



Biowissenschaften am Alfred-Wegener-Institut

Polare Ökosysteme im Wandel



Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung hat seinen Hauptsitz in Bremerhaven und beschäftigt über 900 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zum Forschungszentrum gehören die Forschungsstelle Potsdam, die Biologische Anstalt Helgoland und die Wattenmeerstation Sylt. Das Alfred-Wegener-Institut ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Es wird finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und den Ländern Bremen, Brandenburg und Schleswig-Holstein.

Foto: AWI



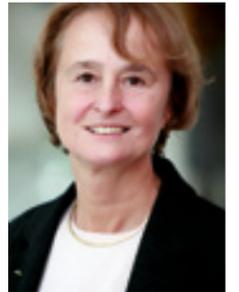
Foto: AWI

Inhalt

Vorwort	5
Polare Ökosysteme im Klimawandel	6
EISRANDBLÜTEN – Wandernde Oasen in den Polarmeeren	8
Antarktis: KRILL besitzt Anpassungsstrategien an extreme Umweltbedingungen	10
Leben bei -20 °C: Warum ALGEN IM MEEREIS nicht einfrieren	12
Antarktis: OZEANVERSAUERUNG UND EISENMANGEL beeinflussen phytoplanktische Lebensgemeinschaften	14
Das Meer wird sauer: SEESPINNE UND EISFISCH spüren die Folgen des Klimawandels	16
SCHMELZENDE GLETSCHER – In der Westantarktis verändern sich die Ökosysteme an den Küsten	18
Im Dienst der Wissenschaft: SEE-ELEFANTEN erforschen das Südpolarmeer	20
Ozeanische Akustik – PALAOA sendet live aus dem Südpolarmeer	22
Wenn dickes Eis kracht – LEBENSVIELFALT am antarktischen Meeresgrund	24
Mit der ‚Polarstern‘ in der Antarktis – BEOBACHTUNGEN IM EIS	26
TIEFSEE-OBSERVATORIUM in der Arktis: Klimawandel beeinflusst das Leben am Meeresgrund	28
PLANKTON-REGEN im Gebiet des arktischen HAUSGARTEN: Was absinkende Partikel verraten	30
PELAGISCHE ARKTISFORSCHUNG stellt sich neuen Herausforderungen	32
FRAM-OBSERVATORIUM – Live-Schaltung in die arktische Tiefsee geplant	34
DOM – das molekulare Gedächtnis der Ozeane	36
SIBIRISCHE WÄLDER auf dem Weg nach Norden – Auswirkungen auf das Klima und die Biodiversität	38
NACHWUCHSFÖRDERUNG : Schüler lernen im AWI gemeinsam mit Wissenschaftlern	40
TRAUMBERUF POLARFORSCHER – Wie eine Studentin auf eisigem Weg ihr Ziel erreichte	42
MARINE BIOWISSENSCHAFTEN im wissenschaftlich-gesellschaftlichen Spannungsfeld des 21. Jahrhunderts	44
Ansprechpartner im AWI Impressum	49
GEOGRAPHISCHE POSITIONEN zu den Forschungsberichten dieser Broschüre	50



Foto: F. Rödel



Vorwort

Wenn auf einem fernen Planeten Wasser entdeckt wird, oder gar der Hinweis auf mögliches Leben – selbst wenn es nur kleinste Bakterien sind – schauen wir fasziniert zu den Sternen. Dabei ist das Leben auf unserem Planeten so faszinierend, vielfältig und in weiten Teilen unentdeckt, dass es wichtig ist, unseren Blick in die Tiefen des Ozeans und in die Polargebiete zu richten, um die Zusammenhänge unseres Systems Erde besser zu verstehen. Der Blick in die polaren Gebiete unseres Planeten eröffnet uns dabei eine besondere Perspektive, vor allem wenn wir begreifen möchten, wie Ökosysteme unter extremen und sich schnell wandelnden Umweltbedingungen funktionieren. Denn Arktis und Teile der Antarktis sind die vom Klimawandel am stärksten betroffenen Regionen. Hier haben sich polare Organismen über Millionen von Jahren gut an kalte und stabile Temperaturen angepasst. Eine Erwärmung, ausgelöst durch die vom Menschen forcierte Nutzung fossiler Brennstoffe, bedroht schon heute diesen einzigartigen Lebensraum.

Seit 1980 erforscht das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung die Zusammenhänge des weltweiten Klimas und der speziellen Ökosysteme im Meer und an Land. Zentraler Forschungsschwerpunkt sind dabei die eisigen Welten der Arktis und Antarktis. Dafür stellt das Institut eine weltweit einzigartige Infrastruktur zur Verfügung: Forschungsstationen an beiden Polen und ein Tiefseeobservatorium in der Arktis, den Eisbrecher ‚Polarstern‘ als Forschungs- und Versorgungsschiff sowie zwei Polarflugzeuge. Das nötige Know-How gewährleisten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen und Nationen. Gemeinsam und übergreifend untersuchen sie die Klima-, Bio- und Geosysteme der Erde. Die Veränderungen der globalen Umwelt und des Erdsystems zu entschlüsseln, die teils natürlich und teils durch den Menschen hervorgerufen sind, ist das Ziel unserer Forschungsarbeiten.

Langzeitbeobachtungen, Studien und Experimente der verschiedenen Forschungsprojekte fließen auch in die Weiterentwicklung konzeptioneller oder gekoppelter mathematischer Modelle ein, in denen Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen getestet werden. Diese wissenschaftlichen Erkenntnisse sind wichtig, um zum einen die interessierte Öffentlichkeit gut zu informieren und zum anderen, Politik, Wirtschaft und Behörden bei Entscheidungen fundiert beraten zu können.

Mit dieser Broschüre möchten wir Sie auf eine Entdeckungsreise in die Arktis und Antarktis mitnehmen; Ihnen zeigen, wie die Biologen unseres Instituts gemeinsam mit Wissenschaftlern anderer Disziplinen im Eis forschen und arbeiten, um die Rätsel des Lebens zu entschlüsseln. Denn wie das Leben und speziell einzelne Ökosysteme im Detail funktionieren, können wir nur verstehen, wenn wir unsere Forschung weiter ausbauen und vor allem auch die Grundlagenforschung stärken. Tiefer denken, um die Zukunft zu gestalten, ist dabei unsere Maxime.

Lesen Sie mit Spannung und Begeisterung die neuen Einsichten in eine Welt, die uns allen gehört, die sich jeden Tag aufs Neue in ihrer ganzen Vielfalt offenbart und die es heute mehr denn je zu schützen gilt, wenn wir uns und den kommenden Generationen eine lebenswerte Zukunft auf diesem Planeten sichern möchten.

Prof. Dr. Karin Lochte
Direktorin

Polare Ökosysteme im Klimawandel



Auf einer Expedition in die Antarktis vor über 20 Jahren fragte der Fahrtleiter: „Warum brauchen wir die Biologen überhaupt?“ Als Physiker und Meteorologe interessierte er sich in erster Linie für physikalische Prozesse, für Änderungen in Temperatur und Salzgehalt, Strömungen und Wärmeflüsse. Wir Biologen spürten während dieser Winterexpedition durch das eisbedeckte Weddellmeer das Leben in seiner Artenvielfalt auf, untersuchten Eisalgen, Phytoplankton im darunter liegenden Wasser und die Überwinterungsstrategien von Copepoden, also kleine Ruderfußkrebse, die zum Zooplankton zählen.

Gemeinsam mit unseren russischen Kollegen fanden wir damals zum Beispiel heraus, dass nicht alle Tiere im antarktischen Winter schlafen – eine Beobachtung, die bis dahin unbekannt Zusammenhänge zwischen Physik und Biologie offenbarte. Dies bestärkte unsere Erkenntnis, dass Forschungsergebnisse niemals isoliert betrachtet werden dürfen, wenn wir die komplexen Zusammenhänge unseres Systems Erde besser verstehen wollen. Und es mag sein, dass die Frage des Fahrtleiters nur so zugespitzt gestellt wurde, um uns junge Biologen anzustacheln, unsere Ergebnisse im Wechselspiel der physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse dieses einzigartigen Lebensraumes zu betrachten. Damals untersuchten wir zunächst, welche Organismen in den Polargebieten leben und wie die Ökosysteme dort funktionieren, um in einem nächsten Schritt erkennen zu können, wie sie auf Veränderungen reagieren.

Denn die Ökosysteme und ihre Organismen in der Arktis und Antarktis haben sich über Millionen Jahre Erdgeschichte an die dort herrschenden Umweltbedingungen angepasst. Die Polarregionen sind geprägt durch halbjährig dunkle Winter und Sommerperioden, in denen es 24 Stunden am Tag hell ist. Die Temperaturen in der Atmosphäre können auf minus 65 °C fallen – ein Klima, das für uns Menschen extrem ist. Die Organismen im polaren Ozean aber finden recht konstante Lebensbedingungen vor. Kälter als minus 1,9 °C kann Meerwasser nicht werden, dann bildet sich Meereis, und nur selten werden Wassertemperaturen von über 5 °C gemessen. Dieses enge Temperaturfenster ist für polare Tiere und Pflanzen optimal. Kleinste Änderungen dieser stabilen Lebensbedingungen können viele Organismen nur schwer, manchmal gar nicht kompensieren.

Steigende Emissionen von Kohlendioxid und anderen Klimagasen aufgrund der intensiven Nutzung fossiler Energieträger durch uns Menschen treiben Umweltveränderungen voran, deren Auswirkungen in den Polargebieten schon heute zu sehen sind. Seit über 50 Jahren erwärmt sich die Arktis so stark, dass das Meereis immer weiter schwindet und damit ein Lebensraum, von dem viele Organismen abhängig sind. In der Antarktis kommt es durch die Erwärmung unter anderem zu großen Schelfeisabbrüchen. Riesige Eisberge zersplittern in hunderte kleiner Eistafeln. Gebiete, die einst unter dem Schelfeis lagen, werden freigelegt, Lebensräume am Meeresgrund gestört und neu besiedelt. Der starke Rückgang des Krills sowie die Dominanz von Salpen, das sind im Meerwasser frei schwimmende Manteltierchen, die sich von Plankton ernähren, ist besonders auffällig. Die Grundlage des ausgewogenen Nahrungsnetzes scheint sich hier massiv zu verändern.

Zudem führt die steigende Konzentration des Klimagases Kohlendioxid in der Atmosphäre und seine Wechselwirkung mit dem Karbonatsystem im Ozean zu einer Erhöhung der CO₂-Konzentrationen im Wasser und damit zu einer Versauerung der Ozeane. Die Messungen bestätigen, dass Kalk tragende, Säure empfindliche Organismen, z.B. Korallen, Muscheln und Schnecken, ihre stützenden Skelette oder schützenden Hüllen nicht mehr voll ausbilden können. Bei Fischen und Krebsen kommt es aufgrund der Versauerung zu Beeinträchtigungen im Stoffwechsel.

Forschung und auch Erkenntnis brauchen Zeit. Aufgrund unserer langjährigen Untersuchungen und Prozessstudien in den Polargebieten sind wir heute in der Lage, umfassende Zukunftsszenarien für die vom Klimawandel am stärksten betroffenen Regionen unseres Planeten zu entwickeln. So haben wir zum Beispiel während mehrerer Forschungs Expeditionen erkannt, wie und in welche Richtung der Spurenstoff Eisen die Planktonproduktion im zentralen Südozean reguliert.

Der Weltklimarat hat in einer aktuellen Zusammenstellung mögliche klimatische Entwicklungen in den Polarregionen anschaulich dargestellt (www.ipcc.ch). Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung wird im nächsten IPCC-Report mögliche Folgen dieser Entwicklungen für Organismen und Ökosysteme aufzeigen. Das ist möglich, weil die Wissenschaftler unseres Instituts seit über 30 Jahren in der Polarforschung eine Kernkompetenz aufgebaut haben, die nicht nur weltweit stark gefragt ist, sondern sich auch in zahlreichen internationalen Kooperationen niederschlägt. Wir betreiben beispielsweise das einzige arktische Tiefsee-Langzeit-Observatorium, an dem die raschen Veränderungen im wichtigsten Zugangsbereich zur Arktis verfolgt werden. Über pulsartig, einströmendes warmes Wasser aus dem Nord-Atlantik, kommt es zu Verschiebungen im Nahrungsgefüge des Planktons zu Ungunsten Kälte liebender Arten. Das Nahrungsnetz verliert die energiereichen, polaren Organismen. Zeitgleich verringert sich der Export einiger biologisch wichtiger chemischer Elemente zum Tiefseeboden und führt dort zu einer Faunenveränderung. Die Folgen dieser Entwicklungen sind noch nicht abschätzbar.

Vor diesem Hintergrund ist es dem Alfred-Wegener-Institut, über die aktuelle Forschung hinaus, besonders wichtig, die nächste Generation auf die Herausforderungen der kommenden Jahre vorzubereiten. Mit einem einzigartigen und tiefgreifenden pädagogischen Programm, das die Lehrpläne der Oberstufe integriert, bereiten Wissenschaftler unseres Instituts bereits Schüler auf ein naturwissenschaftliches Studium vor.



Foto: AWI

Denn die Studenten von heute, werden die Forscher von morgen sein – was für eine Welt wir ihnen und ihren Kindern hinterlassen, liegt in unseren Händen.

Zentrale Forschungsfragen in diesem Kontext sind:

Welche Auswirkungen hatten vergangene klimatische Schwankungen auf polare Ökosysteme und ihre Organismen und was können wir daraus für zukünftige Entwicklungen ableiten?

Wie beeinflussen biologische Prozesse das globale Klima und in welche Richtungen werden sich solche Prozesse vor dem Hintergrund globaler Entwicklungen verändern?

Welche Konsequenzen ergeben sich aus dem Rückgang der Meereisbedeckung für Organismen und für die durch sie getriebenen biogeochemischen Prozesse?

Welche Organismen sind besonders wichtig für die Aufrechterhaltung polarer Nahrungsgefüge und was würde ein Wegfall oder ein Austausch solcher Organismen für die Systeme und deren Funktion bei globalen Prozessen bedeuten?

Das 21. Jahrhundert wird gerne als Zeitalter der Biologie bezeichnet. Die Wissenschaft vom Leben dominiert heute in vielen Bereichen unser naturwissenschaftliches Weltbild, ähnlich wie die Physik im 20. Jahrhundert. Die Biologie, eben lebendig, passt sich an Umweltveränderungen an und Wissenschaftler müssen immer wieder neu veränderte Ökosysteme erkennen. Unsere Vorstellung, wie Ökosysteme funktionieren, ist längst noch nicht ausgereift und über die Frage, ob es ein übergeordnetes Prinzip gibt, das die Evolution vorantreibt und von dem wir für das menschliche Handeln lernen können, wird heftig debattiert. Dabei ist es jedoch essentiell, dass wir heute mehr denn je den Humboldtschen Forschergeist wieder aufspüren. Denn der Ära des großen Universalgelehrten, der die Systeme in seiner Gesamtheit betrachtete und dem Denken keine Grenzen setzte, folgte eine Zeit reduktionistischen Forschens, in der Systeme hinsichtlich ihrer Einzelbestandteile rein deterministisch betrachtet wurden. In der marinen Biowissenschaft haben wir früh erkannt, wie wichtig es ist, mit allen naturwissenschaftlichen Disziplinen eng vernetzt zusammen zu arbeiten. Nur auf diesem Weg, für den das Alfred-Wegener-Institut mit seiner langjährigen Forschungsarbeit in den Polargebieten und der damit verbundenen internationalen Vernetzung steht, können wir die Herausforderungen unseres jungen Jahrhunderts erfolgreich meistern.

Prof. Dr. Ulrich Bathmann
Leiter Fachbereich Biowissenschaften

Forschungseisbrecher
'Polarstern' bahnt sich den
Weg durch das Meereis.
Foto: L. Taddy, AWI



Eisrandblüten – Wandernde Oasen in den Polarmeeren

Eisrandblüten sind ein seit Jahrzehnten beobachtetes und theoretisch erklärbares Phänomen. Im Ozean verhält sich Phytoplankton dennoch nicht immer wie im Lehrbuch und auch unter günstigen Bedingungen kann eine kräftige Blüte ausbleiben. Mit Messungen vom Schiff, durch Fernerkundung per Satellit und mit numerischen Modellen untersuchen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des AWI die verschiedenen Einflüsse auf das Entstehen von Eisrandblüten und deren Auswirkung auf die Kohlenstoff-Flüsse zwischen Atmosphäre und Ozean.

Wie an Land schafft auch im Meer die Photosynthese der Pflanzen die Nahrungsgrundlage für andere Glieder im Nahrungsnetz – vom nur wenige Millimeter großen Ruderfußkrebs bis zum über 30 Meter langen Blauwal. Fern der Küsten sind die Pflanzen des Ozeans mikroskopisch kleine und frei im Wasser schwebende Algen. Obwohl winzig, bauen sie im Jahresverlauf in den Weltmeeren ebenso viel Biomasse auf wie alle Landpflanzen zusammen. Vor allem Licht und Nährsalze bestimmen, wie sich das Phytoplankton über Raum und Zeit verteilt, wie viel an Primärproduktion es leistet, wie viel Kohlendioxid dabei aufgenommen und - wenn Biomasse in die Tiefen des Ozeans absinkt - der Atmosphäre entzogen wird. Die Verfügbarkeit von Licht und Nährsalzen wiederum wird von physikalischen Prozessen gesteuert.

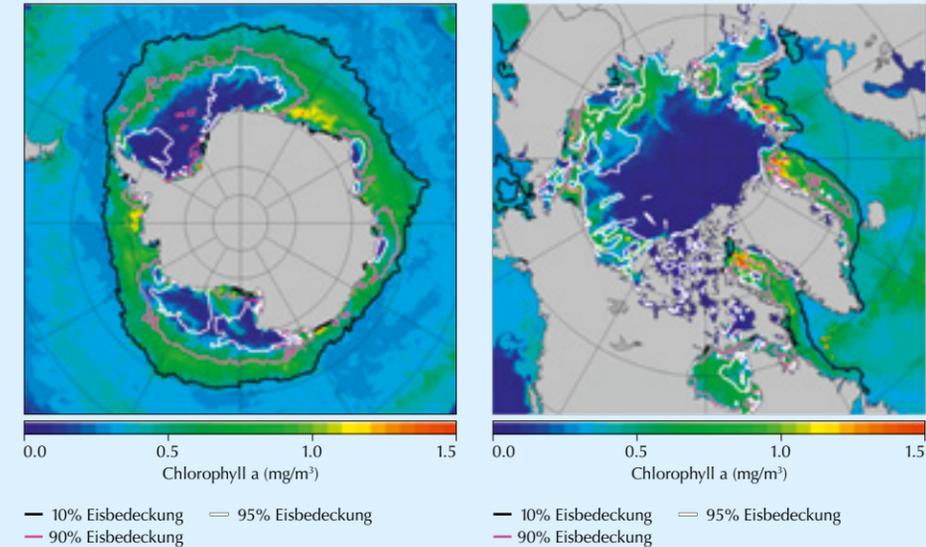
In den Polarregionen sind die Schwankungen der Sonneneinstrahlung extrem. Verstärkt werden sie durch die veränderliche Meereisbedeckung. Für das Phytoplankton wirkt Meereis mit seiner Schneeeauflage wie ein nahezu lichtundurchlässiger Deckel. Mit dem Schwinden der Eisdicke im Frühjahr oder Frühsommer fällt schlagartig mehr Sonnenlicht in das Wasser ein. Mit einsetzender Erwärmung und dem Schmelzen des Meereises, das einen geringeren Salzgehalt hat als das Umgebungswasser, bilden sich Linsen leichteren Wassers. In diesen Linsen wird Phytoplankton nahe der Oberfläche im Licht gehalten. Die Wachstumsbedingungen sind hier jetzt ideal. Allerdings reicht der Nährsalzvorrat nur für einen begrenzten Zeitraum. In der Arktis ist schon nach wenigen Wochen

das Nitrat aufgezehrt und die Phytoplanktonblüte kommt lokal zum Erliegen. In der Antarktis ist es eher der Mangel am Spurennährstoff Eisen, der das Wachstum limitiert. Weiter polwärts schmilzt das Eis später. Mit verbesserten Wachstumsbedingungen verlagert sich im Frühsommer die Planktonblüte in Richtung Pol.

In der Arktis bedeckt das Meereis im langjährigen Mittel bei seiner maximalen Ausdehnung im Winter eine Fläche von 16 Millionen km² und bei seiner minimalen Ausdehnung im Sommer 7,5 Millionen km². Der Eisrand verschiebt sich dabei um mehr als 1000 Kilometer. In der Antarktis bedeckt das Meereis im Winter eine Fläche von ca. 19 Millionen km² und im Sommer 3 Millionen km². Der Jahresrhythmus der Eisbedeckung steuert somit die biologische Produktion auf einer Fläche, die dem 2,5-fachen Europas entspricht.

Woran liegt es aber, dass auch unter günstigen physikalischen Bedingungen eine kräftige Blüte des Phytoplanktons ausbleiben kann? Sind mangelnde Nährsalze bzw. Spurennährstoffe die Ursache? Gibt es am Anfang zu wenig Algen? Oder zu viel Zooplankton, das das Phytoplankton wegfrisst? Und wie werden sich die polaren Ökosysteme und der Austausch von Kohlendioxid zwischen Ozean und Atmosphäre im Zuge des Klimawandels verändern?

In der Arktis hat die minimale sommerliche Eisdecke während der letzten 20 Jahre von 7,5 auf annähernd 4,5 Millionen km² abgenommen. Arktische Eisrandblüten sind so schnelllebig, dass das Algen fressende Zooplankton wegen seiner relativ langen Wachstums- und Generationszyklen



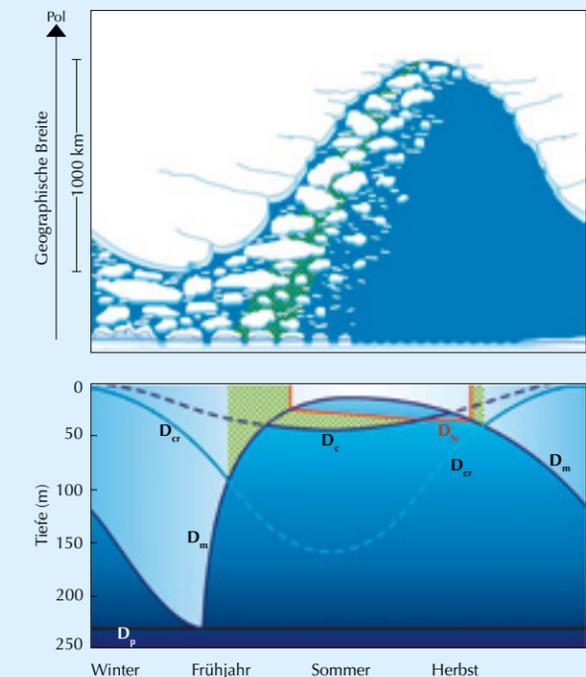
Eisrandblüten zu Beginn des meteorologischen Sommers (01.06.2007) in der Arktis und (01.12.2007) in der Antarktis, simuliert mit einem numerischen Modell. Die Farbstufen zeigen die Konzentration von Chlorophyll-a als Maß für die Phytoplankton-Konzentration. Die Linien geben – von den Polen aus gesehen – die Grenzen von 95%, 90% und 10% Eisbedeckung wieder. Das von AWI-Mitarbeitern entwickelte allgemeine Ozeanzirkulationsmodell berechnet die zeitlichen Änderungen der physikalischen Verhältnisse und daran gekoppelten bio-geochemische Komponenten in drei Dimensionen. Die engen Gitterabstände des Modells erlauben die Simulation vieler Details. Grafik: M. Losch, AWI

kaum davon profitieren kann. Daher sinkt ein Großteil des Phytoplanktons am Ende der Blüte ungenutzt auf den Meeresboden. Somit wird viel organisch gebundener Kohlenstoff der Atmosphäre langfristig entzogen. Längere Phasen offenen Wassers könnten die biologische Kohlenstoffpumpe schwächen, dafür aber die Einspeisung von Biomasse in das Nahrungsnetz und somit höhere Fischereierträge begünstigen.

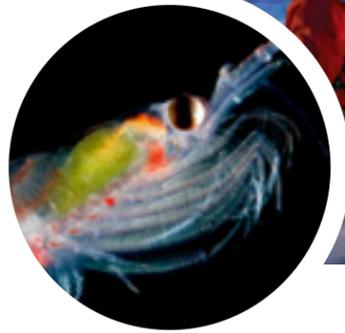
In der Antarktis lässt sich, wegen der natürlichen, von Jahr zu Jahr stark schwankenden Meereisbedeckung, kein eindeutiger Trend erkennen. Die Kombination von winterlicher Eisbedeckung und anschließender Eisrandblüte scheint hier aber ein wirkungsvoller Mechanismus zu sein, der ein Ausgasen des CO₂-reichen Tiefenwassers verhindert. Eine Schlüsselstellung im antarktischen Nahrungsnetz nimmt der Krill ein. Er ist an Regionen mit winterlicher Eisbedeckung gebunden und Grund für das Vorkommen von Walen am Eisrand. Im Bereich der saisonalen Eisbedeckung in der Antarktis scheint relativ wenig biogener Kohlenstoff in große Tiefen abzusinken. Ein Rückgang der Eisbedeckung hätte sicher negative Auswirkungen auf die Krillvorkommen und damit auf das gesamte Ökosystem. Aber in welcher Richtung würde sich die biologische Kohlenstoffpumpe ändern?

Um all diese Fragen zu klären, werden verschiedene Arbeitsweisen kombiniert. Messungen vom Schiff sind wichtig, um das Zusammenwirken der physikalischen, chemischen und biologischen Variablen bis in die Tiefen des Ozeans zu erfassen. Da Schiffsmessungen regional und zeitlich nur eingeschränkt möglich sind, werden für eine großräumige und kontinuierliche Abdeckung Fernerkundungsverfahren per Satelliten eingesetzt. Und numerische Modelle sind unabdingbar, um die gewonnenen Daten besser verstehen zu können und Prognosen für zukünftige Entwicklungen zu wagen.

Schematische Darstellung der jahreszeitlichen Wanderung von Eisrandblüten (oben) und des Mechanismus ihres Entstehens (unten). Wasser absorbiert und streut Licht, so dass dessen Intensität mit der Tiefe exponentiell abnimmt. Kennt man den Lichtbedarf des Phytoplanktons, lässt sich daraus abgeleitet die Tiefe D_c ermitteln, oberhalb der Wachstum möglich ist. Allerdings gibt es zwischen der Meeresoberfläche und Deckschichttiefe D_m einen durchmischten Tiefenbereich, in der Turbulenz das Phytoplankton auf und ab wirbelt. Da die Lichtintensität oberhalb der Tiefe D_c höher ist, als für Wachstum erforderlich, können Zellen in der Deckschicht durchaus bis zu einer Tiefe D_{cr} unterhalb D_c gemischt werden, bis zu der sie im Mittel immer noch genügend Licht erhalten. Ist die durchmischte Deckschicht D_m allerdings tiefer als D_{cr} , ist kein Wachstum möglich. Die Frühjahrsblüte beginnt, wenn genügend Licht einfällt, sich gleichzeitig die Meeresoberfläche erwärmt und vertikale Durchmischung zusätzlich durch Eisschmelzwasser unterdrückt wird. (Die Linien D_m und D_{cr} schneiden sich dann.) Irgendwann sind jedoch die Nährsalze bis zur Tiefe D_N aufgezehrt; die Blüte kommt zum Erliegen. Die grüne Schraffur kennzeichnet den Tiefenbereich, in dem Wachstum möglich ist. Grafik: nach Strass & Nöthig, Polar Biol., 1996



Wintertauchlager um die Mittagszeit in der Antarktis. Die Forscher wollen Krilllarven unter dem Eis sammeln. Bei minus 30 Grad: Inspektion des Tauchlochs und Kommunikation mit dem Taucher im Wasser. Fotos: L. Tadday, AWI



Antarktis: Krill besitzt Anpassungsstrategien an extreme Umweltbedingungen

Krill nimmt eine Schlüsselfunktion im marinen Ökosystem des Südozeans ein. Wale, Robben, Pinguine und viele Fischarten ernähren sich fast hauptsächlich von diesen kleinen Krebstieren. Die antarktische Halbinsel, ein Gebiet höchster Krilldichte, ist eine der sich am schnellsten erwärmenden Regionen unseres Planeten. Die schwindende Meereisbedeckung im Winter hat den Krillbestand bereits stark beeinflusst.

Ein extremer Rückgang des Krills würde fundamentale Ökosystemprozesse im antarktischen marinen Lebensraum dauerhaft verändern. Die gesamte Biomasse des Krills im Südpolarmeer wird mit 300 Millionen Tonnen angenommen. Im West-Atlantischen Sektor des Südozeans, in dem sich die antarktische Halbinsel befindet, sind 50-70 Prozent des Krillbestandes beheimatet. Langzeituntersuchungen zeigen: Dieser Bestand ist in den letzten 30 Jahren erheblich zurückgegangen. Eine Ursache ist die Abnahme der winterlichen Meereisbedeckung.

Dieser Trend wird begleitet von einem Anstieg der Eis-intoleranten Salpenart (*Salpa thompsoni*), die sich durch hohe Fraß- und Wachstumsraten auszeichnet. Bedingt durch eine Nahrungskonkurrenz beider Organismen im Frühjahr, steht dem Krill nicht mehr ausreichend Phytoplankton zur Verfügung, um seine Energiebedürfnisse für eine optimale Geschlechtsentwicklung und Laichaktivität zu decken. Darüber hinaus kann im Sommer durch die hohe Fressaktivität der Salpen der Bestand der Krilllarven dezimiert werden. Wie sich diese Artenverschiebung auf den Energie- und Nährstofffluss sowie auf die Biogeochemie im pelagischen Nahrungsnetz des Südozeans auswirkt, ist bisher noch unklar.

Der antarktische marine Lebensraum ist von saisonal stark wechselnden Umweltfaktoren geprägt. Intensive Phytoplanktonblüten sind in der freien Wassersäule von Oktober bis April zu beobachten. Im Winter ist ein Großteil des Südozeans vom Meereis bedeckt und die Nahrungskonzentration in der Wassersäule extrem niedrig.

Die Tageslichtdauer verändert sich im Südozean je nach Breitengrad drastisch und reicht zwischen den Jahreszeiten bei 70°S von 24 Stunden Licht im Hochsommer bis zur totalen Dunkelheit in der Mitte des Winters. „Krill hat sich im Laufe der Evolution an dieses komplexe Ökosystem angepasst. Unser Ziel ist, diese evolutionären Anpassungsmechanismen auf organischer, zellulärer und molekularer Ebene zu verstehen“, sagt die Meeresbiologin Dr. habil Bettina Meyer. Damit werden die Voraussetzungen geschaffen, die Anpassungsfähigkeit von Krill an seine sich verändernde Umwelt, z.B. Anstieg der Meerwassertemperatur, Meerwasserversauerung, Veränderung des Nahrungsspektrums, abzuschätzen und letztendlich Aussagen bezüglich seiner Bestandsentwicklung machen zu können.

Krill-Larven brauchen Meereis

Die Larvenstadien des Krills schlüpfen im Sommer und entwickeln sich über den Winter bis zum kommenden Frühjahr zum juvenilen Tier. Die Larven sind im Gegensatz zu den adulten Tieren nicht in der Lage lange Hungerperioden zu überstehen. Der erste Winter nach dem Schlüpfen ist eine kritische Lebensphase. Im Wasser finden die Larven nicht genug Nahrung, ihr Futter müssen sie fast ausschließlich am Meereis suchen. Die mikrobielle Meereisbiota auf der Unterseite von Eisschollen ist eine essentielle Nahrungsquelle für die Larvenstadien des Krills. „Unsere Untersuchungen zeigen, dass große Mengen an Krilllarven in Gebieten mit sich überlagernden Eisschollen zu finden sind.“

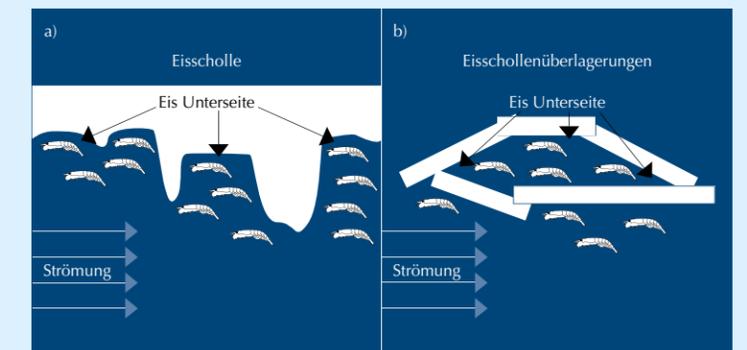


Schutz vor der Kälte: In den roten Plastikiglus können die Forscher ihre Ausrüstung lagern und sich aufwärmen. Ein Generator spendet Licht und Wärme. Foto: L.Tadday, C. Pape, AWI

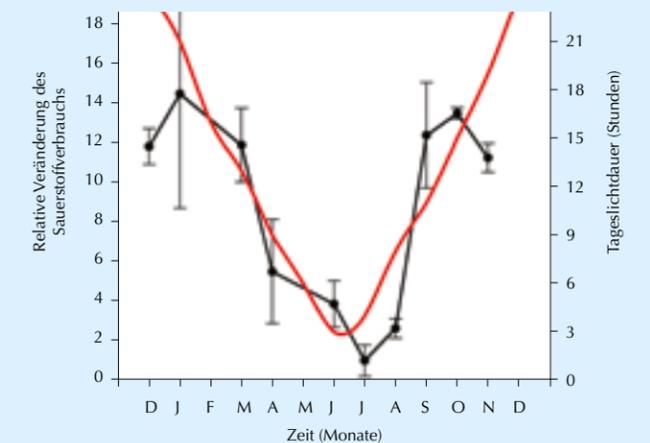
Diese höhlenartigen Refugien bieten den Larven sowie anderen Planktonorganismen hervorragende Nahrungsbedingungen und einen geschützten Lebensraum. Eine, durch die globale Erwärmung verursachte Veränderung in der saisonalen Meeresdynamik, kann die winterliche Unterestopographie und Nahrungsbedingungen der Larven erheblich beeinflussen“, so Krill-Expertin Meyer. Expeditionen mit dem Forschungseisbrecher ‚Polarstern‘ in den antarktischen Winter sollen den Krill-Forschern genauere Erkenntnisse liefern, wie ein optimales Habitat für eine erfolgreiche Entwicklung der Larven im Winter beschaffen sein muss und inwieweit klimabedingte Umweltveränderungen die Larvalentwicklung im Winter positiv oder negativ beeinflussen.

Das antarktische Lichtregime steuert physiologische Funktionen des adulten Krills

Bei adulten Krill kommt es in den Wintermonaten zu einer charakteristischen Reduktion des Stoffwechsels und einer damit verbundenen reduzierten Fress- und Wachstumsaktivität. „Diese Anpassungsstrategie an die extremen Winterverhältnisse wird vermutlich über die sich saisonal verändernde Tageslichtdauer, die Photoperiode, gesteuert. Das haben wir bei Freilanduntersuchungen, in denen Krill in verschiedenen Jahreszeiten während verschiedener ‚Polarstern‘-Expeditionen gefangen wurde, herausgefunden. Langzeit-Laboruntersuchungen, in denen der Einfluss unterschiedlicher Photoperioden untersucht wurde, brachten das gleiche Ergebnis“, fasst der Meeresbiologe Dr. Mathias Teschke seine Erkenntnisse aus aktuellen Studien zusammen. Die Experimente zeigten: Krill besitzt offensichtlich eine „innere Uhr“, die anhand der sich saisonal verändernden Lichtverhältnisse den Jahresverlauf messen kann. Entsprechend steuert sie spezifische physiologische Funktionen und synchronisiert diese mit den wechselnden Jahreszeiten. Die molekularen Grundlagen dieser „inneren Uhr“ im Krill und ihre Interaktionen mit der sich verändernden Umwelt, sind jedoch bisher kaum verstanden und werden künftig ein wichtiger Forschungsschwerpunkt in der Krill-Gruppe des AWI sein.



a) Eine strukturierte Unterseite einzelner Eisschollen bietet für den Krill Ruhezeiten in der Wasserströmung. b) Aufeinander getürmte Eisschollen schaffen Lebensräume, in denen der Krill vor Fressfeinden und starker Strömung geschützt ist. Grafik: B. Meyer, AWI



Mit einem „Retangular Midwater Trawl“ (RMT-Netz) wird Krill auf dem Forschungseisbrecher ‚Polarstern‘ gefangen. Im Labor werden die Effekte unterschiedlicher Lichtverhältnisse auf die Physiologie des Krills untersucht. Die Ergebnisse zeigen die Synchronisation zwischen dem Verlauf der metabolischen Aktivität (dargestellt in relativer Veränderung des Sauerstoffverbrauches) und dem Jahresverlauf der Tageslichtdauer (Photoperiode). Grafik: M. Teschke, AWI



Bernsteinfarbenes Schimmern im Meereis: Die Schicht der Eisalgen (Diatomeen) an der Schollenunterseite ist so dicht, dass sich diese typische Verfärbung ergibt.
Foto: G. Dieckmann, AWI

Leben bei -20 °C: Warum Algen im Meereis nicht einfrieren

Kalt, extrem salzig und nur wenig Licht: Die Lebensbedingungen im Meereis würden viele Organismen auf eine harte Probe stellen. Mikroskopisch kleine Algen, die sogenannten Eisalgen, allerdings nicht. Sie haben sich gut an diesen Lebensraum angepasst. Wie sie das schaffen konnten und welche Funktion sie im Eis übernehmen, untersuchen Wissenschaftler des AWI neuerdings mit modernsten molekularbiologischen Methoden.

Wie in den wärmeren Ozeanen spielen auch in den polaren Ozeanen mikroskopisch kleine Algen, das Phytoplankton, eine Schlüsselrolle. Sie stehen am Anfang der Nahrungskette und ernähren letztlich alle größeren Organismen bis hin zu den Walen. In den Polargebieten leben Algen nicht nur im offenen Wasser, sondern sogar im Meereis – ohne einzufrieren.

Die Eisalgen besiedeln kleine Kanäle, die entstehen, wenn das Meerwasser gefriert. In diesen Eiskanälen sinken die Temperaturen auf -20 °C und tiefer, gleichzeitig steigt der Salzgehalt auf bis zu 20 Prozent, gegenüber 3,5 Prozent im Meerwasser. Und auch wenn die Eismassen hell erscheinen, es dringt nur sehr wenig Licht hindurch, oft nur 1 Prozent der Sonnenstrahlen. Die Nährstoffversorgung im Eis ist ebenfalls nicht gerade üppig, dennoch haben sich die Algen über Millionen von Jahren diesen Lebensraum erschlossen. Vor Fressfeinden sind sie dort sicher, da sich nur wenige andere Arten den eisigen Bedingungen anpassen konnten.

Die dichte Algenmasse dient im Winter und Frühjahr als Futter, zum Beispiel für den Krill, der in großen Schwärmen unter dem Eis schwimmt und die Algen abweidet. Beim Rückgang des

Meereises im späten Frühjahr werden die Eisalgen freigesetzt und tragen so zur Phytoplanktonblüte des kommenden Sommers bei, die Grundlage des Nahrungsnetzes, von dem Fische, Vögel, Robben und Wale abhängig sind.

Die Biologen des AWI untersuchen schon seit vielen Jahren, wie sich das Phytoplankton an die extremen Bedingungen im Eis angepasst hat. Hauptuntersuchungsobjekt ist die Kieselalge *Fragilariopsis cylindrus*, die von der Deutschen Botanischen Gesellschaft zur „Alge des Jahres 2011“ gewählt wurde.

Die hohen Salzkonzentrationen im Eis müssten den Algen eigentlich das Wasser entziehen. Doch ihr Organismus bildet sogenannte Osmolyte, die Wasser binden und in der Zelle halten. Zur Bildung dieser Osmolyte verwenden Eisalgen einen Stoffwechselweg, der als Harnstoffzyklus sonst nur von Tieren bekannt ist.

Besonders verblüffend: Vor dem Einfrieren schützen sich die Überlebenskünstler mit speziellen Frostschutzproteinen. Verwandte Algenarten, die im offenen Wasser wachsen, bilden diese Frostschutzproteine nicht. Auch an die relative Dunkelheit haben sich die Algen gut angepasst: Bei einer Lichtmenge, die in etwa dem Schein einer Kerze entspricht, wachsen sie noch hervorragend.

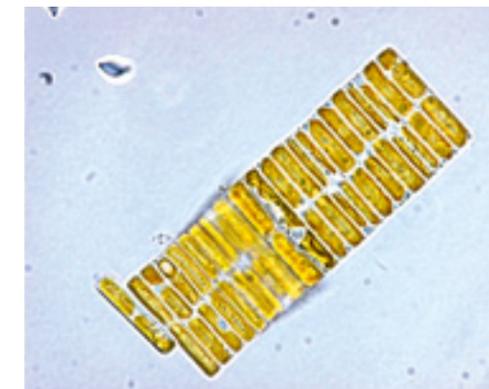


Arbeiten auf der Scholle: Die Forscher wollen wissen, wie sich die Lebensgemeinschaften im Meereis zusammensetzen und bohren Eiskerne zur genaueren Untersuchung.
Foto: G. Dieckmann, AWI

Ein weiteres Problem: Bei extremen Minusgraden müssen die photosynthetischen Membranen, in denen Licht in Energie umgewandelt wird, flexibel bleiben. Dafür werden besondere Öle, die mehrfach ungesättigte Fettsäuren, englisch „PUFAs“ genannt, benötigt. Meereisalgen enthalten wesentlich mehr PUFAs als Algen im Wasser, über die Nahrungskette gelangen sie in Fische und Krebse und damit in letzter Konsequenz auch auf unseren Teller. Wichtig, denn PUFAs sind auch für den Menschen sehr wertvoll, da unser Körper sie nicht selbst bilden kann.

Neuerdings wird die Evolution und Funktion des Phytoplanktons im Eis auch mit modernsten molekularbiologischen Methoden untersucht. Dazu entschlüsseln die Biologen im Alfred-Wegener-Institut das Erbgut („Genom“) der Algen und vergleichen es mit dem Erbgut verwandter Arten, die nicht im Eis leben. Mit dieser Methode kann genau bestimmt werden, welche Algen im Eis vorkommen und welcher Teil des Erbgutes dafür wichtig ist. Der Algenexperte und Molekularbiologe Dr. Klaus Valentin erklärt: „Eisalgen haben tatsächlich alle ihre Gene an die niedrigen Temperaturen angepasst und viele neue Eigenschaften ausgebildet, einige davon stammen sogar aus anderen Organismen wie Bakterien.“

Wie aber sieht die Zukunft der Eisalgen aus? Die globale Erwärmung führt langfristig zu einem Rückgang des Meereises, damit wird auch der Lebensraum der Eisalgen immer kleiner und die an das Eis gekoppelte Nahrungskette gerät aus dem Gleichgewicht, denn weniger Eisalgen bedeuten auch weniger Futter für viele andere Organismen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Nahrungsgefüge in den polaren Ozeanen rufen auch international großes Interesse hervor, und diesen Forschungsschwerpunkt treiben Eisalgen- und Planktonforscher des AWI voran.



So schön wie ein Schmuckstück, aber nur unter dem Mikroskop in voller Pracht zu erkennen: Die Zellkette einer Eisalge (*Fragilariopsis cylindrus*) von ca. 0,4 mm Länge.
Foto: H. Lange, AWI

FS ‚Polarstern‘ in der Küstenpolynia vor der Schelfeiskante in der Antarktis.
Foto: AWI



Antarktis: Ozeanversauerung und Eisenmangel beeinflussen phytoplanktische Lebensgemeinschaften

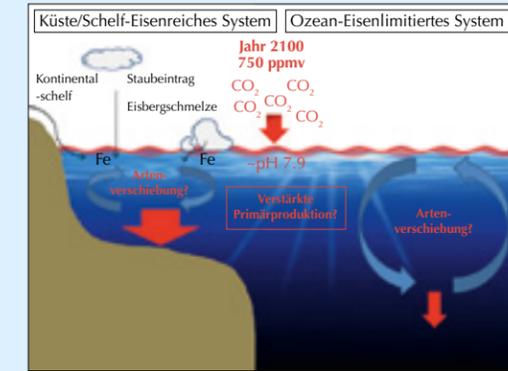
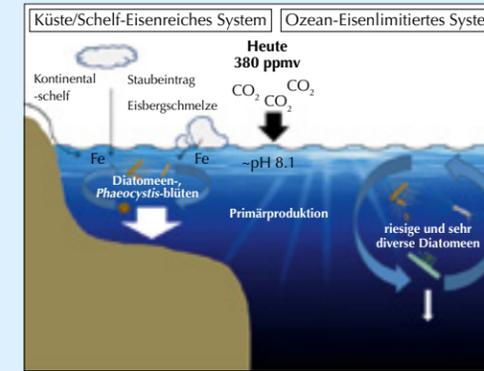
In allen Ozeanen ist das Phytoplankton die Basis des marinen Nahrungsnetzes. Die kleinen, einzelligen, im Wasser frei schwebenden Algen wandeln mit Hilfe des Sonnenlichts Kohlendioxid (CO₂) in organischen Kohlenstoff um. Im Südpolarmeer werden auf diese Weise jährlich 20 Prozent der gesamten Biomasse der Weltmeere produziert. Wie aber werden sich die phytoplanktischen Lebensgemeinschaften unter dem Einfluss des Klimawandels verändern? Welche Auswirkungen haben steigende Temperaturen und Ozeanversauerung?

Im Südpolarmeer, insbesondere im offenen Wasser, sind hohe Mengen der Makronährstoffe Nitrat und Phosphat vorhanden, die biologische Produktion wird jedoch durch das in nur geringen Mengen vorkommende, aber äußerst wichtige Spurenelement Eisen limitiert. Die Küstengewässer und Schelfregionen der Antarktis sind dagegen reich an Eisen, hier kann es zu ausgedehnten Phytoplanktonblüten kommen. Stürme verursachen im Südpolarmeer eine besonders tiefe Durchmischung der oberen Wasserschicht. Dies führt zu geringen und höchst variablen Lichtintensitäten, die die Produktivität des Phytoplanktons erheblich beeinträchtigen.

Es wird erwartet, dass die CO₂-Konzentrationen der Luft bis zum Jahr 2100 auf Werte ansteigen, die dreimal so hoch sind wie zu Beginn der Industrialisierung. Die Folgen für die Ozeane sind drastisch: Der pH-Wert wird um bis zu 0,4 Einheiten sinken, der Säuregrad des Meerwassers steigt folglich an. Zudem führen die global steigenden Temperaturen zu einer Erwärmung der Meeresoberfläche und einer geringeren Durchmischungstiefe der oberen Wasserschichten, welche wiederum die Lichtintensität erhöhen und den Eintrag von Nährstoffen aus tieferen Wasserschichten verringern wird. Klimamodelle prognostizieren, dass sich im Vergleich zu anderen Ozeanregionen die Umweltveränderungen im Südpolarmeer besonders stark auswirken werden. Da die vom Wandel betroffenen Umweltfaktoren (pH-Wert, Temperatur, Licht) außerdem die Löslichkeit und somit die biologische

Verfügbarkeit von Eisen beeinflussen, sind zentrale Fragen der Forscherinnen und Forscher: Wie werden sich zukünftige Phytoplanktongemeinschaften im offenen Ozean und in den Küstenregionen zusammensetzen? Verändert sich möglicherweise ihre Produktivität?

Die Ökologie und Biogeochemie des Südpolarmees wird durch Diatomeen (Kieselalgen) und den Flagellaten *Phaeocystis* dominiert. Diatomeen zeichnen sich im Vergleich zu anderen Phytoplanktonern durch den Aufbau von stabilen Silikatschalen aus. In den Küstenregionen kommt es oft zu Diatomeen- und *Phaeocystis*-blüten, während Eisenmangel deren massenhaftes Auftreten in den ozeanischen Regionen verhindert. Veränderte Umweltbedingungen werden in vielerlei Hinsicht Auswirkungen auf das Phytoplankton im Südpolarmeer haben. Bisher ist aber kaum bekannt, in welchem Maße es auf steigende CO₂ Konzentrationen reagieren wird. Erste Antworten auf diese Fragen fanden die Biologen des AWI während einer Expedition in das Rossmeer: „Gemeinsame Experimente mit unseren kanadischen Kooperationspartnern zeigten eindeutige CO₂-bedingte Änderungen, sowohl in der Produktivität als auch in der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons. Während Arten wie die kettenbildende Diatomee *Chaetoceros* von einem zukünftigen höheren CO₂-Gehalt zu profitieren scheint, tritt bei niedrigen CO₂-Konzentrationen, wie sie während der Eiszeiten vorkamen, verstärkt die nadelförmige Diatomee *Pseudo-nitzschia* auf“ erklärt die Phytoplankton-Expertin Dr. Scarlett Trimborn.

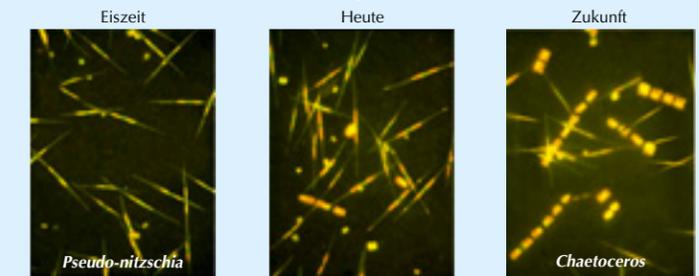


Phytoplanktongemeinschaften des Südozeans werden maßgeblich durch das Vorkommen des Spurenelements Eisen strukturiert. Das Phytoplankton der Küsten- und Schelfregion profitiert stark durch den Eintrag von Eisen durch Staub, Eisbergschmelze und eisenhaltige Sedimente des Kontinentalschelfs, so dass häufig Diatomeen- und *Phaeocystis*-blüten auftreten. In den ozeanischen Regionen dagegen verhindert Eisenmangel das Wachstum der Phytoplankter. Hier ist die Artengemeinschaft sehr divers, riesige Arten kommen vor. Die CO₂-Konzentration der Luft liegt heute bei etwa 380 ppmv, was einen pH-Wert im Meerwasser von ~8,1 zur Folge hat. Bis zum Jahr 2100 wird erwartet, dass die CO₂-Konzentration der Luft auf 750 ppmv ansteigt, so dass der pH-Wert des Meerwassers sich auf 7,9 verringern wird. Das Meer wird somit saurer. Bisher ist kaum bekannt, welchen Einfluss Ozeanversauerung auf die Phytoplanktongemeinschaften im offenen Ozean und in den Küstenregionen der Antarktis haben wird.
Grafik: S. Trimborn, AWI

Um die CO₂-Effekte auf Artenverschiebungen besser verstehen zu können, wurde daraufhin im Labor der Einfluss von CO₂ unter Konkurrenzsituationen getestet. Hierzu wurden die Diatomeen *Chaetoceros* und *Pseudo-nitzschia* gemeinsam unter eiszeitlichen, gegenwärtigen und zukünftigen CO₂-Konzentrationen gehalten. Ergebnis: Im Einklang mit den Beobachtungen auf See verstärkte sich das Wachstum von *Chaetoceros* unter erhöhten CO₂-Konzentrationen, während sich die Population von *Pseudo-nitzschia* reduzierte. Damit konnten die Forscher nachweisen, dass Diatomeenarten tatsächlich unterschiedlich auf Ozeanversauerung reagieren. Diese Unterschiede konnten teilweise durch Unterschiede in der Physiologie der beiden Arten erklärt werden.

Die sich daraus ableitende Frage, ob küstennahe und ozeanische Regionen des Südozeans in Zukunft unterschiedlich auf Ozeanversauerung reagieren werden, wurden während einer Expedition in das Weddellmeer die Wechselwirkung zwischen verändertem CO₂ und Eisenverfügbarkeit untersucht. Das Kultivieren natürlicher Phytoplanktongemeinschaften an Bord unter verschiedenen CO₂-Szenarien in Kombination mit unterschiedlichen Eisenkonzentrationen brachte neue Erkenntnisse hinsichtlich der CO₂-Empfindlichkeit des antarktischen Phytoplanktons: Veränderte Eisenverfügbarkeit bei Ozeanversauerung führt ebenfalls zu einer unterschiedlichen Artenzusammensetzung. Weitere Labor- und Feldexperimente sind geplant und sollen u.a. den Effekt von CO₂ unter dynamischen Lichtbedingungen, wie sie in der Wassersäule auftreten, untersuchen. Auch soll der Einfluss von Staubeintrag und des darin enthaltenen Eisens auf antarktische Phytoplanktongemeinschaften erforscht werden.

a) Feldexperimente mit natürlichen Phytoplanktongemeinschaften des Rossmeeres



b) Laborexperimente am AWI mit den beiden Arten *Chaetoceros* und *Pseudo-nitzschia*



a) Feldexperimente im Rossmeer zeigen CO₂-abhängige Veränderungen in der Artenzusammensetzung von Diatomeen. Unter niedrigen CO₂-Konzentrationen, wie sie während der Eiszeit vorkamen, dominierte die nadelförmige Diatomee *Pseudo-nitzschia*, während bei erhöhten zukünftigen CO₂-Konzentrationen das Wachstum der kettenbildenden *Chaetoceros* zunahm. b) Laborexperimente, die den Einfluss von CO₂ der beiden Diatomeen *Chaetoceros* und *Pseudo-nitzschia* in Konkurrenz zu einander unter eiszeitlichen, gegenwärtigen und zukünftigen CO₂-Konzentrationen untersuchten, führten zu ähnlichen Ergebnissen. So erhöhte sich die Anzahl von *Chaetoceros* von 25% auf 56% unter erhöhten CO₂-Konzentrationen, während sich die Zellzahlen von *Pseudo-nitzschia* von 75% auf 44% unter diesen Bedingungen reduzierten.
Grafik: Fotos nach Tortell et al. 2008 und 2010, Kreisdiagramme nach Trimborn et al., unpublished data



Ein Eisfisch, aufgenommen während einer Expedition. Den gesteigerten Sauerstoffbedarf bei erhöhten Temperaturen kann dieser polare Fisch nicht mehr decken. Erwachsene Seespinne (*Hyas araneus* Adult) und Seespinnen-Larve (*Hyas araneus* Zoea I).
Fotos: F. Mark, M. Schiffer, L. Harms, AWI

Das Meer wird sauer: Seespinne und Eisfisch spüren die Folgen des Klimawandels

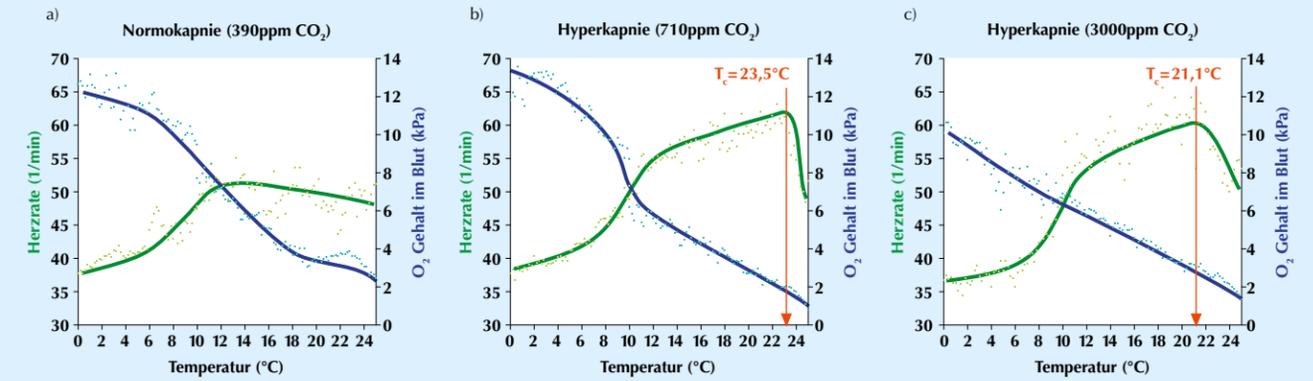
Als Treibhausgas heizt Kohlendioxid nicht nur unser Klima an, sondern führt zunehmend auch zu einer Erwärmung und Versauerung der Ozeane – mit einschneidenden Auswirkungen auf das Leben und die Verbreitung von Fischen und Krebsen in den polaren Breiten.

Über Millionen von Jahren haben sich polare Organismen sehr speziell an die stabilen, kalten Temperaturen in der Arktis und Antarktis angepasst, indem viele Stoffwechselprozesse bei Krebsen und Fischen für die eiskalten Lebensbedingungen optimiert wurden. Einen Temperaturanstieg und erhöhte CO₂-Konzentrationen können sie nur schwer, manchmal gar nicht, kompensieren. Um das Zusammenspiel von Temperatur und Kohlendioxidkonzentrationen im Meer sowie ihre Folgen abschätzen zu können, untersuchen Wissenschaftler des AWI verschiedene wechselwarme polare Organismen, im Vergleich zu solchen aus gemäßigten Breiten. Sie wollen wissen, welche Auswirkungen Temperaturanstieg und Ozeanversauerung auf das Leben und die Verbreitung der Meerestiere haben.

So reagiert zum Beispiel die Seespinne *Hyas araneus*, deren Verbreitungsgebiet sich von den arktischen Gewässern rings um Spitzbergen bis nach Helgoland in der deutschen Bucht erstreckt, an ihrer südlichen Verbreitungsgrenze sehr empfindlich auf steigende Temperaturen. Denn bei wechselwarmen Organismen erzeugen erhöhte Temperaturen auch erhöhte Stoffwechselraten, so dass die Tiere mehr Energie benötigen. Krebstiere müssen unter anderem ihre Herzfrequenz steigern, damit mehr Sauerstoff zu den Organen transportiert wird. Ab einer bestimmten Temperatur kann dieser

erhöhte Sauerstoffbedarf aber nicht mehr gedeckt werden. Wissenschaftler nennen dies „kritische Temperatur“, da sie das obere Ende der Temperaturtoleranz eines Organismus markiert. Eine Ansäuerung des Meerwassers durch erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen (Hyperkapnie) setzt diese kritische Temperatur herab und schränkt damit die Temperaturtoleranz der Seespinne stark ein. An ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze haben sich die Seespinnen im Unterschied zu ihren südlichen Vettern auf die niedrigeren Temperaturen eingestellt. Sie weisen eine erhöhte Temperaturempfindlichkeit auf.

Bereits im Larvenstadium reagiert die Seespinne auf Veränderungen. Sie nimmt weniger Futter auf, Wachstum und Entwicklung sind verlangsamt, erhöhte Sterblichkeit eine der Folgen. Somit wird der gesamte Entwicklungszyklus dieser Art durch verschiedene Prozesse negativ von CO₂ beeinflusst und nachhaltig gestört. „Auf lange Sicht kann dies zu einer Verschiebung des Verbreitungsgebietes in kältere, nördlichere Bereiche führen, um wenigstens dem Problemfaktor Temperatur zu entgehen. Gelingen kann das aber nur, wenn die daraus resultierende geänderte Artenzusammensetzung des neuen Ökosystems ausgeglichen bleibt und die Tiere dort dauerhaft ausreichend Futter und wenige Fressfeinde vorfinden“, erklärt der marine Tierphysiologe Dr. Felix Mark.

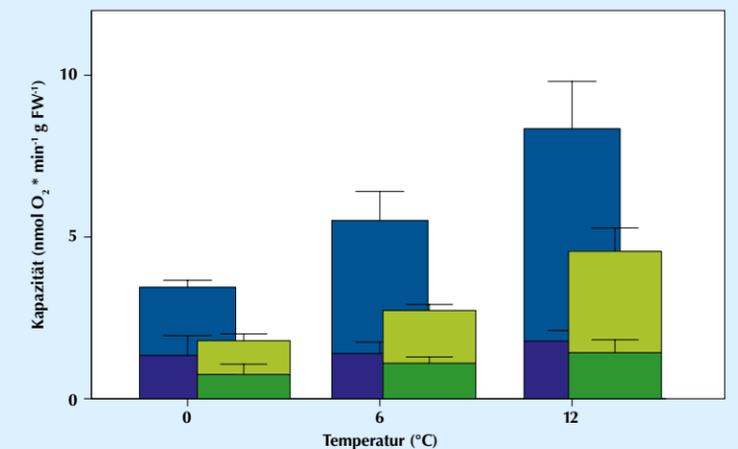


Verlauf von Herzrate (grün) und Sauerstoffkonzentration (blau) im Blut der Seespinne von Helgoland unter Normokapnie (gegenwärtige CO₂-Konzentration, 390ppm) und Hyperkapnie (erhöhte CO₂-Konzentration, b & c). Für das Jahr 2100 werden 710ppm CO₂ prognostiziert. Bei Erwärmung über die optimale Lebensraumtemperatur von 10 °C beeinträchtigt Hyperkapnie zunehmend die Leistungsfähigkeit der Tiere: steigende Temperaturen lassen Stoffwechselrate und Sauerstoffverbrauch ansteigen, die Sauerstoffkonzentration im Blut beginnt zu sinken. Um die Sauerstoffversorgung zu gewährleisten, muss unter Hyperkapnie das Herz mehr Blut pumpen, die Herzfrequenz steigt. Kann das Herz selbst nicht mehr mit ausreichend Sauerstoff versorgt werden, bricht die Herzleistung und damit die Sauerstoffversorgung des Körpers ein (rote Pfeile). Diese Kapazitätslimitierung markiert die kritische Temperatur (T_c, rot). Unter Normokapnie (a) liegt sie jenseits der Versuchstemperaturen (>25 °C), sinkt aber mit zunehmender CO₂-Konzentration (b, c) auf 21,1 °C ab.
Grafik: nach Walther et al., 2009

An permanente Kälte angepasste Bewohner der Polargebiete reagieren empfindlich auf Erwärmung und Versauerung. So haben sich polare Fische gut an die konstant kalten Temperaturen angepasst. Bei einigen Fischarten der Antarktis, zum Beispiel den Eisfischen, hat dies sogar zum Verlust der Sauerstofftransportmoleküle Hämoglobin und Myoglobin geführt. Aufgrund ihrer niedrigen Stoffwechselraten reicht es den Fischen, sich ausschließlich auf die Verteilung von physikalisch gelöstem Sauerstoff im Blut zu verlassen. Dies schränkt die Sauerstofftransportkapazität des Blutes erheblich ein und kann in diesem Maße auch nur unter den kalten und stabilen Lebensbedingungen in der Antarktis funktionieren, weil sich in kaltem Meerwasser mehr Sauerstoff löst. Kommt es zu einer Erwärmung, kann der gesteigerte Sauerstoffbedarf schnell nicht mehr gedeckt werden.

Um diese Prozesse besser zu verstehen, haben die AWI-Forscher erstmals auch die Einwirkung von CO₂ auf die sogenannten Mitochondrien untersucht. Das sind kleine Zellorganellen, die dem Organismus die lebensnotwendige Energie bereitstellen. Aus energiereichen Molekülen (Traubenzucker, Fettsäuren) und Sauerstoff produzieren sie einen allgemeinen Energieträger, kurz ATP genannt. Um einerseits den bereitgestellten Sauerstoff möglichst effektiv auszunutzen und andererseits kurzfristige Spitzenbelastungen abzufuffern, sind die Kapazitäten der Mitochondrien etwas größer ausgelegt. Neueste Studien im Fachbereich Biowissenschaften des AWI zeigen: Durch eine erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen im Meerwasser scheinen diese Kapazitäten und auch ihre Anpassungsfähigkeit an höhere Temperaturen reduziert. Am oberen Ende des Temperaturfensters sind die Mitochondrien nicht mehr in der Lage, den Energiebedarf des Organismus zu decken. Die kritische Temperatur nimmt ab und die Temperaturtoleranz sinkt.

Anders als für die Seespinne besteht aber für die bereits an die kältesten Gewässer unseres Planeten angepassten Fischarten keine Möglichkeit, den Folgen einer Klimaerwärmung durch Abwanderung in kalt bleibende Gewässer zu entkommen: Sie befinden sich daher in einer Art „evolutionärer Sackgasse“ und laufen Gefahr, in ihrer Anpassungsfähigkeit mit der schnellen Klimaveränderung nicht mithalten zu können.



Die mitochondrialen Kapazitäten eines kalt-adaptierten antarktischen Fisches (*Notothenia rossii*) vor (blau) und nach zweimonatiger Anpassung an 2000ppm CO₂ (grün). Dargestellt sind die Kapazitäten der mitochondrialen Komplexe 1 (dunkel) und 2 (hell) bei Umgebungstemperatur (0 °C) und zwei erhöhten Temperaturen (6, 12 °C). In allen Fällen werden stark reduzierte Kapazitäten unter Hyperkapnie deutlich.
Grafik: Strobel et al., in prep

Viele bodenlebende Organismen in der Antarktis sind Filtrierer. In direkter Nähe zum Gletscher werden diese Tiere immer wieder von dicken Sedimentwolken zugedeckt. Sensible Arten sterben in diesen Küstenbereichen ab, während andere Arten sich ausbreiten.

Foto: R. Sahade, Universität Cordoba, Argentinien



Schmelzende Gletscher – In der Westantarktis verändern sich die Ökosysteme an den Küsten

Auf King George Island, im South Shetland Archipel an der Westantarktischen Halbinsel, untersuchen Wissenschaftler aus Deutschland, Argentinien und Holland gemeinsam mit Partnern aus weiteren Ländern, wie schnell die Gletscher schmelzen und wie die Küsten-Ökosysteme auf Klimaänderung reagieren.

Das Forschungsgebiet der Wissenschaftler, der 1300 Kilometer lange Gebirgszug der antarktischen Halbinsel, erstreckt sich nordwestlich in Richtung Feuerland und ist nur etwa 1000 Kilometer von der Spitze Südamerikas entfernt. Anders als in der zentralen Antarktis, ist das polare Klima hier maritimer. Die mittlere Jahreslufttemperatur an der Halbinsel ist seit 1950 um fast 3 °C gestiegen, fünfmal so schnell wie im globalen Mittel. Diese Erwärmung führt zu einem schnellen Rückgang der Schelfeise und küstennahen Landgletscher.

Die Forscher wollen wissen: Ist die momentane Erwärmungsphase wirklich ein außergewöhnliches Ereignis und eine direkte Folge des zunehmenden, vom Menschen verursachten CO₂ Ausstoßes? Oder handelt es sich hier um eine der zyklisch wiederkehrenden natürlichen Erwärmungsphasen auf unserem Planeten?

Um diese Fragen beantworten zu können, untersuchen die Wissenschaftler Sedimentbohrkerne, in denen sie die Klimadaten unserer Erdgeschichte aufspüren. Auch die Datierung geomorphologisch alter Strukturen liefert wichtige Erkenntnisse. Denn fossile Strände, die heute 10 Meter über dem Meeresspiegel liegen, waren früher einmal Meeresboden. Überreste von Muschelschalen beweisen das und erlauben Rückschlüsse auf die geochemischen Bedingungen im Meeressediment zu Lebzeiten der Tiere vor ungefähr 5000-7000 Jahren.

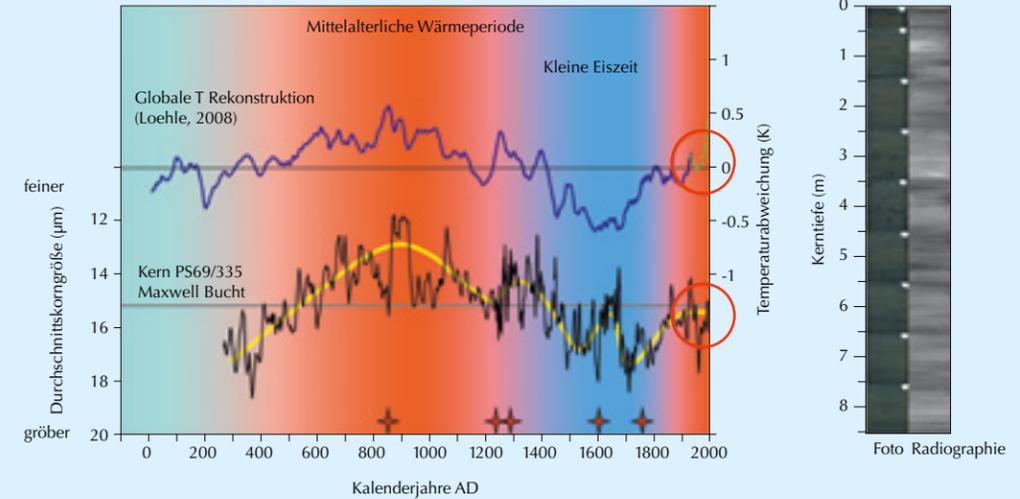
Satellitenaufnahmen geben Aufschluss über die aktuellen Auswirkungen der Klimaänderung. Denn sie erfassen kontinuierlich die Rückzugsstadien der Eismassen. Differentielle GPS Höhenmessungen der Gletscher über die letzten 15 Jahre zeigen eine deutliche Abnahme des Eises bis in Höhenlagen von ca. 250m über NN. Modellrechnungen zum Gletschermassenhaushalt, die durch umfangreiche meteorologische Messungen und Satellitendaten

gestützt werden, ermöglichen die Abschätzungen des Schmelzwassereintrags in die Buchten. Diese Schmelzwasserströme transportieren sehr feine Sedimente, sogenannte Schwebstoffe, die aus den Fjorden der Insel hinausgetragen und in tieferen Bereichen abgelagert werden. Die feinkörnigen Ablagerungen stellen ein zeitlich hochaufgelöstes Klimaarchiv dar, das anhand mehrerer Meter langer Sedimentkerne analysiert wird.

Über die fluktuierenden Anteile der Schmelzwassersedimente konnten die Forscher globale Klimasignale mit kühlen Phasen, wie der Kleinen Eiszeit (ca. 1350-1900 n. Chr.) und wärmeren Phasen, wie der Mittelalterlichen Wärmeperiode (ca. 700-1350 n. Chr.), in der Umgebung der Halbinsel rekonstruieren. „Die Messdaten zeigen, dass der momentane Erwärmungstrend anders verläuft, als ähnliche Klimaphasen der vergangenen 2000 Jahre“, erklärt der Sedimentologe Dr. Christian Hass vom AWI.

Hierzu wird die geochemische Zusammensetzung dieser partikulären Fracht genauer untersucht. Die Klimageschichte der letzten 100 Jahre steht im Vordergrund, also der Zeitraum in dem sich der massive Gletscherrückgang ereignet hat. Messungen der im Sediment natürlich vorkommenden Blei-Isotope zeigen, dass sich als eine Auswirkung des Klimawandels die Menge der um die Insel abgelagerten Sedimente seit Mitte des letzten Jahrhunderts fast verdreifacht hat.

Gletscherrückgang und Sedimentabfluss haben massive Auswirkungen auf den küstennahen Lebensraum und damit auf die marinen Ökosysteme. Fjorde wie Potter Cove weisen eine dichte Besiedlung durch bodenlebende Algen und Tiere auf. Abnehmender Salzgehalt und Sedimentabfluss vor den schmelzenden Gletschern verringern die Produktivität des Phytoplanktons im Frühjahr.

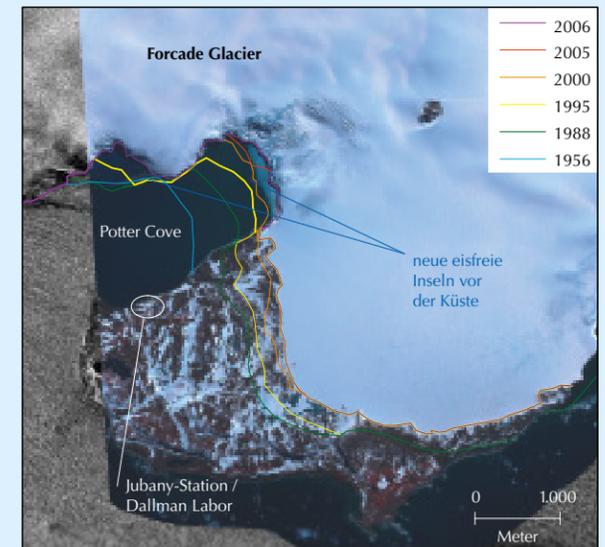


PS69/336-1 SL Kernlänge: 8,53 m
62°15'30"S, 58°46'21"W aus
461,0 m Wassertiefe Maxwell
Bay, Südliche Shetlandinseln,
Antarktis

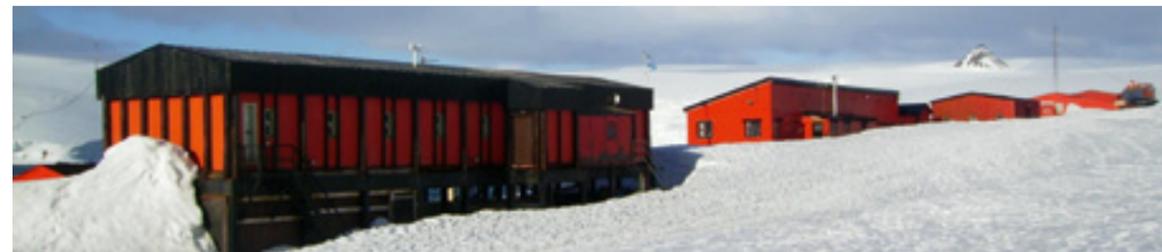
Der Sedimentkern aus Maxwell Bay (Polarstern' Reise ANT-XXIII/4) zeigt, wie sich die Sedimentationsprozesse über die Zeit verändert haben. Analysen der Sedimente aus unterschiedlichen Tiefenhorizonten erlauben, Rückschlüsse über die geologische und klimatische Vergangenheit zu ziehen: Gletscherrückgang bei wärmerem Klima und zunehmendem Vergletscherung während kalter Zeiträume führt zur Ablagerung feinkörniger Sedimentpartikel.
Grafik: N. Wittenberg, C. Hass, AWI

Wichtige antarktische Organismen wie Krill sind seit mehreren Sommern nicht mehr in der Bucht zu finden. Zunehmende Verschlickung am Boden und Veränderung der pelagischen Nahrungssituation führen in weiten Teilen des Fjords zur Verarmung der Bodengemeinschaften. Schlick tolerierende Arten wie die Muschel *Laternula elliptica* und Seefedern (Pennatuliden) breiten sich aus. Interessanterweise dokumentieren auch diese Arten die Veränderung. *Laternula* zeigt langsames Wachstum in Bereichen mit hohen Sedimentationsraten, was auf die Verdünnung ihrer planktonischen Nahrung mit Sedimentpartikeln zurück geführt werden kann, was aber auch in zunehmendem Sauerstoffmangel am Boden liegen könnte.

„Sicher ist, dass sich die Auswirkungen der globalen Erwärmung in den Küstengebieten der Antarktischen Halbinsel besonders stark manifestieren und ihrerseits Auswirkungen auf die küstennahen, ozeanischen Gebiete haben“, sagt Dr. habil. Doris Abele vom AWI. Die deutsche Koordinatorin des von der European Science Foundation finanzierten internationalen Projektes IMCOAST weiß: „Man kann die Inseln als ‚hot spots‘, als Zeiger und auch Treiber der Systemveränderungen betrachten. Dazu müssen wir die lokalen Prozesse verstehen und sie in die regionalen Modelle des Südlichen Ozeans einbinden.“



Rekonstruktion der Gletscherrückzugslinien in der Potter Cove über einen Zeitraum von 50 Jahren seit 1956. Die bunten Linien markieren die Gletscherfront auf Satellitenbildern aus unterschiedlichen Jahren.
Grafik: M. Braun, Universität Fairbanks, Alaska



Dallmann-Labor auf der Argentinischen Station Jubany auf King George Island, Süd Shetland Archipel.
Foto: D. Abele, AWI

Ein See-Elefantenbulle mit Satellitensender auf dem Kopf liegt im Algensalat am Strand von King George Island. Übertragen werden Robbenposition, Tauchtiefe, Wassertemperatur und Salzgehalt. Spätestens beim nächsten Haarwechsel fällt das Gerät ab.
Foto: J. Plötz, AWI



Im Dienst der Wissenschaft: See-Elefanten erforschen das Südpolarmeer

Per Satellitensender übertragen Robbentullen wissenschaftliche Daten aus dem Südpolarmeer auf die Computer der Biologen im Alfred-Wegener-Institut. Das Besondere: Hightech-Sensoren messen neben der Tauchtiefe neuerdings sogar Wassertemperatur und Salzgehalt – Daten, die auch für die Meeresphysiker von großem Interesse sind.

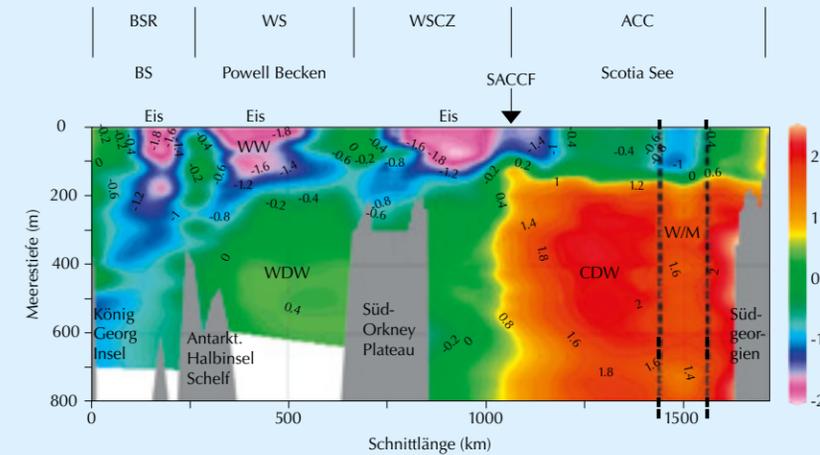
King George Island an der Spitze der Antarktischen Halbinsel. Mit Beginn des antarktischen Winters, von Mitte März bis Ende April, kommen die stattlichen Männchen der südlichsten See-Elefanten-Kolonie an Land, um ihr Fell zu wechseln. Es ist die größte Robbenart unseres Planeten, die sich hier versammelt: Bis zu 4 Tonnen schwer können die mächtigen Bullen werden. Im Meer sind sie eher Einzelgänger, am Strand liegen sie dicht gedrängt und wärmen sich gegenseitig. Einige der Tiere statten die Wissenschaftler des AWI mit Sendern aus. Auch für erfahrene Robbenforscher wie Dr. Joachim Plötz und Dr. Horst Bornemann ist das keine alltägliche Situation: „Die Tiere stört der Sender nicht, für uns ist es aber jedes Mal eine Herausforderung, wenn wir vor einigen tief dröhnenden See-Elefantenbullen stehen und ihnen einen Handteller großen Satellitensender auf das Fell kleben“, so Plötz. Ist der Haarwechsel überstanden, gehen die Bullen wieder auf Wanderschaft und kehren erst nach sechs Monaten an ihre Strände zurück, um sich mit den Weibchen zu paaren.

Bei den Wanderungen zu ihren ozeanischen Weidegründen legen See-Elefanten Tausende Kilometer zurück. Sie erreichen Tauchtiefen von 400 bis 800 Meter, vereinzelt sogar 2.000 Meter, und Tauchzeiten von über einer Stunde. Wenn eine Robbe mit Sender abtaucht, sammelt sie – auch unter Eis – Daten und erscheint nach einiger Zeit wieder an der Meeresoberfläche, um zu atmen. Während des Luftholens wird das aufgezeichnete Datenpaket zu einem Satelliten geschickt, der die

empfangenen Signale weiterleitet. Mit etwas Glück überträgt der Sender ein Jahr lang kontinuierlich Daten, bis er beim nächsten Haarwechsel abfällt.

Fast in Echtzeit übertragen die Sender nicht nur geografische Positionen und Tauchtiefen der jeweiligen Robbe, sie liefern gleichzeitig auch Daten über Temperatur und Salzgehalt des vom Tier horizontal und vertikal durchquerten Wasserkörpers und somit wichtige physikalische Messgrößen, aus denen Rückschlüsse auf die Meereszirkulation und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Wärmehaushalt im antarktischen Ozean gezogen werden können. Erste Auswertungen der in der Saison 2010/11 mit See-Elefanten gewonnenen Daten zeigen eine Fülle biologischer und hydrografischer Gegebenheiten. Besonders begehrt sind die Daten aus den Wintermonaten, denn kontinuierliche Messungen aus dieser Jahreszeit sind rar, weil Schiffe aufgrund der schwierigen Eislage dann nur selten fahren.

In der Eiswüste des antarktischen Ozeans führen Robben ein Nomadenleben. Für die Forschung sind sie interessant, weil sie ständig auf der Suche nach ergiebigen Nahrungsgebieten sind. Erbeutet werden Fische und Tintenfische. Nahrung im Meer ist jedoch ungleich verteilt. „Aus dem Wanderverhalten der Tiere können wir Rückschlüsse auf die räumliche und zeitliche Verteilung besonders produktiver Zonen im antarktischen Ozean ziehen. Werden die Bestände an Fisch und Tintenfisch durch übermäßige Befischung oder als Folge des Klimawandels dezimiert, dürfte dies das Verhalten See-Elefanten beeinflussen“, erklärt Plötz.



Datentransfer im Zeitraum April bis Oktober 2010: Der Temperaturschnitt besteht aus 540 Tauchprofilen, ist 1700 km lang und 800 m tief. Dokumentiert werden die Eisbedeckung im Winter sowie die Trennung der ozeanischen Regime z.B. durch die Südliche Zirkumpolarfront (SACCF) und die sehr tiefe Deckschicht in der Bransfield-Straße (BS). Auch kleinere Strukturen in der Tiefe, wie die Lage des Warmwasserkerns (WDW) im Powell Becken oder eines Wirbels bzw. Mäanders des Zirkumpolarstroms (ACC) sind mit den Robben-Fernerkundungsdaten detailliert wiedergegeben.
Grafik: Ocean Data View: M. Schröder, AWI

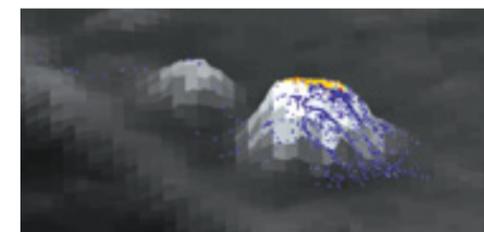
Mittels der Fernerkundung verfolgen die Biologen die saisonalen Veränderungen im Wanderverhalten der Robben und erhalten Hinweise, wann, wo und in welcher Meerestiefe besonders viele Beutetiere vorkommen und mit welchen ozeanografischen Bedingungen ein gutes Nahrungsangebot verbunden ist. Doch warum eignen sich bestimmte Gebiete, die von den Robben immer wieder angesteuert werden, besser für die Nahrungssuche, als andere? Um diese ökologischen Zusammenhänge besser zu verstehen, arbeiten die Robben-Experten eng mit Meeresphysikern und Fischbiologen des AWI zusammen. So können Informationen über die Struktur des Ozeans und über das Fischvorkommen in einer Region in die Studien der Robbenforscher einbezogen werden.

„Die Wanderungen der Robben zu bestimmten Gebieten sowie ihre Tauchaktivitäten, verfolgt über mehrere Jahre, können bessere Einblicke in die zeitliche und räumliche Dynamik von Plankton- und Fischvorkommen vermitteln, als das allein mit fischereibiologischer Forschung möglich ist“, sind sich Plötz und Bornemann sicher.

So werden auch alle Messdaten des deutsch-südafrikanisch-argentinischen Gemeinschaftsprojekts unmittelbar nach der Auswertung über das Datenarchiv PANGAEA anderen Weltzentren zur Verfügung gestellt und fließen in verschiedene internationale Kooperationen ein. Das AWI leistet auch damit einen wichtigen Beitrag zu einem international abgestimmten Vorhaben des Wissenschaftsausschusses für Antarktisforschung (SCAR).



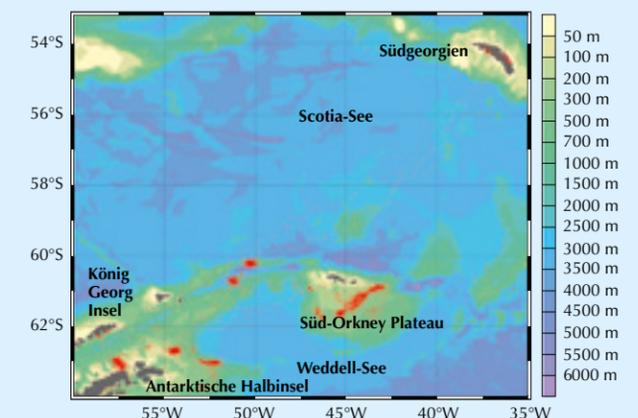
Robbenforscher während ihrer Arbeit auf King George Island.
Foto: J. Plötz, AWI



Sogenannter „feeding hot spot“ eines See-Elefanten über einer unterseeischen Erhebung. Das Punktmuster zeigt die räumliche Verdichtung der einzelnen Tauchgänge über dem Gipfel und an den Hängen des Seebergs.
Grafik: L. Fillinger, AWI

Die ausgedehnten Nahrungswanderungen der See-Elefanten eröffnen die Möglichkeit, von King George Island aus große Gebiete des Südpolarmeer im Winter via Satellit zu erkunden. Ergiebige Weidegründe sind an der Verdichtung der Robben-Positionen (rote Punktwolken) deutlich erkennbar. Im Oktober 2010 zogen einige der Bullen zur Fortpflanzung nach Südgeorgien.

Grafik: Ocean Data View: H. Bornemann, AWI





Der Ruf der Buckelwale überraschte die Ozean-Akustiker des AWI. Im antarktischen Winter hätten sie die Meeressäuger nicht so weit im Süden erwartet. Fotos: I.v. Opzeeland, AWI



Ozeanische Akustik – PALAOA sendet live aus dem Südpolarmeer

Manchmal hört man nur ein Rauschen. Doch wie schön die Weddellrobbe plötzlich pfeifen kann – wie faszinierend das Klicken der Schwertwale und der tiefe Gesang mächtiger Blauwale. Klein kommt man sich da plötzlich vor, als Mensch auf dieser Erde. Den ganzen Tag zuhören möchte man am liebsten. Eine Wissenschaftlerin, die das darf, ist die Biologin Dr. Ilse van Opzeeland. Sie ist Ozean-Akustikerin und untersucht anhand der Klänge, die das PALAOA-Observatorium im Südpolarmeer aufzeichnet, das Verhalten der Meeressäuger. Ein persönlicher Bericht aus der faszinierenden Unterwasserwelt des Klangs.

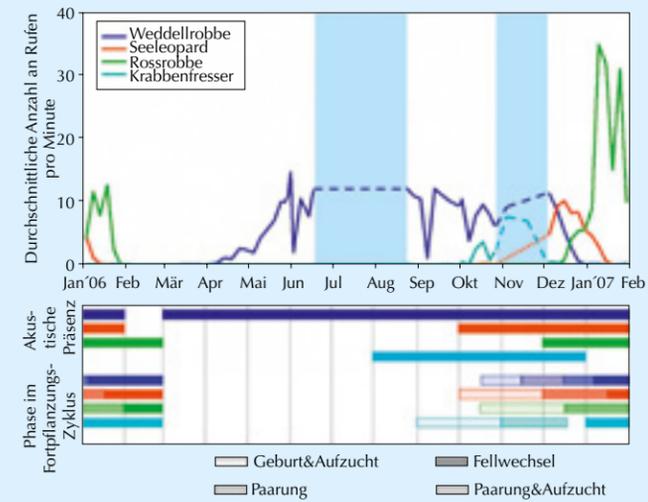
Seit langem schon interessiert mich das Verhalten der Meerestiere unter Wasser, insbesondere ihr Gebrauch von Schall zur Kommunikation und Orientierung in dieser lichtarmen Umgebung. Zunächst studierte ich Biologie in Groningen und Tromsø und spezialisierte mich dabei auf Bioakustik. Für die Masterarbeit untersuchte ich das akustische Verhalten von Sattelrobben in Grönland und Schwertwalen in Norwegen. Die Doktorarbeit konnte ich dann am AWI in Bremerhaven schreiben. Eine einmalige Gelegenheit für mich, denn das Institut betreibt das einzige Hydroakustik-Observatorium in der unmittelbaren Umgebung des antarktischen Kontinents: PALAOA – Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic ocean (oder Wal auf Hawaiianisch).

Auf dem Ekström-Schelfeis im östlichen Weddellmeer auf der Position 70°31'S 8°13'W steht unser Container mit der Technik, energetisch versorgt durch Solarzellen, Windgenerator und Brennstoffzelle. Vier Hydrofone sind unter dem 100 Meter dicken, schwimmenden Eisschild positioniert. Seit Dezember 2005 zeichnen sie Tag und Nacht alle Unterwasser-Klänge auf – bis heute mehr als 33.000 Stunden, 6 Tbyte Daten. Über die Internetseite des AWI – www.awi.de/PALAOA – kann jeder live in das Südpolarmeer hinein hören. Wir registrieren eine weite Bandbreite von Frequenzen, zum Beispiel die niederfrequenten Laute der Blauwale und das hochfrequente Klicken

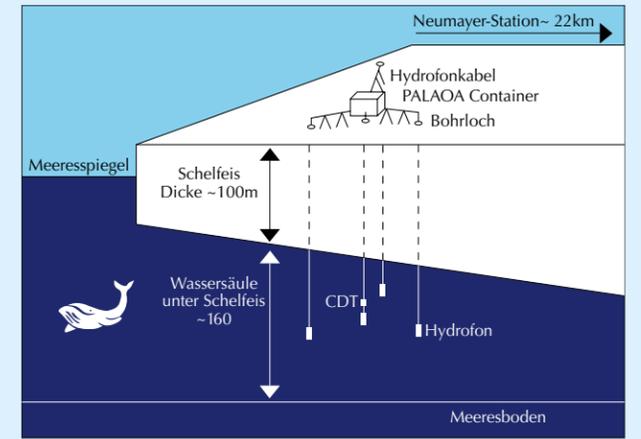
der Schwertwale, das diese Tiere, ähnlich einem Echolot, zur Orientierung einsetzen.

Die kontinuierliche Aufzeichnung erlaubt uns einen "Blick" in eine Welt, die aufgrund der klimatischen Bedingungen nur schwer zugänglich ist. Sichten würde man die Tiere ohnehin selten, weil sie ja nur von Zeit zu Zeit zum Atmen auftauchen. Hören ist jedoch immer möglich, vorausgesetzt natürlich, dass die Tiere vokalisieren. So haben unsere Aufnahmen zu vielen neuen Erkenntnissen über Verbreitungsgebiete, saisonale Wanderung, Bestand und Lebensweise mehrerer Wal- und Robbenarten geführt.

Zu hören sind die Laute von Seeleoparden, Weddell-, Ross- und Krabbenfresserobben, verschiedene Arten von Zahn- und Bartenwalen, dazu kalbendes Shelveis, sich aneinander reibende Eisschollen und manchmal auch die Kollision zweier Eisberge. Geheimnisvolle Töne noch unbekannter Herkunft sind hin und wieder ebenfalls unter den Aufnahmen. Das Schönste aber: Wir können live zuhören, wenn die Meeressäuger in Reichweite unserer Unterwassermikrophone durch das Meer ziehen. Im Büro, tausende Kilometer von der Antarktis entfernt, läuft während der Arbeit die ganze Zeit der "livestream" aus dem Südpolarmeer. Um nichts zu verpassen, schalte ich ihn auch zu Hause ein. Und eines Morgens hörte ich zu meiner großen Überraschung die Rufe der Buckelwale – noch dazu im antarktischen Winter.



Rufaktivitäten von vier Antarktischen Robbenarten im Zeitraum Januar 2006 bis Februar 2007 (oben). Blaue Bereiche markieren die Verwendung von Daten aus dem Jahr 2007, die gelegentliche Datenlücken im Jahr 2006 substituieren. Unten: Akustische Präsenz (obere 4 Balken) und Zeiten der Geburt, Aufzucht, Paarung und des Fellwechsels (untere 4 Balken). Grafik: I. v. Opzeeland, AWI



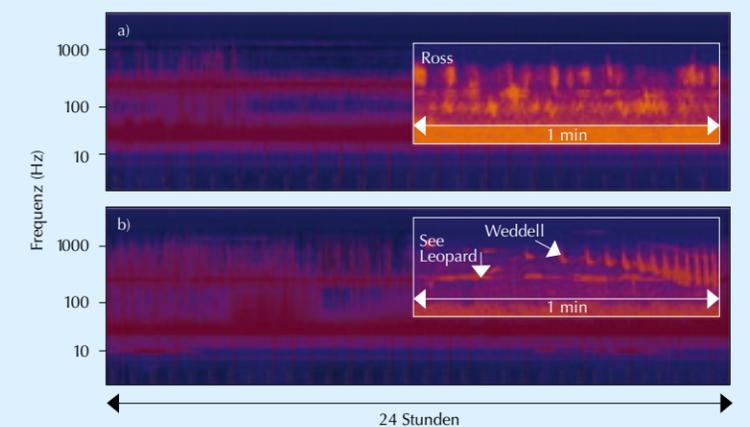
Schematische Darstellung des PALAOA Hydrophonarrays. Die eigentliche Station liegt im Zentrum über einem Array von 4 Hydrophonen, die sich im Wasser unterhalb des aufschwimmenden Shelveises befinden. Am Kabel des zentralen Hydrophons ist zusätzlich ein CTD Sensor befestigt, der zeitgleich ozeanografische Daten erfasst. Der Abstand zwischen PALAOA und der Neumayer-Station III beträgt 22 km. Grafik: aus Klinck 2008

Unglaublich, denn in dieser Zeit zieht es die Buckelwale eigentlich in tropische und subtropische Gewässer. Vermutlich verweilen einige dieser Bartenwale an ihren antarktischen Futterplätzen, um schneller für die Paarung fit zu werden. Trotz dicker Eisdecke, die das Südpolarmeer im Winter überzieht, finden die Wale an der Shelveiskante offene Wasserbereiche, in denen sie zum Atmen an die Oberfläche kommen können.

Als ich mit meiner Doktorarbeit begann, konnten wir die aufgezeichneten Tierlaute den verschiedenen Arten zwar gut zuordnen, hatten aber noch kein genaues Bild über das gesamte Repertoire ihrer Rufe. Wir wollten wissen, was einzelne Laute genau bedeuten und zu welchen Zeiten die Tiere ihre Rufe anstimmen. Im ersten Jahr hörte ich deswegen über 10.000 Dateien PALAOA-Aufnahmen ab und arbeitete mich mit Hilfe der Spektrogramme, die den Ton bildlich darstellen, durch einen Datensatz von insgesamt 180 Stunden Unterwasser-Geräuschkulisse. Anhand dieser Analyse konnten wir den Jahresgang des akustischen Verhaltens aller bei PALAOA auftretenden Arten beschreiben und computerbasierte Detektoren für weitere automatische Analysen entwickeln.

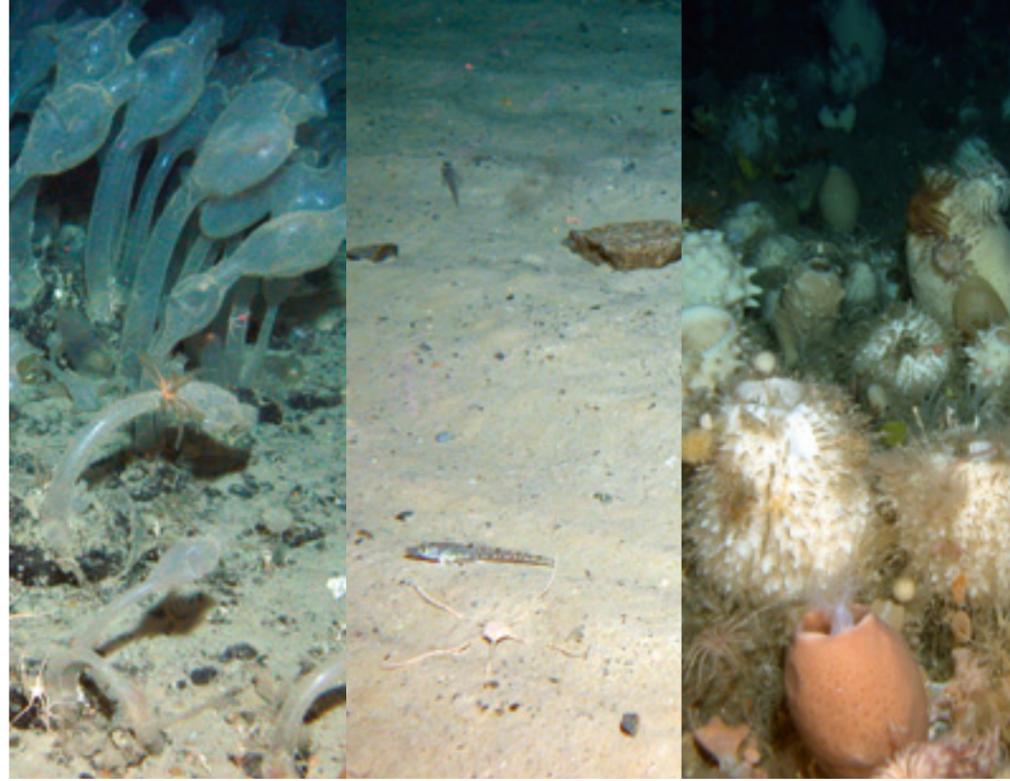
Seeleoparden und Rossrobben haben uns durch ihren Rufe zum Beispiel verraten, dass sie sich auch in den antarktischen Küstengewässern fortpflanzen. Bisher war dies nur von Weddellrobben und Krabbenfresserobben bekannt. Verblüfft hat uns, dass sich jede der vier Robbenarten zu ganz bestimmten Zeiten "zu Wort meldet". Dieses akustische Verhalten ist zudem an unterschiedliche Eisbedingungen gekoppelt. Das Timing dabei ist sensationell: Die Paarungsrufe einiger Robbenarten beginnen tatsächlich jedes Jahr in jeweils fast den gleichen Kalenderwochen.

Meine Promotion konnte ich im Dezember 2010 erfolgreich beenden. Nun analysiere ich als Post-Doc in der Forschungsgruppe "Ozeanische Akustik" die Aufnahmen zusätzlicher Offshore-Akustik-Rekorder, um die akustische Aktivität der Meeressäuger in einem größeren Gebiet betrachten und auch langfristige Populationsentwicklungen, etwa bei den Blauwalen, abschätzen zu können.



Zwei Langzeit-Spektrogramme, die jeweils 24 Stunden an PALAOA Aufnahmen repräsentieren: a) Tagesspektrogramm vom 26. Dez. 2009 mit Rufen der Rossrobbe. Das rötliche Band besteht aus Rufen die im eingesetzten Bild hochaufgelöst gezeigt sind. b) Tagesspektrogramm vom 14. Dez. 2009 mit Rufen des Seeleoparden und der Weddellrobbe, mit Beispielen der Rufe beider Arten im eingesetzten, zeitlich hochaufgelösten Bild. Grafik: PALAOA, AWI

Die stellenweise häufige Seescheide *Molgula pedunculata* (links) wird als Pionierart angesehen. Da ihr Vorkommen im Larsen-B-Gebiet durch Eisbergkratzer unterbrochen ist (mitte u. rechts), die erst nach dem Schelfeiskollaps entstanden sein können, steht diese Population wahrscheinlich mit der im nördlich davon gelegenen Larsen-A-Gebiet in Verbindung. Dort brach das Schelfeis früher weg und versorgt wahrscheinlich seitdem die Seescheiden mit Nahrung. In ungestörten Gebieten des südöstlichen Weddellmeers können verschiedene Schwammarten sehr häufig sein und tragen insgesamt zur Lebensvielfalt bei (rechts).
Fotos: J. Gutt, W. Dimmler, AWI/Marum, Universität Bremen



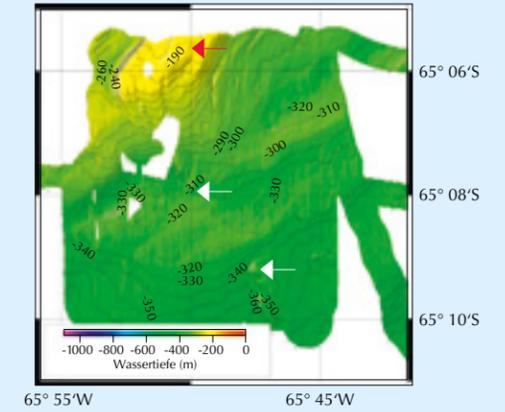
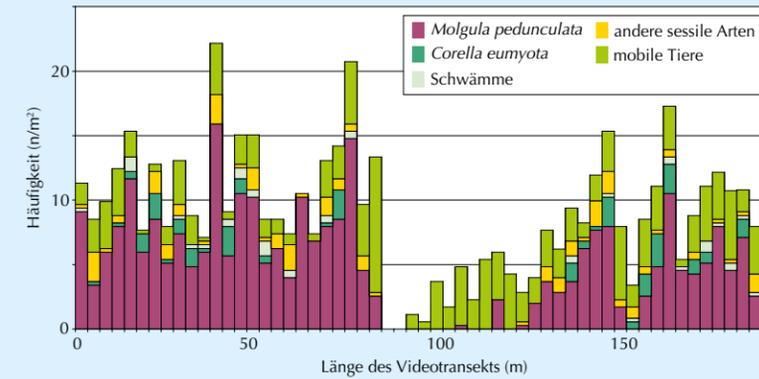
Wenn dickes Eis kracht – Lebensvielfalt am antarktischen Meeresgrund

Bei den letzten großen Schelfeisabbrüchen im Larsen-Gebiet in den Jahren 1995 und 2002 zerfielen die Eistafeln in hunderte von Eisberge, von denen viele auf dem benachbarten Schelf strandeten. Während ihrer Expeditionen ins Weddellmeer untersuchen die Biologen des AWI in internationalen Teams, welche Auswirkungen solche Ereignisse auf die Besiedelung des Lebensraums am Meeresgrund haben. High Tech-Geräte und Tauchroboter helfen beim Blick in die Tiefe.

Das Ökosystem des Antarktischen Kontinentalsockels erstreckt sich rund um den Kontinent auf einer Länge von ca. 40.000 Kilometern und einer Fläche, die fast halb so groß wie Europa ist. Ein Drittel dieses bis 800 Meter tiefen Lebensraumes liegt unter schwimmenden Eistafeln, dem so genannten Schelfeis, das noch mit dem mächtigen Inlandeis verbundenen ist. Von ihm kalben Eisberge, die in den flacheren Gebieten der Schelfe stranden können und die Tierwelt in dem eisfreien Teil prägen.

Ein für Wissenschaftler besonders interessantes Forschungsgebiet ist das Larsen-Schelfeis östlich der Antarktischen Halbinsel. In Folge der atmosphärischen Erwärmung brachen hier riesige Stücke des Schelfeises ab. Dadurch wurde ein bisher unbekannter Lebensraum freigelegt, der jetzt erheblichen Veränderungen ausgesetzt ist. „Die stellenweise extreme Armut an Bodentieren ist nur zum Teil durch die ehemals spärliche Nahrung zu erklären. Wir fragen uns, welche Prozesse dafür verantwortlich sind, dass diese Gebiete zunächst nur so gering besiedelt sind“, sagt der Meeresökologe Dr. Julian Gutt.

Von früheren Expeditionen wissen die Forscher, dass durch strandende Eisberge in der Besiedelung des Meeresgrundes Schneisen der Verwüstung entstehen. Kollidierend die Eisriesen mit dem Meeresboden, bleiben sie dort nicht einfach liegen, sondern reiben darüber hinweg – ähnlich einem Pflug, der den Ackerboden umpflügt. Das Erstaunliche aber ist: Nach solchen Ereignissen entwickelt sich das Leben vielfältiger, als in ungestörten Bereichen. Um diese Prozesse untersuchen zu können, nehmen die Wissenschaftler während ihrer Forschungsreisen mit dem Kastengreifer Proben und analysieren Fischfänge. Ein genaues Bild der Lebensgemeinschaften liefert insbesondere ein Tauchroboter, der von Bord des Forschungseisbrecher ‚Polarstern‘ aus ferngesteuert wird. Seine Kamera sendet in Echtzeit aus 200 Metern Wassertiefe Videomaterial in HD-Qualität. „So können wir live verfolgen, was am Meeresboden passiert und haben festgestellt, dass ein aus verschiedenen Wiederbesiedlungsstadien bestehender biologischer Flickenteppich eine höhere Lebensvielfalt aufweist, als ungestörte Areale“, berichtet Dr. Rainer Knust, der wissenschaftliche Fahrtleiter.



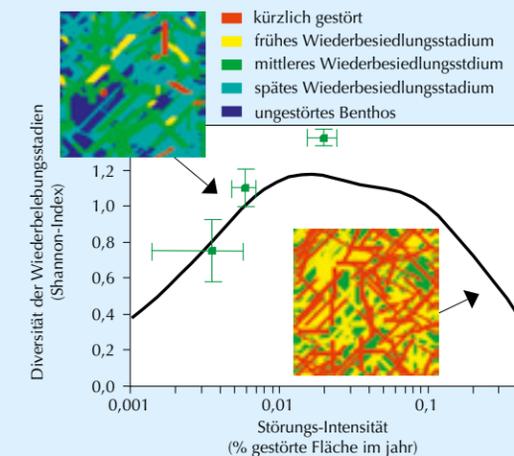
Die Seescheiden *Molgula pedunculata* und *Corella eumyota* wurden mit Hilfe eines ferngesteuerten Unterwasserfahrzeuges nur auf unterseeischen Hügeln (rechts, roter Pfeil) gefunden, wo sie nahrungsreicher Strömung ausgesetzt sind, während sie in der näheren Umgebung fast völlig fehlten (weiße Pfeile). Das Balkendiagramm (links) zeigt von links nach rechts die Auswertung des mit dem ROV aufgenommenen etwa 195 m langen Videostreifens in dem mit dem roten Pfeil markierten Gebiet, die Häufigkeit dieser Seescheiden und ihrer Begleitfauna, wie anderer sessiler und mobiler Tiere, sowie von Schwämmen. Die Ansammlung der meisten dieser Tiere wird von einem Eisbergkratzer in der Mitte des Videostreifens unterbrochen, wo es fast nur mobile Tiere gab, die dort schnell wieder einwandern können.

Grafik (l.): J. Gutt & V. Lieb, AWI. Grafik (r.): AWI, bathymetrische Arbeitsgruppe, verändert nach Gutt et al. 2011

Proben nimmt der Tauchroboter ebenfalls. Mit seinem Greifarm sammeln die Forscher direkt am Meeresgrund verschiedene Arten, um sie später im Labor auch mit genetischen Methoden genau bestimmen zu können.

Ein langfristiges Feldexperiment soll jetzt Aufschluss über die Geschwindigkeit der Wiederbesiedelung erbringen. Zusätzlich simulieren Computermodelle entsprechende Prozesse im Zeitraffer und entwickeln Zukunftsszenarien mit erhöhter und verringerter Störungsintensität. Sie zeigen, dass die antarktische Bodenfauna an räumlich begrenzte, natürliche Störungen gut angepasst ist.

Nach dem Kollaps des Larsen-Schelfeises haben zum Beispiel die sich filtrierend ernährenden Seescheiden mit einem „explosionsartigem“ Wachstum auf den Wechsel von einem nahrungsarmen zu einem nahrungsreichen Regime reagiert. Sie wachsen aber nur in strömungsgünstiger Situation auf unterseeischen Erhebungen und sind die Vorboten für einen umfassenderen Wandel in der Bodenbesiedelung. Die sich als Weidegänger ernährenden Seegurken sind als Tiefseetiere eigentlich der alten eisbedeckten Situation zuzuordnen. Aber die Gattung *Elpidia* kann auf verbesserte Nahrungsbedingungen offensichtlich mit besonders erfolgreicher Fortpflanzung reagieren. Durch einen Vergleich mit Ergebnissen von U.S.-amerikanischen Kollegen war eine deutliche Zunahme der *Elpidia*-Population festzustellen. Sedimentbeprobungen während einer ‚Polarstern‘-Expedition zeigen die verbesserten, aber noch nicht üppigen Nahrungsbedingungen. Eine erstmalig feinmaschige Vermessung des Meeresbodens unterstützt die biologischen Arbeiten und ermöglicht umfassendere Antworten auf die Frage, wie dieses Ökosystem überhaupt funktioniert.



Ein Biodiversitätsmodell simuliert den Einfluss der Störungsintensität durch strandende Eisberge (X-Achse) auf die Lebensvielfalt (Y-Achse), dargestellt als schwarze Kurve. Die grünen Quadrate mit Abweichungsbalken zeigen Werte, die aus direkten Feldbeobachtungen berechnet wurden. Der obere Wert stammt aus einem Gebiet mit besonders intensiver Störung. Die Grafik zeigt, dass die Lebensvielfalt am Meeresboden bei mittlerer Störungsintensität ein Optimum erreicht und erst abnimmt, wenn sich die Störungen erheblich erhöhen. Die beiden fleckenhaften Muster zeigen im Modell, wie sich die Wiederbesiedlungsstadien auf dem Meeresboden verteilen.

Grafik: K. Johst, UFZ, Leipzig & J.Gutt, AwI, verändert nach Johst et al. 2006 & Turner et al. 2009



Mit der ‚Polarstern‘ in der Antarktis – Beobachtungen im Eis

Sie ist das leistungsfähigste Polarforschungsschiff der Welt: die ‚Polarstern‘. An nahezu 310 Tagen ist der Forschungseisbrecher des AWI auf See. Zwischen November und März bereist er die Antarktis, im Nordsommer die arktischen Gewässer. Die Arbeit an Bord ist hart, die Eindrücke bleiben unvergesslich. Beobachtungen im Eis – aufgezeichnet von Prof. Dr. Wolf Arntz während Forschungsarbeiten im Larsen-Gebiet östlich der antarktischen Halbinsel.

Wir sind von einer Trümmerlandschaft aus zerfallenden Eisbergen umgeben. Miserable Sichtverhältnisse aufgrund von Nebel oder dichtem Schneefall verhindern die Eiskundung, verlangsamen die Fahrt und machen es unmöglich, Lagunen zu finden, in denen wir arbeiten können. Dicke Eisfelder und treibende Eisbrocken gefährden Drähte, Kabel und Instrumente. Hoher Seegang bringt Wasser an Deck, lässt Geräte wie den Multicorer so am Draht pendeln, dass sie kaum zu halten sind, und verwandelt leichte Planktonnetze in Flugdrachen.

Larsen-A: Das marine Leben im Gebiet des zerbrochenen Eisschelfs hält einige Überraschungen für uns bereit: Seeigel, Schlangensterne und Haarsterne neben Seescheiden und Schwämmen, die zum Teil beachtliche Größe erreichen. Wie in einer Schneeglöckchenwiese bevölkern hunderte kleine Seenenken (Aktinien) den Boden. Insgesamt ist die Bodentiergemeinschaft hier aber nicht gerade reich.

In Larsen-B sendet der Tauchroboter (ROV) faszinierende Bilder live vom Meeresgrund: Gelbe, gestielte „Seelilien“ (Crinoiden) sitzen in kleinen Gruppen auf Steinen und wenden die Unterseite ihres Tentakelkranzes der Strömung zu. Unglaublich, dass diese Gruppe seit 500 Millionen Jahren die Erde bevölkert. Die gestielten Formen sind eigentlich auf die Tiefsee beschränkt und hier bei Larsen wohl ein Relikt der nahrungsarmen Tiefseebedingungen unter dem Eisschelf. Die schwimmende Form ist möglicherweise erst nach dem Kollaps des Eises eingewandert und wird sich langfristig vermutlich durchsetzen. Auffällige Organismen sind auch die Seegurken, vor allem die vom „Sparschwein-Typ“, die sonst eher im Tiefen heimisch sind. Trotz dieser interessanten Beobachtungen ist festzustellen, dass die Fauna von Larsen-B neun Jahre nach dem Kollaps des Eisschildes noch weit von der Normalität entfernt ist.

Die eigentliche Überraschung aber ist Larsen-C. Die Schlick-Steinholts und die Grundscheppnetzfänge sind fast noch jämmerlicher als in Larsen B. Sie enthalten kaum Fische, aber Seegurken und Schlangensterne. Warum leben hier nur so wenig Arten? Doch selbst in diesen kümmerlich besiedelten Gebieten macht das ROV einzigartige Bilder: Ein großer roter Seestern, den wir öfter zerbrochen im Netz haben, sitzt ähnlich wie die Haarsterne auf Steinen und fängt mit seinen Armen Partikel. Zweimal trifft das ROV auf Kraken mit leuchtend grünen Augen. Wir setzen das benthopelagische Schleppnetz ein, um zu sehen, was an Fischen in der Wassersäule lebt. Das Ergebnis, 20 Kilo Eiskrill und zwei Dutzend Fischchen bis 7 cm Länge, ist mager und entspricht der ärmlichen Situation am Boden. Wir schließen die Arbeiten in Larsen C mit der Erkenntnis ab, dass hier keine reichere Schelffauna existiert, aus der sich die freigewordenen Flächen in A und B schnell besiedeln könnten. Über die Gründe können wir vorerst nur spekulieren.

Ein mit Hydrokorallen (rosa), Moostierchen (braun), Röhrenwürmern (weiß) und einem Schlangensterne bewachsener Stein außerhalb der früher vom Larsen-Eisschelf bedeckten Fläche zeigt das Besiedlungspotential dieses Gebietes.
Foto: T. Lundäl

‚Polarstern‘ an der Schelfeisküste.
Foto: AWI

Dicke, graue Wolken hängen über der weitgehend geschlossenen Meereisfläche. Es ist überwiegend mehrjähriges Eis von beträchtlicher Dicke mit einer Schneeeauflage bis zu einem Meter. Nach einem Aufklärungsflug des Hubschraubers ist klar, dass wir nur die Corer einsetzen können. Mehrere Multicorer kommen mit Seegurken hoch, Videobilder zeigen auf hellem Weichboden „Sparschweine“ und andere Seegurken, Würmer und Schlangensterne.

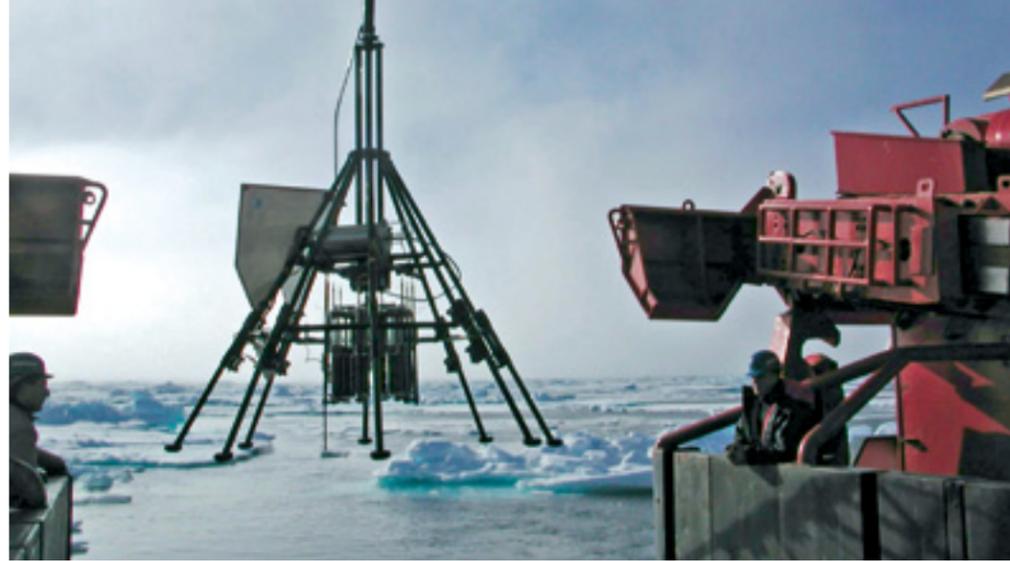
Wir dampfen nordwärts durch Zyklopen-Eisberge, früher wohl Teile des Larsen-Eisschelfs, die sich oft höher türmen als die Aufbauten der ‚Polarstern‘. Die Sicht voraus ist grottenschlecht, manchmal ist die Höhe der Eisklötze erst im letzten Moment zu erkennen, aber Kapitän Pahl und seine Steuerleute finden immer eine Lücke. Einige Tage später wird es heller. In der küstennahen Station Larsen A Süd setzen wir das ROV ein. Eine Menge Krill schwimmt in Bodennähe um die Scheinwerfer. Die Gemeinschaft ähnelt der letzten in Larsen B, mittelgroße Glasschwämme sind hier nicht selten, junge kommen weniger häufig vor. Die gestielten Seescheiden, die wir hier vor ein paar Jahren als weitgehend monospezifische Gemeinschaft gefunden haben, sind fast völlig verschwunden. Insgesamt hat diese Gemeinschaft anderthalb Jahrzehnte nach dem Eisschelfabbruch einen recht hohen Entwicklungsstand erreicht und zeigt eine beachtliche Artenvielfalt.

Nach etlichen Tagen Arbeit genießen wir zum Abschied von Larsen noch einmal einen jener Tage in der Antarktis, die man nie vergisst. Die Sonne steigt um halb zehn Uhr Bordzeit als Feuerball im Osten aus dem Meer und taucht die Neueisflächen um das Schiff und die schnee- und eisbedeckte Bergkette der Halbinsel im Westen in schnell wechselnde Farbtöne von rot über rosa bis weiß. Als dann noch die orangefarbenen Bojen einer Verankerung ohne Probleme an die Oberfläche kommen, scheint das Glück perfekt. Doch natürlich wissen wir: Dies ist eine Sternstunde, auf die wieder andere Tage folgen werden – spätestens bei der mühsamen Auswertung unserer auf dieser Expedition gewonnen Proben und Daten geht die Arbeit an Land erst richtig los.



Waschen eines Schlickhols aus dem Agassiztrawl bei heftigem Schneetreiben an Bord der ‚Polarstern‘. Die Seegurke *Protelpidia murrayi* zieht sich zusammen, wenn sie im Fang an Deck kommt, und nimmt die Form eines Sparschweins an.
Fotos: W. Arntz, AWI

Mulicorer (MUC) zur Gewinnung ungestörter Sedimentproben. Der MUC wird kabelgebunden zum Meeresboden abgesenkt. Plexiglasrohre stechen ca. 30 cm lange Sedimentkerne aus dem Meeresboden. Auf diese Weise ist es möglich, kleinste im Sediment lebende Organismen (Meiofauna) zu fangen. Foto: I. Schewe, AWI



Tiefsee-Observatorium in der Arktis: Klimawandel beeinflusst das Leben am Meeresgrund

Die Arktis ist weltweit eine der vom Klimawandel am stärksten betroffenen Regionen. Die Eisbedeckung schwindet zunehmend. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung zeigen sich aber nicht nur an der Wasseroberfläche, sondern wirken sich bis in die Tiefsee aus – mit unabsehbaren Folgen für das marine Ökosystem. In Langzeitstudien beobachten Tiefseeforscher des AWI die Lebensgemeinschaften am Meeresboden.

Polare Organismen sind in hohem Maße an konstante Umweltbedingungen angepasst. Schon kleinste Veränderungen bedeuten für diese Lebensgemeinschaften eine große Herausforderung. Seit 1999 untersuchen die Tiefsee-Forscher des AWI in ihrem HAUSGARTEN, einem Langzeit-Observatorium in der Framstrasse, das Leben am Meeresgrund. Hier, in dem tiefen Gateway zwischen Grönland und Spitzbergen auf 79° nördlicher Breite, strömt relativ warmes Atlantikwasser ein. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf dieses besondere Ökosystem sind schon heute deutlich zu erkennen. „Unsere Untersuchungen im HAUSGARTEN zeigen, dass sich Veränderungen biogeochemischer und physikalischer Prozesse in der Wassersäule, entgegen früherer Erwartungen, rasch auch bis hinab in große Wassertiefen auswirken und die Zusammensetzung und Funktionsabläufe innerhalb des Ökosystems Tiefsee beeinflussen“, berichtet der Ökologe Dr. Ingo Schewe.

In der Tiefsee kann keine Primärproduktion durch Photosynthese stattfinden. Es fehlt das dafür benötigte Licht, denn ab 600 Meter Wassertiefe ist es fast völlig dunkel. Die Bewohner der Tiefsee sind deswegen von dem Nahrungseintrag aus den lichtdurchfluteten Schichten der Wassersäule abhängig. Die bereits beobachteten Veränderungen in der Zusammensetzung der Planktongemeinschaften beeinflussen die Quantität und Qualität dieses Nahrungsangebots sowie seine Verteilungswege. Um diese Veränderungen nachzuvollziehen und die Folgen besser abschätzen zu können, führen die Wissenschaftler jedes Jahr während der Sommer-

monate umfangreiche Beobachtungen und Experimente in Wassertiefen von 1.000 bis 5.500 Metern durch. Sie untersuchen Organismen aller Größenklassen – von kleinsten Bakterien, die mit bloßem Auge nicht zu sehen sind, bis hin zu Megafauna-Organismen, die mehrere Zentimeter messen können. Weil die Besiedelung des Meeresbodens durch Tiefsee-Organismen in einem erheblichen Maße durch absinkende Nahrungspartikel und deren Umlagerung am Meeresboden durch Strömungen und Bodentopographie beeinflusst wird, geben umgekehrt die groß- und kleinräumigen Verteilungsmuster und die Artenzusammensetzung der Organismen Aufschluss über die Dynamik der Lebensumstände am Tiefseeboden.

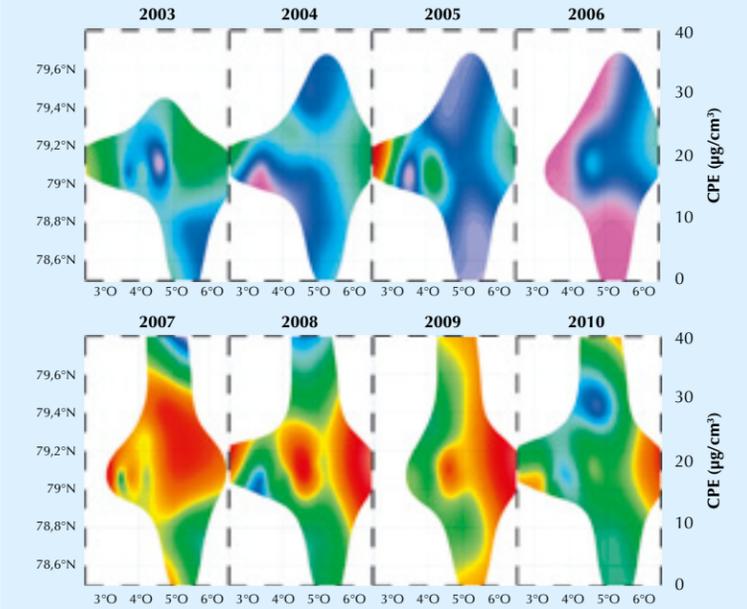
Das Leben am Meeresgrund spielt sich im und auf dem Sediment ab. Mit Hilfe eines video-unterstützten Mulicorers (MUC) oder auch mit ferngesteuerten Unterwasserrobotern (ROV) werden Proben aus dem Tiefseeboden gezogen. Dabei ist es wichtig, möglichst kein Sediment „aufzuwirbeln“, um auch die Oberfläche des Meeresbodens zu erfassen. Anhand solcher „ungestörter Proben“ werden mögliche Ursachen für unterschiedliche Verteilungs- und Aktivitätsmuster von Bakterien und kleinsten Organismen am Meeresboden untersucht und Verschiebungen innerhalb ihrer Gemeinschaften mithilfe mikrobiologischer und biogeochemischer Techniken bestimmt.

Bei den Untersuchungen der Meiofauna, Organismen von einer Körpergröße zwischen 32-500 µm (1 µm = 0,001 Millimeter), stehen Foraminiferen (Gehäuse bildende Einzeller) und Nematoden

(Fadenwürmer) sowie deren Gemeinschaftszusammensetzung im Vordergrund. Für die Beschreibung der Individuendichte, der Zusammensetzung und der Diversität von Makrofauna-Gemeinschaften, Organismen mit einer Körpergröße zwischen 0,5 bis 2 cm, werden Sedimente analysiert, die mit Großkastengreifern gewonnen werden. Großräumige Verteilungsmuster der Epi-Megafauna-Gemeinschaften (Körpergrößen über 2 cm) werden mithilfe bildgebender Verfahren erfasst und charakterisiert. Dabei werden auch vom Schiff geschleppte Photo-/Videosysteme und Grundschleppnetze eingesetzt.

Um den Nahrungseintrag in der Tiefsee zu ermitteln, bestimmen die Wissenschaftler den Gehalt von chloroplastischen Pigmenten in den Sedimenten und messen die Gesamtatmung aller benthischen Lebewesen. Beides hängt vom Eintrag des organischen Materials aus der Primärproduktion der oberen Wasserschichten ab. „Wir stellen bereits eine fortschreitende Veränderung in der Quantität und Qualität des Nahrungseintrages in verschiedenen Wassertiefen fest. Diese Veränderungen spiegeln sich auch in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften wieder“, so Benthosökologin Dr. Melanie Bergmann. So habe der Gehalt von organischem Material in den Jahren 2000 bis 2006 in einer Wassertiefe von 2500 Metern abgenommen, sei dann in den folgenden Jahren aber wieder angestiegen. Im gleichen Zeitraum beobachteten die Forscher nicht nur eine Abnahme der Individuenzahlen der Megafauna-Organismen, sondern auch extreme Veränderungen in der Artenzusammensetzung ihrer Gemeinschaften, die möglicherweise auf den Eisrückgang und die Erwärmung der Meeresoberfläche zurückzuführen sind.

Das Leben in der Tiefe ist also eng an die Vorgänge an der Wasseroberfläche geknüpft. Dazu erklärt die Biologin Dr. Christiane Hasemann: „Wie groß der Anteil des Kohlenstoffes ist, der von der Meeresoberfläche, durch die Dämmerungszone hindurch, bis in die Tiefsee absinkt, ist hierbei eine der zentralen Fragen. Denn am Meeresboden angelangt, kann er nur noch durch die Bakterien und Kleinstlebewesen im Sediment recycelt werden, und wird so für lange Zeit dem atmosphärischen Kohlenstoffkreislauf entzogen.“



Nahrungseintrag am Meeresboden in 2500 m Wassertiefe in Form von im Sediment gebundenen chloroplastischen Pigmenten (CPE) im HAUSGARTEN Gebiet zwischen den Jahren 2003 und 2010. Die Pigmentkonzentration nimmt in den Jahren 2003 bis 2006 ab und steigt ab 2007 sprunghaft an. Grafik: I. Schewe, AWI



Meiofauna: *Leptolaimus spec.* De Man 1976. Ein männlicher freilebender Fadenwurm (Nematoda) aus dem Tiefseesediment. Foto: K. Vopel, AWI



Aufnahmen vom Tiefseeboden in 2500 m Wassertiefe. Die Bilder zeigen Megafauna-Organismen und ihre Lebensspuren, wie Grab- und Fraßgänge, Hügel und Höhlen. Fotos: M. Bergmann, AWI



Bergen einer Sinkstofffalle. Mehrere Sammelflaschen sind am unteren Ende des großen Trichters (Durchmesser von 0,5m²) angebracht. Durch eine Mechanik in programmierbaren Zeitintervallen werden sie unter den Trichter gefahren und sammeln absinkende Partikel. Sinkstofffallen können über lange Zeiträume von mehreren Monaten oder Jahren ausgebracht werden. Fotos: E. Bauerfeind, A. Kraft, AWI

Plankton-Regen im Gebiet des arktischen HAUSGARTEN: Was absinkende Partikel verraten

Mit Sinkstofffallen sammeln Wissenschaftler absinkende Partikel im Meer. Die integrativen Analysen dieser Proben weisen Änderungen der Phytoplankton-Gemeinschaft im Gebiet des HAUSGARTEN nach. Biologen des AWI haben jetzt herausgefunden, dass diese Veränderungen auf einen Einstrom wärmeren Wassers aus dem Atlantik hindeuten.

Biologisch-chemische Analysen

Organismen des Phytoplanktons benötigen zum Wachsen Licht und sind bestrebt, möglichst in den oberen Wasserschichten zu verbleiben. Sind die Nährstoffe in dieser Zone weitgehend aufgebraucht, werden vermehrt schleimige Substanzen produziert und ausgeschieden. Durch die Wirkung dieser Stoffe verkleben die Organismen miteinander und bilden Aggregate. Deswegen werden sie schwerer und beginnen zu sinken. Darüber hinaus werden die Partikel in Kotpillen, die vom Zooplankton, den Konsumenten des Phytoplanktons, produziert und ausgeschieden werden, in die Tiefe und letztlich zum Meeresboden transportiert. Durch diesen Vorgang des Absinkens wird organisches Material und damit Kohlendioxid (CO₂) von der Oberfläche des Meeres in die Tiefe verlagert. Wissenschaftler sammeln diese absinkenden Partikel mit sogenannten Sinkstofffallen, um sie dann im Labor untersuchen zu können. Die Ergebnisse der Analysen erlauben Rückschlüsse auf die vorherrschenden Prozesse und die Zusammensetzung der Planktongemeinschaften in den oberen Wasserschichten während eines Jahreszyklusses.

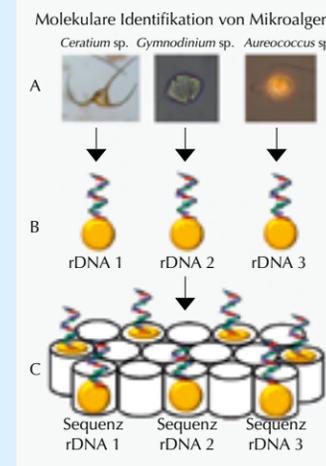
Chemische, mikroskopische und molekulargenetische Analysen

In der Vergangenheit wurde das Vorkommen skelettbildender Phytoplankter (Kieselalgen, Kalkflagellaten) oder auch Organismen des Zooplanktons (kleine Krebse, Flügelschnecken) und deren Veränderungen mit Hilfe mikroskopischer Verfahren

erfasst. Seit kurzem erlaubt der Einsatz moderner molekulargenetischer Methoden darüber hinaus auch Organismengruppen verlässlich zu charakterisieren, die mit mikroskopischen Methoden nicht identifiziert werden können, zum Beispiel Arten des Nano- und Picoplanktons. Molekulargenetische Methoden sind nahezu unabhängig von Größe und Morphologie der Mikroalgen. Die Charakterisierung der Mikroalgen basiert in diesem Zusammenhang auf der Untersuchung artspezifischer Sequenzunterschiede in ribosomalen Genen, die besonders gut für die Identifikation von Organismen geeignet sind.

Verschiebung der Phytoplankton-Gemeinschaft hin zu Arten des Nano- und Picoplanktons

In der Region des HAUSGARTEN, die auf die globale Erwärmung besonders empfindlich reagiert, zeigen sich deutliche Änderungen in den Sedimentationsmustern der einzelligen Organismen des Planktons. Die Wissenschaftler registrieren diese Veränderungen weniger in der Menge des sedimentierten Materials, sondern in dessen Zusammensetzung. Die Jahresmenge des sedimentierenden organischen Kohlenstoffes hat sich mit ungefähr 2-3 Gramm pro Quadratmeter nicht verändert, während die Menge des sedimentierten biogenen partikulären Silikates, ein Anzeiger für Kieselalgen, eine Abnahme von etwa 1,5 Gramm auf Werte von weniger als 0,6 Gramm aufweist. Mikroskopische Untersuchungen zeigen einen Anstieg von Kalkflagellaten.

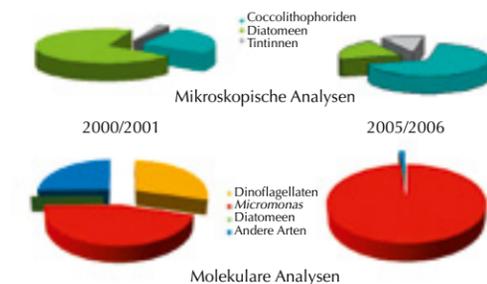


Molekulare Identifikation von Mikroalgen im Hochdurchsatzverfahren (454-Pyrosequenzierung): Wie jeder andere Organismus verfügen auch Mikroalgen über ribosomale Gene (rDNA) mit einer spezifischen Sequenz, anhand der unterschiedliche Arten identifiziert werden können (A). Neue Sequenzierverfahren bieten seit kurzem die Möglichkeit, Zusammensetzungen von marinen Mikroalgen-Gemeinschaften im Hochdurchsatzverfahren zu charakterisieren. Dazu werden die ribosomalen Gene der verschiedenen Arten vervielfältigt und auf Miniaturkügelchen vereinzelt (B). Die so vereinzelt ribosomalen Gene werden dann im Anschluss hochparallel sequenziert (C). Auf diese Weise ist es möglich, tausende von Arten einer Gemeinschaft gleichzeitig identifizieren zu können. Grafik / Foto: K. Metfies, AWI

„Darüber hinaus haben unsere molekulargenetische Analysen ergeben, dass im September bestimmte Arten des Picoplanktons den größten Teil der Phytoplanktonzahlen ausmachen und in Jahren mit geringem Auftreten von Kieselalgen deutlich höher waren, als in Jahren mit hohem Auftreten von Kieselalgen“, so die Biologin Dr. Katja Metfies. Eine Korrelation mehrerer Messgrößen im Einsatzgebiet der Sinkstofffallen deutet an, dass Temperatur und Eisbedeckung die Zusammensetzung der Mikroalgen-Gemeinschaft wesentlich beeinflussen. So ist die durchschnittliche Oberflächentemperatur im HAUSGARTEN in den Jahren mit vermehrtem Auftreten der Kieselalgen geringer und die Eisbedeckung länger, als in Jahren mit einem vermehrten Auftreten des Picoplanktons. Das heißt, höhere Wassertemperaturen begünstigen das Wachstum kleinster Mikroalgen in der Arktis, während sie sich negativ auf das Wachstum von Kieselalgen und anderen größeren Mikroalgen auswirken.

Der Biologe Dr. Eduard Bauerfeind vermutet: „Die beobachteten Veränderungen der Phytoplankton-Zusammensetzung im Gebiet des HAUSGARTEN parallel zu steigenden Oberflächentemperaturen sowie die Abnahme von kälteadaptierten kleinen Krebsarten sind als erste Auswirkungen eines erhöhten Wärmeeintrages in die Region anzusehen.“ Die Experten der AWI-Tiefsee-Gruppe wollen mit ihren integrativen Untersuchungsansätzen herausfinden, wie sich die mit einer wärmeren Oberflächentemperatur einhergehenden Veränderungen der Phytoplankton-Zusammensetzung in der Arktis zukünftig auf das gesamte marine Ökosystem in der Region auswirken.

Veränderung der Phytoplanktongemeinschaften in Sinkstofffallen



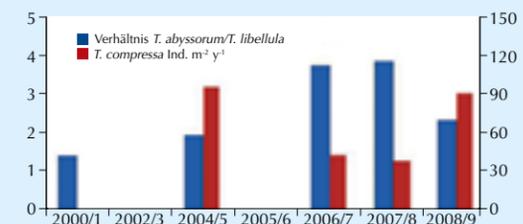
Relative Zusammensetzung von Plankton aus Sinkstofffallenproben zu Beginn der Untersuchungen und während einer Periode mit verstärktem Einstrom warmen Atlantikwassers (2005/6) in die Framstrasse. Dargestellt sind die Ergebnisse aus mikroskopischen und molekularen Analysen.

Grafik: E. Bauerfeind, K. Metfies, E.-M. Nöthig, AWI



Oben: Drei unterschiedliche Amphipoden-Arten von links nach rechts: *Themisto compressa*, *T. abyssorum* (beide wärmeliebend) und die kälteliebende Art *T. libellula*. Unten: Vorkommen kleiner Krebse (Amphipoden) in Sinkstofffallen und deren Änderung im Zeitraum 2000-2009.

Grafik/Fotos: A. Kraft, AWI



Pelagische Amphipoda - Verhältnis zwischen atlantischen und arktischen Arten.

Arktisches Mikroplankton (> 20 µm), kettenbildende Kieselalge *Thalassiosira sp.* und pflanzlicher Dinoflagellat *Ceratium arcticum*. Beide Vertreter gehören zum größeren Phytoplankton, das oft Blüten (Anhäufung von Biomasse) in der Nähe von schmelzendem Eis (Kieselalgen) oder in stabilen lichtdurchfluteten Wasserschichten im Spätsommer und Herbst (Dinoflagellaten) bilden kann. Fotos: S. Pfaff, E. Bauerfeind, AWI



Pelagische Arktisforschung stellt sich neuen Herausforderungen

Neue Methoden in der Molekularbiologie und Experimente zur Erwärmung und Versauerung der Ozeane ermöglichen tiefere Einblicke in die Welt des bisher wenig untersuchten Pico- und Nano-Planktons, das im Nahrungsgefüge des arktischen Freiwasserraumes im Zuge der globalen Erwärmung an Bedeutung gewinnt.

Die neueingerrichtete Arbeitsgruppe PEBCAO (Plankton Ecology and Biogeochemistry in a Changing Arctic Ocean) des AWI spürt die vielfältigen Veränderungen in der Arktis jetzt auch mit vielfältigen Methoden auf. In Verbindung mit Ergebnissen aus dem HAUSGARTEN bekommen die Forscher so ein umfassenderes Bild des Wandlungsprozesses in der Arktis.

Seit des drastischen Rückgangs des Meereises ist auch das Interesse an einer intensiveren Erforschung des freien Wassers und seiner Bewohner im Nordpolmeer gestiegen. Bisher wurde angenommen, dass dort die Primärproduktion aufgrund der exponierten Lage sowie der zusätzlichen Abdunklung durch das kompakte Meereis vergleichsweise gering ist. Zieht sich das Meereis nun immer stärker zurück, kann, trotz des vermehrten Lichtangebotes, nur eine bestimmte Menge an Biomasse aufgebaut werden. Grund: Algen-Wachstum wird

auch durch Stickstoff und Phosphor begrenzt. Allerdings entwickelt sich im nährstoffverarmten Wasser eine andere Population als im nährstoffreichen Ozean. Die Meeresbiologin Dr. Eva-Maria Nöthig erklärt: „Eine Verschiebung von großen, rasch wachsenden Kieselalgen bei ausreichenden Nährsalzen hin zur Dominanz kleinerer Arten im pflanzlichen Plankton, die auch noch durch ansteigende Wassertemperaturen begünstigt werden, hat eine Reihe von Konsequenzen für das gesamte marine Nahrungsgefüge, die Eisbären eingeschlossen.“

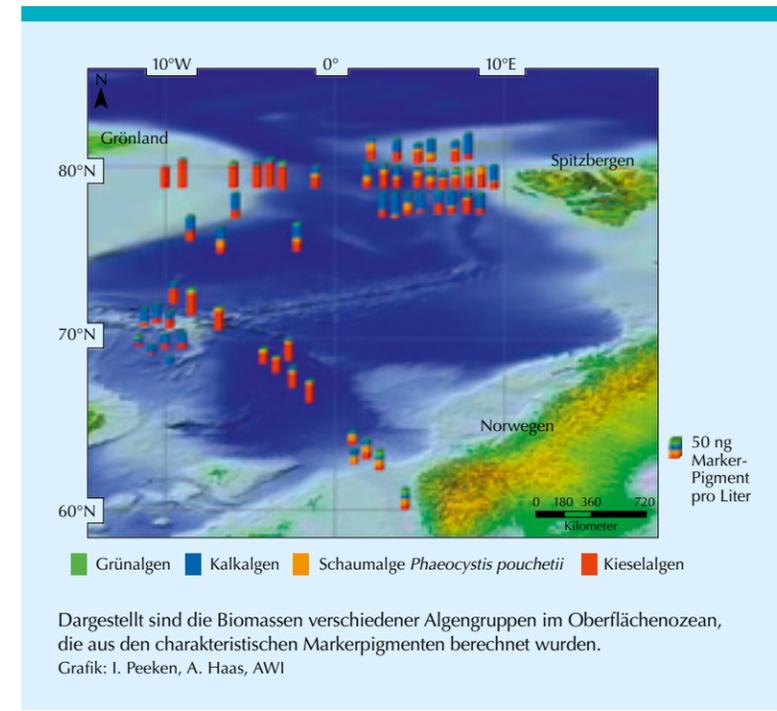
Pflanzenpigmente helfen bei der Artenanalyse
Phytoplankton baut mit Hilfe von Chlorophyll Biomasse auf. Messen Wissenschaftler zusätzliche Pflanzenfarbstoffe, sogenannte Marker-Carotinoide, können die im Meer lebenden Algengruppen gut identifiziert werden. „Das Wissen, welche Algengruppen im Untersuchungsgebiet dominieren, gibt

uns Aufschluss über die Wachstumsbedingungen und den Einstrom nicht polarer Arten in die Arktis“, so die Meeresbiologin Dr. Ilka Peeken. Atlantische Wassermassen werden im Wesentlichen durch die Kalkalgen, wie *Emiliania huxleyi*, dominiert. Kieselalgen finden sich überwiegend in Gebieten, die vom Eisrand beeinflusst sind. Im Bereich des HAUSGARTEN kommt es zu einer Vermischung unterschiedlicher polarer und atlantischer Wassermassen; hier taucht häufig die Schaumalge *Phaeocystis pouchetii* auf. Auf engstem Raum herrscht eine hohe Variabilität verschiedener Algengruppen. Darüber hinaus dominieren in dieser Region immer öfter auch besonders kleine Flagellaten, die zu der Gruppe der Grünalgen gehören und wegen ihrer sehr geringen Größe zum Pico- und Nanoplankton zählen.

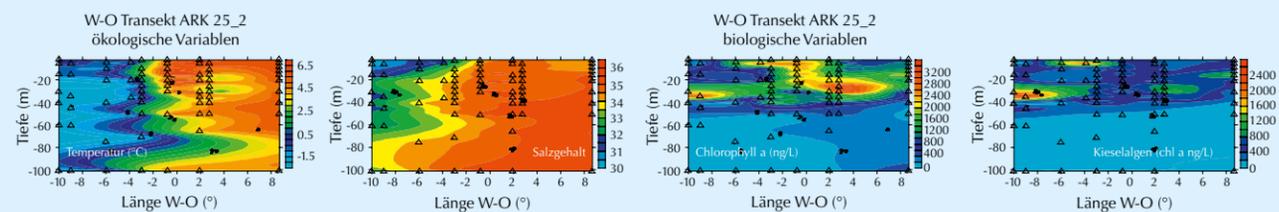
Bisher unbekannte „Plankton-Winzlinge“ erfasst
Mittels Mikroskopie können Pico- und Nanoplankton schlecht bis gar nicht erfasst werden. Deswegen nutzen Wissenschaftler modernste molekularbiologische Techniken, mit denen sie die Plankton-Winzlinge in ihre erblichen Bausteine zerlegen. Nur so kommt die bisher verborgene Artenvielfalt zu Tage. „Erste Untersuchungsergebnisse weisen auf eine große Vielzahl bisher unbekannter Picoplankter hin; wir nennen es „versteckte Biodiversität““ erläutert die Diplombiologin Estelle Kiliass. Trotz ihrer geringen Größe dominieren sie das Phytoplankton und können bei steigenden Temperaturen die Kieselalgen verdrängen. Die Folge: Die nächst höhere Stufe im pelagischen (frei schwimmenden) Nahrungsnetz, die Ruderfußkrebse (Copepoden), bekommen ein anderes Futter. „Wir haben eine Einwanderung von nicht polaren Ruderfußkrebsen beobachtet“ ergänzt die Zooplanktologin Dr. Barbara Niehoff.

Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf der Arktis

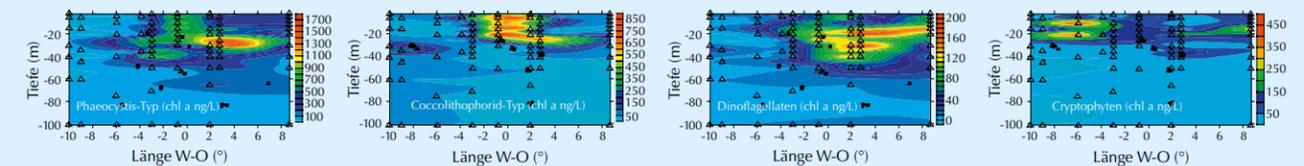
Mit dem Klimawandel ändern sich die Lebensbedingungen planktischer Mikroorganismen, die den Großteil der Stoffumsätze im Ozean leisten. Mehr als 40 Gigatonnen Kohlenstoff werden jährlich im Meer mittels Photosynthese, Wachstum und Zellatmung gebunden, umgesetzt und recycelt. Auch wird durch die gestiegene Konzentration an Kohlendioxid (CO₂) in der Luft eine Versauerung der Ozeane (Abnahme des pH-Wertes) erwartet.



Um zukünftige Veränderungen im Kohlenstoffkreislauf der Arktis verstehen und quantitativ abschätzen zu können, haben die Biologen des AWI Simulationsexperimente an Bord des Forschungseisbrechers ‚Polarstern‘ in der Grönlandsee durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen einen deutlichen Einfluss von Temperatur und pH-Wert auf die Aktivität mariner Mikroorganismen (Bakterien). Bei erhöhter Wassertemperatur werden in Zukunft potentiell mehr schleimige Substanzen (Transparente Exopolymere Partikel, TEP) produziert, die zu einem stärkeren Abtransport von partikulärem Kohlenstoff in größere Wassertiefen (Export) beitragen könnten. Die Diplom-Umweltwissenschaftlerin Mascha Wurst dazu: „Gleichzeitig profitieren viele Organismen von dem Angebot an gelösten organischen Verbindungen, die von den Bakterien produziert werden, wovon ein kleiner Teil in die Bildung von Biomasse geht, der Großteil allerdings auch wieder veratmet wird und somit als CO₂ zurück ins Meerwasser und gegebenenfalls in die Atmosphäre gelangt. Das Verhältnis zwischen Recycling- und Exportprozessen entscheidet dabei, ob der mikrobielle Stoffumsatz im Meer eine Senke oder Quelle für CO₂ in der Atmosphäre ist.“



Tiefenprofile zwischen Grönland und Spitzbergen bei 79° N für die Umweltparameter Temperatur, Salzgehalt und Algenbiomasse, sowie die aus den Markerpigmenten berechneten ökologisch relevanten Algengruppen. Grafik: A. Wisotzky, I. Peeken, AWI



Taucht auch unter Eis:
Mit dem autonomen
Unterwasserfahrzeug
(Autonomous Underwater
Vehicle, AUV) können
in bis zu 3000 Meter
Tiefe Messungen und
Probenahmen durch-
geführt werden.
Foto: M. Wust, AWI



FRAM-Observatorium: Live-Schaltung in die arktische Tiefsee geplant

Mit dem Tiefsee-Observatorium HAUSGARTEN hat das AWI einen hohen Standard gesetzt. Jetzt wird der Ausbau geprüft. Autonome Messsysteme mit neu entwickelten Sensorpaketen sollen zum Einsatz kommen, satellitengestützte Kommunikationssysteme einen zeitnahen Datentransfer garantieren. Die Anbindung an ein deutsch-norwegisches Kabelnetz vor Spitzbergen würde die Datenerfassung und -übertragung in Echtzeit ermöglichen. Forscher in aller Welt könnten dann über das Internet interaktiv auf Messinstrumente zugreifen.

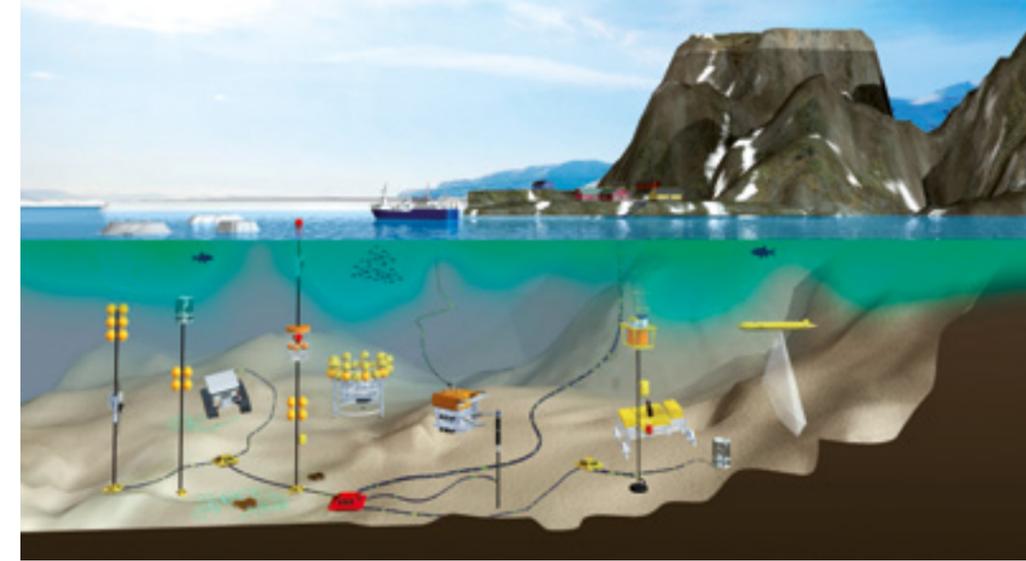
Leben am Grund der Tiefsee? Unmöglich – dachten Forscher früherer Generationen. Heute wissen wir: Der Meeresboden der Tiefsee ist ein strukturierter Lebensraum, dessen Artenvielfalt mit der von tropischen Regenwäldern und Korallenriffen vergleichbar ist. Warum das so ist, wurde über viele Jahre mit teilweise kontroversen Hypothesen erklärt. Um Licht ins Dunkle der Vermutungen zu bringen, entwickelten Wissenschaftler des AWI Ende der 90er Jahre die Idee, eine Tiefseedauerstation im Arktischen Ozean zu errichten. Sie wollten die vielfältigen Prozesse einer Tiefseeregion, die saisonal unter einer Eiskecke liegt, über längere Zeiträume interdisziplinär studieren.

An einer Langzeitstation im Übergangsbereich zwischen dem Nordatlantik und dem Arktischen Ozean sollten in der Framstraße biologische, chemische und physikalische Messwerte erfasst werden. Intern wurde diese Station zunächst HAUSGARTEN genannt – ein Arbeitstitel, der längst zum Synonym für internationale Spitzenforschung in der Tiefsee geworden ist.

Das Erdsystem-Observatorium HAUSGARTEN besteht mittlerweile aus 17 Stationen in einem Ost-West-Transept (Wassertiefen von 1.000 - 5.500 Meter) und einem Nord-Süd Transept in 2.500

Meter Tiefe von der sommerlich meist eisbedeckten bis zur eisfreien Zone. Die Stationen werden seit Beginn der Datenerhebungen mindestens einmal jährlich beprobt. An maximal drei Positionen werden jedes Jahr Verankerungen mit Messinstrumenten und Sinkstofffallen zum Meeresboden herabgelassen. Damit werden Daten und biologische Proben gesammelt, um Prozesse in der Wassersäule über einen gesamten Jahreszyklus zu untersuchen. Darüber hinaus führen die Wissenschaftler verschiedene biologische Kurz- und Langzeitexperimente im zentralen HAUSGARTEN durch. „Diese einander ergänzenden methodischen Ansätze erlauben uns, über biologische, geochemische und sedimentologische Parameter saisonale und interannuelle Veränderungen und ihre Auswirkungen zu identifizieren“, sagt der Tiefsee-Biologe Dr. Michael Klages.

Der HAUSGARTEN wird seit Beginn als autonomes, sogenanntes „stand-alone“ Observatorium betrieben. Zahlreiche wissenschaftliche Fragestellungen können damit aber nur eingeschränkt oder gar nicht bearbeitet werden, da beispielsweise die Energieversorgung von Messgeräten über Batterien mit ihrer beschränkten Kapazität erfolgt, oder auf spontane, unvorhersehbare Ereignisse im



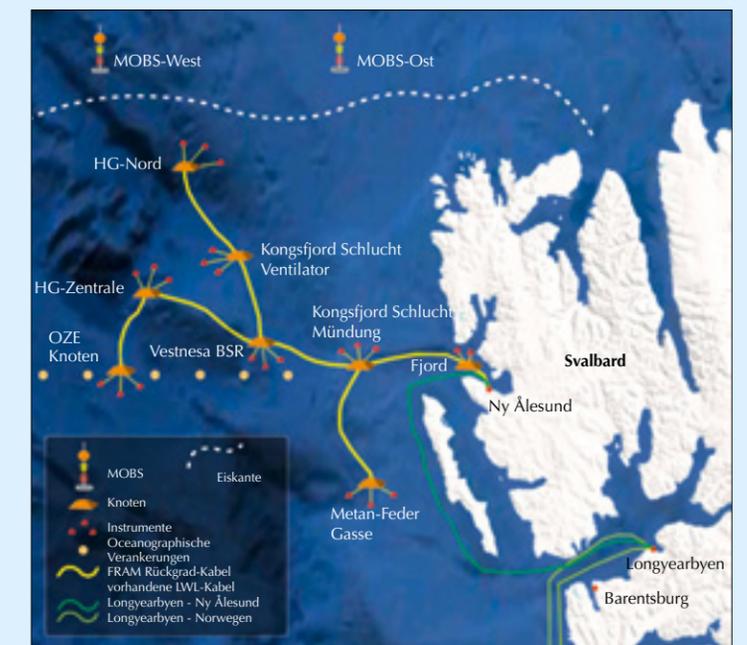
Technische Vision des multidisziplinären modularen Observatoriums FRAM (FRontiers in Arctic marine Monitoring) westlich von Spitzbergen.
Grafik: S. Lüdeling, Konsortium Deutsche Meeresforschung

Laufe eines Jahres nicht schnell reagiert werden kann, da erst nach Bergung der Messgeräte im folgenden Nordsommer derartige Ereignisse aus den Daten abgeleitet werden können. „Die Lösung dieser und vieler anderer Beschränkungen wäre durch eine Kabelanbindung an Land gegeben“, so Klages. Faseroptische und stromführende Kabel sind bereits in anderen Tiefseeobservatorien vor der kanadischen Pazifikküste, im Mittelmeer oder auch vor Japan installiert und leisten dort wertvolle wissenschaftliche Dienste.

Deswegen wird derzeit die Erweiterung des HAUSGARTEN-Observatoriums geprüft. Angesichts des jüngsten Berichts des Internationalen Rates zum Globalen Wandel, in dem prognostiziert wird, dass sich Klimaveränderungen insbesondere in der Arktis ungleich schneller auswirken werden als andernorts, ist das Interesse, an langfristig konzipierten Forschungsarbeiten an einer besonders empfindlichen Schnittstelle zwischen Nordatlantik und dem zentralen Arktischen Ozean mitzuwirken, international stark gestiegen. Mit dem geplanten FRAM-Observatorium (FRontiers in Arctic marine Monitoring) werden künftig auch oberflächennah autonome Messsysteme eingesetzt, die neu entwickelte biogeochemische Sensorpakete enthalten und die mittels verankerter Windensysteme zwischen einigen Hundert Metern Tiefe und der Ozeanoberfläche profilieren.

Ein zeitnaher Datentransfer soll zunächst durch satellitengestützte Kommunikationssysteme realisiert werden. In einem weiteren Ausbauschnitt soll die Anbindung von FRAM an ein geplantes deutsch-norwegisches Kabelnetz vor Spitzbergen erfolgen. Damit wäre Datenerfassung und -transfer in Echtzeit möglich. Über das Internet können Forscher dann interaktiv auf Messinstrumente zugreifen. Das würde dann eine direkte Reaktion auf zufällige und periodische Ereignisse, wie z.B. Tiefenwasserbildung, Algenblüten oder Sedimentationereignisse erlauben. Tiefsee-Experte Dr. Thomas Soltwedel über das Projekt: „Durch die

Zusammenführung und schnelle Verfügbarkeit von Daten trägt FRAM nicht nur zur Grundlagenforschung bei, sondern leistet einen substantiellen Beitrag zur Verbesserung der Vorhersagen integrierter Ökosystem- und Klimamodelle und zu nachhaltiger Nutzung und Schutz des Ozeans.“



Schematische Darstellung des geplanten multidisziplinären FRAM (FRontiers in Arctic marine Monitoring) observatory westlich von Spitzbergen. Autonome Messsysteme und neue Sensor-Pakete werden ebenso installiert wie ein Satelliten-Kommunikationssystem, welches einen Echtzeit-Datentransfer ermöglichen wird.
Grafik: N. Lochthofen, AWI



Wichtige Quellen für gelöstes organisches Material: Eisalgen im Meereis der Polargebiete und die arktischen Permafrostgebiete.
Fotos: AWI

DOM – das molekulare Gedächtnis der Ozeane

Kohlenstoff ist der Baustein allen irdischen Lebens. Eines der größten aktiven, organischen Kohlenstoffreservoirs der Erde liegt im DOM. Die Abkürzung steht für „dissolved organic matter“. Dieses gelöste organische Material im Meer hat Forschern lange Zeit viele Rätsel aufgegeben. Wissenschaftler des AWI konnten einige dieser Geheimnisse jetzt erstmals entschlüsseln und zeigen, welche große Bedeutung das DOM im globalen Kohlenstoffkreislauf hat.

Es ist fast unvorstellbar: Die globale Menge des im DOM gespeicherten Kohlenstoffs beträgt 622 Milliarden Tonnen (622 Gt) und ist vergleichbar mit der Gesamtmenge an Kohlenstoff im atmosphärischen Kohlendioxid (CO₂), die bei 790 Gt liegt, sowie der der Landpflanzen mit 610 Gt. Es übertrifft deutlich die Menge des Kohlenstoffs, der in marinen Tieren, Pflanzen und Bakterien gespeichert ist, nur weniger als 3 Gt, um das 200-fache.

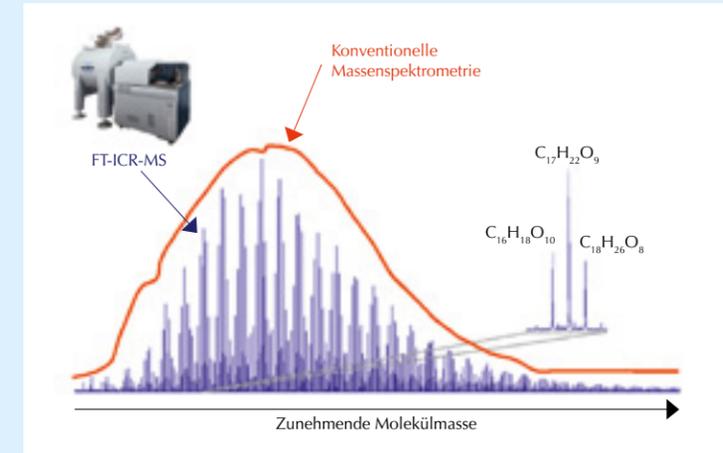
Das organische Material wird durch Landpflanzen und Plankton, den sogenannten Primärproduzenten, bei der Photosynthese aus atmosphärischem CO₂ aufgebaut. Das daraus gebildete DOM gelangt über die Flüsse in die Ozeane, oder wird direkt durch marines Plankton im Wasser oder Meereis und bei dessen Abbau freigesetzt. Hier kann sich DOM an Spurenmetalle wie zum Beispiel Eisen binden und ist somit mitbestimmend bei dessen Verteilung im Meer.

In den Küstenregionen und im offenen Ozean wird ein Teil des DOM als wichtigste organische Energiequelle durch Bakterien aufgenommen und mineralisiert. Das entstehende CO₂ löst sich im Wasser und steht wieder mit der Atmosphäre im Austausch. Ein kleiner Anteil des frischen Materials wird jedoch chemisch verändert und widersteht dem Abbau für durchschnittlich 5000 Jahre. Aus chemischer Sicht ist dieser Vorgang sehr ungewöhnlich. Die sauerstoffreiche Wassersäule sollte einen raschen mikrobiellen Abbau

des organischen Materials und die anschließende Freisetzung als CO₂ begünstigen. Entgegen dieser Erwartung bleibt ein erheblicher Teil des atmosphärischen Kohlenstoffs aber im DOM der Ozeane gespeichert und zirkuliert so über lange Zeitskalen mit den globalen Meeresströmungen. Dadurch wirkt marines DOM als Puffer im organischen Kohlenstoffkreislauf. Die Freisetzung von nur 1% des im DOM gespeicherten Kohlenstoffs in den Ozeanen hätte einen CO₂-Anstieg in der Atmosphäre zur Folge, der dem jährlichen anthropogenen Beitrag durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe nahekommt.

Trotz der offensichtlich großen Bedeutung des DOM war dessen Einordnung in den globalen Kohlenstoffkreislauf bislang kaum möglich. Die komplexe Zusammensetzung des DOM stellt eine enorme analytische Herausforderung dar. Als Folge gibt es nur unzureichende Informationen über die exakten Quellen, die Abbau- und Bildungsprozesse sowie die Bindungsmechanismen mit Mineralien und Schwermetallen.

Ein Schlüssel zur Beantwortung dieser offenen Fragen ist die Aufklärung der molekularen Zusammensetzung des DOM. Mit Hilfe von spezifischen Substanzen, sogenannten Biomarkern, lassen sich Aussagen zu Quellen oder Transformationsprozessen treffen. Die Voraussetzung für die Tauglichkeit solcher Biomarker ist deren Stabilität über lange Zeitskalen.



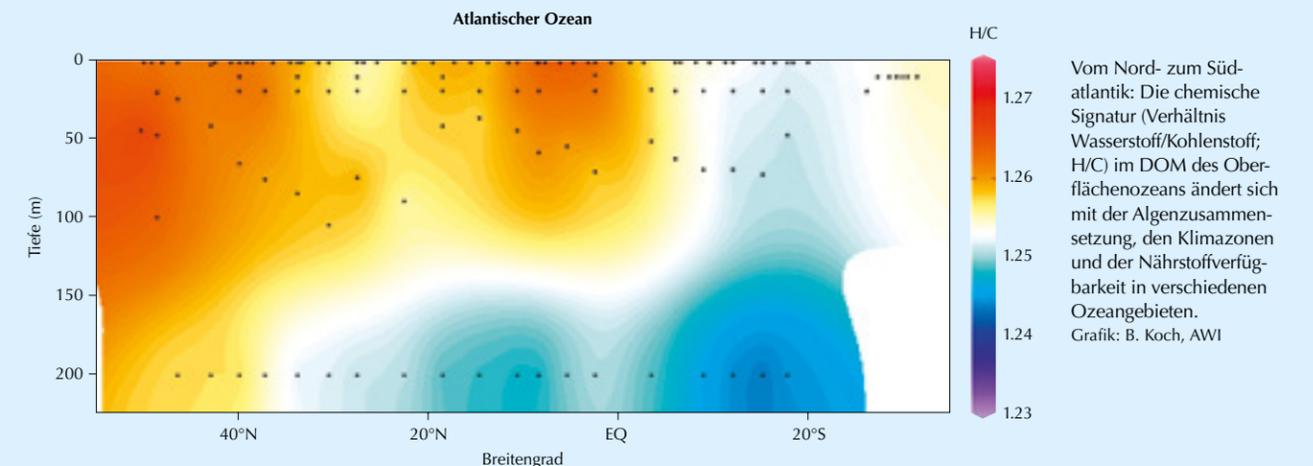
Fourier Transformation Ionen Zyklotron Resonanz Massenspektrometrie (FT-ICR-MS): Im Gegensatz zu konventionellen massenspektrometrischen Methoden (rotes Spektrum) können in jeder einzelnen Probe tausende Substanzen detektiert, getrennt und die zugehörigen Elementzusammensetzungen (Summenformeln) ermittelt werden.
Grafik: B. Koch, AWI

Der Einsatz der sogenannten „Fourier Transformation Ionen Zyklotron Resonanz Massenspektrometrie“ (FT-ICR-MS) bedeutete einen Meilenstein für die Analyse natürlicher hochkomplexer organischer Mischungen und die Umsetzung der Ziele in der marinen DOM-Forschung. Die FT-ICR-MS ist durch ein enorm hohes Massenaufschließungsvermögen gekennzeichnet. Das bedeutet, dass sich das Gewicht einzelner Moleküle, vergleichbar mit einer hochpräzisen Waage, extrem genau bestimmen lässt. Man kann Molekülgewichte bestimmen, die sich um weniger als der Masse eines Elektrons unterscheiden. Dafür wird ein sehr starker Magnet benötigt, der ein Magnetfeld von der 250.000-fachen Stärke des Erdmagnetfeldes erzeugt.

Aus den mehreren tausend Massen, die sich so in einer DOM-Probe bestimmen lassen, kann die Elementzusammensetzung einzelner Moleküle berechnet werden. Damit hat sich erstmals eine Möglichkeit ergeben, umfangreiche molekulare Informationen über das DOM zu erlangen. So zeigte sich, dass DOM in der antarktischen Tiefsee

einen signifikanten Anteil an polyaromatischen Kohlenwasserstoffen enthält, die vermutlich aus Verbrennungs- oder thermischen Prozessen stammen, wie sie zum Beispiel in Hydrothermalquellen oder bei der Verbrennung fossiler Energieträger stattfinden.

Jüngste Studien belegen, dass die molekulare Zusammensetzung der organischen Substanzen im Ozean von vielen verschiedenen Faktoren abhängt. Sie ändert sich zum Beispiel mit der Algenzusammensetzung, den Klimazonen und der Nährstoffverfügbarkeit in verschiedenen Ozeangebieten. Vergleichbar mit einem Datenspeicher stellt das DOM somit ein Spiegelbild der „Geschichte“ einer Wassermasse dar, dessen Potential hinsichtlich globaler Stoffkreisläufe bislang noch ungenutzt ist. Mit Hilfe dieses Informationsspeichers soll unter anderem geklärt werden, warum einige Anteile des organischen Materials im Meereis und im sibirischen Permafrost als CO₂ in die Atmosphäre überführt werden, während andere Anteile als stabile Moleküle im DOM Puffer des Meeres verbleiben.



Vom Nord- zum Südatlantik: Die chemische Signatur (Verhältnis Wasserstoff/Kohlenstoff; H/C) im DOM des Oberflächenozeans ändert sich mit der Algenzusammensetzung, den Klimazonen und der Nährstoffverfügbarkeit in verschiedenen Ozeangebieten.
Grafik: B. Koch, AWI

Der eisbedeckte See El Gygytgyn („Weißer See“) in der baumlosen Landschaft Nord-Ostsibiriens. Foto: S. Quart



Sibirische Wälder auf dem Weg nach Norden – Auswirkungen auf das Klima und die Biodiversität

Die arktische Tundra – ein einzigartiges Ökosystem. Die Biologen der AWI-Forschungsstelle Potsdam untersuchen dort See-Sedimente, in denen sich die Vegetationsgeschichte der nördlichen Breiten ungestört abgebildet hat. Informationen früherer Warmzeiten dienen als Analoge, um die zukünftige Vegetationsentwicklung und deren Einfluss auf die Änderung des Klimas und der Biodiversität vorherzusagen.

Die arktische Tundra ist erdgeschichtlich gesehen ein sehr junges Ökosystem. Erst zum Ende des Pliozäns vor etwa 3 Millionen Jahren wurde es mit dem Einsetzen der Eiszeitzyklen auf der Erde kalt genug für eine baumlose Vegetation in den nördlichen Breiten. Im Laufe der Zeit hat sich ein einzigartiges Ökosystem entwickelt, das mit dem Voranschreiten der Waldgrenze Richtung Norden im Zuge des globalen Klimawandels zu verschwinden droht. Insbesondere in Sibirien ist die Gefahr groß, da hier nur noch ein dünnes Band arktischer Tundra zwischen der borealen Waldgrenze und der Kontinentgrenze zum arktischen Ozean existiert.

Im äußersten Norden Russlands liegt ein See, der vor 3,6 Millionen Jahren durch einen Meteoriteneinschlag entstanden ist. Die Tschuktschen nennen ihn El Gygytgyn („Weißer See“), denn er ist nur wenige Wochen im Jahr eisfrei. Wenn das Eis taut, sinken alle darin und darauf abgelagerten Partikel auf den Seeboden. Im Laufe der vergangenen Millionen Jahre haben sich so in dem See mehrere hundert Meter Sediment angesammelt, die im Rahmen einer internationalen Bohrkampagne geborgen wurden. Dieses Klimaarchiv der Tundra ist viel vollständiger als die Ablagerungen an den sibirischen Küsten zur Arktis, die durch Eisverschiebungen immer wieder umgeschichtet wurden.

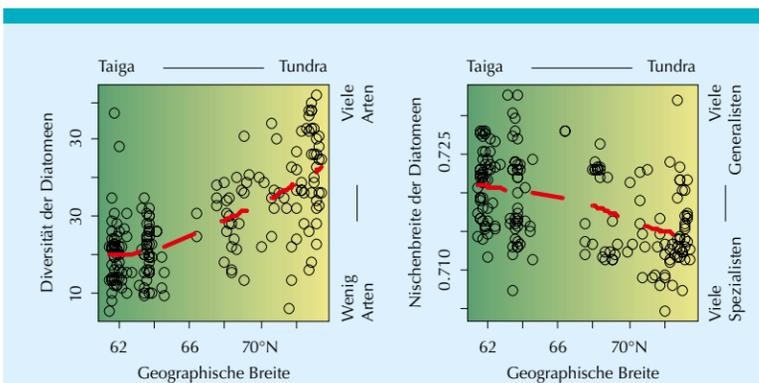
Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem AWI, der Universität zu Köln und russischen Wissenschaftlern durchgeführte Pollenuntersuchungen dieser Sedimente zeigen, wie sich die Artenvielfalt der arktischen Tundra seit ihrem Ursprung im Pliozän entwickelt hat. Dazu Prof. Dr. Ulrike Herzschuh: „Wir gehen dabei von der Hypothese aus, dass die Artenarmut der Tundren-

vegetation darauf zurückzuführen ist, dass durch das Verringern des Lebensraumes für arktische Pflanzen im Zuge von zwischeneiszeitlichen Warmzeiten immer wieder einzelne kalttolerante Pflanzenarten ausgestorben sind, was über einzelne Klimazyklen hinweg zu einer Verarmung führte. Unsere Untersuchungen geben somit darüber Aufschluss, wie sich die, nach allen bisherigen Erkenntnissen, erwartbare Ausdehnung der Waldgrenze nach Norden auf die Biodiversität auswirkt.“ Dabei betrachten die AWI-Forscher jedoch nicht nur die Auswirkungen auf die Vegetation an Land, ihr Interesse gilt auch den Seeökosystemen, für deren Zusammensetzung und Funktion es eine entscheidende Rolle spielt, auf welcher Seite der Waldgrenze sie sich befinden. „Unsere Untersuchungen von Kieselalgenvergesellschaftungen aus Seen entlang eines Nord-Süd-Transseks in Jakutien ergab, dass die Diversität in den meisten arktischen Seen besonders hoch ist und dass hier besonders viele spezialisierte Kieselalgenarten vorkommen, also solche, die nur eine enge ökologische Nische besetzen. Eine Abnahme der biologischen Vielfalt an Diatomeen in Jakutien ist also in erster Linie auf die Veränderung der Waldgrenze zurückzuführen und nur indirekt auf die Erhöhung der regionalen Temperaturen“, so Herzschuh.

Im Gegensatz zu dem gut dokumentierten Fortschreiten der Waldgrenze in Nordeuropa oder Nordamerika beruht das Wissen über Waldgrenzverschiebungen im Zuge der Erwärmung in Nordsibirien bisher nahezu ausschließlich auf Simulationen. Da in Sibirien, im Gegensatz zu allen anderen zirkum-arktischen Regionen, mit der Lärche ein sommergrüner Nadelbaum die Waldgrenze bildet, ist die Verlässlichkeit der

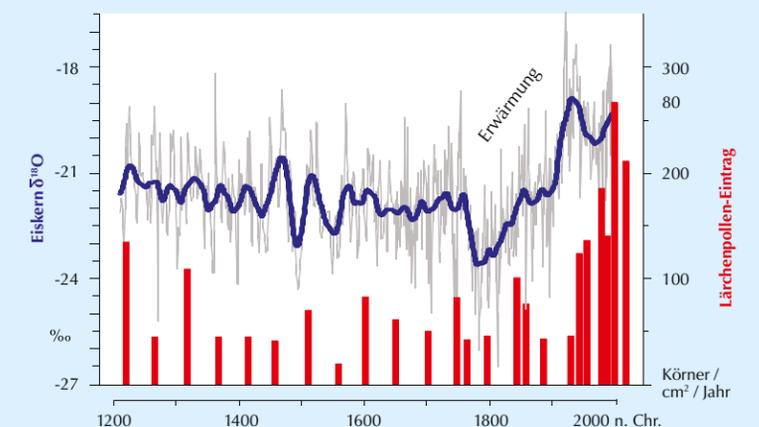
meisten ökologischen Modelle gerade in dieser Region sehr wenig erprobt. Insbesondere ist bisher ungeklärt, mit welchem zeitlichen Verzug Lärchen – mit ihrem besonders langen Generationszyklus – auf Temperaturerhöhungen reagieren. Die Studien konzentrieren sich daher nicht nur auf die Erforschung der Waldgrenzverschiebungen in der geologischen Vergangenheit, sondern auch auf die Veränderungen seit dem Beginn der von Menschen verursachten Temperaturerhöhungen vor zirka 200 Jahren. „In Ermangelung von Beobachtungszeitreihen nutzen wir auch für die jüngere Vergangenheit Seesedimentbohrkerne als Umweltarchive, die wir mit hoher zeitlicher Auflösung untersuchen“, erklärt Herzschuh. Ein Vergleich der jährlichen Sedimentationsrate von Lärchenpollen – einem Indikator für das Vorkommen dieser Koniferenart um den See – mit hoch aufgelösten Klimazeitreihen, zum Beispiel aus Eisbohrkernen von der arktischen Inselgruppe Sewernaja Semlja, zeigt: Die Wälder entwickeln sich nicht vollkommen parallel zu den Temperaturen; vielmehr muss mit Ausbreitungsverzögerungen gerechnet werden. Anhand derartiger Punktuntersuchungen ist es den Wissenschaftlern der Forschungsstelle Potsdam gelungen, neue Ideen für die Verbesserungen ökologischer Modelle zu entwickeln, um somit genauere Prognosen der Waldentwicklung in zukünftigen Klimaszenarien erstellen zu können.

Die Position der Waldgrenze ist allerdings nicht nur abhängig vom Klima, sondern beeinflusst es auch. In hohen Breiten spielt dabei insbesondere die positive Rückkopplung zwischen Rückstrahlungswert (Albedo) und Waldausbreitung eine große Rolle. Widersprüchliche Ergebnisse gibt es noch hinsichtlich der Frage, wie sensibel das Klima auf Veränderungen der Vegetation reagiert, also welchen Anteil Vegetations-Klima-Rückkopplungsprozesse an der Erderwärmung der Zukunft haben werden. Diese Informationen können nur mit Simulationen von Erdsystemmodellen (= Kopplung zwischen Atmosphären-, Ozean- und Vegetationsmodellen) gewonnen werden. Die Erkenntnisse über die Vegetationsentwicklung während früherer analoger Erwärmungsphasen, wie z.B. dem mittleren Pliozän oder den letzten 200 Jahren, sind somit wichtig, um die Aussagefähigkeit von Klimasimulationen zu überprüfen.



Darstellung der Veränderung der Diversität von Diatomeen in Seen (links) sowie deren mittleren Nischenbreiten entlang eines Taiga-Tundra-Transsektes in Nordsibirien: Seen in der Tundreregionen sind zumeist durch eine hohe Diversität und besonders viele spezialisierte Arten gekennzeichnet, die mit einem Fortschreiten der Waldgrenze nach Norden verloren geht.

Grafik: U. Herzschuh, AWI; Originaldaten: L. Pestryakova, Föderale Nordost Universität, Jakutsk



Veränderung des Eintrags von Lärchenpollen in einen See an der Baumgrenze in Nord-Sibirien innerhalb der letzten 800 Jahre (höherer Eintrag = Ausdehnung der Taiga nach Norden). Im Vergleich zum starken Temperaturanstieg seit 1800, die man aus dem Isotopensignal eines Eisbohrkernes von Sewernaja Semlja ableiten kann (Untersuchungen am AWI in Potsdam durch D. Fritzsche, T. Opel und H. Meyer), schreitet die Waldgrenze erst seit ca. 1940 n. Chr. nach Norden. Diese Zeitverzögerungen in der Reaktion von Vegetation auf Klimasignalen müssen in Zukunft noch besser in Erdsystemmodellierungen berücksichtigt werden.

Grafik: C. Kopsch, AWI



2006 HIGHSEA I, III und IV bei der Preisverleihung NaT-Working Preis (1. Preis, 50.000 €) der Robert Bosch Stiftung zusammen mit dem damaligen Ministerpräsidenten Baden-Württembergs Günther Oettinger.
Foto: Robert Bosch Stiftung

Nachwuchsförderung: Schüler lernen im AWI gemeinsam mit Wissenschaftlern

Polare Meeresforschung entdecken. Gemeinsam mit Wissenschaftlern lernen. Selber experimentieren und sogar einmal während einer Expedition auf See forschen – das Alfred-Wegener-Institut bietet Schülerinnen und Schülern vielfältige Möglichkeiten, Forschung hautnah zu erleben. Den Nachwuchs fördern, um die Zukunft zu gestalten, denn die Schüler von heute, sind die Forscher von morgen.

Langweiliger Biologieunterricht, nervende Physikstunden, quälende Chemie? Vielen Schülern wird die Freude an den Naturwissenschaften schon in der Schule genommen. Zudem sind Lehrer angesichts vorgegebener und sehr voller Lehrpläne heute selten in der Lage, aktuelle Fragen der Forschung in den Unterricht einzubauen. Das haben die Wissenschaftler des AWI schon früh erkannt und ein – auch im internationalen Vergleich – einzigartiges pädagogisches Programm entwickelt. Dazu die Projektleiterin Dr. Susanne Gatti: „Die Vermittlung eines realistischen Bildes der Naturwissenschaften kann der Schule heute allein nicht mehr gelingen, für diese Aufgabe braucht sie externe Partner. Unser Ziel ist, gemeinsam mit den Lehrern in langfristigen Projekten die Schüler auf ein naturwissenschaftlich-technisches Studium gut vorzubereiten und ihnen Perspektiven für ihre Zukunft aufzuzeigen.“

SEA

Mit dem Ziel, naturwissenschaftlichen Nachwuchs in einem sehr frühen Stadium zu fördern, hat das AWI den Bereich „SEA“ (Science & Education @ the AWI) eingerichtet. In dem Schülerlabor SEA-SIDE (SIDE: Single Day Experiments) werden Experimente für Gruppen an einzelnen Tagen angeboten. Klassen aller Altersstufen können dieses Angebot wahrnehmen, wenn die Lehrer in der Schule eine Anbindung an den regulären Unterricht gewährleisten.

HIGHSEA

Der wichtigste Bestandteil des Bereichs „Frühe Nachwuchsförderung“ SEA ist das Kooperationsprojekt HIGHSEA (High School of SEA). In jeden Jahrgang werden 22 Jugendliche aufgenommen. Für die letzten drei Jahre ihrer Schulzeit tauschen sie an zwei Tagen ihren Klassenraum mit dem Labor: Lehrer und Wissenschaftler gestalten den Unterricht dort in Form des „teamteaching“ ohne festen Stundenplan. Sie gehen wissenschaftlichen Fragen nach, die aus aktuellen Forschungsbereichen des AWI abgeleitet werden. Die verschiedenen Inhalte der naturwissenschaftlichen Fächer werden dann einbezogen, wenn sie zur Bearbeitung der Forschungsfragen relevant sind. Biologie (Leistungskurs), Chemie, Englisch und Mathematik (Grundkurse) sind in diesem Lernkonzept vollständig abgedeckt, sowie die der Physik teilweise eingeschlossen. Für jeden Jahrgang wird zudem eine Expedition organisiert, in deren Mittelpunkt eine wissenschaftliche Fragestellung steht.

So spannend kann Biologie sein

Forschung am lebenden Objekt: In Arbeitsgruppen untersuchen drei bis vier Schüler zum Beispiel einen Organismus oder einer Gruppe von Organismen der Polargebiete. Dabei werden sie von einem Wissenschaftler intensiv betreut, stecken gemeinsam ihr Forschungsziel ab und planen



2008 HIGHSEA V mit dem Segelschiff „Noorderlicht“. Das Schiff musste regelmäßig von Schnee und Eis befreit werden.
Foto: M. Ginzburg

2010 mit HIGHSEA VII auf Grönland. Probenahmen von limnischen Diatomeen für AWI-Arbeitsgruppe von Christian Hamm, AWI.
Foto: M. Ginzburg

Experimente. Etwa alle drei Wochen berichten die einzelnen Gruppen dann im Plenum über den Stoffwechsel von antarktischen Kammuscheln, antarktischen Schwämmen, Flügelschnecken, Eisalgen, Makroalgen und polaren Fischen. Um ihre Experimente, die häufig mit lebenden Tieren oder Pflanzen durchgeführt werden, zu betreuen, arbeiten die Schüler auch nachmittags und an den Wochenenden in den Laboren des AWI. Immer wieder erschließen sie sich mit ihrer Arbeit Wissensgebiete, die auch den beteiligten Lehrern neu sind. Denn Anpassungsmechanismen an das Leben in den Polargebieten, Besonderheiten des Stoffwechsels und Zusammenhänge in polaren Ökosystemen sind für Schüler wie Lehrer oft Neuland, in das sie im AWI gemeinsam vordringen. Die erarbeiteten Inhalte bilden später die Grundlage für Klausuraufgaben und Leistungskontrollen.

Erfolg durch externe Evaluation bestätigt

Die fast 10-jährige Arbeit im Projekt HIGHSEA wurde bereits extern evaluiert. Besonders auffällig war das Ergebnis hinsichtlich der Motivation der Schüler. Während im „normalen“ Schulalltag die Motivation im Laufe der dreijährigen Oberstufenzeit sinkt, gelingt es im Alfred-Wegener-Institut, sie auf einem hohen Niveau zu halten. Darüber hinaus hat die Evaluation sehr eindrucksvoll belegt, dass sowohl der Lernertrag in den einzelnen Fächern, als auch die Verbindungen zwischen den Fächern und auch die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen bei den Schülern messbar gestärkt werden.

Alle Ergebnisse liegen in Form einer Doktorarbeit vor und sind im Internet abrufbar: http://www.awi.de/de/entdecken/school_projects_sea/highsea/erfolge_evaluationen/

Für das Leben gelernt – HIGHSEA-Teilnehmer sind begeistert

„Viel mehr als die Schule hat mich HIGHSEA wirklich auf mein naturwissenschaftliches Studium der Biochemie vorbereitet.“

Michael Ginzburg, ehemaliger Schüler HIGHSEA V, Abitur 2009

„Ganz lange habe ich schon davon geträumt, Meeresbiologin zu werden. Mit HIGHSEA bin ich diesem Traum schon während meiner Schulzeit ein gutes Stück näher gekommen und habe inzwischen meine Bachelor- und Masterarbeit in der Meeresbotanik absolviert.“

Anique Stecher, ehemalige Schülerin HIGHSEA II, Abitur 2006

„HIGHSEA ist keine Schule, sondern Lernen unter Freunden mit Freunden und da sind auch die Lehrer und Wissenschaftler mit gemeint.“

Christopher Gardel, ehemaliger Schüler HIGHSEA IV Abitur 2008

Für die Doktorarbeit mit der ‚Polarstern‘ in der Arktis: Um Proben zu sammeln, werden Planktonnetze während der Expedition ARK XXV-2 eingesetzt.
Foto: V. Strass, AWI



Traumberuf Polarforscherin – Wie eine Studentin auf eisigem Weg ihr Ziel erreichte

Biologie studieren und dann noch eine Doktorarbeit schreiben – das haben mir früher nur wenige zugeutraut. Die Liebe zum Meer aber war stärker, als alle vorgezeichneten Bildungswege. Erst die Hauptschule, dann weiter zur Werkrealschule. Ein Abi schien im starren süddeutschen Schulsystem aussichtslos. Als ich trotzdem zum Wirtschaftsgymnasium wechselte, sagten die Lehrer: „Jemand mit Hauptschulhintergrund hat hier keine Chance.“

Die Ferien verbrachte ich immer an der See. Mein Vater, als Schiffingenieur auf allen Weltmeeren unterwegs, fuhr mit uns jeden Sommer an die Küste, mal Frankreich, mal Spanien. Ich stand am Atlantik, hielt die Nase in den Wind, schaute auf das ewige Auf und Ab der Wellen und ließ mich von der ungeheuren Kraft des Meeres tragen. Ich schaffte das Abi und absolvierte auch das vorgesehene betriebswirtschaftliche Praktikum. Nach einem Jahr im Marketing Management wusste ich: Das ist nicht meine Welt.

Innerlich war ich schon immer Entdeckerin, Wissenschaftlerin, Abenteurerin, wollte das Meer erforschen, wissen, wie das System Ozean funktioniert. Und mit dem Abi in der Tasche, war nun auch ein Biologiestudium möglich, inklusive zweier Auslandssemester an Kanadas Ostküste. Keine Frage mehr, dass ich Meeresforscherin werden wollte. Die polaren Ökosysteme interessierten mich besonders und die Masterarbeit konnte ich in der Planktonforschung am AWI schreiben. Dann die erste Expedition mit dem Forschungseisbrecher ‚Polarstern‘: Vier Wochen in die Arktis, Forschen an Wasserproben und den darin lebenden Organismen, Arbeit unter der Mitternachtssonne zwischen 75°N und 80°N als studentische Hilfskraft.

Und heute? Das große Glück, eine Doktorarbeit im Fachbereich Biowissenschaften des Alfred-Wegener-Instituts schreiben zu dürfen. Mein Thema ist die Analyse arktischer Flohkrebse im Plankton. Wissenschaftlich heißen sie Amphipoden. Das bedeutet „Verschiedenfüßler“ und beschreibt kleine, oft freischwimmende Kriebeltierchen, die im Nordpolarmeer eine wichtige Futterquelle für Fische, Seevögel und



Die Eis-Amphipode *Eusirus holmii*
Foto: A. Kraft, AWI



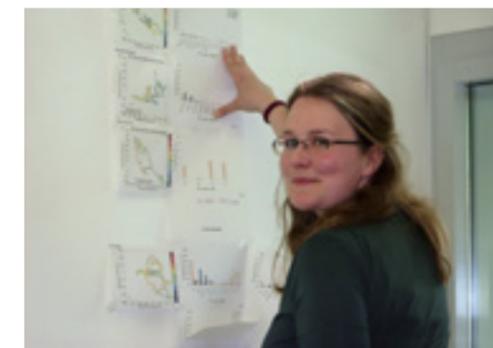
Arbeiten am Mikroskop
Foto: M. Greenlaw, Atlantic Reference Centre, St. Andrews, Canada

Meeressäuger darstellen. Ihre Zusammensetzung aus großen arktischen und variierenden Anteilen von kleinen, eingewanderten Arten aus dem wärmeren Nordatlantik und deren langzeitliche Entwicklung interessieren mich besonders. Denn wie wirkt sich der Klimawandel in der Arktis auf diese Organismen aus? Verändert sich ihre geographische Verbreitung? Haben typisch arktische Arten dieselben Nahrungsquellen wie die atlantischen Arten? Haben Veränderungen der Amphipodenzusammensetzung Konsequenzen für höhere Ebenen im Nahrungsnetz, vielleicht sogar für die Fischereiindustrie? Drei Jahre und viele Fragen, die beantwortet werden wollen.

Persönliche Highlights während dieser Zeit sind natürlich die Reisen mit der ‚Polarstern‘: Eine echte Ehre, unter den erfahrenen Seniorwissenschaftlern als Kollegin an Bord ernst genommen zu werden. Denn ein Teil von mir ist manchmal immer noch das Mädchen aus dem Schwabenland, dem auf der Hauptschule nicht viel Aussicht auf eine (Forscher-) Karriere gemacht wurde.

Die Polarforschung hat mich gepackt. Die Kälte, die blau schimmernden Eisschollen, das Dröhnen der Dieselmotoren während bis zu 1 Meter dickes Eis gebrochen wird. Die tägliche Arbeit und das Leben an Bord, eingespielte Abläufe zwischen Mannschaft und dem Wissenschaftlerteam. Der Einsatz großer Planktonnetze, die meine Amphipoden und damit die Laborproben für die nächsten 12 Monate zum Sortieren und Vorbereiten an Bord holen sollen. Die Drift des Meereises – ein Risiko und immer die Unsicherheit, ob eine ganzjährig verankerte Falle in der Wassersäule auch Proben genommen hat, oder ob sich ein Planktonnetz an der nächsten Eisscholle verhakt und abreißt.

Manch einer wird nicht so einen eisigen Weg gehen müssen, um Forscher zu werden. Die Wege in die Polarforschung sind vielfältig. Allen gemein aber ist der menschliche Entdeckerdrang – und in einer Zeit großer klimatischer Veränderungen, ist er wahrscheinlich wichtiger denn je.



Nicht immer auf Expedition: Die Doktorandin Angelina Kraft während der Arbeit im Institutsbüro.
Foto: E.-M. Nöthig, AWI



Während einer Eisen-
düngung im Südozean:
Damit die Wissenschaftler
das Spurenelement Eisen
ausbringen können, liegt
FS „Polarstern“ ungünstig
in der Dünung und nimmt
jede Menge Wasser von
Achtern auf.
Foto: AWI

Marine Biowissenschaften im wissenschaftlich-gesellschaftlichen Spannungsfeld des 21. Jahrhunderts

Wir Menschen haben durch unser Handeln gewaltige Spuren in den Ozeanen hinterlassen. Sie reichen von einer Dezimierung der großen Räuber in allen Weltmeeren bis hin zu großräumigen Veränderungen ganzer Ökosysteme, die unterschiedlicher nicht sein könnten: Das arktische Meereis, Korallenriffe oder Küstengebiete zählen schon heute zu den Verlierern. Die Ozeanversauerung und die fortschreitende Erwärmung werden die Meere zusätzlich belasten, dabei wird gerade der Anstieg des Meeresspiegels die Küstenökosysteme und damit auch die Menschen besonders hart treffen. Meeresforscher verfolgen diese beunruhigende Entwicklung durch Beobachtungen, Experimente und anhand von Computermodellen. Aber reicht das? Müssen wir nicht mehr tun, als Daten zu erheben, Proben zu nehmen, Experimente durchzuführen und Zukunftsszenarien zu modellieren? Wenn die Menschheit es nicht schafft, sich den immensen Herausforderungen unseres Jahrhunderts erfolgreich zu stellen, werden unsere Kinder und Kindeskinde alle Hände voll zu tun haben, die Atmosphäre und die Ökosysteme zu restaurieren. Sollten wir angesichts dieser Mammutaufgabe nicht heute schon unser Bestes geben?

Das öffentliche Bewusstsein für die unvermeidlichen und verheerenden Folgen des Klimawandels, verursacht durch die zunehmende Freisetzung von Treibhausgasen, wächst, und auch in den Medien wird die Schlüsselrolle, die der Ozean im System Erde spielt, gut herausgestellt. „Business as usual“ kann also keine Option für eine Gesellschaft sein, deren höchstes Gut in der Freiheit liegt, verantwortungsvoll ihren Platz auf diesem Planeten zu gestalten. Dass wir unseren Lebensstil grundlegend ändern müssen, um wenigstens die schlimmsten Umweltveränderungen in ihrer Entwicklung zu bremsen, ist vielen klar. Das wird aber nur möglich sein, wenn wir unsere Erkenntnisse über den Zustand der Ozeane mit klaren, wissenschaftlich fundierten Argumenten der Öffentlichkeit mitteilen können. Ein Bewusstsein für die Probleme zu entwickeln ist gut, ein solides Verständnis der komplexen Zusammenhänge aber in den Köpfen unserer Gesellschaft zu verankern, ist wahrscheinlich der einzige Weg, um eine hohe Akzeptanz für Veränderungen zu erlangen.

Dabei stehen die marinen Biowissenschaften jedoch vor dem Problem, dass sie nicht immer bis ins Detail verstehen, wie Ökosysteme der Küsten, der Polargebiete und der Ozeane letztlich funktionieren. Beispielsweise ist aus Zeitreihen der letzten 40 bis 50 Jahre bekannt, dass sich der Jahresverlauf im Küstenplankton und –benthos grundlegend geändert hat. Dort, wo zeitweilige eine Überdüngung die Systeme verändert hat, sind sie, auch unter „normalen“ Verhältnissen, nicht in ihre ursprünglichen Zustände zurückgekehrt, was sie aber nach dem damaligen Systemverständnis hätten tun müssen. Dies gilt auch für ein Beispiel aus dem Südpolarmeer. Die Wale sind dort in so großer Zahl abgeschlachtet worden, dass sich ihre Hauptnahrung, der antarktische Krill, eigentlich explosionsartig hätte vermehren müssen. Doch die Krillbestände sind auf weniger als 10 Prozent der früheren Biomasse geschrumpft – wären die

Wale heute noch in ihren ursprünglichen Beständen vorhanden, müsste ein Großteil verhungern. Der Rückgang des Krills wird auf das durch die globale Erwärmung schwindende Meereis und somit ihres Lebensraumes zurückgeführt. Stimmt diese Annahme, wären verhungerte Wale heute sicherlich das drastischste Bild, das den Menschen ihr Verhalten vor Augen führen würde.

Es gibt zu viele weitere grundsätzliche Beobachtungen in der Planktonökologie, die wir nicht verstehen. Beispielsweise sind Planktonzellen eigentlich schwerer als das durch die Zellen verdrängte Wasser, aber sie schweben auch ohne Schwimmbewegungen solange sie leben; tot sinken sie schnell zum Meeresgrund. Diese mysteriöse Fähigkeit muss sich ganz früh in der Evolution der ersten Planktonmikroben herausgebildet haben und ist die Voraussetzung für die sogenannte marine biologische Kohlenstoffpumpe, die letztendlich dazu geführt hat, dass unsere Atmosphäre Sauerstoff enthält. Dennoch sind viele Komponenten dieser Kohlenstoffpumpe auch heute noch nicht eindeutig geklärt, wie auch ihre Rolle in der Regulation der Menge des Klimagases CO₂ in der Vergangenheit und möglicherweise in der Zukunft. Auch haben Planktonorganismen so unglaublich viele bizarre Körper- und Skelettformen hervorgebracht, ohne das wir verstehen, welche treibenden Mechanismen der Evolution hierfür verantwortlich waren. Diese Planktonskelette bilden die Grundlage auf der die marinen Geowissenschaften aufbauen. Da ein mechanistisches Verständnis der Strukturen und Funktionen in den Lebenszyklen vieler Plankter fehlt, sind Vorhersagemodelle, die die oben erwähnten Effekte menschlicher Einwirkungen auf marine Systeme beschreiben, auf zu viele Vermutungen angewiesen.

Zum Glück gab es auch Fortschritt und somit besteht Hoffnung: Das ehemalige Paradox einer geringen Produktivität der nährsalzreichen Ozeane – das Südpolarmeer eingeschlossen – wurde aufgeklärt und ist auf Eisenlimitation zurückzuführen. Es steht noch aus, die sich daraus ableitenden Konsequenzen für den Kohlenstoffkreislauf im Ozean in vergangenen Zeiten und in der Zukunft neu zu definieren. Mit der rasanten Entwicklung der modernen Genetik begann die „-omics Revolution“, deren Richtungen noch nicht absehbar sind: Wird es je möglich sein, in der Genetik die Antworten zu finden, um die oben beschriebenen Rätsel zu lösen? Die Ökologie hat die zuvor wenig beachteten strukturierenden Einflüsse höherer Organismen auf Ökosysteme und deren Funktionen entdeckt. Überall im Weltozean findet eine drastische Überfischung nicht nur der kommerziell nutzbaren Fische, sondern auch im sogenannten Beifang statt. Dass dies Auswirkungen auf den Jahresverlauf im Zooplankton und letztendlich auch im Phytoplankton haben wird, leitet sich aus der Annahme ab, dass der Ozean Nahrungslimitiert ist. Und doch liefern Beobachtungen gegenläufige Resultate zu den Erwartungen. Dem Rückgang des Krills folgt nicht ein Aufblühen im Phytoplankton. Ganz im Gegensatz nimmt auch die Phytoplanktonbiomasse seit den ersten wissenschaftlichen Beobachtungen zu Zeiten des Walfangs ab. Das bedeutet, dass das derzeit gängige Konzept einer von unten gesteuerten Nahrungskaskade, bei der die Beutepopulation anwächst, wenn deren Räuber verschwindet, offenbar zu einfach ist und einer Erneuerung bedarf.

Eine alternative Erklärung liefert das Konzept des Bioengineering, in dem vorherrschende Tiere ihre Umwelt nach ihren Bedürfnissen gestalten. Dieses Konzept hat sich in den afrikanischen Savannen bewährt, die dadurch erhalten werden, da Elefanten und andere Huftiere die jungen Bäume wegfressen. Die durch die Heidschnucken erhaltene Lüneburger Heide oder die Algen fressenden Fische der Korallenriffe sind weitere Beispiele. Die Effekte des Bioengineering sind dort gut sichtbar und mit dem bloßen Auge zu verfolgen. Anders in pelagischen Ökosystemen, in denen für die Rekonstruktion der Dynamik und sie auslösenden Prozesse eine Fülle von Messdaten verschiedenster Sonden kombiniert und durch Physiker, Chemiker und Biologen interpretiert werden müssen. Diese Vorgehensweise ist die Voraussetzung dafür, Umwelteffekte, z.B. Klimaeffekte, von Organismen gesteuerten Effekten zu unterscheiden. Nur so kann es gelingen, Hypothesen zu testen, zum Beispiel, ob oberhalb der Ebenen von Phyto- und Zooplankton die Haie und Wale Struktur und zeitliche Entwicklung der pelagischen Ökosysteme steuern. Leider konzentrierten sich die Langzeitmessreihen auf Nährsalze und Phytoplankton, so dass eine solche Analyse schwierig ist. Daher werden zukünftige Messprogramme alle Ebenen der Ökosysteme erfassen müssen, von Produzenten über die Weidegänger und Räuber bis hin zu den Konsumenten am Meeresboden, um zu erfahren, wie sich die biogeochemischen Stoffkreisläufe und besonders die Fähigkeit des Ozeans CO₂ aufzunehmen, verändert haben und sich im zukünftigen Ozean verändern werden.

Der herausragende Genetiker und Bio-Philosoph J.B. Haldane sagte um 1930: „Biologie ist zu bedeutend, um sie allein den Biologen zu überlassen.“ Es wird also höchste Zeit, dass sich die Meeres- und Polarforscher der anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen zusammenreißen und gemeinsam mit den Biologen ihre Forschung fokussieren, um zu verstehen, wie die Ökosysteme des Ozeans funktionieren und welche Auswirkungen die Veränderungen im globalen Kohlenstoffkreislauf auf sie haben werden. Als Schlussbemerkung möchte ich Ihre Gedanken auf die Tatsache lenken, dass die 100 ppm anthropogenes CO₂ in der Atmosphäre, das jetzt schon Probleme bereitet, etwa 212 Gigatonnen Kohlenstoff entspricht, also einem Drittel der Biomasse der Landvegetation. Wo sollen und können wir überhaupt solche Unmengen ablagern?



Für seine Arbeit in der Meeresbiologie mehrfach ausgezeichnet und als Planktonspezialist weltweit bekannt: Prof. Victor Shaded Smetacek. Seit 1986 am AWI und als Professor für Bio-Ozeanographie an der Universität Bremen tätig.





Arbeiten im Eis: Das Winterlager der Krill-Forscher in der Antarktis besteht aus roten Plastikglus und einem Polarzelt.
Foto: L. Tadday, AWI

Ansprechpartner im AWI

FACHBEREICH BIOWISSENSCHAFTEN

Leitung: Prof. Dr. Ulrich Bathmann

Seite

6

Beiträge aus den Sektionen des Fachbereichs Biowissenschaften:

Polare Biologische Ozeanographie (Prof. Dr. Ulrich Bathmann)

Krill / PD Dr. habil. Bettina Meyer 10

Algen im Meereis / Dr. Klaus Valentin 12

Plankton-Regen / Dr. Katja Metfies 30

Pelagische Arktisforschung / Dr. Eva-Maria Nöthig 32

Marine Biogeowissenschaften (Prof. Dr. Dieter Wolf-Gladrow)

Ozeanversauerung und Eisenmangel / Dr. Scarlett Trimborn 14

Integrative Ökophysiologie (Prof. Dr. Hans-Otto Pörtner)

Seespinne und Eisfisch / Dr. Felix Mark 16

Funktionelle Ökologie (Prof. Dr. Thomas Brey)

Schmelzende Gletscher / PD Dr. habil. Doris Abele 18

Bentho-Pelagische Prozesse (Prof. Dr. Claudio Richter)

See-Elefanten / Dr. Jochen Plötz 20

Lebensvielfalt / Dr. Julian Gutt 24

Beobachtungen im Eis / Prof. Dr. Wolfgang Arntz 26

Chemische Ökologie (Prof. Dr. Allan Cembella)

DOM / Prof. Dr. Boris Koch 36

Beiträge aus dem Fachbereich Klimawissenschaften:

Messende Ozeanographie (Dr. Eberhard Fahrbach) 8

Eisrandblüten / Dr. Volker Strass

Beiträge aus dem Fachbereich Geowissenschaften:

Periglazialforschung (Prof. Dr. Hans Hubberten) 38

Sibirische Wälder / Prof. Dr. Ulrike Herzschuh

Fachübergreifende Beiträge:

PALAOA / Dr. Ilse van Opzeeland 22

Tiefseeobservatorium / Dr. Michael Klages 28

FRAM – Observatorium / Dr. Thomas Soltwedel 34

Nachwuchsförderung / Dr. Susanne Gatti 40

Traumberuf Polarforscher / Angelina Kraft 42

Marine Biowissenschaften / Prof. Dr. Victor Smetacek 44

Impressum

Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Am Handelshafen 12
D-27570 Bremerhaven
Telefon +49(0)471/48 31-0
Telefax +49(0)471/48 31-11 49
E-Mail: info@awi.de
www.awi.de

Gestaltung: Klemm Kommunikation | Design, Bremen
Druck: Weser Druckerei Grassé GmbH, Bremerhaven

Redaktion und Konzeption:

Prof. Dr. Ulrich Bathmann, Fachbereich Biowissenschaften
Claudia Pichler, Kommunikation und Medien
Stephanie von Neuhoff, Überarbeitung der Texte

Copyright: 2011, Alfred-Wegener-Institut

Foto Titelseite: Frank Rödel

Weitere Beitragende in alphabetischer Reihenfolge:
Eduard Bauerfeind, Melanie Bergmann, Olaf Boebel,
Antje Boetius, Horst Bornemann, Astrid Bracher, Thomas Brey,
Gerhard Dieckmann, Anja Engel, Ulrike Falk, Ruth Flerus,
Christiane Hasemann, Christian Hass, Gerhard Kattner,
Estelle Kiliyas, Lars Kindermann, Rainer Knust, Oliver Lechtenfeld,
Martin Losch, Katja Metfies, Patrick Monien, Barbara Niehoff,
Ilka Peeken, Hans-Otto Pörtner, Björn Rost, Ricardo Sahade,
Michael Schröder, Daniela Storch, Mathias Teschke, Dieter
Wolf-Gladrow, Mascha Wurst.

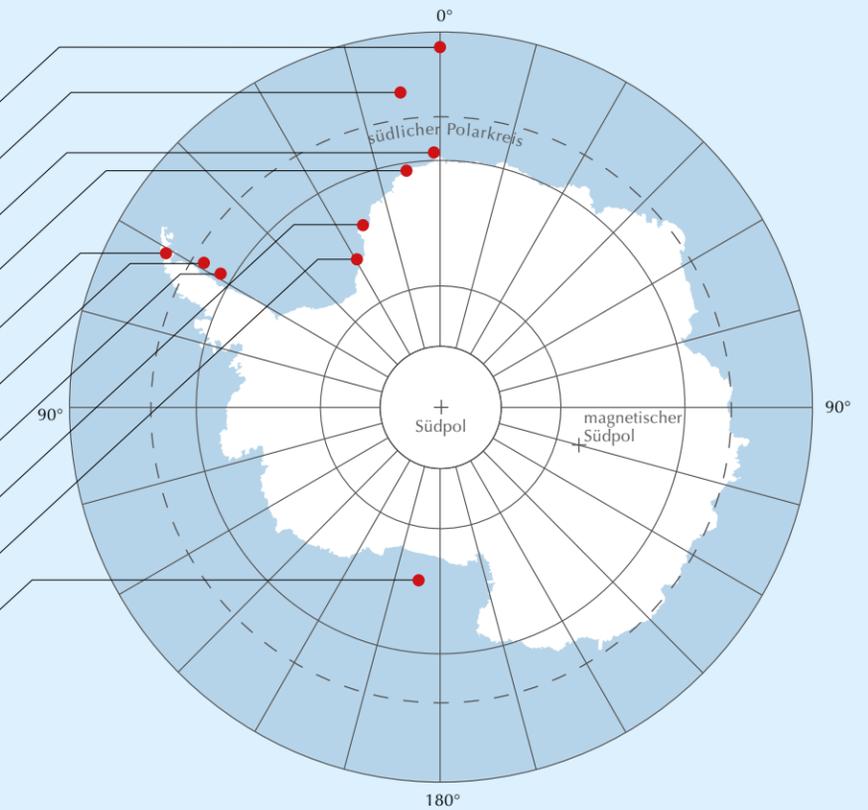


Fotos: AWI

Geographische Positionen zu den Forschungsberichten dieser Broschüre

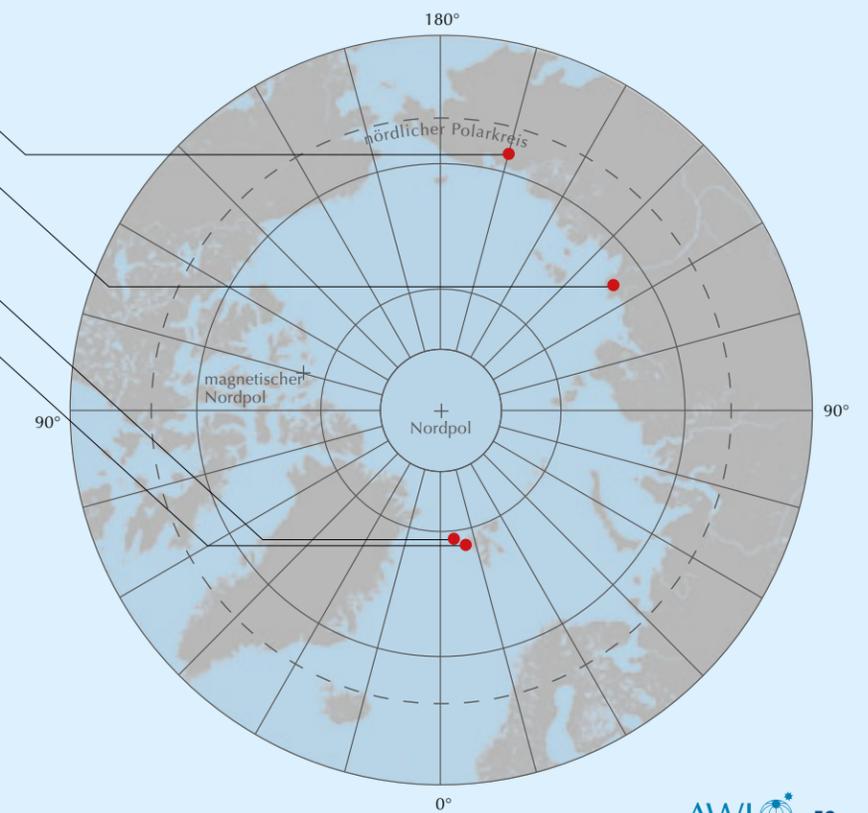
Antarktis

- Eisrandblüten
- Krill
- Algen im Meereis
- PALAOA
- Schmelzende Gletscher
- Lebensvielfalt
- Beobachtungen im Eis
- See-Elefanten
- Seespinne und Eisfisch
- Ozeanversauerung und Eisenmangel



Arktis

- Sibirische Wälder
- DOM
- Tiefsee-Observatorium
- Planktonregen
- Pelagische Arktisforschung
- FRAM



Karten ohne Meereisbedeckung



Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Am Handelshafen 12
D-27570 Bremerhaven
Telefon +49 (0)471/48 31-0
Telefax +49 (0)471/48 31-11 49
www.awi.de

