



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schnelle Veränderungen in der Arktis: Polarforschung in globaler Verantwortung



FORSCHUNG

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat System Erde
11055 Berlin

Bestellungen:

Schriftlich an den Herausgeber
Postfach 30 02 35
53182 Bonn
oder per
Tel.: 01 80-52 62 302
Fax: 01 80-52 62 303
(Festnetzpreis 14 ct/min, höchstens 42 ct/min
aus Mobilfunknetzen)
E-Mail: books@bmbf.bund.de
Internet: <http://www.bmbf.de>

Redaktion

Autoren

Gestaltung

Hauke und Jessica Sturm, Berlin
W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld, <http://www.wbv.de>

Bonn, Berlin 2011

Bildnachweis

Alle Bilder vom Alfred-Wegener-Institut (S. 2, 4, 8, 9), Fotografen: Marco Böer (S. 16), Julia Boike (S. 17), Bernhard Diekmann (S. 11), Hannes Grobe (S. 6), Stefan Hendricks (S. 3), Hans-Wolfgang Hubberten (S. 14), Sepp Kipfstuhl (S. 13, 20), Hugues Lantuit (S. 21), Christof Lüpkes (S. 19), Martin Melles (S. 14), Hans Oerter (S. 12), Konstanze Piel (Titel, S. 15, 18), Volker Rachold (S. 10), Dirk Wagner (S. 5)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schnelle Veränderungen in der Arktis: Polarforschung in globaler Verantwortung



Vorwort

Der rasche Klimawandel in der Arktis und die Auswirkungen auch auf nichtarktische Gebiete sind nicht mehr nur von rein akademisch-wissenschaftlicher Bedeutung. Die Veränderungen der ozeanischen Eis- und Strömungsverhältnisse in der Arktis beeinflussen das gesamte globale Klima, insbesondere in Europa. Die Vorgänge beruhen auf einem komplizierten Zusammenspiel verschiedener Teilsysteme wie Land, Ozean, Biosphäre, Eismassen und Atmosphäre. Gerade in der Arktis kann das fragile Gleichgewicht von Antriebskräften des Klimageschehens schnell aus dem Lot geraten. Bei der Erforschung des „Systems Erde“ liegt daher ein besonderes Interesse auf der Polarforschung und der Fluktuation der Klimavorgänge in den Polregionen. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge hat oberste Priorität in der im Jahr 2010 vorgestellten zweiten Auflage des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (FONA).

Das hier vorgelegte Strategiepapier formuliert die wichtigsten Fragen, die die Arktisforschung in den kommenden Jahren beantworten muss. Die Forschung wird unterstützt durch die Entwicklung und den Einsatz innovativer Beobachtungstechnologien, durch die Weiterentwicklung von Modellen zur präziseren Vorhersage der Klimaentwicklung und ein Netzwerk zuverlässiger Datenarchive. Die klimatischen Veränderungen in der Arktis und die veränderten Lebensbedingungen werfen auch viele sozio-ökonomische Fragen auf, die von großer Zukunftsbedeutung für die Menschheit und unsere Anpassung an diese Veränderungen sind.

Die deutsche Meeres- und Polarwissenschaft will dazu beitragen, die Mechanismen des Klimawandels und seine Wirkungen zu verstehen und eine



handhabbare Wissensbasis zu schaffen zur Vorbereitung zukunftsorientierter und nachhaltiger politischer Entscheidungen. Sie ist in besonderem Maße eine Forschung in internationaler Partnerschaft. Bei der Arktisforschung, die das BMBF im Rahmenprogramm FONA in den nächsten Jahren mit rund 250 Millionen Euro fördert, legen wir besonderen Wert auf die intensive Forschungszusammenarbeit mit den Arktis-Anrainerstaaten. Dazu gehört auch die Finanzierung multilateral genutzter arktischer Infrastrukturen wie Messstationen und Meeresobservatorien.

A handwritten signature in blue ink that reads "Bärbel Luban". The signature is fluid and cursive.

Bundesministerin für Bildung und Forschung



Inhalt

Einleitung	3
1. Strategische Ziele der Arktisforschung	4
2. Die zentralen Fragen der Arktisforschung	5
2.1 Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimawandels in der Arktis	5
2.2 Beitrag des grönländischen Inlandeises zur Meeresspiegelerhöhung	6
2.3 Rückgang des arktischen Meereises	7
2.4 Permafrost und Gashydrate als unbekannte Größen im Klimasystem	8
2.5 Anpassung polarer Organismen an die arktische Umwelt im Wandel	10
2.6 Chancen und Risiken zunehmender wirtschaftlicher Nutzung der Arktis	11
3. Stand der deutschen Polarforschung	14
3.1. Partner der deutschen Arktisforschung	14
3.2. Regionale Schwerpunkte der deutschen Arktisforschung	15
3.3. Positionierung im internationalen Umfeld	16
4. Umsetzung der Arktisforschungsstrategie	18
4.1. Forschung für Nachhaltigkeit	18
4.2. Wissenstransfer in die Gesellschaft	19
4.3. Technologietransfer	20
4.4. Nachwuchsförderung	22
Anmerkungen	23



Topographische Karte des Arktischen Raumes

Einleitung

Die Erforschung der Polarregionen hat in Deutschland eine lange und erfolgreiche Tradition. Die Arktis und Antarktis haben eine einzigartige Entstehungsgeschichte und sind Archive der Erdentwicklung. Die geologischen, biologischen und klimatologischen Prozesse, die in diesen Gebieten ablaufen, spielen eine entscheidende Rolle für globale Entwicklungen.

Der rasche Klimawandel in Teilen der Antarktis und vor allem der Arktis wirft eine Reihe drängender Fragen auf. Dies haben in den vergangenen Jahren viele konzertierte Forschungsarbeiten gezeigt, besonders während des Internationalen Polarjahres 2007/08. Das vorliegende Strategiepapier greift die neuen Herausforderungen durch die geänderten Umweltbedingungen in der Arktis auf und richtet die deutsche Arktisforschung an den Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung aus.

Themen mit besonderer gesellschaftlicher Bedeutung und globaler Ausstrahlung sind:

- Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimawandels in der Arktis
- Beitrag des grönländischen Eisschildes zur Erhöhung des Meeresspiegels
- Rückgang des arktischen Meereises und Rückkopplung auf Atmosphäre, Ozean und Ökosysteme
- Permafrost und Gashydrate als unbekannte Größen im Klimasystem

- Anpassung polarer Organismen an die arktische Umwelt im Wandel
- Chancen und Risiken zunehmender wirtschaftlicher Nutzung der Arktis

Das Strategiepapier formuliert die wichtigsten Fragen, die sich aus der Verpflichtung der deutschen Arktisforschung auf Nachhaltigkeit ergeben. Es setzt zudem die Vorgaben des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“¹, der „EU-Arctic Communication“² und der „Grand Challenges in Global Sustainability Research“ des International Council for Science (ICSU)^{3,4} in Forschungsziele um.

Neue Aspekte der deutschen Arktisforschung sind die Entwicklung und der Einsatz innovativer Beobachtungstechnologien, die Weiterentwicklung von Modellen zur Verbesserung der Vorhersagbarkeit, ein Netzwerk zuverlässiger Datenarchive, die stärkere Einbeziehung sozioökonomischer Fragen im arktischen Raum und ein wirksamer Wissenstransfer in die Gesellschaft⁵.

Auch wenn es in diesem Strategiepapier und in den folgenden Kapiteln schwerpunktmäßig um die Arktis geht, sollte nicht vergessen werden, dass die Erforschung der Antarktis gleichermaßen bedeutend ist und von Deutschland in ähnlichem Umfang wie die Arktisforschung betrieben wird. Die Bundesregierung hat dies durch den Bau der Neumayer Station III in der Antarktis und ihre Inbetriebnahme im Jahr 2009 substantiell unterstützt.

Über Bohrungen in Meereis werden Eisdicken gemessen und Proben zur Eisanalyse gewonnen.



1. Strategische Ziele der Arktisforschung

Der Klimawandel und geopolitische Entwicklungen rücken die Polargebiete zunehmend in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Interesses. In besonderem Maße gilt das für die Arktis.

Der Rückgang des arktischen Meereises schreitet noch schneller voran, als Klimamodelle vorhergesagt haben. Welche Ursachen sind dafür verantwortlich, und welche Folgen haben diese Veränderungen? Die Beantwortung dieser Fragen ist für die Wissenschaft eine enorme Herausforderung, da die zentrale Arktis immer noch zu den am wenigsten erforschten Regionen der Erde gehört. Alle bisherigen Erkenntnisse zeigen außerdem, dass die Arktis auf globale Änderungen nicht einheitlich reagiert, sondern regional und lokal sehr unterschiedlich.

Der Klimawandel macht die Arktis zugänglich für eine stärkere wirtschaftliche Nutzung. Das weckt weltweit Begehrlichkeiten, die dringend ein abgewogenes geopolitisches Handeln erfordern. Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung sind ein umfassendes Grundlagenwissen und ein tiefes Verständnis der wirksamen Schlüsselprozesse. Denn die Risiken, die durch den Klimawandel und durch die wirtschaftliche Nutzung für das arktische Ökosystem und die Gesellschaft entstehen, sind bislang kaum bekannt. Dasselbe gilt für die Rückwirkungen auf das globale Klima.

In vielen Ländern werden derzeit neue Forschungsstrategien entwickelt. Mit erheblichen finanziellen Mitteln wird versucht, die nationalen Forschungsaktivitäten in der Arktis auszubauen. Dies trifft nicht nur auf die arktischen Anrainerstaaten zu, sondern auch auf ferne Länder wie China, Indien oder Südkorea. Auch die Europäische Union („Arctic Communication“)² und der International Council for Science („Grand Challenges in Global Sustainability Research“)^{3,4} rücken die Arktis stärker in den Mittelpunkt.

Die deutsche Polarforschung verfügt durch ihre

jahrzehntelange exzellente Arbeit international über einen hervorragenden Ruf. Die vorhandene Expertise muss nun genutzt werden, um den aktuellen Herausforderungen zu begegnen und die nationale Forschung noch enger mit den internationalen Partnern zu vernetzen.

Um den großen Aufgaben gerecht zu werden, die der rasche Wandel in der Arktis mit sich bringt, sind zusätzliche Anstrengungen notwendig. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat sie im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltigkeit“¹ explizit aufgegriffen. Demnach ist es notwendig,

- die Veränderungen in der Arktis genauer zu beobachten,
- die Kopplungen von polaren und globalen Prozessen im Erdsystem zu erfassen und
- die Vorhersagbarkeit zu verbessern.

Die Forschung soll der Gesellschaft und der Politik Wissen zur Verfügung stellen, um die lokalen und globalen Folgen des Wandels in der Arktis abschätzen zu können. Dadurch werden die Grundlagen für nachhaltige Entwicklungsstrategien auf nationaler und internationaler - vor allem europäischer - Ebene geschaffen.



Video-gesteuerter Greifer mit gezielt entnommener Probe an Bord der Polarstern

2. Die zentralen Fragen der Arktisforschung

Die Arktisforschung sieht sich sechs zentralen Fragen gegenüber, denen zwei Hauptaufgaben zugrundeliegen.

Erstens: Seit einigen Jahrzehnten ist die Erwärmung in der Arktis besonders hoch; die Eismassen an Land und das Meereis gehen deutlich zurück. Das wirkt sich nicht nur auf die arktischen Ökosysteme und die Lebensbedingungen von Menschen in arktischen Breiten aus, sondern betrifft auch die Entwicklung des globalen Klimas. Zusätzlich ist weltweit ein bedrohlicher Anstieg des Meeresspiegels zu befürchten.

Ziel der Forschungen muss es daher sein, die Änderungen zeitnah umfassend zu beobachten und zu quantifizieren. Außerdem müssen die dabei wirksamen Prozesse und Wechselwirkungen mit anderen Gebieten der Erde erfasst und analysiert werden. Nur auf dieser Grundlage wird es möglich sein, zukünftige Entwicklungen genau vorherzusagen zu können.

Zweitens: Die noch weitgehend unbekanntem Gebiete in der Arktis beherbergen unerschlossene natürliche Ressourcen. Die Erforschung der Chancen und Risiken, die mit der Nutzung dieser Ressourcen verbunden sind, trägt dazu bei, eine nachhaltige Entwicklung im Sinne eines schonenden Umgangs mit der Umwelt zu ermöglichen. Diese Forschung muss im Einklang mit den sozioökonomischen Interessen der Anrainerstaaten und der lokalen Bevölkerung erfolgen.

2.1 Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Klimawandels in der Arktis

Die Klima- und Umweltbedingungen im arktischen Raum und die daran angepassten Lebensgemeinschaften haben sich in den letzten drei Millionen Jahren im Wechsel von Kalt- und Warmzeiten herausgebildet. Aber schon vorher hat es warme Perioden im hohen Norden gegeben, wie das ehemalige Vorkommen von Laubwäldern bis zu 80 Grad nördlicher Breite belegt. Diese Klimaentwicklung ist in Ablagerungen auf dem Land und



Die Erwärmung in der Arktis führt zu Abbrüchen der gefrorenen Böden, verstärkter Erosion und damit zur Zerstörung der Permafrostlandschaft.

im Ozean dokumentiert. In Eisbohrkernen aus dem grönländischen Eisschild ist die Klimageschichte mindestens der vergangenen 120.000 Jahre in hoher zeitlicher Auflösung archiviert.

Der derzeitige rasche Klimawandel wird durch instrumentelle Beobachtungssysteme erfasst. Es ist bekannt, dass im nordpolaren Raum auch in der Vergangenheit schnelle Klimaänderungen auftraten, die teilweise bereits nach wenigen Jahren abgeschlossen waren. Solche Entwicklungen verlaufen nicht isoliert, sondern sind über Atmosphäre und Ozean mit der globalen Entwicklung verknüpft und treffen damit auch den europäischen Raum.

Vor dem Hintergrund des aktuellen Wandels ist es erforderlich, die Dynamik der dabei wirksamen natürlichen Prozesse genau zu verstehen. Nur so ist es möglich, den anthropogenen Einfluss auf die heutige Entwicklung richtig bewerten und künftige Änderungen genauer abschätzen zu können.

Dazu bedarf es umfassender Feldstudien, innovativer Rekonstruktionsmethoden und Beobach-

tungssysteme (zum Beispiel die Satellitenfernerkundung), verbunden mit moderner Datenanalyse, sowie numerischer Modelle für Prozessanalyse, Rekonstruktion und Vorhersage. Die Kopplung der Systeme Atmosphäre, Biosphäre, Ozean, Meereis, Eisschilde und Landoberflächen spielt dabei eine entscheidende Rolle.

Forschungsziele:

- Verständnis der Variabilität des Klimasystems in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft aus polarer Perspektive verbessern
- anthropogene Einwirkungen abschätzen

Herausragende Fragestellungen:

- Wie sahen Klima und Umwelt im arktischen Raum unter vorherigen wärmeren Klimazuständen aus, und wie wirkte sich das auf die Atmosphären- und Ozeanzirkulation aus?
- Was sind die Ursachen und Zeitskalen der heutigen Klimaschwankungen in der Arktis, und wie werden diese durch den Menschen beeinflusst?
- Unter welchen physikalischen und biogeochemischen Bedingungen werden Schwellenwerte („tipping points“) erreicht, die zu raschen Klimaumbrüchen führen?
- Wie wirken sich die Prozesse in den Polarregionen auf das globale Klima aus?
- Wie müssen Modelle entwickelt oder verbessert werden, um das arktische Klimasystem und die Wechselwirkungen mit dem globalen Klima besser zu verstehen?



Tiefwasserkoralle aus einer Bodenprobe vor Spitzbergen

2.2 Beitrag des grönländischen Inlandeises zur Meeresspiegelerhöhung

Der grönländische Eisschild und die arktischen Gletscher und Eiskappen verzeichnen in den letzten Jahren einen beschleunigten Massenverlust. Er trägt in zunehmendem, aber schwer vorhersagbarem Maße zum Meeresspiegelanstieg bei. Der Massenverlust ist zum einen auf verstärkte Schmelzprozesse an der Oberfläche der Eismassen zurückzuführen, zum anderen auf eine höhere Fließgeschwindigkeit der meisten Ausflussgletscher, die das Inlandeis drainieren.

Während die Schmelzprozesse relativ gut berechnet werden können, sind die Ursachen für den rascheren Ausfluss noch weitgehend unbekannt.

Eine gängige Hypothese lautet, dass mehr Schmelzwasser von der Eisoberfläche an die Eisbasis gelangt und dort die Eisbewegung verstärkt. Eine zweite macht subglaziales Abschmelzen der Gezeitengletscher beim Kontakt mit warmen Meeresströmungen für die Beschleunigung verantwortlich.

Beide Hypothesen müssen überprüft und quantifiziert werden, um die bestehenden numerischen Modelle zur Eisdynamik modifizieren zu können. Nur so wird eine zuverlässige Prognose der künftigen Entwicklung möglich. Dies erfordert auch ein besseres Verständnis der Eisdynamik seit dem letzten eiszeitlichen Maximum (vor etwa 18.000 Jahren) und nicht zuletzt einen Zugang zur Eisbasis. Dies ist außerdem ein Lebensraum, der für die Erforschung bislang verschlossen war.

Forschungsziele:

- Massenbilanz und Dynamik des grönländischen Eisschildes durch Prozessstudien und Modellbildung analysieren mit dem Ziel, die künftige Entwicklung des Meeresspiegels zuverlässiger vorherzusagen
- Regionen der Arktis ermitteln, die durch den Eisrückgang zukünftig für den Menschen nutzbar werden

Herausragende Fragestellungen:

- Welche Faktoren und Prozesse (zum Beispiel subglaziale Geologie, Meeresströmungen) beeinflussen die Dynamik des grönländischen Inlandeises?
- Wie können die Modelle zur Dynamik des Inlandeises verbessert werden?
- Wie kann die Vorhersage der globalen und regionalen Veränderungen des Meeresspiegels zuverlässiger werden?
- Wie vollzog sich der Eisrückgang seit der letzten Eiszeit, und was können wir daraus für die heutige und zukünftige Eisdynamik lernen?
- Wie wirkt sich ein veränderter Süßwasserreintrag auf die ozeanischen Zirkulationssysteme aus?

2.3 Rückgang des arktischen Meereises

Der arktische Ozean ist das ganze Jahr über mit Meereis bedeckt, dessen Ausdehnung und Dicke starken saisonalen Schwankungen unterliegen. Seit den 1980er-Jahren hat die sommerliche Ausdehnung um 35 Prozent abgenommen. 2007 wurde das bisherige Rekordminimum gemessen und die Werte für 2011 sind ähnlich niedrig. Dieser Rückgang des Meereises zählt zu den stärksten Klimasignalen weltweit. Man weiß, dass die erhöhte ozeanische und atmosphärische Wärmezufuhr aus mittleren Breiten und interne Rückkopplungen wesentlich dazu beitragen. Genaue Aussagen zu den Ursachen sind jedoch noch nicht möglich.

Das arktische Meereis hat durch die Reflexion des Sonnenlichts einen großen Einfluss auf den Strahlungshaushalt der Erde. Auch beim Austausch von Wärme und Gasen zwischen Ozean und Atmosphäre spielt es eine wichtige Rolle. Die Abnahme des Meereises hat daher Konsequenzen für die ozeanische und atmosphärische Zirkulation weit über die Arktis hinaus.

Meereis bietet zudem Lebensraum für eine speziell angepasste Fauna und Flora. Es beeinflusst alle marinen Ökosysteme, weil es auch die Nahrungszufuhr in den tiefen Ozean und zum Meeresboden steuert. Der Schwund des dickeren, mehrjährigen Meereises führt schon jetzt zum Artenverlust und zu Änderungen der Stoffkreisläufe im arktischen Ozean. Der prognostizierte weitere Rückgang der Meereisbedeckung wird zusätzliche Risiken für arktische Ökosysteme schaffen, beispielsweise durch die Zunahme des Schiffsverkehrs und die Erschließung von Meeresgebieten und Ressourcen, die bisher noch nicht kommerziell genutzt werden konnten.

Forschungsziele:

- das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Meereis, Ozean und Atmosphäre vertiefen
- die Entwicklung des Meereises und der Auswirkungen abnehmender Meereisbe-

deckung auf Klima, Stoffkreisläufe und marine Ökosysteme vorhersagen

Herausragende Fragestellungen:

- Welchen Anteil am Meereisrückgang hat die Wärme, die der Arktis aus mittleren Breiten durch Atmosphären- und Ozeanströmungen zugeführt wird, im Vergleich zu Arktis-internen Rückkopplungen?
- Wie kann man die saisonalen und langfristigen Vorhersagen für die Entwicklung des Meereises durch Beobachtungen und Modelle verbessern?
- Welche Konsequenzen hat der Meereisrückgang für den Kohlenstoffkreislauf und die Ökosysteme der Arktis und der Nordhemisphäre?
- Wie wirkt sich der Meereisrückgang auf die Atmosphäre, den biogeochemischen und hydrologischen Kreislauf in der Nordhemisphäre und auf die Umwälzkulation im Nordatlantik aus?

- Welche Auswirkungen hat der Meereisrückgang auf das Ökosystem der arktischen Tiefsee?
- Welche sozioökonomischen Konsequenzen hat der schnelle Wandel?

2.4 Permafrost und Gashydrate als unbekanntere Größen im Klimasystem

Terrestrischer Permafrost unterlagert ein Viertel der globalen Landfläche. Der überwiegende Teil liegt in den polaren Regionen, vor allem in der Nordhemisphäre. Zusätzlich werden weite Gebiete mit submarinem Permafrost in der Arktis vermutet, deren Ausdehnung jedoch noch nicht abschließend vermessen ist.

In den ständig gefrorenen Böden lagern große Kohlenstoffmengen in Form von Methan, Kohlend-



Wasserschöpfer-Rosette an Bord der Polarstern



Schollenstrom in der Arktis

oxid oder organischem Kohlenstoff. Hinzu kommen die Kohlenstoffmengen, die in den marinen Gashydraten der arktischen Kontinentalränder und in den terrestrischen Gashydraten unter dem Permafrost gespeichert sind. Tauen die Permafrostkörper auf, wird der Kohlenstoff mobilisiert, und Treibhausgase werden freigesetzt.

Eine weitere mögliche Folge des Abtauens ist eine Zunahme der Küstenerosion. Im schlimmsten Fall beeinträchtigt die Freisetzung der marinen Gashydrate die Stabilität der Kontinentalränder. Das Auftauen des Permafrosts verändert stark den Wasserhaushalt, die arktische Artenvielfalt und die marinen Ökosysteme. Die Folgen dieser Veränderungen für das Klima- und Erdsystem und für die Lebensbedingungen der Menschen sind in ihrem Ausmaß bislang nur unzureichend bekannt.

Forschungsziel:

- die Auswirkungen einer weiteren Erwärmung auf die Kohlenstoffflüsse aus dem terrestrischen und marinen Permafrost, die Stabilität von Gashydraten und die arktischen Lebensräume besser verstehen

Herausragende Fragestellungen:

- Wie hat sich die natürliche Dynamik und Ausdehnung des arktischen Permafrosts in den letzten Jahrzehnten verändert?
- Unter welchen Bedingungen werden die an den Permafrost gebundenen und die submarinen Gashydrate instabil?
- Wie viel Methan, Kohlendioxid und Lachgas wird aus dem terrestrischen und submarinen Permafrost und aus den Gashydraten in die Atmosphäre freigesetzt, und wie können die dadurch bedingten

Klimafolgen durch geeignete Modelle abgeschätzt werden?

- Wie verändern sich die mikrobiellen Lebensgemeinschaften im Zuge des Auftauens des Permafrostes und des Abbaus von Gashydraten? Was bedeutet das für die Quellen und Senken von Klimagasen aus den Dauerfrostböden?
- Wie wirkt sich das Auftauen des Permafrostes auf die regionalen Lebensbedingungen aus?

2.5 Anpassung polarer Organismen an die arktische Umwelt im Wandel

Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen haben sich über mehrere Millionen Jahre an die von Kälte, Eis und starker Saisonalität geprägten extremen Umweltbedingungen der Arktis angepasst. Diese besonderen physiologischen und biologischen Anpassungen machen arktische Organismen außerordentlich empfindlich für schnelle und ungewöhnliche Veränderungen ihres Lebensraumes. Erwärmung, Versauerung und verstärkte menschliche Nutzung der Arktis werden die Funktion und Biodiversität der betroffenen Ökosysteme daher stark beeinflussen. Einwanderer aus südlichen Gebieten werden sich etablieren, und es kommt zu Verschiebungen in den arktischen Nahrungsnetzen.



Detailaufnahme eines Bohrkerns aus dem submarinen Permafrost. Der Kern zeigt typische Strukturen, wie sie auch von Permafrostböden an Land bekannt sind.

Wie sich das auf die Leistungsfähigkeit der arktischen Ökosysteme auswirkt, zum Beispiel auf die biologische Produktivität des arktischen Ozeans oder auf die Stoffkreisläufe, ist bisher kaum abschätzbar. Dafür ist die arktische Biosphäre zu wenig erforscht. Vor allem mangelt es an Wissen über die Lebensgemeinschaften und -prozesse der arktischen Tiefsee und die Lebensräume im und unter den Eisschilden.

Forschungsziele:

- die genetischen und ökophysiologischen Anpassungen und Lebensstrategien arktischer Arten besser verstehen
- die Auswirkungen von Umweltveränderungen auf Biodiversität, Nahrungsnetze, Produktivität und Ökosystemleistungen vorhersagen

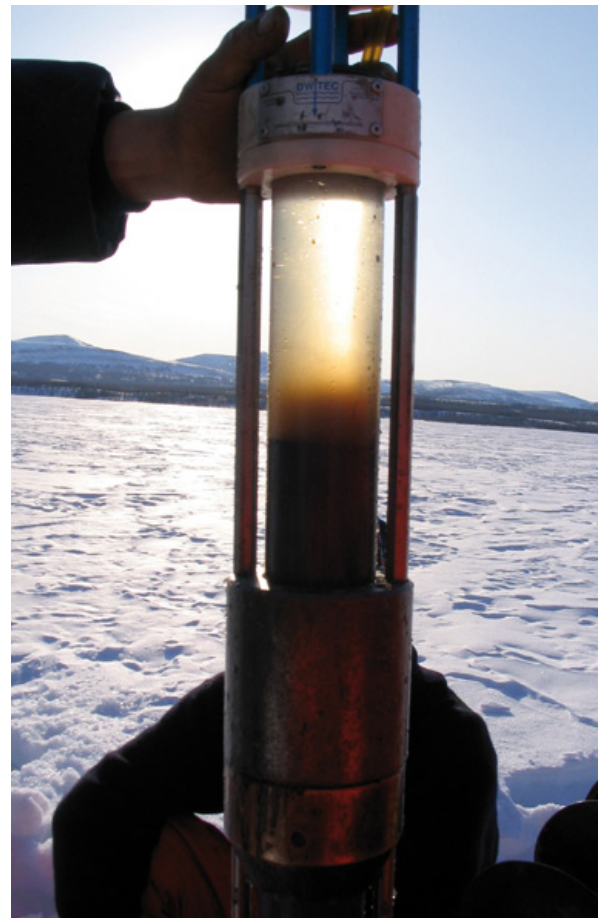
Herausragende Fragestellungen:

- Wie können sich arktische Organismen an Umweltveränderungen anpassen, und wie groß ist das Anpassungspotenzial?
- Wo und mit welchen Konsequenzen finden Migrationen arktischer und einwandernder Arten statt?
- Gibt es Indikatorarten für den Wandel der marinen und terrestrischen Umwelt?
- Gibt es Schwellenwerte bei Temperatur, Versauerung, Meereisbedeckung und Verschmutzung, deren Überschreitung eine massive Veränderung arktischer Lebensgemeinschaften auslöst?
- Wo in der Arktis ist die Biodiversität besonders hoch? Welche Faktoren fördern oder gefährden die einheimische Lebensvielfalt?
- Welchen Einfluss hat die submarine vulkanische Aktivität auf die Lebensräume der arktischen Tiefsee?

2.6 Chancen und Risiken zunehmender wirtschaftlicher Nutzung der Arktis

Der rasche klimatische Wandel in der Arktis wird die wirtschaftliche Entwicklung der Region beschleunigen. Dies betrifft die Erschließung neuer Transportwege ebenso wie die Nutzung lebender und mineralischer Ressourcen wie Fischbestände, Erze, Erdgas und Erdöl.

Um die Entwicklung nachhaltig gestalten zu können, sind Kenntnisse über Lage, Zugänglichkeit und Umfang der jeweiligen Ressourcen sowie über die sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen nötig.



Beispiel eines Sedimentkerns vom Billjach-See im ostsibirischen Werchojansker Gebirge. Erkennbar ist der Kontaktbereich zwischen Sedimentoberfläche und darüberliegendem Bodenwasser.

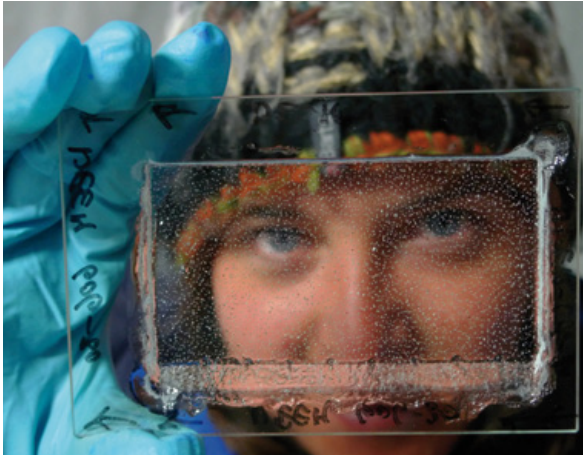


Am Eisrand des Kronprinz-Christian-Landes, Nordostgrönland, bei etwa 80 Grad Nord. Die streifenförmige Verfärbung des Eises hat ihren Ursprung im hohen Staubgehalt, der während der Eiszeit durch Wind eingetragen wurde und der sich unter dem abschmelzenden Eis wiederfindet. Mit Messungen des stabilen Isotops O-18 konnte nachgewiesen werden, dass der doppelte, braun gefärbte Saum die Grenze zwischen der heutigen Warmzeit und der letzten Kaltzeit, also etwa die Zeit vor 11.000 Jahren, markiert.

Der aktuelle Wissensstand ist aufgrund der schwierigen Zugänglichkeit dieser Region unzureichend. Allerdings tragen geowissenschaftliche, klimatologische, biologische und sozioökonomische Basisuntersuchungen dazu bei, diesen Mangel zu beheben. Sie liefern die Grundlage für die Entwicklungen von Szenarien einer wirtschaftlichen Nutzung mit ihren Auswirkungen auf Ökosysteme und Bevölkerung. Darauf aufbauend können die Chancen und Risiken der Nutzung

abgewogen und Handlungsempfehlungen formuliert werden.

Nachhaltige Nutzung bedeutet auch die Schlichtung von Nutzungskonflikten. Daher muss verantwortungsvolle Forschung auch die politischen und juristischen Vermittlungsmechanismen und ihre Wirksamkeit zum Gegenstand machen.



Das Eis der Gletscher und Eisschilde wird mit zunehmender Bohr-Tiefe immer transparenter. Bis in 1.000 m Tiefe erscheint das Eis als Folge der Luftblasen milchig grau. Unterhalb von 1.200 bis 1.300 m Tiefe ist das Eis transparent wie Plexiglas

Gesundheit, die ökonomischen Perspektiven und den Handlungsspielraum der Bewohner der Arktis?

- Wie kann eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen erreicht werden?

Forschungsziel:

- die Chancen und Risiken zukünftiger Nutzung der Arktis durch den Menschen erforschen

Herausragende Fragestellungen:

- In welchen Gebieten der Arktis befinden sich die ökonomisch relevanten Ressourcen, und wie verändert sich ihre Zugänglichkeit durch die schnelle klimatische Veränderung?
- Wie werden lokale und internationale gesellschaftspolitische Prozesse eine mögliche Nutzbarmachung beeinflussen?
- Wie reagiert das Ökosystem auf diese menschlichen Eingriffe, und kann man hierzu Risikoanalysen erstellen?
- Wann und unter welchen Umständen ist eine wirtschaftliche Nutzung der nördlichen Seewege möglich?
- Wie können bessere Beobachtungen und Kurzfristvorhersagen das Risiko von Havarien und Umweltbeeinträchtigungen minimieren?
- Wie beeinflussen die klimatischen, wirtschaftlichen und politischen Veränderungen die Lebensbedingungen, die

3. Stand der deutschen Polarforschung

Polarforschung hat in Deutschland eine lange Tradition. Sie wird durch ein gut koordiniertes Netzwerk verschiedener Institutionen getragen und findet sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis statt. Denn die klimatischen und ozeanografischen Prozesse beider Pole sind gekoppelt, und ihre Ökosysteme weisen ähnliche Merkmale auf.

Polarregionen reagieren höchst sensibel auf klimatische Änderungen. Phänomene wie die abnehmende Meereisbedeckung, schrumpfende Eisschilde oder veränderte Ozeanströmungen haben wiederum erheblichen Einfluss auf die Entwicklung des gesamten Erdklimas. Deshalb rücken das bessere Verständnis der Fluktuationen und Triebkräfte im regionalen und globalen Klimageschehen immer mehr in den Mittelpunkt der deutschen Polarforschung.

3.1. Partner der deutschen Arktisforschung

Die deutsche Polarforschung ruht auf drei Säulen: Universitäten, außeruniversitäre Forschung und Wirtschaft.

Von zentraler Bedeutung ist das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in der Helmholtz-Gemeinschaft. Im Rahmen der programmorientierten Forschung betreibt das AWI in Arktis und Antarktis international hoch renommierte interdisziplinäre Forschung. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erforscht die Struktur und die geologische Entwicklung der Festlandgebiete und ihrer Ränder; außerdem befasst sie sich im Rahmen ihrer institutionellen Aufgabenstellung mit der Abschätzung der polaren Ressourcen.

Beide Einrichtungen unterhalten Forschungsstationen, Schiffe und Flugzeuge und führen multidiszi-



Kampagne zur Beprobung von Sedimenten am Noa-See, Grönland.



Netzartige Strukturen aus Eiskeilpolygonen geben der Permafrostlandschaft ein unverwechselbares Gepräge.

pliniäre marine und terrestrische Polarexpeditionen durch. Sie verfügen damit über eine Infrastruktur, von der auch die Hochschulforschung profitiert.

Bei spezifischen Forschungsthemen engagieren sich Institute der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft. Darüber hinaus blicken zahlreiche Universitätsinstitute auf eine lange Tradition in der Polarforschung zurück.

Die Erforschung der Polarregionen wird in Deutschland durch ein gut koordiniertes Netz verschiedener Institute getragen. Das Präsidium der DFG richtete im Januar 1992 den Landesausschuss SCAR/IASC (Scientific Committee on Antarctic Research/International Arctic Science Committee) ein. Er plant und koordiniert die Aktivitäten der deutschen Hochschulen auf dem Gebiet der Polarforschung zusammen mit dem Alfred-Wegener-Institut und den betreffenden Bundeseinrichtungen.

In der Deutschen Gesellschaft für Polarforschung sind Forscher vieler Disziplinen vereinigt. Damit ist sie ein wichtiges Instrument interdisziplinärer Koordination und Zusammenarbeit.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung und das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie fördern die Polarforschung durch institutionelle Förderung, das BMBF speziell die Arktisforschung zusätzlich durch Projektförderung. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert die Arktisforschung vorwiegend im Rahmen der Normalförderung, in begrenztem Umfang auch unter dem Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung, mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“.

Die Ergebnisse der Polarforschung kommen auch außerhalb der Wissenschaft zum Einsatz. Sie werden von Wetterdiensten genutzt oder zur Beurteilung von seerechtlichen Ansprüchen im Sinne des „Erweiterten Festlandsockels“ herangezogen. Auch für die Ressourcenabschätzung, den Deichbau (als Schutzmaßnahme vor Meeresspiegelerhöhung) oder die Kalibrierung von Satellitenmessungen werden die Daten verwendet. Sie fließen außerdem in die Vorhersage von regionalen Auswirkungen des Klimawandels ein.

3.2. Regionale Schwerpunkte der deutschen Arktisforschung

Ein regionaler Schwerpunkt der deutschen Arktisforschung ist die Region von Spitzbergen und der Framstraße zwischen Spitzbergen und Grönland; dort erfolgt der Austausch zwischen dem Atlantischen und Arktischen Ozean. An der deutsch-französischen Forschungsbasis AWIPEV in Ny Ålesund auf Spitzbergen werden neben der Erforschung von terrestrischen und marinen Lebensräumen vor allem Langzeituntersuchungen der Atmosphäre durchgeführt (AWIPEV setzt sich zusammen aus den Abkürzungen für das Alfred-Wegener-Institut, AWI, und das Institut polaire français Paul Émile Victor, IPEV). In der Framstraße unternimmt das AWI seit mehr als 10 Jahren regelmäßige ozeanographische Untersuchungen sowie multidisziplinäre Experimente und Messungen am Meeresboden in Wassertiefen zwischen 1000 - 5500 m. Diese im „Hausgarten“-Areal vor Spitzbergen durchge-

fürten Probenahmen und Studien zeigen, dass die Erwärmung der Arktis und der Rückgang des Meereises sich nicht nur auf die oberen Wasserschichten des Arktischen Ozeans auswirkt, sondern dass sich die Wassertemperaturen und die Zusammensetzung der marinen Lebensgemeinschaften auch in der Tiefsee ändern. In 2007 wurden die Untersuchungen im „Hausgarten“ mit vergleichenden Studien in Flachwasserbereichen entlang des Kongsfjords in Spitzbergen erweitert.

Ein Schlüsselgebiet für die Klima- und Permafrostforschung ist die Laptew-See mit dem Lena-Delta (Forschungsstation Samoylov) und den großen Flusssystemen im sibirischen Hinterland. In der Laptew-See wird ein Großteil des Meereises für den Arktischen Ozean gebildet. Es gelangt mit der Transpolardrift bis ins Europäische Nordmeer und beeinflusst somit auch unser Klima.

Im russisch-deutschen Forschungsverbund „System Laptew-See“ führen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beider Länder seit 1991 gemeinsame, multidisziplinäre Expeditionen und Projekte durch. Diese erfolgreiche Zusammenarbeit ist in den vergangenen 20 Jahren zu einem wichtigen Standbein der deutschen Arktisforschung geworden und soll durch weitere Kooperationen ausgebaut werden. Auf der Zusammenarbeit mit russischen Institutionen beruht auch der Zugang zu sibirischen Meeres- und Landgebieten.

Die Untersuchung geologischer Strukturen und magmatischer Aktivitäten ist zirkum-arktisch angelegt. Zu den Untersuchungsgebieten von geophysikalischen Expeditionen im Meer und an Land gehören Jakutien, der polare Ural, Spitzbergen, das nördliche Grönland, die kanadische Arktis und der zentrale arktische Ozean, einschließlich des geografischen Nordpols.

Meteorologische und geophysikalische Messungen sowie Beobachtungen zur Veränderung des Meereises werden durch flugzeuggestützte Messkampagnen in nordamerikanischen Meeresgebieten in enger Kooperation mit kanadischen Partnern durchgeführt. Darüber hinaus werden spezielle Fragestellungen durch multidisziplinäre Programme in verschiedenen anderen Gebieten der Arktis untersucht, wie zum Beispiel im Bereich der Kamchatka-Halbinsel oder dem Meteoritenkrater Elgygytyn im nordöstlichen Sibirien.

3.3. Positionierung im internationalen Umfeld

Die Arktisforschung ist international aufgestellt. Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind in alle relevanten internationalen Polarforschungsprogramme - zum Teil in führender Position - eingebunden. So ist das Sekretariat des International Arctic Science Committee (IASC) am Alfred-Wegener-Institut angesiedelt. Deutschland stellt den Präsidenten der Permafrost Association, und deutsche Wissenschaftler sind im European Polar Board und in den Arbeitsgruppen des IASC vertreten.

Mehrere Autorinnen und Autoren aus Deutschland waren maßgeblich am 4. Sachstandsbericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen⁵ beim Thema Kryosphäre und Biosphäre beteiligt, weitere sind für den 5. Sachstandsbericht berufen worden. Deutsche Forscherinnen und Forscher haben ebenso wesentliche Beiträge zum Internationalen Polarjahr 2007/2008 geleistet.

Die Forschung in den extremen Polarregionen stellt hohe logistische Anforderungen. Aus diesem Grund soll der internationale Schulterschluss weiter verstärkt werden. In der Arktisforschung bestehen wichtige Kooperationen zwischen deutschen und



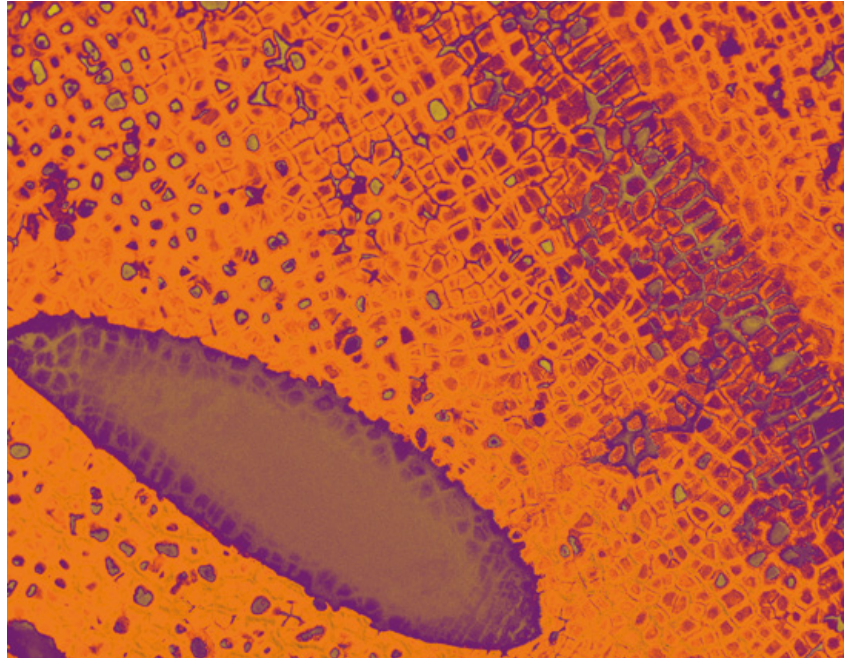
Die Flügelschnecke *Clione limacina* (max. Länge: 70-85 mm) kommt häufig in den oberen Wasserschichten des Arktischen Ozeans vor.

internationalen Institutionen, die durch langfristige Zielsetzungen getragen werden. Neben den europäischen Partnern ist vor allem die Zusammenarbeit mit der Russischen Föderation, mit Kanada und den USA von großer Bedeutung.

Das European Polar Board der European Science Foundation (ESF) bildet eine Plattform zur Abstimmung der wichtigsten europäischen Akteure in der Polarforschung. Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind maßgeblich daran beteiligt. Bei der Hinwendung Europas zur Arktis sollte die deutsche Polarforschung eine Schlüsselrolle einnehmen und zentrale Punkte in das 8. EU-Forschungsrahmenprogramm einbringen. Der weitere Ausbau der internationalen, vor allem der europäischen, Kooperation ist zentral für die weitere Entwicklung der Arktisforschung.

Geologische Dienste und Forschungsinstitute haben im Frühjahr 2010 die gemeinsame Erstellung einer „Tectonic Map of the Arctic“ (TeMAr) vereinbart. Die beteiligten Länder - Dänemark, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Kanada, Norwegen, die Russische Föderation, Schweden und die USA - versprechen sich davon wichtige Impulse für die Bewertung des Potenzials an Ressourcen.

In den Zukunftsplanungen für das Integrated Ocean Drilling Program (IODP) wurde „Scientific Drilling in the Arctic Ocean: A challenge for the next decades“ verankert. Damit sollen weitere Daten und Zeitreihen der Klimaentwicklung im arktischen Raum gewonnen werden. Das Alfred-Wegener-Institut betreibt eine von internationalen Forschungsprojekten genutzte Datenbibliothek mit über 70.000 zitierfähigen Datensätzen aus der Arktis. Sie bietet damit gute Voraussetzungen für eine Beteiligung an den Datenmanagement-Aktivitäten im Rahmen von großen, internationalen Projekten, wie zum Beispiel dem vom Arktischen Rat initiierten Aufbau eines ‚Sustaining Arctic Observing Networks‘ (SAON).

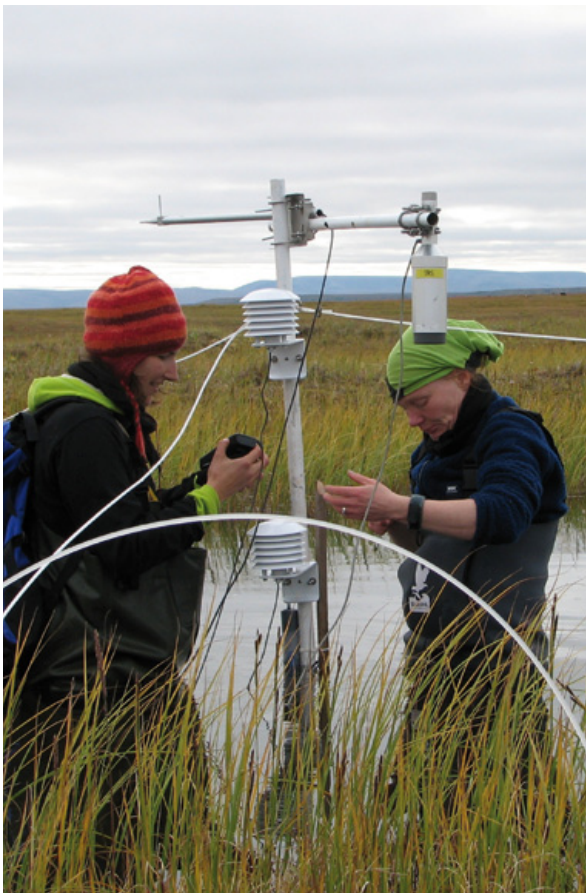


Luftbild der polygonalen Tundra auf der Insel Samoylov (Lena-Delta, Sibirien), bei dem die Farben künstlich verfälscht wurden um einige Landschaftsstrukturen (orange/rötlich) und wasserbedeckte Gebiete (je nach Wassertiefe lila bis grau) deutlicher sichtbar zu machen.

4. Umsetzung der Arktisforschungsstrategie

Die raschen Änderungen in der Arktis haben die nördliche Polarregion in den Mittelpunkt der wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Aufmerksamkeit gerückt. Es gilt aufzuklären, welche Risiken und Chancen dieser klimatisch bedingte Wandel birgt. Die EU hat dies als Zukunftsthema aufgegriffen. Das BMBF hat die Arktis als eine der Zielregionen für die künftige Forschung für Nachhaltigkeit identifiziert.

Die aktuellen Fragen verlangen verstärkte Forschungsanstrengungen, die weit über die bisherigen Aktivitäten hinausgehen. Dabei sollte vor allem das Engagement der universitären Forschungspartner gestärkt werden. Die vom BMBF geförderte Arktisforschung stellt Projekte, die besonders zur Nachhaltigkeit im arktischen Raum beitragen, in den Vordergrund.



Ausrichten von Sensoren an einer automatischen Messstation in der Nähe der Samoylov-Station.

4.1. Forschung für Nachhaltigkeit

Die deutsche Arktisforschung kann durch ihr anerkannt hohes Leistungspotenzial zu den genannten Themen wichtige Beiträge liefern und dabei mithelfen, die neuen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen zu meistern. Dieser Aufgabe stellen sich neue Projekte, die durch Drittmittelförderung im Rahmen von BMBF-Verbundprojekten, DFG-Projekten, EU-Programmen und weiterer Förderung unterstützt werden.

Mithilfe innovativer Beobachtungssysteme und verbesserter Klima- und Ökosystemmodelle ist es möglich, zukünftige Entwicklungen genauer vorherzusagen. Die Daten bilden die Grundlage für geeignete Anpassungsstrategien und für Leitlinien einer nachhaltigen Nutzbarmachung des Arktischen Raumes. Besonders hervorzuheben sind dabei folgende Punkte:

- Die Erforschung der Veränderungen in der Arktis ermöglicht es, die Auswirkungen auf das regionale und globale Klima in den kommenden Jahrzehnten genauer einzuschätzen. Klimamodelle können wesentlich verbessert und Unsicherheiten abgebaut werden.
- Der Beitrag der abschmelzenden Eismassen Grönlands zum Meeresspiegelanstieg unterliegt großen Schwankungen. Um die Auswirkungen in verschiedenen Regionen der Erde zu ermitteln und um adäquate Schutzmaßnahmen zu ergreifen, sind genauere Prognosen für den Beitrag der Eisschmelze zur Meeresspiegelerhöhung erforderlich.
- Starke Veränderungen in den Permafrostregionen führen zur Erosion der arktischen Küsten, zur Freisetzung von Klimagasen aus Gashydraten und zu tiefgreifenden Umwandlungen der Lebensräume. Bessere Methoden zur Beobachtung und Analyse der relevanten Umweltfaktoren erlauben es, Gefahrenpotenziale (zum Beispiel die Destabilisierung von Gashydraten) frühzeitig zu erkennen.
- Der zunehmende Meereisschwund kann neue Schifffahrtswege eröffnen. Zuverlässige Model-



Meereisfläche

le zur Meereisvorhersage tragen zur Sicherung neuer Schifffahrtsrouten bei.

- Das Potenzial des arktischen Ozeans für lebende oder mineralische Ressourcen kann bisher nur unzureichend abgeschätzt werden. Ein Ziel besteht darin, eine belastbare Datenbasis zu erheben, die zur Ermittlung von Risiken, zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der Umwelt eingesetzt werden kann.
- Der Klimawandel und die wirtschaftliche Nutzung des Arktischen Raumes verändern die biologische Vielfalt der polaren Lebensräume. Die Untersuchungen tragen dazu bei, Rückzugsgebiete für gefährdete endemische Arten ausfindig zu machen und Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Damit wird auch eine nachhaltige Bewirtschaftung lebender Ressourcen (zum Beispiel Saibling, arktischer Kabeljau) möglich.

4.2. Wissenstransfer in die Gesellschaft

Im Internationalen Polarjahr 2007/2008 wurden vielfältige Aktionen unternommen, um die Polarforschung einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen⁶. So waren zum Beispiel Schulklassen und Lehrer in die Forschung eingebunden. Die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Schulen und Forschungsinstituten soll über die Einbindung in geeignete Projekte fortgeführt werden.

Für die Forschungsinstitute an Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen bleibt es wichtig, die Öffentlichkeit wissenschaftlich fundiert und zugleich allgemeinverständlich zu informieren. Nur so kann es gelingen, in der Gesellschaft ein Problembewusstsein für die derzeitigen klimatischen und damit verbundenen ökonomischen und ökologischen Veränderungen zu wecken.

Die Ergebnisse der Polarforschung sind bedeutsam für die Analyse des globalen und regionalen Klimawandels. Sie fanden Eingang in den 4. Sach-

standsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (4. IPCC Report 2007⁵) und liegen auch dem 5. Bericht, der voraussichtlich 2014/15 veröffentlicht wird, zugrunde.

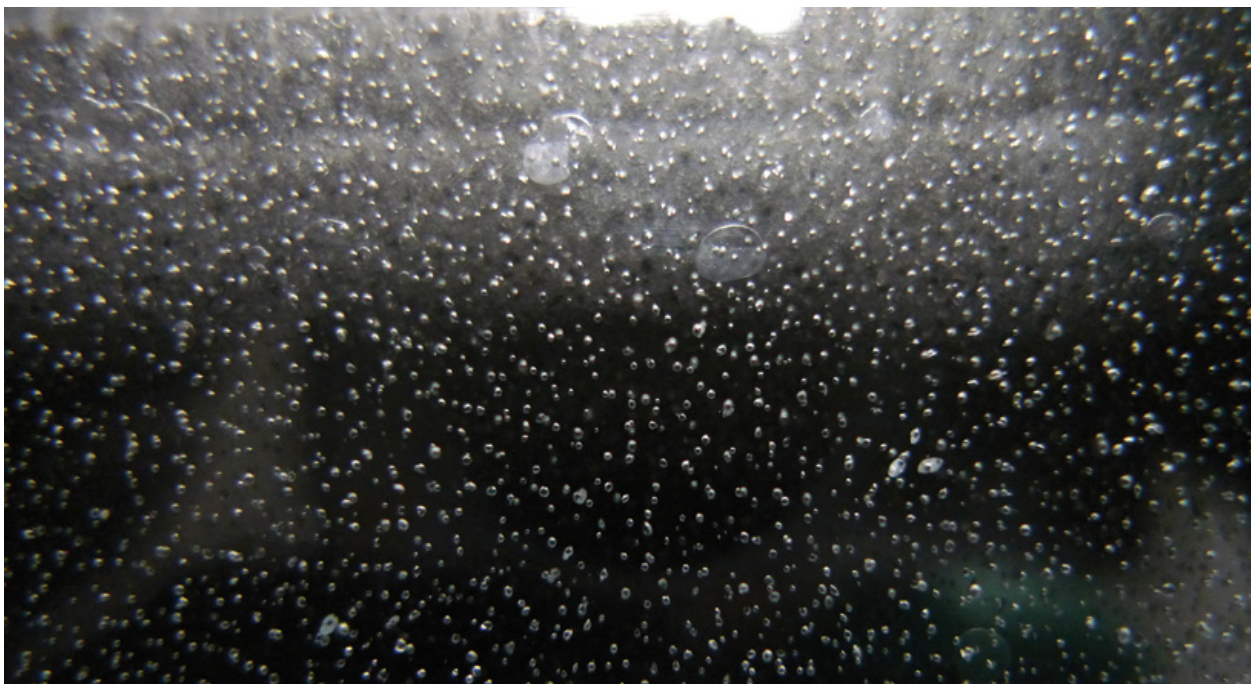
Die Analysen zur Veränderung der Kryosphäre und des Meeresspiegelanstiegs werden sowohl IPCC als auch anderen Gremien zur Verfügung gestellt. Hierzu wurde ein Regionales Klimabüro am Alfred-Wegener-Institut eingerichtet, das die Daten aufbereitet und für Anfragen aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft bereitstellt. Die Ausweitung dieser Bemühungen zu einer „Earth Knowledge Platform“ im Forschungsbereich Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft wird derzeit vorbereitet. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit dem „Climate Service Center“ des BMBF.

Zu den Herausforderungen der nächsten Jahre gehört es, die naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse zu den sozioökonomischen Aspekten des Wandels in Beziehung zu setzen. Für diese transdisziplinären Arbeiten besteht in Deutschland noch Nachholbedarf. Daher sollten mit Partnern im In- und Ausland Kooperationen aufgebaut werden, die diese Themen gemeinsam bearbeiten können.

4.3. Technologietransfer

Die Erforschung der Arktis unter den dortigen harschen Bedingungen erfordert hervorragende Technologien und hohe Sicherheitsstandards (siehe Box auf S. 21). Die Entwicklung automatischer Systeme zur Beobachtung und Beprobung unter polaren Bedingungen liefert Impulse für den maritimen Sektor und die Offshore-Technologie. Darüber hinaus sind an die Entdeckung von neuen, polaren Organismen, die für die Biotechnologie nützlich sein können, Erwartungen geknüpft. Geophysikalische Messungen in eisbedeckten Gebieten sind eine technologische Herausforderung und erforderlich, um Ressourcen abschätzen zu können.

Diese und andere Beiträge der Polarforschung für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Nutzung müssen in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft verstärkt werden. Dafür muss auch eine bessere Kommunikation zwischen den Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft aufgebaut werden.



Im Eis der grönländischen Eisschilde eingeschlossene Luftblasen speichern die Klimasignale vergangener Epochen. Bisher konnten anhand dieser Archive die Klimaperioden bis zu 120.000 Jahren vor heute erforscht werden.



Rückschreitende Erosion durch tauenden Permafrost im Untergrund, Herschel Insel, Kanada

Innovative Technologien, die zur Erforschung der Arktis benötigt werden

- eisbrechende Forschungsschiffe, die in allen Jahreszeiten eingesetzt werden können
- Technologien zur Gewinnung von Bohrkernen (aus dem Meeresboden, arktischen Eisschilden, tiefen Permafrostsedimenten, Gashydraten in den Kontinentalrändern)
- Technologien zur Untersuchung des subglazialen Milieus
- autonome Messplattformen für die Erforschung der Atmosphäre und kleinskalige meteorologische Messnetze
- ganzjährige autonome Beobachtungs- und Experimentalplattformen im Ozean mit Datenübertragung
- Ozeanobservatorien und Unterwasserfahrzeuge für Arbeiten in der arktischen Tiefsee und unter Eis
- Fernerkundung durch Satelliten und Flugzeuge zur präzisen Bestimmung der arktischen Inlandeismassen und des Meereises
- komplexe, gekoppelte Modelle für die Berechnung und Vorhersage von Klima, Eisdynamik und Meeresspiegelanstieg
- hohe Rechnerkapazitäten für den Einsatz numerischer Modelle
- Analysetechnik für die genetische Charakterisierung und Datenarchive für genetische Informationen spezifischer arktischer Organismen
- pan-arktische multidisziplinäre Datenbanken und geografische Informationssysteme

4.4. Nachwuchsförderung

Der deutsch-russische Masterstudiengang für angewandte Meeres- und Polarwissenschaften (POMOR) ist das Ergebnis einer gemeinsamen Initiative der Universitäten St. Petersburg, Hamburg und Bremen, des Alfred-Wegener-Instituts und des Helmholtz Zentrums für Ozeanforschung, Kiel (GEOMAR). POMOR wird seit 2002 in Kooperation mit den Universitäten Kiel, Potsdam und Rostock, dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, dem „Arctic and Antarctic Research Institute“ (AARI) und dem „Otto Schmidt Laboratory for Polar and Marine Research“ (OSL), beide in St. Petersburg, durchgeführt.

Die ersten beiden Semester absolvieren die Studierenden in St. Petersburg, das dritte Semester an einer der deutschen Partneruniversitäten. POMOR schließt mit einem Master of Science in angewandten Polar- und Meereswissenschaften ab.

Das Otto Schmidt Laboratory in St. Petersburg (OSL) ist ein modernes Forschungs- und Ausbildungslabor für polare Geowissenschaften, das gemeinsam von AARI, Alfred-Wegener-Institut und GEOMAR betrieben wird. Ein Stipendienprogramm unterstützt kleinere Forschungsprojekte junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Das OSL ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg deutsch-russischer Polar- und Meeresforschung und dient als Modell für eine neue Form internationaler Kooperationsvorhaben.

Eine Ausbildung mit internationaler Ausrichtung und mit direktem Zugang zur arktischen Umwelt bietet das von Norwegen betriebene University Centre in Svalbard (UNIS) an. An der nördlichsten Hochschule mit Sitz in Longyearbyen auf Spitzbergen können Diplomanden, Doktoranden und Postgraduierte qualitativ hochwertige Kurse in arktischer Biologie, Geologie, Geophysik und Technologie besuchen. Auch deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind daran beteiligt.

Interdisziplinäre und internationale Zusammenarbeit wird beispielhaft im Permafrost Young Researchers Network (PYRN) und in der Association of Polar Early Career Scientist (APECS) entwickelt. Beide Organisationen fördern den internationalen Austausch und unterstützen ausgewählte junge

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Die Nachwuchsförderung in der Polarforschung erfordert eine besonders starke interdisziplinäre und internationale Ausrichtung. Daher ist es notwendig, diese bereits gut entwickelte Kooperation in der Ausbildung weiter auszubauen.

Anmerkungen

- 1 Forschung für nachhaltige Entwicklungen - Rahmenprogramm des BMBF, hg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Referat 721 – Grundsatzfragen Kultur, Nachhaltigkeit, Umweltrecht, Bonn, Berlin 2009, http://www.bmbf.de/pub/forschung_fuer_nachhaltige_entwicklung.pdf.
- 2 Communication from the Commission to the European Parliament and the Council: The European Union and the Arctic Region, hg. von der Europäischen Kommission, Brüssel 2008, http://eeas.europa.eu/arctic_region/docs/com_08_763_en.pdf.
- 3 Grand Challenges in Global Sustainability Research, hg. vom International Council for Science (ICSU) (2010).
- 4 W.V. Reid et al.: Earth System Science for Global Sustainability: The Grand Challenges, in: Science 330 (2010), S. 916-917.
- 5 Beiträge der Arbeitsgruppen I, II und III zum 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), hg. vom Kernautorenteam, R.K. Pachauri und A. Reisinger, Genf 2007.
- 6 Polar Science and Global Climate: An International Resource for Education and Outreach, hg. von Bettina Kaiser, Pearson 2010.



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

