

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

Werner
Petersen
Stiftung



1997-2017

20 Jahre Prof. Dr.
Werner-Petersen-
Stiftung

- Die Fläche des Pazifischen Ozeans ist größer als die gesamte Landfläche der Erde.

- Die Oberfläche des Planeten Erde besteht zu über 70 Prozent aus Ozeanen.



- Der blaue Teil der Welt beherbergt mehr als 90 Prozent der Biomasse der Erde.



- 60 Prozent des Meeresbodens liegen in Wassertiefen unter 2000 Metern und sind weitgehend unerforscht.



Die 18 Petersen Exzellenz-Professuren von 2010 bis 2017

Mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen einen Überblick über die Exzellenz-Initiative der Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung geben und die bisherigen Preisträger mit ihren Forschungsfeldern vorstellen. Vertiefende Informationen werden, soweit verfügbar, über die angegebenen Verweise auf Internetseiten am Ende der Beiträge angeboten. Die Originalbeiträge, die uns von den Preisträgern freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden, sind nur in englischer Sprache verfügbar.

EINLEITUNG
DIE PETERSEN-STIFTUNG
Seite 06-07

EINLEITUNG
DIE PETERSEN-PREISTRÄGER ÜBER DIE EXZELLENZ- INITIATIVE
Seite 08-09

01	
FEBRUAR 2010	
DAS SCHICKSAL DER KORALLENRIFFE	
PROF. DR. JONATHAN EREZ	
Seite 10-13	

02	
APRIL 2010	
ERZFABRIKEN IN DER TIEFSEE	
PROF. DR. STEVEN D. SCOTT	
Seite 14-17	

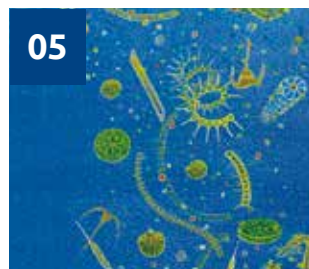
03	
JUNI 2010	
ÖKOSYSTEM-OZEANOGRAPHIE	
PROF. DR. BORIS WORM	
Seite 18-21	

10	
SEPTEMBER 2013	
ÖKOSYSTEME IM WANDEL	
PROF. DR. ADINA PAYTAN	
Seite 46-49	

11	
NOVEMBER 2013	
DAS KLIMAGEDÄCHTNIS DER ERDE	
PROF. DR. EDOUARD BARD	
Seite 50-53	

12	
NOVEMBER 2014	
DIE ENTDECKUNG DER TIEFSEE	
PROF. DR. ANTJE BOETIUS	
Seite 54-57	

04	
JULI 2010	
REISEN ZUM USPRUNG DES LEBENS	
PROF. DR. CHRISTOPHER R. GERMAN	
Seite 22-25	

05	
NOVEMBER 2010	
DIE GROSSE BEDEUTUNG DER KLEINSTEN	
PROF. DR. SALLIE W. CHISHOLM	
Seite 26-29	

06	
OKTOBER 2011	
STRATEGIEN GEGEN DEN STRESS	
DR. SINÉAD COLLINS	
Seite 30-33	

13	
NOVEMBER 2015	
DER MENSCH UND DAS MEER	
PROF. DR. HEIKE K. LOTZE	
Seite 58-61	

14	
DEZEMBER 2015	
MINERALISCHE ROHSTOFFE FÜR UNSERE GESELLSCHAFT	
PROF. DR. J. BRUCE GEMMEL	
Seite 62-65	

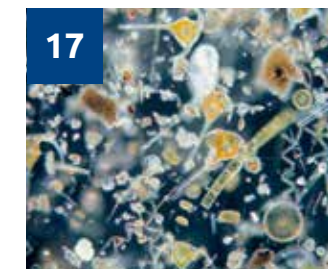
15	
MAI 2016	
ZUM VERSTÄNDNIS VON SUBDUKTIONSZONEN	
PROF. DR. GREGORY MOORE	
Seite 66-69	

07	
NOVEMBER 2011	
MARINE MINERALISCHE ROHSTOFFE	
PROF. DR. MARK D. HANNINGTON	
Seite 34-37	

08	
JANUAR 2012	
AM PULS DES OZEANS	
PROF. DR. UWE SEND	
Seite 38-41	

09	
JANUAR 2013	
UNSERE OZEANE VOR NEUEN HERAUSFORDERUNGEN	
PROF. DR. TONY HAYMET	
Seite 42-45	

16	
NOVEMBER 2016	
DIE ERFORSCHUNG DER GLOBALEN UMWÄLT-BEWEGUNG DES OZEANS	
PROF. DR. SUSAN LOZIER	
Seite 70-73	

17	
JULI 2017	
ÖKOLOGIE UND EVOLUTION VON PHYTOPLANKTON	
PROF. DR. ELENA LITCHMAN	
Seite 74-77	

18	
NOVEMBER 2017	
AUF DER SUCHE NACH DEM ÄLTESTEN EIS	
PROF. DR. THOMAS STOCKER	
Seite 78-81	

Die Petersen-Stiftung



Bildung und Ausbildung, Wissenschaft und Forschung liefern entscheidende Grundlagen für die wirtschaftliche und technologische sowie für die kulturelle und soziale Entwicklung unserer Gesellschaft. Sie sind darüber hinaus entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit unseres Landes. Schleswig-Holstein bietet dafür als Standort von Bildungs- und Ausbildungseinrichtungen, Wissenschafts- und Forschungsstätten sowie mit einer starken Vernetzung im Ostseeraum beste Voraussetzungen.

Die Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung will dazu positive Entwicklungsprozesse anschieben durch:

- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Stützung von Expertise und Kompetenz in Forschung und Lehre, Förderung des Austauschs mit anderen Regionen sowie eine internationale Anbindung
- Stärkung der Umsetzung von Forschungsergebnissen zur Entwicklung innovativer Lösungen
- Verbesserung der Rahmenbedingungen durch die Bereitstellung von Mitteln für Einrichtungen aus Wissenschaft, Forschung und Technik
- Förderung von Einrichtungen und Vorhaben, die zur Erhaltung und Weiterentwicklung der Kulturlandschaft dienen und zur Pflege der kulturellen Beziehungen im Ostseeraum beitragen.

Ein besonderer Schwerpunkt der Förderung sind die Natur-, Ingenieur- und Technikwissenschaften sowie die Informatik. Die Fördermaßnahmen umfassen ein breites Spektrum in den vier Schwerpunktbereichen Wissenschaft, Forschung, Technik und Kultur. Im Zentrum der vielfältigen Fördermaßnahmen steht die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, die Förderung herausragender wissenschaftlicher, technischer, kultureller Leistungen und Forschungsleistungen sowie die Beschaffung von Mitteln für diese Zwecke.

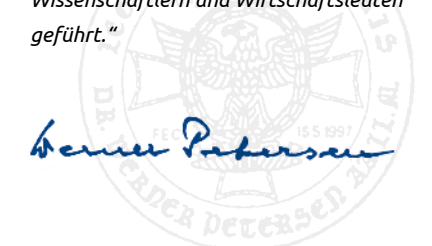


Worte des Stifters

„Viele Jahre trug ich mich mit dem Gedanken, den überwiegenden Teil meines Vermögens in eine Stiftung einzubringen, die im Ostseeraum der Förderung unseres wissenschaftlichen Nachwuchses und der Forschung, und zwar in gleicher Weise auf den Gebieten der Wissenschaften als auch der Technik, dienen sollte.

Diese Pläne konkretisierten sich im Jahre 1995; 1996 wurde der erste Entwurf einer Satzung der geplanten Stiftung erarbeitet; am 16. Mai 1997 wurde die Stiftung genehmigt und konnte ihre Arbeit aufnehmen.

Die Stiftung wird von einem Vorstand und einem Kuratorium mit renommierten Wissenschaftlern und Wirtschaftsleuten geführt.“



DIE SCHWERPUNKTE DER FÖRDERUNG



WISSENSCHAFT

- Dissertationen und Habilitationen
- Unterstützung von wissenschaftlichen Kongressen und Symposien, auch im Ausland
- Heranführung junger Menschen an Studiengänge der Mathematik und der Naturwissenschaften
- Unterstützung bei der Beschaffung wichtiger Geräte

Foto: Kröger/Dorfmueller, Uni Kiel



TECHNIK

- Unterstützung naturwissenschaftlicher und technischer Disziplinen an den Hochschulen
- Heranführung junger Menschen an technisch ausgerichtete Fachbereiche
- Maßnahmen zur Verbreiterung und Beschleunigung der Ingenieurausbildung

Foto: M. Nicolai, GEOMAR



FORSCHUNG

- Förderung der Grundlagenforschung in ausgewählten Disziplinen
- Unterstützung bei der Publikation von Forschungsergebnissen
- Förderung der Verzahnung zwischen Lehre und Anwendung
- Auslandsstudienaufenthalte und Gastprofessuren

Foto: Lella Ivarsson



KULTUR

- Unterstützung kultureller Vorhaben wie Aufführungen von Werken der Musik sowie Ausstellungen von Werken der bildenden Kunst
- Umsetzung ausgewählter Projekte von Kunst- und Musikhochschulen
- Aufarbeitung und Erhalt wichtiger Kulturgüter

Foto: Arnoldius, CC-BY-SA 3.0

Die Petersen-Preisträger über die Exzellenz-Initiative

Mit ihrer im Juli 2009 beschlossenen Exzellenz-Initiative unterstützt die Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung Aktivitäten der Christian-Albrechts-Universität Kiel zur Stärkung wissenschaftlicher Schwerpunkte und herausragender Profile insbesondere im Bereich der Meereswissenschaften.

Die Stiftung will mit ihrer Initiative zur Profilstärkung am Wissenschaftsstandort Kiel nachhaltig beitragen. Neben Förderung und Ausbau der wissenschaftlichen Exzellenz setzt die Intensivierung der internationalen Kooperation mit ausgewiesenen Fachzentren einen besonderen Akzent.

Im Rahmen der Initiative können hochkarätige Meereswissenschaftler aus aller Welt für Gastaufenthalte von ca. sechs Wochen nach Kiel eingeladen werden. Die Umsetzung der Initiative erfolgt am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. Der Gastaufenthalt umfasst Fachkurse (short courses) für den wissenschaftlichen Nachwuchs, öffentliche Vortragsveranstaltungen und die Projektierung gemeinsamer Forschungsvorhaben mit Kieler Fachkollegen.

Prof. Dr. Adina Paytan, USA

„Die Auszeichnung der Petersen-Stiftung, die ich 2013 erhielt, erlaubte es mir, die Zusammenarbeit mit Kollegen in allen vier Forschungsbereichen des GEOMAR zu etablieren bzw. zu stärken. Daraus haben sich mehrere gemeinsame Forschungsprojekte entwickelt.“



Prof. Dr. Uwe Send, USA

„Die fünfzehn Jahre, die ich in Kiel verbracht habe, legten den Grundstein für einen Großteil der Forschung, die ich heute an der Scripps Institution of Oceanography durchführe. Die Unterstützung durch die Petersen-Stiftung ermöglicht es mir, meine Verbindungen zu Kieler Kollegen neu zu beleben und auch in Zukunft fortzuführen. Dies ist für beide Seiten von Vorteil und dafür bin ich der Stiftung sehr dankbar.“

Prof. Dr. Stephen D. Scott, Kanada

„Dank der Unterstützung durch die Petersen-Stiftung konnte ich während meines Aufenthalts in Kiel die wissenschaftlichen und persönlichen Bindungen zu GEOMAR-Kollegen stärken und intensivieren. Ich hoffe, diese Kooperationen fortzuführen und wieder an das GEOMAR zurückkehren zu können.“



Prof. Dr. Boris Worm, Kanada

„Während meiner Petersen Exzellenz-Professur habe ich Kooperationen aufgebaut, die meiner Arbeitsgruppe die Planung realistischer Experimente zur Ozeanerwärmung ermöglichten, die dann zwei Jahre später mit den Kieler Mesokosmen durchgeführt wurden.“

Prof. Dr. Sallie W. Chisholm, USA

„Ich hatte die Ehre, den Petersen-Preis im November 2010 verliehen zu bekommen. Diese Auszeichnung hat es mir ermöglicht, das GEOMAR zum ersten Mal zu besuchen. Ich habe meinen Aufenthalt am GEOMAR sehr genossen und fand die Diskussionen mit den Kieler Kollegen intellektuell enorm anregend.“



Prof. Dr. Tony Haymet, USA

„Die Auszeichnung durch die Petersen-Stiftung ermöglichte es mir, meine langjährige Führungstätigkeit als Leiter wissenschaftlicher Einrichtungen und meine Erfahrung in der meereschemischen Grundlagenforschung um eine Forschungstätigkeit im Bereich Meerespolitik zu ergänzen. Darüber hinaus habe ich insbesondere den Austausch mit sehr talentierten Studenten aus vielen Fachdisziplinen während meiner short courses in Kiel sehr genossen.“

Dr. Sinéad Collins, Großbritannien

„Erst der Austausch mit den Kollegen am GEOMAR hat mir gezeigt, dass insbesondere marine Ökosysteme ein sehr interessanter Weg sind, Evolutionstheorien zu untersuchen. Insofern hat mir der Petersen-Preis geholfen, meine Forschung in eine neue und faszinierende Richtung zu entwickeln.“

Prof. Dr. Edouard Bard, Frankreich

„Ich fühlte mich durch die Auszeichnung mit dem Petersen-Preis, den ich 2013 erhalten habe, sehr geehrt. Den Aufenthalt in Kiel mit dem öffentlichen Vortrag, den Diskussionen mit Studenten und anderen Wissenschaftlern aus dem GEOMAR und der Christian-Albrechts-Universität empfand ich als sehr stimulierend und er hat zu einer Intensivierung unserer Kooperationen geführt.“



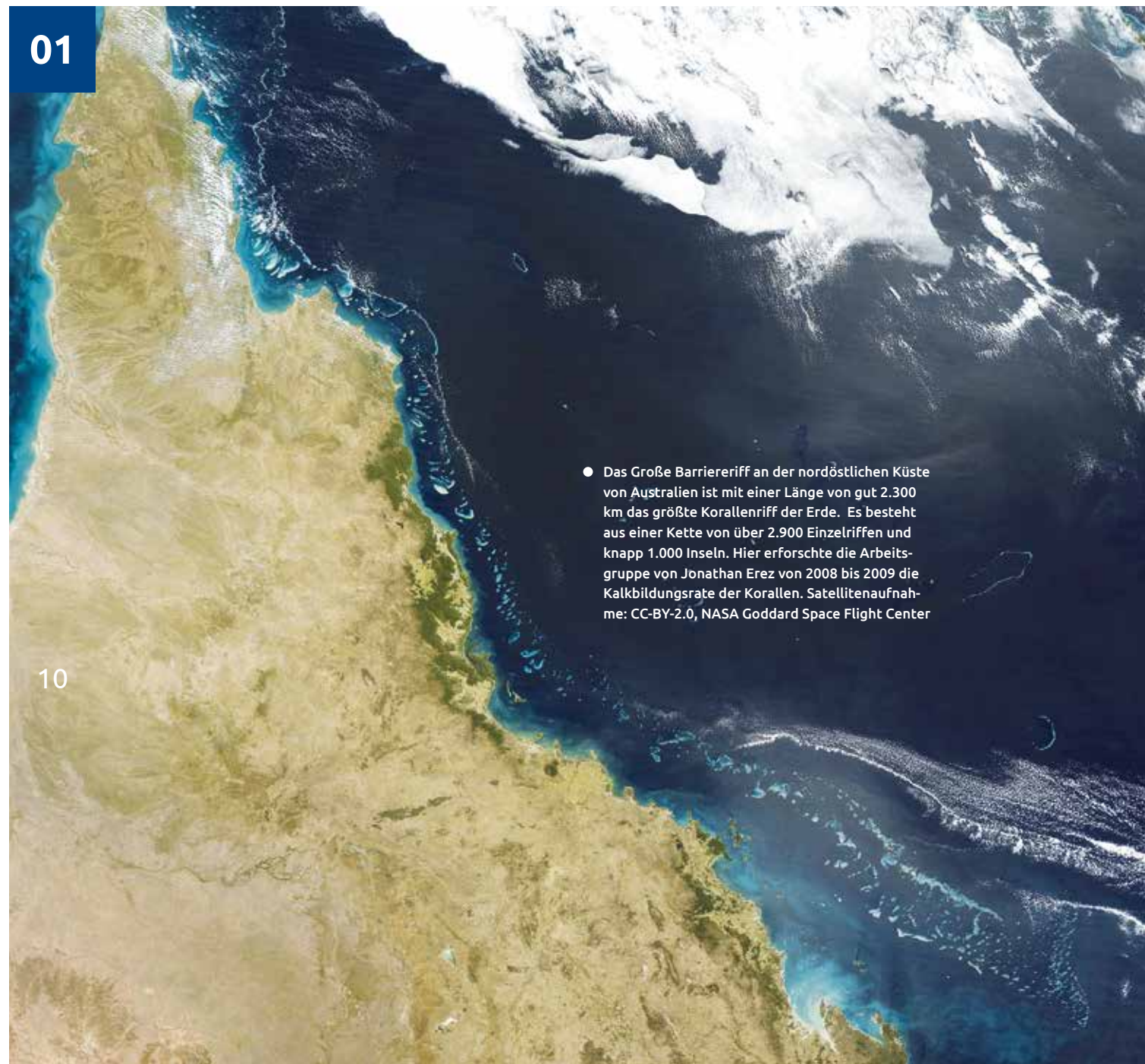
Prof. Dr. Mark D. Hannington, Kanada

„Die Petersen-Stiftung trägt durch die Förderung von Forschungspartnerschaften, die internationale Expertise mit wissenschaftlicher Exzellenz verbinden, dazu bei, Lösungen für Fragen der Meeresforschung zu finden. Die Auszeichnung der Petersen-Stiftung war für mich persönlich ein wichtiges Argument, den Ruf auf eine Professur nach Kiel anzunehmen.“

Prof. Dr. Jonathan Erez, Israel

„Über die Auszeichnung mit dem sehr angesehenen Petersen-Preis habe ich mich sehr gefreut. Mein Aufenthalt in Kiel und der Austausch mit den Kollegen am GEOMAR hat meine Forschungstätigkeit und den internationalen Austausch in den folgenden Jahren außerordentlich stimuliert. Dafür bin ich der Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung sehr dankbar.“





- Das Große Barriereriff an der nordöstlichen Küste von Australien ist mit einer Länge von gut 2.300 km das größte Korallenriff der Erde. Es besteht aus einer Kette von über 2.900 Einzelriffen und knapp 1.000 Inseln. Hier erforschte die Arbeitsgruppe von Jonathan Erez von 2008 bis 2009 die Kalkbildungsrate der Korallen. Satellitenaufnahme: CC-BY-2.0, NASA Goddard Space Flight Center

10

DAS SCHICKSAL DER KORALLENRIFFE

PROF. DR. JONATHAN EREZ

Position: Professor für Ozeanographie und Geologie an der Hebrew University Jerusalem, Institute of Earth Sciences, Israel

Forschungsinteresse: Experimentelle Erforschung biogeochemischer Prozesse bei lebenden Foraminiferen und Korallen

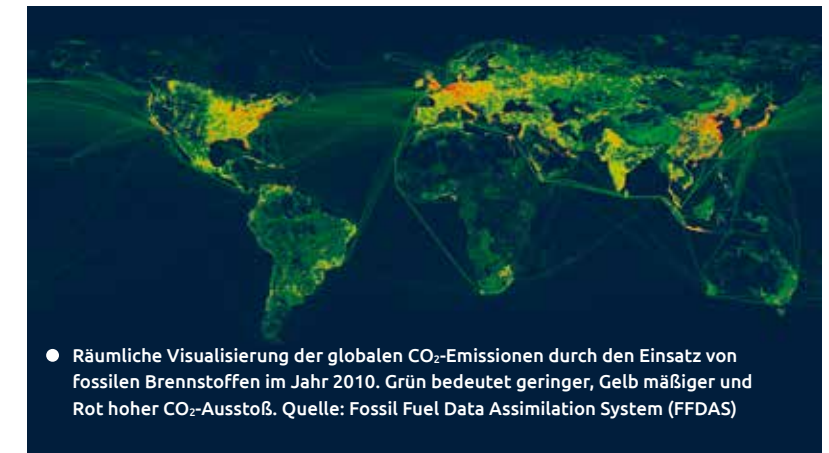


Foto: Privat

Wir leben in einer sich ständig verändernden Welt. Eigentlich nichts Ungewöhnliches, wissen wir doch aus der geologischen Vergangenheit, dass stabile Bedingungen auf der Erde die Ausnahme und Veränderungen die Regel sind. Jedoch laufen einige, meistens durch Menschen verursachte chemische Veränderungen auf der Erde mit einer Geschwindigkeit ab, die es so in der Vergangenheit nicht gegeben hat. Deswegen bezeichnet man die Gegenwart seit dem 19. Jahrhundert auch als Anthropozän – das vom Menschen beeinflusste Zeitalter.

Durch jahrtausendelange Selektion beeinflusst und kontrolliert der Mensch die Entwicklung der Kulturpflanzen auf der Erde. Die Vorteile, die der Mensch dabei durch die Landwirtschaft errungen hat, dienen dazu, die wachsende menschliche Bevölkerung auf unserem Planeten zu ernähren. Nunmehr hat der Mensch durch den technologischen Fortschritt die Stoffflüsse in einem Maße intensiviert, dass er auf diese heute auch Einfluss im globalen Maßstab nimmt. Das gilt insbesondere für den Einsatz der fossilen Brennstoffe, die Hunderte von Millionen Jahren gebraucht haben, um sich in der tiefen Erde anzureichern, aber nun innerhalb weniger Jahre mit riesigen jährlichen Zuwachsraten verbraucht werden.

Dadurch betragen die industriellen CO₂-Emissionen heute etwa 10 Gigatonnen pro Jahr, wovon ungefähr 45 Prozent in der Atmosphäre verbleiben, während der Rest unmittelbar vom Ozean als auch von den terrestrischen Ökosystemen



- Räumliche Visualisierung der globalen CO₂-Emissionen durch den Einsatz von fossilen Brennstoffen im Jahr 2010. Grün bedeutet geringer, Gelb mäßiger und Rot hoher CO₂-Ausstoß. Quelle: Fossil Fuel Data Assimilation System (FFDAS)

aufgenommen wird. In der Atmosphäre steigt die Kohlendioxidkonzentration jährlich um ungefähr zwei ppm (parts per million) an, sodass sie sich seit Beginn der industriellen Revolution bis heute von ca. 280 auf ca. 400 ppm erhöht hat.

Während seiner langjährigen Karriere hat Prof. Dr. Jonathan Erez wesentliche wissenschaftliche Beiträge zum Verständnis biogeochemischer Prozesse in marinen und aquatischen Systemen geleistet. Sein besonderes Interesse galt

dabei dem CO₂-Kreislauf und den durch den Menschen induzierten Veränderungen natürlicher Stoffkreisläufe. Er interessierte sich dabei für die biogeochemische Interaktion zwischen Photosynthese und Kalzifikation sowie dem Nährstoffkreislauf von Ökosystemen. Hier war er auch der erste Wissenschaftler, der auf den sogenannten „vitalen Effekt“, die physiolo-

gische Kontrolle des Stoffgehalts ihrer Kalkschalen durch die kalkbildenden Lebewesen hinwies. Dazu hat er, neben seinem weltberühmten Labor an der Hebrew University in Jerusalem, auch den Golf von Eilat mit seinen bekannten Korallenriffen als natürliche Forschungsstätte genutzt. An Land galt sein Forschungsinteresse dem See Genezareth im nördlichen Teil Israels.

Jonathan Erez studierte Geologie an der Hebrew University in Jerusalem und promovierte 1978 in Ozeanographie im Rahmen des Joint Program in Oceanography am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA und der Woods Hole Oceanographic Institution, USA.

Danach kehrte er nach Israel zurück und war ab 1979 als Ozeanograph und Geologe an der Hebrew University of Jerusalem und am H. Steinitz Marine Biology Laboratory, Eilat, Israel auf unterschiedlichen Positionen tätig. Ferner arbeitete er im Rahmen von verschiedenen Auslandsaufenthalten unter anderem an der Cambridge University, Großbritannien und

am California Institute of Technology, USA. Seit 1997 ist er Professor für Ozeanographie am Institute of Earth Sciences der Hebrew University of Jerusalem, Israel. Dabei hatte Jonathan Erez verschiedene leitende Funktionen inne, unter anderem war er von 1997-2000 Wissenschaftlicher Direktor am Interuniversity Institute for Marine Sciences in Eilat, Israel.

Seine etwa 100 wissenschaftlichen Publikationen veröffentlichte Jonathan Erez in vielen hoch angesehenen internationalen Fachzeitschriften, darunter mehrere in Nature.

11



● Fahnenbarsche an einem Korallenstock im Golf von Aqaba (Eilat). Foto: Yuvalir, CC BY-SA 3.0



● Bedrohte Vielfalt: Unterschiedliche Korallenarten formen zusammen einen Riffvorsprung am Flynn Reef, Australien. Foto: Toby Hudson, CC BY-SA 3.0



● Bauwerke gegen die Erosion: Die Grundlage des Ökosystems Riff ist das Kalkfundament, das von den Korallen gebildet wird. Diese Struktur muss den Wellen und Stürmen, die vom offenen Meer kommen, standhalten. Deswegen ist die Fähigkeit, Kalk zu bilden, für die Korallen lebenswichtig.

Der Stoffwechsel eines tropischen Korallenriffs im globalen Wandel

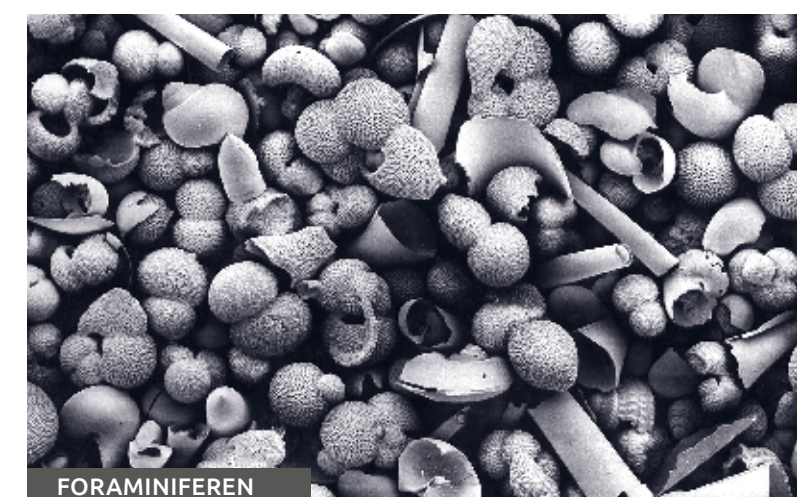
Korallenriffe sind das produktivste und hinsichtlich der dort vorkommenden Organismen vielfältigste Ökosystem im Ozean überhaupt. Ein Riff, aufgebaut aus lebenden und abgestorbenen Korallen, stellt einen üppigen Lebensraum für zahlreiche Meereslebewesen unterschiedlicher Größe, Zusammensetzung und Farbe dar, welcher so gleichermaßen Touristen und Wissenschaftler anzieht. Die riffbildenden Organismen sind meistens mit Algen in Symbiose lebende Korallen, aber auch Kalkalgen, Foraminiferen und Muscheln, die zusammen genommen für ungefähr 40 Prozent der Menge des im Ozean gebildeten Kalziumkarbonats (Kalk) verantwortlich sind. Dieser chemische Vorgang wird auch als Kalkfällung bezeichnet.

Das Wachstum und die generelle Existenz dieser großen Kalkstrukturen hängen dabei hauptsächlich vom Verhältnis von Kalkfällung zur Kalklösung ab. Überwiegt die Kalklösung die Kalkfällung, sind das Riff und das gesamte darin befindliche Ökosystem bedroht.

Im schlimmsten Fall bleiben nur Bruchstücke übrig und die gesamte Fauna und Flora eines Korallenriffs geht verloren. Leider zeigen die heutigen Befunde, dass in vielen Riffen in der Tat bereits ein solches Ungleichgewicht existiert, sodass die Gefahr besteht, dass viele der heute noch blühenden Riffe in den nächsten 50 bis 100 Jahren der Menschheit verloren gehen. Vergleichende Studien an australischen Riffen, die bereits in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts begonnen haben, zeigen, dass dort die Fähigkeit der Korallen, Kalk auszubilden, bereits um 40 bis 50 Prozent abgenommen hat. Die Ursachen hierfür sind vielfältig und reichen von dem durch die Ozeanversauerung verringerten Vermögen der Korallen, überhaupt kalzifizieren zu können, über immer höhere Wassertemperaturen und dem „Bleichen“ der Korallen. Auch der Einfluss von ins Meer geleiteten überdüngten Flußwässern und das Überhandnehmen von riffzerstörenden Algenblüten trägt zur mangelnden Kalkbildung der Korallen bei.

Biom mineralisation

Die Hauptbestandteile der Kalkschalen, insbesondere Kalzium und Karbonat, aber auch alle wichtigen Spurenelemente stammen aus dem Meerwasser und fällen den Kalk in der Zelle am Ort der Kalzifikation. Diese Erkenntnis bedeutete einen Paradigmenwechsel, denn lange Zeit hatte man angenommen, dass der Rohstoff für die marinen kalkbildenden Organismen wie Korallen, Muscheln und Kalkalgen, ähnlich wie bei den Menschen, auch aus der Nahrung stammt. Der evolutionäre Vorteil des Fällens von Kalk direkt aus dem Meerwasser ist, dass die kalzifizierenden Organismen direkt auf das im Wasser gelöste Kalzium und Karbonat ohne größeren Umweg durch den Stoffwechsel zurückgreifen können. Kalzium und Karbonat sind jedoch nicht gleich verteilt, sondern Kalzium ist zehnmal häufiger vorhanden als Karbonat. Aus diesem Grund haben die meisten Kalzifizierer Mechanismen entwickelt, ausreichend Karbonat anzureichern, um es dann mit Kalzium zu Kalziumkarbonat fällen zu können. Hier spiegelt sich die Vielfalt der evolutionären Ide-



FORAMINIFEREN

Die außerordentlich formenreiche Gruppe der Foraminiferen ist ein wichtiges biogeochemisches Archiv für Paläo-Ozeanographen, da sie auch ihre Schalen direkt aus dem Meerwasser bildet. Man findet die meist 0,2 bis 0,5 Millimeter großen Einzeller in großer Zahl sowohl im offenen Ozean als auch auf dem Meeresboden. Foto: Planktische Foraminiferen aus dem Golf von Aqaba (Eilat), Ch. Hemleben

en wider: Während Foraminiferen bei ihren Transport- und Fällungsprozessen auf den Einsatz von zellulären Vesikeln setzen, benutzen Coccolithophoriden elementselektive Kanäle und Ionenpumpen, um die notwendigen Stoffe in ihren Zellen anzureichern. Korallen wiederum kreieren spezielle Reaktoren, in denen Kalk in Zusammenarbeit mit elementselektiven Kanälen und Ionenpumpen gefällt wird.

Das Füllen des Kalks aus Meerwasser ist ein Glücksfall für die Wissenschaft, insbesondere für die Paläo-Ozeanographie und die Rekonstruktion der Umwelt- und Klimabedingungen in der Vergangenheit, denn als Nebenaspekt bleiben die originären Spurenmetall- und Isotopenverhältnisse des Meerwassers in der Regel im Kalkskelett erhalten. Letztere können durch die Anwendung modernster Analyseapparate, Techniken und

Methoden in den Schalen gemessen werden. Die Spurenmetall- und Isotopenverhältnisse reflektieren dann (sofern sie nicht durch andere Prozesse, wie zum Beispiel dem vitalen Effekt verfälscht wurden) sehr genau die chemischen, physikalischen und biologischen Bedingungen im umgebenden Meerwasser. Diese Element- und Isotopenverhältnisse werden als „Proxy“ bezeichnet und sind chemische und isotopische Indikatoren für heute nicht mehr direkt messbare Umweltbedingungen. Durch die Anwendung dieser Proxies bekommt man dann nicht nur das Alter einer bestimmten Kalkschale heraus, sondern die Wissenschaft gewinnt auch Informationen über die Temperatur des Meerwassers, dessen Salzgehalt und Säuregrad sowie die ursprüngliche chemische Zusammensetzung der Atmosphäre in der Vergangenheit einschließlich des CO₂-Gehaltes.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/erez_essay.pdf

- Eruption des im Pazifik zwischen Fiji, Tonga und Samoa liegenden West Mata Vulkans. Der Ausbruch fand im Mai 2009 in einer Wassertiefe von 1.200 Metern statt. Steve Scott möchte herausfinden, welches Potential an wirtschaftlich nutzbaren Erzen in unterseeischen Vulkanen steckt. Foto: NOAA, NSF

14

Für den renommierten kanadischen Geologen Prof. Dr. Steven D. Scott ist es eine Berufung, die Geheimnisse der Tiefsee zu erforschen. Er war einer der ersten Menschen, die die heißen Quellen in der Tiefsee, die Schwarzen Raucher, selbst zu Gesicht bekommen haben. Vor allem die geologischen Prozesse in der ozeanischen Erdkruste und die Bildung von Erzlagerstätten viele tausend Meter unter der Meeresoberfläche sind seine Spezialgebiete.

Steve Scott konfrontiert bei Vorträgen seine Zuhörer mit zwei Feststellungen und zwei Fragen:

1. China baut bis 2025 voraussichtlich 211 Städte mit mehr als einer Million Einwohnern, das sind 65 Städte der Größe von Berlin oder ein „Berlin“ alle 14 Wochen – Woher soll die dafür notwendigen Metalle kommen?

2. Ein Hybridfahrzeug enthält etwa 50 kg Kupfer, reine Elektrofahrzeuge bis zu 100 kg – Woher soll all das Kupfer kommen?

Steve Scotts Credo ist: Die Landreserven werden dies nicht dauerhaft problemlos liefern können, deshalb müssen wir die Rohstoffvorkommen der Ozeane erforschen. Steve Scott hat viele Jahre seines Lebens damit verbracht, potentielle Lagerstätten in der Tiefsee zu untersuchen. Vor Papua-Neuguinea wurde er fündig und entdeckte eine Lagerstätte mit sehr hohen Goldgehalten, an der die Industrie heute großes Interesse hat. Dass man sich dabei

in einem Spannungsfeld zwischen Meeresnutzung und Meeresschutz bewegt, ist ihm durchaus bewusst. Aber die Nutzung landbasierter Ressourcen verursacht ebenfalls erhebliche Umweltprobleme. Insofern müssen Kosten, Nutzen und mögliche Umweltauswirkungen genau gegeneinander abgewogen werden.

Trotz seiner Pensionierung im Jahr 2006 kann der Wissensdurst des Rohstoffgeologen nicht gestillt werden. Zahlreiche Kooperationen mit internationalen Wissenschaftlern begleiten auch heute noch das Leben von Steve Scott. Die Kooperation mit dem GEOMAR und besonders die Förderung durch die Petersen-Stiftung verhalfen dem Preisträger sowohl bei seinen Forschungsarbeiten, als auch bei der Vermittlung seines Wissens an die Öffentlichkeit, zu beeindruckenden Resultaten. „Zu sehen, mit welcher Begeisterung und Wissbegierde meine Arbeit aufgenommen wird, stimmt mich zufrieden“, sagt Steve Scott.



- Dieser Titelseitenartikel in der New York Times vom 21. Dezember 1997 hat die Welt auf das Potential des Meeresbergbaus aufmerksam gemacht.

15

ERZFABRIKEN IN DER TIEFSEE

PROF. DR. STEVEN D. SCOTT

Position: Professor Emeritus of Ore Genesis Geology und Direktor des Scotiabank Marine Geology Research Laboratory, Department of Earth Sciences, University of Toronto, Kanada

Forschungsinteresse: Erforschung von geologischen Prozessen des Ozeanbodens und der Bildung von marinen Erzvorkommen



Foto: J. Steffen, GEOMAR

Steve Scott ist Norman B. Keevil Emeritus Professor für Meeresgeologie und Direktor des Scotiabank Marine Geology Research Laboratory an der University of Toronto in Kanada. Der Rohstoffgeologe hat sowohl an Land als auch in allen Weltozeanen nach Rohstoffen gesucht. Neben seiner akademischen Tätigkeit ist er als Berater für die marine Rohstoffindustrie tätig.

Steve Scott wurde im Jahr 2004 für seine Forschungs- und Lehrtätigkeit mit der Ehrendoktorwürde der Université de Bretagne Occidentale in Brest, Frankreich, ausgezeichnet. Er ist ferner Honorarprofessor der China University of Geosciences in Peking, China. Weitere Auszeichnungen sind die Michael J. Keen Medal

der Marine Geosciences Division der Geological Association of Canada, die Duncan R. Derry Medal der Mineral Deposits Division der Geological Association of Canada, die Charles L. Hosler Alumni Scholar Medal (Penn State University, USA), die Silbermedaille der Society of Economic Geologists und die Past Presidents Medal der Mineralogical Association of Canada.

- Hydrothermale Quellen im Golf von Kalifornien. Die Aufnahme wurde mit dem amerikanischen Tauchboot Alvin 1982 im Guaymas Becken in 2.000 Metern Wassertiefe gemacht. Für Steven Scott, der sich an Bord befand, war es die erste Begegnung mit Schwarzen Rauchern. Als Rohstoffgeologe erkannte er, dass an dieser Stelle Erzlagerstätten gebildet werden. Foto: HOV Alvin, ©Woods Hole Oceanographic Institution



- Das französische Forschungstauchboot Nautilie (6.000 m Tauchtiefe) beim Ausbringen von Bord. Steve Scott nutzte sowohl die Nautilie als auch andere bemannte Tauchboote, wie die kanadische Pisces IV, die russische Mir und die amerikanische Alvin für seine Forschungen in der Tiefsee. Foto: Steve Scott

16

Wie entstehen die Metallerzvorkommen im Ozean?

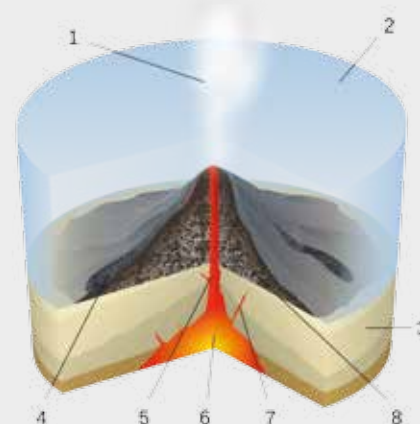
Hydrothermale Quellen in vulkanisch aktiven Zonen der Tiefsee entstehen durch das tiefe Eindringen von Meerwasser in den Ozeanboden und die Aufheizung dieses Meerwassers durch 3-5 km tiefsitzende Magmenkammern. Das bis 500 °C heiße Meerwasser wird neben der Aufheizung auch chemisch verändert und steigt aufgrund seiner Dichteerhöhung als Folge der Erwärmung wieder zum Meeresboden auf. Hierbei laugt das heiße und chemisch aggressive

Wasser geringste Mengen an Kupfer, Blei und Zink sowie Gold und Silber aus dem umgebenden Gestein. Beim Kontakt dieses heißen, metallbeladenen Fluids mit dem umgebenden Meerwasser bilden sich am und direkt unterhalb des Meeresbodens zum Teil großflächige Metallsulfidlagerstätten.

Steve Scott hat nachweisen können, dass auch das heiße Magma selbst sehr metallreiche Fluide produziert, die sich mit den dargestellten hydrothermalen Quellen vermischen und die Erzlösungen dadurch zusätzlich mit Metall an-

reichern. „Durch Analysen von Magma, das an terrestrischen Vulkanen ausgetreten ist, wissen wir, dass diese vulkanischen Flüssigkeiten extrem reich an Metall sein können. Ob das ebenfalls auf submarine Vulkane zutrifft, ist noch nicht zweifelsfrei nachgewiesen“, erklärt der Geologe. Mit Hilfe von Kollegen und Doktoranden, die Scott betreute, gelang es ihm allerdings, in winzigen Flüssigkeitseinschlüssen in Gesteinen von unterseeischen Vulkanen magmatische Flüssigkeiten nachzuweisen. Diese Flüssigkeitseinschlüsse sind mit Eisen, Kupfer, Zink, Silber, Gold, Schwefel und Chloriden beschichtet, den Bestandteilen von austretendem Magma aus dem Meeresboden. „Wir mussten beweisen, dass magmatische Lösungen aus dem Meeresboden viel reicher an Metall sind, als die Fluide, die aus hydrothermalen Quellen austreten, die durch Zirkulation und Gesteinsauslaugung entstehen“, erklärt Scott, „Weiter konnten wir

SCHEMA EINES SUBMARINEN VULKANS



- 1) Wasserdampf Wolke
- 2) Wassersäule
- 3) Geologische Schichten
- 4) Lavastrom
- 5) Vulkanschlote
- 6) Magmenkammer
- 7) Magmatischer Gang (Dyke)
- 8) Kissenlava

Grafik: Sémhur, CC-BY 3.0

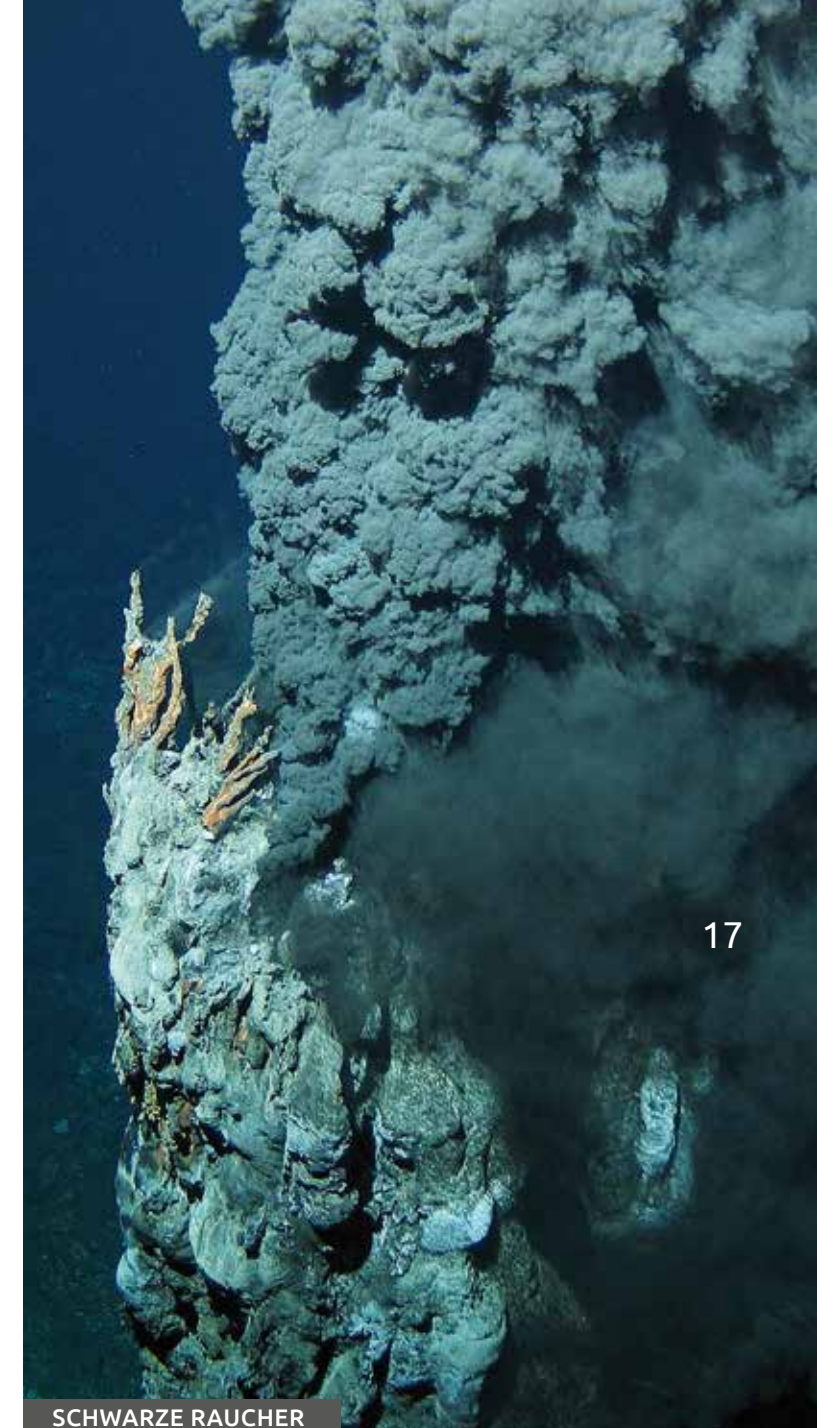
zeigen, dass solche Verschmelzungen von metallreichen magmatischen Fluiden mit unterseeischen hydrothermalen Fluiden existieren und potentiell nutzbare Erze hervorbringen“. Aktuell untersucht Steve Scott solche Vorkommen vor Portugal. In Kooperation mit einer ehemaligen Postdoktorandin arbeitet er an einer Studie, die unterseeische Hydrothermen, die den Einfluss von metallreichen magmatischen Lösungen zeigen, mit Hydrothermen vergleicht, die keine magmatischen Einflüsse aufweisen. Scott will herausfinden, ob magmaassoziierte Vulkane generell Erzvorkommen mit besonders hohen Metallgehalten produzieren. Dafür sind in situ Analysen von extrem kleinen Proben erforderlich – die Technik dafür muss allerdings erst noch entwickelt werden.

Neue Erkenntnisse aus kleinsten Proben

Mit Forschern und Technikern der Abteilung Chemieingenieurwesen der Universität von Toronto arbeitet Scott an einer Weiterentwicklung des bereits vorhandenen sogenannten „Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometer“, kurz ToF-SIMS. Diese Maschine ist in der Lage, die meisten chemischen Elemente und deren Isotope in winzigsten Proben zu analysieren. Man bewegt sich dabei im Bereich von Millionstel Gramm. Um dies zu bewerkstelligen kann die Maschine die Partikel mit Ionen beschießen und zwar punktgenau auf bis zu 60 Nanometer. Dies ist erforderlich, um die Fluideinschlüsse in magmatischen Gesteinen in der Umgebung von hydrothermalen Quellen exakt zu analysieren. Vor kurzem wurde das Forscherteam mit 4,6 Millionen Dollar gefördert, um diese Analytik weiterzuentwickeln. „Manchmal kommen große wissenschaftliche Erkenntnisse und Überraschungen in kleinen Schritten, in diesem Fall in Nanometer-Schritten, und ich mag es, überrascht zu werden“, freut sich Scott.

Unersättlicher Wissensdurst des Forschers

Neben seinem Spezialgebiet widmet sich Steve Scott nun auch anderen Forschungsgebieten. Vor den portugiesischen Azoren unterstützt er ein Projekt, das zu einem besseren Verständnis der komplexen Plattentektonik in diesem Bereich des Mittelatlantischen Rücken führen soll, der auf der Plattengrenze von Europa und Afrika liegt. Das Azoren-Plateau gilt als Hotspot für unterseeischen Vulkanismus und den Austritt von Magma. Die Proben, die bereits für die hochauflösende Analytik der Flüssigkeitseinschlüsse entnommen wurden, sollen auch hierbei Ver-



SCHWARZE RAUCHER

Spitze eines Schwarzen Rauchers am Mittelatlantischen Rücken. Dort, wo metall- und schwefelreiche Lösungen einer heißen Quelle mit dem kalten Meerwasser in Berührung kommen, fallen die gelösten Metalle als Metallschwefelverbindungen aus und setzen sich am Meeresboden ab. So entstehen die charakteristischen Schlote sowie die Erzvorkommen in ihrer Umgebung. Foto: ROV-Team, GEOMAR

wendung finden und dafür genutzt werden, die Existenz submariner Vulkan-Ketten im Terceira Rift vor den Azoren zu beweisen. Ebenfalls soll untersucht werden, ob das Terceira Rift dadurch eine potentielle Quelle für Metallerzvorkommen darstellt. Neben einigen anderen Projekten, an denen sich Steve Scott beteiligt, steht auch ein Projekt in den Startlöchern, das der Beeinflussung hydrothermalen Quellen durch die Gesteinsverwitterung im Meer nachgehen soll.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/scott_essay.pdf

17

- Die hoch industrialisierte Fischerei hat mit riesigen Flotten und gigantischen Netzen viele Fischbestände in den Weltmeeren an den Rand des Zusammenbruchs gebracht. Blauflossen-Thunfische sind so selten geworden, dass Fischer sie nun in schwimmenden Käfigen mästen, die oft nur 50 Meter breit sind.
Foto: Solvin Zankl

ÖKOSYSTEM-OZEANOGRAPHIE

Einen sich schnell verändernden Ozean verstehen

PROF. DR. BORIS WORM

Position: Professor für Meeresbiologie an der Dalhousie University, Biology Department, Halifax, Kanada

Forschungsinteresse: Erhaltung, Bedeutung und Bedrohung der globalen marinen Biodiversität

Foto: Danny Abriel



Die Ozeanographie hat sich in den letzten 150 Jahren von einer hauptsächlich beschreibenden Wissenschaft zu einer modernen, auf Synthese orientierten Disziplin mit Augenmerk auf das Verständnis und die Vorhersage großer Muster und Prozesse im Meer entwickelt. Ebenso ist die Marine Ökologie von einer beschreibenden zu einer experimentellen Disziplin gereift. Seit kurzer Zeit gehört sie zu einem makroökologischen Ansatz mit dem Ziel, allgemeine Muster zu verstehen und übergreifende Gesetzmäßigkeiten abzuleiten – zum Beispiel in Modellen zur Erklärung auffälliger Muster der Artenvielfalt rund um den Globus.

Die Forschung von Prof. Dr. Boris Worm befindet sich an der Schnittstelle der beiden Felder Ozeanographie und Marine Ökologie. Hier konzentriert er sich auf die Analyse komplexer großskaliger Datensätze. Hinzu kommen Experimente und Modellierungen in Zusammenarbeit mit größeren Forschungsprojekten an der Dalhousie University, der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, am GEOMAR, beim Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ sowie an den Universitäten Washington und British Columbia.

„In den letzten fünf bis zehn Jahren wird für uns immer deutlicher, dass sich marine Ökosysteme auf regionaler wie globaler Skala, bedingt durch die von den Menschen verursachten Veränderungen, zunehmend reorganisieren“, so Boris Worm. „Diese Themen sind schon lange Kern meines Forschungsinteresses und werden nun zu einem Schwerpunkt in vielen Einrichtungen der Meeresforschung weltweit. Darüber hinaus hat sich diese Forschung als sehr bedeutsam erwiesen, um den Rückgang an biolo-



gischer Vielfalt in den Meeren und dessen Folgen für das menschliche Wohlbefinden besser zu verstehen“, erläutert der Meeresbiologe. Als Folge dieser Entwicklungen ist die neue synthetische Disziplin „Ökosystem-Ozeanographie“ entstanden, deren Schwerpunkt auf dem Verständnis und der Vorhersage globaler Veränderungen durch die gesamte Nahrungskette liegt.

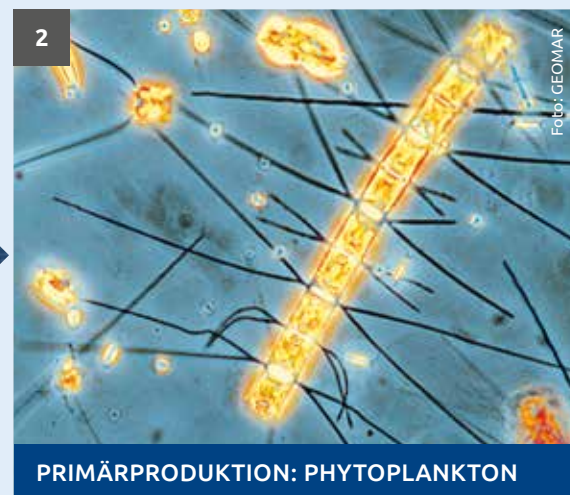
- Die Indoor-Mesokosmen des GEOMAR, mit denen verschiedene Umweltbedingungen im Meer simuliert werden können. Wie in einem riesigen Reagenzglas kann man hier die Reaktionen von marinen Kleinstlebewesen auf Veränderungen ihres Ökosystems studieren. Foto: Thomas Hansen, GEOMAR

Boris Worm studierte zunächst Biologie in Kiel und promovierte dort im Jahr 2000 in Biologischer Ozeanographie. Nachdem er bereits während seiner Studienzeit einen kurzen Forschungsaufenthalt an der Dalhousie University in Halifax, Kanada verbracht hatte, schloss sich im Anschluss an die Promotion eine dreijährige Postdoczeit an der kanadischen Universität an. Von 2003-2004 kehrte er als Emmy-Noether Fellow für Marine Ökologie an das damalige Leibniz-Institut für Meereswissenschaften nach Kiel zurück. Doch schon 2004 zog es ihn wieder in seine kanadische Wahlheimat. Seitdem ist er Professor für Marine Conservation Biology an der Dalhousie University.

Die wissenschaftlichen Arbeiten von Boris Worm, die sich bereits in weit mehr als 80 begutachteten Aufsätzen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften dokumentieren, darunter auch in Science und Nature, wurden vielfach ausgezeichnet. Schon für seine Diplomarbeit erhielt er den Annette-Barthelt Preis, seine mit Auszeichnung abgeschlossene Doktorarbeit wurde mit dem Daimler-Benz Research Award prämiert. Im Jahr 2004 erhielt er den Heinz Maier-Leibnitz-Preis, eine bedeutende Auszeichnung für Nachwuchswissenschaftler in Deutschland, im Jahr 2007 den Elisabeth-Mann-Borgese Preis des Landes Schleswig-Holstein und im Jahr 2011 die hochdotierte Steacie Memorial Fellowship des Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada.



PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE PROZESSE



PRIMÄRPRODUKTION: PHYTOPLANKTON



SEKUNDÄRPRODUKTION: MEERESTIERE



MENSCHLICHER EINGRIFF

- Die vier Schwerpunkte des Forschungsfaches Ökosystem-Ozeanographie. Dieser sich rasch entwickelnde und innovative Bereich der Meeresforschung hat große Bedeutung für die nachhaltige Nutzung der marinen Ökosysteme und den Wiederaufbau über- nutzter Meeresressourcen. Die vier unteren Abbildungen zeigen beispielhafte Forschungsergebnisse.

ÖKOSYSTEM-OZEANOGRAPHIE

20

Meta-Analysen: Im Rahmen eines, von der amerikanischen National Science Foundation geförderten, Projektes wurde eine einzigartige Datenbank mit Informationen über Biomasse, Verbreitung und Mortalität durch Fische- rei von mehr als 400 verfügbaren Beständen, Fangmengendaten aus 25 großen marinen Ökosystemen, weltweiten Fischfängen und Öko- systemmodellen aus 31 Regionen der Welt zusammengestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die meisten Bestände zwar überfischt sind, aber es in einer Reihe von Regionen positive Trends in den Nutzungsraten gibt, sodass bei einem nachhaltigen Management ein Wiederaufbau dieser Ressourcen möglich ist. In einer weiteren

Studie wurden Planktondaten bis zurück zu den Anfängen ozeano- graphischer Messungen analysiert und zum ersten Mal konnten lang- fristige Rückgänge des Planktons in acht von zehn großen Meeres- gebieten nachgewiesen werden, teilweise bedingt durch Erhöhung der Temperatur und verstärkte Schichtung im Ozean. Durch die Kombination dieser Daten können die Auswirkungen des zurückge- henden Planktonangebots auf die Produktionskapazität mittels em- pirischer Methoden abgeschätzt werden. Dazu wurden die verwen- deten statistischen Methoden nun erweitert, um sie für das Fische- reimanagement in einer sich rasch wandelnden Umwelt einzusetzen.

Experimente: Im Rahmen des durch die Exzellenzprofessur un- terstützten Aufenthalts in Kiel im Jahr 2010 konnte Boris Worm Ko- operationen mit Kieler Kollegen aufbauen, die es seiner Arbeits- gruppe ermöglichten, im Jahr 2012 realistische Experimente zur Ozeanerwärmung mit Plankton- Mesokosmen durchzuführen. „Wis- senschaftler des GEOMAR in Kiel haben außergewöhnlich robuste Indoor-Mesokosmen entwickelt, in denen Änderungen der Tempera- tur und des Nährstoffgehaltes ex- perimentell variiert und gesteuert werden können“ so Boris Worm. Dadurch konnte die Gruppe zum ersten Mal die Mechanismen be- werten, die Reaktionen des Nah- rungsnetzes auf Ozeanerwärmung

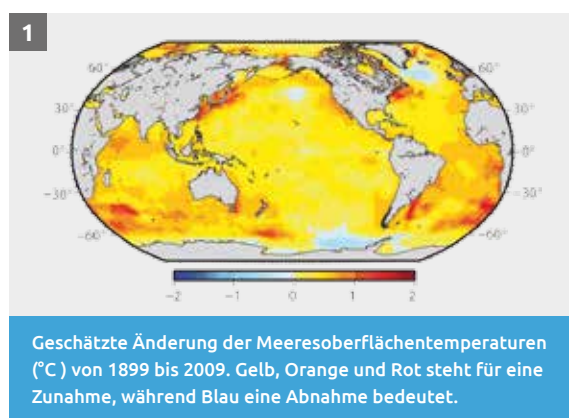
steuern, und im Experiment die Wirkung eines Phytoplanktonrück- gangs untersuchen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Ozeanerwärmung auf das Phytoplankton über zwei grundlegende Mechanismen wirkt, zum einen durch eine Erhöhung der Stoffwechselraten und die Be- weidung durch Zooplankton, zum anderen durch die geringere Nähr- stoffzufuhr aufgrund verstärkter Schichtung der Wassersäule. Es zeigte sich, dass der erste Mecha- nismus besonders in kälteren, ver- tikal gut durchmischten Ökosyste- men wichtig ist, letzterer erschien unter warmen, geschichteten Be- dingungen bedeutsamer.

Modellierung: „Sowohl die Dalhousie University als auch das GEOMAR verfügen über weltweit führende Expertise in der Model- lierung von marinen Ökosystemen, mit besonderem Schwerpunkt auf Planktondynamik und bio- geochemische Kreisläufe. Meine Forschung hat die Zielsetzung, diese Stärken im Rahmen eines dynamischen Ökosystemansatzes, der Änderungen durch das gesam- te Nahrungsnetz verfolgt, zu inte- grieren“ erklärt Worm. Sein Ziel dabei ist es, Vorhersagemodelle zu entwickeln, die zeigen können, wie sich Änderungen in den unteren und oberen trophischen Ebenen gegenseitig beeinflussen und wie diese Interaktion marine Ökosyste- me und biogeochemische Prozesse

in der Zukunft gestaltet. Obwohl einiges davon noch ein Schwer- punkt zukünftiger Forschung ist, hat seine Zusammenarbeit mit dem GEOMAR und dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) schon den wissenschaftlichen Dialog darüber in Gang gesetzt, inwieweit Modellergebnisse, em- pirische Datenanalysen und kont- rollierte Experimente zusammen- geführt werden können. So hat die Arbeitsgruppe um Boris Worm bei- spielsweise Modelle, Experimente und Datenanalysen für die Unter- suchung des globalen Plankton- rückgangs in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft integriert.

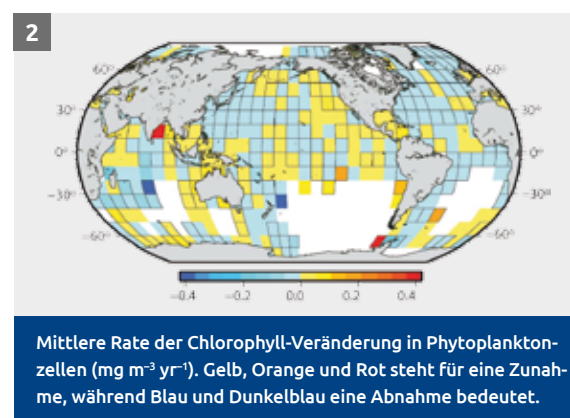
Mehr zu diesem Thema: [www.geomar.de/ fileadmin/content/service/presse/public- pubs/petersen-essays/worm_essay.pdf](http://www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/worm_essay.pdf)

21



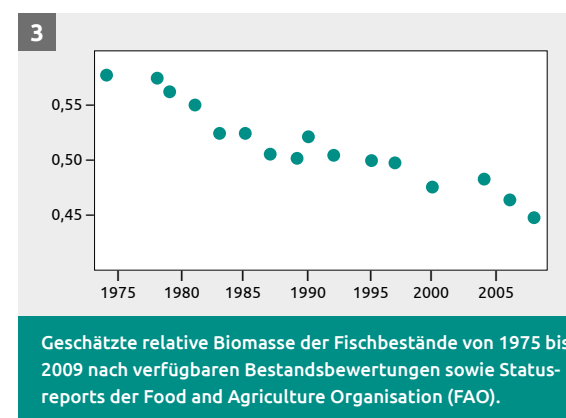
Geschätzte Änderung der Meeresoberflächentemperaturen (°C) von 1899 bis 2009. Gelb, Orange und Rot steht für eine Zunahme, während Blau eine Abnahme bedeutet.

Quelle: Boyce, D., et al. (2010)



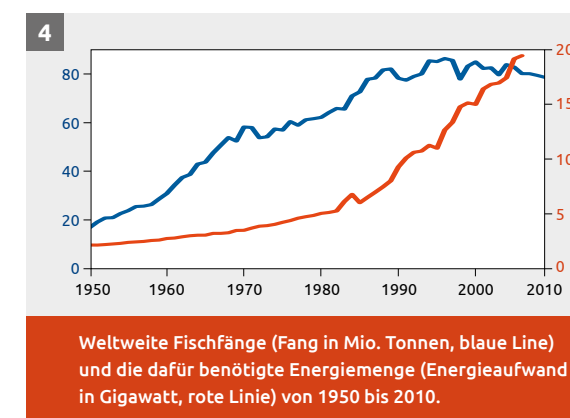
Mittlere Rate der Chlorophyll-Veränderung in Phytoplankton- zellen (mg m⁻³ yr⁻¹). Gelb, Orange und Rot steht für eine Zunahme, während Blau und Dunkelblau eine Abnahme bedeutet.

Quelle: Boyce, D., et al. (2010)



Geschätzte relative Biomasse der Fischbestände von 1975 bis 2009 nach verfügbaren Bestandsbewertungen sowie Status- reports der Food and Agriculture Organisation (FAO).

Quelle: Worm, B. and Branch, T.A. (2012)



Weltweite Fischfänge (Fang in Mio. Tonnen, blaue Linie) und die dafür benötigte Energiemenge (Energieaufwand in Gigawatt, rote Linie) von 1950 bis 2010.

Quelle: Worm, B. and Branch, T.A. (2012)

- Grenzgänger der Tiefe: 2009 untersuchte der unbemannte Tiefseeroboter Nereus des WHOI hydrothermale Quellen an dem bis zu 7.680 Meter tiefen Kaimangraben im karibischen Meer. Im gleichen Jahr erreichte das einzigartige Tauchgerät das Challengertief im Marianengraben, den mit 10.902 Metern tiefsten Punkt der Erde. Auf einer weiteren Mission im Mai 2014 zum nordöstlich von Neuseeland gelegenen Kermadecgraben implodierte Nereus bei einer Tauchtiefe von 9.990 Metern, weil das Material dem enormen Druck nicht mehr standhielt. Foto: Advanced Imaging and Visualization Laboratory, © Woods Hole Oceanographic Institution

22

REISEN ZUM URSPRUNG DES LEBENS

Auf den Spuren Jules Vernes

PROF. DR. CHRISTOPHER R. GERMAN

Position: Senior Scientist an der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), USA

Forschungsinteresse: Entwicklung von Technologien zur Erforschung von Hydrothermalquellen und deren Ökosystemen in der Tiefsee



Foto: Tom Kleindinst, © Woods Hole Oceanographic Institution

„20.000 Meilen unter dem Meer“ ist der Titel eines Romans des französischen Schriftstellers Jules Verne. Vor mehr als 140 Jahren hat Verne nicht nur die technische Entwicklung des Unterseebootes vorweg genommen, sondern auch über Leben in der Tiefsee spekuliert. Vieles aus seinem Buch ist heute Realität, manches musste als unrealisierbar verworfen werden. Doch die Tiefsee ist auch heute noch in weiten Teilen völlig unerforscht und bietet Raum für Spekulationen.

Einer der Pioniere, der in den vergangenen Jahrzehnten mehr Licht in das Dunkel der Tiefsee gebracht hat, ist Prof. Dr. Chris German. Der frühere Leiter der Gruppe für Tiefseegeräte des renommierten Meeresforschungsinstituts Woods Hole Oceanographic Institution



- Nereus mit Polarstern auf der Suche nach heißen Quellen unter dem Eis der Arktis. Illustration: E. Paul Oberlander, © Woods Hole Oceanographic Institution

(WHOI) an der amerikanischen Ostküste ist mit vielen bemannten Tauchbooten selbst in die Tiefsee abgetaucht und hat dort heiße Quellen entdeckt oder ist ihnen mittels autonomer Unterwasserfahrzeuge auf die Spur gekommen.

Das WHOI kann auf eine langjährige Erfahrung bei Entwicklung und Betrieb von bemannten und unbemannten Forschungsgeräten für die Tiefsee zurückblicken. Es betreibt das nationale Zentrum für tieftauchende Unterwasserfahrzeuge für die USA. Das bekannteste und berühmteste Gerät ist sicherlich das bemannte Forschungstauchboot Alvin, mit dem auch Chris German mehrfach getaucht ist. 1964 in Dienst gestellt, hat es seitdem mehr als 4.600 Tauchgänge auf bis zu 4.500 Meter absolviert. Ferner sind in Woods Hole auch mehrere ferngesteuerte und autonome Unterwasserfahrzeuge beheimatet, mit denen Chris German auf seinen Expeditionen in die Tiefsee unterwegs war. Dazu zäh-



- Illustration von Alphonse de Neuville aus der 1870 erschienenen Originalfassung „Vingt mille lieues sous les mers“ von Jules Verne.

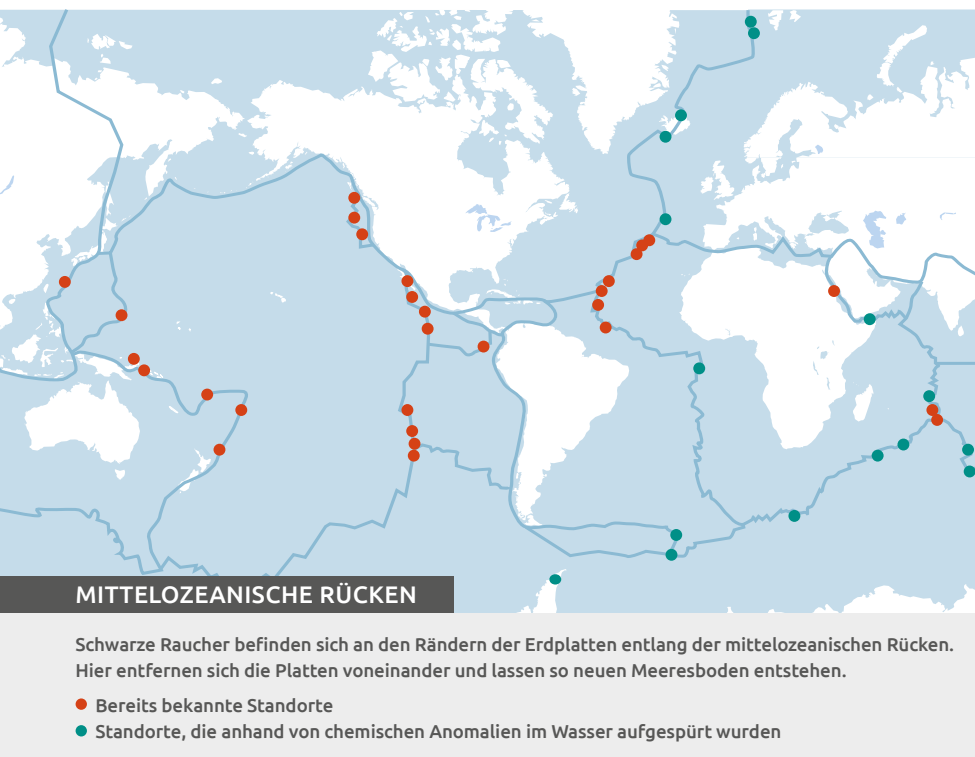
23

len das ferngesteuerte ROV Jason mit einer Tauchtiefe bis 6.500 Metern, das autonome AUV Sentry (Tauchtiefe bis 6.000 Meter) und das bemannte Tauchboot DEEP SEA CHALLENGER (Tauchtiefe bis 11.000 Meter). Chris German war auch mit den heute nicht mehr im Einsatz befindlichen AUVs ABE und Nereus mehrfach unterwegs zu Hydrothermalquellen und Ökosystemen in der Tiefsee.

Chris German studierte zunächst Chemie und Geologie an der University of Cambridge, Großbritannien. Nach seiner Doktorarbeit im Bereich Marine Geochemie, die er 1988 ebenfalls in Cambridge abschloss, verbrachte er seine Postdoczeit zunächst am renommierten Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, ehe er wieder nach Großbritannien zurückkehrte. Von 1990 bis 2005 arbeitete Chris German am Institute of Oceanographic Sciences, Wormley und dem Southampton Oceanography Centre, den Vorläuferinstituten des heutigen National Oceanography Centre in Southampton. Seit 2006 ist er der leitende Wissenschaftler für Tiefseeforschung an der Woods Hole Oceanographic Institution, USA.

Chris German gehört zu den Pionieren der Erforschung von Hydrothermalen Systemen. Er verbrachte auf mehr als 50 Expeditionen insgesamt mehr als drei Jahre auf See und tauchte dabei mit verschiedenen bemannten Tauchbooten in die Tiefsee.

Für seine Forschung wurde er vielfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Edward A. Flinn Award (2000), dem Order of the British Empire for Services to Marine Science (2002) und einem Alexander von Humboldt Preis im Jahr 2014.



Schwarze Raucher: Hotspots des Lebens in der Tiefsee

Das erste Leben auf der Erde könnte auf dem Grund der Ozeane entstanden sein. An den am Meeresboden gelegenen aktiven Grenzen der Erdplatten entsteht durch das Zusammenspiel von vulkanischer Aktivität und Wasser ein intensiver Wärme- und Stoffaustausch zwischen den Gesteinen und dem Meerwasser. Dort wo Erdplatten auseinanderdriften bilden sich an besonders aktiven Stellen die sogenannten Hydrothermalquellen. Hier dringen bis zu 400 Grad heiße, metallhaltige Fluide aus dem Boden, in Kontakt mit dem kalten Umgebungswasser fallen die Mineralien aus und formen meterhohe Schlote, die Schwarzen Raucher. Trotz der extremen Umweltbedingungen – vulkanische Aktivität mit hohen Temperaturen, absolute Dunkelheit, extremer Wasserdruck sowie hohe Mineralkonzentrationen – finden sich dort einzigartige Lebensgemeinschaften. Basis dieses Ökosystems bilden urtümliche Mikroorganismen, die, unabhängig vom Licht, ihre Energie aus der Umwandlung von Schwefelwasserstoff beziehen. Man vermutet, dass sich auch die Urformen des

Lebens auf unserem Planeten unter solchen Bedingungen entwickelt haben.

Die ersten Schwarzen Raucher wurden Ende der 1970er Jahre im Pazifischen Ozean am Galapagos-Rift und am Ostpazifischen Rücken entdeckt. Zunächst bezweifelten viele Wissenschaftler, dass es Hydrothermalquellen auch im Atlantik und im Indischen Ozean geben könnte, da sich dort die Erdplatten langsamer voneinander weg bewegten und dadurch die vulkanische Aktivität geringer ist. Chris German war da anderer Meinung: Er hatte sich das Ziel gesetzt, weltweit nach Schwarzen Rauchern zu suchen, weil er glaubte, dass diese überall an der 60.000 Kilometer im Zickzack durch alle Ozeane verlaufenden Kette der mittelozeanischen Rücken entstehen können. So wirkte er 1997 bei der Entdeckung des Rainbow-Feldes im Atlantik südwestlich der Azoren mit. Dort strömten heiße Fluide aus Rissen tief aus dem Inneren der Erde, was sich aber nicht mit aktuellen Vulkanausbrüchen erklären ließ. Diese Entdeckung war so bemerkenswert, dass sogar eine ungewöhnliche gemeinsame Mission mit den beiden Forschungstauch-

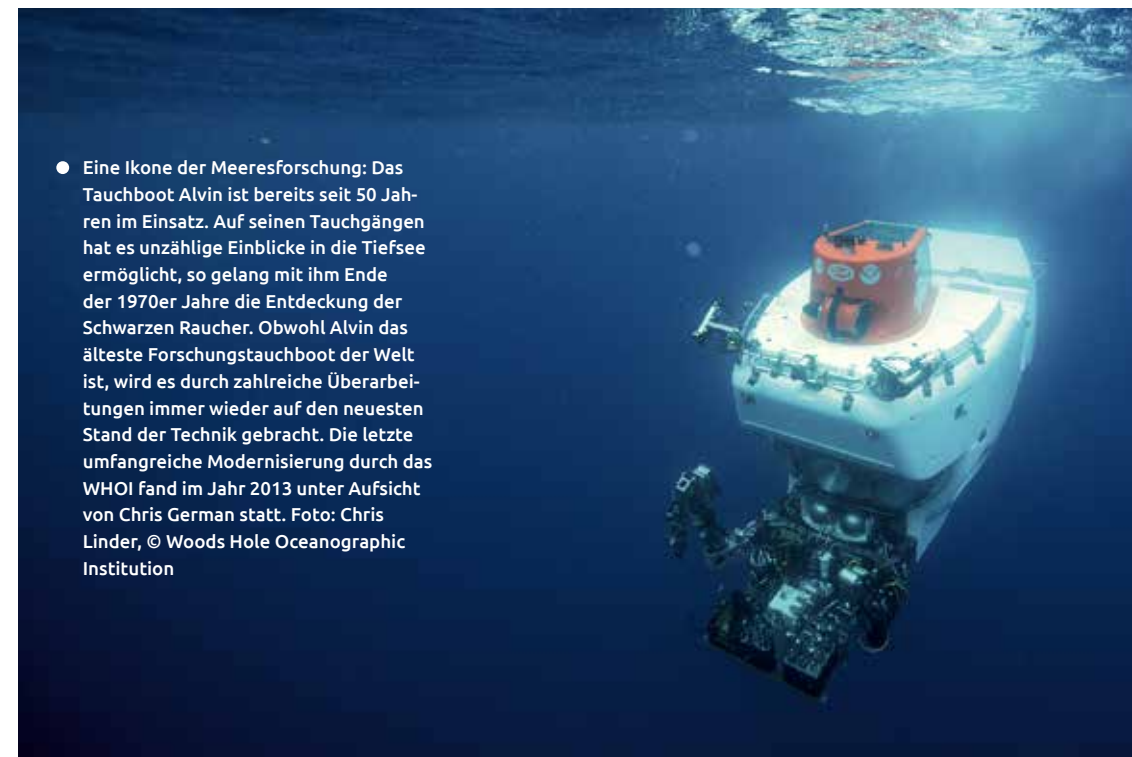
booten Alvin aus Amerika und Nautile aus Frankreich durchgeführt wurde, um das Gebiet weiter zu erkunden. Zehn Jahre später wurden die Rainbow-Raucher im Zusammenhang mit Theorien zur Entstehung des Lebens erneut untersucht. Die Arbeiten von Chris German erzielten internationale Aufmerksamkeit, weil er nachwies, dass Schwarze Raucher in allen Ozeanen entstehen können, sogar an den langsamsten und damit vulkanisch am wenigsten aktiven Spreizungszonen wie dem Südwestindischen Rücken. Aktuelle Expeditionen führten ihn bis zu den isoliertesten Hydrothermalfeldern der Erde, in die Polargebiete der East Scotia Ridge in der Antarktis und zum Gakkelerücken im Nordpolarmeer. Bei letzterem befinden sich die heißen Quellen sogar unterhalb des mit Meereis bedeckten Arktischen Ozeans.

Ermöglicht wurden die Entdeckungen vieler weiterer heißer Quellen vor allem durch eines der ersten autonomen Unterwasserfahrzeuge. Mit dem Autonomous Benthic Explorer (ABE), der am WHOI entwickelt und 1996 erstmals eingesetzt wurde, gelang es erstmals, Schwarze Raucher am Meeres-

boden großräumig aufzuspüren, um an den entsprechenden Stellen weitere Untersuchungen und Probenahmen zielgerichtet durchzuführen. An der Entwicklung und Programmierung des Unterwasserfahrzeugs war Chris German federführend beteiligt. Seine jahrelangen Erfahrungen flossen in die Computerprogramme ein, die das ABE dann steuerten.

Ein Ausflug in die Zukunft der Meeresforschung

Die Möglichkeit, dass irdisches Leben unter den extremen Bedingungen der Tiefsee entstanden sein könnte, ließ Chris German und Kollegen vermuten, dass dies auch auf anderen geologisch aktiven Himmelskörpern mit Wasservorkommen möglich wäre. Der Mond Europa, der um den Planeten Jupiter kreist, bietet dafür gute Voraussetzungen: Bei Aufnahmen der Weltraumsonde Galileo wurden Risse und Verwerfungen an der Oberfläche des Mondes entdeckt, die stark den polaren Eisfeldern der Erde ähneln. Unter einer kilometerdicken Eisschicht könnte sich auf Europa ein hundert Kilometer tiefer Ozean befinden, der doppelt



Das ABE war einer der ersten autonomen Unterwasserroboter, die bis in die Tiefsee vordringen konnten. Durch seine auffällige Form mit den am Rumpf angebrachten Gondeln hatte ABE eine große Ähnlichkeit mit dem Raumschiff Enterprise aus der gleichnamigen Science-Fiction-Serie. Gewissermaßen als Auszeichnung für seine Verdienste bekam ABE die gleiche Registrierungsnummer wie sein berühmtes Vorbild – NCC 1701. Foto: Eben Franks, © Woods Hole Oceanographic Institution



Ein Projekt der ROBEX-Allianz ist AUV DAGON, ein wissenschaftliches AUV für Kartenerstellung und Lokalisierung. Es kombiniert das Beste an Sensorik und Instrumenten, das momentan technologisch möglich ist. Foto: DFKI GmbH, Jan Albiez

soviel Wasser wie alle Ozeane der Erde enthalten würde. Auch Vulkanismus und heiße Quellen am Meeresboden von Europa wären durchaus denkbar. Allerdings ist eine Mission zu diesem Jupitermond mit autonomen Eis- und Tauchrobotern technisch zur Zeit (noch) nicht machbar.

Die Helmholtz-Allianz ROBEX (Robotische Exploration unter Extrembedingungen) bringt jetzt weltweit erstmalig Raumfahrt- und Tiefseeforschung zusammen. Vielleicht rückt mit diesen gemeinsam entwickelten Technologien die Erforschung schwer erreichbarer Gebiete mit extremen Umwelt-

bedingungen auf unserer Erde wie auch auf anderen Himmelskörpern in Zukunft in Reichweite. Chris German würde es freuen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/german_essay.pdf

● Der Jupitermond Europa mit deutlichen Kerben auf seiner vereisten Oberfläche. Foto: NASA/JPL/DLR

● Einzelnen sind sie unsichtbar und scheinen unbedeutend, doch in der Masse sind sie echte Schwergewichte: Mikroorganismen, die als Plankton durch die Meere treiben. Illustration von Molly Bang aus dem Buch „Ocean sunlight: how tiny plants feed the seas“ von Molly Bang und Sally Chisholm. © 2012 Scholastic Inc./The Blue Sky Press

26

DIE GROSSE BEDEUTUNG DER KLEINSTEN

Das Cyanobakterium *Prochlorococcus*

PROF. DR. SALLIE W. CHISHOLM

Position: Professorin für Environmental Studies am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, USA; Gastwissenschaftlerin an der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI), USA

Forschungsinteresse: Ökologie, Evolution und vergleichende Genomik mariner Organismen

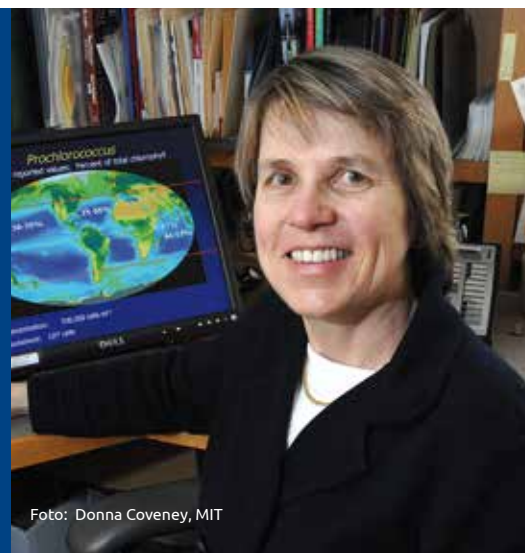
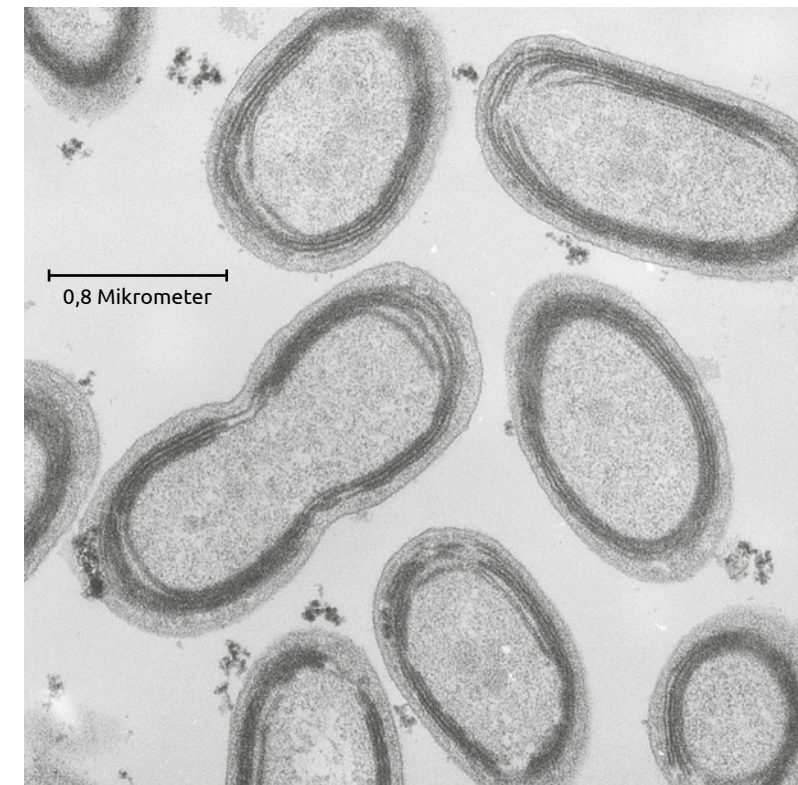


Foto: Donna Coveney, MIT

Mikroorganismen sind ein wesentlicher Antrieb für dynamische Prozesse in den Ozeanen. Einige von ihnen sind für die Hälfte der Photosynthese auf unserem Planeten verantwortlich, andere für das Recycling essentieller Nährstoffe, sodass der Kreislauf des Lebens weitergehen kann. Wie groß ihr Einfluss auch auf unser Leben ist, untersucht die amerikanische Biologin und Biochemikerin Prof. Dr. Sallie W. Chisholm vom MIT.

Der Name ist zwar kompliziert, doch man sollte ihn sich merken: *Prochlorococcus* ist wahrscheinlich der zahlenmäßig häufigste Organismus auf der Erde. Es handelt sich dabei um ein Cyanobakterium, das in den obersten Wasserschichten des Ozeans lebt. Sehen

kann man mit bloßem Auge nicht, denn die Zellen haben nur einen Durchmesser von etwa 0,8 Mikrometer: Das ist ein Hundertstel des Durchmessers eines menschlichen Haars. Damit ist nach heutigem Kenntnisstand der kleinste Photosynthese betreibende Organismus



auf unserem Planeten. Doch seine Winzigkeit macht das Bakterium mit Masse wett: In einem einzigen Wassertropfen können bis zu 200.000 Exemplare vorkommen. Damit könnte für die Hälfte des im Meer produzierten Sauerstoffs verantwortlich sein – das wäre ein Viertel des Sauerstoffs, den wir Menschen zum Leben benötigen.

Prochlorococcus wurde 1985 von Sallie Chisholm entdeckt. Seitdem arbeitet die Wissenschaftlerin daran, die Biologie von komplett zu verstehen – von der Genetik bis zur Rolle des Bakteriums für die globale marine Ökologie und Biologie. Sie ist damit eine Vorreiterin für interdisziplinäre biologische Forschung, bei der Biochemiker, Genetiker, Virologen, Mikrobiologen und Ozeanographen zusammenarbeiten.

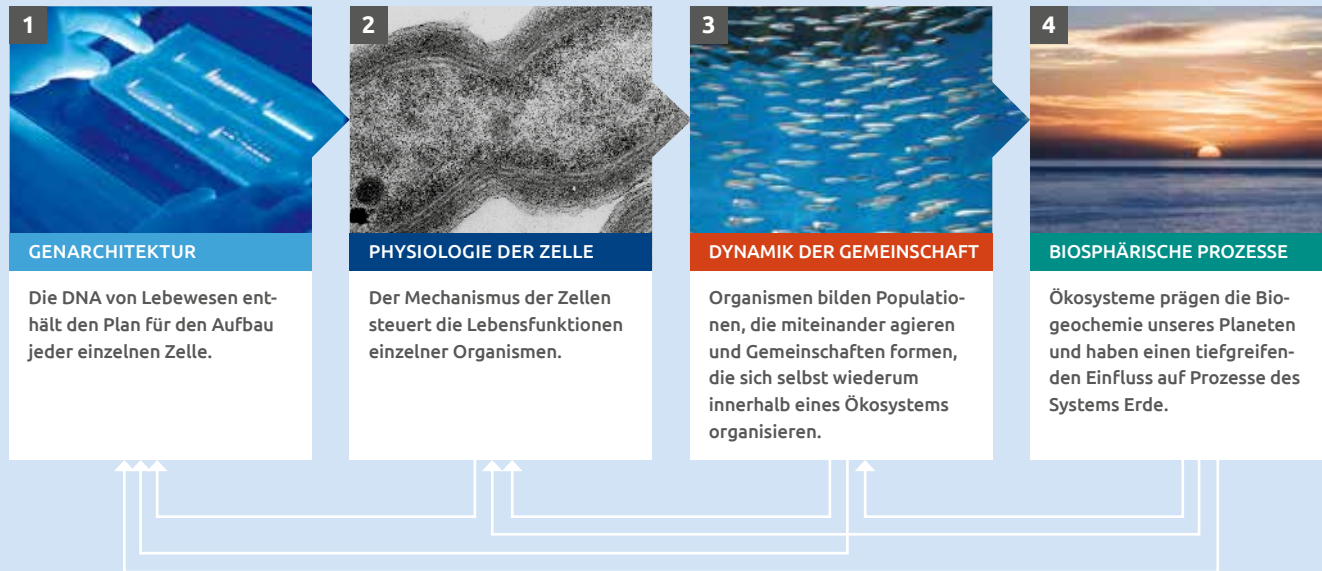
● Mikroskopische Aufnahme von *Prochlorococcus*. Das Chisholm Lab beherbergt die weltweit umfangreichste Sammlung von Kulturen dieser Mikrobe aus den verschiedensten Regionen der Ozeane. Foto: Claire Ting, Chisholm Lab, MIT

27

Sallie Chisholm studierte am Skidmore College und an der Cornell University, USA Biologie und Chemie und promovierte 1974 an der State University of New York in Albany.

Nach ihrer Postdoczeit an der Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, USA wurde sie 1976 Professorin am Department of Civil and Environmental Engineering des renommierten Massachusetts Institute of Technology (MIT) und ist seit 1978 auch als Gastwissenschaftlerin an der Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) tätig. Von 2002 bis 2008 war sie darüber hinaus Direktorin der MIT Earth System Initiative.

Für ihre Arbeiten über die Bedeutung mariner Mikroben wurde Sallie Chisholm mit zahlreichen Ehrungen und Preisen ausgezeichnet, darunter der Huntsman Award for Excellence in Marine Science und die Mitgliedschaft in der National Academy of Sciences der USA. Sie ist Autor von weit über 100 wissenschaftlichen Publikationen in vielen renommierten Fachzeitschriften. Überdies arbeitete Sallie Chisholm in vielen wissenschaftlichen Gremien und als Editor verschiedener Fachzeitschriften.



■ Man kann das Leben in den Ozeanen nicht verstehen, ohne es in allen Größenordnungen seiner biologischen Organisation zu untersuchen. So hat jede einzelne Stufe Eigenschaften, die aus dem Zusammenspiel seiner Bestandteile entstehen. Diese Eigenschaften wiederum wirken sich auf alle jeweils niedrigeren Organisationsstufen aus und beeinflussen damit das weitere Verhalten aller Teile des Systems.

Ein Bakterium als Schlüsselorganismus für eine maßstabsübergreifende Systembiologie

Prochlorococcus ist einer der „Stars“ des mikrobiellen Lebens im Meer, es ist die kleinste und häufigste photosynthetisch arbeitende Zelle im globalen Ozean. Sie gedeiht in den mittleren Breiten und ist häufig für mehr als 50 Prozent der Photosynthese in weiten Bereichen der oberen 200 Meter des Ozeans verantwortlich. So leistet sie einen bemerkenswerten Anteil an der Fixierung von atmosphärischem Kohlendioxid in lebender Materie und der Bereitstellung von Nährstoffen für den Rest der marinen

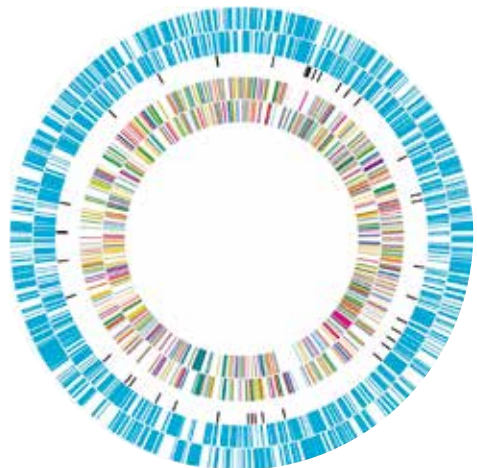
Nahrungskette. In den letzten drei Jahrzehnten wurde im Labor von Sallie Chisholm die Ökologie und Evolution von *Prochlorococcus* untersucht, mit dem Ziel, seine Rolle im marinen Ökosystem zu entschlüsseln. Im Laufe der Untersuchungen hat die Arbeitsgruppe um Sallie Chisholm gelernt, dass innerhalb dieser einzelnen Mikrobenart eine enorme physiologische und genetische Vielfalt besteht, wobei die Zellen jeweils an die leicht unterschiedlichen Umgebungsbedingungen angepasst sind. Auf diese Weise lebt die „*Prochlorococcus*-Föderation“, wie die Forscher sie nennen, als globale Gemeinschaft, die ihre Population auch in unterschiedlichen Ozeanen ganzjährig erhalten kann. So wurde beispielsweise herausgefunden, dass die *Prochlorococcus*-Zellen im Atlantischen Ozean viel mehr Gene für die Phosphoraufnahme enthalten als jene im Pazifik. Das hilft ihnen, da

die Phosphorkonzentration im Atlantik im Vergleich zum Pazifik um eine Größenordnung niedriger ist, was wiederum die Produktivität in den zentralen Wirbeln abschwächt. Ferner enthalten *Prochlorococcus*-Zellen in den Bereichen der Ozeane, in denen wenig Eisen verfügbar ist, mehr Gene für eine Eisenaufnahme als in Regionen, die über einen Überschuss an Eisen verfügen. Diese fein abgestimmte genetische Vielfalt versetzt *Prochlorococcus* in die Lage, eine dominante Position in den Ozeanen einzunehmen.

Die Zusammenarbeit mit anderen Mikroorganismen

In den letzten Jahren wurde mit Untersuchungen begonnen, wie *Prochlorococcus* mit anderen Mikroorganismen in seiner Umgebung interagiert. Dabei haben die Ergebnisse die bisherigen Annahmen zu mikrobiellen Gemeinschaften verändert. Das ungewöhnlich schlanke Genom von *Prochlorococcus* ist deshalb möglich, weil andere kooperierende Mikroben bestimmte spezielle zelluläre Funktionen für *Prochlorococcus* ausüben, die diese selbst nicht mehr durchführen kön-

- Das entschlüsselte Genom der *Prochlorococcus*-Variante MED4: Das Erbgut besteht nur aus rund 2.000 Genen, da viele davon während der Evolution abgestoßen wurden. Die entsprechenden Funktionen haben andere Mikroben für das Cyanobakterium übernommen. Quelle: Katherine Huang, Chisholm Lab, MIT



Prochlorococcus-Kulturen im Chisholm-Lab. Jede Röhre enthält um die 100 Millionen Zellen. Die grüne Farbe entsteht durch das Pigment Chlorophyll, mit dem die Zellen die Lichtenergie der Sonne „ernten“ und Kohlendioxid in organischen Kohlenstoff umwandeln. Diese organische Materie bildet die Grundlage des Nahrungsnetzes im Ökosystem des Meeres. Foto: Jessie Berta-Thompson

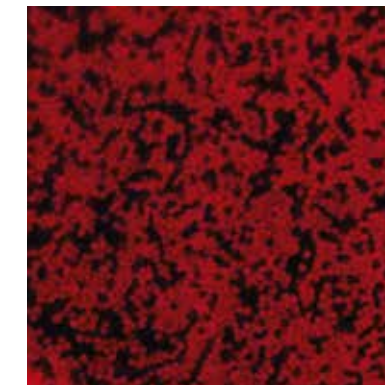
nen, weil sie die entsprechenden Gene durch evolutionäre Entwicklung verloren haben. Im Gegenzug scheidet *Prochlorococcus* organische Verbindungen aus, welche die kooperierenden Mikroorganismen für die Gewinnung von Kohlenstoff und Energie benötigen. „Solche Kooperationen zwischen mikrobiellen Lebensgemeinschaften haben unsere Sicht auf das Ökosystem verändert“, so Chisholm. „Wir nehmen diese Gemeinschaften eher als eine Art Superorganismus wahr, anstatt als eine Ansammlung einzelner Arten, die zufällig in einem flüssigen Milieu interagieren.“

Der Lebenszyklus von Prochlorococcus

Das Cyanobakterium betreibt am Tag Photosynthese und vergrößert sich dabei. In der Nacht vermehrt es sich durch Zellteilung, sodass die gesamte Population sich etwa alle ein bis zwei Tage verdoppelt. Doch die Gesamtmenge bleibt über weite Gebiete des Ozeans relativ konstant, weil Zellen absterben oder gefressen werden, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die in etwa ihrer Wachstumsrate entspricht –

ein Zeugnis für die Komplexität, die dem System seine bemerkenswerte Stabilität verleiht.

Die Gründe der Sterblichkeit für *Prochlorococcus* liegen zum einen darin, dass sie durch eine Vielzahl von Mikrozooplankton gefressen



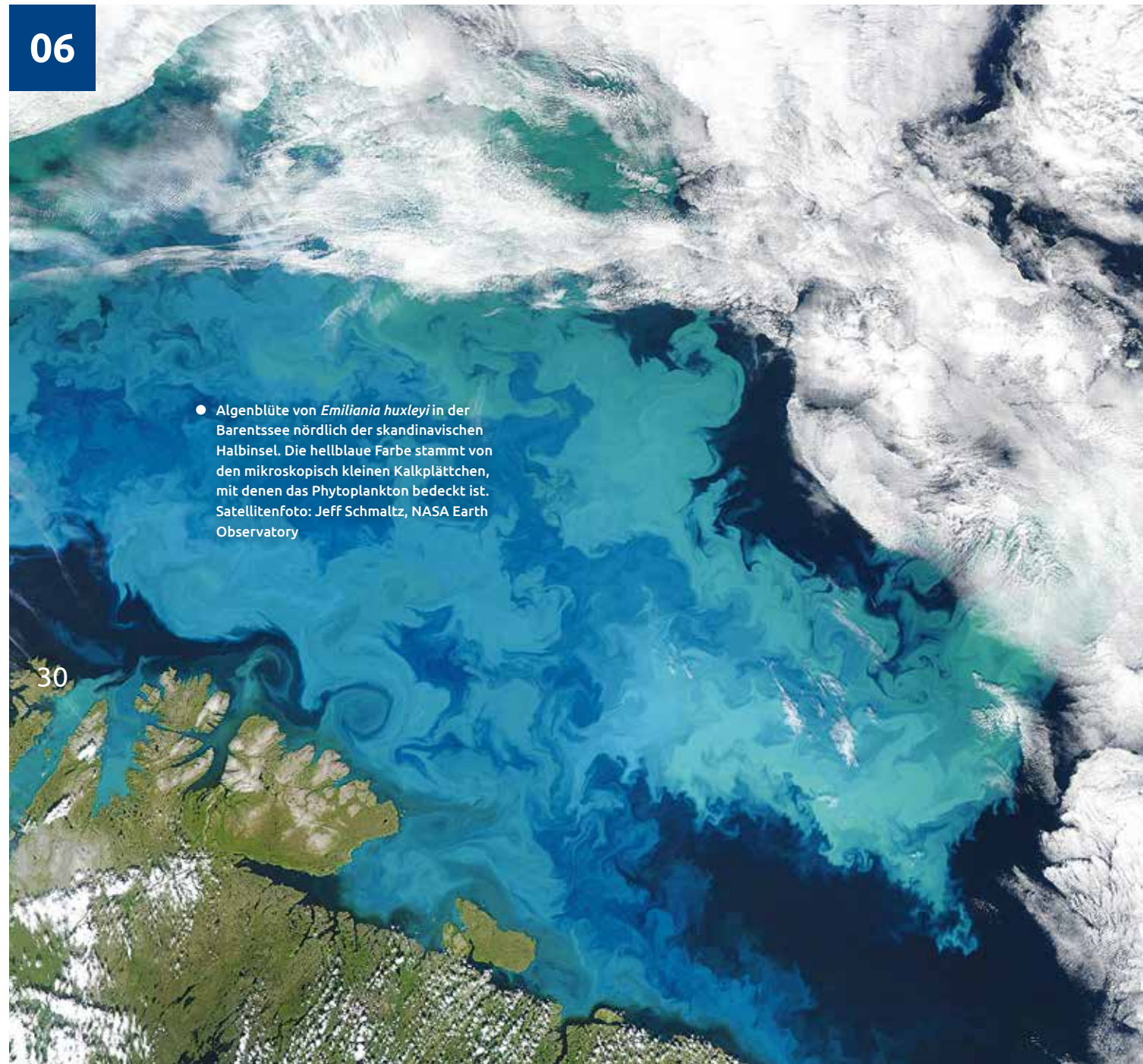
- Eine Kultur von *Prochlorococcus*-Zellen. Ihre Chlorophyllpigmente leuchten rot auf, wenn man sie mit blauem Licht bestrahlt. Foto: Jessie Berta-Thompson

werden und zum anderen durch eine Auflösung der Zellmembran. Neu ist hier eine Erkenntnis über die Rolle von Viren bei der Zelllyse von *Prochlorococcus*: Viren, die den Zellen anhaften, injizieren ihre DNA durch die Zellmembran und

übernehmen die Kontrolle über den zellulären Mechanismus von *Prochlorococcus*. Sie vermehren sich dann innerhalb der Wirtszelle, töten sie ab und treten wieder ins Wasser aus, um eine andere Zelle zu finden, die sie infizieren können.

Einer der faszinierendsten Aspekte der Infektion von *Prochlorococcus* durch Viren war die Entdeckung, dass die Viren Gene tragen, die sie von ihren Wirtszellen im Laufe der Evolution „gestohlen“ haben. Sie haben diese Gene in ihr eigenes Genom integriert und beschäftigen sie, wenn sie die Wirtszelle infizieren, um den Stoffwechsel des Wirtes für ihre eigenen Ziele zu nutzen. Obwohl die Viren für das Sterben einzelner Zellen verantwortlich sind, begünstigt dies eine Verbreiterung des Genpools von *Prochlorococcus* und trägt so zum Erhalt und der Vielfalt der Lebensgemeinschaft bei.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/chisholm_essay.pdf



- Algenblüte von *Emiliana huxleyi* in der Barentssee nördlich der skandinavischen Halbinsel. Die hellblaue Farbe stammt von den mikroskopisch kleinen Kalkplättchen, mit denen das Phytoplankton bedeckt ist. Satellitenfoto: Jeff Schmaltz, NASA Earth Observatory

30

STRATEGIEN GEGEN DEN STRESS

Wie reagieren Meeresorganismen von heute auf eine Welt von morgen?

DR. SINÉAD COLLINS

Position: Royal Society University Research Fellow an der University of Edinburgh, Institute of Evolutionary Biology, Großbritannien

Forschungsinteresse: Experimentelle Evolution, Marine Evolutionsbiologie, Simulation von Evolutionsprozessen, Theoretische Biologie

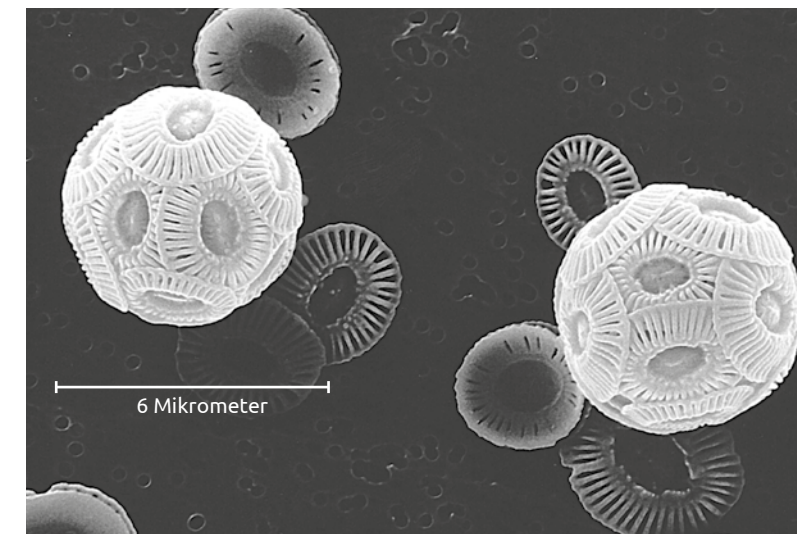


Foto: Privat

Vor ihrem Forschungsaufenthalt in Kiel gehörte das Phytoplankton nicht zum Forschungsportfolio von Dr. Sinéad Collins, wohl aber evolutionsbiologische Theorie und experimentelle Arbeiten mit Modell-Mikroben wie *Chlamydomonas*. Die Förderung durch die Exzellenzprofessur der Petersen-Stiftung ermöglichte es ihr, Experimente zur Evolution von pflanzlichem Meeresplankton mit den Kollegen in Kiel zu beginnen sowie unterschiedliche Forschungsrichtungen zusammenzubringen.

In ihren Arbeiten nutzt Sinéad Collins den Ansatz von Evolutionsexperimenten in Verbindung mit Modellsimulationen. Ihr Ziel ist es, den Evolutionsprozess unter Bedingungen zu verstehen, die in der Untersuchung der üblichen Modellorganismen nicht erfasst werden. Konkrete Forschungsfragen sind zum Beispiel, welche Rol-

le epigenetische, also nicht auf der DNA kodierte Mutationen für den Anpassungsprozess von Populationen in Hinblick auf Umweltveränderungen spielen. Daneben interessiert die Forscherin vor allem, ob sich Erkenntnisse und künstliche Evolutionsexperimente im Labor auf die Situation im offenen Ozean übertragen lassen.



- Die Kalkalge *Emiliana huxleyi* ist ein einzelliges Phytoplankton, welches in großer Anzahl in allen Weltmeeren vorkommt und damit für Meeresforscher eine Schlüsselspezies im Ökosystem Ozean darstellt. Foto: Lennart Bach, GEOMAR

Die Arbeitsgruppe um Sinéad Collins arbeitet auch verstärkt daran, komplexere Umweltveränderungen im Labor nachzustellen, wie zum Beispiel die kombinierte Änderung mehrerer Parameter wie Temperatur, Nahrung und Licht. Der Fokus liegt dabei auf Phytoplankton, das als Basis für alle marinen Nahrungsnetze eine überragende Rolle im Weltozean spielt. Die Untersuchung der Anpassungsfähigkeit und der Randbedingungen für evolutive Anpassung ist daher von großem Interesse und mikrobielle Evolutionsexperimente können hier ein sehr aussagekräftiger Forschungsansatz sein. Dabei werden Phytoplanktonarten über Hunderte bis Tausende von Generationen genau kontrollierten Umweltbedingungen ausgesetzt und mit Referenzwerten verglichen. Es passte hervorragend, dass gleich zu Beginn des Aufenthaltes von Sinéad Collins in Kiel ein wichtiges Experiment zur Anpassung von kalkbildenden Phytoplanktonarten durch den von Thorsten Reusch und Ulf Riebesell betreuten Doktoranden Kai Lohbeck beendet wurde. Dies war der Ausgangspunkt für weitere Diskussionen und Kollaborationen auf diesem Gebiet.

31

Sinéad Collins ist kanadische und irische Staatsbürgerin. Ihr Studium der Biochemie an der McGill University, Montreal, Kanada schloss sie 1999 mit Auszeichnung ab. 2005 erfolgte die Promotion, ebenfalls an der McGill University im Fach Biologie.

Ihre Postdoczeit verbrachte sie dann am Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln, ehe sie im Jahr 2007 an das Institut für Evolutionsbiologie der University of Edinburgh zunächst als NERC Research Fellow und danach als Royal Society University Research Fellow wechselte. Im Jahr 2011 erhielt sie einen der begehrten

ERC Young Investigators Grants mit einer Förderung von etwa einer Million Euro.

Sinéad Collins ist eines der jungen Talente der europäischen Forschungslandschaft, die schon wenige Jahre nach ihrer Dissertation mit mehreren bahnbrechenden Publikationen, darunter zwei Arbeiten, die in Nature erschienen, auf sich aufmerksam gemacht hat. Bereits ihre erste Veröffentlichung war ein Meilenstein in der experimentellen Evolutionsforschung. In der Studie setzte sie Mikroalgen, die mit wichtigen Arten des marinen Phytoplanktons verwandt sind, über längere Zeit solchen Gehalten an CO₂ aus, wie für das Jahr 2100 prognostiziert werden.

• Kai Lohbeck prüft eine Flasche mit einer Kultur von *Emiliana huxleyi* in den Laboren des GEOMAR. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR

• Entnahme von Wasserproben an den KOSMOS Mesokosmen während des Langzeitexperiments im westschwedischen Gullmarfjord. Foto: Maike Nicolai, GEOMAR

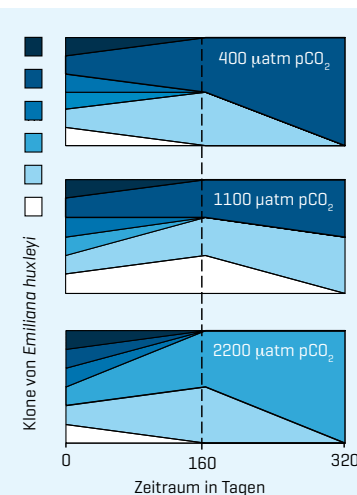
• Die einzellige Grünalge *Chlamydomonas* lebt in Süßwasser und feuchter Erde. Sie gehört zu den vielgenutzten Objekten der pflanzlichen Grundlagenforschung. Foto: Dartmouth Electron Microscope Facility

Evolutionsexperimente im Labor

Für seine Dissertation ließ Kai Lohbeck Kulturen der kalkbildenden einzelligen Alge *Emiliana huxleyi* für 500 Generationen (etwa 1 Jahr) unter CO₂-Gehalten des Meerwassers wachsen, welche die zukünftig zu erwartende Ozeanversauerung simulierten. Dabei konnten er feststellen, dass sich die Algen evolutiv an die veränderten Bedingungen anpassen können. Insbesondere die Bildung der mikroskopisch kleinen Kalkplättchen wird durch erhöhte CO₂-Gehalte des Meerwassers behindert. Allerdings können Algen nach 500 Generationen diese Beeinträchtigung teilweise wieder wettmachen. Diese Ergebnisse wurden während des Aufenthaltes von Sinéad Collins in Kiel intensiv diskutiert. Daraus ergab sich dann eine weitere Forschungsidee, nämlich die Frage, inwieweit die Anpassung an die Ozeanversauerung zwischen den fünf unabhängigen Replikaten des Versuches eine gemeinsame oder unterschiedliche genetische Grundlage hat. Dieses Experiment wurde während ihres Aufenthaltes geplant und dann wenige Monate später von Kai Lohbeck umgesetzt.

Freiland-Langzeitexperimente mit Kieler Mesokosmen

Während des Besuches von Sinéad Collins entwickelten sich auch mit der Gruppe von Prof. Dr. Ulf Riebesell intensive Forschungskontakte. Ein Hauptinteresse von



• Evolution im Laborexperiment über einen Zeitraum von 320 Tagen. Sechs verschiedene Klone von *Emiliana huxleyi* unter drei Ozeanversauerungsszenarien (Farbcode). Unter mittlerer und hoher Ozeanversauerung setzen sich jeweils andere, prä-adaptierte Genotypen durch als unter Kontrollbedingungen. Quelle: Kai Lohbeck, GEOMAR

Sinéad Collins waren hier die einzigartigen offshore KOSMOS-Mesokosmen, welche das gesamte Ökosystem in der freien Wassersäule in einem 20 Meter langen Schlauch abtrennen und so für Vergleichsstudien isolieren. Die Idee wurde geboren, experimentelle Evolution auch in diesen naturnäheren Bedingungen zu untersuchen. Auf Einladung von Ulf Riebesell nahm Sinéad Collins 2013 an einem Langzeitexperiment in der Ostsee vor Kristineberg, Schweden im Rahmen des BIOACID Projektes teil. Obwohl die Auswertung der Experimente noch nicht abgeschlossen ist, lässt sich jetzt schon sagen, dass dieser Ansatz ein wichtiger Schritt ist, um die relative Bedeutung evolutiver Prozesse im Meer und hier insbesondere im Phytoplankton zu verstehen und zu beurteilen. Gleichzeitig hat Sinéad Collins mit ihrer Gruppe in Edinburgh begonnen, die Ergebnisse aus Labor- und Freiland-Experimenten zu vergleichen. Ziel dieser Studie ist es, die Ergebnisse aus kleinräumigen Studien auf den gesamten Ozean hochzuskalieren.

Evolution und Plastizität

Zur Zeit wird in der Arbeitsgruppe von Sinéad Collins ebenfalls intensiv untersucht, wie sich die kurzzeitige physiologische Reaktionsfähigkeit von Phytoplankton, welche auch als Plastizität bezeichnet wird, zur genetisch basierten, langfristigen Anpassung, der sogenannten Evolvierbarkeit, verhält.



• Die Mikroalge *Ostreococcus tauri* ist mit einer Größe von 0,8 Mikrometern die kleinste freilebende eukaryotische Zelle. Quelle: Sinéad Collins

Eines der ersten Experimente in diesem Kontext wurde vor kurzem unter Verwendung der Mikroalge *Ostreococcus tauri*, einer Art des winzigen Picoplankton durch die Doktorandin Elisa Schaum beendet. Die Forschungsfrage lautete, ob Populationen mit ausgeprägter Reaktion auf erhöhte CO₂-Werte in einem kurzen Zeitraum auch schneller evolvieren werden. Um dies zu untersuchen, verglich Elisa Schaum im Laborexperiment *Ostreococcus*-Isolate von 16 verschiedenen Standorten weltweit. Zu Beginn

des Evolutionsexperimentes, das auf 400 Generationen angelegt war, verhielten sich einige *Ostreococcus*-Isolate sehr plastisch, während andere überhaupt keine Reaktion auf erhöhte CO₂-Gehalte des Meerwassers zeigten. Am Ende der 400-Generationen Evolution zeigte sich dann, dass die mehr plastischen Populationen auch sehr viel schneller genetische Anpassung zeigten als weniger plastische. Gleichzeitig fand das Team um Sinéad Collins heraus, dass die plastischen *Ostreococcus*-Isolate vor allem aus Meeresgebieten kamen, in denen natürlicherweise der CO₂-Gehalt im Meerwasser stärker schwankt. Damit konnte in diesem Forschungsfeld ein wichtiges Puzzleteilchen an die richtige Stelle platziert werden und die Vorhersagen zur Evolvierbarkeit erscheinen mit den Daten aus sehr viel leichter zu studierenden Kurzzeit-Experimenten kompatibel zu sein.

Komplexe Bedingungen und epigenetische Veränderungen

Neben den bestehenden Experimenten hat Sinéad Collins weiterhin ein Forschungsinteresse an fundamentalen evolutionsbiologischen Fragestellungen, zum Beispiel danach, wie Evolution in komplexen Umgebungen mit mehr als einem Selektionsfaktor abläuft. Eine gut untersuchte Mikroalge ist *Chlamydomonas*, welche im Süßwasser vorkommt. An diesem Modellorganismus untersuchen die britischen Forscher vor allem, wie sich Evolutionsprozesse in komplexen Umgebungen von jenen in einfachen unterscheiden. Diese Experimente werden von Computer-Simulationen begleitet und unterstützt. Ein neues Arbeitsgebiet sind auch jene Änderungen am Erbgut, die nicht in der Basenabfolge der DNA kodiert sind, welche aber die Auswertung der Erbinformationen im Zellstoffwechsel beeinflussen können. Diese sogenannten epigenetischen Modifikationen können eventuell die Geschwindigkeit der Evolutionsanpassung maßgeblich bestimmen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/collins_essay.pdf

- Schwarzer Raucher im Atlantik: Mark Hannington untersucht das wirtschaftliche Potential der Metallsulfide, die sich im Umfeld dieser hydrothermalen Quellen bilden. Foto: GEOMAR

34

MARINE MINERALISCHE ROHSTOFFE

Ressource für die Zukunft?

PROF. DR. MARK D. HANNINGTON

Position: Professor für Marine mineralische Rohstoffe, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel

Forschungsinteresse: Lagerstättenkunde, marine Geologie, Exploration des Meeresbodens, Hydrothermalsysteme, Vergleich von Lagerstättenbildung und Vulkanismus in der Erdvergangenheit mit rezenten Systemen



Foto: GEOMAR

Die Möglichkeit eines Bergbaus am Meeresboden wirft wichtige neue Fragen zur nachhaltigen Nutzung der Ozeane auf. Ablagerungen von Kupfer und Zink an sogenannten Schwarzen Rauchern sowie Manganknollen und kobaltreiche Krusten in der Tiefsee sind einige der Meeresbodenschätze, die Interesse bei Staaten und Firmen wecken. Dies ist sowohl eine Herausforderung wie eine Chance für die Meeresforschung. Auf der einen Seite hat die Wissenschaft darauf hingewiesen, dass der kommerzielle Abbau von marinen mineralischen Rohstoffen der für ein effektives Management der Ozeane notwendigen Forschung zuvorkommen droht. Andererseits gibt es für die Meeresforschung neue Möglichkeiten, um mit der Industrie zusammenzuarbeiten und so eine nachhaltige Entwicklung des Meeresbergbaus sicherzustellen.

Bergbau nach metallischen Rohstoffen ist einer der größten Sektoren der Weltwirtschaft, mit einem geschätzten Umsatz von mehr als zwei Billionen Euro im Jahr 2014. Ausgaben für die Suche nach mineralischen Rohstoffen betragen mehr als 13 Milliarden Euro pro Jahr. Die steigende Nachfrage nach landbasierten Ressourcen und die sinkende Qualität neuer Entdeckungen befördert die Suche nach Alternativen, auch in den Ozeanen. Einige Staaten, unter anderem auch Deutschland, explorieren aktiv Metallvorkommen in der Tiefsee, insbesondere die im Pazifik vorkommenden Manganknollenfelder, mit dem Ziel zukünftiger umfangreicher Bergbauaktivitäten. Andere Länder wie zum Beispiel Papua-Neuguinea, Fidschi und Tonga haben Teile ihrer Außenwirtschaftszonen für

die Suche nach mineralischen Rohstoffen verchartert. Im Jahr 2011 wurde von Papua-Neuguinea die weltweit erste Lizenz für die Nutzung von Massifsulfidlagerstätten in der Bismarck-See vergeben. Damit könnte der Beginn des Tiefseebergbaus nun unmittelbar bevorstehen. Gleichzeitig werden von wissenschaftlicher Seite Bedenken gegenüber den zu erwartenden Auswirkungen auf die Umwelt vorgebracht. Allerdings ist es immer noch unklar, ob die Zahl und Größe der Vorkommen am Meeresboden für einen Bergbau in der Tiefsee ausreichend ist. Wenn der Meeresbergbau sich als ökonomisch und technisch machbar erweisen sollte, dann wird dies sicherlich neue umweltpolitische und rechtliche Herausforderungen für die internationale Gemeinschaft nach sich ziehen. Die Petersen-Stiftung trägt

durch ihre Förderung dazu bei, Lösungen für diese Fragestellungen zu finden.

Weil Tiefseebergbau nach Metallen in diesem Jahrzehnt Realität werden kann, hat das GEOMAR als erste große Einrichtung in der internationalen Meeresforschung den entscheidenden Schritt getan, einen strategischen Forschungsschwerpunkt zu marinen mineralischen Ressourcen einzurichten. Zwei grundlegende Fragen stehen im Mittelpunkt: Was gibt es zu entdecken, und: ist es das Risiko wert?

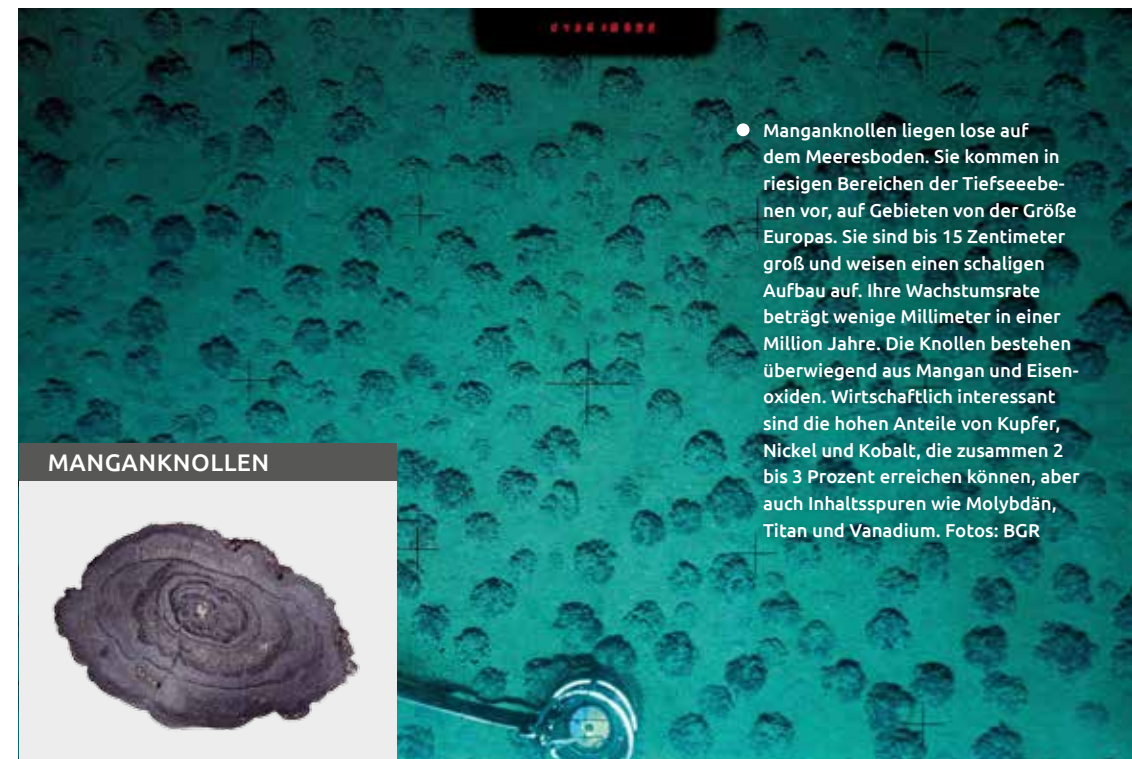
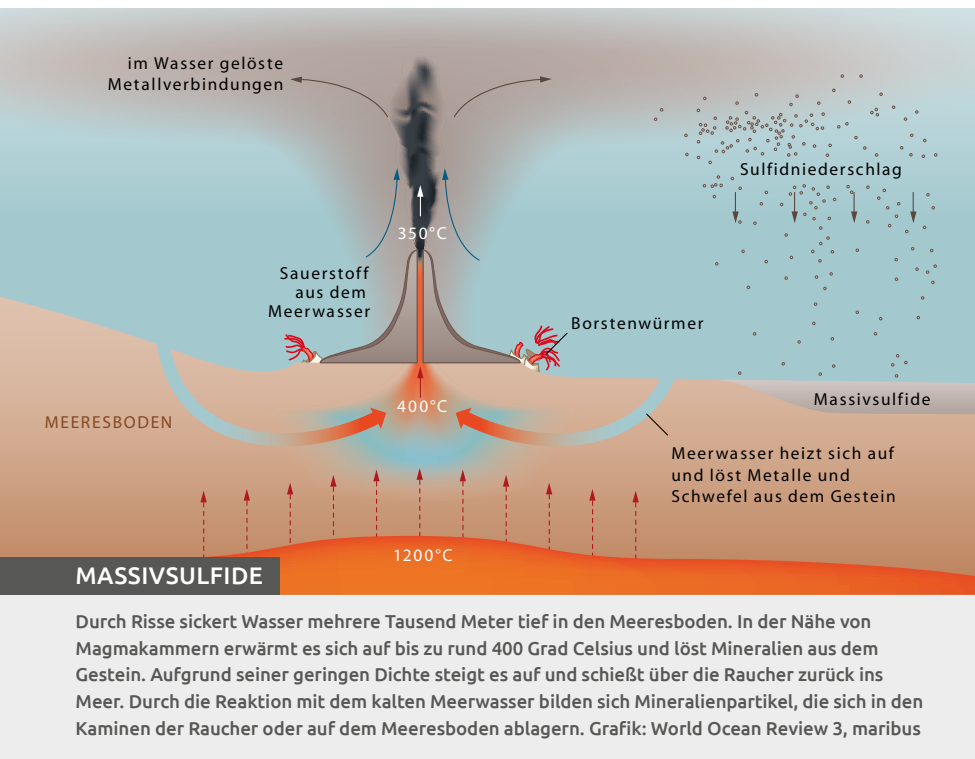
- Schwarze Raucher sind nicht nur Rohstofflieferant, sondern auch ein außergewöhnlicher Lebensraum. Hier findet man eine Vielzahl Organismen, die sich den extremen Bedingungen angepasst haben, wie diese Krebse und Muscheln. Foto: GEOMAR

35



Mark Hannington studierte Geologie an der Queens University in Kingston, Ontario in Kanada. Er entschied sich für Geologie, weil es viele Disziplinen der Naturwissenschaften wie Physik, Chemie, Mathematik und Biologie umfasst. Seinen Master sowie die Doktorarbeit absolvierte er an der University of Toronto in Kanada. Nach seiner Promotion arbeitete Mark Hannington für 15 Jahre als Wissenschaftler für den Geological Survey of Canada und suchte an Land, aber auch am Meeresboden nach Bodenschätzen. Er nahm an mehr als 30 größeren Expeditionen auf allen Welt-ozeanen teil, darunter mehr als ein Dutzend Tauchgänge mit bemannten Tauchbooten.

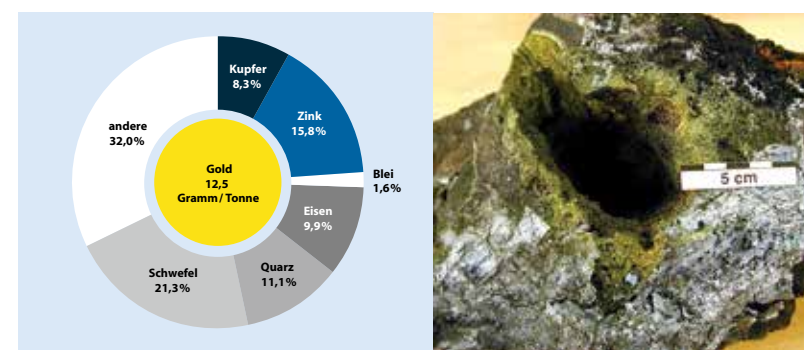
Mark Hannington wurde für seine wissenschaftlichen Arbeiten mehrfach ausgezeichnet und 2006 auf einen Stiftungslehrstuhl der kanadischen Rohstoffindustrie (Goldcorp Chair in Economic Geology) an der University of Ottawa berufen. Seit 2013 ist Mark Hannington Fellow of the Royal Society of Canada. Seine Forschungsergebnisse veröffentlichte er in mehr als 100 begutachteten Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Darüber hinaus war er für einige Jahre Leitender wissenschaftlicher Redakteur der renommierten internationalen Fachzeitschrift „Economic Geology“.



Beurteilung des globalen Potentials von Massivsulfiden

Aktuelle Abschätzungen deuten darauf hin, dass die Gesamtmenge an Massivsulfiden in der neovulkanischen Zone der Mittelozeanischen Rücken etwa 600 Millionen Tonnen beträgt, davon sind etwa

der noch unentdeckten Ressourcen in den Weltozeanen. In den letzten fünf Jahren haben wir daher quantitative Bewertungstechniken getestet, um das globale Potential von marinen Massivsulfiden zu bewerten. Eine besondere Herausforderung stellt die Suche und Abschätzung von Ressourcen in



- Probe eines Schwarzen Rauchers aus dem Manus Becken vor Papua-Neuguinea. Diese Vorkommen zeigen die höchsten Kupfer-, Zink- und Goldgehalte und sind daher für einen möglichen Bergbau besonders interessant. Abbildungen: GEOMAR

30 Millionen Tonnen Kupfer und Zink. Diese Menge entspricht in etwa der Jahresproduktion dieser Metalle aus Vorkommen an Land. Dieses marine Potential wird nicht ausreichen, um die wachsende globale Nachfrage zu befriedigen. Trotz des wachsenden kommerziellen Interesses gibt es erhebliche Unsicherheiten über die Menge

Regionen dar, die sich weiter weg von den derzeit aktiven mittelozeanischen Rücken befinden, da diese durch Sedimentschichten bedeckt sind. Einige Studien deuten darauf hin, dass diese verdeckten Vorkommen mehr Massivsulfide enthalten könnten als jene an den mittelozeanischen Rücken.

Metalle in der Meeresumwelt

Die meisten mineralischen Ressourcen am Meeresboden sind Produkte eines enormen Austauschs von Masse und Energie, der zwischen den Ozeanen und der darunter liegenden Kruste stattfindet. Allerdings sind noch wichtige Fragen in Bezug auf die Metallverteilung in der Erdkruste, die Stoffflüsse, die durch die hydrothermale Aktivität verursacht werden sowie Akkumulationsraten von Metallen am Meeresboden offen. So sind zum Beispiel nur sehr wenige Informationen über die Quellen, Senken und Transportwege für Metalle im marinen Umfeld vorhanden. Dadurch ist das Verständnis der Bildungsbedingungen solcher Vorkommen limitiert, was die Modellierung sowohl eines möglichen Abbaus als auch der potenziellen Umweltauswirkungen des marinen Bergbaus zur Zeit noch behindert. Die Erkenntnisse zur Mineralogie und Geochemie der submarinen Sulfidvorkommen unterstützen derzeit entwickelte Umweltmodelle, die das Verhalten von Metallen bei der Verwitterung am Meeresboden untersuchen. Dadurch lassen sich vermutlich auch Rückschlüsse auf

das Verhalten der Metalle bei einem zukünftigen marinen Bergbau ziehen. Hierbei sind interdisziplinäre Untersuchungen nötig, da zum Beispiel der Einfluss von Mikroben auf die Freisetzung von Metallen aus den langsam am Meeresboden verwitternden Vorkommen nur unzureichend untersucht ist.

Was wir aus der Vergangenheit lernen können

Fast die gesamte Produktion von Eisen und Mangan an Land, mehr als 50 Prozent der globalen Produktion von Zink und Kupfer sowie signifikante Anteile von Silber und Gold, die wir heute an Land abbauen, wurden in ehemaligen Ozeanen gebildet, manche davon vor über 3,5 Milliarden Jahren. Für viele Wissenschaftler ist die Entdeckung von marinen Rohstoffen eine direkte Konsequenz aus der Erkenntnis, dass diese heute an Land befindlichen Lagerstätten ehemals unter Wasser gebildet wurden. Wenn die Landlagerstätten repräsentativ für den modernen Ozean sind, sollten auch noch andere, bisher nicht bekannte Vorkommen und damit deutlich größere Mengen an Metal-

len in den Ozeanen zu finden sein. Über 80 Prozent der Metalle, die aus Sulfidlagerstätten an Land gewonnen wurden, sind auf nur wenige riesige Lagerstätten verteilt. Solche Vorkommen wurden bisher auf dem Grund der Ozeane nicht gefunden. Die Meeresforschung kann hier bei der Suche nach solchen Vorkommen in bisher wenig erkundeten Bereichen der Tiefsee wichtige Erkenntnisse liefern. Das Wissen über die Entstehung von Lagerstätten an Land hat schon zur Entdeckung der ersten submarinen Goldvorkommen vor der Küste Papua-Neuguineas und der Quecksilbervorkommen vor Neuseeland geführt. Dieser amphibische Ansatz aus Landgeologie und mariner Exploration öffnet die Tür für zukünftige Entdeckungen abseits der Mittelozeanischen Rücken und vulkanischen Inselbögen.

Die nächsten Schritte

Obwohl der Abbau von metallischen Rohstoffen am Meeresboden eventuell bald technisch möglich sein könnte, muss ein zukünftiger mariner Bergbau ökonomisch mit dem Landbergbau konkurrieren

und dazu noch die technischen und ökologischen Herausforderungen bestehen. Der Energiesektor, der in den 40iger Jahren des letzten Jahrhunderts die ersten Schritte in den offenen Ozean gemacht hat, produziert heute ein Drittel des globalen Öls und knapp die Hälfte des Gases im offshore Bereich – teilweise in Wassertiefen jenseits von 3000 Metern. Für den marinen Bergbau besteht die Gefahr, dass Entscheidungen getroffen werden, bevor notwendiges Wissen über die Anzahl der Vorkommen, ihre Entstehungsprozesse und die Verbreitungswege der Metalle während und nach dem Abbau gewonnen werden konnte. Die Notwendigkeit einer Bewertung des Rohstoffpotentials ist damit dringender als jemals zuvor. Hier ergibt sich die Möglichkeit, die Fehler der Vergangenheit zu vermeiden und im Vorfeld eines marinen Abbaus Rahmenbedingungen für eine ökologisch vertretbare Nutzung der Meere zu schaffen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/hannington_essay.pdf



- Diese Oberflächenboje vor Del Mar, Kalifornien ist nicht nur für Ozeanforscher interessant: Während sie den Wissenschaftlern aktuelle Meeresdaten liefert, schätzen die Robben den Ozean-Rundumblick. Foto: SIO Ocean Time Series Group

AM PULS DES OZEANS

PROF. DR. UWE SEND

Position: Professor an der Scripps Institution of Oceanography an der University of California San Diego, La Jolla, USA

Forschungsinteresse: Fragestellungen der Ozeanographie und Klimaforschung mithilfe von Zeitreihen-Beobachtungen anhand verankerter Sensoren

Foto: Privat



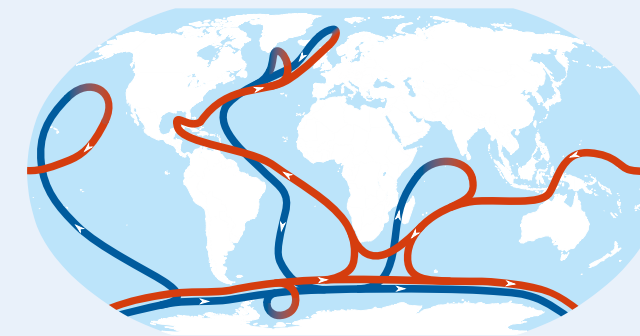
Der Zustand und Wandel des Ozeans lässt sich am besten durch eine Vielzahl von Messungen bestimmen. Doch wie und wo werden solche Zustandsaufzeichnungen am besten und effektivsten vorgenommen? Welche technischen Entwicklungen helfen den Ozeanographen dabei? Wichtige Beiträge zu unserer Kenntnis über die kurz-, mittel- und langfristigen Schwankungen der ozeanischen Signale sind auch durch Prof. Dr. Uwe Send geliefert worden.

Viele der Herausforderungen in der physikalischen Ozeanographie stehen im Zusammenhang mit Stärke und Ausmaß von Strömungen, dem Volumen der Zirkulation in Meeresregionen und der Intensität des Austausches zwischen verschiedenen Ozeanbecken. Dabei sind zwar einerseits die mittleren Felder von grossem Interesse, aber andererseits auch die Variabilität solcher

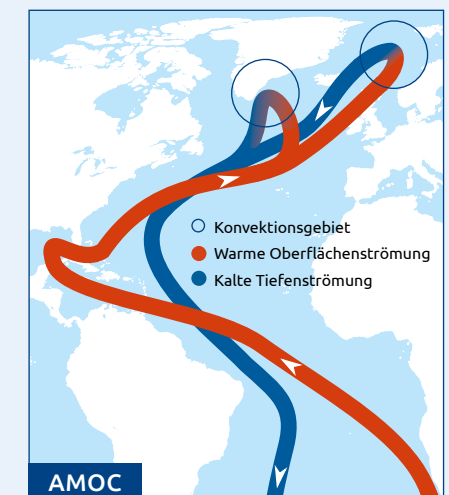
Strömungssysteme, sowohl auf kurzen als auch langen Zeitskalen, mit Perioden von Tagen, Monaten und Jahren. Bei der Bestimmung dieser Variabilitäten sind hochauflösende Zeitserienmessungen unabdingbar. Noch während seiner Doktorarbeit am Scripps Institut in Kalifornien, beschäftigte sich Uwe Send mit verankerten Strommessungen vor dem kalifornischen Schelf. Wäh-

rend seiner Zeit am damaligen IfM in Kiel initiierte er, zusammen mit Prof. Dr. Friedrich Schott, Beobachtungszeitserien der winterlichen Konvektion im Mittelmeer und im subpolaren Nordatlantik. Diese Konvektion, das Absinken frisch gebildeter kalter Wassermassen auf Tiefen von 1500 bis 2000 Metern, ist ein wesentlicher Bestandteil der der Atlantischen Meridionalen Umwälzzirkulation, die wiederum ein wichtiges Element für die Umverteilung der Wassermassen im Weltozean darstellt. Das Ausbleiben tieferreichender Konvektion, wie es in den letzten 10-15 Jahren zu beobachten war, führt zu einer Erwärmung des Tiefenwassers, mit weitreichenden Konsequenzen für das weltweite Klima.

MOC

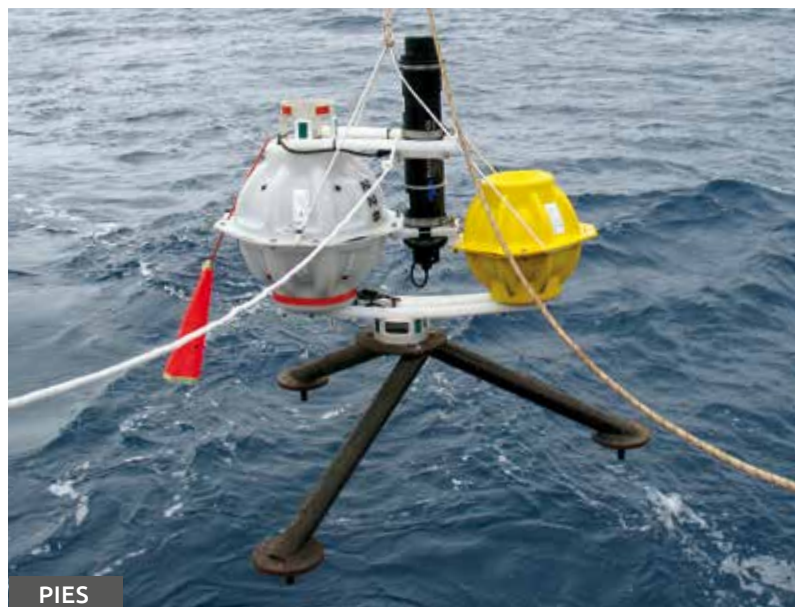


- Die weltweiten ozeanischen Strömungen von warmen Oberflächenwasser und kaltem Tiefenwasser bilden das globale Förderband der thermohalinen Zirkulation (engl.: Meridional Overturning Circulation, kurz MOC). Ein Teil davon ist die Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation (AMOC), in der sich auch der Golfstrom befindet. Quelle: Robert Simmon, NASA, CC BY-SA 3.0



Uwe Send hat zunächst Mathematik und Physik an der Universität Bochum studiert. Nach einem Master in Astronomie (University of Sussex) folgte ein weiterer Masterabschluss in Ozeanographie an der Universität Southampton, Großbritannien. 1988 promovierte er an der Scripps Institution of Oceanography, USA. Danach kehrte Uwe Send für 15 Jahre nach Deutschland zurück, um – wie er sagt – die ozeanographische Landschaft in Deutschland neu zu erleben und zu erforschen. Bis 2003 arbeitete er am Kieler Institut für Meereskunde (IfM), einem der Vorgängerinstitute des heutigen GEOMAR, wo er von 1998 bis 2003 auch die Abteilung Meeresphysik leitete. Während dieser Zeit hat sich sein

anfängliches Interesse an Zeitserienmessungen vertieft. Mittlerweile sind wertvolle, zeitlich hochaufgelöste Datensätze vor dem kalifornischen Schelf, der Straße von Gibraltar, der Dänemarkstraße sowie im subpolaren und im subtropischen Nordatlantik gewonnen worden. Er hat dabei auch einen großen Beitrag zur Bewältigung der immensen technischen Anforderungen geliefert, die Langzeitmessungen in solch unterschiedlichen ozeanischen Gebieten erfordern. 2003 ging Uwe Send wieder zurück nach Kalifornien. Er ist dort Professor an der Scripps Institution of Oceanography und leitet die Forschungsgruppe Ocean Time Series. Im Jahr 2004 wurde er mit dem Edward A. Frieman Chair in Global Observation Research ausgezeichnet.



PIES

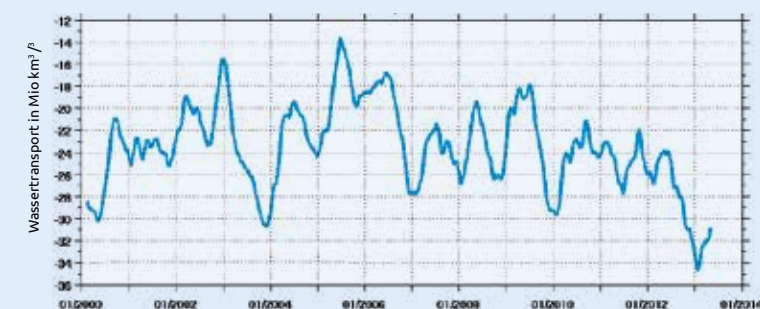
Eine PIES-Anordnung (pressure sensor - inverted echo sounder) vor dem Absenken auf den Meeresboden. Auf einem Gestell befinden sich ein invertiertes Echolot (weiß), ein Float (gelb) und ein akustisches Modem (schwarz). Foto: SIO Ocean Timeseries Group

Die dort erprobten Beobachtungstechniken wurden dann ab dem Jahr 2000, im subtropischen Atlantik bei 16°N als MOVE (Meridional Overturning Variability Experiment) weitergeführt, zuerst von Kiel aus, dann in den USA. Somit gibt es heute eine Beobachtungsreihe von 14 Jahren Länge der südwardigen Rezirkulation des globalen Förderbandes.

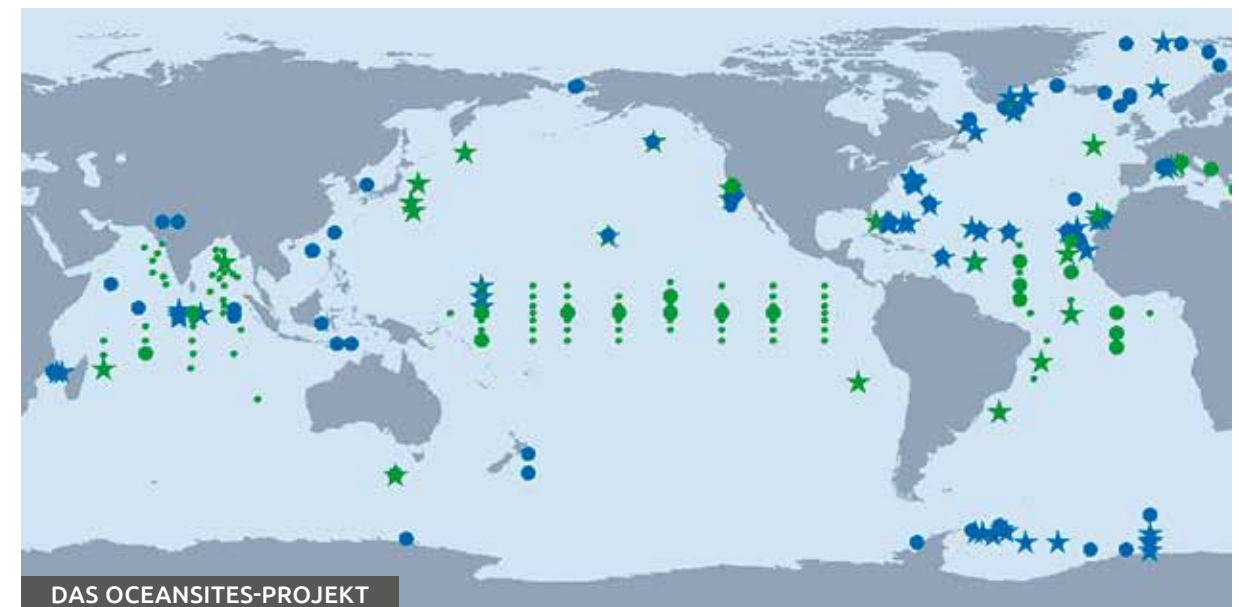
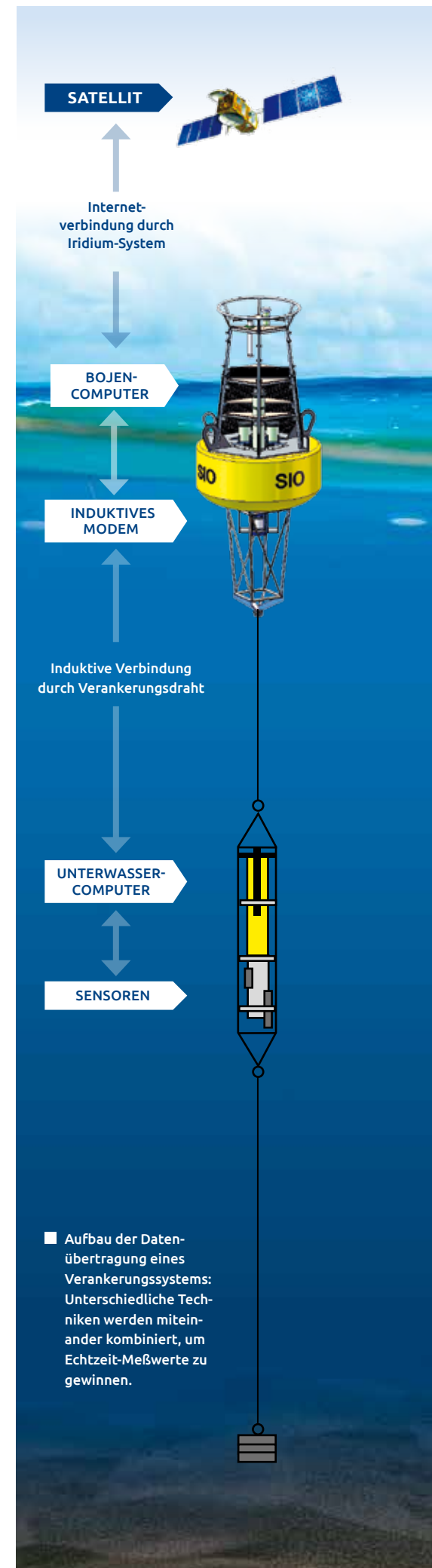
Andere Seegebiete, Problemstellungen und Instrumentierungen folgten, und Uwe Send konnte sein ozeanographisches Repertoire ausbauen. So werden invertierte Echolote, sogenannte PIES als Bodendrucksensoren genutzt, um aus der darüberliegenden Wassersäule und den

horizontalen Gradienten Rückschlüsse über den integrierten Massenfluss quer über ein gesamtes Ozeanbecken oder auch nur eine für Meeresströmungen wichtige Wasserstraße zu ziehen.

Bereits während seiner Zeit in Kiel war Uwe Send maßgeblich an Zeitserien multidisziplinärer Messungen beteiligt. Sauerstoff-, Kohlendioxid-, Plankton- oder Chlorophyll-Konzentrationen sowie Nährstoffe gehörten zu den ersten Parametern, die zusätzlich zu den eher „klassischen“ Temperaturen und Salzgehalten gemessen wurden. Heute sind diese Messungen Teil des Standardprogramms, beispielsweise im Kieler SFB 754 Klima-Biogeochemische

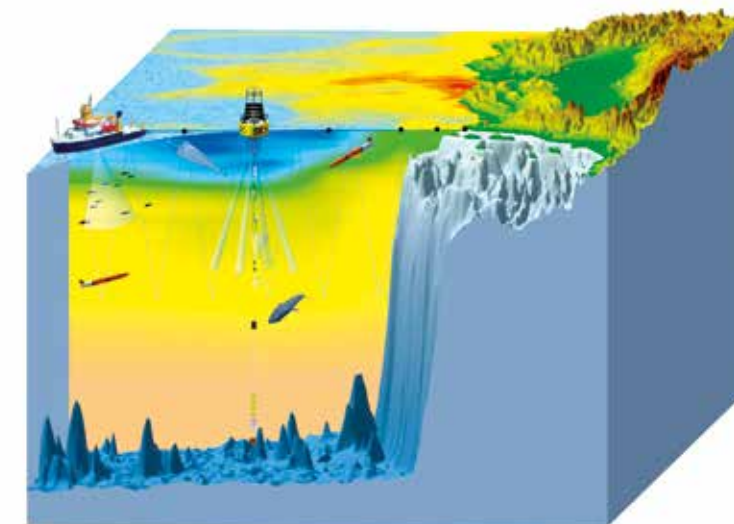


● Menge des Wassertransports entlang der MOVE-Station im subtropischen Atlantik seit dem Jahr 2000. Quelle: Send et al. (2011)



DAS OCEANSITES-PROJEKT

Der Stand des OceanSITES-Netzwerks von 2013. Die einzelnen Stationen werden von verschiedenen Forschungsinstituten aus verschiedenen Ländern betreut. Grüne Standorte stehen für eine tagesaktuelle Verfügbarkeit der jeweiligen Messdaten und Blau zeigt Verankerungen an, deren aufgenommene Werte nach der Bergung ausgewertet werden können. Grafik: OceanSITES Project



● Messanordnung vor Point Conception in Südkalifornien. Dieses multidisziplinäre Beobachtungssystem verbindet Messungen von Verankerungen mit den Daten von Schiffen und Gleitern. Die Farben der Meerestiefe zeigen die Salzkonzentration an (Blau zeigt den Californiastrom mit niedrigem Salzgehalt), die Färbung der Meeresoberfläche stellt den Anteil von Chlorophyll dar (Rot steht für eine Algenblüte, angetrieben durch das Auftriebsgebiet an der Küste). Grafik: Christian Begler

Wechselwirkungen im tropischen Ozean. Die Weiterentwicklung dieser Messungen von Scripps aus führte zu einem Paradebeispiel der multidisziplinären Forschung: Großdimensionierte Oberflächenbojen, die eine Vielzahl physikalischer, chemischer und biologischer Sensoren beherbergen, die Daten in Echtzeit an Satelliten übertragen und zusätzlich durch Experimente

mit ozeanographischen Gleitern in unmittelbarer Nähe ergänzt werden. Innovative Technologie war notwendig, um diese neuartigen Sensoren, Kommunikationsmittel, Elektronik und Rechnerfähigkeiten in den verankerten Geräten unterzubringen. Auch hier hat Uwe Send wesentlich zum aktuellen Stand der Technologie beigetragen. Insbesondere die induktive Techno-

logie und Satellitenübertragung erlauben es, Daten in Echtzeit zu empfangen und zu verarbeiten.

Zudem ist Uwe Send Mitorganisator des Internationalen OceanSITES-Projektes, bei dem ein globales Netzwerk von Zeitserienstationen im offenen Ozean etabliert wurde. Die Homogenisierung und Vergleichbarkeit dieser global unterschiedlichen Messungen ist ganz wesentlich für die wirkungsvolle Bestandsaufnahme des Ozeans, und zuverlässige Klimavorhersagen sind ohne verifizierbare ozeanische Messungen nicht möglich. Der „Puls des Ozeans“ wird somit unmittelbar sichtbar.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/send_essay.pdf

- Blick von der Scripps Institution of Oceanography auf die Weiten des Pazifiks, dem größten Ozeanbecken, das mehr als ein Drittel der gesamten Erdoberfläche bedeckt. Foto: Antoine Taveneaux, CC BY-SA 3.0



42

UNSERE OZEANE VOR NEUEN HERAUSFORDERUNGEN

PROF. DR. TONY HAYMET

Position: Professor für Ozeanographie und ehemaliger Direktor und Vizekanzler an der Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA

Forschungsinteresse: Globale Ozeanbeobachtungsprogramme, der Ozean und seine Schlüsselrolle für die zukünftige Versorgung mit Energie, Nahrung und medizinischen Lösungen für die Weltbevölkerung

Foto: SIO

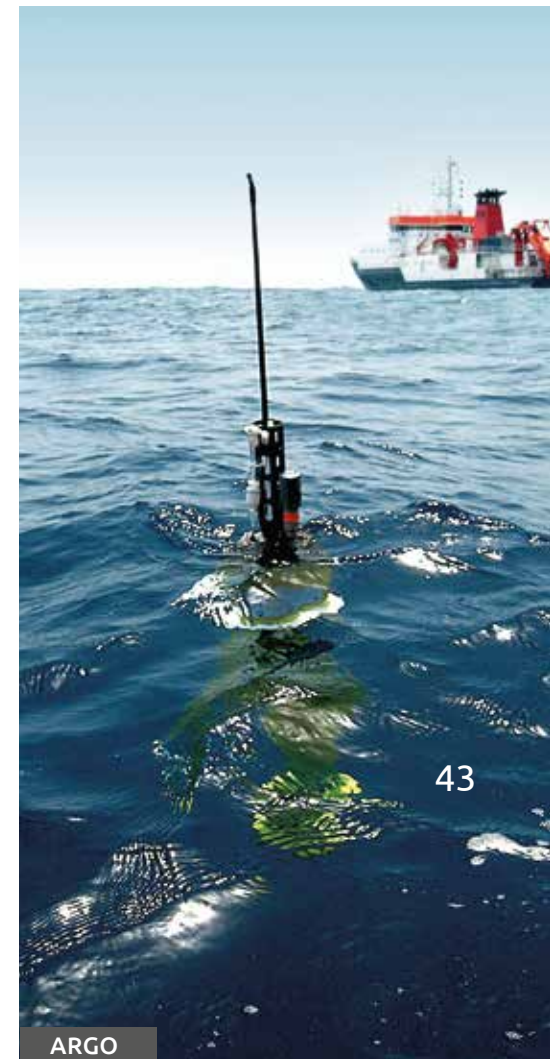


Die Menschen lieben das Meer – auf der anderen Seite behandeln sie das weltweit größte Ökosystem so schlecht, dass es ihnen selbst langfristig schaden wird. Prof. Dr. Tony Haymet kann dieses Statement mit vielen Beispielen illustrieren. Übernutzung von Küstengebieten, Verschmutzung, Überfischung und nicht zuletzt der Klimawandel, der nicht nur für höhere Temperaturen sorgt, sondern auch den Ozean versauert und den Meeresspiegel steigen lässt. Aber der Ozean bietet auch viele Chancen, von denen wir noch sehr wenig wissen. Zum Beispiel auf dem Gebiet der Marinen Wirkstoffe oder durch neue Formen der Energiegewinnung aus Algen.

Tony Haymet hat klare Vorstellungen, wie wir die zukünftigen Herausforderungen für unsere Ozeane meistern können. Am Anfang stehen Beobachtungen und Messungen vieler Parameter. „Wir wissen immer noch zu wenig darüber, wie unsere Ozeane funktionieren, was alles darin lebt und welche Veränderungen sich abspielen. Daher müssen wir globale Netze aufbauen, die über lange Zeiträume zuverlässig Informationen liefern“, so Haymet. Das ARGO Projekt, ein Messnetz von derzeit mehr als 3500 profilierenden Tiefendriftern zeigt, dass so etwas möglich ist. Solche Projekte benötigen aber nicht nur eine langfristige Finanzierung sondern auch ein international koordiniertes Vorgehen. Hierfür sind zwischenstaatliche Organisationen wie die Intergovernmental Oceanographic Commission, eine Organisation der UNESCO oder auch das

Weltklimaforschungsprogramm der World Meteorological Organization (WMO) hervorragende Beispiele. Allerdings gibt es noch keine der WMO vergleichbare Organisation für die Ozeane, sondern stattdessen viele kleinere Initiativen, die nicht unbedingt miteinander koordiniert sind, so Tony Haymet.

Der promovierte Chemiker engagiert sich seit Jahren für globale Ozeanbeobachtungsprogramme. Er ist einer der Mitbegründer der Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO), in der derzeit fast 40 Einrichtungen aus 20 Ländern Mitglied sind.



43

ARGO

Mit Hilfe des international koordinierten ARGO Programms, an dem sich 30 Nationen beteiligen, wurde das Ziel einer globalen Abdeckung mit 3.000 Tiefendriftern Ende 2007 zum ersten Mal erreicht. Deutschland leistet mit zur Zeit etwa 180 dieser Messbojen einen signifikanten Beitrag zu diesem globalen Beobachtungssystem, mit dem es in nur 10 Jahren gelungen ist, mehr Informationen aus dem Inneren des Ozeans zu erlangen, als mit allen schiffsgestützten Expeditionen zuvor. Foto: M. Müller, GEOMAR

Tony Haymet studierte zunächst Chemie und begann seine Karriere an der University of Utah, Salt Lake City, USA. Zwischen 1981 und 1991 arbeitete er an der Harvard University, der Berkeley University sowie der University of Utah.

Von 1991 bis 1998 hatte er eine Professur für theoretische Chemie an der University of Sydney, Australien inne. Danach wechselte er für vier Jahre auf einen Lehrstuhl für Chemie an die University of Houston, USA, ehe er als Honorarprofessor der University of Tasmania, Hobart auf den 5. Kontinent zurückkehrte. Im Jahr 2003 wurde Tony Haymet Leiter für Meeresforschung der australischen Forschungsorganisation

CSIRO und 2005 Leiter des fusionierten Bereichs für atmosphärische und marine Wissenschaften des CSIRO. 2006 wurde er zum 10. Direktor des Scripps Institution of Oceanography an der University of California, San Diego, USA berufen. Das Amt übte er bis zum Jahr 2012 aus.

Tony Haymet hat mehr als 150 Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht und wurde im Laufe seiner Karriere vielfach ausgezeichnet, unter anderem mit der Antarctic Service Medal, US Department of Navy and National Science Foundation, Rennie Medal of the Royal Australian Chemical Institute und Masson Medal of the Royal Australian Chemical Institute.

Schlüsselergebnisse in der maritimen Wirtschaft

Zwischen Anfang 2013 und Mitte 2014 gab es aus der Sicht von Tony Haymet drei erfreuliche Ereignisse, die zu einem breiteren Verständnis der Meeresforschung und ihrer zukünftigen Entwicklung beigetragen haben:

1. Mit seinem Auftritt beim Weltwirtschaftsforum in Davos Anfang 2013, erregte Prinz Albert II von Monaco großes öffentliches Interesse und eröffnete eine faszinierende und manchmal auch kontroverse Sitzung zu Meeresthemen. Tony Haymet leitete diese Sitzung, an der auch der Präsident von Island, Ólafur Ragnar Grímsson, Franz Müller, Vorstandsvorsitzender des deutschen Supermarktkonzerns Metro, und Rachel Kyte, Vizepräsident der Weltbank, teilnahmen. Präsident Grímsson gab eine schonungslos offene Beurteilung der aktuellen Fischereipolitik ab, die er anschließend sogar öffentlich machte. CEO Müller stellte nachhaltige Initiativen vor, die überall auf der Welt vorangetrieben werden, insbesondere einen sehr vielversprechenden Versuch zur Rückverfolgung weltweit gehandelter Fischereiprodukte.

2. Die Zeitschrift *The Economist* veranstaltete den zweiten World Ocean Summit in San Francisco im Februar 2014. Die Führung von *The Economist* zeigte dabei große Weisheit und Mut, indem sie dieses Treffen zwei Jahre nach einem ersten Gipfel in Singapur veranstaltete, der leider keine große Wirkung erzielt hatte. In vielen Sitzungen dieses Treffens fanden aufrichtige Diskussionen zu den Herausforderungen von Ocean Governance statt. *The Economist* versuchte auf dem Treffen um Unterstützung für eine neue nichtsektorale Ozeanorganisation zu werben, die alle Aspekte der Ozeane beinhalten soll, wie beispielsweise die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) für die Atmosphäre. Diese könnte auf bestehende Strukturen aufbauen und diese langfristig ersetzen.

3. Unter dem gemeinsamen Vorsitz von José María Figueres, Trevor Manuel und David Miliband veröffentlichte die Global Ocean Commission am 24. Juni 2014 ihren Bericht. Das zeitliche befristete eingesezte, privat finanzierte Gremium tritt damit in die Fußstapfen der äußerst erfolgreichen Pew Ocean Commission in den USA sowie deren Nachfolgeorganisationen. Die Kommission nahm die durch den Anstieg von Treibhausgasen verur-

sachte Gefahr für die Ozeane, wie der zunehmende Wärmetransport in den Ozean, die Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs und die Ozeanversauerung und dadurch bedingte Schädigung von kalkifizierenden Organismen bedingt durch Lösung von zusätzlichem CO₂ im Meerwasser zur Kenntnis. Der Bericht wurde von den den Ozean betreffenden Vertretungen begrüßt, verbunden mit der Einsicht, dass die Umsetzung der dort formulierten Empfehlungen ein schwieriger und langwieriger Prozess sein wird.

Herausforderung Welt-ernährung: Ist Aquakultur eine Lösung?

Nachhaltige Aquakultur scheint in der Lage zu sein, eine wichtige Rolle bei der Ernährung der 9 bis 11 Milliarden Menschen, die bald auf der Erde leben, zu spielen. So wie die letzten 200 Jahre für die Kultivierung des terrestrischen Bereichs stehen, mit der Umwandlung von Grünland und vieler Wälder durch den Menschen zu Ackerland, so könnten die nächsten 200 Jahre im Zeichen der Kultivierung des Ozeans stehen, hoffentlich mit weniger globalen Auswirkungen als seine terrestrischen Vorgänger. Aktuell vorgeschlagene Großprojekte kon-

zentrieren sich auf Wüstengebiete oder anderweitig ungenutzte Flächen sowie auf Brackwasserbereiche. Aquakultur muss auch umweltfreundlich in küstenfernen Gebieten betrieben werden, um auf den 50 Prozent der Oberfläche unseres Planeten, die außerhalb der nationalen Gerichtsbarkeit liegen, genügend Proteine zu produzieren.

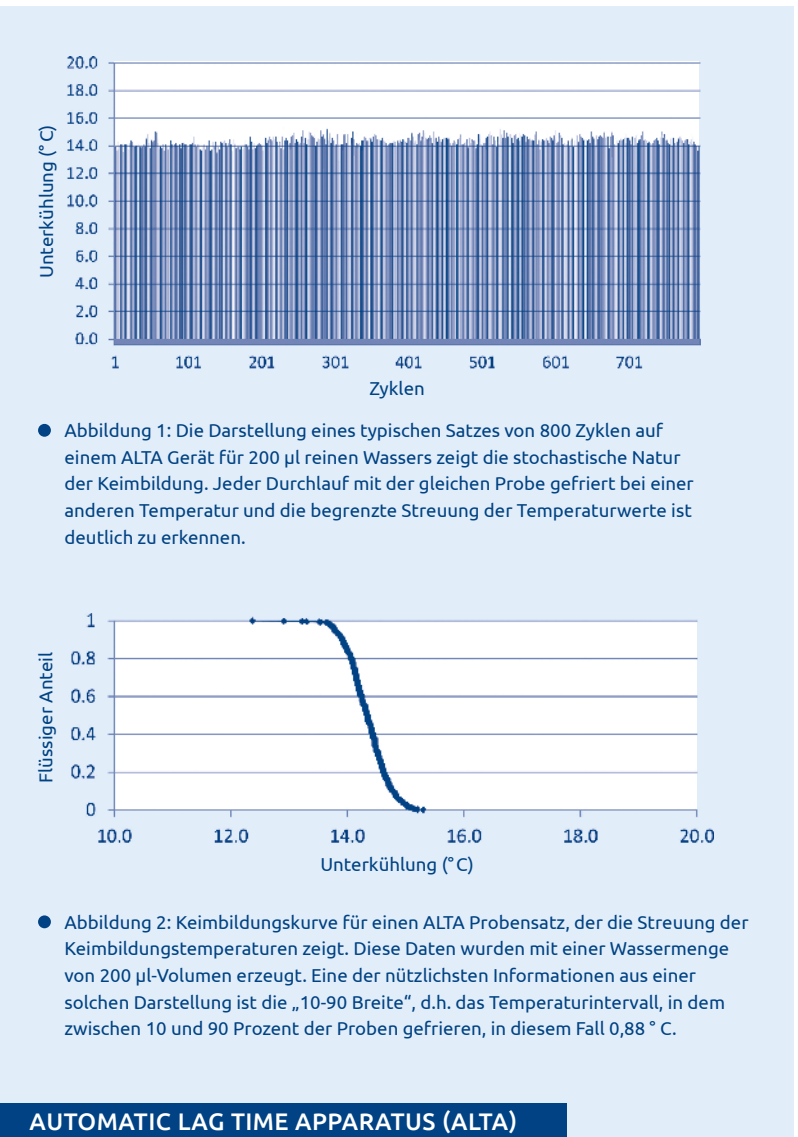
Blick in die Forschung: Keimbildung

Die Bestimmung der Keimbildungstemperatur einer flüssigen Probe erfolgt üblicherweise durch eine gleichmäßige Verringerung der Temperatur der Probe in einem isolierten Behälter bis die Lösung erstarrt. Dieses Verfahren wird dann einige Male wiederholt, entweder mit der gleichen Probe, oder aber mit unterschiedlichen Proben aus der gleichen Stammlösung. Beide Vorgehensweisen lassen einen wichtigen Aspekt der Unterkühlung außer Acht, nämlich die inhärente Breite der Keimverteilung. Wenn nur wenige Datenpunkte bestimmt werden, ist die Wahrscheinlichkeit, dass die häufigste Keimbildungstemperatur gemessen wurde, gering. Tony Haymet und sein langjähriger Mitarbeiter Prof. Dr. Peter Wilson (UTA) haben



- Testbecken mit Wolfsbarschen. Aufgrund der stagnierenden Erträge aus der Fischerei und der steigenden Nachfrage einer wachsenden Weltbevölkerung ist eine Versorgungslücke entstanden, die bereits heute zu rund einem Drittel aus Aquakulturen gedeckt wird. Bis zum Jahr 2015 wird dieser Anteil voraussichtlich auf ca. 50 Prozent ansteigen. Foto Maike Nicolai, GEOMAR

AQUAKULTUR



zusammen mit ihren Mitarbeitern gezeigt, dass mindestens 200-300 Messungen an einer einzigen Probe benötigt werden, um die Keimbildungstemperatur genau zu bestimmen. Sie verwenden dazu ein automatisches „Verzögerungsgerät“ (automatic lag time apparatus = ALTA), um die Statistik des Übergangs von Flüssigkeit zu kristallinen Strukturen zu studieren. Die Maschine kühlt, gefriert und taut wiederholt eine einzige, unveränderliche Probelösung, wie oben beschrieben. Bisher gibt es nur wenige ähnliche Experimente, die die Keimbildungstemperatur einer unterkühlten Flüssigkeit in dieser Form bestimmen. Die stochastische Natur der Keimbildung einer unterkühlten Lösung ist nicht immer angemessen berücksichtigt. Für jede gegebene Probe, die wiederholt im selben Behälter ge-

kühlt, eingefroren und dann aufgetaut wird, existiert eine inhärente Streuung der Keimbildungstemperaturen, selbst wenn die Keimbildung an der gleichen Stelle auftritt. Die klassische Keimbildungstheorie sagt die Streuung zwar voraus, liefert aber keine Interpretation des Wertes für die Streuung auf molekularer Ebene, dadurch bleibt Raum für Spekulationen. Die neue Studie zeigt, dass es eine untere Grenze für die Streuung gibt, die aber weder zum Wirkungsgrad an der besten Keimbildungsstelle noch zur Anzahl der Kühlversuche und Keimbildungstemperatur der Probe in Beziehung steht.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/haymet_essay.pdf

- Korallen vor Puerto Morelos an der Ostküste der Halbinsel Yucatán. Während einer Feldstudie in Mexico untersuchte Adina Paytan die Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Korallenriffe. Foto: Elizabeth Crook, Paytan Biogeochemistry Lab

46

ÖKOSYSTEME IM WANDEL

PROF. DR. ADINA PAYTAN

Position: Research Scientist am Institute of Marine Science, University of California Santa Cruz (UCSC), USA

Forschungsinteresse: Entschlüsselung biogeochemischer Archive



Foto: Privat

Adina Paytan studierte Geologie und Biologie an der Hebrew University in Jerusalem, Israel. Ferner qualifizierte sie sich auch im Bereich Pädagogik und arbeitete in Israel als Lehrerin an Schulen und im universitären Bereich. 1991 wechselte sie für ein Promotionsstudium an die renommierte Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, USA.

Nach Abschluss ihrer Promotion in Ozeanographie setzte sie ihre wissenschaftliche Karriere zunächst bei Scripps fort, ehe sie 1999 eine Professur für Geologie und Umweltwissenschaften an der Stanford University, USA annahm. 2007 wechselte sie an das Institute of Marine Sciences der University of California in Santa Cruz, USA.

Adina Paytan ist Autorin von mehr als 150 begutachteten Aufsätzen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften, darunter Artikel in Nature oder Geology. Für ihre wissenschaftlichen Arbeiten wurde sie vielfach ausgezeichnet, beispielsweise mit dem Ellen Weaver Award, dem Mildred Mathias Award und dem NSF CAREER Award sowie einer Honorarprofessur am Yucatán Center for Scientific Research, Mexico.

Nicht nur als hoch begabte Wissenschaftlerin ist Adina Paytan bekannt geworden, sondern auch durch ihr Engagement für die Förderung von „Frauen in der Wissenschaft“ und als Mentorin, um Wissenschaft in der Öffentlichkeit und den Schulen verständlich darzustellen.

Von waberndem Wasserdampf gesättigte Mangrovenwälder, klares türkisblaues Wasser mit farbenfrohen Korallen und Fischen sowie große Flussdeltas und Küsten, an denen Eisberge entlang treiben – in all diesen unterschiedlichen Meereswelten laufen komplexe biologische, chemische und geologische Prozesse ab, die unsere Welt beeinflussen und gestalten. Das Ziel biogeochemischer Forschung ist, die Konsequenzen all dieser komplizierten Wechselwirkungen auf die Umwelt und das Klimageschehen zu verstehen.

So stehen folgende Fragen im Zentrum biogeochemischer Forschung: Beeinflussen Veränderungen des Wasserkreislaufes durch die Erderwärmung in der Arktis die Freisetzung von Methan, um möglicherweise die atmosphärische Erderwärmung noch zu beschleunigen? Welches Schicksal werden die Korallenriffe erleiden wenn der Säuregrad des Meerwassers zunimmt? Wird die Zunahme der landwirtschaftlichen Aktivität zu vermehrten und die Fischerei bedrohenden Algenblüten im Meer führen? Und wie steht all das im Zusammenhang mit den Veränderungen von mariner Planktonbildung, Ozeanwasserchemie und kontinentaler Verwitterung unseres Planeten in der geologischen Vergangenheit?

Zu den weltweit renommiertesten Experten auf dem Gebiet der biogeochemischen Forschung gehört Prof. Dr. Adina Paytan. Hierfür untersucht sie biogeochemische Archive wie Wasser, Sedimente, Staub und auch Pflanzen, um die dort gespeicherten Informationen herauslesen zu können. Paytan verwendet hierfür isotopische Indikatoren mit deren Hilfe sie wesentliche Beiträge zum Verständnis des Einflusses der Ozeanversauerung auf Korallenriffe leistet. Sie folgte dabei erstmalig auch einem ganzheitlichen Ansatz bei der Untersuchung lokaler Ozeanversauerung, im Gegensatz zu den sonst üblichen, nur auf Laborexperimente und singuläre Korallen beschränkten Experimenten.



- Tauchgang vor Puerto Morelos: In der Nähe saurer Grundwasserquellen am Meeresboden nimmt die Vielfalt der Korallenarten deutlich ab. Foto: Elizabeth Crook, Paytan Biogeochemistry Lab

47



SAURE QUELLEN AM MEERESBODEN

Forscher nehmen Korallenproben an submarinen Grundwasserquellen, sogenannten „Ojos“ vor Puerto Morelos. Diese Quellen sind seit mehreren tausend Jahren Bestandteil des lokalen Karstgebietes. Das austretende Quellwasser ist deutlich saurer als das umgebende Meereswasser, weswegen die Ojos den Forschern auch als ein natürliches Labor zur Untersuchung von Langzeiteffekten einer Ozeanversauerung dienen. Foto: Elizabeth Crook, Paytan Biogeochemistry Lab



DIE „ROTE FLUT“

In der Monterey Bay an der kalifornischen Pazifikküste kommt es öfters zu Algenblüten der Spezies *Noctiluca scintillans*. Die ausgereiften Algen treiben an die Oberfläche und bilden dort einen zwei bis drei Zentimeter dicken orangeroten Teppich, weswegen man diesen Effekt auch als „Red Tide“ bezeichnet. Foto: Steven Haddock, MBARI



● Probenahme am Toolik See im Norden Alaskas. Seen in Permafrostgebieten sind bekannt als Quellen von Methanemissionen in die Atmosphäre. Die Forscher wollen herausfinden, ob sich dieser natürliche Effekt durch den Klimawandel noch verstärkt. Foto: Alanna Lecher, Paytan Biogeochemistry Lab

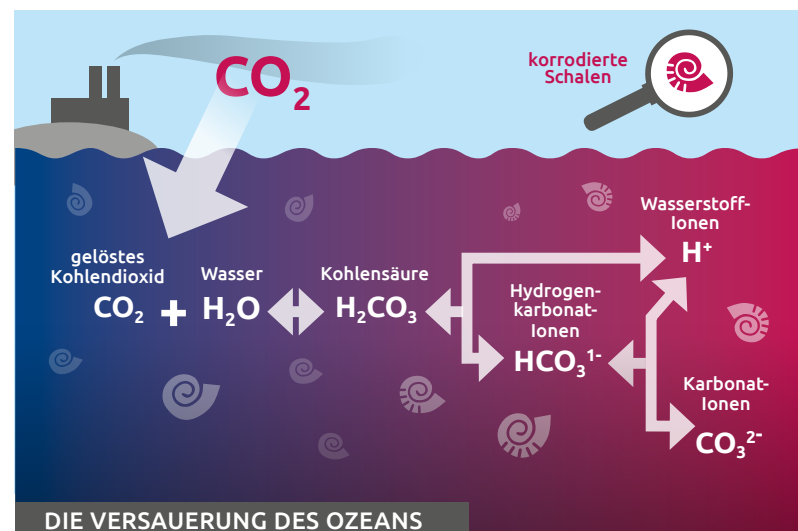
Die Auswirkungen der Ozeanversauerung vor der Küste Mexikos

Die steigenden atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid und deren Wechselwirkung mit dem Ozean erhöhen dessen Säuregrad und die Löslichkeit von Kalziumkarbonat (CaCO_3). Allgemein wird dieser Prozess als Ozeanversauerung bezeichnet. Kalziumkarbonat ist dabei der wichtigste Rohstoff der kalkbildenden Organismen, insbesondere der riffbildenden Korallen, für die Produktion ihrer Kalkschalen. Je höher der Säuregrad, oder anders ausgedrückt je niedriger der pH-Wert ist, desto höher ist die Löslichkeit des Kalziumkarbonats im Ozeanwasser und umso schwerer fällt es den Korallen, diesen Rohstoff aus dem Wasser für die Schalenbildung zu extrahieren.

Die Arbeitsgruppe von Adina Paytan interessiert sich dafür, welche genauen Auswirkungen die Ozeanversauerung auf Korallenriffe hat, wie diese damit umgehen und ob sie möglicherweise Mechanismen entwickeln, um sich vor der zunehmenden Versauerung zu schützen. Diesen Prozess studieren

die Forscher in der natürlichen Umgebung des „Labor Erde“, und zwar unter anderem in Puerto Morelos, an der uns als Riviera Maya bekannten Küste der mexikanischen Halbinsel Yucatán, wo schon seit vielen tausend Jahren versauertes Grundwasser in den Ozean eingetragen wird. Die Untersuchungen

der Korallenriffe dort zeigen, dass diese sehr sensibel auf die Anwesenheit versauerten Wassers reagieren, indem sich die Anzahl der verschiedenen Korallenspezies mit der Nähe zu der Grundwasseraustrittsstelle verringert. In der unmittelbaren Nähe dieser Stelle verbleiben nur noch drei der zahlreichen



DIE VERSAUERUNG DES OZEANS

Das atmosphärische CO_2 tritt in Wechselwirkung mit dem Ozean. Es löst sich dort im Meerwasser um Kohlensäure (H_2CO_3) zu bilden. Im weiteren Verlauf der chemischen Prozesse gibt die Kohlensäure ihre beiden Wasserstoff-Ionen an das Wasser ab und erhöht dabei die Anzahl der freien H^+ Ionen und somit den Säuregrad des Meerwassers. Je mehr CO_2 in der Atmosphäre ist, desto mehr freie H^+ Ionen werden auch im Meerwasser gebildet mit der Folge zunehmender Ozeanversauerung. Gleichzeitig verringert sich jedoch auch die Konzentration an Karbonat (CO_3^{2-}), zusammen mit Kalzium (Ca) der zunehmend limitierende Faktor für die Bildung von Korallenkalk (CaCO_3) in unseren Meeren. Quelle: University of Maryland

Korallenarten. Dies zeigt einerseits, dass die Ozeanversauerung mit einer Verringerung der Anzahl von Korallenarten einhergeht, aber auch andererseits, dass bestimmte Arten Mechanismen entwickelt haben, um gut mit der Ozeanversauerung fertig zu werden. Unbekannt dabei ist, warum einige Korallen besser mit der Veränderung im Meerwasser umgehen können als andere. Um dies herauszufinden sind noch weitere Studien notwendig, um den Prozess der Biokalkifikation und die Wechselwirkung mit der Meereschemie besser zu verstehen.

Methan in der Arktis

Methan ist ein hoch aktives Treibhausgas, seine Freisetzung in die Atmosphäre trägt zur globalen Erwärmung bei. Bedeutende Punktquellen für Methanemissionen sind die Seen der arktischen Permafrostregionen. Das Forscherteam um Adina Paytan stellt sich die Frage, auf welchem Wege das Methan produziert und transportiert wird. Als Studienobjekt und natürliches Labor wählten die Wissenschaftler den Toolik See in Alaska aus. Tracermessungen des radioaktiven Gases

Radon (Rn) und des Metalls Radium (Ra) ergaben hier, dass sich das in den See ergießende Grundwasser Träger des Methans ist. Heute ist der Grundwasser- und Methanfluß durch den Permafrost nur auf die tieferen wasserleitenden Schichten beschränkt. Jedoch wird das in Zukunft nicht so bleiben, da die atmosphärische Erwärmung und das Tauen des ehemaligen Permafrostgebiets den Grundwasserfluß und somit auch die Methanfreisetzung erhöhen werden. Um möglicherweise Gegenmaßnahmen einzuleiten, muss der Methanfluß genau gemessen und beschrieben werden, um so die lokalen Beiträge der arktischen Permafrostregionen zu den atmosphärischen Methankonzentrationen zu bestimmen.

Der submarine Grundwassereintrag, Nährstoffeintrag und Algenblüten

Fast jede Küste dieser Welt ist saisonal durch gefährliche und giftige Algenblüten, sogenannten HABs (Harmful Algal Blooms) betroffen. Die Häufigkeit, räumliche Ausdehnung und der ökonomische Schaden der Algenblüten in den Küstenzonen haben in den letzten

Jahrzehnten zugenommen. Dies trifft insbesondere auf die Monterey Bay Area in Kalifornien zu, wo seit einigen Jahren während des Sommers und des Herbstes intensive Blüten einer spezifischen Algenart zu beobachten sind. Die Fragestellung des Teams um Adina Paytan ist hier, welcher Prozess die Nährstoffe für die ungewöhnlich großen Algenblüten bereitstellt. Exakte Vermessungen sowie Element- und Nährstoffbestimmungen zeigen, dass die Quelle dieser Nährstoffe der submarine Grundwassereintrag in den Küstenbereich der Monterey Bay ist. Das Grundwasser ist mit Nährstoffen angereichert, die vermutlich aus der intensiven Landwirtschaft in dieser Region stammen und über den Boden in das Grundwasser gelangen. Diese Ergebnisse werden nunmehr genutzt, um die Ökosysteme der Küsten mit entsprechenden Maßnahmen besser vor dieser Überdüngung zu schützen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/paytan_essay.pdf

- Eisberge vor Grönland. Das Klimasystem der Erde besteht grundsätzlich aus der Atmosphäre und dem Ozean, wird aber auch von den Kontinenten oder der Eisbedeckung durch komplexe Prozessen beeinflusst, die Wärme und Energie, aber auch Materie, insbesondere Wasser und Kohlendioxid in unterschiedlicher Geschwindigkeit austauschen. Foto: Rita Willaert, CC-BY-2.0

DAS KLIMAGEDÄCHTNIS DER ERDE

PROF. DR. EDOUARD BARD

Position: Professor des Collège de France in Paris sowie Vize-Direktor des Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE) in Aix-en-Provence, Frankreich

Forschungsinteresse:
Rekonstruktion vergangener Klimaentwicklungen

Foto: GEOMAR



Das Gedächtnis eines Menschen ist kurz. Viel zu kurz, um Auskunft über langfristige Klimaentwicklungen geben zu können. Denn diese spielen sich über Jahrhunderte, Jahrtausende oder gar Jahrzehntausende ab. Wollen Wissenschaftler also herausfinden, ob aktuelle Klimaveränderungen vom Menschen künstlich hervorgerufen werden oder ob sie einfach Teil natürlicher Zyklen sind, müssen sie auf andere Informationsquellen zurückgreifen. Zum Beispiel auf das Klimagedächtnis der Erde. Sie tun dies, indem sie unter anderem nach Aufzeichnungen von Klimaveränderungen in den Ablagerungen auf dem Meeresboden, im Eis der Polargebiete oder in fossilen Korallenriffen suchen.



- Korallenriff bei Tahiti in Französisch-Polynesien. Die Untersuchung der Bohrkerne aus diesem Gebiet ergaben, dass der Meeresspiegel hier in einem Zeitraum von 10.000 Jahren um 130 Meter angestiegen sein muss. Foto: J. Oremüller, IRD

Auf dem Feld der Paläoklimatologie und Paläoozeanographie, das an der Schnittstelle zwischen Klimatologie, Ozeanographie und Geologie liegt, hat Edouard Bard neue Untersuchungstechniken entwickelt und grundlegende Beiträge zum Verständnis der Zusammenhänge geleistet. Vor allem für die genauere Datierung vergangener Klimaereignisse sind seine Arbeiten grundlegend. Als herausragendes Beispiel ermöglicht die von Bard gemeinsam mit Kollegen erarbeitete hochpräzise Uran/Thorium-Datierung fossiler Korallen die genaue zeitliche Einordnung von Meeresspiegelschwankungen in der Vergangenheit. Sie dient außerdem als Basis für die Kalibrierung der Radiokarbondatierung (^{14}C -Methode), die nicht nur für Klimaforscher, sondern auch für Archäologen und Historiker von größter Bedeutung ist.

Darüber hinaus engagiert sich Edouard Bard intensiv dafür, wissenschaftliche Erkenntnisse auch der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, was er beispielsweise im Rahmen mehrerer populärwissenschaftlicher Bücher zum Thema Klimaschwankungen getan hat.

Edouard Bard erhielt 1985 seinen Masterabschluss in Ingenieur-Geologie an der Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, Frankreich und promovierte 1987 an der Université de Paris 11 Orsay.

Anschließend arbeitete er unter anderem am Lamont-Doherty Earth Observatory der Columbia University, New York, USA und am französischen Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) in Gif-sur-Yvette. Seit 1991 forscht er am CEREGE in Südfrankreich und war in diesem Rahmen bis 2001 Professor an der University Aix-Marseille III. Seit 2001 hat Edouard Bard die Professur

„Entwicklung von Klima und Ozean“ am Collège de France, Paris, inne, während sich sein Labor am CEREGE befindet. Seit 2007 ist er außerdem stellvertretender Direktor des CEREGE.

Für seine Arbeiten erhielt er zahlreiche Preise und Auszeichnungen, darunter die 1997 Macelwane Medal der American Geophysical Union (AGU), die 1997 Donath Medal der Geological Society of America (GSA) und die 2013 Wegener-Medaille der European Geosciences Union (EGU). Edouard Bard ist Mitglied in der französischen Akademie der Wissenschaften, der Academia Europaea und der US National Academy of Sciences.



BOHRKERNE

Das Bohrschiff DP Hunter. Hiermit wurden mehrere lange Bohrkern offshore Tahiti während aufwändiger Bohrprojekte im Rahmen des Integrierten Ocean Drilling Programms (IODP) gewonnen. Foto: ECORD/IODP



- Korallenkolonie in einem fossilen Riff auf Sumba, Indonesien. Durch eine Hebung des Meeresbodens ist es hier möglich, Proben dieses zuverlässigen Archivs auch an Land zu gewinnen. Foto: Edourd Bard



RADIOKARBONDATIERUNG

Das 2014 installierte Beschleuniger-Massenspektrometer AixMIDACAS am CEREGE: Kleinste Mengen des natürlichen Kohlenstoffisotops ^{14}C können hiermit hochpräzise bestimmt werden und so eine genaue Datierung kohlenstoffhaltigen Materials ermöglichen. Foto: Edourd Bard

52

Anwendungen der Radiokarbondatierung

Edouard Bard war Ende der 1980er Jahre an den ersten Messungen des ^{14}C -Gehalts von Wasserproben aus dem Ozean mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) beteiligt. Diese Methode ermöglicht es, auch sehr kleine Mengen von ^{14}C präzise zu bestimmen und da-

mit das genaue Alter von kohlenstoffhaltigen Material anzugeben. Daneben dient das Vorkommen von ^{14}C aber auch als Indikator für wichtige Prozesse im Ozean. Hier konnte Edouard Bard beispielsweise anhand von aufgezeichneten Änderungen des ^{14}C -Gehalts nachweisen, dass sich eine Kaltphase, die sich ereignete, nachdem die letzte Eiszeit bereits zu Ende war

(die sogenannte jüngere Dryas-Zeit vor 13.000-11.500 Jahren), mit einer drastischen Abschwächung der Tiefenwasserzirkulation des Nordatlantiks im Zusammenhang stand. Diese Arbeiten verknüpfte Edouard Bard mit der Entwicklung neuartiger Techniken zur Rekonstruktion der Meeresoberflächentemperaturen, zum Beispiel mittels organischer Biomarker.

● Proton ● Neutron ● Elektron

^{12}C ^{14}C

DAS ISOTOP ^{14}C

Isotope nennt man natürliche Varianten eines Elements, mit einer unterschiedlichen Anzahl von Neutronen in ihrem Atomkern. Das Kohlenstoff-Isotop ^{12}C ist stabil, während ^{14}C instabil und somit radioaktiv ist. Alle Organismen nehmen während ihres Lebens eine geringe Menge von ^{14}C auf, wovon die Hälfte innerhalb von 5.730 Jahren zerfällt (Halbwertszeit). Wenn man bei einer kohlenstoffhaltigen Probe das Verhältnis von ^{12}C und ^{14}C misst, kann man so das genaue Alter bestimmen. Mit präzisen Instrumenten können Fossilien bis zu einem Alter von 50.000 Jahren datiert werden (nach dieser Zeit sind alle Vorkommen des radioaktiven Isotops bereits zerfallen).



So konnte er zeigen, dass andere drastische Abkühlungsphasen im Nordatlantik während der letzten Eiszeit (die sogenannten Heinrich-Ereignisse) auf kurzfristige Zusammenbrüche des kontinentalen Laurentidischen Eisschildes zurückzuführen waren. Die dramatischen Eisvorstöße und der Abfluß des Schmelzwassers ins Meer führten zu einem erhöhten Süßwassereintrag, der die atlantische Ozeanzirkulation weitgehend zum Erliegen brachte, da kein Tiefenwasser mehr gebildet werden konnte.

Schwankungen des Meeresspiegels der Vergangenheit

Edouard Bard hat im Laufe seiner Karriere viele Rekonstruktionen der Temperaturen des Oberflächenwassers des globalen Ozeans mit unterschiedlichen geochemischen Methoden durchgeführt und deren Zusammenhänge mit klimatischen Prozessen untersucht. Einer der wichtigsten Parameter ist in diesem Zusammenhang die natürliche Änderung des Meeresspiegels, deren exakter Rekonstruktion sich Edouard Bard besonders verschrieben hat. Auch

hier stand zunächst ein Ende der 1980er Jahre entwickeltes geochemisches Werkzeug, die präzise Datierung von Korallen mittels der Uran/Thorium-Methode, im Zentrum des Interesses von Edouard Bard. Diese Methode ermöglicht es, anhand von Bohrkernen aus Korallenriffen, die ja nur innerhalb weniger Meter unterhalb des aktuellen Meeresspiegels wachsen können, Änderungen des Meeresspiegels genau zu datieren. Anhand mehrerer Bohrkern aus Barbados und Tahiti fand Edouard Bards Team heraus, dass der Meeresspiegel am Ende der letzten Eiszeit vor 21.000 Jahren 130 Meter niedriger war als heute und dann im Zuge des Abschmelzens der kontinentalen Gletscher bis vor 6.000 Jahren in mehreren Phasen auf das heutige, vorindustrielle Niveau anstieg. Er konnte außerdem zeigen, dass es in dieser Zeit kurzfristige abrupte Anstiege um mehrere Meter pro Jahrhundert gab, die durch Schmelzwasserpulse ausgelöst wurden und die sogar schneller abliefen als der vorhergesagte Anstieg innerhalb des kommenden Jahrhunderts.

Kalibration der Radiokarbonmethode

Als Kombination seiner Forschungsaktivitäten auf dem Feld der Radiokarbon- und Uran/Thorium-Datierungen konnte er durch präzise Anwendung beider Methoden auf Proben der gleichen Korallen zeigen, dass insbesondere in der letzten Kaltzeit vor 20.000-30.000 Jahren Altersunterschiede zwischen beiden Methoden von bis zu 4.000 Jahren auftraten. Diese Unterschiede konnten primär auf ein schwächeres Magnetfeld und damit eine erhöhte atmosphärische Produktion des ^{14}C zurückgeführt werden. Seine eigenen und viele andere nachfolgende Messungen führten zu einem international koordinierten Kalibrationsprogramm der ^{14}C -Alter (IntCal), das heute nicht nur eine genaue Datierung, sondern auch eine Vielzahl von anderen Isotopen ermöglicht, die ebenfalls von diesen Schwankungen der Produktionsraten betroffen waren.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/bard_essay.pdf

53

- Der Forschungsseisbrecher Polarstern im Sommer 2012 in der Zentralarktis. Ein multidisziplinäres Team um Fahrleiterin Antje Boetius untersuchte die kurzfristige Reaktion des Tiefsee-ökosystems auf Änderungen an der Wasseroberfläche. Foto: Stefan Hendricks, Alfred-Wegener-Institut

54

Der Ozean bedeckt mehr als zwei Drittel der Erdoberfläche. Er umfasst mehr als 90 Prozent des belebten Raumes der Erde und eine unglaubliche Vielfalt von Leben. Daher sind Meeresforscher vor allem Entdecker, und jede Expedition kann zu unerwarteten, ja revolutionären Erkenntnissen führen.

Mit dem kontinuierlichen technologischen Fortschritt bei der Untersuchung der Meere steigt unser Wissen zwar rasch, aber angesichts der rapiden Veränderungen in der Umwelt doch nicht schnell genug. Dabei erfordert die Hoffnung auf Anpassungen an den globalen Wandel ein besseres Verständnis der Rolle der Weltmeere im System Erde.



- Antje Boetius mit dem Forschungstauchboot JAGO vor dem Abtauchen in die sauerstofffreien Tiefen des Schwarzen Meeres. Im Hintergrund das Forschungsschiff MARIA S. MERIAN. Foto: JAGO-Team, GEOMAR

Prof. Dr. Antje Boetius erforscht mikrobielle Lebensräume im Meer. Sie untersucht dabei die physikalische und chemische Umgebung, in der Gemeinschaften von Mikroorganismen leben. Diese Lebensgemeinschaften besetzen Nischen im Meer, die von einer Vielzahl von Faktoren, wie Temperatur, Druck, pH, Salzgehalt und der Verfügbarkeit von Nährstoffen bestimmt sind.

Einer der Forschungsschwerpunkte von Prof. Boetius ist in diesem Zusammenhang auch die Entwicklung von Unterwassertechnologien, die in situ-Beobachtungen und quantitative Analysen erlauben. Ihr Forschungsziel ist es, den Beitrag der Mikroorganismen zu Stoffflüssen im Meer zu quantifizieren und Regulierungsmechanismen für das Auftreten funktionell wichtiger Arten zu untersuchen. Auf lange Sicht soll dies helfen, Unterschiede zwischen natürlichen und menschengemachten Änderungen zu erkennen und zu verstehen, welche Konsequenzen diese für die Ökosysteme haben.

55

DIE ENTDECKUNG DER TIEFSEE

PROF. DR. ANTJE BOETIUS

Position: Professorin für Geomikrobiologie an der Universität Bremen, Arbeitsgruppenleiterin am Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven und am Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, Bremen

Forschungsinteresse: Biologische Ozeanographie, Biogeochemie und Marine Mikrobiologie

Foto: Privat

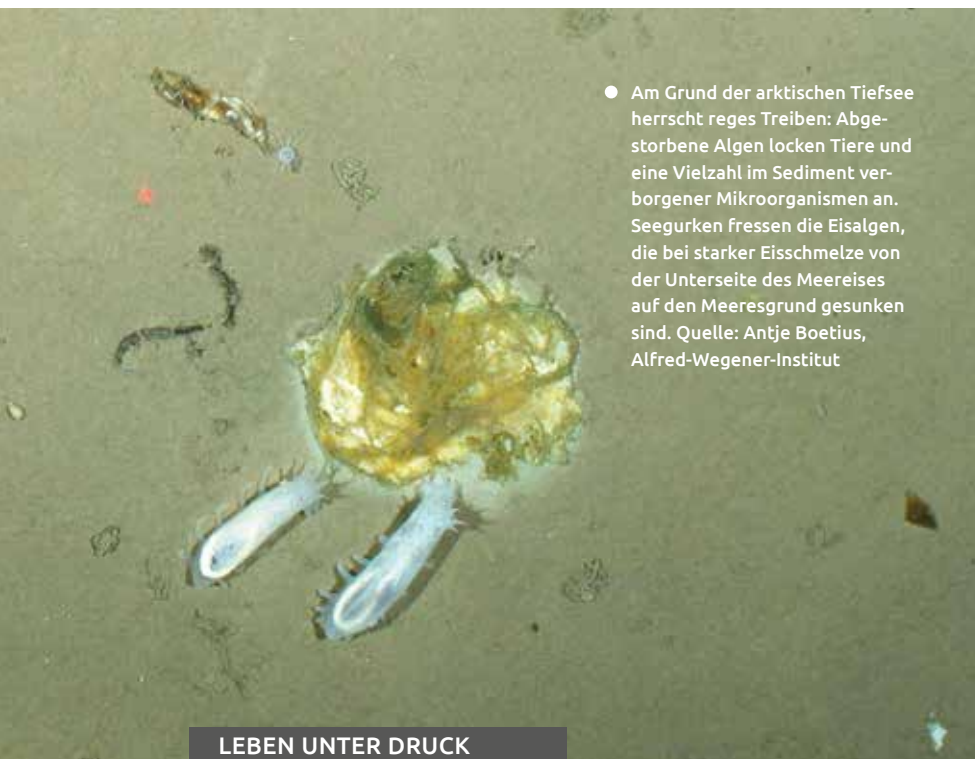


Antje Boetius studierte zunächst Biologie in Hamburg und an der Scripps Institution, USA mit dem Schwerpunkt Biologische Ozeanographie. 1996 promovierte sie an der Universität Bremen. Für ein Postdoc-Projekt wechselte sie 1996 bis 1999 an das Institut für Ostseeforschung in Warnemünde ehe sie 1999 zurück nach Bremen an das Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie kam. 2001 wurde Antje Boetius Assistant Professor an der neu gegründeten International University Bremen (heute Jacobs Universität Bremen) sowie wissenschaftliche Mitarbeiterin am Alfred-Wegener Institut im Fachbereich Geologie. 2003 wurde sie Associate Professor an der Jacobs University Bremen, sowie Leiterin der Forschungsgruppe „Mikrobielle Habitate“ am Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie. Im Sommer 2008 wurde sie zum Full Professor an

der Jacobs University berufen. Zum 1. März 2009 ist Frau Boetius an die Universität Bremen als Professor für Geomikrobiologie im Fachbereich Geowissenschaften am MARUM gewechselt.

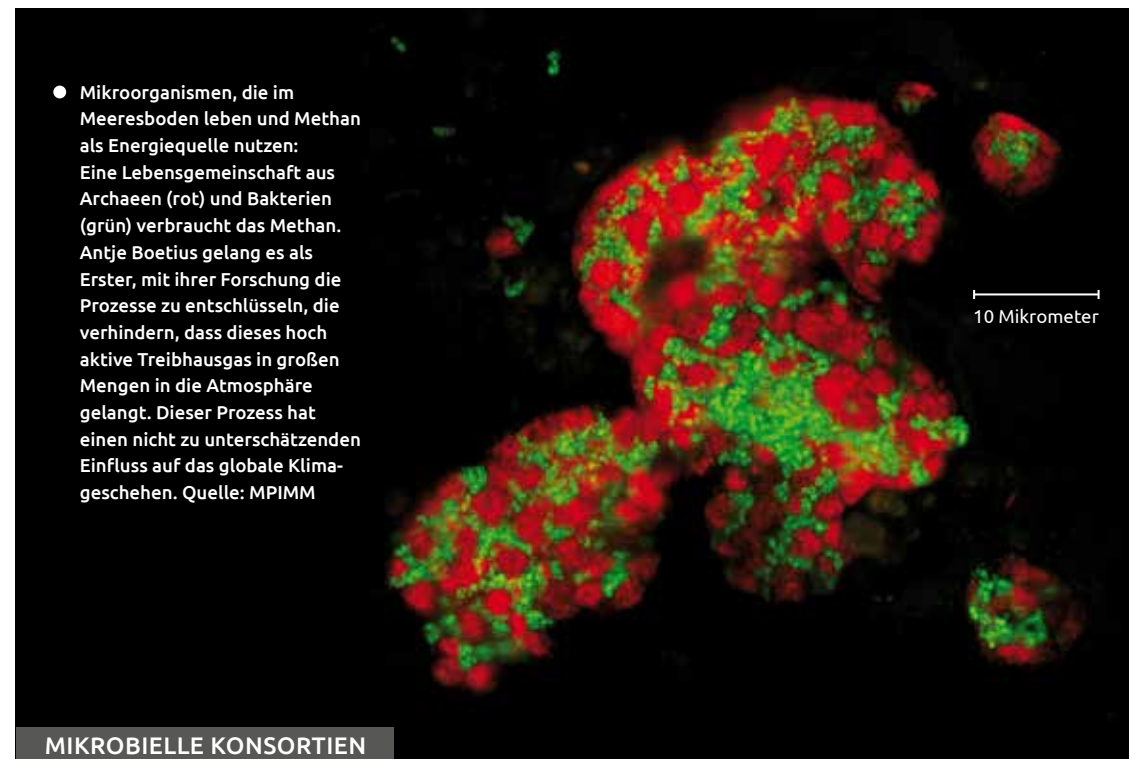
Antje Boetius hat an über 40 seegehenden Expeditionen teilgenommen und eine Reihe von internationalen Forschungsreisen geleitet. 2009 hat sie den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der DFG für Forschungen zur mikrobiellen Ökologie erhalten. Seit Dezember 2009 ist Frau Boetius Leiterin einer gemeinsamen Arbeitsgruppe des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung und des Max-Planck-Instituts für Marine Mikrobiologie.

2011 erhielt Sie einen ERC Advanced Investigator Grant des Europäischen Forschungsrates. Gegenwärtig ist sie Vorsitzende der Wissenschaftlichen Kommission des Wissenschaftsrates.



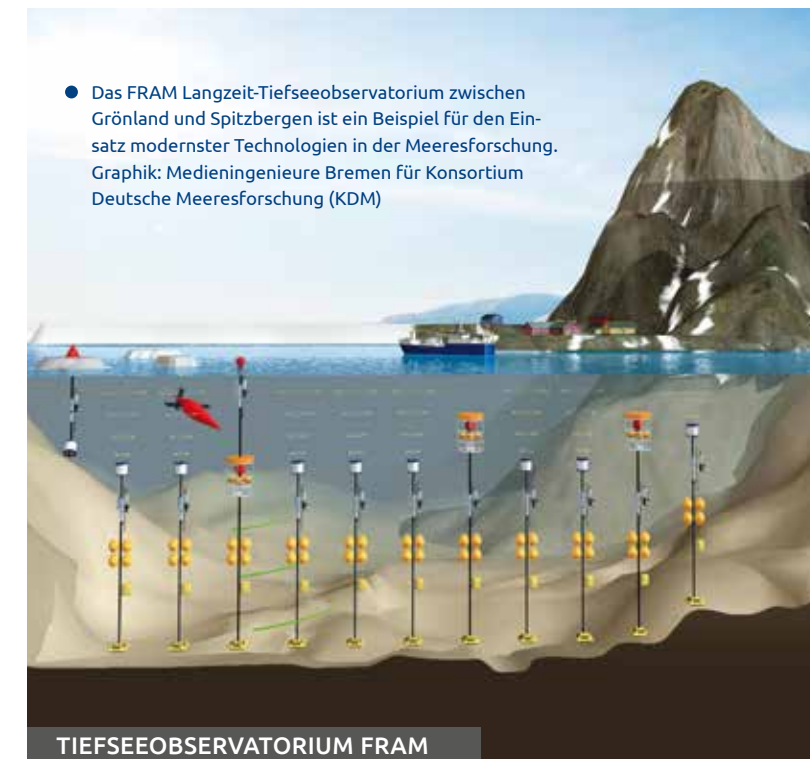
- Am Grund der arktischen Tiefsee herrscht reges Treiben: Abgestorbene Algen locken Tiere und eine Vielzahl im Sediment verborgener Mikroorganismen an. Seegurken fressen die Eisalgen, die bei starker Eisschmelze von der Unterseite des Meereises auf den Meeresgrund gesunken sind. Quelle: Antje Boetius, Alfred-Wegener-Institut

LEBEN UNTER DRUCK



- Mikroorganismen, die im Meeresboden leben und Methan als Energiequelle nutzen: Eine Lebensgemeinschaft aus Archaeen (rot) und Bakterien (grün) verbraucht das Methan. Antje Boetius gelang es als Erster, mit ihrer Forschung die Prozesse zu entschlüsseln, die verhindern, dass dieses hoch aktive Treibhausgas in großen Mengen in die Atmosphäre gelangt. Dieser Prozess hat einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das globale Klimageschehen. Quelle: MPIMM

MIKROBIELLE KONSORTIEN



- Das FRAM Langzeit-Tiefseeobservatorium zwischen Grönland und Spitzbergen ist ein Beispiel für den Einsatz modernster Technologien in der Meeresforschung. Graphik: Medieningenieure Bremen für Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM)

TIEFSEE-OBSERVATORIUM FRAM

Extreme Umweltbedingungen und Geosphäre-Biosphäre-Wechselwirkungen

Extreme Umweltbedingungen werden durch physikalisch-chemische Grenzbereiche definiert, bei denen sich das Leben nicht mehr vermehren kann. Dabei sind manche Organismen angepasst an extrem hohe oder niedrige Temperaturen, Salzgehalte, pH-Werte oder an besonders geringe Verfügbarkeit von Energie. Oft sind die größten Herausforderungen an Leben, schnelle zeitliche Schwankungen oder räumliche Veränderungen dieser Faktoren zu verkraften. Hoch angepasste Organismen können unter konstanten extremen Bedingungen überleben, während robuste Arten auch unter stark schwankenden Verhältnissen existieren können. Antje Boetius hat mikrobielles Leben in polaren Umgebungen, Tiefseeböden und -gräben, anoxischen Becken, Schlammvulkanen, Gas- und Ölquellen, hydrothermalen Quellen und Korallenriffen vor Ort untersucht. Dort beobachtete sie zum Beispiel die Auswirkung von Schlammrutschungen oder Eruptionen auf die Lebensverhältnisse von mikrobiellen Populati-



- Antje Boetius und ihre Arbeitsgruppe erforschen Mikroorganismen und Stoffflüsse im und unter dem Eis. Quelle: Alfred-Wegener-Institut

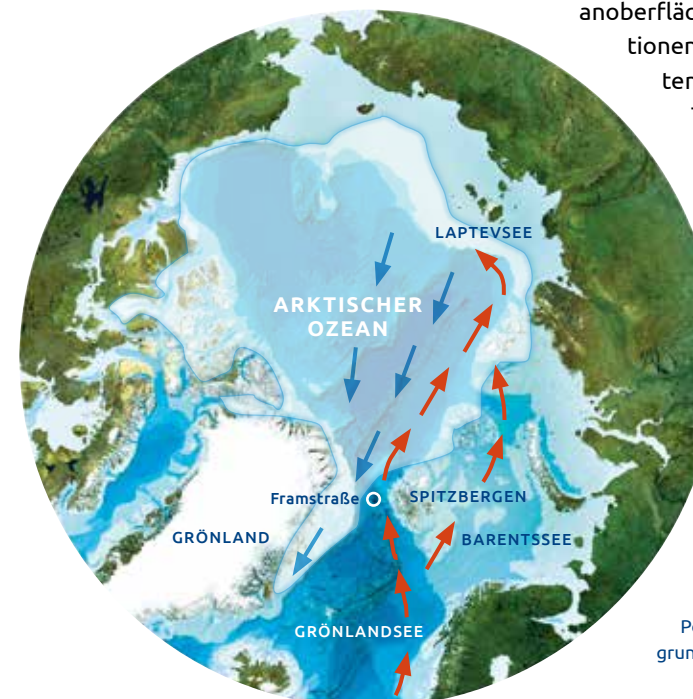
onen. An Schlammvulkanen der Tiefsee sind solche geologischen Prozesse häufiger zu beobachten: Anschließend lässt sich die langwierige Wiederbesiedelung durch Mikroorganismen gut verfolgen. Im Labor ließen sich solche Experimente nur schlecht modellieren, denn Tiefseelebewesen an Land zu kultivieren ist kaum möglich. Antje Boetius nutzt auch Modellsysteme wie natürliche CO₂-Quellen, um dadurch die Reaktion von Mikroben auf die Ozeanversauerung

zu untersuchen. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Veränderungen des CO₂-Gehalts im Meeresboden zu Verschiebungen der Biodiversität von Mikroorganismen führen. Welche Folgen damit Ozeanversauerung für den Ozean hat, ist noch nicht abzusehen.

Mikroben und der Methankreislauf im Ozean

Mikroorganismen spielen eine entscheidende Rolle in allen biogeochemischen Prozessen der Erde, vor allem bei dem Recycling von organischer Materie. Bislang kennt man noch nicht mal ein Prozent aller Arten im Meer: Einen Großteil der biochemischen Stoffwechselwege und Schlüsselenzyme von Mikroorganismen gilt es also noch zu entdecken. Prof. Boetius interessiert hier besonders, wie Mikroorganismen Methan verbrauchen und somit Treibhausgasemission aus dem Meer regulieren. Durch die Kombination aus klassischen und modernen Techniken der Biogeochemie und Mikrobiologie, zum Beispiel durch mikroskopische Untersuchungen, konnten einige der wichtigsten Mikroorganismen, die

in Erdgas- und Erdölreichen Meeresböden leben, bereits im Labor beprobt, kultiviert und experimentell untersucht werden. „Es ist ein spannendes biologisches Rätsel, wie sich verschiedene Arten von Mikroorganismen so aneinander angepasst haben, dass sie gemeinsam Funktionen ausführen, die keine Art alleine für sich leisten kann“, sagt Antje Boetius.



Tiefseeobservatorien

Zusammen mit ihrer Forschergruppe unterhält Antje Boetius das weltweit einzigartige Ozeanobservatorium FRAM in der Arktis. Sie möchte erforschen, wie sich zeitliche Schwankungen in Meeresoberflächentemperaturen und Meereisbedeckung auf das Ozeansystem und die Lebensgemeinschaften am Meeresboden auswirken. Kürzlich konnte gezeigt werden, dass die Erwärmung und der Meereisverlust an der Ozeanoberfläche zu schnellen Reaktionen im gesamten Ökosystem führt, bis hinab in die Tiefsee. Das erfordert modernste Technologien und deren ständige Weiterentwicklung, vor allem im Hinblick auf die Energie-

versorgung und Datenkommunikation. Dazu setzt das Team um Antje Boetius vielfältige Unterwasserplattformen wie zum Beispiel ROV, AUV, Tauchboote oder autonome Lander ein, die mit Sensoren und Kameras zur Veranschaulichung von räumlichen und zeitlichen Skalen ausgestattet sind. In der eisbedeckten, zentralen Arktis werden neu entwickelte, verankerte Observatorien genutzt, um Änderungen von Export und Recycling von organischem Material durch Mikroorganismen zu dokumentieren. „Das ist ein wichtiger Bereich der Ozeanforschung, der nur weiterkommen kann, wenn sich Meerestechnologie und Wissenschaft gemeinsam weiterentwickeln“, erklärt Antje Boetius.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/publications/petersen-essays/boetius_essay.pdf

- Die Framstraße hat eine wichtige Bedeutung für das System Erde: Dieser Wasserweg zwischen Spitzbergen und Grönland ist die einzige Tiefwasserverbindung zwischen dem Atlantik und dem Arktischen Ozean. Damit ist sie auch der wichtigste Transportweg für den Wasseraustausch zwischen den beiden Weltmeeren. Die weiß abgetönten Flächen zeigen die durchschnittliche sommerliche Eisbedeckung 1979-2007, die blauen Pfeile markieren die heutige Eisdrift. Die roten Pfeile zeigen den Transportweg für warmes Atlantikwasser in den Arktischen Ozean, der weiße Kreis markiert die Position einer zentralen Beobachtungsstation des Observatoriums FRAM. Kartengrundlage: GEBCO, Bearbeitung: GEOMAR

- Bild: Der Fischmarkt, Frans Snyders (1618). Im Laufe der Geschichte haben Menschen weltweit Meerestiere und -pflanzen für Nahrung, Kleidung und andere Zwecke genutzt. Ihre Aktivitäten haben außerdem viele Lebensräume und deren Wasserqualität stark verändert. Mit der Zeit haben diese menschlichen Einflüsse das Vorkommen vieler Arten und die Zusammensetzung mariner Ökosysteme fundamental verändert.



58

DER MENSCH UND DAS MEER

Eine Jahrtausende alte Wechselbeziehung

PROF. DR. HEIKE K. LOTZE

Position: Professorin für Marine Ökologie an der Dalhousie University, Department of Biology, Halifax, Kanada

Forschungsinteresse: Menschliche Einflüsse auf marine Lebewesen und Ökosysteme in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft



Foto: Privat

Was wir heute im Meer sehen und erforschen, ist das Ergebnis einer langen Geschichte des Wandels. Diese Geschichte zu verstehen, ist der Schwerpunkt des neuen Forschungsgebietes der historischen Meeresökologie. In die Vergangenheit der Meere einzutauchen erweitert unseren Blick für die mögliche Fülle und Vielfalt der Unterwasserwelt. Das Ziel meiner Forschung ist es, das Ausmaß der Veränderungen im Meer und deren Ursachen und Folgen für den Ozean und die Menschen zu verstehen.

Dabei kann uns die Umweltgeschichte der Meere helfen, den heutigen Zustand der Meere richtig einzuschätzen und fundierte Prognosen über die Zukunft der Meere zu machen. Hierin gleicht die historische Ökologie der Klimaforschung, die in ähnlicher Weise langfristige Veränderungen der Temperatur oder CO₂-Konzentration analysiert, um Rückschlüsse auf aktuelle Zustände und mögliche zukünftige Entwicklungen zu machen. Aus der Geschichte zu lernen kann uns davor bewahren Fehler aus der Vergangenheit zu wiederholen.

Die Vergangenheit kennen

Menschliche Aktivitäten wie Fischerei und Jagd, Landnutzung und Wasserverschmutzung haben Meerestiere, -pflanzen und -ökosysteme seit Jahrtausenden beeinflusst und geformt. Dabei haben die Aktivitäten und deren Folgen über die Zeit stark zugenommen. Ein Hauptproblem für die Forschung ist, dass wir oft nicht über ausreichend lange Zeitreihen verfügen, um diese Veränderungen zu untersuchen. Ein wichtiges Ziel meiner Forschung ist daher die Rekonstruktion historischer Veränderungen im

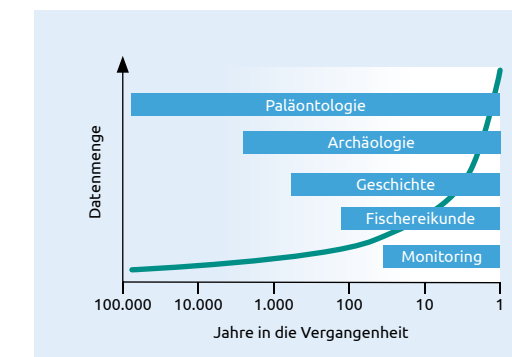
Meer. Dies erfordert einen multidisziplinären Ansatz, der Daten und Informationen aus der Paläontologie, Archäologie, Geschichte, Fischereikunde, Ozeanographie und Ökologie kombiniert.

In den vergangenen 15 Jahren haben meine Studenten und ich viele Fallstudien durchgeführt, um das Ausmaß der historischen Veränderungen bei Meeressäugern, Vögeln, Reptilien, Fischen, wirbellosen Tieren und Pflanzen zu rekonstruieren. Dabei haben wir auch die Umweltgeschichte verschiedener Küstenökosysteme im Detail analysiert und beschrieben, zum Beispiel für die Bay of Fundy in Kanada, das Wattenmeer in Deutschland und die Adria im Mittelmeer. Einige dieser Fallstudien haben dazu beigetragen, den Schutz und die nachhaltige Bewirtschaftung der Meere voranzutreiben.

In einer interdisziplinären Arbeitsgruppe am National Center for Ecological Analysis und Synthesis in Kalifornien haben wir dann die historischen Veränderungen in 12 Küstenmeeren in Europa, Nordamerika und Australien vergleichend untersucht. Mit Hilfe von Daten aus ver-

schiedenen Disziplinen konnten wir Zeitreihen über mehrere Jahrhunderte rekonstruieren und Hinweise auf den starken Rückgang in mehr als 90 Prozent der historisch wichtigen Meeresressourcen liefern. Wir konnten außerdem die progressive Verschlechterung der Wasserqualität und die Zunahme invasiver Arten aufzeigen. Dabei fanden die stärksten Veränderungen in den letzten 150 bis 300 Jahren statt, aber auch Anzeichen der Erholung im 20. Jahrhundert. Eine anschließende Synthese historischer Veränderungen in 256 Populationen weltweit ergab, dass befischte oder bejagte Bestände im Durchschnitt um 89 Prozent reduziert worden sind. Die Erholung einiger Arten, insbesondere Meeressäuger und Vögel, verringerte den allgemeinen Rückgang auf rund 84 Prozent. Diese Art von Studien er-

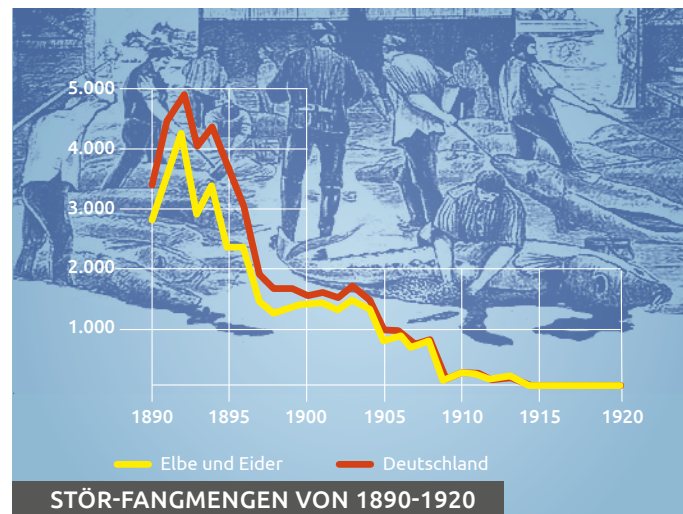
59



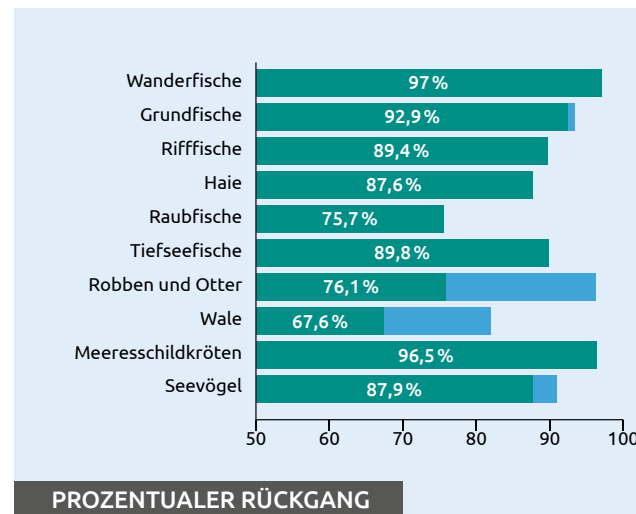
- Um die Umweltgeschichte der Meere zu verstehen, reichen aktuelle Monitoring Studien der letzten Jahrzehnte nicht aus. Die historische Meeresökologie nutzt einen multidisziplinären Ansatz und kombiniert Daten verschiedener Forschungsfelder, um Veränderungen über die letzten Jahrhunderte und Jahrtausende zu rekonstruieren. Quelle: Lotze, H.K. und Worm, B. (2009)

Heike Lotze studierte Biologie in Göttingen und Kiel, wo sie dann 1998 auch in Biologischer Ozeanographie promovierte. Danach wechselte zum ersten Mal auf die andere Seite des Atlantiks nach Halifax, wo sie als Wissenschaftlerin an der Dalhousie University von 1999-2003 tätig war. Von 2003 bis 2005 kehrte sie dann noch einmal nach Deutschland ans Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven zurück. 2005 ging sie dann wieder an die Dalhousie University, wo sie ab 2006 zunächst als Assistant Professor und seit 2011 als Associate Professor und Research Chair in Marine Renewable Resources tätig ist.

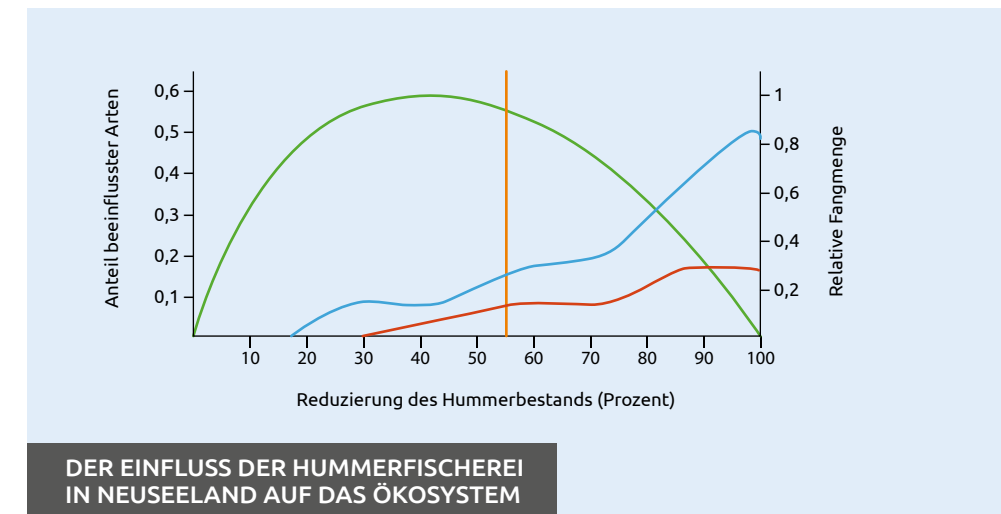
Heike Lotze wurde für ihre wissenschaftliche Tätigkeit mehrfach ausgezeichnet, unter anderem zweifach mit dem Canada Research Chair Award, der jeweils mit 500.000 Dollar dotiert ist. Sie ist in vielen nationalen und internationalen Gremien engagiert und ist Autorin von mehr als 60 begutachteten wissenschaftlichen Artikeln sowie zahlreichen Buchbeiträgen.



Bis ins späte 19. Jahrhundert wurden jährlich tausende von Stören in deutschen Flüssen gefangen, vor allem in der Elbe und Eider. Quelle: Lotze, H.K. (2005), Zeichnung: Störe im Hamburger Fischmarkt, Hans Peterson (1885)



Verglichen mit ihrem historischen Niveau wurden viele Meerespopulationen im Durchschnitt um 89 Prozent reduziert (grün). Ihre Erholung in den letzten Jahrzehnten (blau) hat diesen durchschnittlichen Rückgang auf 84 Prozent gesenkt. Quelle: Lotze, H.K. & Worm, B. (2009).



Je stärker der Hummerbestand reduziert wird, desto mehr werden andere Arten beeinflusst, mit Bestandsveränderungen von 20 Prozent (blaue Linie) oder 40 Prozent (rote Linie). Das heutige Niveau der Fischerei (orange Linie) ist dabei höher als jenes, welche einen maximalen Dauertrag ermöglichen würde (grüne Linie). Quelle: Eddy, T.D., et al. (2015)

Die Gegenwart richtig einschätzen

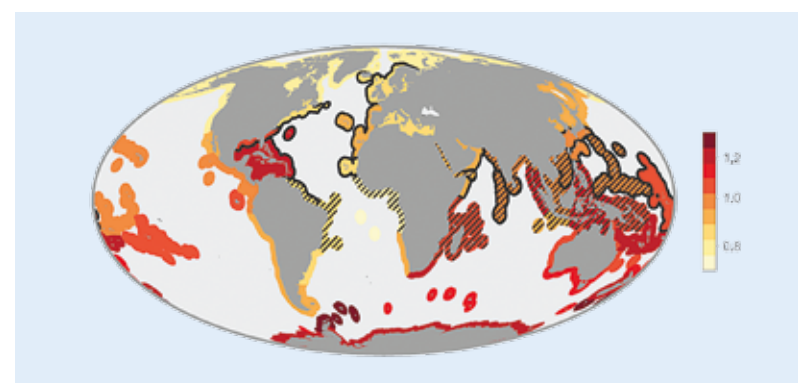
Historische Veränderungen im Artenvorkommen wirken sich auf die heutige Struktur und Funktionsweise mariner Ökosysteme aus sowie auch auf die menschliche Nutzung mariner Ressourcen. Diese weiterreichenden Folgen historischer Veränderungen sind jedoch wenig untersucht. Um diese Lücke zu schließen, haben wir große Datenmengen gesammelt und langfristige Trends in der Artenvielfalt, Produktivität und anderen Ökosystemeigenschaften analysiert. Wir haben außerdem verschiedene Ansätze zur Ökosystemmodellierung genutzt, um zu testen, wie Veränderungen in einzelnen Arten die Lebensgemeinschaften, Nahrungsnetze und Stabilität beeinflussen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass heutige Nahrungsnetze starke Anzeichen von Übernutzung, vor allem auf höheren trophischen Ebenen, aufweisen, sowie eine verringerte Produktivität im Vergleich zu Nahrungsnetzen vor 100 oder 200 Jahren. Darüber hinaus sind moderne Nahrungsnetze weniger komplex, weniger robust gegenüber dem Verlust einzelner Arten und weniger stabil.

Veränderungen im Artenvorkommen haben auch Einfluss auf die menschliche Nutzung mariner Ressourcen. Bis zum 20. Jahrhundert war die Jagd auf Meeressäuger, Vögel und Reptilien weit verbreitet. Der Rückgang vieler Populationen und zunehmender Artenschutz haben diese Jagd reduziert oder verboten. Dafür gewann die kommerzielle Fischerei an Bedeutung und dehnte sich auf den globalen Ozean aus.

In den letzten Jahrzehnten wurden jedoch viele Fischbestände stark überfischt und die globalen Fangmengen sind seit den 80er Jahren stabil oder gar rückläufig. Daraufhin hat sich die Fischerei in vielen Regionen umorientiert und den Fang wirbelloser Tiere ausgebaut. Hummer und Garnelen, Muscheln und Schnecken, Tintenfische und Kalmare, See-

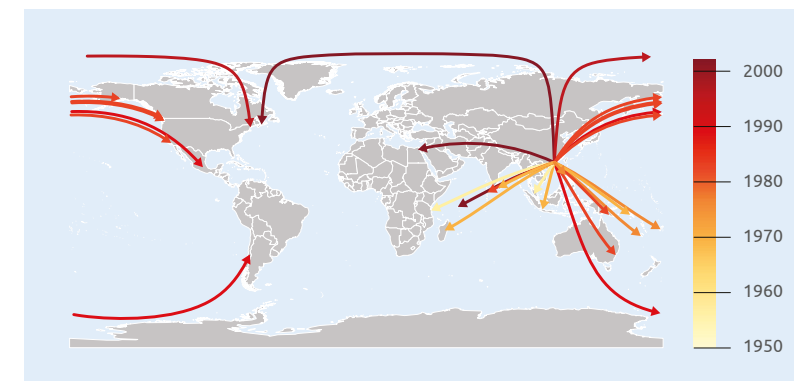
igel und Seegurken werden heute weltweit gefischt, und die globale Fangmenge von Wirbellosen hat sich versechsfacht.

Obwohl die Wirbellosen eine neue Nahrungsquelle aus dem Meer darstellen und wichtige Arbeits- und Einkommensmöglichkeiten bieten, gibt es kaum Bestandsaufnahmen oder Untersuchungen zu deren nachhaltiger Fischerei. Viele Populationen wurden bereits drastisch reduziert. Auch sind die Folgen dieser Fischereien für das Ökosystem Meer weitgehend unbekannt. Deshalb haben wir begonnen, die möglichen Auswirkungen dieser neuen Fischereien zu modellieren. In Neuseeland hat beispielsweise die Fischerei für Hummer, Abalone und Seeigel erhebliche Auswirkungen auf andere Arten und das gesamte Ökosystem.



- Küstenregionen enthalten in unterschiedlichem Maße vom Aussterben bedrohte Arten (hell – wenig, rot – viel). Regionen die ausserdem stark von menschlichen Einflüssen (schwarz umrandet) oder Klimawandel (gestreift) bedroht sind, könnten zu Hotspots zukünftigen Artensterbens werden. Quelle: Finnegan, S. et al. (2015)

Da die Fänge zur Zeit über dem nachhaltigen Dauerertrag liegen, würde eine Reduzierung der Fangmengen sowohl den befischten Beständen als auch der Umwelt helfen.



- Seit 1950 hat sich die Fischerei für Seegurken von ihrem Hauptmarkt in Hong Kong ausgehend um die ganze Welt verbreitet. Die Farbskala illustriert den Zeitraum in dem einzelne Fischereien begonnen haben. Quelle: Anderson, S.C., et al. (2011)

Die Zukunft informieren

Um fundierte Prognosen über mögliche zukünftige Veränderungen zu entwickeln, müssen wir langfristige Trends und deren Ursachen und Folgen kennen und verstehen. Eine wichtige Frage für den Meeresschutz ist, ob früher überjagte und überfischte Bestände sich wieder erholen können oder vom Aussterben bedroht sind. In einer Synthese konnten wir zeigen, dass etwa 10-50 Prozent der vormals überjagten oder überfischten Arten Anzeichen der Erholung zeigen, aber nur selten ihr historisches Niveau wieder erreichen. Vor allem bei langlebigen

Arten kann die Erholung Jahrzehnte dauern, und braucht viel Zeit und Geduld. Wichtig ist, dass wesentliche Ursachen des Rückganges erheblich reduziert werden. Ein Vergleich

von 182 Meeressäugerpopulationen zeigte, das 42 Prozent Anzeichen der Erholung zeigen. Im Gegensatz dazu ist eine Erholung in Haipopulationen noch selten. Hier wäre es erforderlich jegliche Mortalität stark zu reduzieren, vor allem in Fischerei und Beifang. Von solchen Erfolgen und Misserfolgen zu lernen ist eine wesentliche Voraussetzung für die zukünftige Entwicklung vielversprechender Meeresschutzmaßnahmen.

Zur Zeit versuchen wir die Zukunft der Meere zu verstehen, vor allem im Zuge des Klimawandels. Dazu nutzen wir verschiedenen Ökosystemmodelle, in denen wir erst die Verän-

derungen der letzten 50-100 Jahre rekonstruieren und dann die nächsten 100 Jahre unter dem Einfluss menschlicher Aktivitäten und dem Klimawandel simulieren. Durch die Petersen Exzellenz-Professur werde ich meine Zusammenarbeit mit Forschern an der Universität Kiel und dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel im Rahmen dieses Projektes ausbauen. Dies wird durch eine Doktorandin der Transatlantic Ocean System Science and Technology (TOSST) Research School in Halifax und der Helmholtz Research School for Ocean System Science and Technology (HOSST) in Kiel unterstützt. Beide Programme fördern die gemeinsame Betreuung und den Austausch von Studenten zwischen Kiel und Halifax. Mit dieser Zusammenarbeit hoffen wir, die Zukunft der Fischbestände und Meeresökosysteme des Nordatlantiks besser zu verstehen. Wir wollen auch untersuchen, wie sich Meeresschutz- und Managementstrategien diesen Veränderungen anpassen können, um eine nachhaltige Nutzung der Meere in den kommenden Jahrzehnten zu ermöglichen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/lotze_essay.pdf

- Schwarzer Raucher im Atlantik: Bruce Gemmell untersucht das wirtschaftliche Potential der Metallsulfidlagerstätten, die sich im Umfeld dieser hydrothermalen Quellen bilden. Foto: GEOMAR

62

Der Wunsch nach zunehmender Industrialisierung in den Entwicklungs- und Schwellenländern sowie der weitere Anstieg der Weltbevölkerung führen zu einem weiter steigenden Bedarf an mineralischen Rohstoffen und zukünftig vermutlich zu globalen Versorgungsproblemen. In der bisherigen Geschichte haben die Industrieländer den weitaus größten Anteil der globalen Rohstoffe verbraucht. Während in Europa Deutschland der größte Verbraucher an mineralischen Rohstoffen ist, nutzt weltweit gesehen seit kurzem China die meisten Bodenschätze. Daher ist es durchaus möglich, dass in naher Zukunft die Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen das Angebot übersteigt. Während Teile der Gesellschaft versuchen, die Nutzung von mineralischen Rohstoffe durch nachhaltige Produkte und Recycling signifikant zu reduzieren, glauben andere, dass wir auch in Zukunft genügend neue Lagerstätten finden werden, um die steigende Nachfrage zu befriedigen.

Da unsere derzeitige Gesellschaftsform weiterhin mineralische Rohstoffe verbraucht, und wir derzeit nicht über Ersatzstoffe verfügen, ist die Frage wo wir künftig neue Lagerstätten finden können? Die angewandten Geowissenschaften, die sich mit natürlichen Mineral- und Erzvorkommen beschäftigen (Geologie, Geochemie, Hüttenkunde und Geoumweltwissenschaften) sind ein Wissenschaftszweig, der hier unterstützen kann, um neue Vorkommen von mineralischen Rohstoffen zu suchen und in einer nachhaltigen Art und Weise nutzen zu können.

Die Bergbauindustrie hat eine hohe wirtschaftliche Bedeutung und leistet mit ihren Arbeitsplätzen einen wichtigen Beitrag zur Schaffung von Einkommen und Vermögen. Technische und betriebswirtschaftliche Innovationen werden ständig benötigt, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Branche zu erhalten und sicher zu stellen, dass der Bergbau, entsprechend den Erwartungen der Gesellschaft, in ökologisch nachhaltiger Weise, durchgeführt wird. Während einige derzeit für die Deckung unseres Bedarfes an mineralischen Ressourcen

eher in den Weltraum (Mond, Planeten, Asteroiden) schauen, sollte neben Vermeidung und Recycling zunächst der Meeresboden als Lagerstätte ernsthaft in Erwägung gezogen und bewertet werden. Ein wichtiger Lagerstättentyp, der am Meeresboden gebildet wird, sind die sogenannten Massivsulfidvorkommen. Sie finden sich dort, wo entlang vulkanischer Rücken neuer Ozeanboden gebildet wird (englisch VHMS, volcanic-hosted massive sulfides). Die Sulfidablagerungen entstehen seit mehr als 3,5 Milliarden Jahren bis zum heutigen Tag als

63



- Der Wert aller Aspekte des globalen Bergbaus ist in der sogenannten „Mining Value Chain“ zusammengefasst, die sich von der Erkundung und Entdeckung über die Gewinnung und Verarbeitung bis zur Entsorgung erstreckt. Rohstoffgeologen spielen eine wichtige Rolle in der gesamten Bergbauwertschöpfungskette, da sie benötigt werden, um die Entdeckung von Erzlagerstätten, die Erzaufbereitung und das Umweltmanagement von Abfallstoffen zu verbessern.

MINERALISCHE ROHSTOFFE FÜR UNSERE GESELLSCHAFT

Von der Entdeckung bis zur Nutzung

PROF. DR. J. BRUCE GEMMELL

Position: Direktor des ARC Centre of Excellence in Ore Deposits (CODES), University of Tasmania, Australien

Forschungsinteresse: Marine mineralische Rohstoffe, insbesondere Massivsulfidlagerstätten vulkanischen Ursprungs

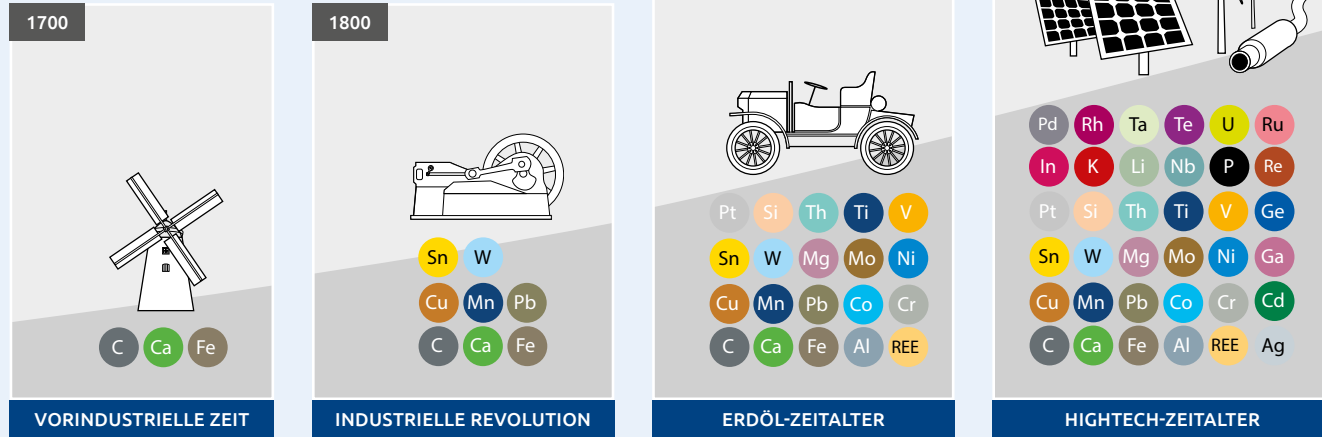
Foto: Privat



Professor J. Bruce Gemmell ist Direktor des Australian Research Centre of Excellence Center in Ore Deposits (CODES) an der University of Tasmania, Australien, eines der weltweit führenden Zentren für Erzlagerstättensuche. Bruce Gemmell studierte zunächst Geologie, Mineralogie und Geochemie an der University of British Columbia, Kanada und am Dartmouth College, USA, wo er auch promovierte. In seiner Doktorarbeit beschäftigte er sich mit der Geologie und Mineralogie von epithermalen Silber-Adern des Fresnillo District, Mexiko. Nach einer Postdoczeit am Dartmouth College wechselte er 1988 an die University of Tasmania, wo er verschiedene Positionen in Wissenschaft und Lehre bekleidete, ehe er dort 2007 zum Professor berufen wurde.

In seiner wissenschaftlichen Laufbahn beschäftigte er sich sowohl mit landbasierten wie auch mit marinen Lagerstätten, insbesondere mit Edelmetallvorkommen an Hydrothermalsystemen. Professor Gemmell ist Autor von mehr als 70 begutachteten Aufsätzen in Fachzeitschriften und hat in vielen internationalen Fachgremien mitgewirkt. Für seine wissenschaftlichen Arbeiten wurde er mehrfach ausgezeichnet.

ANSTIEG DES BEDARFS AN MINERALISCHEN ROHSTOFFEN



- Maschinen und Geräte wurden aus Holz und Eisen gebaut und wurden mit Wind, Wasser oder Muskelkraft betrieben, als Energieträger dienten Kohle und Holz.
- Durch die Erfindung der Dampfmaschine konnten erstmals Waren in großen Mengen produziert und vertrieben werden, entsprechend stieg auch der Bedarf an mineralischen Rohstoffen.
- Durch die Erfindung des Verbrennungsmotors stieg die Mobilität der Menschen. Gleichzeitig setzt sich elektrischer Strom als Energieträger immer weiter durch.
- Durch die digitale Revolution steigt der globale Bedarf an Kupfer und weiteren speziellen Metallen und seltenen Erden für moderne Kommunikations- und Umwelttechnologien.

Quelle: Materials critical to the energy industry, Universität Augsburg/BP



Bruce Gemmell vor einer Formation aus Massivsulfiden in Tasmanien, Australien, die durch eine Hydrothermalquelle vulkanischen Ursprungs gebildet wurden. Foto: privat



Sven Petersen (GEOMAR) und Bruce Gemmell diskutieren an einer bathymetrischen Karte des Palinuro Unterwasservulkans an Bord des Forschungsschiffs METEOR während der PALINDRILL Expedition 2007. Foto: privat

64

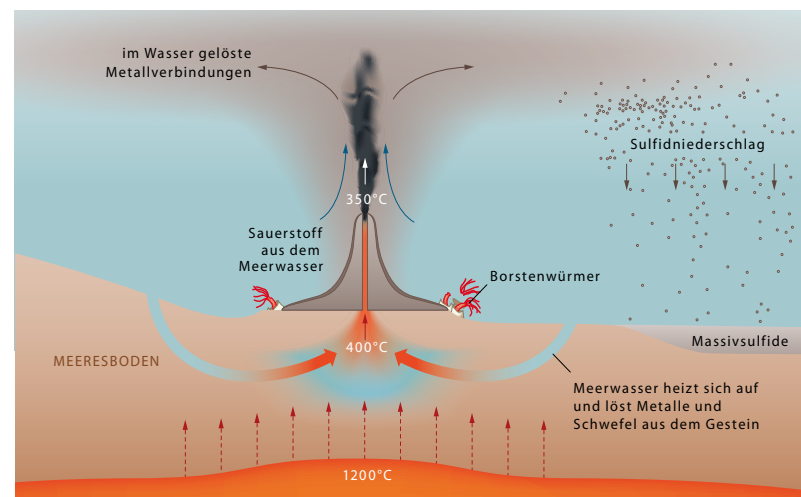
Teil des Prozesses der ozeanischen Krustenbildung. An Land sind mehr als 1100 große VHMS Ablagerungen bekannt und wegen ihrer hohen Erzgehalte abgebaut worden. Auf den jüngeren Teilen der Meeresböden sind bisher mehr als 200 Lokationen mit ähnlicher Mineralisierung entdeckt worden (marine Massivsulfide oder englisch SMS, Seafloor Massive Sulphides). Wissenschaft-

ler haben in ihren Untersuchungen die mineralischen Lagerstätten auf den jungen Meeresböden mit den Vorkommen auf den älteren Kontinentalplatten verglichen, wodurch sich viele neue und spannende Erkenntnisse ergeben haben. Diese ermöglichen den marinen Rohstoffgeologen ein besseres Verständnis der Bildungsprozesse von VHMS Lagerstätten an Land, und erlauben

damit auch eine effizientere Suche nach neuen Vorkommen. Da unsere moderne Gesellschaft zunehmend von mineralischen Rohstoffen abhängig ist, um daraus Produkte des täglichen Lebens, für unsere Gesundheit oder den globalen Handel zu schaffen, ist es von entscheidender Bedeutung, die Forschung zu diesen Rohstoffen zu verstehen und zu unterstützen. Die geowissenschaftliche Rohstoffforschung, an Land wie auch am Meeresboden, unterstützt diese Bemühungen. Die zukünftigen Bedürfnisse unserer Gesellschaft sind auf Innovation und Technologieentwicklung durch die nächsten Generation von Rohstoffgeologen angewiesen.

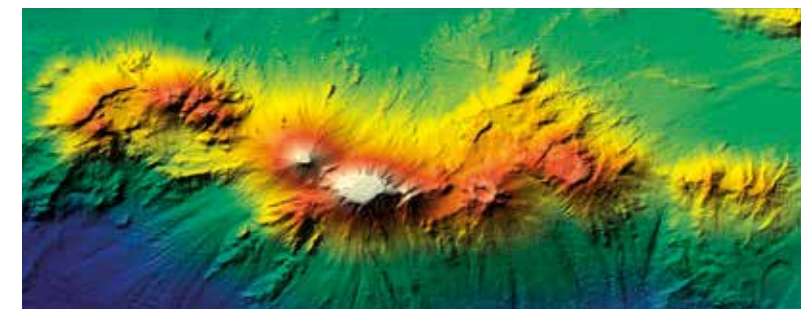
Die Forschungsarbeiten von Bruce Gemmell zu Massivsulfidlagerstätten vulkanischen Ursprungs

Gemmell erkundete bereits ein breites Spektrum von Lagerstätten von den typischen marinen Tiefwasservorkommen (Zink, Blei, Kupfer, Silber, Gold), über Vorkommen im Flachwasserbereich, goldreichen epithermalen Quellen, bis hin zu kupfer- und goldreichen Vorkommen, die an vulkanische Intrusionen



- VHMS-Lagerstätten bilden sich, wenn kaltes Meerwasser in vulkanisch-aktiven Regionen (z.B. mittelozeanische Rücken oder sogenannten Back-arc Becken) durch die ozeanische Kruste zirkuliert. Das Meerwasser wird dabei unterhalb des Meeresbodens erwärmt, interagiert mit den in der Tiefe liegenden Gesteinen und löst dabei Spuren von Metallen und Schwefel heraus. Die heißen, metallreichen Fluide steigen bis zum Meeresboden auf, wo sie in Kontakt mit kaltem Seewasser schnell abkühlen und aufgrund der temperaturabhängigen Löslichkeit Kupfer-, Gold-, Silber-, Blei- und Zinksulfide ausfällen. Grafik: World Ocean Review 3, maribus

65



- Bathymetrische Karte des Palinuro Unterwasservulkankomplexes im westlichen Mittelmeer, die aus Multibeamdaten während der Meteor Expedition M73/2 gewonnen wurden. Visualisierung: GEOMAR

gebunden sind. Bruce Gemmell hat dabei Lagerstätten in Kanada, Australien, USA, Japan, Eritrea, Russland, Spanien, Portugal und Peru untersucht und spezialisierte sich auf die Nebengesteinsumwandlungen, die mit diesen lagerstättenbildenden Prozessen zusammenhängen, sowie deren Bedeutung für die Suche solcher VHMS Vorkommen.

Neben landbasierten Standorten hat Gemmell eine Reihe von marinen Hydrothermalsystemen untersucht. Als Geologe nahm er in den Jahren 1991 und 1993 an den PACMANUS Expeditionen auf dem australischen Forschungsschiff FRANKLIN teil, auf der die Massivsulfidvorkommen PACMANUS (Solwara 4) und SuSu (Solwara 1) entdeckt wurden. Diese Lagerstätten in der Bismarcksee vor

der Küste Papua Neuguineas werden derzeit von der Firma Nautilus Minerals untersucht und Solwara 1 könnte das erste Vorkommen sein, in dem Meeresbergbau betrieben wird.

1994 nahm Bruce Gemmell als Rohstoffgeologe an der ODP Fahrt 158 auf dem amerikanischen Bohrschiff JOIDES Resolution teil, um die Hydrothermalsysteme im sogenannten TAG-Feld am Mittelatlantischen Rücken zu untersuchen. Neben seiner Aufgabe die dreidimensionale Struktur des TAG Vorkommens zu rekonstruieren, untersuchte er die Schwefelisotopensignaturen des Vorkommens und verglich die Ergebnisse mit denen von Landlagerstätten.

In den Jahren 1998 und 2002 nahm Gemmell an den Expeditionen Edison II (SO133) und CONDRILL (SO166) mit dem deutschen Forschungsschiff SONNE zum Conical Seamount in den Gewässern Papua-Neuguineas teil. Auf diesen Expeditionen wurden die zwei- und dreidimensionalen Strukturen goldreicher Lagerstätten mit dem mobilen Bohrergerät Rockdrill des British Geological Survey (BGS) untersucht. Im Jahr 2007 nahm Gemmell an der METEOR Ausfahrt M73/2 im westlichen Mittelmeer teil, um ein Sulfidvorkommen im Palinuro Vulkankomplex wiederum mit dem BGS Rockdrill zu erbohren. Dieses Vorkommen ist weitgehend unter einer dicken Abdeckung von Schlamm und vulkanischen Ablagerungen verborgen. Die Ergebnisse dieses Bohrprogramms haben wesentlich zu unserem Verständnis vom Untergrund solcher marinen Massivsulfidlagerstätten beigetragen, da bisher nur wenige solcher rezenten Vorkommen erbohrt wurden.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/gemmell_essay.pdf

- Für Japan waren die Beben von 1944 und 1946 der Anlass, das NanTroSEIZE-Projekt zu initiieren und für über eine halbe Milliarde US Dollar die Chikyu, das weltgrößte wissenschaftliche Bohrschiff zu bauen.

66

ZUM VERSTÄNDNIS VON SUBDUKTIONSZONEN

durch marine geophysikalische Messungen, Landkartierungen und marine Bohrungen

PROF. DR. GREGORY MOORE

Position: Professor für Marine Geophysik,
Department of Geology and Geophysics, University of Hawaii, U.S.A.

Forschungsinteresse:
Untersuchung von konvergenten Plattengrenzen

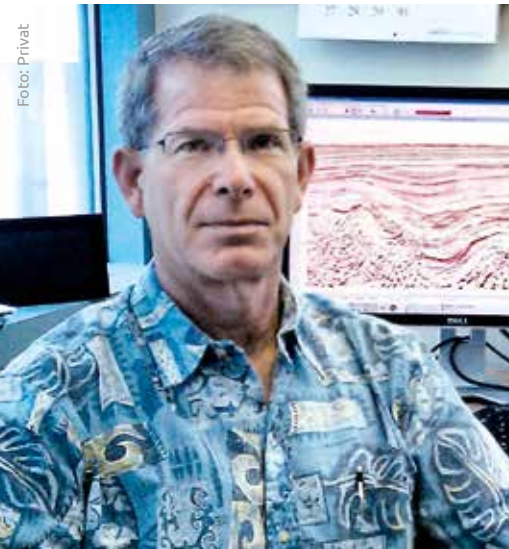


Foto: Privat

Subduktion, Erdbeben und Tsunamis

In seiner wissenschaftlichen Karriere widmete sich Professor Moore der Untersuchung von konvergenten Plattengrenzen auf der ganzen Welt. Seine Arbeit konzentrierte sich auf die Entwicklung von Akkretionskeilen mithilfe von Daten sowohl von Land aus als auch durch marine Expeditionen. So entdeckte er während geologischer Feldarbeiten an einem herausgehobenen Terrain auf einer Insel westlich von Sumatra, dass sich hier die tiefen Stockwerke der Erde an der Oberfläche anstehen. Anschließend untersuchte er dann den tieferen, unter Wasser gelegenen Teil der Region, indem er die inneren Strukturen des Rückens mit seismischen Reflexionstechniken abbildete. Aufgrund der Tatsache, dass die Sumatra Region langsam absinkt, hielten die Experten die Wahrscheinlichkeit für große Erdbeben in dieser Region für eher gering. Deshalb wandten sich Professor Moore und seine Kollegen der Er-

forschung der aktiven Subduktionszonen von Kaskadien (Westküste der USA und Kanada), Mittelamerika, Barbados und Japan zu. Alle seine wissenschaftlichen Arbeiten beinhalteten eine Kombination aus seismischen Bildgebungsverfahren und direkten Überprüfungen durch Tiefseeborungen.

Nach Expertenmeinung galt der Nankai-Trog vor der Ostküste Japans als der geeignetste Ort, um Subduktionsprozesse zu studieren, da hier über die letzten 2.000 Jahre eine Reihe von schweren Erdbeben und daraus resultierenden Tsunamis dokumentiert sind. Die letzten großen Beben ereigneten sich 1944 und 1946. Daher schlossen sich japanische und amerikanische Forschergruppen zusammen, um den Nankai-Trog näher zu untersuchen. Ergebnisse seismischer Verfahren zeigten die Komplexität der Akkretionszone und wiesen auf die Notwendigkeit von dreidimensionalen seismischen Untersuchungen hin. Eine erste 3D-Seismik Aufnahme, welche von dem US-



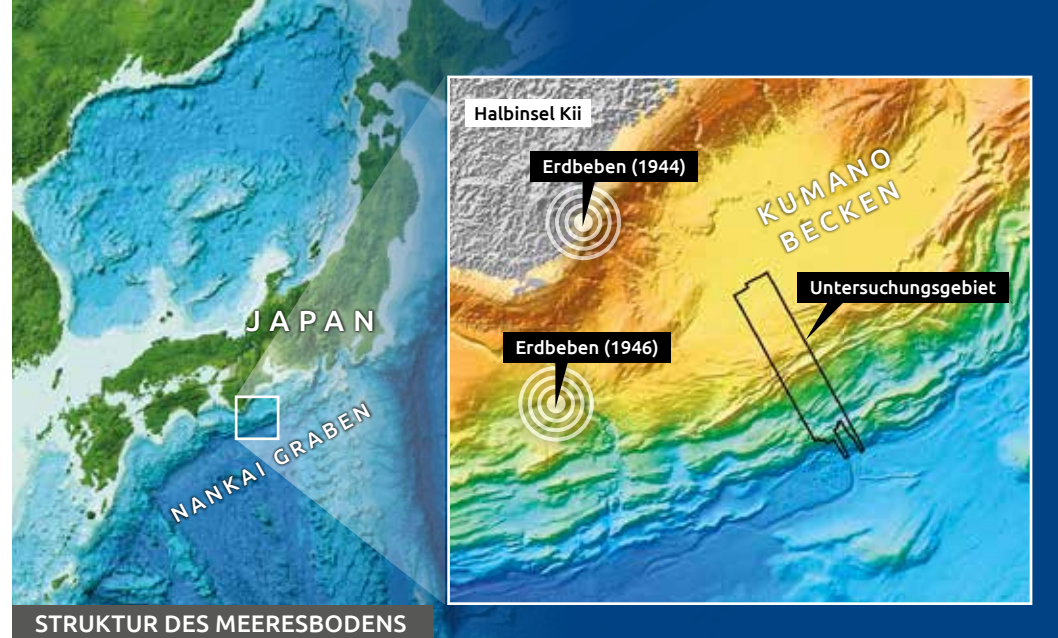
- Mehr als eine Milliarde Menschen leben in tiefliegenden Küstenregionen, die von Tsunamis betroffen sein können, selbst wenn diese Regionen keine Erdbebengebiete sind. Denn Tsunamiwellen können sich über ganze Meere ausbreiten. Der Tsunami nach dem Sumatra-Beben 2004 erreichte die Küste Nord-Sumatras nach etwa 30 Minuten. Nach einer Stunde erreichte die Welle Thailand, nach zwei Stunden Sri Lanka, nach drei Stunden Indien und die Malediven und nach etwa sieben Stunden die ostafrikanische Küste. Grafik: GEOMAR

akademischen Schiff R/V Maurice Ewing ausgeführt wurde, brachte Einblicke in die horizontalen Veränderungen dieser komplexen Region und half bei der Definition von Zielen für Bohrungen für die Ausfahrten Nummer 190 und 196

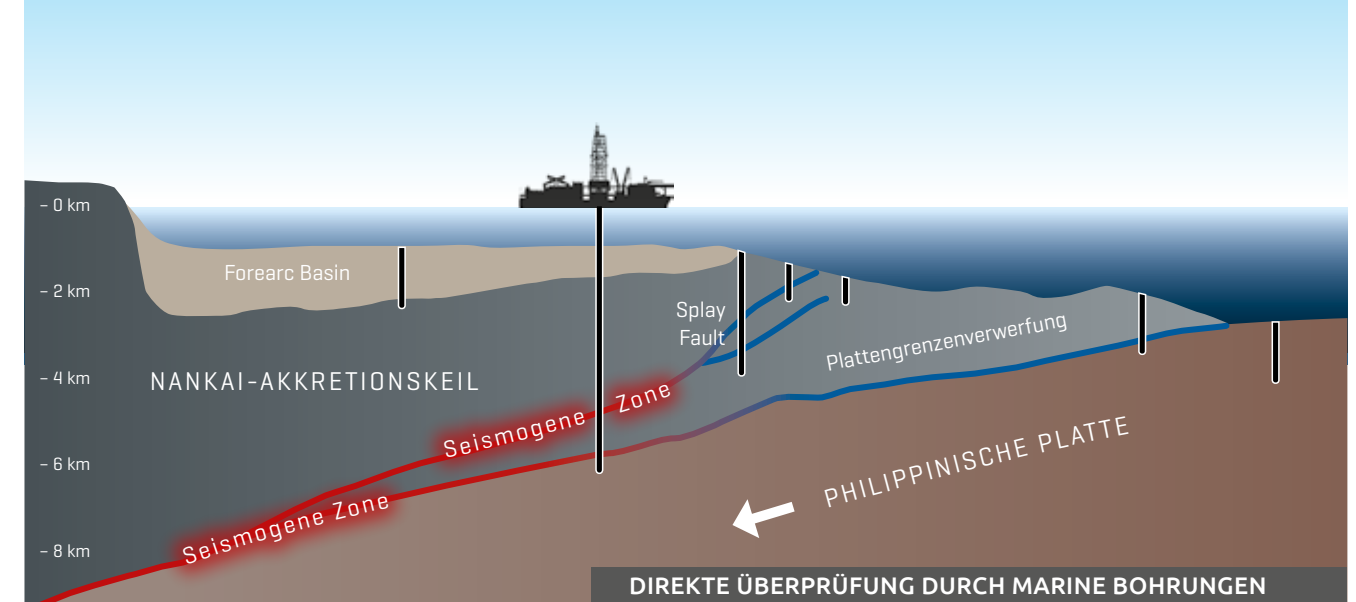
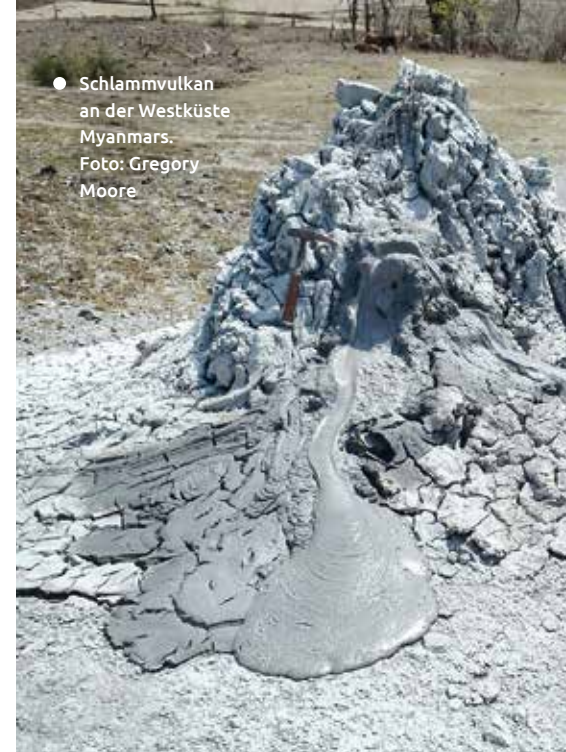
Gregory Moore studierte Geologie an der University of California in Santa Barbara, USA (B. A. 1973) und der Cornell University, USA (Ph.D. in 1977). Nach mehreren Jahren als Postdoc am Scripps Institution of Oceanography, wechselte er zu Cities Service Oil Co. Research Lab, bevor er 1984-1988 als Associate Professor an die University of Tulsa wechselte.

1989 wurde er zum Professor an der School of Ocean and Earth Science and Technology an der University of Hawaii ernannt und nahm an 14 Forschungsreisen und fünf ODP / IODP Expeditionen

teil, davon 11 als leitender oder stellvertretender leitender Wissenschaftler. Ferner unternahm Gregory Moore drei geologische Kartierungsexpeditionen in Myanmar. Er ist Autor von mehr als 150 begutachteten wissenschaftlichen Artikeln.



Die Philippinische Platte taucht im Nankai-Graben mit einer Geschwindigkeit von 4-6 cm pro Jahr unter den aktiven Kontinentalrand vor Südwest-Japan ab. Dabei werden von der abtauchenden Platte bis zu mehrere hundert Meter dicke Sedimentlagen abgerissen und im Akkretionskeil der Eurasischen Oberplatte angelagert.



Das Projekt NanTroSEIZE des IODP stellt das bisher ambitionierteste Vorhaben geowissenschaftlicher Grundlagenforschung dar. Mit dem Bohrschiff Chikyu werden in mehr als einem Dutzend Expeditionen Bohrungen in verschiedene Teile der abtauchenden Philippinische Platte als auch in den Nankai-Akkretionskeil vorgenommen, deren tiefste die seismogene Zone in ca. 5,5 bis 6 km Tiefe unterhalb des Meeresbodens erreichen wird. Quelle: IODP

im Rahmen des Ocean Drilling Programs. Professor Moore nahm als Co-Fahrtleiter an der Ausfahrt mit der Nummer 190 teil, auf der in der vorderen Region des Akkretionskeils Bohrungen durchgeführt wurden und lernte dabei viel über die Deformation entlang der Plattengrenzenverwerfung (Décollement) und die Überschiebungsfrent.

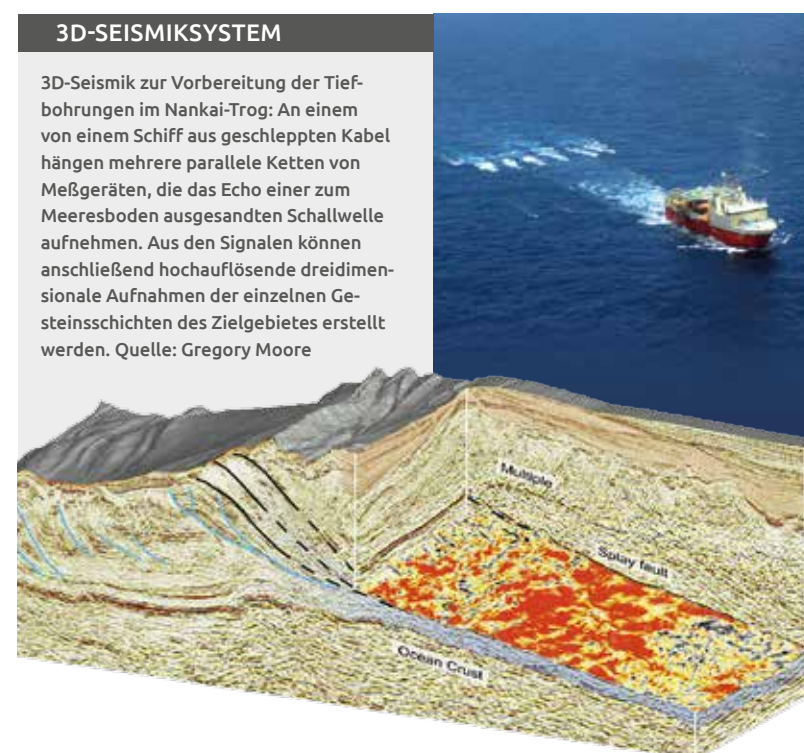
Als die japanische Regierung das Bohrschiff Chikyu baute, auf dem industrielle Riser-Technik zum Einsatz kam, war es selbstverständlich, dass der Nankai-Trog als erstes

Ziel für eine Ultra-Tief-Bohrung in eine aktive Subduktionszone erwählt wurde. Pläne für das Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) beinhalteten Bohrungen durch die Plattengrenzenverwerfung in Tiefen von fünf bis sieben Kilometern, um Proben für Laborarbeiten zu gewinnen und um das Bohrloch für Messungen von in-situ Temperatur, Druck und seismischen Variationen zu instrumentieren.

Während ihrer Arbeiten am Nankai-Trog wurden die Forscher durch das

schwere Sumatra-Erdbeben im Jahr 2004 überrascht. „Offensichtlich lagen wir mit der Annahme, dass die Sumatra Region keine solch große Beben verursachen könnte, falsch“, so Professor Moore. „Wir verstärkten daraufhin unsere Arbeiten am Nankai-Trog, denn wir waren uns sicher, dass diese Region der nächste Ort für ein großes Subduktionserdbeben werden würde“, so Moore weiter. In Vorbereitung für Tiefbohrungen wurden dafür die ersten 3D-seismischen Untersuchungen mit kommerzieller Technologie durchgeführt. Mithilfe der dadurch gewonnenen Daten mussten die regionalen geologischen Strukturen neu interpretiert werden und es konnten Ziele für Bohrungen im Rahmen des Integrated Ocean Drilling Programs definiert werden.

Moore nahm dann an den ersten Nankai-Bohrungen (Expedition 314) im Jahr 2007 teil. Bevor die Bohrungen am Nankai-Trog abgeschlossen werden konnten, geschah im Jahr 2011 das starke Erdbeben und der dadurch ausgelöste Tsunami vor der Küste Japans, bei dem das Atomkraftwerk Fukushima zerstört wurde. Aus dem Beben konnte die Wissenschaft viel lernen und die Bohrungsbemühungen in Nankai wurden fortgesetzt. Seit 2014 wurden zehn Flach- und zwei



Tiefbohrungen durchgeführt. Professor Moore war Co-Fahrtleiter auf der Expedition 338 in 2012/13, wo die bisher tiefste Bohrung im Nakai Gebiet mit einer Tiefe von 3.500 Metern erreicht werden konnte. Bis zum Jahr 2017/18 soll sie weiter auf 5.000 Meter vertieft werden. Bis jetzt zeigen die Bohrungen im Rahmen des NanTroSEIZE-Projektes, dass die Abrutschung während des Erdbebens, welches entlang der basalen Abgleitung auftrat, sich auf dem ganzen Weg zum Graben fortpflanzt, aber auch aufwärts zur Oberfläche entlang einer verzweigten Verwerfung (Splay Fault). Diese Abrutschung hat eine enorme Gesteinsmasse mehrere Meter seewärts gedrückt.

Die aktuellen seismischen Untersuchungen und Bohrungen im Tiefseegraben vor Japan zeigen, dass dieser Mechanismus der Grund für den großen Tsunami war, welcher 2011 die Ostküste Japans zerstörte. Die japanische Regierung unterstützte daraufhin zusätzliche Untersuchungen, um zu verstehen, in welchem Ausmaß solche Prozesse zukünftig auch im Nankai-Trog auftreten könnten.

Subduktion und Schlammvulkane

Ein bisher weniger gut verstandenes Phänomen in der Subduk-

tionszone ist das Aufsteigen von Schlamm im Akkretionskeil bedingt durch starke geodynamische Drücke. Wenn der unter Druck gesetzte Schlamm die Oberfläche erreicht, bricht er als Schlammvulkan aus. Professor Moore begann 2013 seine Untersuchungen an Schlammvulkanen entlang der Westküste von Myanmar, wobei in drei Forschungskampagnen Schlammproben gesammelt und die kleinräumige geologische Struktur von Schlammvulkanen analysiert wurde. Mithilfe von Isotopenchemieanalysen der Schlämme, die Professor Achim Kopf vom MARUM durchführte, zeigten sich Hinweise, dass die Schlammvulkane in Tiefen von mehr als ein bis zwei Kilometern entstehen und mit stark gesicherten Flyschsedimenten (Mélanges) eng verbunden sind. Zusätzliche Feldarbeit und Analysen werden notwendig sein, um zu erfahren, ob der Schlamm-Diapirismus die Mélanges verursacht oder ob der Schlamm passiv entlang von Scherzonen aufsteigt.

Im Rahmen dieses Forschungsgebietes nahm Moore im vergangenen Jahr an einer Ausfahrt mit seinen japanischen Kollegen teil, um Schlammvulkane am Meeresboden in der Nankai-Region mit einem autonomen Unterwasserfahrzeug (AUV) zu untersuchen. Das AUV

ist in der Lage, die Topografie des Meeresbodens zu kartieren und mithilfe des Seitensichtsonars die Oberflächenstrukturen aufzunehmen. Diese Karten werden im Laufe dieses Jahres auf einer Expedition mit dem deutschen Forschungsschiff Sonne genutzt, um aktive Strukturen zu beproben. Professor Moore wird an dieser Ausfahrt teilnehmen, um die Beziehungen zwischen den Schlammvulkanen und tieferen Strukturen, welche auf seismischen Profilen erkennbar sind, zu entschlüsseln.

„Wir sind guter Hoffnung, dass unsere langjährigen Untersuchungen von Subduktionszonen zu einem besseren Verständnis der Bedingungen führen, welche starke Erdbeben und resultierende Megatsunamis hervorrufen. Damit verbunden ist das Ziel, zukünftige Gefahren zu quantifizieren – nicht nur in der Nankai-Region, sondern an allen aktiven Subduktionszonen der Welt“, so Moore. Während seines Aufenthaltes in Kiel arbeitet er daher an einem weiteren Fahrtvorschlag, um mit FS Sonne die Subduktionszonen vor Myanmar weiter zu untersuchen.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/moore_essay.pdf

- Bergung einer ozeanographischen Verankerung östlich von Grönland während einer OSNAP Expedition. Foto: M. F. de Jong



70

DIE ERFORSCHUNG DER GLOBALEN UMWÄLTBEWEGUNG DES OZEANS UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF UNSER KLIMA

PROF. DR. SUSAN LOZIER

Position: Professor of Ocean Sciences, Nicholas School of Environment at Duke University, USA

Forschungsinteresse:
Die Thermohaline Zirkulation des Ozeans



Foto: M. Morr, Duke Photography

Im Jahr 1800 analysierte der englische Physiker Graf Rumford Temperaturen des Meerwassers, die damals noch unter Verwendung eines Seils, eines Eimers und eines einfachen Thermometers gewonnen wurden. Aus den Ergebnissen entwickelte er eine Theorie für die globale Ozeanzirkulation, die Wärme aus den Tropen bis zu den Polen umverteilt. Heute wissen wir, dass diese Umwälzbewegung zusätzlich anthropogenes Kohlendioxid in die Tiefsee transportiert und somit weiteren Einfluss auf das globale Klima nimmt. Was wir bisher nur unzureichend verstehen, sind die Mechanismen, die die Stärke dieser Zirkulation kontrollieren und wie sie sich in den nächsten Jahrzehnten verändern wird. Zwei Jahrhunderte nach Rumfords Arbeit soll nun das Ozeanbeobachtungssystem OSNAP im subpolaren Nordatlantik Antworten auf diese Fragen geben.

Im Jahre 1751 unterbrach der britische Kapitän Henry Ellis seine Reise in die amerikanischen Kolonien, um die Temperatur des tiefen tropischen Ozeans zu messen. Mit einem einfachen, mit Ventilen ausgestatteten Holzeimers konnte er Wassertemperaturen in ausgewählten Tiefen erfassen und so gemeinsam mit seiner Crew in mühsamer Kleinarbeit das erste bekannte Temperaturprofil des Ozeans erstellen. Wie Ellis in einem Brief erwähnte, „verstärkte sich die Kälte kontinuierlich mit der Tiefe bis in 3900 Fuß (ca. 1.200 Meter)“. Erfolgreiche Probennahmen aus großen Tiefen förderten Wasser mit Temperaturen zu Tage, das um rund 30 Grad Fahrenheit (17 Grad Celsius) kälter als die Lufttemperatur war. Jahrzehnte vergingen, bis die scheinbar offensichtliche Tatsache des kalten Tiefenwassers hinterfragt wurde. Graf Rumford, ein in Amerika geborener



- Sir Benjamin Thompson, Reichsgraf von Rumford (1753-1814) war Offizier, Politiker, Experimentalphysiker und Erfinder. Er hatte bedeutenden Anteil an der Weiterentwicklung der Wärmelehre. Gemälde von Thomas Gainsborough, 1783

britischer Wissenschaftler, der Ellis' Briefe in den Archiven der Royal Society of London fand, verwirrte die Tatsache, dass das Tiefenwasser in den Tropen so viel kälter als die Temperatur der darüber liegenden Atmosphäre sein konnte. Obwohl es

bereits bekannt war, dass die vom Wind angetriebenen Oberflächenströmungen Wasser von einem Teil der Erde zum anderen bewegten, wurde die Tiefsee im 18. Jahrhundert allgemein für bewegungslos gehalten. Doch aus diesem einzigen Temperaturprofil schloss Rumford das Gegenteil. Im Jahr 1800 schrieb er: „Es scheint mir nur sehr schwer vorstellbar, wenn nicht ganz unmöglich, diese Kälte am Boden der heißen Zone unseres Planeten lokal zu erklären, sondern es legt die Vermutung nahe, dass dafür kalte Strömungen von den Polen verantwortlich sind“. Rumford führte ferner aus, dass diese kalte Strömungen in der Tiefe „unbedingt Oberflächenströmungen in eine entgegengesetzte Richtung erzeugen müssten“.

Mit diesen beiden Sätzen beschrieb Rumford die Umwälzbewegung in den Ozeanen, die fast zwei Jahrhunderte später als globales Ozeanförderband bekannt wurde. Während seine Theorie auf dem einzigen Temperaturprofil von Ellis fußte, konnte später durch meridionale Schnitte nachgewiesen werden, dass das Tiefenwassers in den Tropen aus hohen Breiten stammt. Messungen während der Deutschen Atlantischen Expedition 1925-1927 konnten anhand von Salzgehaltsmessungen bestätigen, dass sich Wassermassen aus dem nördlichen Nordatlantik äquatorwärts ausbreiten und dort zwischen relativ frischem Wasser antarktischen Ursprungs einschichten.

71

Die Physikalische Ozeanographin Prof. Dr. Susan Lozier studierte an der Purdue University, West Lafayette, USA (B.A. 1979) und promovierte an der University of Washington, Seattle, USA (PhD 1989). Danach ging sie als Postdoc zunächst an die renommierte Woods Hole Oceanographic Institution an der amerikanischen Ostküste, ehe sie 1992 zum Professor an die Duke University, Durham, USA berufen wurde. Susan Lozier wurde für ihre Arbeiten mehrfach ausgezeichnet.

Sie ist Fellow der American Meteorological Society (AMS), der American Geophysical Union (AGU) und der American Association for the Advancement of Science (AAAS). Während ihrer wissenschaftlichen Laufbahn hat sie bereits mehr als 80 Artikel in begutachteten Fachzeitschriften veröffentlicht. Sie ist gegenwärtig Präsidentin der Oceanography Society und leitet das internationale Ozeanbeobachtungsprogramm OSNAP (Overturning in the Subpolar North Atlantic Program).

In den folgenden Jahrzehnten wurden Dutzende von hydrographischen Schnitten entlang verschiedener Breiten- und Längengrade im Nord- und Südatlantik erstellt, mit deren Hilfe ein dreidimensionales Bild der Temperatur-, Salzgehalts- und Sauerstoffverteilung des Tiefenwassers, das in der Labradorsee, im Mittelmeer und im Europäischen Nordmeer gebildet wird, erstellt werden und von den aus der Antarktis stammenden Wassermassen unterschieden werden kann. Ein 1972 erstellter Meridionalschnitt vom nördlichen Nordatlantik bis in äquatoriale Breiten zeigte, dass Tritium, ein Nebenprodukt aus den Atombombentests in den 1950er bis frühen 1960er Jahren, in hohen Breiten bis in große Tiefen vordringt. Während bisher Messungen von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoff zur Hypothese der meridionalen Umwälzbewegung benutzt wurden, bewies das Vordringen von Tritium in die Tiefe des nördlichen Nordatlantiks und seine äquatorwärtige Ausbreitung nun sehr anschaulich ihre Existenz.

Die Aufnahme von Tritium an der Ozeanoberfläche und die nachfolgende Verlagerung in den tiefen Ozean demonstriert auch deutlich die Fähigkeit der Tiefsee als Reservoir. Heute wissen wir, dass das Meer auch ein Reservoir für anthropogen erzeugtes Kohlendioxid ist. Aus einer Serie von Expeditionen in den frühen 1990er Jahren wurde die Konzentration von anthropogenem Kohlendioxid im Ozean entlang einer Route von den Aleuten im Nordpazifik bis in den Südlichen Ozean ostwärts in den Atlantischen Ozean, und schließlich nordwärts bis nach Island ermittelt. Die Auswirkungen der Umwälzbewegung im Nordatlantik wurde anhand dieser Messungen deutlich: hohe Konzentrationen von anthropogenem Kohlendioxid in großen Tiefen in diesem Becken zeigten, dass diese Wassermasse noch vor kurzem Kontakt mit der Atmosphäre gehabt haben musste.



DAS GLOBALE OZEANFÖRDERBAND

Schematische Abbildung des globalen Ozeanföderbandes. Die Pfeile weisen in Strömungsrichtung. Warme Oberflächenströmungen des oberen Förderbandes in orange, kalte Tiefenströmungen in blau. Quelle: Lozier, 2010

Diese Beobachtungen und entsprechende Quantifizierungen ergaben, dass etwa 30 Prozent des seit der industriellen Revolution freigesetzten anthropogenen Kohlendioxids im Ozean gespeichert sind und warfen die Frage nach der Bedeutung des Ozean im globalen Klimawandel auf: In welchem Umfang wird die Tiefsee auch in Zukunft als Reservoir für anthropogenes Kohlendioxid zur Verfügung stehen?

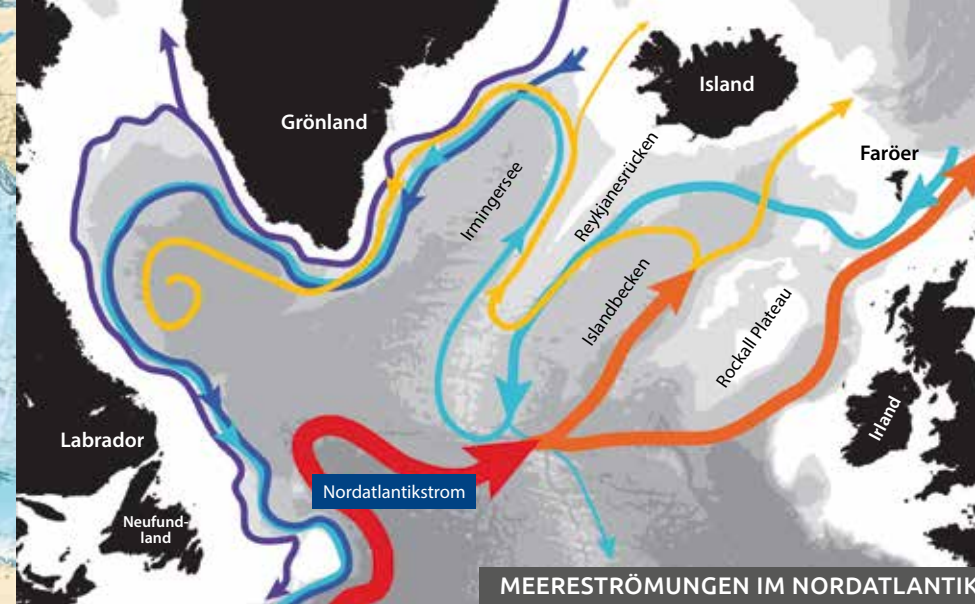


• Bergung einer CTD-Rosette mit Wasserproben vom Nordatlantik an Bord des R/V Knorr. Foto: Carolina Nobre

Die Antwort auf diese Frage hängt entscheidend von unserem Verständnis der Variabilität der Umwälzbewegung ab. Es wird seit langem angenommen, dass die Stärke der Umwälzbewegung in Zusammenhang mit der Bildung konvektiver Wassermassen im Bereich der Labradorsee sowie des Zustroms von arktischem Tiefenwasser über die Schwellen des Grönland-Schottland-Rückens steht. Aufbauend auf Rumfords ursprünglicher Vermutung waren die Ozeanographen im

20. Jahrhunderts der Auffassung, dass eine Erwärmung und Auslösung des Oberflächenwassers in den hohen Breiten zu einer Verringerung der konvektiven Aktivität und Rückgang der Tiefenwasserproduktion in diesen Regionen führen würde. Jüngere Studien, unter anderem auch solche von physikalischen Ozeanographen des GEOMAR, zweifeln jedoch an der Gültigkeit dieses einfachen Zusammenhangs.

Insbesondere ergab eine Analyse von hydrographischen Schnitten durch die Labradorsee in den Jahren 1990-1997 unter anderen durch den am Institut für Meereskunde Kiel und an der Christian-Albrechts-Universität Kiel durchgeführten Sonderforschungsbereich 460, dass, obwohl die dort stattfindende Produktion von Tiefenwasser in diesen Jahren die stärkste jemals registrierte war, eine Verstärkung der Umwälzbewegung in dieser Region nicht nachgewiesen werden konnte. Daten einer Verankerung des GEOMAR im tiefen westlichen Randstrom in der Labradorsee bei 53 Grad Nord zeigen eine allmähliche Erwärmung des Wassers von 1997 bis 2009, was auf eine Verringerung der Konvektionsaktivität hindeutet, jedoch keine nachweisbare Änderung in der Stärke der Tiefenströmungen. Nach den derzeitigen Erklärungsmodell müssten diese sich aber abschwächen.

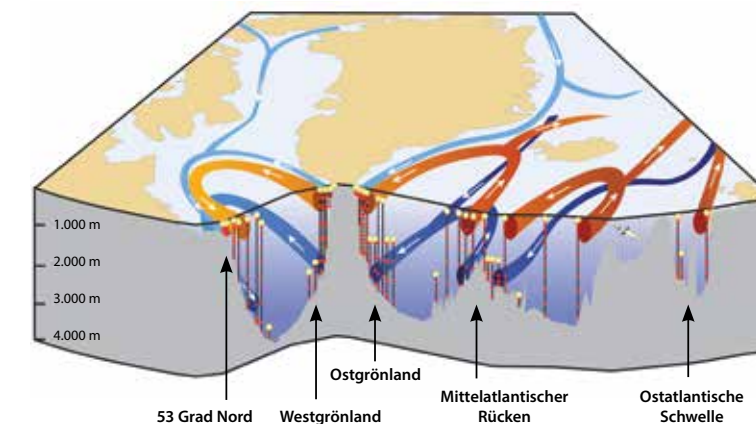


MEERESTRÖMUNGEN IM NORDATLANTIK

Schematische Abbildung der Strömungssysteme im Nordatlantik. Auch wenn diese Darstellung schon realitätsnäher ist, sind die angedeuteten Strömungsverläufe noch stark vereinfacht. Quelle: OSNAP

So bleibt die offene Frage: Welcher Mechanismus treibt die Schwankungen der Umwälzbewegung? Die Beantwortung ist für eine Reihe von anderen Fragen wichtig. Modellstudien weisen darauf hin, dass die Umwälzbewegung die Meeresoberflächentemperaturen im Nordatlantik beeinflusst, die wiederum die Niederschläge in der afrikanischen Sahelzone, Indien und Brasilien beeinflussen. Ferner hängen auch die Hurrikanaktivität im Atlantik oder das sommerliche Klima in Europa und Nordamerika davon ab. Die Schwankungen der Umwälzbewegung haben, beeinflusst durch den nordwärtigen Transport von warmem Wasser, auch einen

Einfluss auf den Rückgang des arktischen Meereises und den Massenverlust des grönländischen Eisschildes, beides Prozesse die ihrerseits auch die Klimavariabilität beeinflussen. Die Bedeutung dieser Frage wird auch durch die aktuelle IPCC Studie zur Abschwächung der Umwälzbewegung im Nordatlantik, bedingt durch eine Erwärmung des Oberflächenwassers in hohen Breiten, unterstrichen. Gleichzeitig setzt sich der rasche Rückgang des arktischen Meereises fort, was zu einer Freisetzung von Süßwasser in Regionen führt, in denen Tiefenwasser gebildet wird. Es wird erwartet, dass diese salzarmen Wassermassen die Produktion von



• Schematische Darstellung des OSNAP Beobachtungsprogramms, das im Sommer 2014 ausgelegt wurde. Felder mit Strömungsmessern befinden sich in den Randströmen der Labrador-, Irminger- und Islandsee sowie im Rockall Trog. Felder mit Tiefseeeinstrumenten wurden zu beiden Seiten des Reykjanes Rückens ausgesetzt. Ferner sind auch Tiefendrifter zur Bestimmung der Meeresströmungen in großen Wassertiefen sowie Gleiter, die über die Rockall Bank kreuzen. Quelle: OSNAP, Grafik: Penny Holiday, NERC



OZEANOGRAPHISCHE GLEITER

Zur Unterstützung der fest installierten Verankerungen werden auch Gleiter eingesetzt, die autonom Meeresdaten sammeln und übermitteln können.

Tiefenwasser und somit den unteren Teil der Umwälzbewegung reduzieren. Angesichts der Bedeutung und Dringlichkeit, die Frage der Schwankungen in der Umwälzbewegung zu verstehen, hat die internationale Gemeinschaft im Sommer 2014 ein neues Beobachtungssystem im subpolaren Nordatlantik implementiert. Die USA, Deutschland, die Niederlande, Kanada, Frankreich, Großbritannien und China haben gemeinsam das Forschungsprogramm OSNAP (Overturning in the Subpolar North Atlantic Program) gestartet, um kontinuierliche Messungen der Umwälzbewegung durchzuführen. Weil der größte Teil des globalen Tiefenwassers aus dem Nordatlantik stammt und wegen der engen Verknüpfung der Änderungen in der Arktis und im Nordatlantik, werden die Messungen im subpolaren Nordatlantik den Wissenschaftlern Chancen bieten, die Faktoren zu bestimmen, die die Variabilität der Umwälzbewegung steuern. Eine erste Abschätzung der Stärke der Umwälzbewegung, die vom OSNAP Array gemessen wird, steht voraussichtlich im Sommer 2017 zur Verfügung.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/lozier_essay.pdf



● Verschiedene Arten von Phytoplankton unter dem Mikroskop.
Foto: Annegret Stühr, GEOMAR

ÖKOLOGIE UND EVOLUTION VON PHYTOPLANKTON IM SICH VERÄNDERNDEN OZEAN

PROF. DR. ELENA LITCHMAN

Position: Professor of Aquatic Ecology,
W.K. Kellogg Biological Station, Michigan State University, USA

Forschungsinteresse:
Ökologie, Physiologie und Evolution von Phytoplankton

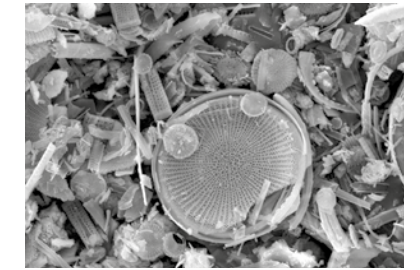
Foto: Privat



Atmen Sie tief ein, und dann noch einmal. Wussten Sie, dass der Sauerstoff in jedem zweiten Atemzug von mikroskopisch kleinen Algen in den Ozeanen produziert wird? Es mag überraschen, dass diese pflanzlichen Algen, das sogenannte Phytoplankton, ebenso viel Sauerstoff produzieren wie die Pflanzen an Land, inklusive der majestätischen Tropenwälder. Das Phytoplankton ist nicht nur wichtig für die Sauerstoffversorgung, es bildet auch die Basis der meisten Nahrungsnetze im Ozean, indem es die Nahrung für kleinste Tiere, genannt Zooplankton, und in weiterer Folge für die Fische und damit indirekt für die Menschen bereitstellt. Einige Arten dieser kleinen Algen können auch negative Auswirkungen auf die Gesundheit von Tier und Mensch haben, wenn sie sich exzessiv vermehren und Giftstoffe produzieren, die sich in Fischen und Meeresfrüchten anreichern und dann von Menschen konsumiert werden.

Das übergeordnete Thema der Forschung von Elena Litchman ist die Fragestellung, wie das Phytoplankton auf Veränderungen in der Umwelt reagiert. Pflanzliches Plankton ist unglaublich vielfältig, was

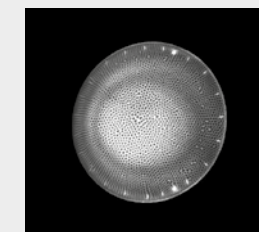
ihre Größe, Form und ihre Rolle in biogeochemischen Kreisläufen und in den Nahrungsnetzen betrifft. Durch ein Mikroskop betrachtet, kann man ihre interessante Formen bewundern.



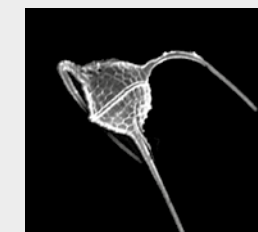
● Präparat verschiedener Diatomeen unter dem Rasterelektronenmikroskop
Foto: Jasmin Stieger, CC BY-SA 3.0

Zu den Hauptgruppen des Phytoplanktons gehören die Diatomeen mit Zellen aus zarten glasartigen Gehäusen aus Kieselsäure, die etwa 25 Prozent der Photosynthese der Erde leisten.

Daneben gibt es die Dinoflagellaten, die sich gleichzeitig wie Pflanzen und Tiere verhalten, da sie einerseits Photosynthese betreiben, aber andererseits auch anderes



● **Kieselalgen (Diatomeen)**
besitzen runde, bisweilen auch dreieckige Schalen oder auch stäbchen- sowie bogenförmige Gehäuse aus Siliziumdioxid.



● **Panzergeißler (Dinoflagellaten)**
haben fadenförmige Gebilde (Flagellen) auf ihrer Oberfläche, die ihnen zur Fortbewegung dienen.



● **Kalkalgen (Coccolithophoriden)**
zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Zellkörper von einer Kugel aus Calciumcarbonat-Plättchen umschlossen ist.

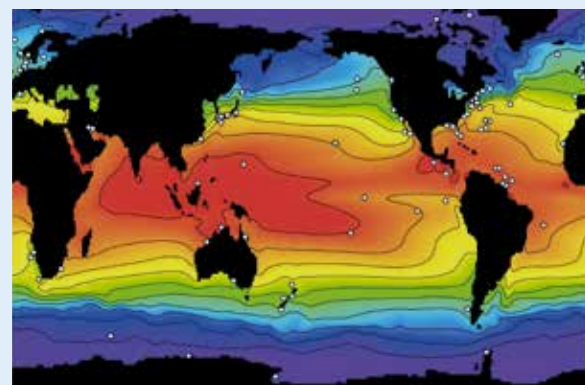


● **Blualgen (Cyanobakterien)**
besitzen keinen echten Zellkern und sind somit nicht mit den Algen verwandt, sondern zählen zu den Bakterien.

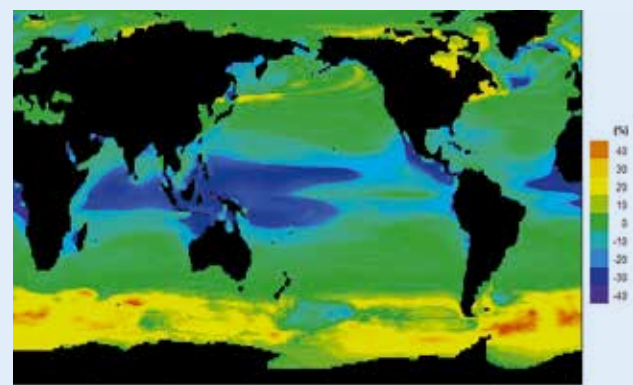
DIE HAUPTGRUPPEN DES PHYTOPLANKTONS

Prof. Dr. Elena Litchman studierte zunächst Biologie an der Lomonosov Universität in Moskau, Russland, bevor sie 1991 an die University of Minnesota wechselte. 1997 promovierte sie dort mit einer Arbeit zu Phytoplankton. Ihre Postdoc-Zeit verbrachte Sie unter anderem an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz in der Schweiz, an der Rutgers University in New Jersey, USA sowie am Georgia Institute of Technology, USA. Seit 2005 ist Elena Litchman Professorin an der Michigan State University (MSU) im Plant Biology Department und der W.K. Kellogg Biological Station.

2016 wurde sie mit einer renommierten MSU Foundation Professorship ausgezeichnet. Während ihrer wissenschaftlichen Laufbahn wurde Elena Litchman mehrfach ausgezeichnet, beispielsweise mit dem „Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers“ oder dem NSF Career Award. Sie veröffentlichte bisher mehr als 60 Artikel in begutachteten Fachzeitschriften.



- Globale Karte der Wassertemperaturen an der Ozeanoberfläche und Lokationen der Proben für die Phytoplanktonstudie. Grafik: Elena Litchman



- Mögliche prozentuale Veränderungen der Phytoplankton-Diversität durch die Erwärmung des Ozeans. Grafik: Elena Litchman



- Algenblüte der Spezies *Noctiluca scintillans*. Die Algen bilden einen orange-roten Teppich, weswegen man diesen Effekt auch als „Red Tide“ bezeichnet. Foto: Steven Haddock, MBARI



- Algenblüte von *Emiliana huxleyi*. Die hellblaue Farbe stammt von den mikroskopisch kleinen Kalkplättchen, mit denen das Phytoplankton bedeckt ist. Satellitenfoto: Jeff Schmaltz, NASA



- Blaualgenblüte in einem Baggerweiher. Foto: Christian Fischer, CC BY-SA 3.0

Phytoplankton fressen können. Ihr exzessives Wachstum kann giftige „Red Tides“ verursachen.

Weiterhin gibt es Coccolithophoriden, die so große Blüten verursachen, dass sie vom Weltraum aus gesehen werden können. Sie produzieren das Gas Dimethylsulfid, das auch die Bildung von Wolken unterstützt. Damit wird der Anteil des Sonnenlichts erhöht, der in den Weltraum zurückgestrahlt wird, was so dem Klimawandel entgegenwirkt.

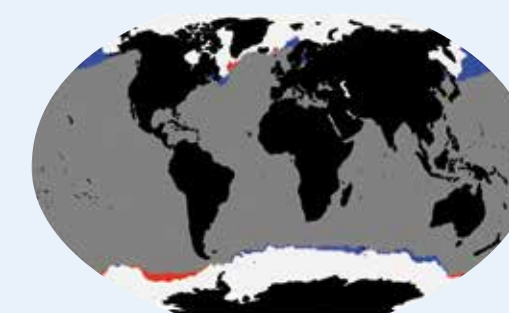
Außerdem gibt es die Cyanobakterien, die ältesten photosynthetischen Organismen, die vor zwei Milliarden Jahren die Atmosphäre mit Sauerstoff anreicherten und damit erst die Evolution der Vielfalt der Lebewesen ermöglichten, die auf Sauerstoff angewiesen sind. Viele von ihnen können auch den atmosphärischen Stickstoff fixieren und sind damit eine wichtige Quelle dieses Nährstoffes in den großen, oligotrophen (nährstoffarmen) Gebieten der Ozeane.

Es ist wichtig zu verstehen, was Schwankungen der Biomasse und der Artenvielfalt des Phytoplankton bewirken, da dies entscheidenden Einfluss auf die biogeochemischen Kreisläufe, die Struktur der Nahrungsnetze, die Funktion des Ökosystems und letztendlich auf

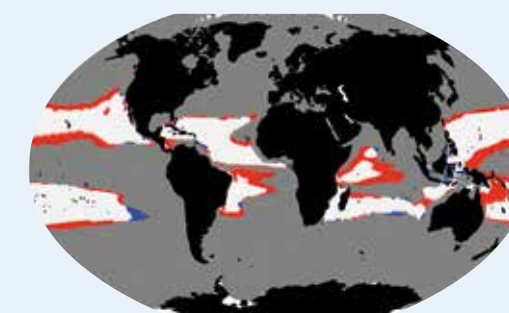
das Wohlergehen der Menschen hat. In einer Zeit, in der die Ozeane eine noch nie dagewesene Erwärmung und Versauerung, sowie Veränderungen in der Zirkulation und Verunreinigung erfahren, sind massive Veränderungen des Phytoplanktons zu erwarten.

Untersuchungen des Teams um Elena Litchman sowie weitere Studien legen nahe, dass die Erwärmung zu einer Reduktion von Masse und Vielfalt des Phytoplanktons führen wird. Interessanterweise könnte das Phytoplankton der warmen Meere am empfindlichsten sein und die größten Diversitätsverluste erfahren. Ähnliche Muster der besonderen Empfindlichkeit tropischer Organismen wurden auch bei Insekten gefunden und könnte auch bei anderen Organismengruppen existieren. Um vorherzusagen, wie das Phytoplankton der Zukunft aussehen wird, versucht das Team um Elena Litchman Schlüsselmerkmale der einzelnen Arten zu charakterisieren. Zum Beispiel kann gemessen werden, wie gut eine Phytoplanktonart bei verschiedenen Temperaturen wächst. Wenn Arten gefunden werden, die bei höheren Temperaturen besser wachsen als andere, könnten diese einen Vorteil in einem erwärmten Ozean haben. Aber jede Art hat eine Vielzahl von Merkma-

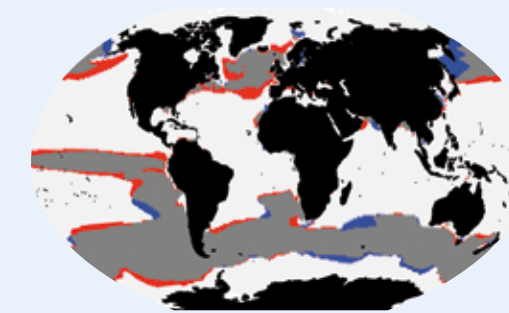
- Vorhergesagte Änderungen von Phytoplankton-Arten (Rückgang, Expansion oder keine Änderung) in verschiedenen Modellen. Die Karten zeigen den Einfluss bei Änderungen verschiedener Parameter.



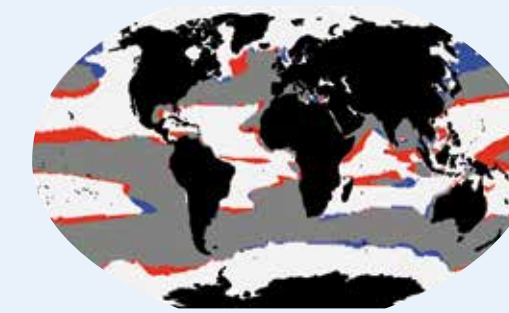
Nur Temperatur



Nur Stickstoff



Temperatur und Stickstoff, interaktives Modell



Temperatur und Stickstoff, Darwin Modell

- Rückgang
- Expansion
- keine Änderung
- Bedingungen nicht geeignet



- Elena Litchman während einer Phytoplankton-Expedition. Foto: Privat

len und diese unterscheiden sich von anderen Arten. Zusätzlich zu unterschiedlichen Temperaturempfindlichkeiten differieren Arten unter anderem in ihren Bedarf an Stickstoff und Phosphor oder in der Fressbarkeit durch das Zooplankton. Alle diese Unterschiede bestimmen letztendlich, wie Arten

unter verschiedenen Umweltbedingungen einschließlich Klimaszenarien wachsen. Während Erwärmung und andere Umweltstressoren das Phytoplankton der Zukunft negativ beeinflussen könnten, nimmt Elena Litchman auch an, dass es sich durch Evolution an die neuen Bedingungen anpassen kann. In Arbeitsgrup-

pen auf der ganzen Welt, darunter ihrer eigenen und am GEOMAR, werden Evolutionsexperimente im Labor durchgeführt, um zu untersuchen, ob und wie schnell sich pflanzliches Plankton an neue Bedingungen wie höhere Temperaturen und Versauerung anpassen können. Es zeigt sich, dass sich Phytoplankton relativ schnell anpassen kann, aber dass es auch Grenzen dieser Fähigkeit gibt und dass andere Faktoren, wie zum Beispiel Nährstoffmangel, die Anpassung verlangsamen können.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/lichman_essay.pdf



- Bohrkopf und Eisbohrkern aus einer Tiefe von 2874 Metern von Dome Concordia Station (Antarktis). Die Bohrung erfolgte im Rahmen des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA). Der Eisbohrkern enthält eine kontinuierliche Klimageschichte über die letzten 800.000 Jahre. Foto: L. Augustin, LGGE, Grenoble

78

Kohlendioxid (CO_2) ist das neben Wasserdampf wichtigste Treibhausgas in der Atmosphäre. Ohne Treibhausgase gibt es kein Leben auf der Erde, denn die mittlere Temperatur an der Oberfläche wäre nur gerade -18 Grad Celsius. Trotz ihrer relativ geringen Konzentration in der Atmosphäre erhöhen diese Treibhausgase die mittlere Temperatur auf etwa +15 Grad Celsius. Seit der Industrialisierung ist die CO_2 Konzentration in der Atmosphäre rasant auf Werte angestiegen, die diejenigen der letzten 800.000 Jahren um 30 Prozent übertreffen. Dieser Anstieg der Treibhausgaskonzentration und die Rückkoppelungen im Klimasystem verursachen eine weltweite Erwärmung mit vielen weiteren Veränderungen in der Atmosphäre, im Ozean, auf dem Land und in den Polargebieten.

Ein Pfeiler der Klimaforschung

Die außerordentliche Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen ist dank der wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten 50 Jahre zu einem Faktum geworden. Ebenso ist deren Ursache geklärt: durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, sowie durch die Abholzung tropischer Regenwälder und die Landnutzung sind große Mengen von Kohlendioxid, Methan (CH_4) und

Lachgas (N_2O) in die Atmosphäre gelangt, wo diese Moleküle langwellige Strahlung absorbieren und die Energiebilanz der Erde verändern.

Für Kohlendioxid, das bedeutendste der drei Treibhausgase, gibt es erst seit 1958 direkte atmosphärische Messungen. Deshalb muß die Frage geklärt werden, ob bereits zu früherer Zeit erhöhte Konzentrationen vorlagen und Messungen eine natürliche Schwankung anzeigen würden.

Polare Eisbohrkerne der Antarktis enthalten alte Lufteinschlüsse, deren Analyse eindeutig belegt, dass die heutigen Konzentrationen weit außerhalb der natürlichen Schwankungsbreite der letzten 800.000 Jahre liegen. Diese Eisbohrkerne erlauben, das Ausmaß des menschlichen Eingriffs in das Erdsystem in einen langfristigen Kontext zu stellen. Auch heute wird Luft im Eis der Antarktis eingeschlossen und bleibt für die ferne Zukunft in diesem einmaligen Klimaarchiv erhalten. Nachfolgende Generationen von Wissenschaftlern werden diese Luft analysieren und damit einen unumstößlichen Hinweis finden auf eine außergewöhnliche geologische Epoche ohne vorgängiges Analog. Diese Epoche wird zutreffend als Anthropozän bezeichnet. Das Anthropozän ist die erste Epoche auf unserem Planeten, in welcher das Klima durch den Menschen so verändert wurde, dass messbare Spuren davon geologische Zeiträume überdauern werden.

79

AUF DER SUCHE NACH DEM ÄLTESTEN EIS

PROF. DR. THOMAS STOCKER

Position: Professor für Klima und Umweltphysik, Universität Bern, Schweiz

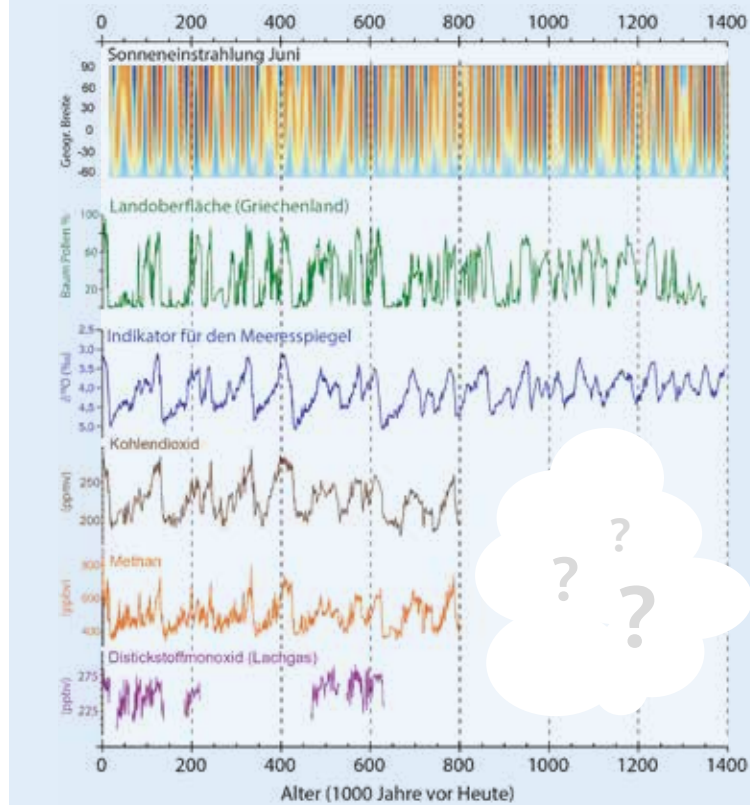
Forschungsinteresse: Dynamik des Klimasystems, Klimawandel in der Vergangenheit und Zukunft, Entwicklung von Klimamodellen

Foto: Universität Bern, Adrian Moser



Thomas Stocker hat an der ETH Zürich Umweltphysik studiert und 1987 mit dem Doktorat, mit Auszeichnung, abgeschlossen. Nach Forschungsaufenthalten am University College (London), an der McGill University (Montreal), an der Columbia University (New York) wurde er 1993 als Professor an das Physikalische Institut der Universität Bern berufen, wo er seither die Abteilung für Klima- und Umweltphysik leitet. Seine Forschung umfasst die Entwicklung von vereinfachten Klimamodellen zur Simulation vergangener und künftiger Klimaänderungen, sowie die Bestimmung der Treibhausgaskonzentrationen der Atmosphäre anhand von Eisbohrkernen aus der Antarktis.

Thomas Stocker ist Autor oder Mitautor von über 200 wissenschaftlichen Artikeln. Nach 10 Jahren Engagement im Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der UNO wurde er im September 2008 zum Vorsitzenden der Arbeitsgruppe I des IPCC für die Periode 2008-2015 gewählt. Für seine Arbeiten erhielt er den Nationalen Latsis Preis, Ehrendoktorate der Universität Versailles und der ETH Zürich, sowie die Hans Oeschger Medaille der European Geosciences Union. 2012 wurde er Fellow der American Geophysical Union; seit 2015 ist er Auswärtiges Mitglied der Accademia Nazionale dei Lincei und der American Academy of Arts and Sciences.



TREIBER DER NATÜRLICHEN KLIMAÄNDERUNGEN

Die Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas, den wichtigsten Treibhausgasen vor 800.000 Jahren sind unbekannt. Zur Lösung des größten Rätsels der Klimadynamik der letzten 1,5 Millionen Jahre wird ein Eiskern aus der Antarktis benötigt. Grafik modifiziert von PAGES 2009.

Ein großes Rätsel der Klimaforschung: Was bremste die Eiszeiten?

Die gesellschaftliche Relevanz der Klimaforschung erzeugt einen Themendruck, der den wissenschaftlichen Fortschritt langfristig behindert, indem zunehmend „Auftragsforschung“ gefragt ist. Gerade deshalb hat die Grundlagenforschung zum Thema Klimawandel in den letzten Jahren wieder an Bedeutung gewonnen. Wenn wir den Zeithorizont der letzten 800.000 Jahre erweitern, zeigen die Klimaarchive der Sedimente im Ozean, wie sie auch am GEOMAR untersucht werden, und in Seenablagerungen, dass sich die Klimadynamik der Eiszeiten vor etwa einer Million Jahre deutlich verändert hat. Der Stand des Meeresspiegels und die Zusammensetzung der Pollen auf dem Land belegen, dass die Eiszei-

Dieser Wechsel zu einer anderen Dynamik stellt die Forschung vor ein großes, bisher noch ungelöstes Rätsel. Zwar kann man aus den Klimaarchiven einen Schwellenwert für die Sommersonneneinstrahlung auf 65 Grad nördlicher Breite ableiten, wann eine Eiszeit zu Ende geht. Unbekannt ist aber, wieso dieser Schwellenwert sich vor einer Million Jahren langsam erhöht hat.

Ein wichtiger Klimaantrieb fehlt jedoch, um die Frage zu beantworten, was die Eiszeiten gebremst hat. Um eine vollständige Energiebilanz der Erde zu berechnen, müssen die Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre während der Zeit vor 800.000 Jahren gemessen werden. Diese Lücke der Erkenntnis kann nur durch einen neuen, noch weiter zurückreichenden Eiskern aus der Antarktis geschlossen werden. Abschätzungen aus numerischen Modellen des antarktischen Eisschildes, sowie der Bodentopographie und der geographischen Verteilung der geothermalen Quellen zeigen, dass an einigen eng begrenzten Stellen Eis bis zu einem Alter von 1,5 Millionen Jahren erwartet werden darf. Der Plan ist, an diesem alten Eis die Konzentrationen von CO₂, CH₄ und N₂O zu bestimmen. Neben der Energiebilanz würden solche Messungen auch erstmals Auskunft über den globalen Kohlenstoffkreislauf während dieser schnelleren Eiszeiten geben. Neueste analytische Methoden lie-

ten etwa 2,5 Mal schneller einander folgten als in den letzten 800.000 Jahren. Damals dauerte ein Zyklus nur gerade 42.000 Jahre und auch die Amplitude der Eiszeiten war geringer. Vor etwa einer Million Jahre erfolgte dann ein Übergang zu größeren und langsameren Eiszeitzyklen von etwa 100.000 Jahren.

- Scheibe eines Eisbohrkerns aus der Antarktis mit Luftpfeilschlüssen. Foto: British Antarctic Survey



DER KLEINSTE EISBOHRER DER WELT

Der gerade zwei Zentimeter große Bohrkopf des Rapid Access Drill for Ice Xtraction (RADIX), der von Jakob Schwander an der Universität Bern entwickelt wird, soll innerhalb von vier Tagen 2,5 Kilometer tief in das Eisschild der Antarktis eindringen und Informationen über das Alter des tiefen Eises liefern. Foto: Manu Friedrich, Universität Bern

fern auch die stabilen Isotopenverhältnisse in den Treibhausgasen, aus denen Ozean- und Landprozesse während den Eiszeitzyklen quantifiziert werden können.

Mit dem „Berner Zahnarztbohrer“ auf die Suche

Vollständige Eiskerne, die älter als eine Million Jahre alt sind, werden nur an sehr wenigen Stellen der Antarktis erwartet. Bevor eine Station zur Tiefbohrung eingerichtet wird, muss mit möglichst vielen, unabhängigen Methoden das Alter des Eises eingegrenzt werden. Modellsimulationen, Radar- und Echoprofile durch den Eisschild zur Bestimmung der Eisschichtung und der Bodentopographie, sowie die Abschätzung des geothermischen Wärmeflusses liefern Informationen, mit welchen vielversprechende Bohrstellen identifiziert werden können. Jedoch kann die Entscheidung für eine Bohrstelle nur aufgrund von direkten Messungen von physikalischen Parametern gefällt werden. Deshalb werden seit einigen Jahren innovative polare Schnellbohrgeräte entwickelt. Diese sogenannten Rapid Access Drills sollen in wenigen Tagen das Felsbett auf 2,5 bis 3 Kilometer Tiefe erreichen.

Das Physikalische Institut der Universität Bern verfügt über viele Jahrzehnte Erfahrung in der Her-

stellung von Bohrgeräten für Eiskerne. Jakob Schwander hat nun mit einer Miniaturisierung den weltweit kleinsten Eisbohrer mit einem Durchmesser von nur zwei Zentimeter entwickelt. Dank der geringen Dimension des Bohrers wird die Menge an Bohrflüssigkeit massiv reduziert. Der logistische Aufwand ist deshalb viel geringer als mit konventionell dimensionierten Schnellbohrern. Mit diesem „Zahnarztbohrer“, der im Sommer 2017 in Grönland erfolgreich getestet wurde, will das Forschungsteam um Thomas Stocker 2018/19 in der Antarktis innerhalb von vier Tagen auf eine Tiefe von 2,5 Kilometer bohren. Entlang diesem Bohrloch sollen mit ei-

ner speziell entwickelten Sonde die Temperatur und der Staubgehalt bestimmt werden. Während einer Warmzeit ist die Staubkonzentration in der Antarktis etwa hundertmal geringer als in der Eiszeit. Das ist ein zuverlässiger Indikator für Warmzeiten: durch Abzählen der Phasen von „sauberem“ Eis kann das Alter direkt bestimmt werden. Mit dem gemessenen Temperaturprofil können schließlich die numerischen Eismodelle überprüft werden.

Die schnelle Beprobung mehrerer möglicher Bohrstellen ermöglicht, die optimale Wahl für die Errichtung der Station für das europäische Projekt *Beyond EPICA – Oldest Ice* zu treffen. Der Eiskern, der in diesem Projekt gewonnen werden soll, wird bisher unbekannte Informationen über die Klimadynamik liefern. Thomas Stocker erwartet, dass dieser Kern eine zusammenhängende Klimageschichte der letzten 1,5 Millionen Jahre enthält. Wenn alles klappt, wird die Klimaforschung diese Geschichte ab 2022 entschlüsseln können.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/publications/petersen-essays/stocker_essay.pdf

DIE POLITISCHE RELEVANZ DER KLIMAFORSCHUNG

Mit dem Erdgipfel von Rio 1992 wurde der Klimawandel von den Vereinten Nationen als globales Problem erkannt. Bereits zwei Jahre später trat die UNO Rahmenkonvention zum Klimawandel in Kraft, in welcher sich alle Länder verpflichten, die Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau zu beschränken, das eine gefährliche Einwirkung des Menschen auf das Klimasystem verhindert. Diese Konvention wäre ohne den Beitrag der Wissenschaft nicht zustande gekommen. Von zentraler Bedeutung war, dass die UNO durch die Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) einen formell geregelten Mechanismus installiert hat, der periodisch den neusten Stand der Kenntnisse über den menschengemachten Klimawandel zusammenfasst und beurteilt. IPCC ist in drei Arbeitsgruppen organisiert, die aus Wissenschaftlern bestehen, die als Autoren der Berichte gewählt werden. Der Auftrag zur Berichterstellung erfolgt durch die Nationen, die Zusammenfassungen der Berichte werden nach einer formellen Plenarversammlung im Wortlaut verabschiedet.

Die Aussagen des letzten Berichts, der 2014 veröffentlicht wurde, legen die Fakten dar, die über den menschengemachten Klimawandel auf dem Tisch liegen: „*Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und die jüngsten anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen sind die höchsten in der Geschichte.*“ Die Klimawissenschaft, und insbesondere die Analyse der Eisbohrkerne, haben diese klaren und unmissverständlichen Aussagen ermöglicht.

Infos und Kontakt

Weitere Hinweise zur Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung finden Sie unter www.petersen-stiftung.de. Dort sind Informationen aufgeführt, die Auskunft geben über:

- Die Stiftung
- Die Person des Stifters Prof. Dr. Werner Petersen
- Vorstand und Kuratorium
- Die Stiftungszwecke
- Die Förderrichtlinien
- Geförderte Projekte
- Die Petersen-Preise der Technik
- Die Exzellenz-Initiative.

Unter den Förderrichtlinien besteht die Möglichkeit, ein Antragsformular zur Förderung von Projekten herunterzuladen.

Die Geschäftsstelle der Stiftung ist ausschließlich über die nachstehenden Kontaktdaten zu erreichen:



Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung
Dahlmannstraße 1 - 3, D - 24103 Kiel

Tel +49 (0) 431 - 23 10 56

Fax +49 (0) 431 - 23 14 66

www.petersen-stiftung.de
info@petersen-stiftung.de

Impressum

Herausgeber: Prof. Dr. Werner-Petersen-Stiftung
Dahlmannstraße 1 - 3, D - 24103 Kiel
V.i.S.d.P. Dr. Christian Zöllner (für die Stiftung)

Redaktion: Dr. Andreas Villwock

Layout: Christoph Kersten

Klimaneutral gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

ClimatePartner 
klimaneutral



Foto: B. Grundmann

*„Wie unangemessen,
diesen Planeten Erde
zu nennen, wenn er doch
tatsächlich Ozean ist.“*

Arthur C. Clarke