HELMHOLTZ
SPITZENFORSCHUNG FÜR
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

GEOMAR

Von der Tiefsee bis zur Atmosphäre

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

1

DIE ROLLE DES OZEANS IM KLIMAWANDEL

Welche Rolle spielen die Meere bei den Veränderungen unseres Klimasystems?

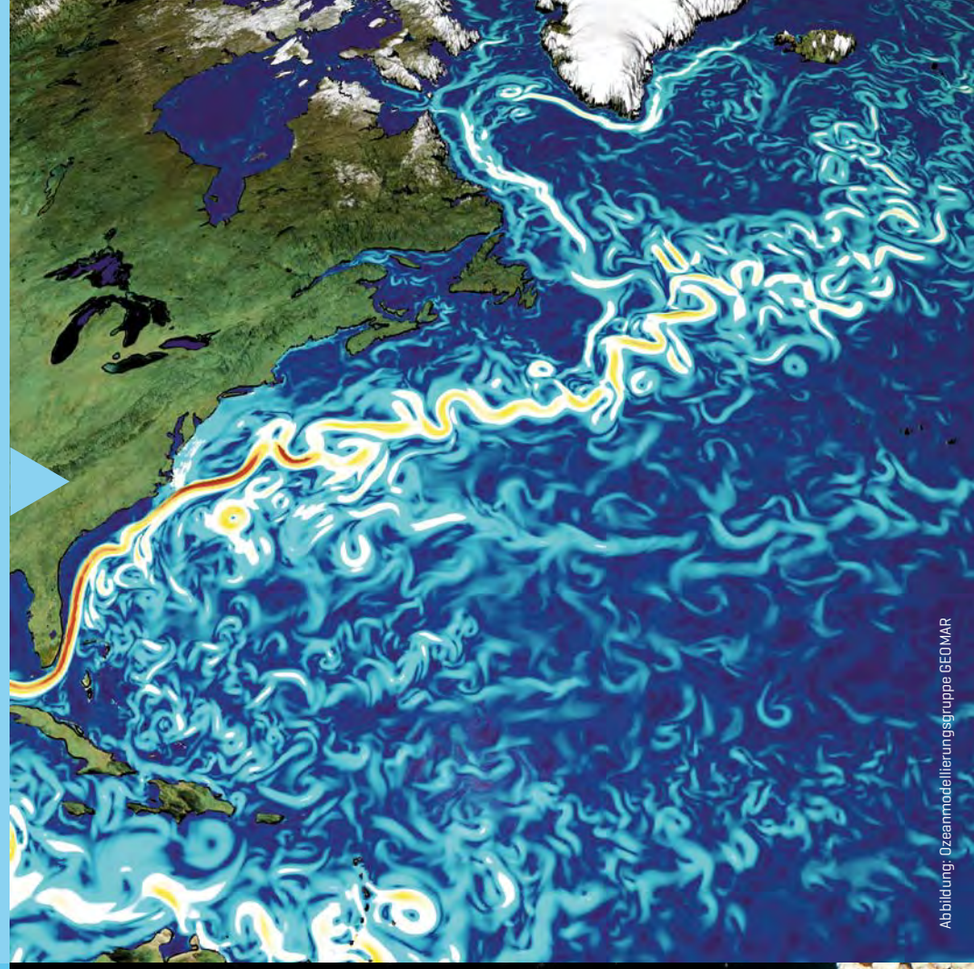


Abbildung: Ozeanmodellierungsgruppe GEOMAR

2

MENSCHLICHER EINFLUSS AUF MARINE ÖKOSYSTEME

Wie reagieren Lebensgemeinschaften im Meer auf vom Menschen verursachte Veränderungen?

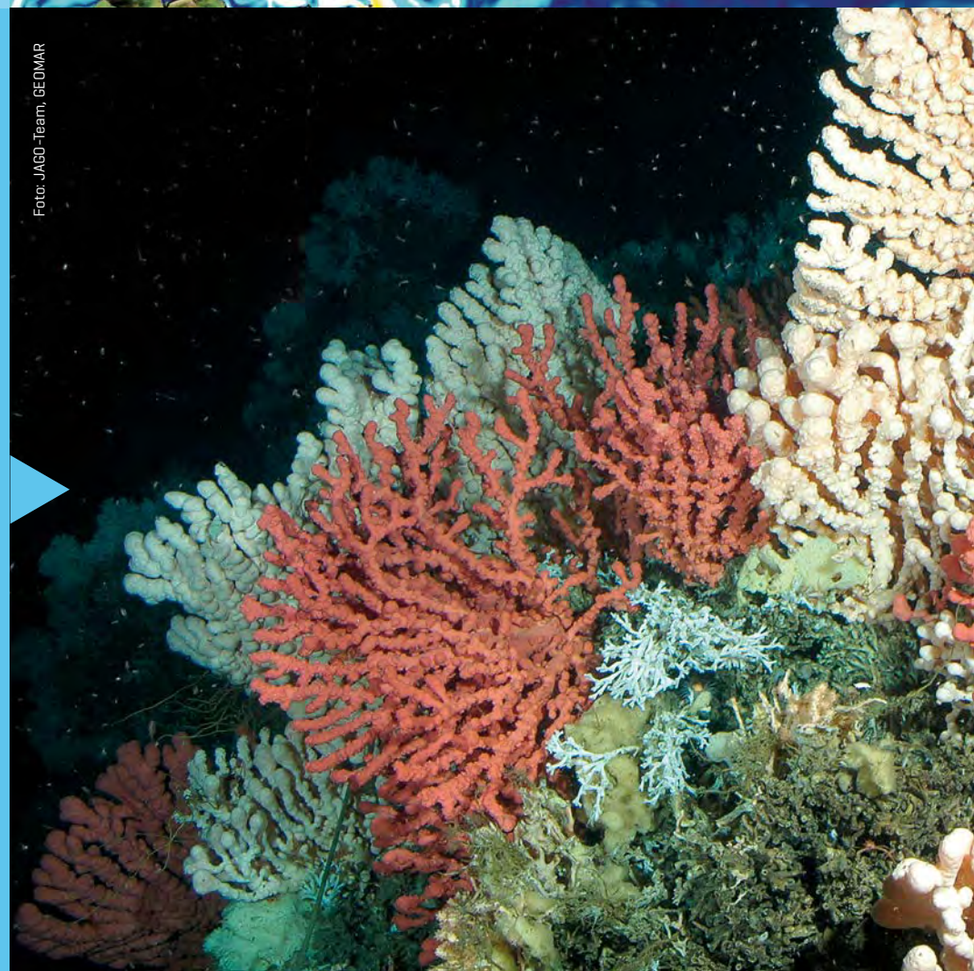


Foto: JAGO-Team, GEOMAR

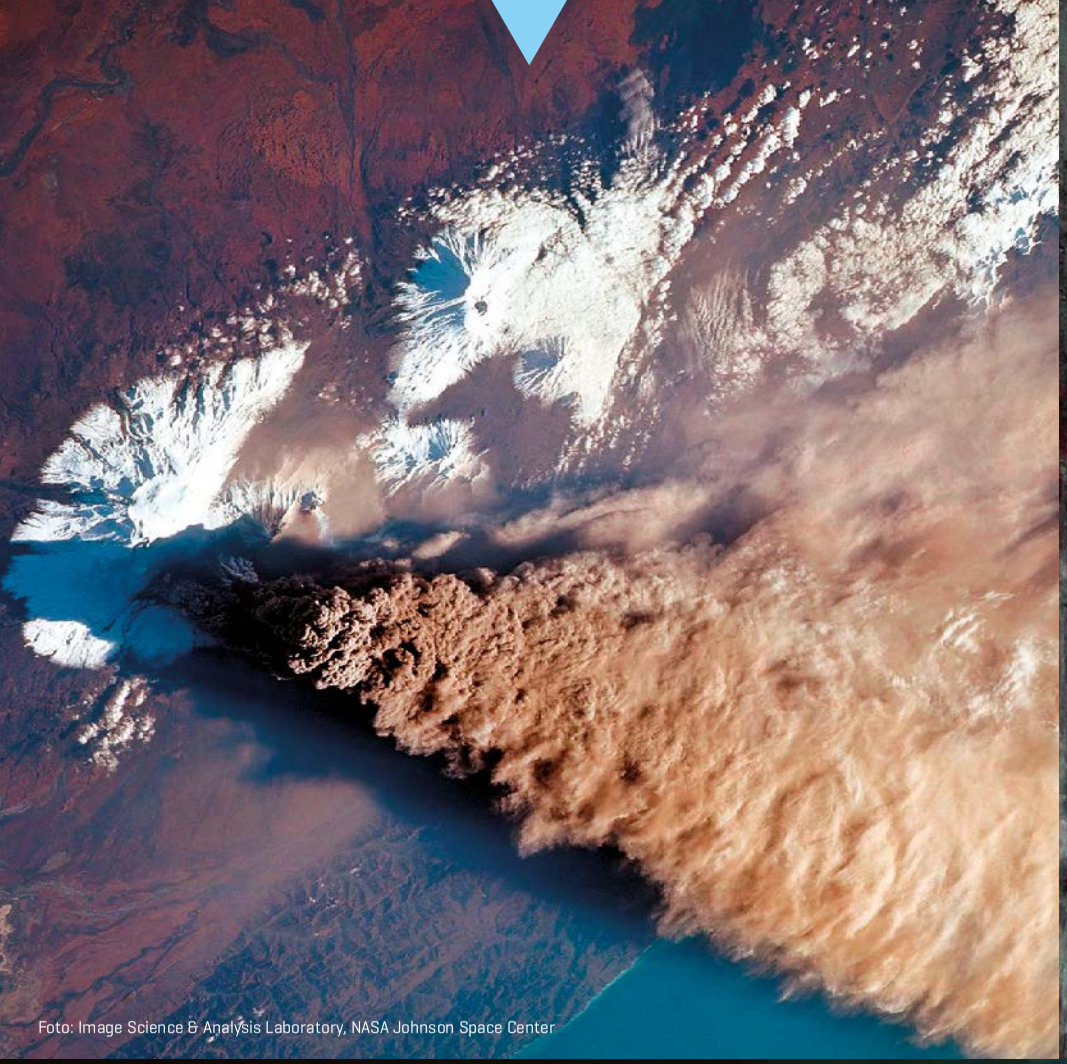


Foto: Image Science & Analysis Laboratory, NASA Johnson Space Center

Foto: Science Party SO174

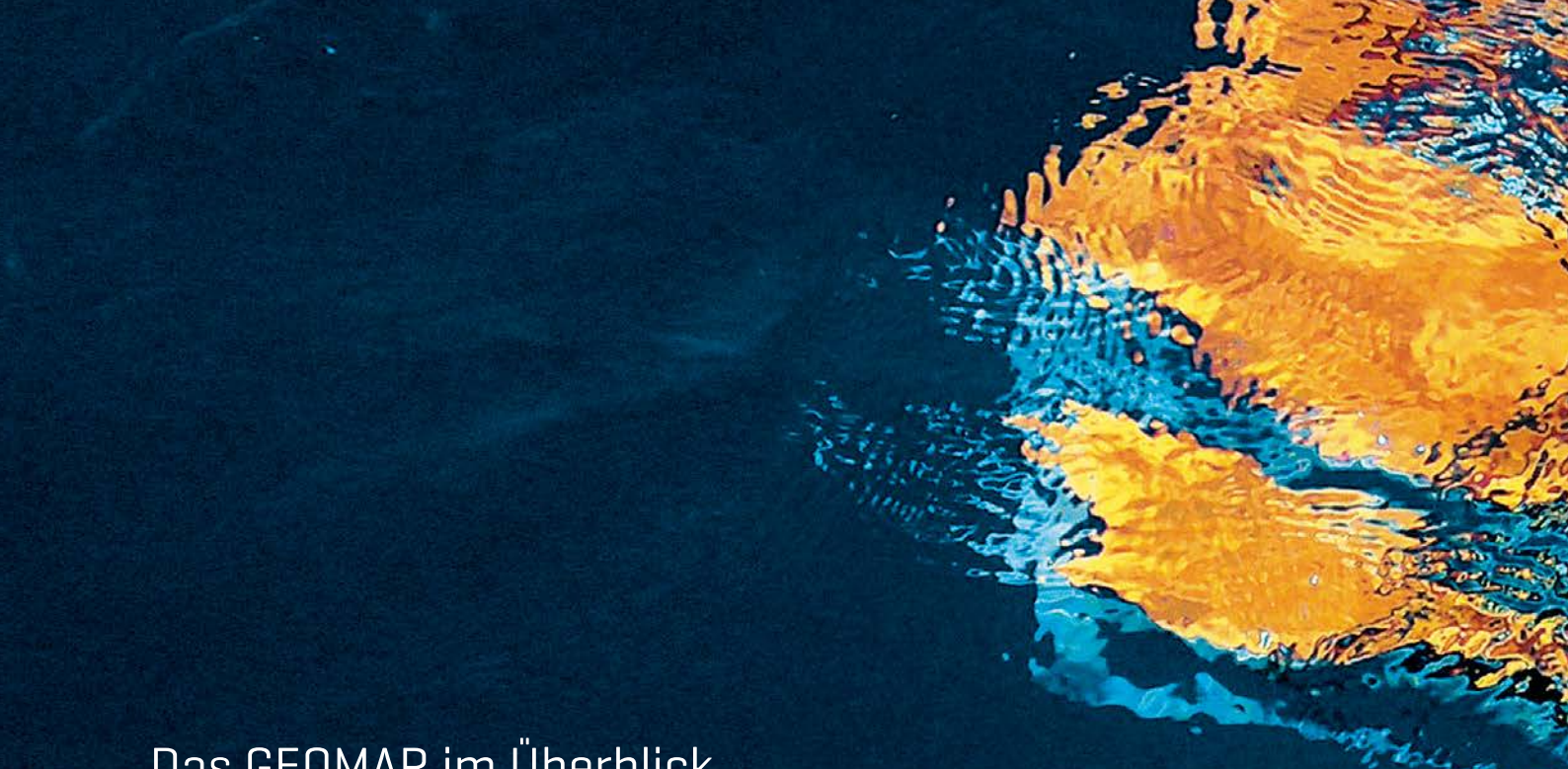
Die Forschungsschwerpunkte des GEOMAR

FS POSEIDON unterwegs im Vulkangebiet vor Sizilien. Bei der Expedition vor der italienischen Insel Panarea wurden neben ROV PHOCA auch Tauchteams eingesetzt, um CO_2-Quellen am Meeresboden besser zu verstehen. Foto: Christian Howe

Inhalt

Das GEOMAR im Überblick	**Seite 08-09**
1. Die Rolle des Ozeans im Klimawandel: Welche Rolle spielen die Meere bei den Veränderungen unseres Klimasystems?	**Seite 10-13**
2. Menschlicher Einfluss auf marine Ökosysteme: Wie reagieren Lebensgemeinschaften im Meer auf vom Menschen verursachte Veränderungen?	**Seite 14-17**
3. Biologische, mineralische und energetische Rohstoffe: Wie können wir die Ressourcen des Meeres umweltverträglich nutzen?	**Seite 18-21**
4. Plattentektonik und marine Naturgefahren: Wie können wir Naturgefahren aus dem Meer frühzeitig erkennen?	**Seite 22-25**
Die Forschungsbereiche des GEOMAR	**Seite 26-27**

Forschungsprojekte: Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ und Sonderforschungsbereich 754	**Seite 28-29**
Global operierende deutsche Forschungsschiffe	**Seite 30-31**
Die Forschungsschiffe des GEOMAR	**Seite 32-33**
Raumschiffe für die Tiefsee	**Seite 34-35**
Weitere Forschungsgeräte	**Seite 36-37**
Labore und Analytik, Modellierung, Technik, Aquarium	**Seite 38-39**
Bibliothek, Lehrangebot, Ausbildung, Schulprogramm	**Seite 40-41**
Impressum	**Seite 42**



Das GEOMAR im Überblick

Die Mission des GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel ist die Untersuchung der chemischen, physikalischen, biologischen und geologischen Prozesse im Ozean und ihrer Wechselwirkung mit dem Meeresboden und der Atmosphäre. Mit dieser Bandbreite deckt das GEOMAR ein in Deutschland einzigartiges Spektrum ab.

Inhaltlich lässt sich die Forschung des GEOMAR in vier Schwerpunktthemen zusammenfassen:

- **Die Rolle des Ozeans im Klimawandel**
- **Menschlicher Einfluss auf marine Ökosysteme**
- **Biologische, mineralische und energetische Rohstoffe**
- **Plattentektonik und marine Naturgefahren**

Organisatorisch ist das GEOMAR in vier Forschungsbereiche untergliedert:

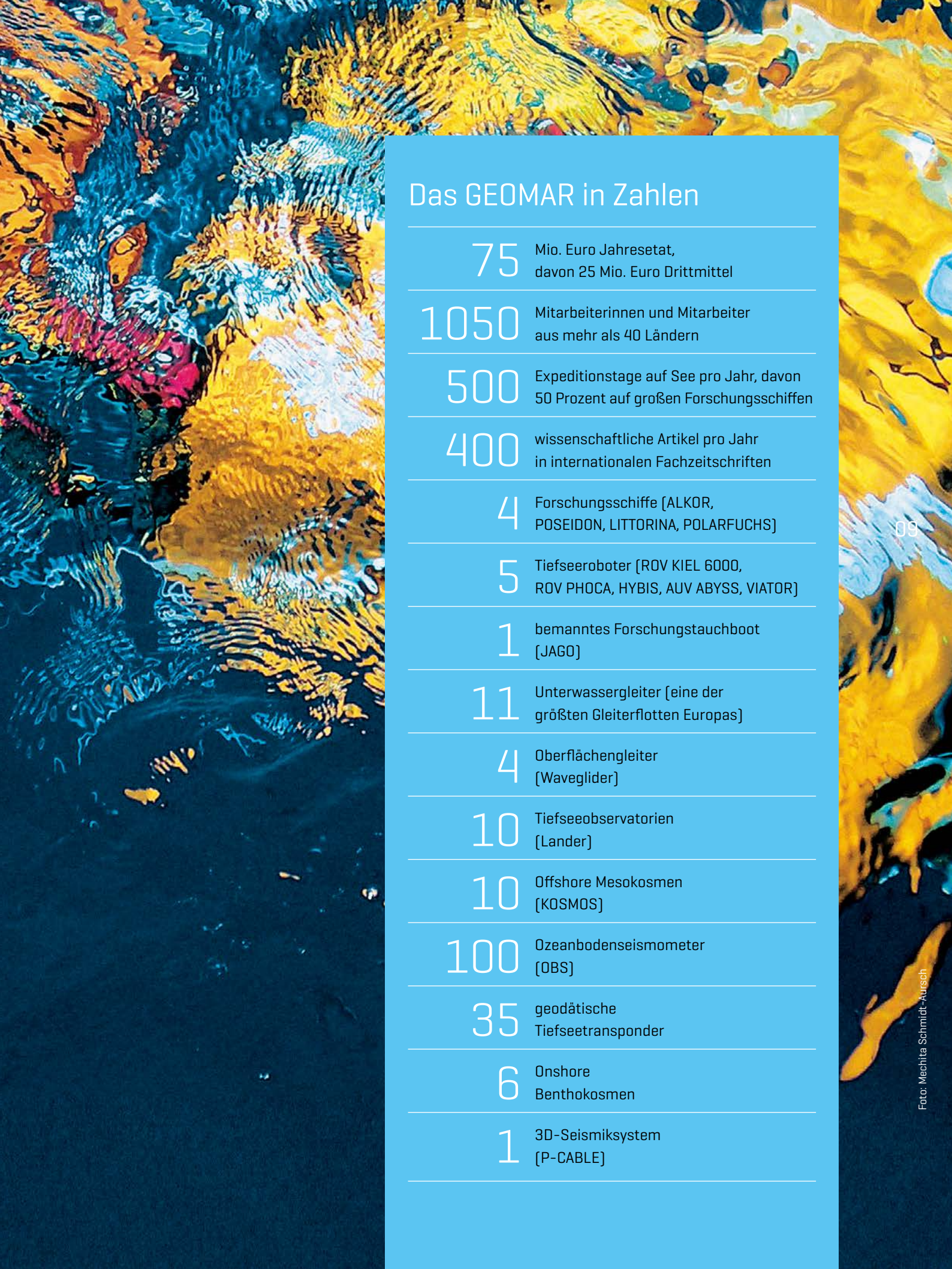
- **Ozeanzirkulation und Klimadynamik**
- **Marine Biogeochemie**
- **Marine Ökologie**
- **Dynamik des Ozeanbodens**

Zusammen mit der Universität Kiel und anderen nationalen und internationalen Partnern betreibt das GEOMAR zahlreiche Großprojekte der Grundlagenforschung wie den Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ oder den Sonderforschungsbereich 754 „Klima-Biogeochemische Wechselwirkungen im tropischen Ozean“.

Das GEOMAR verfügt über eine moderne und leistungsfähige Forschungsinfrastruktur. Dazu zählen vier eigene Forschungsschiffe, das einzige bemannte deutsche Forschungstauchboot JAGO, die unbemannten Tiefseeroboter KIEL 6000, PHOCA, HYBIS, ABYSS und VIATOR sowie verschiedenste andere Geräte und Systeme. Ferner bietet das GEOMAR eine exzellente Ausstattung im Bereich der Isotopen- und Spurenelementanalytik, Zugang zu Höchstleistungsrechnern und eine der größten meereswissenschaftlichen Bibliotheken Deutschlands.

Zu ausgewählten Bereichen werden Ergebnisse der Grundlagenforschung in den angewandten Bereich überführt. Hierzu zählen die Marine Wirkstoffforschung, die Marine Aquakultur, der nachhaltige Meeresbergbau, die Gewinnung von Erdgas aus submarinen Gashydratlagerstätten in Kombination mit der Deponierung von Kohlendioxid in fester Form unterhalb des Meeresbodens sowie die Entwicklung von Tiefseegeräten und -fahrzeugen.

Das GEOMAR ist Mitglied der Helmholtz Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V. Weiterhin ist das GEOMAR in nationalen und internationalen Gremien und strategischen Partnerschaften wie dem Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM), dem Deutschen Klima-Konsortium (DKK) und der Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO) aktiv.



Das GEOMAR in Zahlen

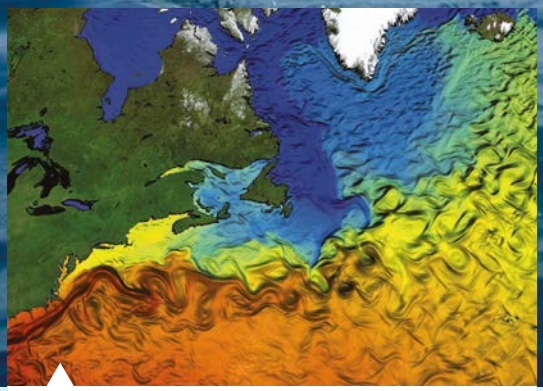
75	Mio. Euro Jahresetat, davon 25 Mio. Euro Drittmittel
1050	Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus mehr als 40 Ländern
500	Expeditionstage auf See pro Jahr, davon 50 Prozent auf großen Forschungsschiffen
400	wissenschaftliche Artikel pro Jahr in internationalen Fachzeitschriften
4	Forschungsschiffe (ALKOR, POSEIDON, LITTORINA, POLARFUCHS)
5	Tiefseeroboter (ROV KIEL 6000, ROV PHOCA, HYBIS, AUV ABYSS, VIATOR)
1	bemanntes Forschungstauchboot (JAGO)
11	Unterwassergleiter (eine der größten Gleiterflotten Europas)
4	Oberflächengleiter (Waveglider)
10	Tiefseeobservatorien (Lander)
10	Offshore Mesokosmen (KOSMOS)
100	Ozeanbodenseismometer (OBS)
35	geodätische Tiefseetransponder
6	Onshore Benthokosmen
1	3D-Seismiksystem (P-CABLE)

Foto: Mechita Schmidt-Aursch

1

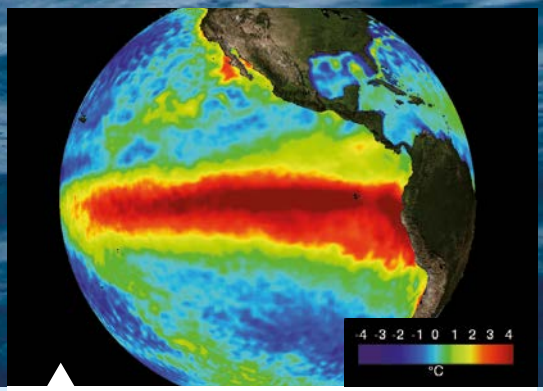
DIE ROLLE DES OZEANS IM KLIMAWANDEL

Welche Rolle spielen die Meere bei den Veränderungen unseres Klimasystems?



Golfstrom

Der Golfstrom, eine der stärksten Strömungen im Weltozean beschert Europa mit seinem hohen Wärmetransport dort ein angenehmes Klima, wo andernorts schon klirrende Kälte herrscht. Ist dieser Klimamotor stabil oder wird er, wie schon aus der Klimageschichte bekannt, erneut ins Stottern geraten? Abbildung: Golfstromsystem im Nordatlantik, dargestellt durch simulierte Oberflächentemperaturen, Ozeanmodellierungsgruppe GEOMAR



Tropische Ozeane

Die Tropischen Ozeane spielen bei vielen natürlichen Klimaschwankungen eine entscheidende Rolle, so zum Beispiel bei El Niño, einer positiven Anomalie der Meeresoberflächentemperatur. Dieses Phänomen hat seinen Ursprung im tropischen Pazifik, aber die Auswirkungen von El Niño lassen sich weltweit nachweisen. Auch die mangelnde Versorgung mit Sauerstoff ist insbesondere in niederen Breiten oft kritisch für das marine Ökosystem. Abbildung: El Niño im Dezember 1997, GEOMAR

Durch die kontinuierliche Messungen autonomer Treibsonden, sogenannten Tiefendriftern, konnten in nur zehn Jahren mehr Daten für langfristige Vorhersagen und das Verständnis unseres Klimasystems gewonnen werden als mit allen schiffsgestützten Expeditionen zuvor. Foto: Mario Müller, GEOMAR

Klimawandel

Menschliche Aktivitäten erwärmen die Oberfläche unseres Planeten, dabei verzögern die Ozeane, insbesondere die Tiefsee, mit ihrer gewaltigen Wärmeaufnahme diese Veränderung. Doch wie funktioniert der „Informationsaustausch" zwischen Ozean und Atmosphäre? Diese Wechselwirkung ist nicht linear, viele Details und deren Auswirkungen auf unser Klima haben wir noch nicht vollständig verstanden. Deshalb untersuchen wir die Klimageschichte der Ozeane, messen den gegenwärtigen Zustand und entwickeln Abschätzungen über die zukünftige Entwicklung. Foto: Hochwasser in Venedig, Wolfgang Moroder (CC-BY-SA 3.0)

Klimaarchiv Meeresboden: Sedimentkerne sind vertikale Ausschnitte des Meeresbodens. Genaue Analysen ihrer chemischen Zusammensetzung liefern Daten über das Klima in vergangenen Zeiten. Foto: Katja Machill, GEOMAR

Segelflugzeuge der Meere: Mit ozeanografischen Gleitern werden wertvolle Informationen über die zeitliche und räumliche Struktur der Ozeane gewonnen. Das GEOMAR betreibt eine der größten Gleiterflotten Europas. Foto: Michael Schneider, FS METEOR

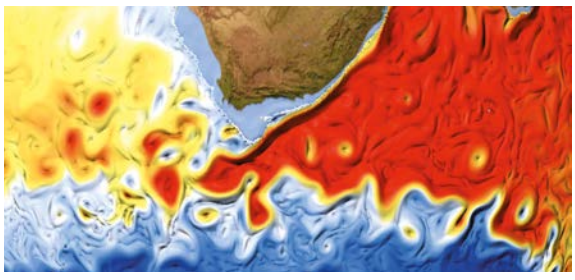
12

Der Ozean ist das Langzeitgedächtnis unseres Klimasystems

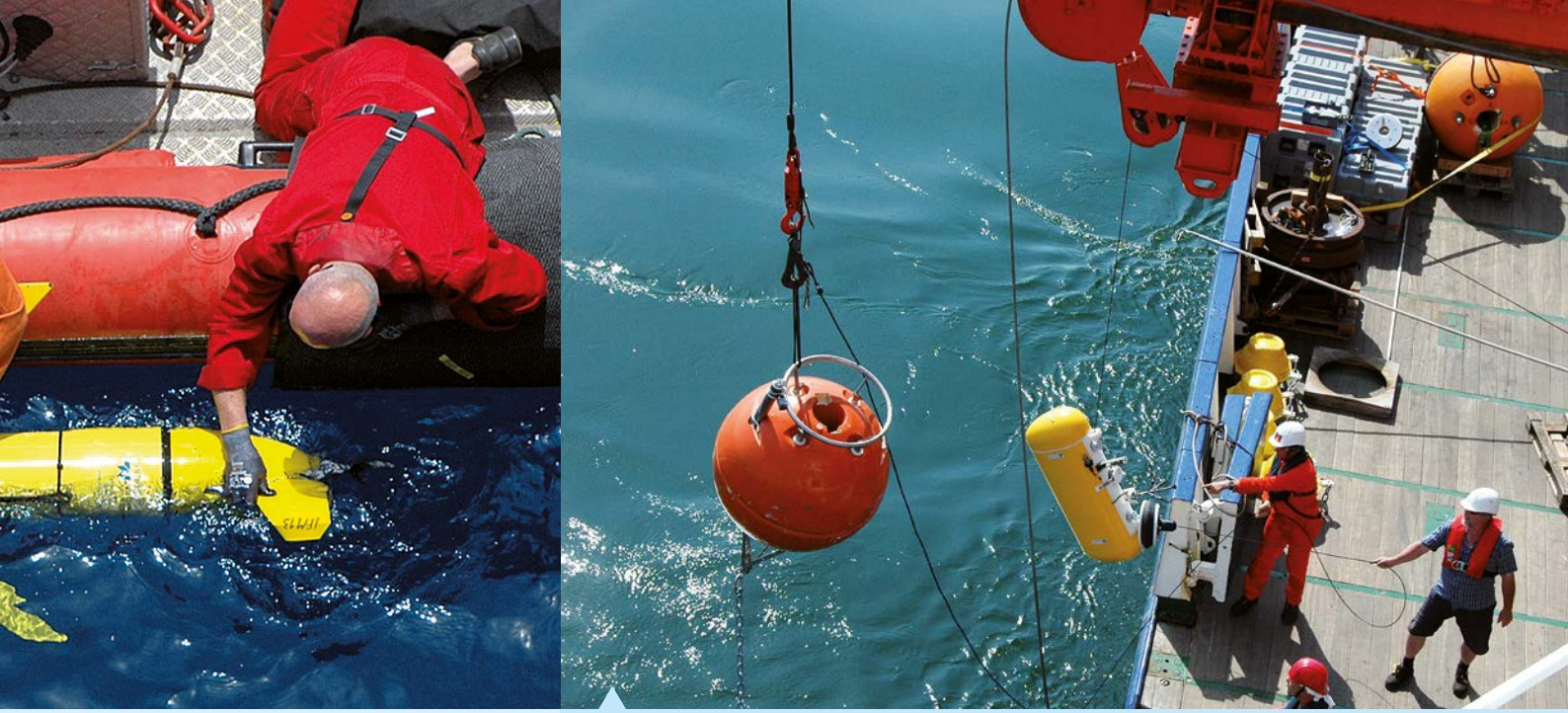
Wind, Sonne und Niederschläge beeinflussen den Ozean an der Oberfläche und setzen ihn in Bewegung. Die dadurch verursachten Meeresströmungen sind mit Geschwindigkeiten von einigen Zentimetern bis etwa einem Meter pro Sekunde sehr viel langsamer als die Luftströmungen der Atmosphäre. Dennoch transportiert die Ozeanzirkulation große Wärmemengen und beeinflusst dadurch das globale und regionale Klima. Temperatur und Salzgehalt verändern die Dichte des Meerwassers und ermöglichen damit an einigen Stellen auch Wassertransporte in die Tiefe, wodurch der tiefe Ozean mit Sauerstoff versorgt wird. Die globale Ozeanzirkulation verbindet alle Ozeanbecken und verteilt so Einträge von Nährstoffen, gelösten Kohlenstoff und andere chemische und biologische Substanzen.

Für das Verständnis langzeitlicher Klimaschwankungen ist ein Blick in die Geschichte unseres Planeten unverzichtbar. Aufgrund fehlender instrumenteller Messungen lassen sich diese Informationen nur durch die Nutzung sogenannter Klimaarchive erschließen. Das sind z.B. Ozeansedimente, Korallen, Eisbohrkerne oder Baumringe. Mit Hilfe bekannter Zusammenhänge und komplexer Analyseverfahren erhält man Aufschluss über die Temperaturen oder Niederschläge vergangener Klimaepochen. Das ermöglicht die Rekonstruktion natürlicher Klimaschwankungen und ein besseres Verständnis ihrer Ursachen.

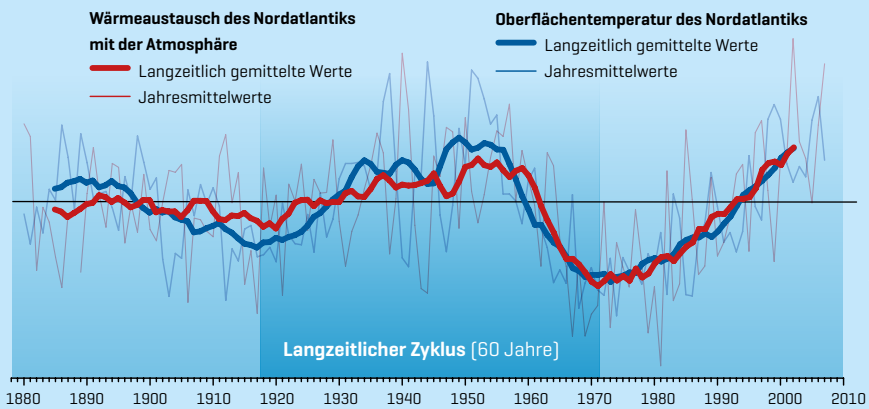
Der gegenwärtige Zustand der Ozeane und seine Schwankungen können durch wiederholte, möglichst breit gefächerte Messungen bestimmt werden. Während für die



▲ **Hochauflösende numerische Modelle des Ozeans** helfen die natürliche Variabilität und ihre Ursachen zu verstehen sowie Prognosen über zukünftige Entwicklungen zu erstellen. Simulation und Darstellung: Ozeanmodellierungsgruppe GEOMAR



Eine Tiefseeverankerung wird ausgebracht. Die daran in verschiedenen Wassertiefen installierten Messinstrumente zeichnen über längere Zeiträume verschiedene physikalische und chemische Parameter auf und ermöglichen so Langzeitmessungen an kritischen Stellen der Ozeane.



Klimaschwankungen im Atlantik

Langzeitliche Entwicklung der Oberflächentemperaturen im Nordatlantik und des Wärmeaustauschs mit der Atmosphäre. Die dekadischen, sich über mehrere Jahrzehnte erstreckenden Schwankungen sind gut zu erkennen. Doch was ist die Ursache? Grafik: GEOMAR

Beobachtung der Atmosphäre und der Meeresoberfläche zusätzlich zu den instrumentellen Messungen auch Satellitenmessungen zur Verfügung stehen, gibt es unterhalb der Meeresoberfläche nur die Möglichkeit der direkten Messungen im Ozean. Vom GEOMAR werden schiffsgestützte und autonome Messverfahren und -systeme genutzt, um besonders wichtige Regionen im Weltozean langzeitlich zu beobachten. Der Dreiklang aus Theorie, Modellierung und Beobachtung ermöglicht ein besseres Verständnis der Prozesse und Mechanismen im Ozean und liefert damit die Basis für ein umfassendes Ozean- und Klimasystemverständnis. Initialisierte numerische Ozeanmodelle erlauben einen Einblick in den Ozean und das Klima der Zukunft im Kontext sowohl vom Menschen hervorgerufener als auch natürlicher Klimaschwankungen. Am GEOMAR arbeiten Forscherinnen und Forscher der Bereiche Meteorologie, Ozeanographie, Physik und Geowissenschaften im Forschungsbereich 1: „Ozeanzirkulation und Klimadynamik“ in enger Kooperation mit Kolleginnen und Kollegen in aller Welt, um unser Verständnis des globalen Ozeansystems und insbesondere dessen Rolle im Klimageschehen zu verbessern.

WEITERE INFOS ZUM THEMA

- **Der Ozean im Klimawandel:** www.geomar.de/57
- **Ozean und Klima:** www.geomar.de/223

▲ **Riesenreagenzgläser für den offenen Ozean:** Mesokosmen sind kleine, abgeschlossene Welten im Meer, in denen die Reaktionen mariner Ökosysteme auf den Ozeanwandel untersucht werden können. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR

Ozeanversauerung

Seit Beginn der Industrialisierung hat der Ozean etwa 50 Prozent des aus fossilen Brennstoffen emittierten CO_2 aufgenommen. Dort löst es sich und bildet Kohlensäure, was ein Absinken des pH-Wertes im Meerwasser zur Folge hat. Wie reagieren insbesondere die kalkbildenden Organismen auf diese Veränderung? Können sie ihre Kalkskelette und -schalen auch in Zukunft noch aufbauen? Wie steht es um die Zukunft der fragilen Korallenriffe? Forscherinnen und Forscher des GEOMAR gehen diesen Fragen in Laborstudien und Experimenten im offenen Ozean nach. Foto: Solvin Zankl

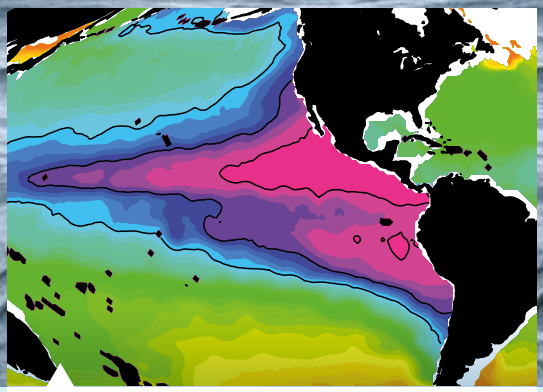
MENSCHLICHER EINFLUSS AUF MARINE ÖKOSYSTEME

Wie reagieren Lebensgemeinschaften im Meer auf vom Menschen verursachte Veränderungen?

2

Biologische Vielfalt im Meer

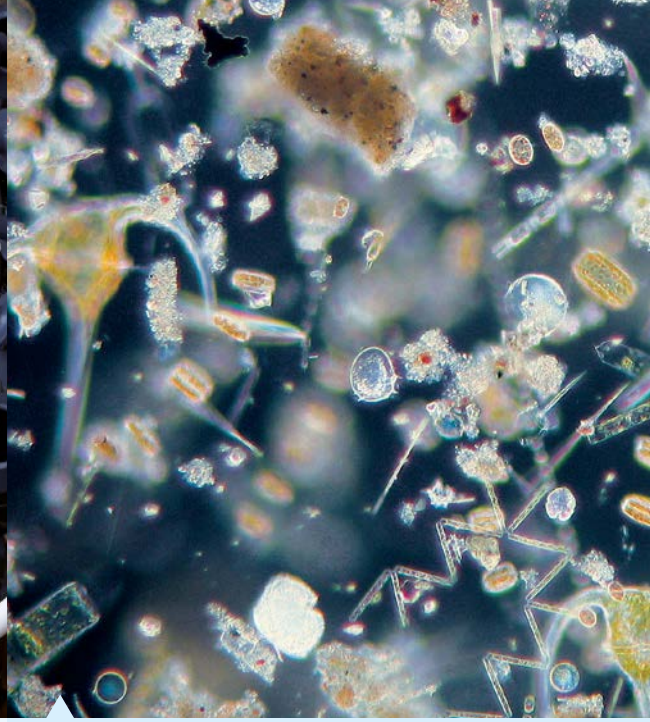
Zurzeit verlieren wir so viele Arten aus marinen Ökosystemen wie noch nie zuvor in der Erdgeschichte. GEOMAR-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen die Rolle der biologischen Vielfalt für die Aufrechterhaltung wichtiger Ökosystemdienstleistungen wie Biomasse- und Sauerstoffproduktion. Das Zusammenwirken verschiedener Umwelteinflüsse kann mittels innovativer Experimentalanlagen (im Bild: Benthokosmen) untersucht werden. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR



Sauerstoffminimumzonen

Besonders in den östlichen Bereichen der tropischen und subtropischen Ozeanbecken sind die niedrigen Sauerstoffkonzentration deutlich. Werden diese Gebiete größer? Und wenn ja, welche Folgen hat dies für die Ökosysteme und Stoffkreisläufe? Visualisierung: GEOMAR

Ein Kranzwasserschöpfer (CTD-Rosette) sammelt Wasserproben aus verschiedenen Meerestiefen. So werden für die Meeresforschung wertvolle physikalische, chemische und biologische Daten für verschiedenste Fragestellungen gewonnen. Foto: Bernd Grundmann



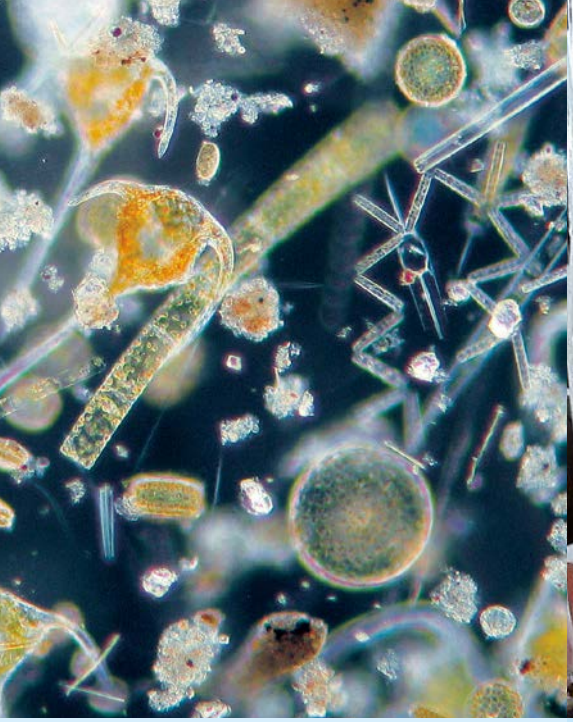
Der Verlust von Mikroalgenarten an der Basis der Nahrungsketten führt zu deutlich weniger Algenbiomasse, was zu weniger Nahrung für höhere Ebenen im Nahrungsnetz führt. Biologische Vielfalt stellt daher eine Versicherung für das Fortbestehen mariner Ökosysteme dar. Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

16

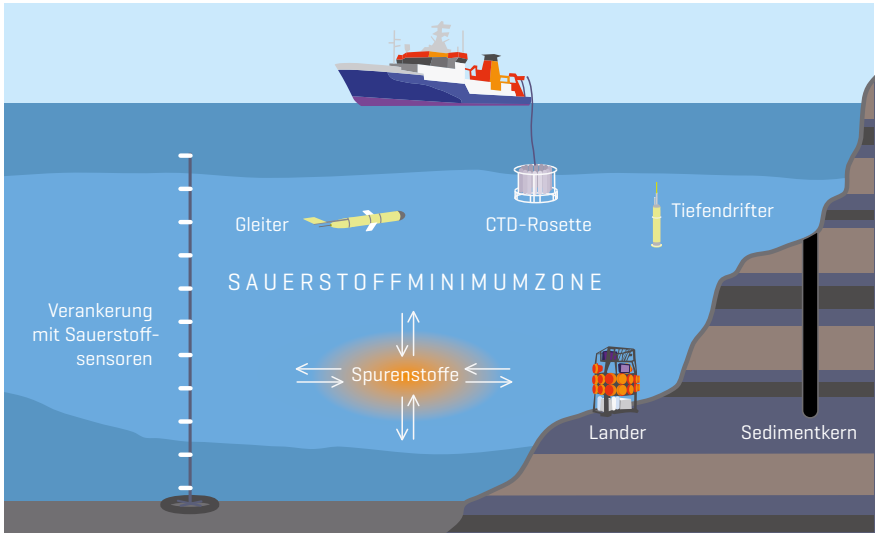
Die Chemie im Meer stimmt nicht mehr, dem Ozean gehen Luft und Organismen aus

Der Mensch verändert das Ökosystem Meer, noch bevor er es überhaupt genau kennt und dessen Funktionalität verstanden hat. Wir beeinflussen die marine Lebewelt in vielfältiger Weise: Die Meere erwärmen sich, sie werden zunehmend saurer, wir überdüngen und verschmutzen sie mit Plastik und Chemikalien und betreiben zudem Raubbau an den biologischen Ressourcen. Am GEOMAR werden deshalb die komplexen Wechselwirkungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen bei einer Vielzahl von wissenschaftlichen Fragestellungen untersucht. Für die Beantwortung sind interdisziplinäre Forschungsansätze notwendig, die weit über die Naturwissenschaften hinausgehen. Dafür bringen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anderer Disziplinen (unter anderen Rechts-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften) aus dem Kieler Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ ihre Expertise ein.

Kohlendioxid, kurz CO_2, ist ein Spurengas, dessen Anteil in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung kontinuierlich angestiegen ist. Die Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Öl, Kohle und Erdgas, einhergehend mit der Vernichtung von Biomasse an Land, hat die CO_2 -Konzentration auf Werte ansteigen lassen, wie es sie auf der Erde seit Millionen von Jahren nicht mehr gegeben hat. Die Folgen sind weitreichend, denn CO_2 absorbiert langwellige Wärmestrahlung, dadurch wird unser Planet wärmer. Und das, obwohl ein signifikanter Anteil des CO_2 vom Ozean aufgenommen wird. Einen Forschungsschwerpunkt am GEOMAR bildet deshalb der Kohlendioxidaustausch zwischen Atmosphäre, Ozean und Meeresboden. Denn er beeinflusst nicht nur die biologischen und chemischen Abläufe im Meer, sondern auch das Klima und seine Veränderung. Die zunehmende Versauerung der Ozeane durch Aufnahme von CO_2 und die Auswirkungen auf die Meeresbewohner ist ein zentrales Thema. Weiterhin wird untersucht, inwieweit sich sauerstoffarme Zonen, die es insbesondere in den tropischen und subtropischen Ozeanen gibt, langfristig verändern und welche Ursachen und Folgen dies haben könnte. Dabei spielen auch Einträge von Spurenstoffen, zum Beispiel durch Staub, eine Rolle, die



Globale Veränderungen global untersuchen: Im Rahmen des Programms GAME (Globaler Ansatz durch Modulare Experimente) untersuchen Studentinnen und Studenten an vielen Standorten weltweit, welchen Einfluss Mikroplastik auf Lebewesen im Meer hat. Foto: GAME, GEOMAR



Beobachtungssystem für Sauerstoffminimumzonen: Die durch den kombinierten Einsatz verschiedener Forschungsgeräte und Techniken gewonnenen Daten sollen helfen, das wichtige Zusammenspiel von physikalischen und biologischen Prozessen besser zu verstehen. Grafik: Rita Erven, GEOMAR

in weiten Bereichen des Ozean die Produktivität erhöhen. Die schnelle Veränderung der marinen Umwelt durch den Klimawandel sowie Verschmutzung und Ausbeutung verschiebt die biologische Vielfalt im Meer. Viele Arten könnten aussterben oder durch eingeschleppte Organismen verdrängt werden, so dass sich die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften auf allen Ebenen drastisch verändert. Die daraus resultierenden Konsequenzen für Ökosystemleistungen und biogeochemische Kreisläufe sind Gegenstand intensiver Forschung am GEOMAR. Die Verschmutzung der Meere betrifft das gesamte Ökosystem, insbesondere das Thema „Müll im Meer“ rückt immer stärker in den Fokus. Hier geht es zum einen um die direkte Aufnahme von Rückständen, aber auch um Giftstoffe, die sich auf mikroskopisch kleinen Plastikpartikeln ansiedeln oder in ihnen enthalten sind und so in die Nahrungskette gelangen. Bei all diesen Fragestellungen steht auch im Raum, inwieweit das marine Ökosystem durch evolutionäre Entwicklung in der Lage ist, sich an die veränderten Bedingungen anzupassen. Wer gewinnt, wer verliert? Wie wird das marine Ökosystem der Zukunft aussehen? Neben den Forschungsbereichen Marine Biogeochemie (FB 2) und Marine Ökologie (FB 3) am GEOMAR sind an den Untersuchungen unter anderen auch Expertinnen und Experten für Ökonomie und Seerecht der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel beteiligt.

WEITERE INFOS ZUM THEMA

- **Menschlicher Einfluss auf marine Ökosysteme:** www.geomar.de/58
- **Lebensraum Ozean:** www.geomar.de/239

▲ **Bergung eines Karbonatblocks im Pazifik:** Solche massiven Karbonate sind wichtige Archive um einstige Vorkommen von Methan und Methanhydraten im Meeresboden zu rekonstruieren und dadurch Rückschlüsse auf natürliche Bildungs- und Abbauprozesse zu ziehen. Foto: Bernd Grundmann

Mineralische Rohstoffe

Die Möglichkeit einer Nutzung der mineralischen Rohstoffe der Tiefsee wird bis zum Ende dieses Jahrhunderts stark an Bedeutung gewinnen: Können Massivsulfide, Kobaltkrusten und Manganknollen zukünftig helfen, den wachsenden Bedarf an Metallen zu decken? Wie groß sind die globalen Vorkommen wirklich? Ist eine umweltverträgliche Gewinnung möglich? Foto: Manganknollen auf dem Meeresboden im Pazifik, GEOMAR

BIOLOGISCHE, MINERALISCHE UND ENERGETISCHE ROHSTOFFE

Wie können wir die Ressourcen des Meeres umweltverträglich nutzen?

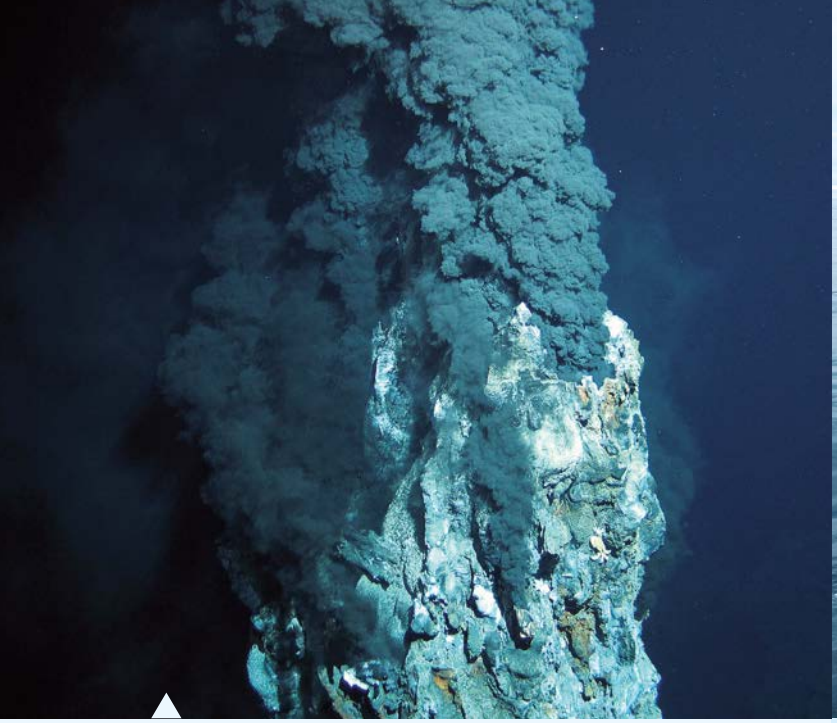
3

Gashydrate

Das brennende Eis aus dem Meeresboden ist ein potentieller Energieträger der Zukunft. Das in ihm enthaltene Methan ist hier rund 160-fach höher konzentriert als in seinem Zustand als Erdgas. Gashydrate kommen häufig in Meeressedimenten an den Kontinenträndern vor. Kann man diesen fossilen Energierohstoff sicher und umweltverträglich nutzen? Am GEOMAR werden dazu Möglichkeiten der Erdgasförderung bei gleichzeitiger Speicherung von Kohlendioxid untersucht. Foto: Science Party SO174

Medizin aus dem Meer

Können uns marine Wirkstoffe helfen, schwere Krankheiten wie Krebs wirksam zu bekämpfen? Verbergen sich im Meer Wirkstoffe, aus denen sich neue Antibiotika entwickeln lassen, die auch gegen multiresistente Keime wirksam sind? Forscherinnen und Forscher des GEOMAR suchen nach marinen Wirkstoffen in allen Weltmeeren, untersuchen ihre Wirksamkeit und kultivieren sie für Anwendungen in der Pharma-, der Kosmetik- und der Nahrungsmittelindustrie. Foto: Sieg/Nölting



Schwarzer Raucher im Atlantik: Während des Aufstiegs durch den Meeresboden sind die Metalle in dem heißen Fluid gelöst und farblos. Erst durch den Kontakt mit dem kalten Meerwasser werden die Metalle ausgefällt und färben die austretende Lösung schwarz. Foto: ROV-Team, GEOMAR

Augen und Arme in der Tiefsee: Ferngesteuerte Tiefseeroboter wie das ROV KIEL 6000 ermöglichen eine zielgenaue Erkundung und Erprobung von Rohstofflagerstätten, wie zum Beispiel Hydrothermalsysteme. Foto: Bernd Grundmann

20

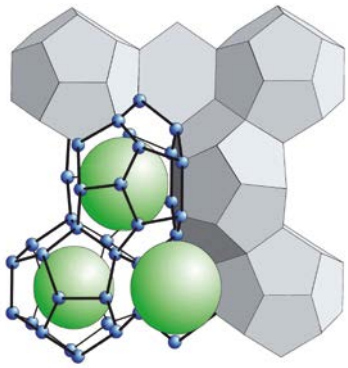
Chancen und Risiken mariner Rohstoffgewinnung

Im Ozean verbirgt sich eine Vielzahl von Rohstoffen, wobei die genauen Mengen und Standorte noch weithin unbekannt sind. Dies liegt zum einen an ihrer Größe (mehr als 70 Prozent des Planeten sind mit Meerwasser bedeckt) aber auch an der Unzugänglichkeit der Ozeane (die mittlere Wassertiefe liegt bei 3.800 Metern). Vielversprechende Funde gibt es bereits. Neben der Suche nach neuen Vorkommen ist die Abschätzung der Größe für eine wirtschaftliche Nutzung von großer Bedeutung. Daneben sind Strategien zum Erhalt und Schutz der oft einzigartigen und fragilen Ökosysteme in den Rohstoffregionen in der Tiefsee notwendig.

Es begann vor einigen Jahrzehnten mit Manganknollen: kartoffelgroßen, mineralhaltigen Brocken, die man in der Tiefsee findet. Dass sie noch nicht abgebaut wurden, liegt zum einen am sehr hohen Aufwand und den damit verbundenen Kosten, zum anderen am Fehlen von geeigneten, umweltverträglichen Abbaumethoden. Am GEOMAR steht jedoch eine andere Form von mineralischen Rohstoffen im Zentrum des Interesses: die sogenannten Massivsulfide. Diese werden an Hydrothermalquellen am Meeresboden, sogenannten „Schwarzen Rauchern“, gebildet. Aus ihren Schloten dringt eine bis zu 400 Grad heiße, wässrige Erzlösung aus dem Erdinnern hervor. Bedingt durch die starke Abkühlung beim Kontakt mit dem umgebenden Meerwasser fallen aus der Lösung Mineralien aus und bilden Vorkommen, die reich an verschiedenen Metallen wie Kupfer und Zink, aber auch Gold und Silber sind. Bisher sind etwa 300 solcher Vererzungen bekannt, doch nur ein Bruchteil der meist an ozeanischen Rücken liegenden Vorkommen wurde bisher systematisch und quantitativ untersucht. Zu ihrer Erforschung werden am GEOMAR verschiedene Techniken eingesetzt: Autonome Tiefseedrohnen erfassen die Morphologie des Meeresbodens in höchster Auflösung, ferngesteuerte Tiefseeroboter nehmen zielgenau Proben aus bis zu 6.000 Metern Tiefe, speziell entwickelte autonome Tiefseelaboratorien führen Langzeitbeobachtungen physikalischer, chemischer und biologischer Parameter durch und komplexe seismische Methoden geben Aufschluss über die Struktur des Ozeanbodens und ermöglichen so Rückschlüsse

90 Prozent aller Großfische sind bereits aus den Weltmeeren verschwunden: Überfischung gefährdet langfristig die Existenz vieler Fischbestände und damit auch die Welternährung. Foto: Blauflossen-Thunfische in schwimmenden Mastkäfigen, Solvin Zankl

Im GEOMAR Zentrum für Marine Biotechnologie, GEOMAR-Biotech werden marine Proben auf ihre Abwehrstoffe untersucht. In aufwändigen Verfahren wird die Wirksamkeit dieser Substanzen getestet. Foto: Michael Zapf



Molekularstruktur von Gashydraten: Unter bestimmten Druck- und Temperaturverhältnissen bilden Wassermoleküle (blau) Käfige, in denen sie Methanmoleküle (grün) einschließen. Grafik: Jens Greinert, GEOMAR

auf die geologische Beschaffenheit des Untergrundes.

Aber auch andere Rohstoffe, wie das in sogenannten Gashydraten gebundene Methan, werden erforscht. Einerseits stellen die Gashydrate eine potentielle Energiequelle dar, andererseits sind sie durch ihre große Treibhauswirkung eine mögliche Gefahr für unser Klima. Neben der Erkundung und Quantifizierung dieser unkonventionellen Erdgasvorkommen bilden die Entwicklung und Erprobung einer neuartigen Abbautechnologie einen Schwerpunkt der Arbeiten am GEOMAR. Im Rahmen eines langfristig angelegten Großprojektes mit vielen Partnern aus Wissenschaft und Industrie wird derzeit an einem Verfahren gearbeitet, um Gashydrate aus Sedimentschichten zu lösen und gleichzeitig Kohlendioxid in die Lagerstätte einzubringen und dies dort in fester Form zu speichern.

Doch nicht nur am Meeresboden, sondern auch in der Wassersäule finden sich Rohstoffe, beispielsweise die am oberen Ende der marinen Nahrungskette stehenden Fische. Sie sind mittlerweile selbst in den entlegensten Winkeln der Ozeane und in großen Wassertiefen überfischt. Noch kann die globale Fangmenge durch steigenden Aufwand konstant gehalten werden – ein Raubbau auf Zeit, wenn man nicht dazu übergeht, Fischbestände nachhaltig zu bewirtschaften. Am GEOMAR wurden dazu interdisziplinäre Ansätze entwickelt, mit dem Ergebnis, dass ein höherer Ertrag langfristig möglich ist, dafür aber eine Regeneration und nachhaltige Nutzung der Bestände notwendig wäre.

Zu den biologischen Rohstoffen der Meere zählen auch Organismen, die Abwehrstoffe in sich tragen, welche für medizinische Anwendungen interessant sein können. Die Suche nach marinen Wirkstoffen ist dabei nicht an spezielle Meeresgebiete gebunden. Ob vor der Haustür in der Kieler Förde oder in der Tiefsee der Antarktis, überall finden sich solche Stoffe. Im GEOMAR Zentrum für Marine Biotechnologie, GEOMAR-Biotech werden entsprechende Moleküle von marinen Algen, wirbellosen Meerestieren oder Mikroorganismen isoliert, chemisch charakterisiert und ihre Wirksamkeit getestet. Wirkstoffproduzierende Mikroorganismen können in großem Umfang kultiviert werden. Ein Ziel ist unter anderen die Verwendung solcher Wirkstoffe durch pharmazeutische Unternehmen.

WEITERE INFOS ZUM THEMA

- **Marine Ressourcen:** www.geomar.de/59
- **Rohstoffe aus dem Ozean:** www.geomar.de/240

4 Wie können wir Naturgefahren aus dem Meer frühzeitig erkennen?

Erdbeben

Dieses Hochhaus hat dem Erdbeben in der Region Maule am 27. Februar 2010 nicht standgehalten. Mit einer Stärke von 8,8 auf der Richterskala war es das stärkste Erdbeben in Chile seit dem verheerenden großen Beben von 1960 und weltweit das sechststärkste je gemessene. Seine Ursache lag etwa 35 Kilometer tief unterhalb des Meeresbodens in der südamerikanischen Subduktionszone: Dort schiebt sich die Nazca-Platte unter die Südamerikanische Platte und verursacht extreme Spannungen. Foto: Bernd Grundmann

Tsunamis

Submarine Erdbeben mit vertikalem Versatz können die Wassersäule so stark erschüttern, dass sich Wellen rasch über große Entfernungen ausbreiten und in flachen Küstenbereichen dann stark auftürmen. Diese sogenannten Tsunamis können verheerende Folgen haben. Die Welle, die nach dem Erdbeben in der Region Maule den Hafen der Stadt Concepción erreichte, hatte eine Höhe von vier bis fünf Metern und spülte viele Boote hunderte von Metern an Land. Foto: NOAA/NGDC, Walter D. Mooney, U.S. Geological Survey

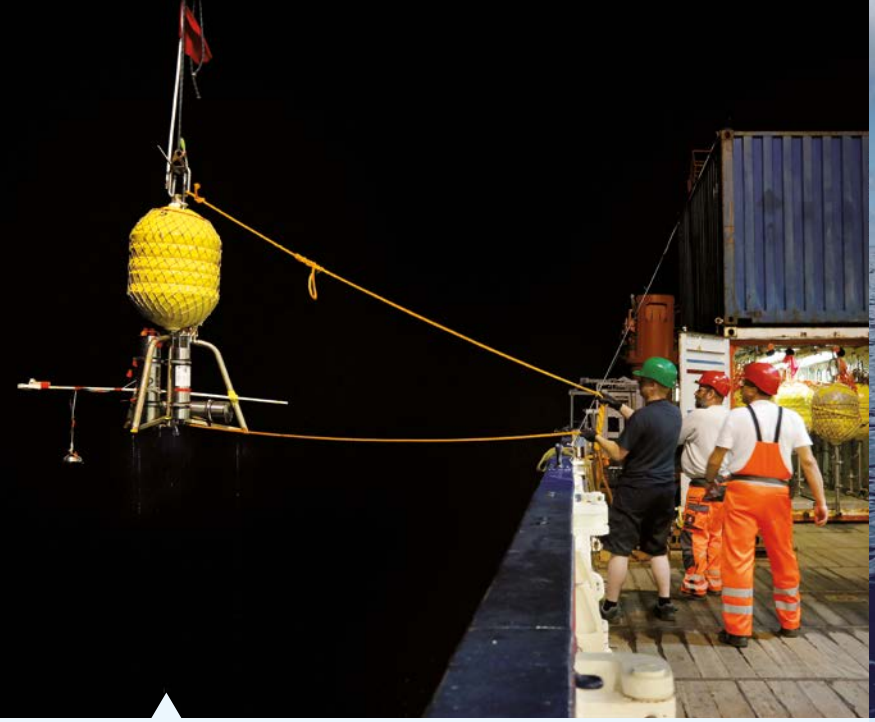
23

Vulkanausbrüche

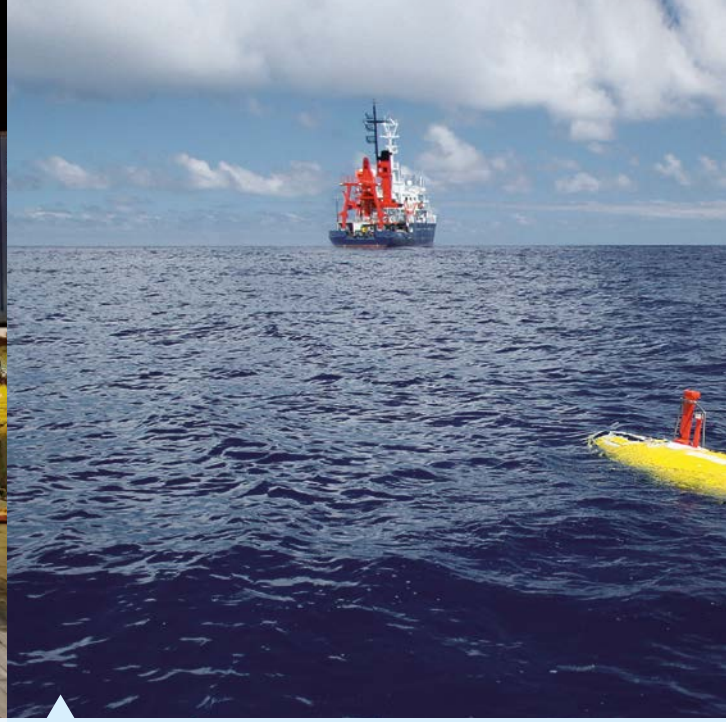
Geophysikalische Untersuchungen in der Straße von Messina mit dem Forschungsschiff METEOR während einer Eruption des Vulkans Ätna. Vulkanische Aktivitäten gibt es sowohl an Land wie unter Wasser. Letztere bleiben oft unentdeckt, bis sie die Wasseroberfläche erreichen und neue Inseln entstehen. Vulkanische Eruptionen können durch Ausstöße von Lava, Gas und Asche erhebliche überregionale Auswirkungen haben, wie zum Beispiel auf den Flugverkehr, und sogar Klimaveränderungen auslösen. Foto: Sebastian Krastel-Gudegast, CAU Kiel

Submarine Hangrutschungen

Blick auf die 320 km lange Abbruchkante der Storegga Rutschung vor Norwegen. Die größten bekannten Ereignisse dieser Art befinden sich jeweils an passiven Kontinentalrändern. Submarine Hangrutschungen können um ein vielfaches größer sein als Rutschungen an Land. Die dadurch unter Wasser ausgelösten Massenverlagerungen können zur Zerstörung von Kommunikationskabeln, Pipelines und Bohrinseln führen oder Tsunamis generieren, die aufgrund der Nähe zur Küste eine besondere Gefahr darstellen. Grafik: Christian Berndt, GEOMAR



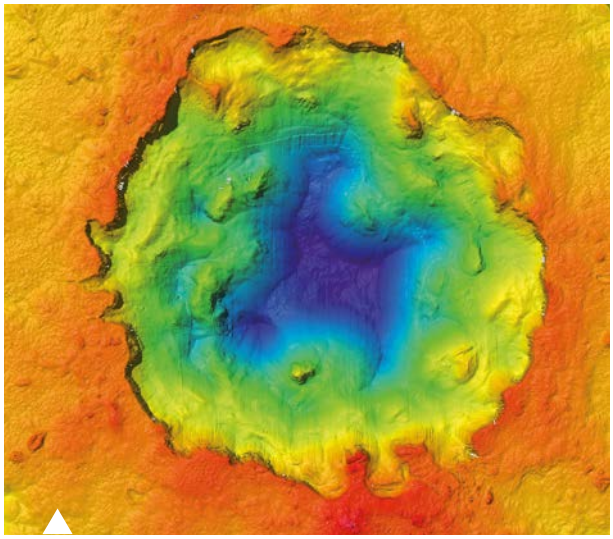
Ozeanbodenseismometer werden traditionell für geophysikalische Untersuchungen des Meeresbodens genutzt. Bei Datenübermittlung in Echtzeit können sie aber auch als Teil eines Tsunamifrühwarnsystems dienen und so helfen, Menschen in Küstengebieten rechtzeitig vor verheerenden Überflutungen zu warnen. Foto: Robert Kurzawski, GEOMAR



Das autonome Unterwasserfahrzeug ABYSS kann in bis zu 6.000 Metern Tiefe hochauflösende, dreidimensionale Karten des Meeresbodens erstellen, um so einen detaillierten Einblick in Strukturen am Meeresboden zu geben. Foto: AUV-Team, GEOMAR

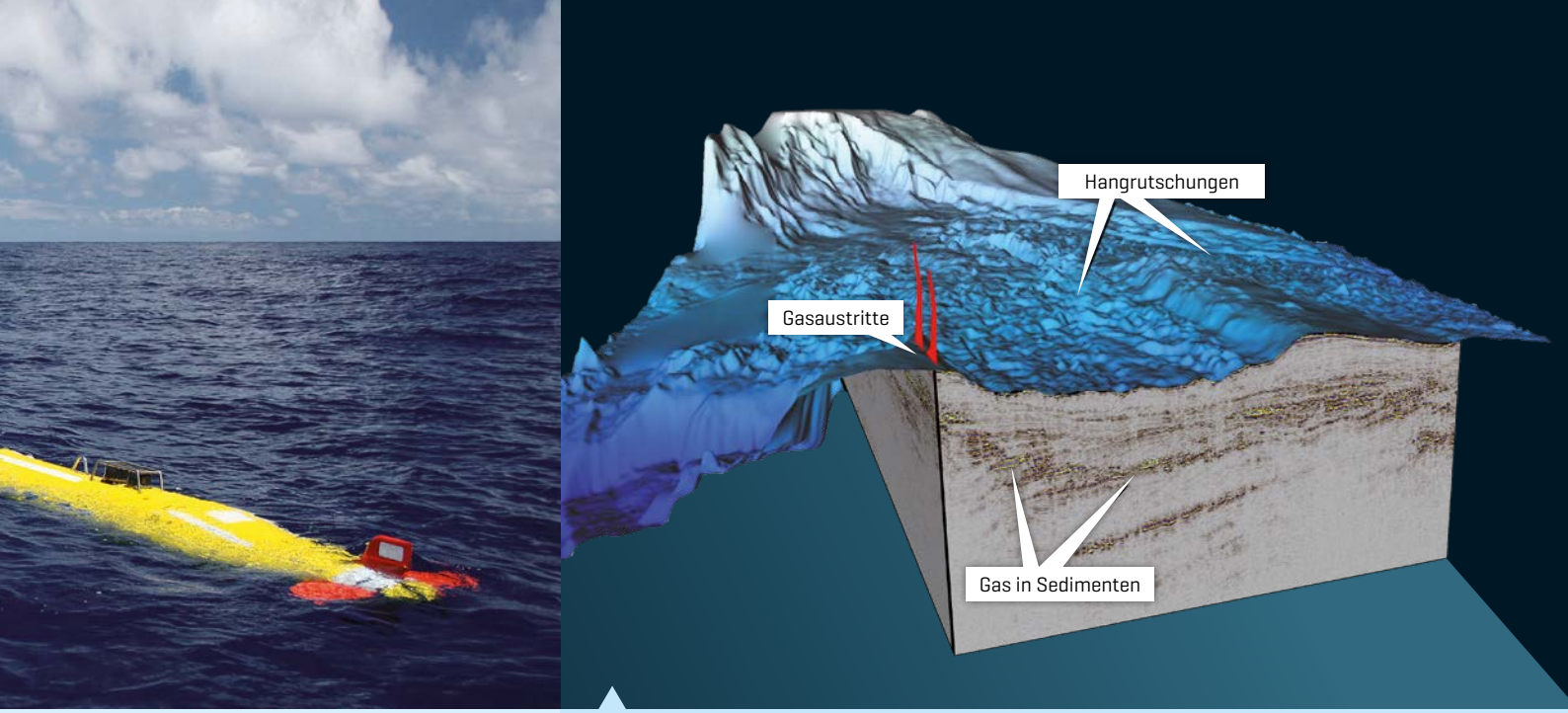
Am Puls der Erde: Naturkatastrophen verstehen

So heißt ein Buch, das zum Abschluss eines langjährigen Forschungsprojekts am GEOMAR entstanden ist. Der Titel umreißt, worum es in diesem Themenfeld geht: Die Erde ist ein dynamischer Körper, der ständigen Veränderungen unterworfen ist. An mittelozeanischen Rücken entsteht neuer Ozeanboden, der in Tiefseegräben unter die leichteren Kontinentalplatten abgleitet. Diese Prozesse sind verbunden mit Erd- und Seebeben sowie Vulkanismus – Naturgefahren, die in vielen Teilen der Erde immer wieder katastrophale Folgen haben. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am GEOMAR versuchen die Prozesse der Plattenbewegungen besser zu verstehen, um daraus Risikoabschätzungen für Küstengebiete zu erstellen und Menschen möglichst frühzeitig vor Naturkatastrophen zu warnen.

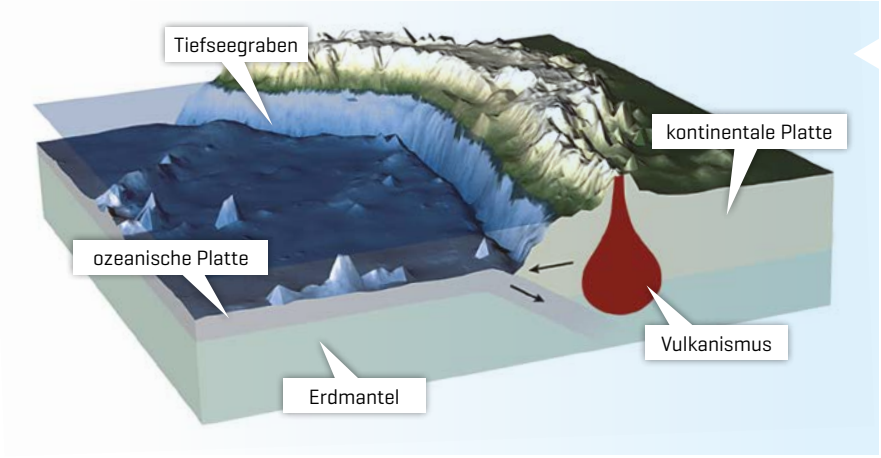


Dreidimensionale Aufnahme des Franklin Seamounts im Pazifik, erstellt mit dem Fächerecholot des AUV ABYSS. Grafik: AUV-Team, GEOMAR

Hundert Jahre dauert ein sehr langes Menschenleben - in der Geologie sind das jedoch nur Wimpernschläge. In dieser Disziplin wird in Jahrtausenden bis Jahrmillionen gedacht. Im Verlauf dieser Zeiträume hat sich der Planet Erde permanent selbst umgestaltet, denn die Erdoberfläche ist ständigen Veränderungen unterworfen. Getrieben von Konvektionsströmen im heißen Erdinneren driften dünne Erdplatten an der Oberfläche, treiben auseinander, stoßen zusammen oder werden untereinander geschoben. Viele dieser Prozesse



3D-Seismik des Meeresbodens vor der Ostküste Neuseelands: Seismische Verfahren ermöglichen Rückschlüsse auf geologische Störungen. Neue, innovative Methoden, die am GEOMAR genutzt werden, ermöglichen nun auch dreidimensionale Einblicke in den Meeresboden. Grafik: Sebastian Krastel-Gudegast, CAU Kiel



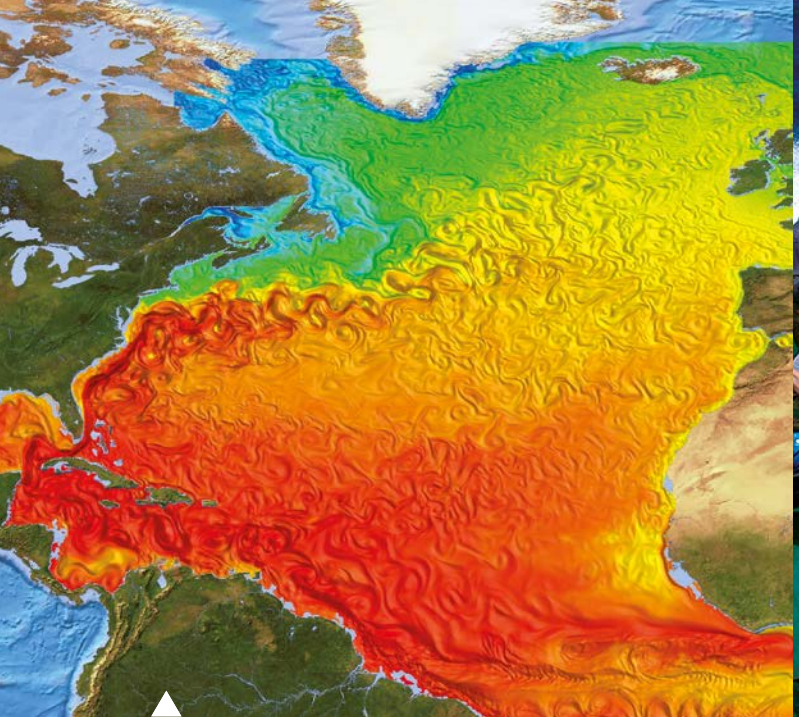
Eine Subduktionszone ist ein Bereich auf der Erde, an dem sich eine ozeanische Platte unter eine kontinentale Platte schiebt. Die Gesteine der abtauchenden Erdplatte gelangen zurück ins Erdinnere, während sich auf der oberen Platte Gebirge und Inselbögen formieren. Dabei bilden sich Tiefseegräben, die über 10.000 Meter hinab reichen können. Mit der abtauchenden Ozeanplatte gelangt Meerwasser in die Subduktionszone. Das Wasser wird wieder freigesetzt und lässt Schmelzen entstehen, die zu Vulkanismus führen. Grafik: Robert Simmon, NASA GSFC

laufen im Verborgenen, tief unter der Meeresoberfläche ab, aber die Auswirkungen in Form von Erdbeben und vulkanischen Eruptionen beeinträchtigen viele Menschen, insbesondere in Küstengebieten. Um den Ursachen auf die Spur zu kommen, setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des GEOMAR oft ihre Geräte in den entlegensten Winkel der Ozeane ein.

Autonome wie ferngesteuerte Tiefseeroboter, Ozeanbodenseismometer und Langzeitobservatorien sind nur einige der innovativen Beobachtungsgeräte, die für die Erkundung und Überwachung des Meeresbodens genutzt werden. Informationen werden über direkte Probennahmen oder auch durch indirekte Verfahren wie Seismik oder Hydroakustik generiert und in der Zusammenschau interpretiert. Zusätzlich helfen auch theoretische Studien mit numerischen Modellen, langzeitliche Prozesse besser zu verstehen. Bereits heute ermöglicht die Analyse von Beobachtungsdaten in einigen Meeresgebieten das Gefährdungspotential durch schwere Erdbeben oder Vulkanausbrüche zu quantifizieren. Eine genaue zeitliche Eingrenzung solcher Ereignisse ist derzeit jedoch kaum möglich.

WEITERE INFOS ZUM THEMA

Plattentektonik und marine Naturgefahren: www.geomar.de/60



Temperatur und Oberflächenströmung in einem hochauflösenden Modell des Nordatlantiks. Quelle: GEOMAR

Biogeochemisches Observatorium: BIGO-Lander werden für die Untersuchung von Austauschprozessen zwischen Sediment und Wassersäule eingesetzt. Foto: GEOMAR

FB 1

FORSCHUNGSBEREICH 1

OZEANZIRKULATION UND KLIMADYNAMIK

FORSCHUNGSEINHEITEN

- MARITIME METEOROLOGIE
- PALÄO-OZEANOGRAPHIE
- PHYSIKALISCHE OZEANOGRAPHIE
- THEORIE UND MODELLIERUNG

Klimaschwankungen können von außen angeregt oder intern durch atmosphärische und ozeanische Vorgänge hervorgerufen werden. Die Sedimente des Meeresbodens und die darin überlieferten Organismen zeichnen diese auf und sind daher wichtige marine Klimaarchive. Um vergangene und zukünftige Klimaschwankungen zu erforschen, bedarf es der Entwicklung theoretischer Konzepte, ozeanographischer, geologischer und meteorologischer Messungen auf See, analytischer Untersuchungen im Labor und Computersimulationen mit komplexen Modellen des Erdsystems.

Mehr: www.geomar.de/forschen/fb1/ueberblick/

FB 2

FORSCHUNGSBEREICH 2

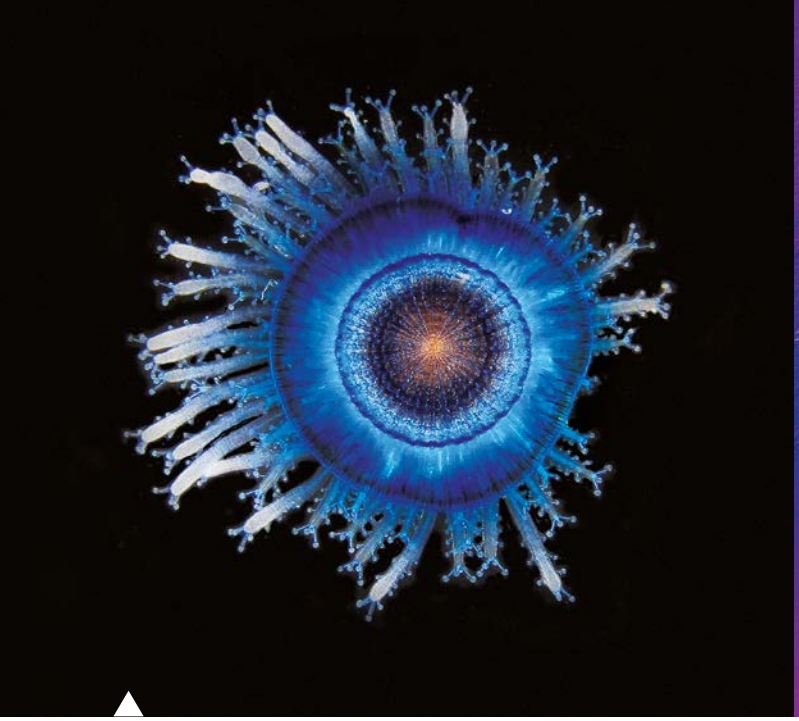
MARINE BIOGEOCHEMIE

FORSCHUNGSEINHEITEN

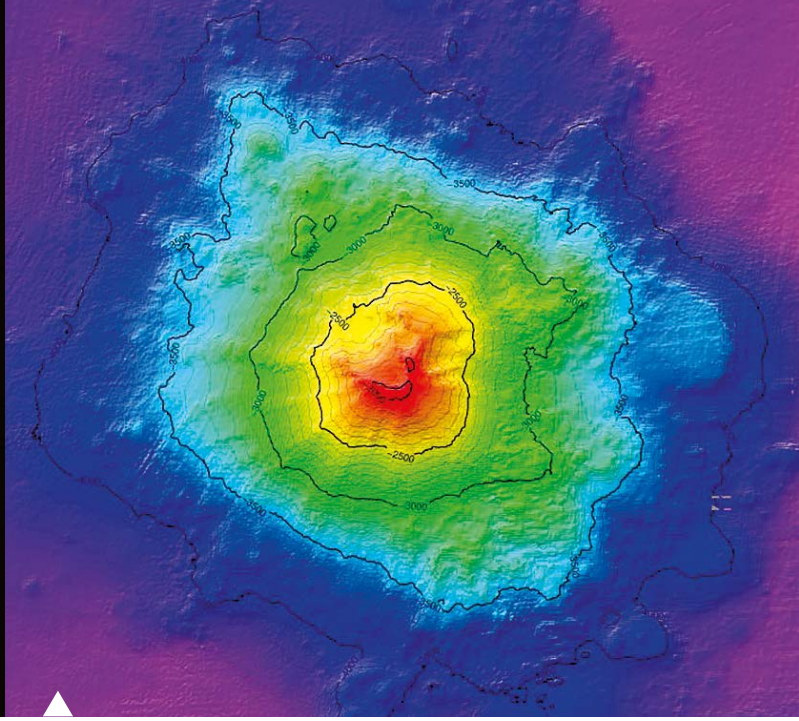
- BIOGEOCHEMISCHE MODELLIERUNG
- BIOLOGISCHE OZEANOGRAPHIE
- CHEMISCHE OZEANOGRAPHIE
- MARINE GEOSYSTEME

Die Arbeitsschwerpunkte dieses Forschungsbereichs sind die biologischen, chemischen und physikalischen Umsätze wichtiger chemischer Substanzen und deren Isotope in den Ozeanen und die Wechselwirkungen mit dem Meeresboden und der Atmosphäre. Schwerpunkte bilden dabei die Kohlenstoffflüsse von der Atmosphäre bis in den tiefen Ozean, die Ozeanversauerung, die sogenannten Sauerstoffminimumzonen sowie die Erforschung von Gashydraten.

Mehr: www.geomar.de/forschen/fb2/ueberblick/



15 mm große Strahlenqualle (*Porpita porpita*), gefunden während der FS METEOR Expedition M97 im tropischen Atlantik. Foto: Uwe Piatkowski, GEOMAR



Bathymetrische Karte eines Seamounts, aufgenommen mt dem Fächerecholot des Forschungsschiffs SONNE während der Expedition SO239. Visualisierung: Jens Greinert, GEOMAR

FB 3

FORSCHUNGSBEREICH 3

MARINE ÖKOLOGIE

FORSCHUNGSEINHEITEN

- EVOLUTIONSÖKOLOGIE MARINER FISCHE
- EXPERIMENTELLE ÖKOLOGIE
- MARINE MIKROBIOLOGIE
- MARINE NATURSTOFFCHEMIE

Die Reaktion mariner Ökosysteme auf globale Umweltveränderungen steht im Mittelpunkt. Fragen die dabei aufgeworfen werden sind: Wie funktioniert das Zusammenwirken verschiedener mariner Arten in sich verändernden Nahrungsnetzen? Wie werden Zusammensetzung, Vielfalt und Funktion von Ökosystemen durch externe Einflüsse beeinträchtigt? Welche Rolle spielt biologische Vielfalt für die Leistung von Lebensgemeinschaften? Kann schnelle evolutionäre Anpassung die negativen Effekte des globalen Wandels abmildern?

Mehr: www.geomar.de/forschen/fb3/ueberblick/

FB 4

FORSCHUNGSBEREICH 4

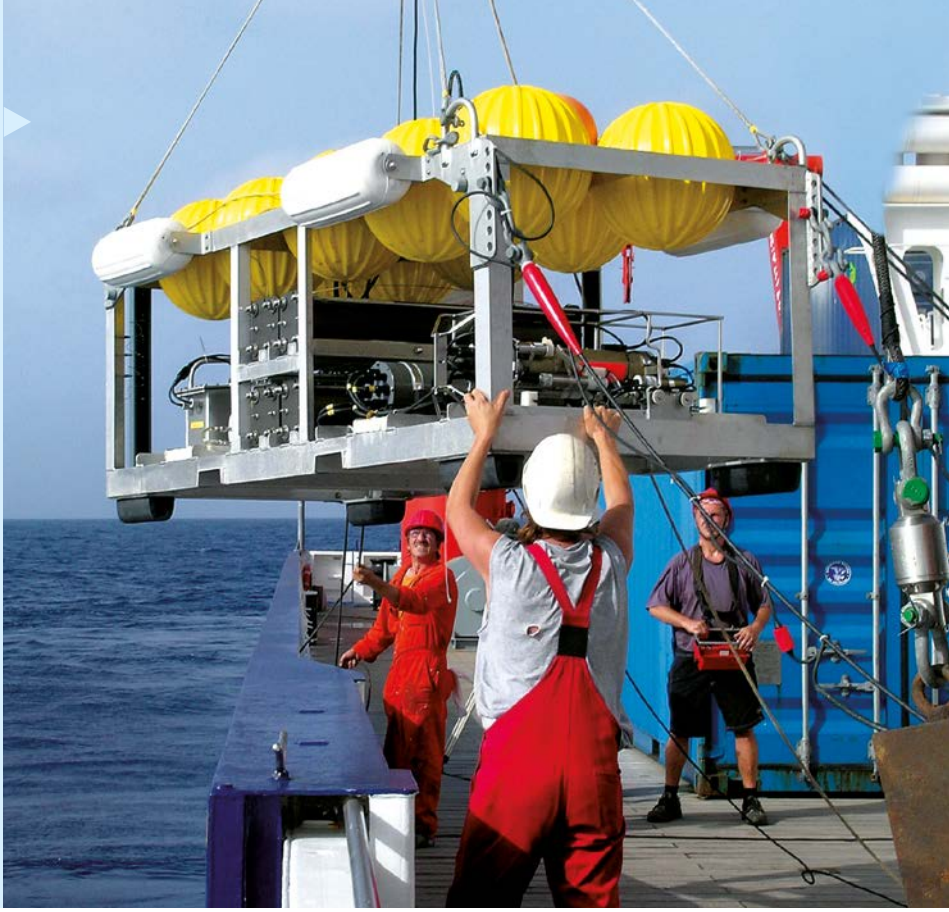
DYNAMIK DES MEERESBODENS

FORSCHUNGSEINHEITEN

- MAGMATISCHE UND HYDROTHERMALE SYSTEME
- MARINE GEODYNAMIK

Der Schwerpunkt der Arbeiten im FB 4 liegt auf der geologisch-geophysikalischen Untersuchung des Ozeanbodens und der Ränder der Ozeanbecken. Die Kernthemen umfassen Prozesse der Bildung, Entwicklung, Umwandlung und Subduktion des Meeresbodens sowie der damit verbundenen Wirkungen auf die Umwelt, zum Beispiel auf das Klima und die Entstehung von Naturgefahren. Zudem liegt ein Schwerpunkt auf der Untersuchung von Meeresbodenressourcen wie Gashydraten und polymetallischen Massivsulfiden.

Mehr: www.geomar.de/forschen/fb4/ueberblick/



Das Ocean Tracer Injection System (OTIS) ermöglicht die Markierung genau definierter Wassermassen. Dazu wird in bestimmten Tiefen ein Spurenstoff (Tracer) ausgebracht, welcher sich mit dem umgebenden Wasser vermischt und noch Jahre später nachgewiesen werden kann. Auf diese Weise können die Umlagerungsprozesse des Meerwassers besser verstanden werden. Foto: GEOMAR

SFB 754

Forschungsprojekte am GEOMAR

Neben der Grundfinanzierung erhält das GEOMAR auch Förderungen für eine Vielzahl von Forschungsprojekten. Diese stammen überwiegend von öffentlichen Forschungsförderern, wie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) oder der Europäischen Union. Darüber hinaus ist das GEOMAR in zwei langfristige Forschungsvorhaben eingebunden, die einen Horizont von mehr als zehn Jahren haben: den Sonderforschungsbereich 754 und den Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“

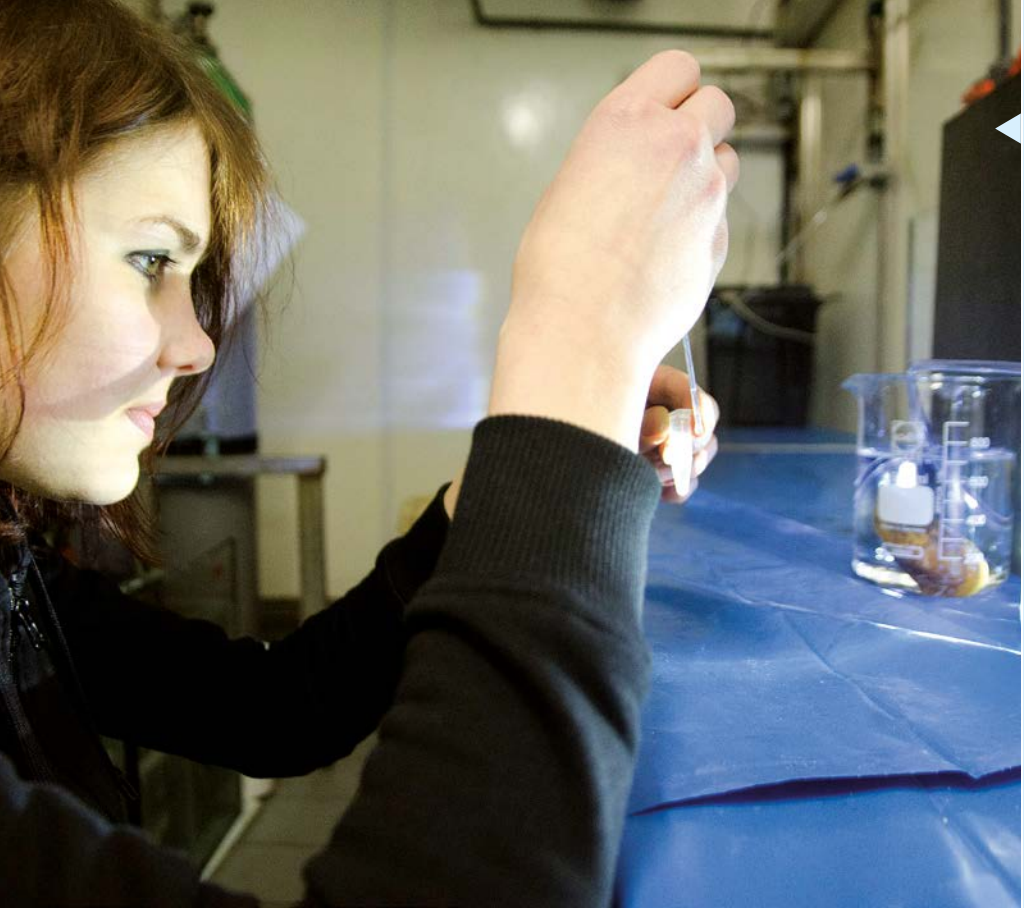
DFG-Sonderforschungsbereich 754

Der SFB 754: Klima - Biogeochemische Wechselwirkungen im tropischen Ozean erforscht die Änderungen des ozeanischen Sauerstoffgehalts, deren mögliche Auswirkung auf die Sauerstoffminimumzonen und die Folgen auf das globale Wechselspiel von Klima und Biogeochemie des tropischen Ozeans. Hierzu sollen folgende Kernfragen beantwortet werden: Wie reagieren die tropischen Sauerstoffminimumzonen auf Änderungen in Klima, Ozeanzirkulation und biologischer Produktion? Wie reagieren Senken und Quellen von Nährstoffen auf Veränderungen im Sauerstoffgehalt? Was sind die Größenordnungen, Zeitskalen, und wichtigsten Kontrollmechanismen von früheren, heutigen und zukünftigen Veränderungen im ozeanischen Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt?

Durch den SFB 754 wird ein besseres Verständnis für die Koppelung zwischen Klimavariabilität, Sauerstoffgehalt und Biogeochemie im tropischen Ozean erwartet. Dies soll eine genauere Vorhersage von zukünftigen biogeochemischen Veränderungen im Ozean und den damit verbundenen klimatischen Konsequenzen erlauben. Der SFB 754 verbindet die Untersuchung von klimatisch-biogeochemischen Wechselwirkungen und Sauerstoffschwellenwerten im heutigen Ozean mit solchen, die in der Vergangenheit gewirkt haben, und versucht, die Folgen für die Zukunft des Ozeans einzuschätzen.

Der SFB 754 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft seit 2008 finanziert. In dem Projekt arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Kiel, des GEOMAR und des Max-Planck-Instituts für Marine Mikrobiologie in Bremen zusammen.

Mehr: www.sfb754.de



Versuche mit Tiefseemuscheln der Art *Bathymodiolus azoricus* im Kiel Marine Organism Culture Center. Die im Rahmen des Exzellenzclusters "Ozean der Zukunft" etablierte Einrichtung unterstützt die Wissenschaft am GEOMAR und der Universität Kiel bei der Durchführung von komplexen Experimenten im Bereich der Marinen Ökologie. Die wichtigsten Schwerpunkte der unterstützten Projekte sind die Akklimatisierung und die Anpassung von Organismen an den Klimawandel und die Interaktionen von Mikroorganismen und vielzelligen Lebewesen. Foto: Jan Steffen, GEOMAR

ozean der zukunft
DIE KIELER MEERESWISSENSCHAFTEN

Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft"

Der Exzellenzcluster erforscht die Veränderungen der Ozeane in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft mit einem weltweit einmaligen Ansatz: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Meeresforschung, Wirtschaftswissenschaften sowie Medizin, Mathematik, Informatik, Jura und auch Gesellschafts- und Sozialwissenschaften bündeln ihr Fachwissen in insgesamt elf multidisziplinären Forschergruppen. Ihre Forschungsergebnisse fließen ein in nachhaltige Nutzungskonzepte und Handlungsoptionen für ein weltweites Management der Ozeane. Das Forschungsprogramm setzt sich dabei eine verstärkte Wissensintegration zum Ziel. Dabei soll das grundsätzliche Verständnis des Ozeans zu wissenschaftlich fundierten Vorhersagen und Szenarien führen, um — in engem Dialog mit Entscheidungsträgern — zu einem nachhaltigen Management der Meere beitragen zu können.

Der Exzellenzcluster unterstützt die Kieler Meeresforschung mit den Bereichen Wissenstransfer, Öffentlichkeitsarbeit und internationalen Aktivitäten, der Graduiertenschule ISOS und dem Postdoc-Netzwerk IMAP. Mit dem Cluster soll das Forschungsprofil der Meereswissenschaften weiter gestärkt und Kiel zu einem weltweit führenden Standort für interdisziplinäre und integrative Meeresforschung ausgebaut werden.

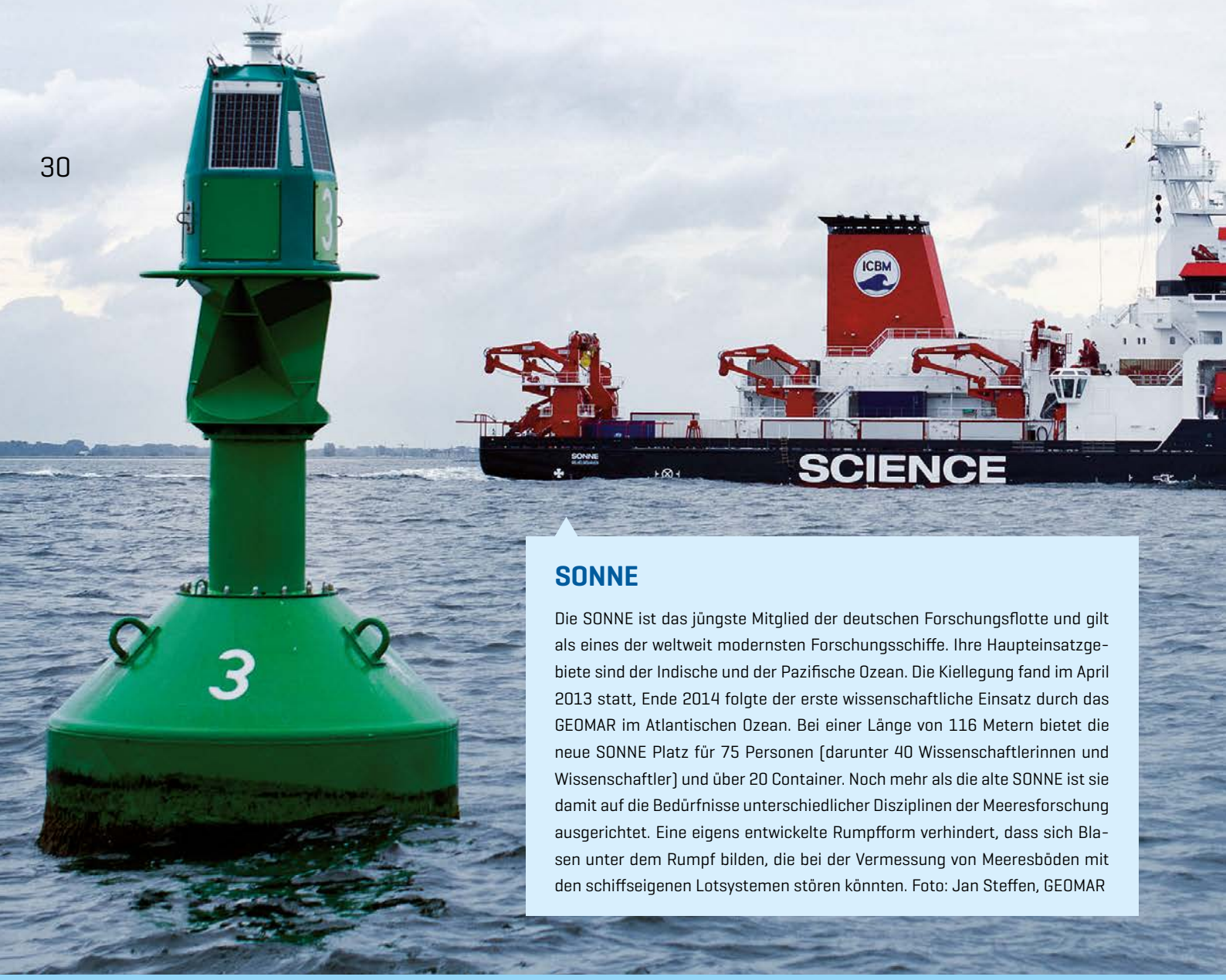
Das Forschernetzwerk wird von der Universität Kiel, dem GEOMAR, dem Institut für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule (MKHS) getragen und im Rahmen der Exzellenzinitiative von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Auftrag von Bund und Ländern gefördert.

Mehr: www.futureocean.org

„Future Ocean Dialogue", konzipiert vom Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft" und dem GEOMAR. Die gesamte Ausstellung findet Platz in nur einem Container. Ziel der internationalen Wanderausstellung ist es, aktuelle Fragen der Meeresforschung mit ihren interdisziplinären Lösungsansätzen zu vermitteln und gleichzeitig für den Forschungsstandort Deutschland und Kiel zu werben. Foto: Friederike Balzereit, Ozean der Zukunft

Global operierende deutsche Forschungsschiffe

Um die Meere vor Ort zu erkunden, sind Forschungsschiffe unentbehrlich. Die auf Expeditionen in allen Weltmeeren gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, die biologischen, physikalischen, geologischen und chemischen Prozesse im Meer besser zu verstehen, Strategien gegen die Folgen des Klimawandels zu entwickeln, die Ozeane wirtschaftlich effektiver und umweltschonender zu nutzen sowie vom Meer ausgehende Gefahren besser vorherzusagen. Die Meeresforschung ist den Prozessen in den Ozeanen mit innovativen Technologien auf der Spur: Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge, autonome Tiefseedrohnen, bemannte Tauchboote oder am Meeresboden verankerte Systeme zur Langzeiterfassung chemischer und physikalischer Daten. Auch sie werden von Forschungsschiffen aus eingesetzt. Eine moderne und leistungsfähige Forschungsflotte ist daher die Grundlage dafür, den vielfältigen Aufgaben bei der Erforschung der Meere gerecht zu werden.



SONNE

Die SONNE ist das jüngste Mitglied der deutschen Forschungsflotte und gilt als eines der weltweit modernsten Forschungsschiffe. Ihre Haupteinsatzgebiete sind der Indische und der Pazifische Ozean. Die Kiellegung fand im April 2013 statt, Ende 2014 folgte der erste wissenschaftliche Einsatz durch das GEOMAR im Atlantischen Ozean. Bei einer Länge von 116 Metern bietet die neue SONNE Platz für 75 Personen (darunter 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler) und über 20 Container. Noch mehr als die alte SONNE ist sie damit auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Disziplinen der Meeresforschung ausgerichtet. Eine eigens entwickelte Rumpfform verhindert, dass sich Blasen unter dem Rumpf bilden, die bei der Vermessung von Meeresböden mit den schiffseigenen Lotsystemen stören könnten. Foto: Jan Steffen, GEOMAR

MARIA S. MERIAN

Die MARIA S. MERIAN ist eine Universalplattform für wissenschaftliches Arbeiten auf See. Haupteinsatzgebiete des Schiffs sind der Nordatlantik und die angrenzenden Meere. Die MERIAN ist insbesondere für Forschungsarbeiten am Eisrand des Nordatlantiks gerüstet – sie kann Eis bis zu einer Dicke von 60 cm brechen und sich zwischen treibenden Eisschollen bewegen. Um die MERIAN präzise manövrieren zu können, wurde sie mit einem speziellen Antriebssystem ausgerüstet. Foto: Nico Augustin, GEOMAR

METEOR

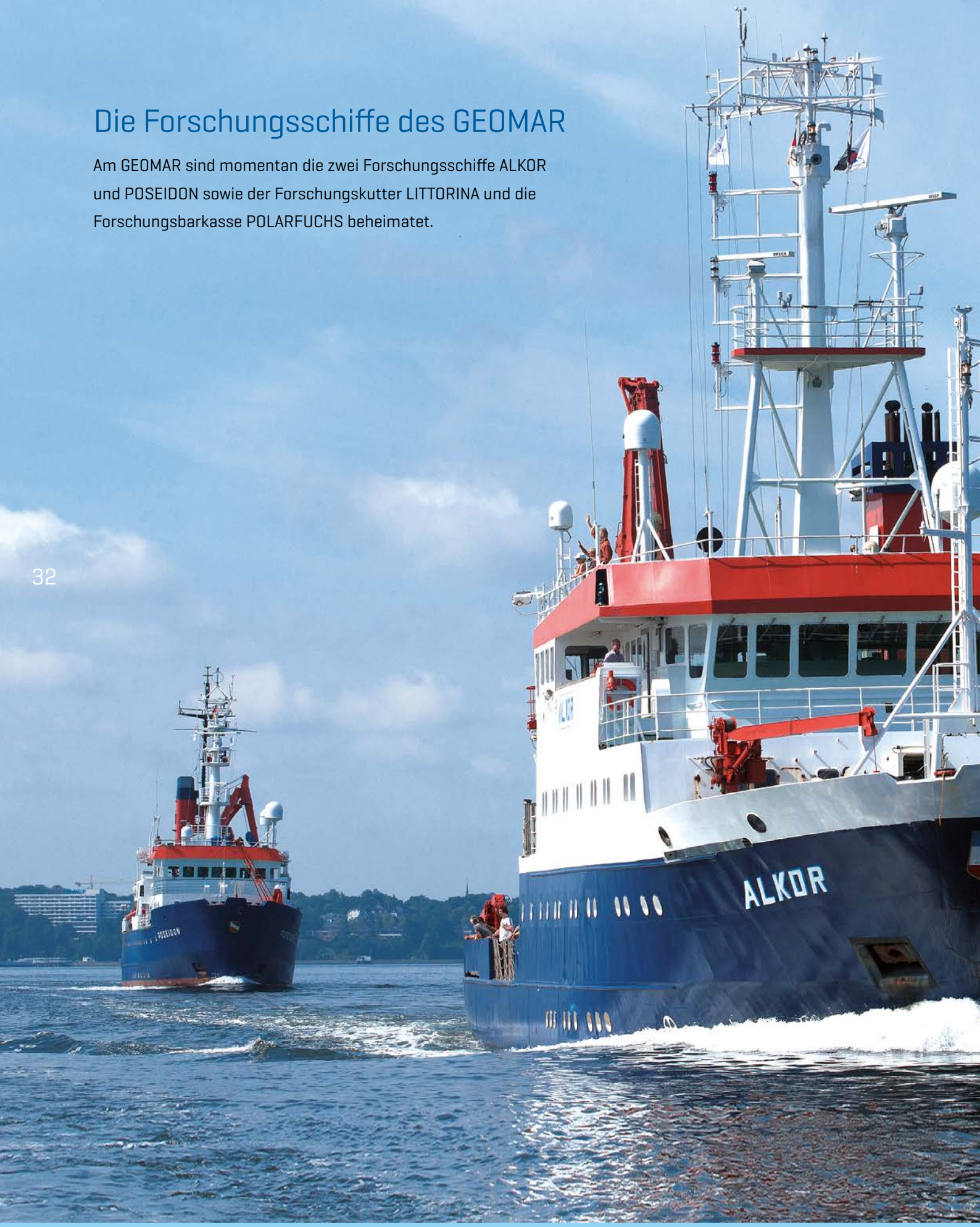
Die METEOR wird weltweit eingesetzt, deshalb spielt die internationale Kooperation von Forschergruppen im Expeditionsalltag eine wichtige Rolle. Auf den ersten 50 Expeditionen forschten bereits Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 68 Nationen an Bord des Schiffes. Die meisten Reisen fanden im Atlantik, im Mittelmeer und im Indischen Ozean statt. Die METEOR kann bis zu 50 Tage auf See operieren, ohne zwischendurch einen Hafen anlaufen zu müssen. Foto: Sven-Helge Didwischus, GEOMAR

POLARSTERN

Seit ihrer Jungfernfahrt 1982 hat sie zahlreiche Expeditionen in die Polarmeere unternommen. Dabei ist das Schiff etwa 320 Tage im Jahr auf See unterwegs. Als doppelwandiger Eisbrecher ist sie bei Temperaturen bis zu -50° C einsetzbar. Dank 20.000 PS Motorenleistung kann das Schiff anderthalb Meter dicke Eisschollen mit einer Geschwindigkeit von 5 Knoten durchfahren – dickeres Eis muss durch Rammen gebrochen werden. Gewöhnlich bereist die POLARSTERN im Südsommer die Antarktis und verbringt den Nordsommer in arktischen Gewässern. Foto: GEOMAR

Die Forschungsschiffe des GEOMAR

Am GEOMAR sind momentan die zwei Forschungsschiffe ALKOR und POSEIDON sowie der Forschungskutter LITTORINA und die Forschungsbarkasse POLARFUCHS beheimatet.



POSEIDON

Die 1976 gebaute POSEIDON zählt zur Kategorie der ozeanischen Forschungsschiffe. Das nach dem griechischen Gott des Meeres benannte Schiff wird hauptsächlich auf „großer Fahrt“ im Nordatlantik, Mittelmeer sowie im Schwarzen und Roten Meer eingesetzt. Die POSEIDON ist gut manövrierbar und liegt auch bei starkem Wind und Seegang gut im Wasser. Zu Beginn der 80er Jahre wurde das Schiff für Expeditionen zur Erforschung der Tiefsee aufgerüstet, in den Jahren 2010 und 2014 erfolgten Grundüberholungen. Foto: Jens Greinert, GEOMAR

LITTORINA

Die LITTORINA (Strandschnecke) ist ein Forschungskutter, der der Universität Kiel gehört und vom GEOMAR betrieben wird. Die LITTORINA wird hauptsächlich für „kleine Fahrt“ mit den Haupteinsatzgebieten Ostsee, Nordsee und Elbe-Weser-Mündung eingesetzt. Und das keineswegs im Schneckentempo: Das Schiff erreicht eine Geschwindigkeit von 10 Knoten (18 km/h). Der Forschungskutter ist für alle Disziplinen der Meeresforschung einsatzfähig. Foto: Bernd Brockmann

ALKOR

Die ALKOR ist ein regionales Forschungsschiff für alle Disziplinen. Das Fahrt- und Einsatzgebiet umfasst hauptsächlich die Ostsee sowie die Nordsee und die Küste vor Norwegen. Das 1990 gebaute Schiff verfügt über vier Labore, in denen unter anderem Luft-, Wasser- und Sedimentproben untersucht werden können. Primäre Forschungsdisziplinen der ALKOR sind die Ozeanographie, Biologie, Fischereibiologie, Geophysik sowie Geologie. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR

POLARFUCHS

Der POLARFUCHS wurde 1982 als Beiboot des Forschungsschiffs POLARSTERN gebaut. Nach 14 Jahren im Eis nahm man ihn von Bord und baute ihn für neue Aufgaben im küstennahen Bereich der Ostsee um. 1997 nahm die Forschungsbarkasse ihren Betrieb am GEOMAR auf. Sie wird heute vor allem für Belange der ökologischen Forschung und Lehre in der Kieler Förde, der Kieler und Eckernförder Bucht, rund um Fehmarn sowie im Nord-Ostsee-Kanal und in der Schlei eingesetzt. Foto: GEOMAR

TAUCHBOOT JAGO

JAGO - so heißt Deutschlands einziges bemanntes Forschungstauchboot. Es hat eine maximale Tauchtiefe von 400 Metern und wird zur Erkundung und Erforschung aquatischer Systeme und Lebensräume eingesetzt. Das Tauchboot ist unter Wasser frei beweglich und nicht durch ein Kabel mit der Oberfläche verbunden. JAGO bietet Platz für zwei Personen, weiträumigen Ausblick durch zwei große Acrylglasfenster und vielfältige Möglichkeiten für detaillierte Beobachtung und Beprobung mit Hilfe eines Greifarmes. Durch ein relativ geringes Gewicht von nur drei Tonnen und kompakte Maße ist JAGO von nahezu jedem Oberflächenschiff mit ausreichender Krankapazität (fünf Tonnen) weltweit einsetzbar. Foto: JAGO-Team, GEOMAR

ROV KIEL 6000

Dieses ferngesteuerte Fahrzeug ist einer der modernsten Tauchroboter für wissenschaftliche Fragestellungen weltweit. Mit einer Tauchtiefe von bis zu 6.000 Metern ist KIEL 6000 in der Lage, 95 Prozent des weltweiten Meeresbodens zu erreichen. Es konnte bisher bei verschiedenen Expeditionen zu heißen Quellen auf dem Mittelatlantischen Rücken sowie zu vulkanischen Regionen bei den Kapverdischen Inseln, in der Karibik und im Pazifik erfolgreich eingesetzt werden. Auch CO_2- und Methanfelder in der Nordsee, aktive „Cold Seeps" im Pazifischen und Arktischen Ozean, sowie Seamounts und Rohstoffvorkommen im Indischen Ozean waren bereits Einsatzgebiete für ROV KIEL 6000. Foto: ROV-Team, GEOMAR

Raumschiffe für die Tiefsee

Mehr als die Hälfte der Erdoberfläche liegt unterhalb von 3.000 Metern Wassertiefe, dennoch ist bisher nur ein kleiner Teil des Meeresbodens im Detail bekannt. Die Erforschung der Tiefsee erfordert den Einsatz von Spitzentechnologie und kann mit der Weltraumforschung verglichen werden: Hoher Druck, niedrige Temperaturen und vollständige Dunkelheit stellen große Ansprüche an die Forschungsgeräte. Um mehr über die Tiefsee zu erfahren, werden zunehmend hochmoderne robotische Systeme wie ferngesteuerte oder autonome Unterwasserfahrzeuge eingesetzt.

ROV PHOCA

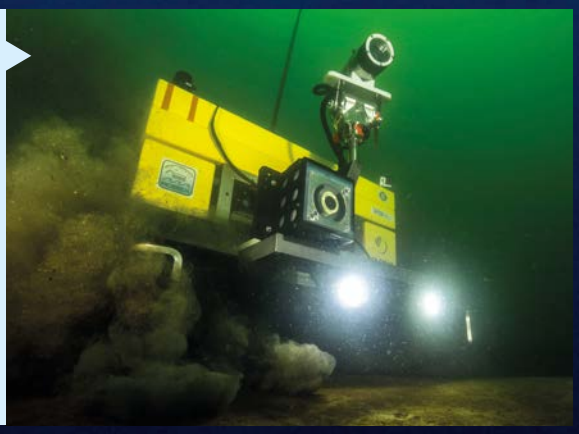
ROV PHOCA ist wie ROV KIEL 6000 ein über ein stahlarmiertes Glasfaser/Kupferkabel ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug, das zusätzlich zu seinen zwei Greifarmen und diversen Kameras mit weiteren wissenschaftlichen Geräten und Sensoren ausgerüstet werden kann. Es wird aus einem Kontroll-Container an Bord des jeweiligen Forschungsschiffes von zwei Personen gesteuert. PHOCA ist deutlich kleiner und leichter als sein „großer Bruder" und kann deshalb auf den Schiffen eingesetzt werden, für die KIEL 6000 zu groß ist. Mit PHOCA ist es möglich, Geologie, Geophysik, Geochemie, Vulkanologie, Chemie und Biologie von den Randmeeren bis hin zu Meerestiefen von 3.000 Metern zu erforschen. Foto: Peter Linke, GEOMAR

AUV ABYSS

Das stromlinienförmige autonome Unterwasserfahrzeug AUV ABYSS kann mit Hilfe seiner verschiedenen Echolote größere Flächen des Meeresbodens hochauflösend kartieren. Zusätzlich kann es mit seinen Sensoren physikalische Daten aus der Wassersäule sammeln. Sein Name bezieht sich auf das sogenannte Abyssal, ein Begriff, der den Meeresboden zwischen 2.000 und 6.000 Metern Tiefe umfasst. In diesen Tiefen gleitet es mit bis zu vier Knoten dicht über den Meeresboden, wobei es Hindernissen selbstständig ausweicht. Vor jedem Einsatz wird AUV ABYSS mit Ziel, Kurs und Aufgabe programmiert. Bis zu 20 Stunden dauert ein Tauchgang, dann taucht ABYSS selbständig wieder auf und kann geborgen werden. Foto: Nico Augustin, GEOMAR

MANSIO-VIATOR

Um die Einsatzmöglichkeiten von autonomen Tiefsee-Raupenfahrzeugen, sogenannten Crawlern, zu erweitern, wird am GEOMAR im Rahmen der Helmholtz-Allianz ROBEX das MANSIO-VIATOR System entwickelt. Es benötigt im Gegensatz zu existierenden Lösungen keine feste Kabelverbindung für die Energieversorgung und die Datenübertragung. Nachdem das System am Meeresboden abgesetzt wird, ist der Crawler VIATOR (lat.: der Reisende) in der Lage, selbständig in einem vorgegebenen Terrain zu operieren, um anschließend an seiner Zentralstation MANSIO (lat.: die Herberge) zum Austausch von Daten und Energie anzudocken. Foto: Christian Howe, Submaris



Weitere Forschungsgeräte

Mit elf Unterwassergleitern verfügt das GEOMAR über eine der größten Gleiterflotten Europas. Dazu kommen vier Oberflächengleiter, zehn am GEOMAR entwickelte KOSMOS Mesokosmen, zehn Tiefseeobservatorien (Lander), ein Pool von Ozeanboden-Seismometern (OBS) mit 100 Einheiten sowie weitere innovative Geräte für die Erforschung der Tiefsee.

UNTERWASSERGLEITER

Unterwassergleiter sind Segelflugzeuge für die Meere. Sie werden eingesetzt, um beispielsweise Wassertemperaturen sowie Salz- und Sauerstoffkonzentrationen zu bestimmen. Bestückt mit Sensoren bewegen sie sich durch die obersten 1.000 Meter des Ozeans. Statt eines Propellers als Antrieb verfügen sie über eine Hochdruckpumpe, mithilfe dieser sie ihre Dichte verändern und so auf- beziehungsweise abtauchen können. Durch ihre Flügel wird dieser Mechanismus in eine Vorwärtsbewegung umgesetzt. Da diese Art der Fortbewegung sehr energiesparend ist, kann ein Gleiter mit einer Akkuladung mehrere Monate unterwegs sein und dabei über 2.000 Kilometer zurücklegen. Foto: Mario Müller, GEOMAR

WAVEGLIDER

Waveglider sind Surfbrettartige Oberflächengleiter, die per Satellit ferngesteuert und unabhängig von Forschungsschiffen über längere Zeiträume Messungen durchführen oder mit Beobachtungsplattformen in der Tiefsee kommunizieren können. Vortrieb erfährt ein Waveglider durch das Lamellenunterteil, dass sich acht Meter unter dem Oberflächenbrett befindet. Dieses bewegt sich mit den Wellen auf und ab. Dadurch versetzt es die Lamellen in der Tiefe in Bewegung, die so für Vortrieb sorgen und das Brett an der Oberfläche hinter sich herziehen. Auf diese Weise kann ein Waveglider unabhängig von äußerer Energieversorgung durch die Meere fahren. Solarpanele sorgen zusätzlich für Strom für Sensoren, Satellitenkommunikation und Navigation.

MESOKOSMEN

Die KOSMOS (Kiel Offshore Mesocosms for Future Ocean Simulations) Mesokosmen ermöglichen einen Blick in den Ozean der Zukunft: In den abgeschlossenen Welten können zukünftige Bedingungen simuliert und die Reaktionen mariner Lebensgemeinschaften wie in riesigen Reagenzgläsern untersucht werden. Das GEOMAR betritt mit seinen zehn selbst konstruierten KOSMOS Mesokosmen Neuland. Die Experimentieranlagen lassen sich mit mittelgroßen Forschungsschiffen transportieren und aussetzen. Sie können in Meeresbuchten und Fjorden schwimmend verankert oder frei im offenen Ozean treibend eingesetzt werden. Foto: Yves Gladu

LANDER

Lander sind Unterwasserlabore für Messungen und Experimente am Tiefseeboden. Sie können verschiedene Meßsysteme sowie Experimentiereinheiten aufnehmen, wobei die verwendeten Module durch die jeweilige Fragestellung bestimmt werden. Die Systeme werden elektronisch gesteuert und können mit eigener Energieversorgung versehen über Monate autonom arbeiten. Lander werden in Tiefen von bis zu 6.000 Metern am Meeresboden abgesetzt. Ballastgewichte, die unter den Beinen angebracht sind, halten das Gerät am Grund. Nach Abwerfen der Gewichte über akustisch kontrollierte Auslösehaken kommen die Geräte mit Hilfe ihrer Auftriebskugeln wieder an die Meeresoberfläche zurück. Foto: Olaf Pfannkuche, GEOMAR

OZEANBODEN-SEISMOMETER

Ein OBS dient zur Aufzeichnung von Schwingungen des Meeresbodens, die durch Erdbeben erzeugt werden. Dazu wird das OBS über Bord gehievt und sinkt auf den Meeresboden bis in 8.000 Meter Tiefe, wo es dann selbstständig arbeitet. So können Informationen über Ort, Tiefe und Bruchverhalten eines Bebens gewonnen werden. Zusätzlich können vom Schiff aus in geringer Wassertiefe von Luftpulsern Schallwellen erzeugt werden, die durch die Wassersäule laufen und in den Meeresboden eindringen. Diese Durchschallung gibt Aufschluss über den Aufbau und die Mächtigkeit der Gesteinsschichten. Aus einer Vielzahl von Einzelmessungen des OBS lässt sich so ein zusammenhängendes Bild erzeugen. Foto: GEOMAR

Kühlfalle am Thermionen-Massenspektrometer „TRITON" beim Befüllen mit flüssigem Stickstoff. Foto: Pohl/Warnk/Gall

Labore und Analytik

Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am GEOMAR stehen für detaillierte Analysen von Proben und für präzise Experimente unter kontrollierten Bedingungen spezielle Labore und Analysegeräte zur Verfügung. Dazu zählen Reinraumlabore, Kulturräume, eine größere Anzahl von Massenspektrometern sowie Speziallabore für mikrobiologische, molekularbiolgische und genetische Studien. So können beispielsweise geringste Konzentrationen von Spurenelementen nachgewiesen und genaue Datierungen von Proben durchgeführt werden, um neue Erkenntnisse über das System Erde und insbesondere seine marine Komponente zu gewinnen.

Mehr: www.geomar.de/zentrum/einrichtungen/laboratorien/

Der Ende 2014 in Betrieb genommene Hochleistungsrechner für Meeres- und Klimaforschung wird gemeinschaftlich von der Uni Kiel und dem GEOMAR finanziert und betrieben. Foto: Jürgen Haacks, CAU Kiel

Modellierung

Neben direkten Beobachtungen und Probennahmen ist die Modellierung von Prozessen im Bereich der Meeresforschung von besonderer Bedeutung. Ob in Prozessstudien mit hochauflösenden Ozeanmodellen, bei Klimavorhersagen, bei der Bestimmung von genetischer Information oder der Nachbildung geologischer Prozesse — praktisch in allen Bereichen der modernen Meeresforschung kommen anspruchsvolle numerische Verfahren zum Einsatz. Nur so können Hypothesen effizient getestet und Vorhersagen über zukünftige Entwicklungen gemacht werden. Hierfür steht am GEOMAR eine leistungsfähige IT-Infrastruktur mit Zugang zu Höchstleistungsrechenzentren und ausfallsicheren Massenspeichersystemen zur Verfügung.

Mehr: www.geomar.de/forschen/fb1/fb1-tm/

Herzstück des **Technik- und Logistikzentrums (TLZ)** ist eine zentrale Montagehalle, in der ein Portalkran zur Verfügung steht, um auch schwere Geräte zu bewegen. Foto: Jan Steffen, GEOMAR

Technik

Um aktuelle Forschungsfragen beantworten zu können, ist das GEOMAR auf präzise Technik angewiesen, welche vor, während und nach einer Expedition auch gewartet und betreut werden muss. Das Technik- und Logistikzentrum (TLZ) stellt diesen Service zur Verfügung. Darüber hinaus werden dort in enger Abstimmung mit den Forscherinnen und Forschern neue Geräte entwickelt oder bestehende so abgewandelt, dass sie auch neue Forschungsfragen bearbeiten können. Dafür stehen modern ausgestattete Werkstätten für die Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffe zur Verfügung. Im TLZ sind natürlich auch die Großgeräte des GEOMAR, die ROVs KIEL 6000 und PHOCA, das AUV ABYSS, HYBIS und das Tauchboot JAGO sowie viele weitere Forschungsgeräte beheimatet.

Mehr: www.geomar.de/go/tlz

Haben viele Fans: die Seehunde des GEOMAR. Foto: Jan Steffen, GEOMAR

Seehundgehege und Aquarium

Die Reise beginnt in der Ostsee, von dort aus weiter in die Nordsee und den Atlantik, schließlich geht es zum Mittelmeer und zu den tropischen Korallenriffen — das öffentliche Aquarium des GEOMAR lädt zu einer Kurzexpedition in die verschiedenen Gewässer unserer Erde ein. Im inneren Bereich entführen Meerforellen, Dorsche, Katzenhaie, Anemonenfische, Wolfsbarsche und zahlreiche andere Arten in die schillernde und faszinierende Unterwasserwelt, im Außengehege direkt an der Kieler Förde können Seehunde Tag und Nacht über und unter Wasser beobachtet werden. Das GEOMAR zeigt die Tiere in ihren authentischen Lebensräumen. Das erzeugt eine ganz besondere Atmosphäre, die jedes Jahr Zehntausende große und kleine Besucherinnen und Besucher in ihren Bann zieht.

Mehr: www.aquarium-geomar.de

Die meereswissenschaftliche Bibliothek des GEOMAR ist eine der größten ihrer Art in Deutschland. Foto: Christoph Kersten, GEOMAR

Während einer Vorlesung. Foto: Kröger/Dorfmüller, CAU Kiel

Bibliothek

Die zum Teil öffentlich zugängliche Bibliothek beherbergt eine große Sammlung aktueller und historischer meereswissenschaftlicher Schriften. Der umfangreiche Bestand an Büchern und Zeitschriften (132.000 Medieneinheiten, 750 laufende Zeitschriften und Fortsetzungswerke) beinhaltet unter anderem eine Spezialsammlung von Expeditionsberichten sowie wertvolle Raritäten. Die Bibliotheks-Homepage ermöglicht die Recherche in über 600 Online-Zeitschriften, Büchern und Datenbanken. Durch die Vernetzung mit verschiedenen nationalen und internationalen Bibliotheken kann auch schwer zugängliche Literatur schnell beschafft werden.

Mehr: www.geomar.de/zentrum/einrichtungen/bibliothek

Lehrangebot

Das GEOMAR unterstützt das breite Lehrangebot der Universität Kiel mit zwei Master- und einem Bachelor-Studiengang mit meereswissenschaftlichen Inhalten. In weiteren Studiengängen, insbesondere in der Geologie und Geophysik, können meereswissenschaftliche Schwerpunkte gewählt werden. Interdisziplinäre Ausbildung wird ferner durch die Integrated School of Ocean Sciences (ISOS) des Exzellenzclusters „Ozean der Zukunft“ gefördert. Internationale Kooperationen wie das deutsch-russische Studienprogramm POMOR, die deutsch-kanadische Helmholtz Research School for Ocean System Science and Technology (HOSST) und das internationale Masterprogramm Globaler Ansatz durch modulare Experimente (GAME) runden das Bild ab und bieten eine exzellente Grundlage für eine erfolgreiche Karriere im Bereich der Meereswissenschaften.

Mehr: www.geomar.de/studieren/

Arbeit an einer Fräsmaschine im TLZ: In den Werkstätten findet auch die Ausbildung des technischen Nachwuchses statt. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR

Meeresforschung „live“: Schüler lernen an Bord des Forschungsschiffs ALKOR die Biologie der Ostsee kennen. Foto: Joachim Dengg, GEOMAR

Ausbildung

Nicht nur die Meeresforscherinnen und Meeresforscher von morgen werden am GEOMAR ausgebildet, auch junge Menschen mit nichtwissenschaftlichen Berufszielen erhalten in den unterschiedlichsten Bereichen einen Einstieg in das Arbeitsleben. In der Tierpflege, im Aquarium, im Verwaltungsbereich, in der Bibliothek, im Rechenzentrum, im Laborbereich oder in den mehr handwerklich-orientierten Berufen im Technik- und Logistikzentrum bietet das GEOMAR attraktive Ausbildungsmöglichkeiten. Die Auszubildenden erhalten hierbei einen spannenden Einblick in die aktuelle Meeresforschung von Fachleuten aus mehr als 40 Ländern. Dabei helfen die Auszubildenden, die Rahmenbedingungen für die Entschlüsselung der Geheimnisse der Ozeane zu setzen.

Mehr: www.geomar.de/entdecken/schule/berufsorientierung/ausbildung/

Schulprogramm

Das GEOMAR ermöglicht Schulen den Zugang zu seinen Forschungsthemen und den direkten Kontakt mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern durch Kooperationsprojekte mit Schulen, Projektarbeiten einzelner Schülerinnen und Schüler, Materialien für den Unterricht sowie Lehrerfortbildungen. Im Schulprogramm des GEOMAR werden Fragestellungen der aktuellen Forschung wie die Rolle von Ozean und Atmosphäre im Klimageschehen, biologische und chemische Stoffkreisläufe im Ozean, marine Ökologie sowie Plattentektonik und Dynamik des Meeresbodens schülergerecht umgesetzt. Die Arbeiten sind interdisziplinär und haben Bezug zu den Schulfächern Physik, Chemie, Biologie, Geographie, Mathematik und Englisch.

Mehr: www.geomar.de/entdecken/schule

Möchten Sie mehr über das GEOMAR erfahren?

Dann besuchen Sie unsere Webseite www.geomar.de, abonnieren unsere RSS-Feeds oder folgen Sie uns auf Facebook, Twitter oder YouTube. Alle Social Media-Kanäle des GEOMAR auf einen Blick finden Sie unter ▸ http://social.helmholtz.de/geomar

Impressum

Herausgeber:
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel

Redaktion: Andreas Villwock, Layout: Christoph Kersten

Druck: Dräger+Wullenwever, Lübeck

3. Auflage 2017

klimaneutral
natureOffice.com | DE-561-295684
gedruckt

FSC
www.fsc.org
MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C019580

Foto: JAGO Team, GEOMAR

GEOMAR
Helmholtz-Zentrum für
Ozeanforschung Kiel

Wischhofstraße 1-3
24148 Kiel

Tel +49 431 600-0
Fax +49 431 600-2805

info@geomar.de
www.geomar.de