBo200 – hier vom Forschungsschiff SONNE aus eingesetzt – werden bis zu 200 Meter lange Kerne gewonnen.

## Forschungsfeld

# Ozean und Klima

Sedimente, die am Meeresboden abgelagert werden, ermöglichen die Quantifizierung von Veränderungen der Meeresumwelt in der Vergangenheit. Der Meeresboden stellt somit ein einzigartiges Archiv für Umweltveränderungen auf Zeitskalen von Dekaden bis Jahrmillionen dar. Dieses Archiv trägt entscheidend zum Verständnis der natürlichen, aber für die Menschheit relevanten Prozesse bei, die den heutigen Zustand des Erdsystems und auch seine künftige Entwicklung maßgeblich bestimmen. Neben klassischen Methoden der Meeresgeologie werden insbesondere (isotopen-)geochemische Analysen organischer und anorganischer Komponenten der Sedimente genutzt, um Umweltveränderungen zu rekonstruieren und die dafür verantwortlichen Prozesse zu analysieren.

Durch Wind und Flüsse werden auch terrestrische Klimasignale in den Ozean transportiert und bleiben dort erhalten. Dadurch stellen Tiefseesedimente

In den Schalen von Foraminiferen, die in Sedimenten am Meeresboden abgelagert wurden, sind dauerhaft Klima- und Umweltsignale gespeichert, die mit verschiedenen Labormethoden ausgelesen werden.



ein einzigartiges Klimaarchiv dar, das es ermöglicht, neben Variationen der marinen Umwelt auch zeitgleiche Veränderungen auf den Kontinenten und deren Beziehung zueinander zu erfassen. Solche paläozeanographischen und paläoklimatologischen Untersuchungen erlauben es zum Beispiel, Aussagen über die Veränderungen der ozeanweiten Meeresströmungen und der biologischen Produktivität zu machen, die für die Funktionsweise des Klimasystems von großer Bedeutung sind. Beispiele sind der Wärmetransport, die Speicherung von Kohlendioxid oder die Verschiebung von Niederschlagsregionen.

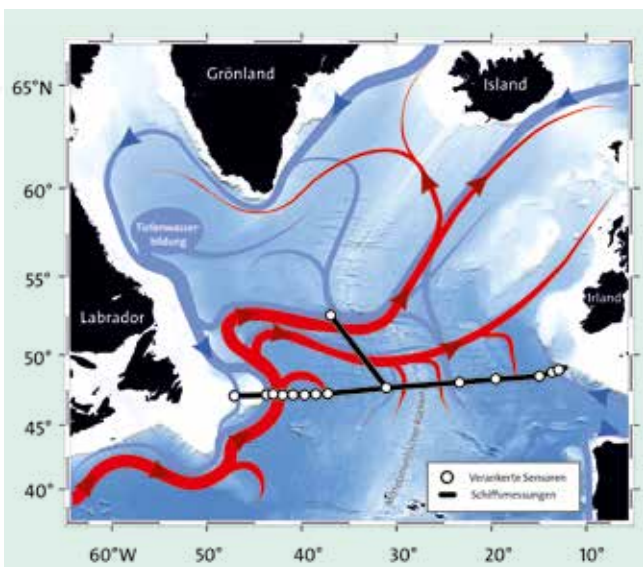
Direkte Messungen von physikalischen Parametern und Spurengasen im Meer und durch Satellitenmessungen erlauben es, Schwankungen in den Strömungen und in der ‚Atmung‘ des tiefen Ozeans im Bereich von Monaten bis Jahrzehnten zu untersuchen. Mittels zeitlich hochaufgelöster Sedimente und Korallenskelette gelingt es, die Rolle des Ozeans im Klimageschehen auf diesen detaillierten Zeitskalen in Zeiträumen zu untersuchen, für die noch keine direkten Messungen zur Verfügung stehen. Dabei sind die Rolle der Verstärkungsmechanismen, der Wechselwirkungen zwischen Klima-Subsystemen, aber auch der Antriebsfaktoren sowie des Ausmaßes möglicher lokaler Umweltveränderungen von besonderer Bedeutung.

Viele Klimaindikatoren in der Paläoklimatologie erlauben einen direkten Vergleich mit Ergebnissen von Klimarechenmodellen. Solche Vergleiche ermöglichen es, die Qualität der Modelle für zukunftsrelevante Klimazustände zu testen und die Modelle weiter zu verbessern. In Zukunft werden dafür immer umfassendere paläoklimatologische Datensätze benötigt, mit denen Klimazustände in der Vergangenheit noch detaillierter beschrieben werden können.



Mit seinem tonnenschweren Gewichtsträger ermöglicht ein Schwerelos die Beprobung des Meeresbodens bis zu einer Tiefe von etwa 20 Metern.

Vereinfachtes Zirkulationsschema des Nordatlantiks.  
Rot: Warmes Oberflächenwasser, blau: kaltes Tiefenwasser.



Bergung eines im Ozean verankerten Strömungsmessers, der in eine Auftriebskugel eingebaut ist. Solche Strömungsmesser werden für ein Jahr oder länger in verschiedenen Wassertiefen installiert und messen dort Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen. Diese Daten geben für die Klimaforschung wichtige Hinweise auf Schwankungen in der Stärke von Ozeanströmungen.





Beprobung eines Gasaustritts an einer kalten Quelle mit dem Tauchroboter MARUM-QUEST

## Forschungsfeld

# Wechselwirkungen zwischen Geo- und Biosphäre

Geologische Prozesse im Meeresboden führen zur Entwicklung von extremen Lebensräumen mit einzigartigen Ökosystemen. An mittelozeanischen Rücken steigen bis zu circa 400 Grad Celsius heiße Fluide aus der ozeanischen Kruste auf. Diese Fluide sind reich an reduzierten chemischen Verbindungen und bilden im Kontakt mit sauerstoffhaltigem Meerwasser eine reichhaltige Energiequelle für Mikroorganismen und damit die Basis der üppigen Lebensgemeinschaften an ‚Heißen Quellen‘ (‚hot vents‘). In ähnlicher Weise floriert das Leben an den ‚Kalten Quellen‘ (‚cold seeps‘) der Kontinentalränder und Randmeere, an denen im Zuge tektonischer oder geochemischer Prozesse Fluide freigesetzt werden, die mit Methan, anderen Gasen und organischen Verbindungen angereichert sind.

Im Gegensatz dazu sind die über geologische Zeiträume langsam am Boden der Tiefsee abgelagerten Sedimente zumeist extrem energiearme Standorte. Sie bieten dennoch ausreichende Lebensbedingungen für mikrobielle Gemeinschaften (sogenannte Tiefe Biosphäre) und beherbergen schätzungsweise ebensoviel mikrobielle Biomasse wie das Wasser der Ozeane. Trotz kilometertiefer Bohrungen in den Ozeanboden wurde bis heute die untere Grenze der Tiefen Biosphäre noch nicht gefunden. Auch verstehen wir nur ansatzweise die Prozesse und Anpassungen, die Leben unter hoher Temperatur und hohem Druck, mit ungewöhnlichen Energiequellen und trotz teilweise ausgeprägten Energiemangels ermöglichen.



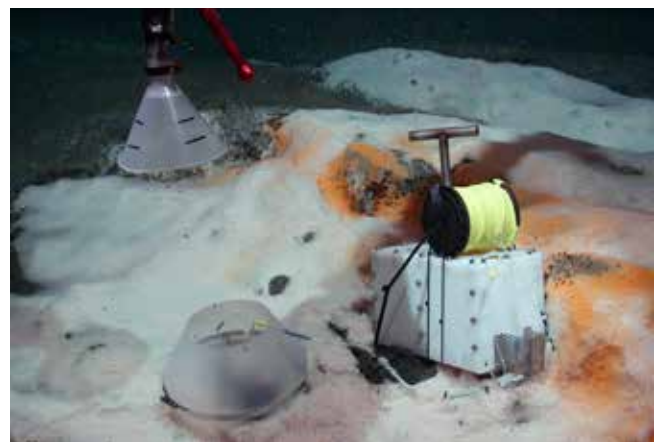
Chemosynthetische Lebensgemeinschaften im Logatchev Hydrothermalfeld am Mittelatlantischen Rücken in 3.000 Meter Wassertiefe



Bartwürmern besiedeln Asphaltlagen, die an natürlichen Ölaustrittsstellen in 3.300 Meter Wassertiefe im Golf von Mexiko entstanden sind.

Viele einzigartige Lebensräume am und im Ozeanboden wurden in den vergangenen 40 Jahren umfangreich dokumentiert. Die bereits bekannten Systeme sind jedoch nur in Ansätzen verstanden, und es werden immer wieder neue entdeckt. Während außer Frage steht, dass die in ihnen ablaufenden Prozesse eine bedeutende Rolle in globalen Stoffkreisläufen spielen, gelang die konkrete Quantifizierung von Stoffflüssen bisher nur näherungsweise.

Die Existenz von Leben unter den extremen Umweltbedingungen der Tiefsee verdeutlicht, dass wir bisher nicht wissen, welche Umweltfaktoren letztendlich das Leben auf der Erde – und möglicherweise auch auf anderen Planeten – begrenzen. Die Erkenntnis, dass die extremen Lebensräume der Tiefsee eine große Diversität aufweisen, kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass unser Wissen über die Stabilität beziehungsweise Labilität dieser Ökosysteme noch sehr begrenzt ist. Wie anfällig solche Systeme gegenüber Störungen sind – dazu gehören insbesondere die Förderung mariner Rohstoffe am Meeresboden, Speicherung von Kohlendioxid, Fischerei und der Eintrag von Mikroplastik – kann bislang nicht zuverlässig eingeschätzt werden.



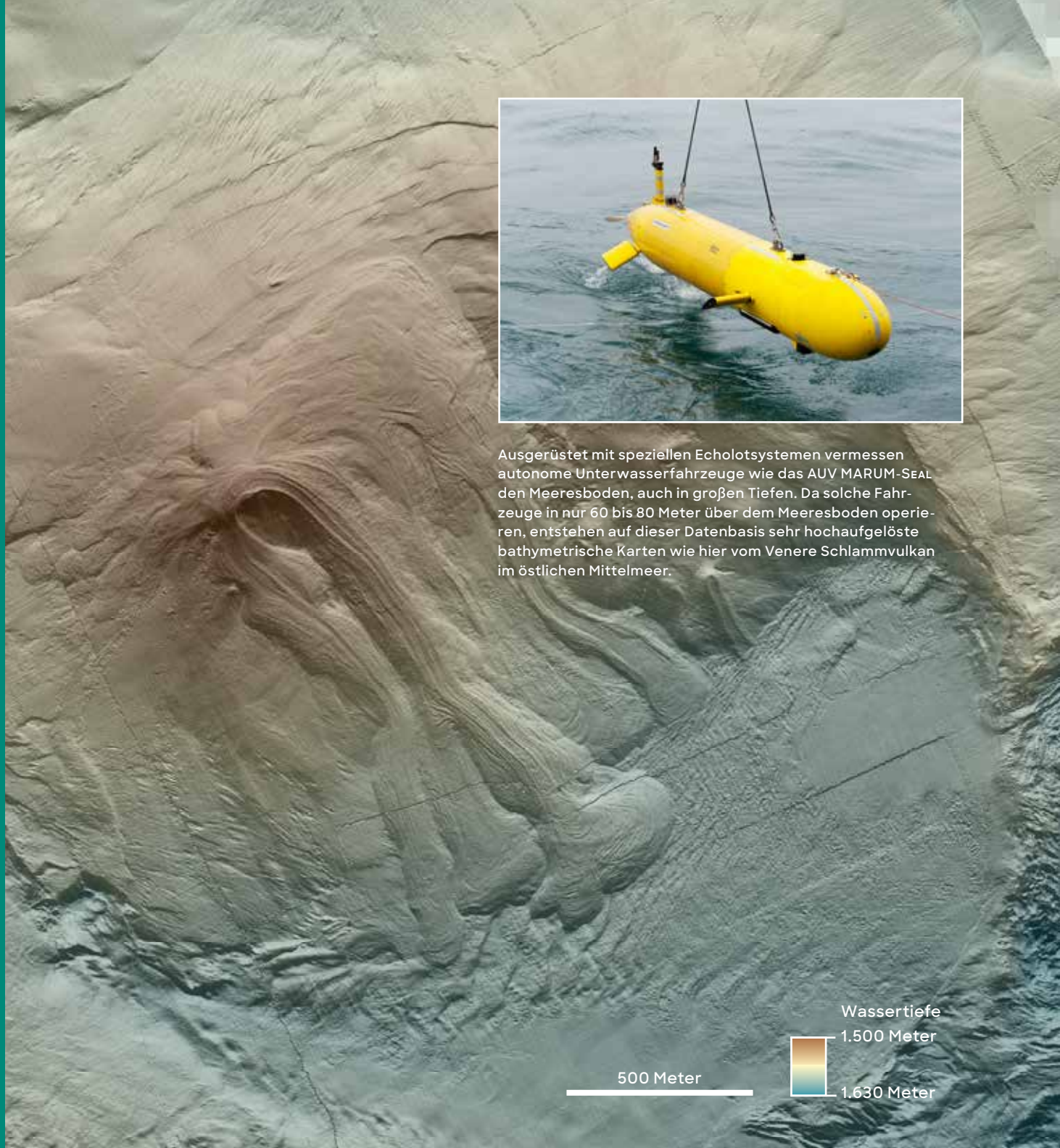
Mit einem Tauchroboter ausgesetzte Messgeräte erfassen autonom die Sauerstoffzehrung an Bakterienmatten in der Sauerstoffminimumzone, hier in 1.100 Meter Wassertiefe am pakistanischen Kontinentalrand.



Hydrothermalquellen in 860 Meter Wassertiefe im Menez Gwen Hydrothermalfeld südwestlich der Azoren



Ausgerüstet mit speziellen Echolotsystemen vermessen autonome Unterwasserfahrzeuge wie das AUV MARUM-SEAL den Meeresboden, auch in großen Tiefen. Da solche Fahrzeuge in nur 60 bis 80 Meter über dem Meeresboden operieren, entstehen auf dieser Datenbasis sehr hochaufgelöste bathymetrische Karten wie hier vom Venere Schlammvulkan im östlichen Mittelmeer.



## Forschungsfeld

# Dynamik des Meeresbodens

Der Meeresboden stellt den Ort dar, an dem durch Wind, Flüsse und Gletscher vom Festland transportierte Sedimente abgelagert werden, die mehrere Kilometer mächtig sein können. An mittelozeanischen Spreizungsrücken in der Tiefsee steigt Magma aus dem Erdmantel auf, das zu Ozeankruste erstarrt und eine weltumspannende, circa 60.000 Kilometer lange untermeerische

Gebirgskette bildet. Im plattentektonischen Kreislauf wird diese Ozeankruste in den Tiefseegräben wieder den Kontinenten untergeschoben und taucht schließlich in den tiefen Erdmantel ab, wo sie schmilzt.

Die frisch gebildete, heiße Ozeankruste steht in chemischer und physikalischer Wechselwirkung

mit dem Meerwasser. Durch Abkühlung und Altern entstehen in der Basaltkruste feine Risse, durch die Meerwasser zirkuliert. Gleichzeitig schmiert das Wasser der oberen Kruste und der ihr auflagernden Sedimente die Grenzschicht zwischen Kontinentalkruste und abtauchender Ozeankruste in den Tiefseegräben. Diese Fluide (Wässer und Gase) werden in größerer Erdtiefe ausgepresst und treten als Schlammvulkane oder Karbonatausfällungen am Meeresboden in Erscheinung. Beim Entweichen der Fluide in Richtung Ozeanboden können Erdbeben entstehen, weil die Fluide wie ein Gleitmittel die Bewegung zwischen den Krustenplatten beeinflussen.

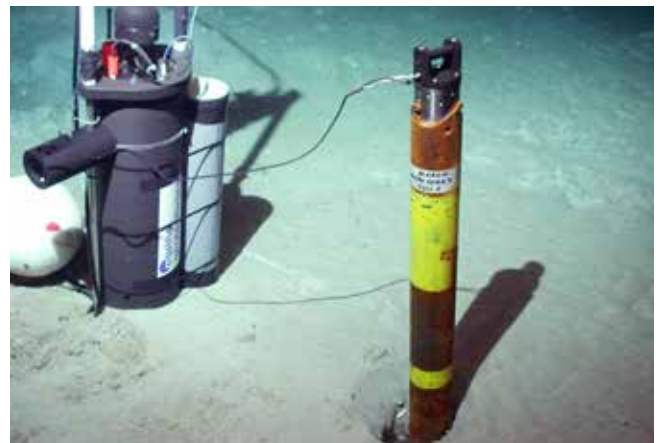
Erdbeben, die im Meeresboden entstehen, aber auch die damit einhergehenden Rutschungen und Tsunamis, wirken sich zerstörerisch auf dicht besiedelte Küstenregionen, deren Infrastruktur und auch die dort angesiedelten Ökosysteme aus. Erdbeben großer Magnitude – zum Beispiel die Starkbeben von Sumatra 2004, Chile 2010 und Japan 2011 – entstehen in großer Erdtiefe und entziehen sich der direkten Untersuchung. Jüngere Studien mit physikalischen Bohrlochobservatorien zeigen, dass quantitative Abschätzungen der freigesetzten Energie einzelner Erdbebenzonen möglich sind und sich für Frühwarnsysteme nutzen lassen.

Hochvariabel sind die Mobilisierungsprozesse von Sedimenten, die durch verschiedene Faktoren (Niederschlag, Strömungen, Seismizität, Erosion/Verwitterung) gesteuert werden. Die Bewegung und Verteilung der Sedimente wird dabei maßgeblich durch die Bathymetrie des Meeresbodens (Canyons, Rücken und Ebenen) kontrolliert. Die Ab- und Umlagerung von Sedimenten geschieht ständig von der Küste bis in die Tiefsee. Untermeerische ‚Lawinen‘ (sog. Trübestrome) und Rutschungen können den Meeresboden sehr schnell über hunderte von Kilometern tiefgreifend umgestalten.

Neben diesen schnell ablaufenden Prozessen unterliegt der Meeresboden auch sehr langsamen Veränderungen auf geologischen Zeitskalen mit Bewegungsraten im Millimeter- bis Zentimeterbereich pro Jahr. Hierzu zählen tektonische Prozesse und submariner Vulkanismus der ozeanischen Kruste. Aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten dieser dynamischen Veränderungen des Meeresbodens über Jahrmillionen ist die Besiedlung solcher Regionen möglich, zum Beispiel durch Kaltwasserkorallen und andere Organismen. Insofern steuert die Dynamik des Meeresbodens auch maßgeblich die Entwicklung der dortigen marinen Ökosysteme.



In der Nähe des Venere Schlammvulkans im östlichen Mittelmeer wurzelt diese Bartwürmerkolonie unter einer Kalkkruste in 1.560 Meter Wassertiefe.



Mit dem Tauchroboter MARUM-Quest wurde an einem Schlammvulkan im Nankai Trog vor Japan in 1.950 Meter Wassertiefe ein Bohrlochobservatorium für Langzeituntersuchungen installiert. Dieses Gerät misst Porendruck und Temperatur im Bohrloch und entnimmt über ein Kapillarsystem Porenwasser-Zeitreihen.



Kolonien von Kaltwasserkorallen können sich über mehrere hundert Kilometer erstrecken und die Zirkulation des Meerwassers beeinflussen. Diese einzigartigen Ökosysteme sind unabhängig vom Sonnenlicht und gewinnen Energie, indem sie Mikroplankton und organische Schwebstoffe aus dem Meerwasser filtern.



Bakterienmatten im Arabischen Meer in  
730 Meter Wassertiefe

Exzellenzcluster am MARUM

# Der Ozeanboden – unerforschte Schnittstelle der Erde

Der Ozeanboden ist der Teil des Meeresbodens, an dem die Wassertiefe größer als 200 Meter ist. Dieser macht den größten Teil der festen Oberfläche der Erde aus und stellt die Schnittstelle dar, an der geologische, physikalische, chemische, biologische und hydrologische Prozesse aufeinander

einwirken. Wegen seiner schieren Größe wissen wir noch zu wenig über die Faktoren, die den Transport von organischem Material zum Ozeanboden steuern und dadurch den globalen Kohlenstoffkreislauf und das Klimasystem beeinflussen. Was passiert, wenn Kohlenstoff und andere





oben: Bartwürmer an einem Schlammvulkan  
darunter: Basaltische ozeanische Kruste

Methanblasenaustritt an Kalkschloten im Schwarzen Meer in 260 Meter Wassertiefe

Elemente aus der Umwandlung organischen Materials ins Meerwasser gelangen oder aus dem Ozeanboden in die Wassersäule abgegeben werden? Was ist das Schicksal der unzähligen Arten von Plankton in der Wassersäule, beim Kontakt mit dem Ozeanboden und später in der Tiefe? Hier setzt der neue Exzellenzcluster ‚Ozeanboden‘ an, in dem sich bis 2025 Forscherinnen und Forscher ganz auf diese noch weitgehend unerforschte Schnittstelle konzentrieren werden.

Seit rund vier Jahrzehnten ist bekannt, dass die Tiefsee keine Wüste, sondern im Gegenteil eine Oase des Lebens ist – allerdings eine sehr empfindliche. Ändert sich das Ökosystem, dauert es vermutlich Jahrzehnte, bis es sich wieder erholt. Darum wird im Cluster auch untersucht, wie die sensiblen Ökosysteme in der Tiefsee auf eine sich verändernde Umwelt und steigende Wassertemperaturen reagieren. Der Ozeanboden ist außerdem ein einzigartiges Archiv, das im Sediment

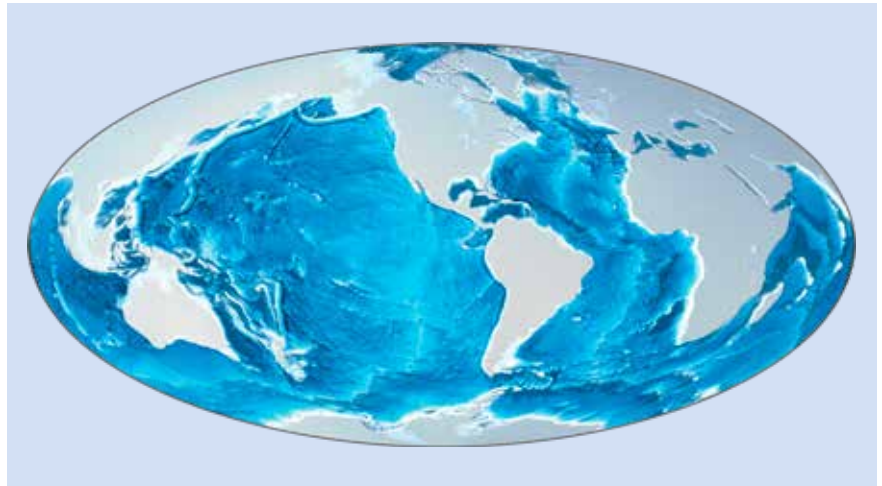
die Umweltbedingungen vergangener Zeiten aufzeichnet.

Der Cluster hat das Ziel, ein neues Kapitel der Ozeanbodenforschung aufzuschlagen und die Austauschprozesse an dieser bedeutenden Grenzfläche und deren Rolle im Erdsystem mengenmäßig zu erforschen. Dafür arbeiten die Forschenden im Cluster eng und interdisziplinär mit Einrichtungen in der Region zusammen: dem Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und

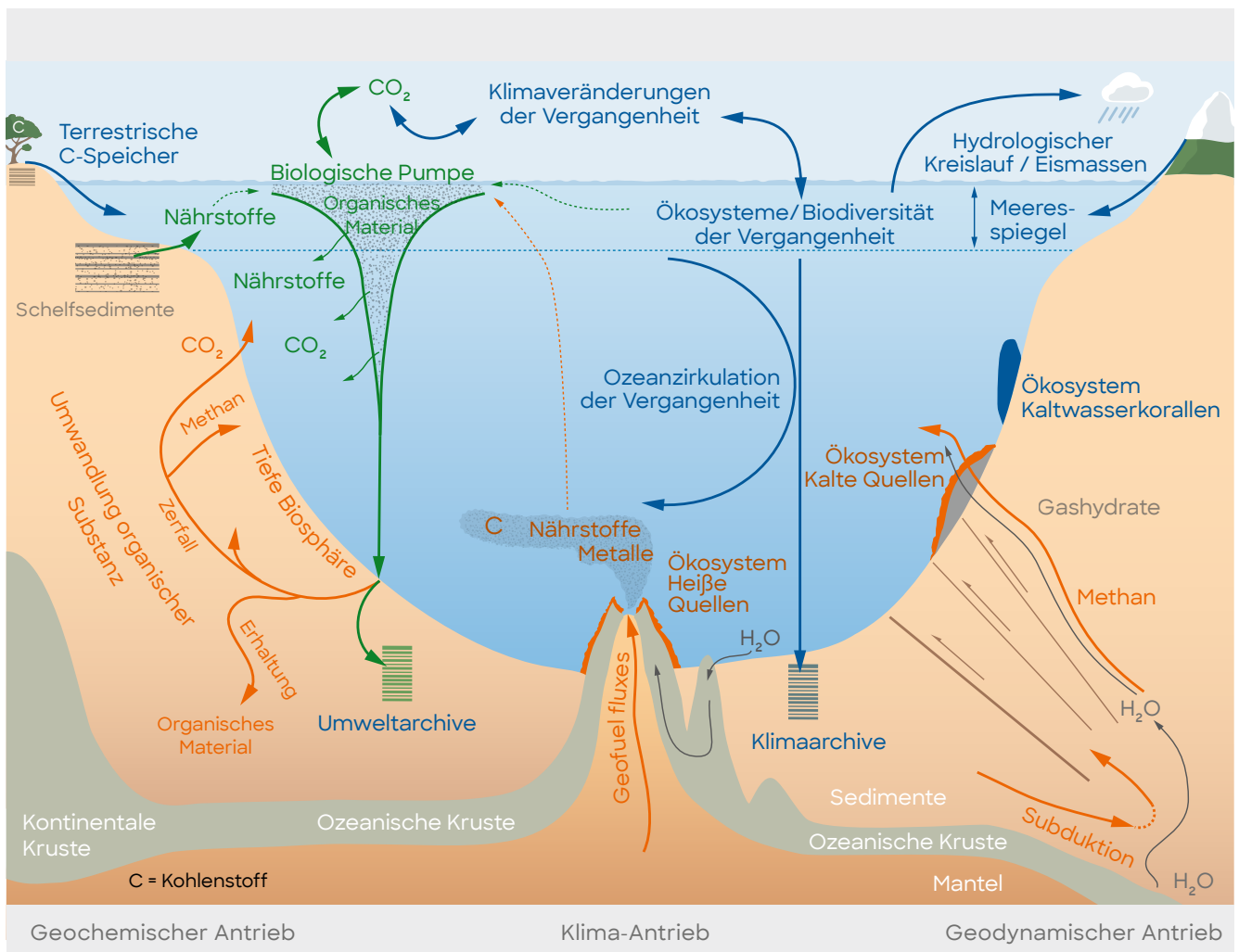
Meeresforschung in Bremerhaven, dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen, mit Senckenberg am Meer in Wilhelmshaven, dem Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung in Bremen sowie mit der Universität Oldenburg und der Jacobs University in Bremen. Der Exzellenzcluster ist unter dem Dach des Forschungszentrums MARUM an der Universität Bremen angesiedelt.

Für die Forschung wird die einzigartige Flotte von Geräten eingesetzt, die am MARUM betrieben wird: Tauchroboter, Bohrgeräte und autonome Unterwasserfahrzeuge. Sie werden dazu genutzt, den Ozean beobachten und beproben zu können. Um die neuen wissenschaftlichen Aufgaben anzugehen, werden nicht nur neue Technologien, sondern auch neue analytische Methoden und Modelle entwickelt.

Der Ozeanboden macht 71 Prozent der festen Oberfläche der Erde aus und befindet sich im Schnitt 3.700 Meter unter der Meeresoberfläche. Er ist schwer zugänglich, seine Untersuchung erfordert Schiffsexpeditionen und den Einsatz hochspezialisierter Unterwassertechnologien.



Schlüsselprozesse, die den Ozeanboden betreffen und im Rahmen des Clusters untersucht werden





links oben: Gasaustritt an Kalter Quelle; rechts oben: Sandrippel in der Tiefsee  
unten: Chemosynthetische Symbiose



# 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, das sie in allen Bereichen ihrer wissenschaftlichen Arbeit und während aller Stationen ihrer Karriere unterstützt.

Promovierende haben die Möglichkeit, Mitglied der Bremer Internationalen Graduiertenschule für Meereswissenschaften (GLOMAR) zu werden, die am MARUM angesiedelt ist. Mit der Unterstützung durch ein betreuendes Team aus erfahrenen Wissenschaftler:innen bietet GLOMAR Promovierenden optimale Bedingungen und die für die weitere Karriere

so wichtigen internationalen und interdisziplinären Netzwerke.

Fachlich bietet das MARUM seinen Nachwuchswissenschaftler:innen eine Vielzahl an Einführungs- und Spezialkursen an, die auf die jeweilige wissenschaftliche Disziplin abgestimmt sind, interdisziplinäre Aspekte in den Mittelpunkt stellen oder dazu beitragen, persönliche Fähigkeiten weiterzuentwickeln. Dabei arbeiten wir sehr eng mit den entsprechenden Programmen unserer universitären und außeruniversitären Partnerinstitute zusammen. So resultiert ein regional abgestimmtes und thematisch sehr breit gefächertes Fortbildungsprogramm für Nachwuchswissenschaftler:innen.



Erfolgsrate:  
> 81%



Dauer der Promotions-  
phase: 3,7 Jahre



Geschlechterverteilung:  
63% : 37%



Internationale:  
48%



> 60% der Alumni  
bleiben in Forschung

Mit Angeboten zum individuellen Mentoring, zur gegenseitigen Unterstützung, zum Austausch von Best-Practice Ansätzen in der Betreuung von Studierenden und Promovierenden und zur Karriereberatung werden besonders Postdocs auf dem Weg in die akademische Unabhängigkeit unterstützt. Da viele Nachwuchswissenschaftler:innen eine außerakademische Karriere anstreben, stehen bei vielen Angeboten entsprechende Berufsperspektiven im Fokus. Hierbei binden wir unsere stetig wachsende Gruppe von MARUM-Alumni ein.

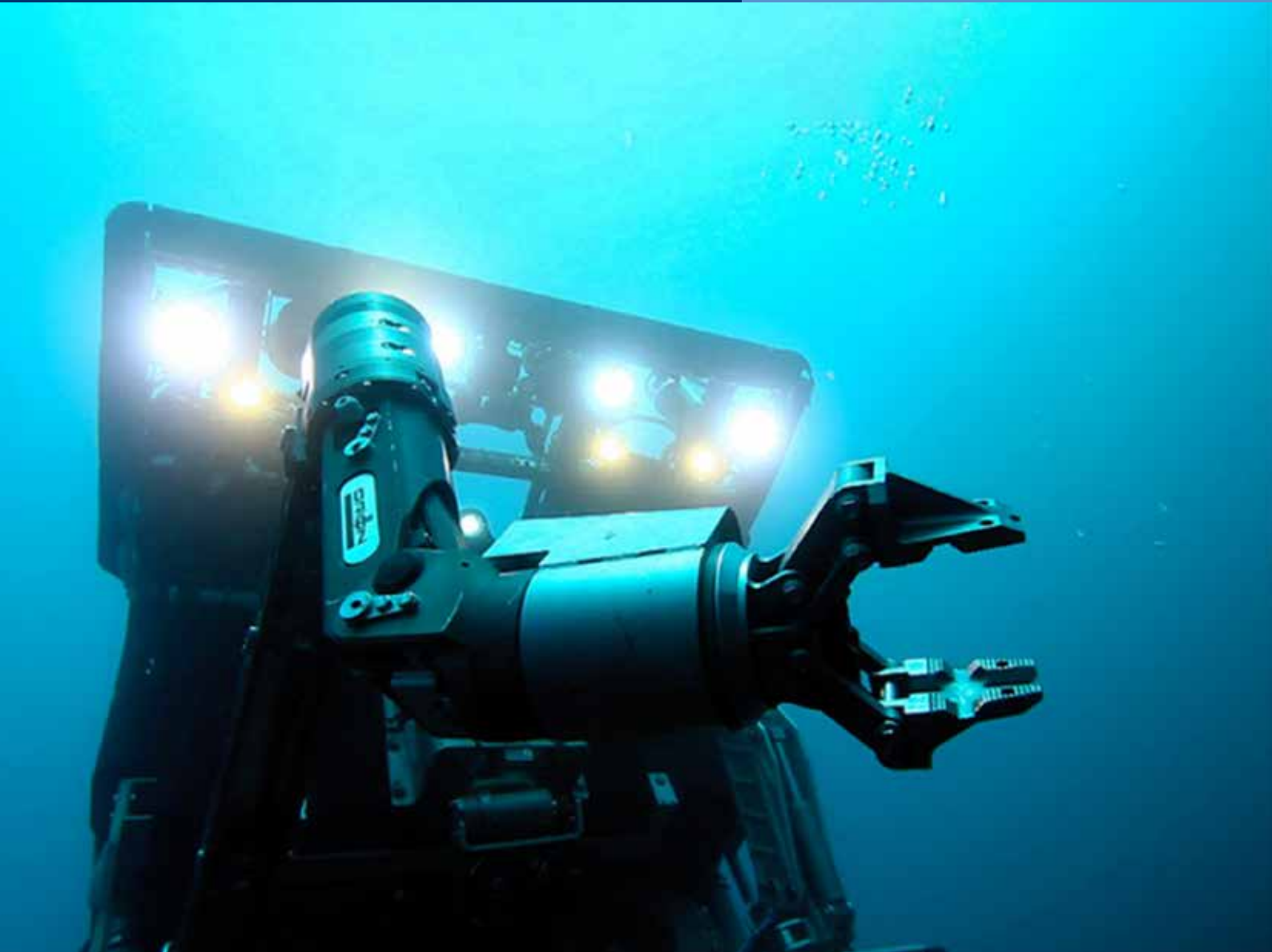
Obwohl in den Graduiertenprogrammen Doktorandinnen und Doktoranden zahlenmäßig etwa gleich stark vertreten sind, nimmt der Frauenanteil in weiteren Karrierestufen ab. Um dieses Defizit nachhaltig zu verringern und Wissenschaftlerinnen darin zu unterstützen, ihren akademischen Weg erfolgreich weiter zu gehen, bietet das MARUM in Zusammenarbeit mit dem Universitätsprogramm ‚navigare‘ seit vielen Jahren erfolgreich ein Mentoringprogramm für Nachwuchswissenschaftlerinnen an.

Durch ihre Beteiligung in allen Entscheidungsgremien im MARUM gewinnen die Nachwuchswissenschaftler:innen nicht nur Einblicke in die akademische Selbstverwaltung, sie bringen sich auch aktiv in die Forschungsplanung des MARUM und in die Weiterentwicklung der Ausbildungskonzepte für den wissenschaftlichen Nachwuchs ein.

Zusammen mit einer einzigartigen Infrastruktur ist das MARUM auch ein gefragter Partner für internationale Kooperationen in der Nachwuchsförderung. Hierzu gehört das internationale Graduiertenkolleg ArcTrain, in dem gegenwärtig 12 deutsche und 21 kanadische Promovierende klimabedingte Umweltveränderungen in der Arktis untersuchen.



MARUM bietet Promovierenden und Postdocs ideale Bedingungen und ein inspirierendes Umfeld.



# Alles im Griff

## Meeresforschungstechnologien am MARUM

Für die wissenschaftliche Untersuchung des Ozeanbodens sind hochspezialisierte Technologien von entscheidender Bedeutung, die das MARUM seit mehr als 25 Jahren einsetzt. Beobachtungen des Ozeanbodens und Messungen werden direkt vor Ort mit ferngesteuerten und autonomen Unterwasserfahrzeugen, Bohrgeräten und anderen Instrumenten durchgeführt, die von Forschungsschiffen aus eingesetzt werden. Es gibt weltweit nur wenige Institutionen, die über eine Flotte moderner Unterwasserinstrumente für die Ozeanbodenforschung verfügen, die mit denen des MARUM vergleichbar ist. Es nutzt auf dem Markt verfügbare Geräte, entwickelt aber auch selbst neue Technologien. Das MARUM war 2003 die erste Einrichtung in Deutschland, die einen kabelgeführten und somit vom Forschungsschiff ferngesteuerten Tauchroboter („Remotely Operated Vehicle“, ROV) für die Tiefseeforschung betrieben hat. Eingebaute hochauflösende Kameras dokumentieren die Umgebung in

sehr hoher Qualität. Videokontrolliert nehmen die Greifarme der Tauchroboter Proben oder setzen Messgeräte für Experimente am Ozeanboden auf optimalen Positionen ab. Heute umfassen die Unterwassersysteme zwei ROVs für 4.000 und 2.000 Meter Wassertiefe und ein autonomes Unterwasserfahrzeug (AUV) für den Einsatz bis zu 5.000 Meter Tiefe. Darüber hinaus hat das MARUM mit der Entwicklung von ferngesteuerten Meeresbodenbohrgeräten (MeBo70 und MeBo200) einen neuen Weg zur Erforschung des Meeresbodens beschritten. Das MeBo200-System kann bis in eine Wassertiefe von 2.700 Meter eingesetzt werden und 200 Meter tief in den Meeresboden bohren. Die seegehenden Großgeräte des MARUM werden von hochspezialisierten Techniker:innen und Ingenieur:innen betrieben und weiterentwickelt und auch für andere Arbeitsgruppen in Deutschland und international zur Verfügung gestellt.

linke Seite von oben nach unten, und v.l.n.r.:

Das am MARUM stationierte ROV (Remotely Operated Vehicle) MARUM-QUEST taucht ab

Mit einem speziell entwickelten Absatzgestell wird das 10 Tonnen schwere Meeresbodenbohrgerät MARUM-MeBo70 über das Heck des Forschungsschiffs METEOR aus eingesetzt.

Zwei Piloten steuern den Tauchroboter von in einem Kontrollcontainer an Bord des Forschungsschiffs aus.

MARUM-QUEST wird nach einem Tauchgang an Bord geholt.

Ein Wave Glider im Einsatz

Der Tauchroboter MARUM-Squid auf dem Arbeitsdeck von FS METEOR

Mit dem am MARUM entwickelten Multi-sensor-Benthoschlitten NERIDIS werden die oberen 50 Zentimeter des Meeresbodens elektromagnetisch kartiert.

Unterwassersysteme mit Einsatz Tiefen bis zu

# 5.000 m



# Orientierung im Datenmeer

## Das Daten-Informationssystem PANGAEA

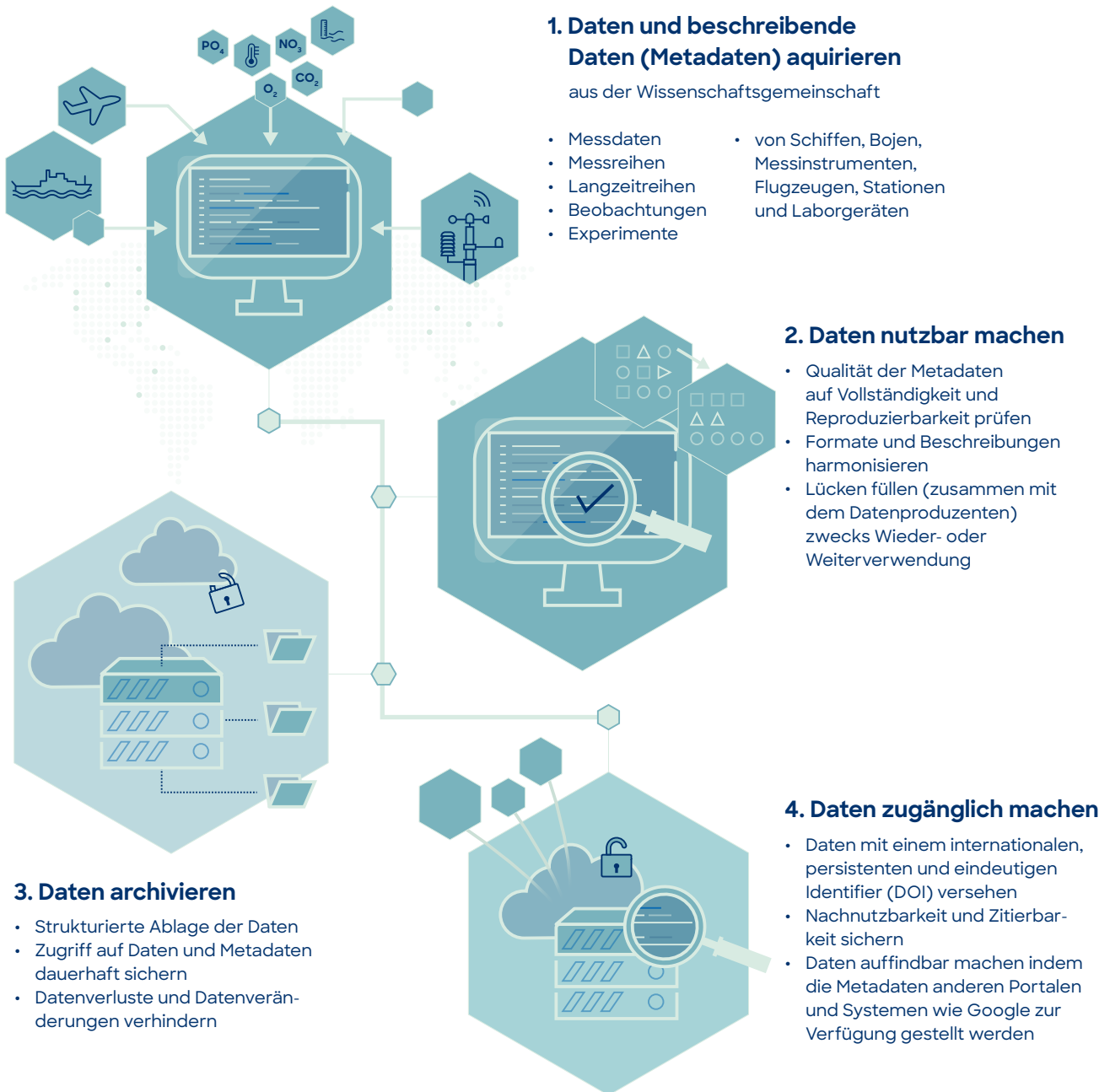
Das MARUM betreibt gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) ein Informationssystem, in dem Daten aus der Erdsystem- und Umweltforschung archiviert und publiziert werden. Da das System die ganzheitliche Betrachtungsweise der Erde zum Ziel hat, ist es nach dem Superkontinent PANGAEA benannt, in dem vor 200 Millionen Jahren alle Kontinente vereint waren. PANGAEA gewährleistet seit über 25 Jahren der Wissenschaft,

auf jegliche bei der Erforschung unserer Erde gewonnenen Daten langfristig und zuverlässig zuzugreifen. Diese zertifizierte elektronische Bibliothek adaptiert und entwickelt internationale Standards für Datenpublikationen und fügt sich harmonisch in die sich weltweit entwickelnden Forschungsinfrastrukturen ein. Es integriert Daten in den etablierten Prozess der wissenschaftlichen Veröffentlichung und unterstützt die Nutzer:innen der Datenarchivierung. Diese Daten

unterliegen, ähnlich wie wissenschaftliche Aufsätze in Fachzeitschriften, einem internen Begutachtungs-Prozess und sind durch andere Wissenschaftler:innen in deren eigenen Arbeiten zitierbar. PANGAEA kann alle denkbaren Messgrößen aus allen Disziplinen der Erd- und Umweltwissenschaften speichern – von der oberen Atmosphäre bis in die untersten Schichten des Meeresbodens.



# 400.000 Datensätze



Die Grafik veranschaulicht den Arbeitsablauf in PANGAEA von der Datenerhebung bis zur Verfügungstellung der Daten im Netz.

#### Aufgaben darüber hinaus

- Schulung von Wissenschaftler:innen im Bereich Forschungsdatenmanagement
- aktive Unterstützung und Beratung von Wissenschaftler:innen beim Forschungsdatenmanagement in Institutionen und in Projekten
- Standards (weiter-)entwickeln zum Austausch (Interoperabilität) und Integration von Daten in Kooperation mit nationalen und internationalen Initiativen

#### Projektentwicklung und Management

- Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)
- Gesellschaft für Biologische Daten (GFBio) e.V.
- Deutsches Netzwerk für Bioinformatik Infrastruktur (de.NBI)



# Das Unsichtbare erfassen

## Laborinfrastruktur am MARUM

Das MARUM verfügt über ein großes Spektrum modernster analytischer Instrumente. Diese ermöglichen es, wichtige Umweltinformationen zu entschlüsseln, die in organischen Molekülen, Mineralien und den Isotopenzusammensetzungen von organischen und anorganischen Stoffen enthalten sind. Analysiert werden unter anderem kalkige Fossilien, Gesteine und Sedimente sowie wässrige Proben aus dem Ozean und dem Porenraum von Sedimenten. Diese Analysen ermöglichen Einblicke in die Herkunft und Geschichte der Gesteine, die Umwandlungsprozesse organischen Materials und der daran beteiligten mikrobiellen Gemeinschaften, sowie die Veränderungen von Umweltbedingungen und Ökosystemen in der Erdgeschichte. Die Infrastruktur für chemische Untersuchungen umfasst mehrere leistungsstarke Hauptinstrumente und spezialisierte Laboratorien:

- Analyse komplexer Molekülmischungen in marinen Umweltproben, wie beispielsweise die gelösten organischen Bestandteile im Meer, durch ultra-hochauflösende Massenspektrometrie
- umfassende Analyse komplexer mikrobieller Lipide in Meeres- und Sedimentproben
- mehrere spezialisierte Labors für hochpräzise Isotopenanalysen von leichten bis schweren Elementen
- ultrahochauflösende zeitliche Aufzeichnungen von Biomarkern in marinen Sedimenten zur Klimarekonstruktion
- geochemische Kartierung von Elementverteilungen im Mikrometerbereich in Gesteinen und Sedimenten

Um zu verstehen, wie Umweltbedingungen Isotopenverhältnisse und Stoffkreisläufe beeinflussen, betreibt das MARUM außerdem Genetik- und Kulturlabore für marine Algen. Dadurch können die Diversität dieser Organismen und ihr Wachstum in Abhängigkeit von Klimaveränderungen unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden.



Die Research Faculty MARUM bietet Promovierenden und Post-docs mit ihrer Infrastruktur sowie der regionalen und internationalen Vernetzung optimale Bedingungen für ihre Forschung.



# Über 158 Kilometer Meeresboden

## Das Bremer Bohrkernlager 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 23 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 zweihundertfünftausend Bohrkernabschnitte: aus dem Atlantik, dem Arktischen Ozean, dem Mittelmeer, dem Schwarzen Meer und der Ostsee, die seit 1968 erbohrt wurden.



250.000 Kunststoffbehälter in den fünfeinhalb Meter hohen Regalen des Bremer Bohrkernlagers enthalten die für die Wissenschaft so wertvollen Bohrkern, Früchte einer mehr als 50-jährigen internationalen Expeditionstätigkeit. Die Kernsektionen sind jeweils eineinhalb Meter lang und haben einen Durchmesser von knapp sieben Zentimetern.

Jedes Jahr kommen ungefähr 200 Wissenschaftler:innen in das Bremer IODP Kernlager, um das einzigartige Probenmaterial zu untersuchen. Andere lassen sich die gewünschten Proben zusenden; jährlich werden etwa 50.000 Proben verschickt. Deutschland ist mit 14 weiteren Staaten Mitglied des europäischen Bohrkonsortiums ECORD. Es führt im Rahmen des IODP Expeditionen in Seegebieten durch, in denen die großen IODP-Bohrschiffe nicht arbeiten können. Dazu zählen eisbedeckte Gewässer des Nordpolarmeeres sowie flache Küsten- oder Binnenmeere. Für die Expeditionen auf speziellen Schiffen oder Bohrplattformen stellt MARUM mobile Laborcontainer für mikroskopische Untersuchungen, geochemische Messungen oder mikrobiologische Beprobungen bereit.

Jedes Jahr kommen

# 200

Wissenschaftler:innen  
in das Bremer Bohrkernlager



Paläoklimaforschung am MARUM

# Aus der Vergangenheit für die Zukunft lernen

**Der Klimawandel wird uns zunehmend vor enorme Herausforderungen stellen. Um die künftige Entwicklung abschätzen zu können, ist ein grundlegendes Verständnis des komplexen Klimasystems der Erde essentiell. Forschenden hilft dabei der Blick in die Vergangenheit. Die Rekonstruktion des Paläoklimas ermöglicht es zu verstehen, wie dieses System auf Veränderungen reagiert. Diese Erkenntnisse fließen auch in Modellrechnungen für verschiedene Zukunftsszenarien ein. Am MARUM forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen auf diesem Gebiet, einer von Ihnen ist Professor Heiko Pälike, Leiter des Fachgebiets Paläozeanographie.**

## Wie kann ein Blick in die Vergangenheit zu einem besseren Verständnis des Klimasystems der Erde beitragen?

Im Laufe der Erdgeschichte hat sich das Klima immer wieder verändert, wobei die Änderungen – durch den Einfluss des Menschen – wesentlich schneller ablaufen, als das bisher in der Erdgeschichte der Fall war. Ein wichtiger Teil unserer Forschung ist zu erfassen, wie das Klimasystem solchen Wechseln, zum Beispiel bei sich ändernden Treibhausgaskonzentrationen, begegnet ist. Klima-Archive aus der geologischen Vergangenheit helfen zu bestimmen, wie sich Klimabedingungen künftig ändern könnten. Das Klimasystem der Erde ist dabei sehr fein ausbalanciert, aber im Moment drehen wir sehr schnell an einigen Stellschrauben, und Änderungen sind ohne menschlichen Einfluss nicht zu erklären. Zum Beispiel führt der extrem schnelle Eintrag von Kohlendioxid in die Atmosphäre nicht nur zur Erwärmung, sondern erhöht auch die Löslichkeit von Kalk im Ozean.

Dies bereitet einigen Meeresbewohnern in der Vergangenheit Anpassungsschwierigkeiten. Es ist unklar, inwieweit und wie schnell sich tierische und pflanzliche Lebensräume als Grundlage unserer Umwelt an ein sich so schnell änderndes Klimasystem in der Zukunft anpassen können. Viele Parameter in den Klimamodellen müssen immer noch anhand von Beobachtungen und Messungen kalibriert werden. Dies ist nur mit Klimaarchiven aus der geologischen Vergangenheit möglich.

## Wie untersuchen Forschende vergangene Klimabedingungen, die zum Teil Millionen von Jahren zurückliegen?

Sedimentablagerungen enthalten Mikrofossilien und andere messbare Eigenschaften, die im idealen Fall die Klimageschichte wie ein Archiv aufzeichnen. Unsere Forschung besteht auch darin, dieses Klimaarchiv zu entziffern. Dabei entsprechen ein bis zwei Zentimeter Ablagerung am Ozeanboden in der Tiefsee etwa

1.000 Jahren Zeit. Konkret arbeiten wir mit den fossilen Schalen von Organismen, deren Eigenschaften in ihrer Entstehungszeit durch unterschiedliche Umweltfaktoren beeinflusst wurden. Ein Beispiel ist die Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen, die für vergangene Zeiten rekonstruiert werden kann, indem wir die Schalen mariner Lebewesen untersuchen, die in den entsprechenden Tiefen gelebt haben. Das Erdsystem reagiert empfindlich auf Änderungen im Treibhausgasbudget, welches bestimmt, wie stark sich die Erde erwärmt.

### Gibt es ein aussagekräftiges Beispiel für eine plötzliche Freisetzung von Treibhausgasen in der Erdgeschichte – und was weiß die Forschung darüber?

Durch eine nach geologischen Maßstäben plötzliche Erwärmung vor etwa 56 Millionen Jahren haben sich Flora und Fauna – besonders auch die des Ozeans – sehr stark verändert. Während des Eozäns, vor 56 bis 34 Millionen Jahren, war die

Tiefenwassertemperatur etwa zehn Grad Celsius höher als heute. Die Forschenden stimmen darin überein, dass der Temperaturanstieg zu Beginn des Eozäns durch die Freisetzung großer Mengen von Kohlenstoff aus dem Ozeanboden verursacht wurde. Wegen der Analogie zur heutigen Steigerung des Treibhauseffekts beschäftigen sich viele wissenschaftliche Studien mit diesem Ereignis aus der Vergangenheit, um unsere heutige Situation – und wie sie sich auf die Umwelt auswirkt – besser zu verstehen. Die durch verschiedene Methoden geschätzte Gesamtmenge an freigesetztem Kohlenstoff vor 56 Millionen Jahren entspricht etwa der Menge, die mit dem Kohlendioxid seit Beginn der Industrialisierung freigesetzt wurde. Also: Wir haben diese vergleichbare Menge in sehr viel kürzerer Zeit, das heißt zehn bis 100 Mal schneller erreicht. Die Erwärmung war zudem mit tiefgreifenden Effekten auf physikalische, geochemische und biologische Prozesse verbunden. Dabei kam es zu verringertem Temperaturgefälle zwischen dem



„Wir arbeiten daran, Klimarechenmodelle noch weiter zu verbessern“

Prof. Dr. Heiko Pälike  
Fachgebietsleiter  
Paläozeanographie

Äquator und den Polen, Abschwächung im Windsystem, Änderungen in der Ozeanzirkulation, herabgesetzter Durchlüftung, Ozeanversauerung und geschmärlerten Nährstoffen im Ozean.

### Kann aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen die damalige mit der heutigen Situation verglichen werden?

Natürlich war in der Vergangenheit die Verteilung der Kontinente und die Ozeanzirkulation

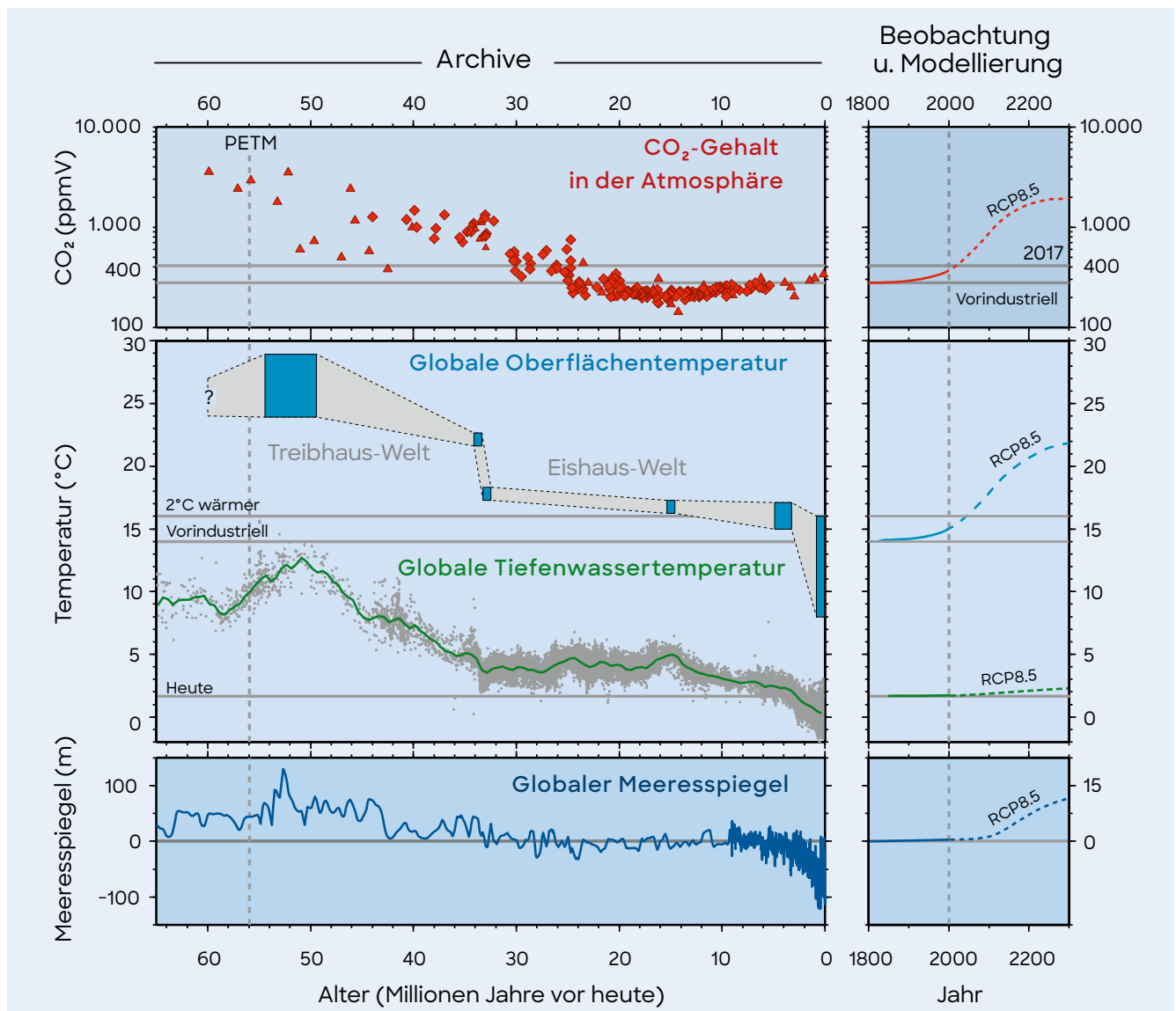
eine andere. Allerdings basieren viele der relevanten Prozesse auf physikalischen und chemischen Grundlagen, die für heute und damals gleichermaßen gelten. Die Verteilung und Größe von Eisschilden, zum Beispiel in der Arktis und Antarktis, waren anders, daher lassen sich keine ganz genauen Vorhersagen nur auf Grund der geologischen Beobachtungen treffen. Aber im Prinzip erkennen wir recht gut, wie sich die Ereignisse von damals nutzen lassen, um unsere Einschätzung der klimatischen Zukunft zu verbessern.

Dabei werden die Forschungsergebnisse zur geologischen Vergangenheit mit Klimamodellen simuliert, um wichtige Prozesse in unserem Klimasystem zu verstehen und mögliche zukünftige Klimaszenarien zu berechnen. Ein bisher wenig erforschter Aspekt ist, wie Lebewesen auf Klimaveränderungen reagieren. Wir haben einen guten Überblick, welche Organismen damals im Meer gelebt haben. Aber welche Funktion sie im Ökosystem innehatten und wie schnell sich Lebewesen auf veränderte Umweltbedingungen

einstellen, das ist eines unserer Forschungsziele.

Außerdem können im Klimasystem Situationen erreicht werden, wo plötzlich unumkehrbare Veränderungen eintreten, die sich dann durch Rückkopplungsmechanismen noch zusätzlich verstärken. Zum Beispiel führt Erwärmung zu Eisschmelze, diese Schmelze zu einer niedrigeren Albedo, durch die sich die Erde weiter erwärmt. Dadurch wiederum wird verstärkt das Treibhausgas Methan freigesetzt, was die anfängliche

Vereinfachte Darstellung der Rekonstruktion verschiedener Klimaindikatoren der letzten 66 Millionen Jahre und Vergleich mit einem Zukunftsszenario. PETM: Paläozän/Eozän Temperaturmaximum





Erwärmung noch weiter steigert. Dies nennt man eine positive Rückkopplung. Im Erdsystem gibt es aber auch einige negative Rückkopplungen. Zum Beispiel wird bei höheren Temperaturen und Kohlendioxidwerten die natürliche Verwitterung von Gesteinen verstärkt, was dazu führt, dass mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre und dem Ozean entfernt wird und sich als Kalk in der Tiefsee ablagert. Dieser Prozess dauert allerdings über eine Million Jahre.

### Was sind Ihre Forschungsschwerpunkte für die kommenden zwei Jahre?

Ein ganz konkretes Forschungsziel ist, die Erdsystem-Sensitivität viel besser zu verstehen: Wieviel Erwärmung werden wir geografisch verteilt erreichen, pro freigesetzter Menge Kohlendioxid? Dieser Parameter wurde in den existierenden Modellen bisher als Konstante eingesetzt, er ist aber abhängig von den jeweiligen Umweltbedingungen. Um diese Einflüsse abzuschätzen, sind geologische Beobachtungen und Studien von Sedimentkernen mit verbesserten Messmethoden unabdinglich. Nur so können wir die Modelle für die künftige Entwicklung des Klimas noch weiter verbessern.

Rechtes Bild: Diese 1,5 Meter lange Kernsektion dokumentiert den Beginn der abrupten Erwärmung an der Grenze vom Paläozän zum Eozän vor etwa 56 Millionen Jahren. Das Paläozän / Eozän Temperaturmaximum (PETM) ist für die Klimaforschung wegen der Analogie zum heutigen Anstieg des Treibhauseffekts von besonderem Interesse. Die plötzliche Freisetzung großer Mengen Kohlenstoffs führte damals nicht nur zu einem schnellen Temperaturanstieg sondern u.a. auch zu Ozeanversauerung. Die stärkere Lösung des Karbonats, das hier große Teile des Segments hell färbt, führt zu dem abrupten Farbwechsel mit zunächst fast reinem, braunem Ton. Gewonnen wurde der Bohrkern während der Expedition 208 mit dem IODP-Bohrschiff JOIDES RESOLUTION auf dem Walvischrückens vor Namibia. Die Bohrlokation liegt in einer Wassertiefe von 4.760 Metern und dieses Kernsegment stammt aus einer Bohrtiefe von etwa 140 Metern im Meeresboden.

jünger



Beginn des PETM →



älter

Entnahme eines Sedimentkernrohrs an Bord von RV JOIDES RESOLUTION während der Expedition 320 des International Ocean Drilling Program (IODP).





Ein wichtiges Element des Trainingsprogramms sind jährlich stattfindende thematische Workshops. Im Rahmen des zweiten Treffens wurden im Zürichsee verschiedene Rutschungen mit geophysikalischen und geotechnischen Methoden vermessen und Sedimentkerne genommen.

**Forschung an submarinen Hangrutschungen mit europäischer Förderung**

# Interdisziplinäre Ausbildung im europäischen Netzwerk SLATE

Erdrutsche gibt es nicht nur an Land, sondern auch in marinen Umgebungen, die aus weichen Sedimenten bestehen. Dazu gehören zum Beispiel die Kontinentalränder und -hänge, aber auch Fjorde, Flussdeltas, vulkanische Inseln oder Meeresrücken. Unter Wasser können die Erdrutsche allerdings um ein Vielfaches größer ausfallen als an Land. Wenn die Erde unter der Meeresoberfläche in Bewegung gerät, kann sich das auf Tausende von Quadratkilometern am Ozeanboden auswirken. Mit den Ursachen und Folgen solcher Ereignisse befasst sich das von der Europäischen

Kommission geförderte Internationale Trainingsnetzwerk SLATE, das am MARUM koordiniert wird.

SLATE – das steht für Submarine LANDslides and Their impact on European continental margins. Das Netzwerk gibt es seit 2017, es wird im Rahmen des Marie-Sklódowska-Curie-Programms gefördert. Ein Hangrutsch kann durch die verlagerte Masse und freigesetzte Energie zu Tsunamis führen, die nicht nur Küstenregionen Europas, sondern auch Infrastruktur am, auf und unter Wasser bedrohen. Dazu

gehören zum Beispiel Förderpipelines, aber auch Kabel für die Kommunikation.

Obwohl submarine Erdbeben seit Jahrzehnten intensiv erforscht werden, sind ihre Ursachen, Mechanismen und Folgen noch nicht ganz verstanden. Welche Schlüsselfaktoren begünstigen die submarinen Erdbeben? Wie bewegt sich das Material weiter, nachdem es abgerutscht ist? Und wie können daraus resultierende Georisiken wie Tsunamis vorhergesagt werden? Mit diesen Fragen beschäftigen sich die Forscherinnen und Forscher im europäischen Ausbildungsnetzwerk. Ziel ist es, mit mehreren Disziplinen und Partnern ein besseres Verständnis von Prozessen vor, während und nach Erdbeben zu gewinnen. Dazu gehört auch, die Parameter zu untersuchen, die submarine Erdbeben steuern und begünstigen können.

Ein Team von führenden Forschenden sowie Expertinnen und Experten aus renommierten akademischen sowie außeruniversitären Einrichtungen bringt ein umfassendes und interdisziplinäres Fachwissen ein. Diese gebündelte Expertise umfasst Marine Geophysik, Sedimentologie, Bauingenieurwesen, Geotechnik, Offshore-Technologie, Tsunami-Forschung und Gefährdungsbeurteilung. Eine Kohorte von 15 Nachwuchsforschenden wird über mehrere Disziplinen hinweg ausgebildet und betreut.

„Zusammen mit ergänzenden Kursen, Exkursionen und gemeinsamen jährlichen Workshops fördert dieser integrative Ansatz eine neue Generation hochmotivierter und hervorragend qualifizierter Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die sich den Herausforderungen im Zusammenhang mit erdbebenbedingten Gefahren stellen“, bewertet Prof. Katrin Huhn, Koordinatorin des Netzwerks, die Ausbildung.

Ihre Forschungsprojekte basieren auf modernen Methoden und Datensätzen. Die Daten stammen aus umfassenden, hochauflösenden sowie wiederholten Untersuchungen am Ozeanboden, direkter Überwachung, hochmodernen Labor- und *in-situ*-Messungen sowie neuesten Modellierungs- und Prozesssimulationsansätzen. Die Nachwuchsforschenden untersuchen Fall- und allgemeine Studien und entwickeln neue Modelle. „So stellt SLATE prozessorientiertes Wissen und neue Expertise für das Abschätzen von Gefahren bereit – besonders mit Blick auf die Kontrollfaktoren sowie die Dynamik von Unterwasserebeben“, erklärt Katrin Huhn. Dabei werde auch berücksichtigt, wie sich



„Unser Ziel ist es, submarine Rutschungen besser zu verstehen, um die damit verbundenen Georisiken minimieren zu können.“

Prof. Dr. Katrin Huhn-Frehers  
Fachgebietsleiterin Modellierung  
von Sedimentationsprozessen

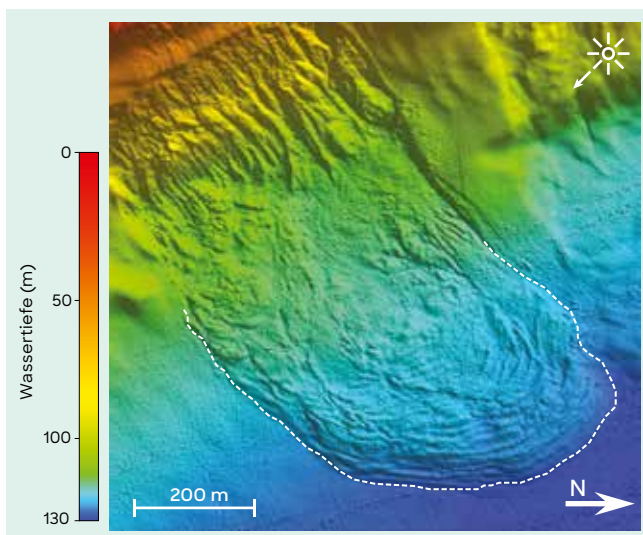
Erdbeben gesellschaftlich und wirtschaftlich auswirken können.

Am MARUM laufen aktuell drei von insgesamt 15 SLATE-Projekten. In einer laborgestützten, generischen Studie versucht Ting-Wei Wu zu quantifizieren, wie Erdbeben sich auf die Stabilität von Sedimentablagerungen am Meereshang auswirken. Dafür simuliert sie seismische Erschütterungen, also Erdbeben auf Sedimentproben, die sich in ihrer Art und mineralogischen Zusammensetzung unterscheiden.

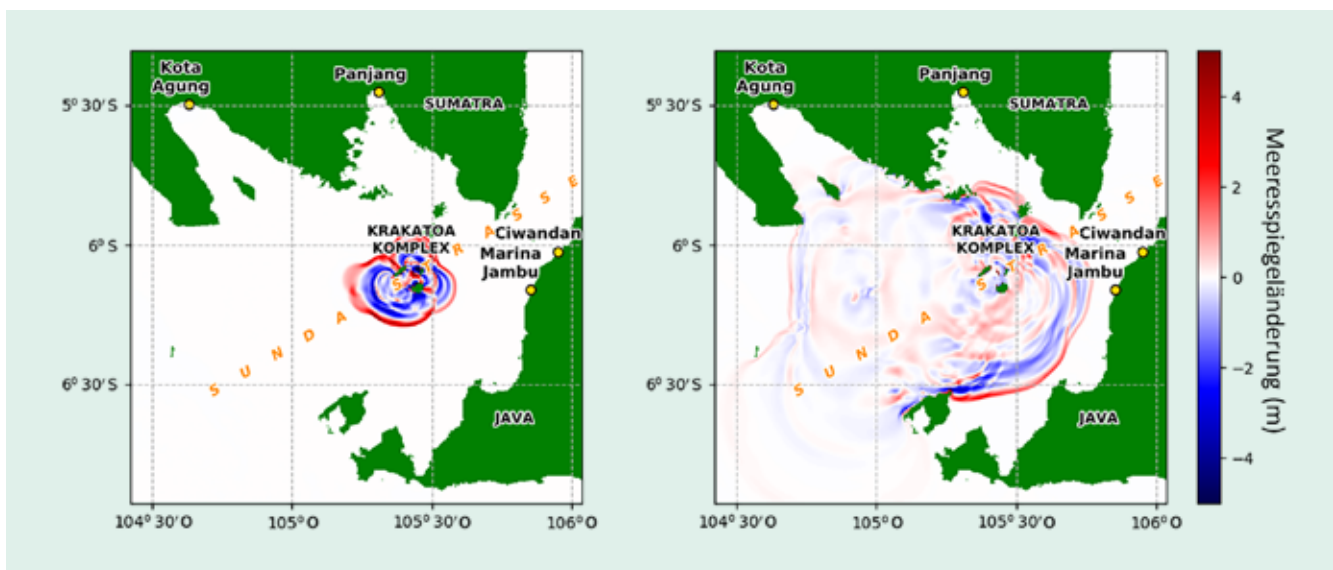
Ricarda Gatter erforscht in ihrer Doktorarbeit die Bedeutung von Schichten, die submarine Hangrutschungen einleiten. Dafür nutzt sie Makro- und Mikroanalysen von Bohrkernmaterial aus Regionen, in denen es in den vergangenen Jahrtausenden Erdbeben gegeben hat. Ihr Ziel ist es, ein neues Verständnis über den Zusammenhang zwischen Struktur und physikalischen Eigenschaften des Ozeanbodens, der ins Rutschen gerät, herzustellen und so zu bestimmen, was genau unmittelbar vor einem Erdbeben geschieht.

Emiel Haseffras wendet moderne Modellierungstechniken auf der Grundlage von geophysikalischen 3D-Daten an, um ein besseres Verständnis der Rolle von aufsteigenden Gasen, ihrer Zersetzung und der daraus resultierenden Migration von freiem Gas als potentiellm Auslöser für submarine Erdbeben zu erreichen.

Zu den Partnereinrichtungen von SLATE gehören neben dem MARUM auch NGI Oslo (Norwegen), NOC Southampton (Großbritannien), Ifremer Brest (Frankreich), Igeotest Figueres (Spanien), CISC Barcelona (Spanien), CNR Ismar Bologna (Italien), OGS Triest (Italien) sowie die Universitäten in Durham (Großbritannien), Innsbruck (Österreich) und Kiel.



Neben der Untersuchung großer Rutschungskörper im Ozean forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in SLATE auch an kleineren Rutschmassen in Alpenseen. Die in der bathymetrischen Karte gezeigte Rutschung wurde 1918 im Zürichsee im Bereich von Oberrieden ausgelöst. Aufgrund vieler Analogien, etwa bei den auslösenden Prozessen, dienen Seen als ein vergleichsweise leicht zugängliches „Ozeanlabor“.



So wie Rutschungsereignisse selbst stellen auch die dabei ausgelösten Tsunami eine große Naturgefahr dar. Mit den in SLATE gewonnenen neuen, hochauflösenden und multidisziplinären Datensätzen werden Modelle besser parametrisiert, um Wellenhöhen genauer zu simulieren und damit die Tsunami-Gefahr besser abschätzen zu können. Das Beispiel zeigt die Wellenausbreitung 600 (links) und 1.500 Sekunden (rechts) nach dem Abrutschen des Krakatao im Jahr 2018.



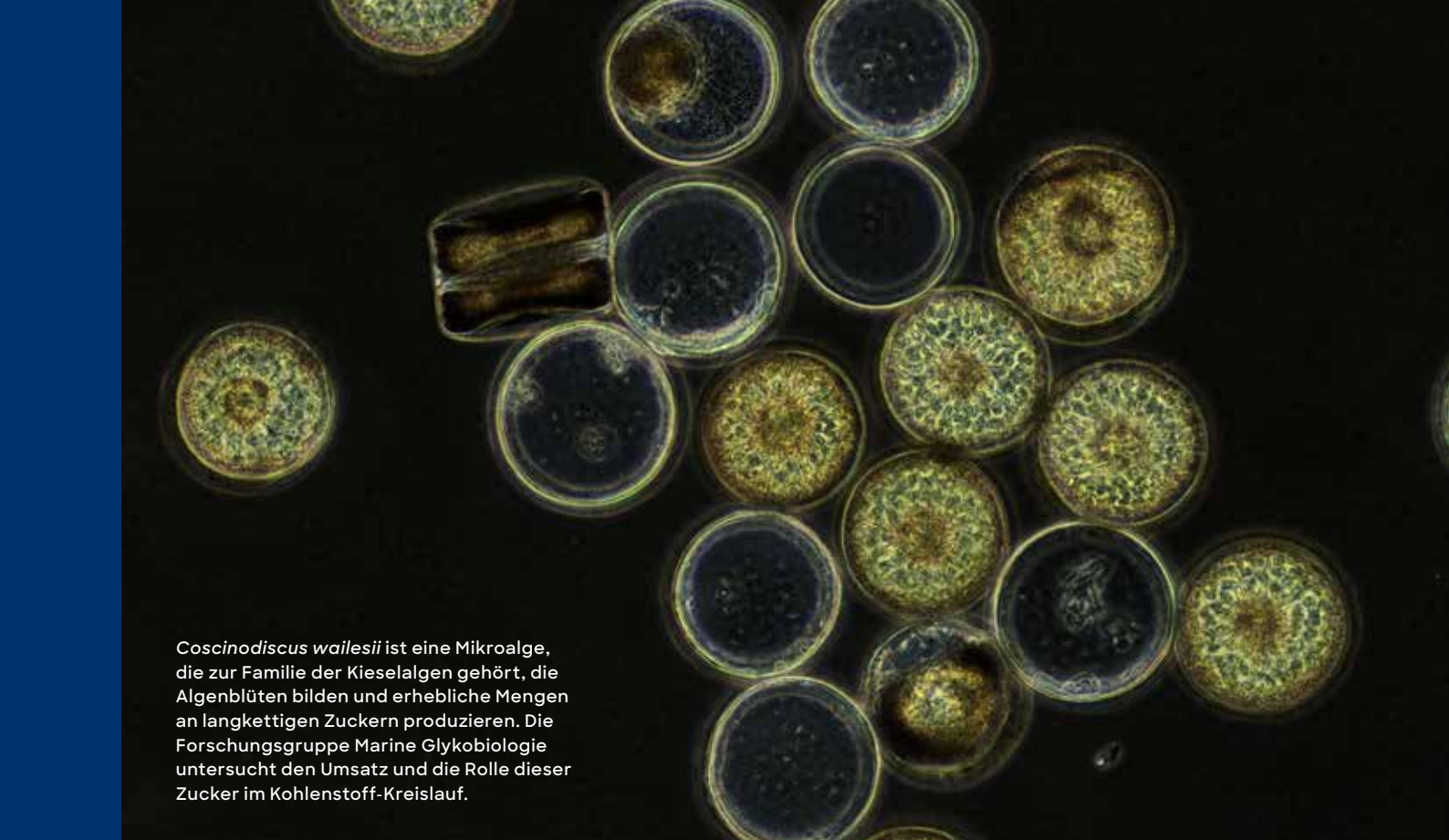
Im Rahmen halbjährlich stattfindender Treffen präsentieren und diskutieren die SLATE Doktorandinnen und Doktoranden ihre Ergebnisse mit internationalen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, aber auch mit Partnern aus der Industrie und dem nicht-akademischen Sektor.



Zum vielfältigen Ausbildungsprogramm durch ein internationales Expertenteam gehören neben Feldarbeiten auch Laboruntersuchungen an Sedimentkernen.

Für das Verständnis der Prozesse, die zur Bildung von Rutschungen im Ozean führen, lohnt ein Blick weit zurück in die Erdgeschichte. Große Sedimentpakete, ehemals abgerutscht in einem früheren Ozean, findet man heute aufgeschlossen an Land. Im Rahmen von Exkursionen nehmen SLATE Doktorandinnen und Doktoranden diese Rutschungen genauer unter die Lupe, hier in der Region Emilia-Romagna (Italien).





*Coscinodiscus wailesii* ist eine Mikroalge, die zur Familie der Kieselalgen gehört, die Algenblüten bilden und erhebliche Mengen an langkettigen Zuckern produzieren. Die Forschungsgruppe Marine Glykobiologie untersucht den Umsatz und die Rolle dieser Zucker im Kohlenstoff-Kreislauf.

# Blackbox des marinen Kohlenstoffkreislaufs

## Die Rolle von Mikroalgen im Ökosystem Ozean

Im Ozean gibt es viele Abläufe, die wissenschaftlich noch nicht entschlüsselt sind. Dazu gehört insbesondere der komplexe Kohlenstoffkreislauf. Die Brückenarbeitsgruppe von Prof. Dr. Jan-Hendrik Hehemann „Marine Glykobiologie“, die am MARUM und am Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie angesiedelt ist, befasst sich mit Mikroalgen und ihrer Funktion im Kohlenstoffkreislauf. Den Fokus legt das Team auf Mehrfachzuckerverbindungen und ihre Rolle im Ökosystem Ozean.

Wie Pflanzen an Land betreiben auch Algen in den lichtdurchfluteten Wasserschichten des Ozeans Photosynthese und verwenden Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre als Baustoff, um zu wachsen. Mikroalgen im Oberflächenwasser produzieren ähnlich

viel Biomasse wie alle Pflanzen an Land – und das, obwohl sie nur einen kleinen Teil der darin vorkommenden Organismen ausmachen. Das liegt an ihrer vergleichsweise kurzen Lebensdauer – „Mikroalgen leben schnell und sterben jung“, sagt Jan-Hendrik Hehemann. Algen blühen innerhalb von Tagen und können danach ebenso schnell wieder verschwinden. Mikroskopisch kleine planktonische Algen sind die Basis der marinen Nahrungskette, von ihnen ernähren sich Bakterien, aber auch größere Tiere.

Sind Mikroalgen aktiv, scheiden sie Mehrfachzucker aus, der durch die Wassersäule zum Ozeanboden sinkt und so Kohlenstoff in die Tiefsee transportiert. So sind die Mehrfachzucker ein wesentlicher Bestandteil der sogenannten „biologischen Pumpe“,



Prof. Dr. Jan-Hendrik Hehemann erforscht die Relevanz von Algen-Mehrfachzuckern in marinen Stoffkreisläufen.



Die Braunalge *Fucus vesiculosus* wächst an felsigen Küsten wie hier auf Helgoland. Der Zellwandzucker Fucoidan ist dabei besonders wichtig um gegen die Gezeiten und Wellen zu bestehen.

mit der Kohlenstoff – und damit auch Kohlendioxid – von der Wasseroberfläche in die Tiefsee transportiert wird. Welche Rolle die Mikroalgen dabei spielen, ist bislang im Detail nicht bekannt. Um dieser Frage nachzugehen untersucht die Arbeitsgruppe von Jan-Hendrik Hehemann das Zusammenspiel zwischen Enzymen und Zuckermolekülen. Dabei haben Hehemann und seine Kolleginnen und Kollegen erst kürzlich entdeckte Enzyme verwendet, um Mikroalgen, die den lichtdurchfluteten Ozean bewohnen, zu untersuchen. Das Ergebnis: Ein großer Teil der Algen-Biomasse, nämlich im Schnitt ein Viertel, besteht aus dem langkettigen Zuckermolekül Laminarin. Die Konzentration dieses Moleküls in den Algenzellen stieg im Laufe des Tages deutlich an – Algen sind zu unterschiedlichen Tageszeiten unterschiedlich aktiv. In Zahlen ausgedrückt: Durch die Photosynthese von Algen an der Ozeanoberfläche werden pro Jahr rund zwölf Gigatonnen Kohlenstoff in Form von Laminarin in Algen umgewandelt. Allerdings wird nur ein kleiner Teil davon der Atmosphäre dauerhaft entzogen.

Stirbt eine Kieselalge nach der Blüte ab, sinkt sie in die Tiefe. Durch die Laminarin-Studie fanden die Forschenden heraus, dass das untersuchte Zuckermolekül rund die Hälfte des organischen Kohlenstoffs in den absinkenden Kieselalgen ausmacht. „Laminarin spielt daher eine wichtige Rolle beim Transport von Kohlenstoff von der Oberfläche des Ozeans in die Tiefe. Ob Laminarin hier langfristig verbleibt, ist nun eine wichtige weitergehende Fragestellung, die wir angehen werden“, betont Hehemann.

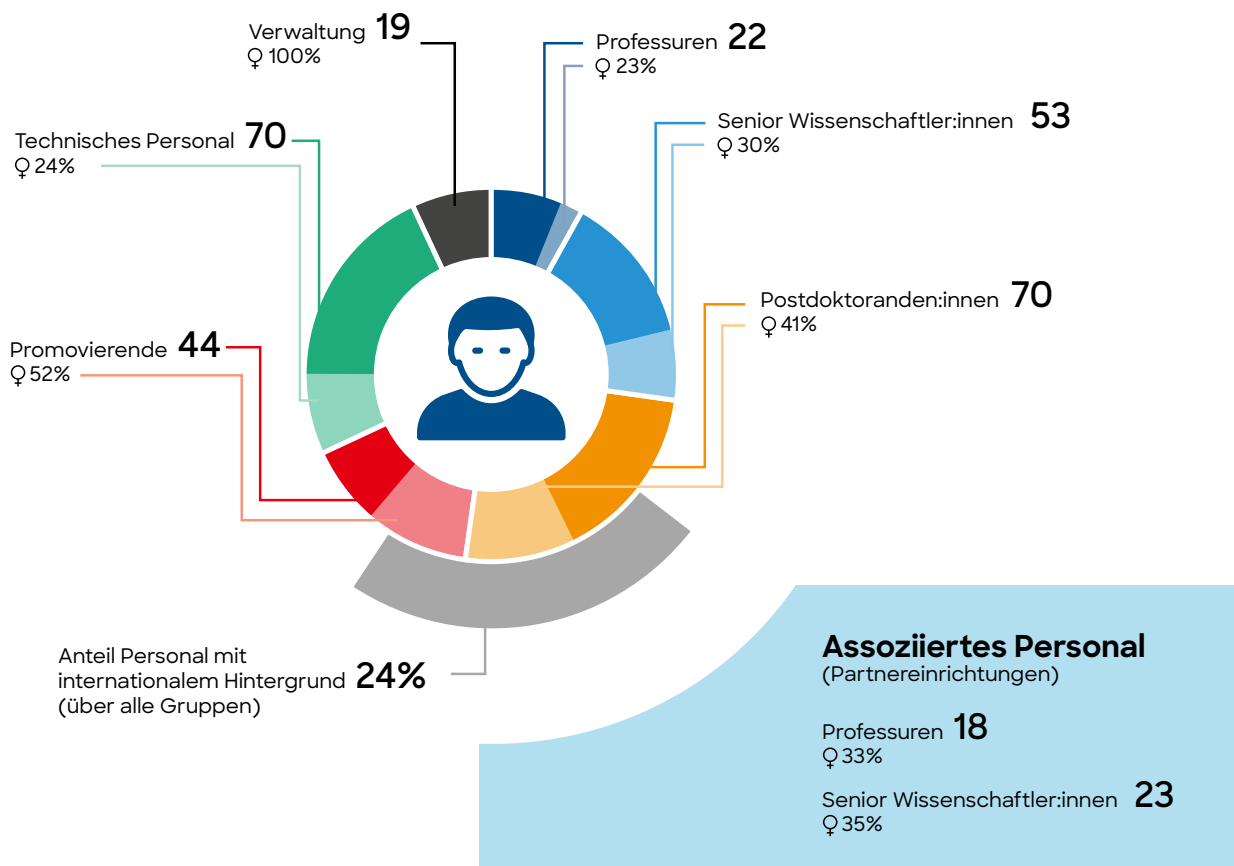
Der größte Teil der Biomasse, der von der Oberfläche im tiefen Ozean ankommt, wird dort wiederverwertet. Der Rest bindet Kohlenstoff in den Meeressedimenten und reguliert somit die Konzentration von Sauerstoff und Kohlendioxid in der Atmosphäre. Während die Partikel hinabsinken, wirken die langkettigen Zuckermoleküle als Klebstoff, der Zellen und Mineralstoffe zusammenhält und so dafür sorgt, dass die Partikel immer größer und dichter werden und in der Folge schneller sinken. Offensichtlich widersteht dieser Klebstoff bestimmten

bakteriellen Enzymen, die sonst dafür sorgen würden, dass er sich auflöst und die Partikel in ihre Bestandteile zerfallen.

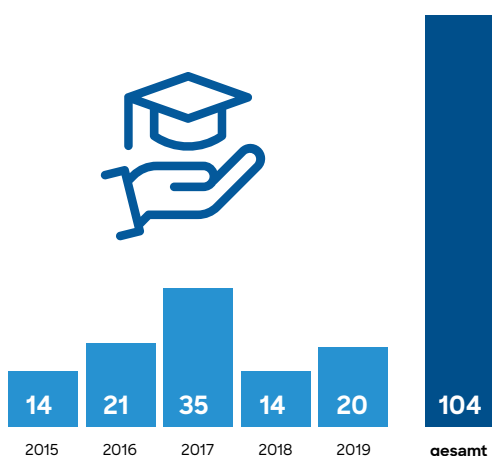
Wie genau das Klebelement funktioniert, ist allerdings nicht bekannt. Um das herauszufinden, haben Hehemann und seine Kolleginnen und Kollegen untersucht, welche Zuckerverbindungen während einer Algenblüte besonders häufig vorkommen. Dabei stießen sie auf eine Fülle von Enzymen, die für den Abbau von Zuckern wie Laminarin verantwortlich sind. Dagegen fehlten Enzyme, die einen langkettigen, fucosehaltigen Zucker abbauen. Dieser legt sich wie ein Antifouling-Material um die Partikel und schützt sie so vor dem Abbau durch Bakterien. „Darüber hinaus deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass sich die Algen-Zuckermoleküle, die die Haftmatrix der Zellen und Partikel bilden, als stabil erweisen und somit einen noch unerforschten Mechanismus zur Kohlenstoffbindung im Ozean darstellen könnten.“

# MARUM in Zahlen

## Personal



## Promotionen

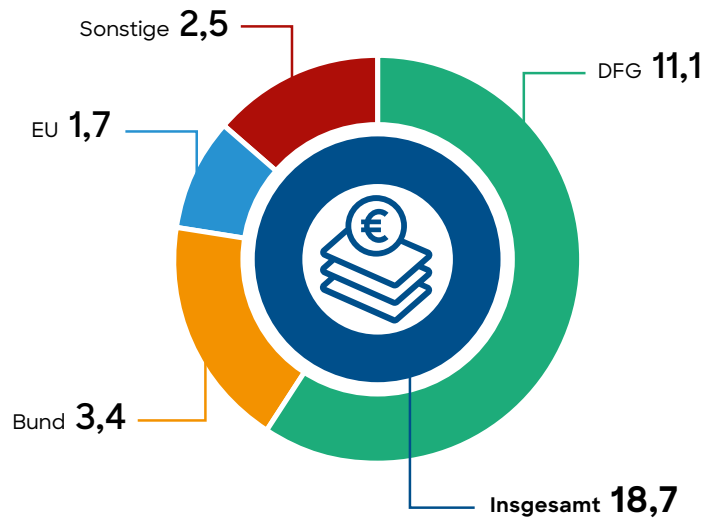


## Publikationen mit internationaler Beteiligung





## Drittmittel



(2015 – 2019 Mittelwert, Mio. Euro/Jahr)

## Schiffsexpeditionen



**17 / Jahr**

2015 – 2019 Mittelwert  
(davon ca. 3 im Rahmen von IODP)



● Expeditionen 2010 – 2019    ● geplante Expeditionen



## Impressum

### Herausgeber

Michael Schulz  
MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften  
Universität Bremen  
Leobener Straße 8, 28334 Bremen  
+49 421 218 65500  
mschulz@marum.de

### Texte

Frank Oliver Glöckner, Dierk Hebbeln, Jan-Hendrik Hehemann, Kai-Uwe Hinrichs, Katrin Huhn-Frehers, Christina Klose, Achim Kopf, Jannis Kuhlmann, Heiko Pälike, Ulrike Prange, Monika Rhein, Ursula Röhl, Frank Schmieder, Michael Schulz

### Fotos

Titelseite, S. 5 (Nr. 1), S. 10 oben: MARUM, Thorsten Klein. S. 4 (Nr. 1 – 7), 5 (Nr. 3), 6, 8 (3), 10 unten, 11 oben, 14, 20, 21 (3), 22 (Nr. 2/6), 24, 26 (2), 27, 28, 29 (2), 31 (kl.), 42 (Nr. 1/2), Rückseite: MARUM, Volker Diekamp. S. 4 (Nr. 8), S. 22 (Nr. 3/4), 42 (Nr. 3) Sean Diaz. S. 5 (Nr. 2): MARUM, Marcel Schröder. S. 7: Margit Wild. S. 9: MARUM, Albert Gerdes. S. 11 unten: MARUM, Dagmar Kieke. S. 12, 13 (4), 15 (3), 16, 17 (3), 19 (3), 42 (Nr. 4/5): MARUM, ROV-Teams. S. 22 (Nr. 1): HYDRA, Christian Lott. S. 22 (Nr. 5): MARUM, Sebastian Meckel. S. 22 (Nr. 7): MARUM, Tilo von Dobeneck. S. 30/31: pxhere. S. 33 unten: MARUM, Heiko Pälike. S. 33 rechts: MARUM / IODP, Ursula Röhl. S. 34, 37 (3): SLATE; S. 35: privat. S. 38: Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie (MPI MM), Craig S. Robb. S. 39 links: MPI MM. S. 39 rechts: MPI MM, Mikkel Schultz-Johansen.

### Grafiken

S. 9, 18, 21, 32, 40 / 41: MARUM / Büro 7. S. 11: MARUM, Dagmar Kieke/Linn Sanguineti. S. 14 Karte: nach M. Loher, S. Ceramicola, P. Wintersteller, G. Meinecke, H. Sahling and G. Bohrmann (2018): Mud volcanism in a canyon: morphodynamic evolution of the active Venere mud volcano and its interplay with Squillace Canyon, Central Mediterranean. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. doi:10.1002/2017GC007166. S. 25: MARUM / PANGAEA / GfG – Gruppe für Gestaltung, Bremen. S. 30: MARUM / Büro 7. Daten modifiziert und erweitert nach IPCC und Hansen et al. 2013 (*Phil Trans R Soc A*, doi:10.1098/rsta.2012.0294). Modellierung des Meeresspiegels nach DeConto and Pollard 2016 (*Nature* 531, doi:10.1038/nature17145). Modellierung der globalen Tiefenwassertemperatur aus CMIP5-abgeleiteten Modell-Ensembles für Wassertiefen > 3 Kilometer (Giorgetta et al., doi:10.1594/WDCC/CMIP5.MXELr8). S. 36 oben: nach M. Sammartini, J. Moernaut, F. S. Anselmetti, M. Hilbe, K. Lindhorst, N. Praet and M. Strasser (2019): An Atlas of Mass-Transport Deposits in Lakes. *Submarine Landslides: Subaqueous Mass Transport Deposits from Outcrops to Seismic Profiles*, 201–226. S. 36 unten: nach T. Zengaffinen, F. Løvholt, G. Pedersen et al. (2020): Modelling 2018 Anak Krakatoa Flank Collapse and Tsunami: Effect of Landslide Failure Mechanism and Dynamics on Tsunami Generation. *Pure Appl. Geophys.* 177, 2493–2516. doi.org/10.1007/s00024-020-02489-x.

### Gestaltung

Büro 7, Bremen

### Druck

Girzig+Gottschalk GmbH

### Auflage

1. Auflage, 1.000 Stück

Bremen, 07-2021



