

DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS FÜR DAS LEBEN IN DEN MEEREN DER

Arktis

Schneller warm als irgendwo sonst

Kaum eine Region der Erde hat sich seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts so stark erwärmt wie die Arktis. Die Lufttemperatur ist hier doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Durchschnitt. Am deutlichsten zeigen sich die Folgen dieser Erwärmung an der stetig schwindenden Meereisdecke. Wissenschaftler vermuten, dass in weniger als 40 Jahren der Nordpol im Sommer eisfrei sein könnte.

Einigen Bewohnern des Arktischen Ozeans eröffnet das schmelzende Meereis neue Möglichkeiten, für viele andere jedoch verschwindet das Fundament ihres Lebens. Das heißt, der Klimawandel stellt schon jetzt ein bewährtes System hochspezialisierter Tiere und Pflanzen vor große Herausforderungen. Mit steigender Wassertemperatur wandern zum Beispiel mehr Arten aus dem Süden in den Norden und machen dessen Bewohnern den Platz streitig. Wo aber sollen die Alteingesessenen hin? Rückzugsmöglichkeiten in noch kältere Regionen gibt es für viele so gut wie nicht.

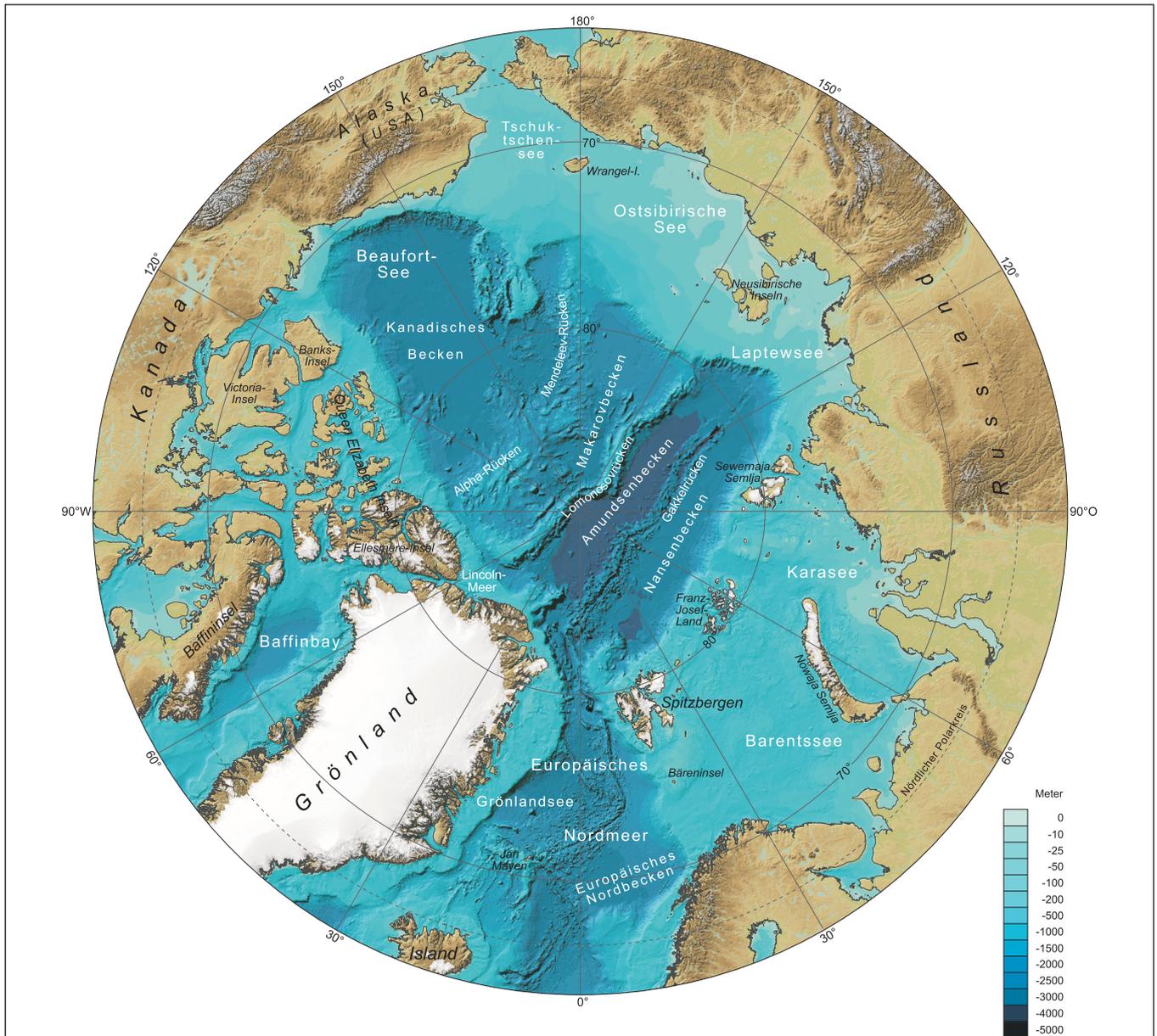
Darüber hinaus gelangt heute durch die großen Flüsse und das schmelzende Meereis mehr Süßwasser in den Arktischen Ozean als früher. Dieses salzarme Wasser legt sich wie ein Deckel über tiefere Wasserschichten und verhindert, dass Nährstoffe an die Oberfläche ge-



Die Heimat des Eisbären ist die Arktis, deren Südgrenze der Weltklimarat bei 66 Grad nördlicher Breite zieht. Dieses Fact Sheet orientiert sich ebenfalls an dieser Definition (Foto: Sebastian Menze/AWI)

langen. Gleichzeitig löst sich aufgrund der hohen Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre immer mehr Kohlendioxid im Oberflächenwasser des Ozeans. Die Folge: Der pH-Wert des Wassers sinkt; Lebewesen, die ihre Gehäuse und Skelette aus Kalk bilden, können weniger Baustoff produzieren.

Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts untersuchen seit mehreren Jahrzehnten, wie sich das Ökosystem des Arktischen Ozeans verändert. Dieses Fact Sheet gibt einen Einblick in ihre Forschung und Ergebnisse.



Kartographie: D. Graffe, AWI. Modifiziert nach: Jakobsson, M., R. Macnab, N. Cherkis, H.-W. Schenke et al., 2004, *The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean*, map scale 1:6,000,000, World Data Center for Marine Geology & Geophysics, Boulder, Research Publication RP-2.

Der Arktische Ozean

Die Arktis ist im Gegensatz zur Antarktis kein Kontinent. Sie erstreckt sich vielmehr über einen zentralen Ozean, der von den Nordrändern Skandinaviens, Nordamerikas, Grönlands und Russlands umschlossen wird. Der Arktische Ozean ist mit einer Länge von 4000 Kilometern, einer Breite von 2400 Kilometern und einer Fläche von 14 Millionen Quadratkilometern der kleinste Ozean unseres Planeten. Er liegt vollständig innerhalb des nördlichen Polarkreises, zählt große flache Schelfmeere wie die Laptewsee zu seinem Territorium und besitzt direkt unter-

dem Eis Wassermassen mit einer Minimaltemperatur von minus 1,8 Grad Celsius.

Das Leben im Meer wird maßgeblich von der Zirkulation des Wassers und damit von der Topografie des Ozeanbodens beeinflusst. Die Karte zeigt vier Tiefseebecken, die durch unterseeische Höhenzüge voneinander getrennt sind. Die einzige Tiefseeverbindung des Arktischen Ozeans zu den anderen Weltmeeren verläuft durch die Framstraße - der Passage zwischen Grönland und Spitzbergen.



Auf doppelte Weise trifft der Klimawandel Walrosse. Ihnen schmilzt mit dem Meereis nicht nur die wichtigste Jagd- und Ruheplattform weg. Die Versauerung des Ozeans dürfte zudem ihrer Hauptspeise, den Muscheln, zusetzen. (Foto: Magnus Elander, CC BY-NC-ND 4.0)

Die Folgen des Klimawandels für den Arktischen Ozean

Erwärmung, Versauerung, veränderte Schichtung der Wassermassen - drei Folgen des Klimawandels, die den Bewohnern der arktischen Gewässer vor allem dann zusetzen, wenn sie zeitgleich auftreten. Als Trio verstärken sie nämlich ihre Wirkung gegenseitig, sodass selbst Fische, denen saureres Wasser allein wenig anhaben kann, empfindlich auf die Ozeanversauerung reagieren, wenn gleichzeitig auch die Wassertemperatur steigt. Hier ein paar ausgewählte allgemeine Fakten und Vorhersagen zu den Folgen des Klimawandels im Arktischen Ozean.

Erwärmung

Seit den 1970er Jahren ist die Temperatur des Arktischen Ozeans in mittlerer Wassertiefe pro Jahrzehnt um bis zu 0,9 Grad Celsius gestiegen. Die Folgen sind u.a.:

- Arten aus südlicheren Gefilden siedeln sich in arktischen Gewässern an und konkurrieren dort mit angestammten Arten um Nahrung. Die Artenzusammensetzung verändert sich. Für den Menschen bedeutet dies, dass Speisefische in den Norden abwandern und sich Fanggebiete verschieben.
- Durch den Rückgang des Meereises wird die Primärproduktion der Eisalgen abnehmen. Ihr Wachstum und ihre Vermehrung machen bisher nahezu die Hälfte der Nahrungsgrundlage im Ökosystem des Arktischen Ozeans aus.

Schichtung

Gelangt Süßwasser durch Flüsse, Niederschlag oder schmelzendes Meereis in den Arktischen Ozean, verändert es dessen Oberflächenwasser. Der Salzgehalt der oberen Wasserschicht und damit auch ihre Dichte nehmen ab. Die Folgen:

- Besitzt die obere Wasserschicht eine deutlich geringere Dichte als die darunterliegenden Wassermassen, können sich beide Schichten zunehmend schlechter durchmischen. Das heißt, je stärker die Schichtung wird, desto seltener gelangen Nährstoffe aus den unteren in die oberen Wasserschichten.
- Die zunehmende Schichtung beeinflusst die Meeresströmungen und die Umwälzbewegungen des Wassers, mit denen die tiefen Schichten des Ozeans mit Sauerstoff versorgt werden.

Versauerung

Kohlendioxid löst sich besonders gut in kaltem Meerwasser, vor allem dann, wenn es sich mit Süßwasser mischt. Puffernde Salze werden so verdünnt. Die arktischen Gewässer gehören deshalb zu jenen Gebieten, die am stärksten von der Ozeanversauerung betroffen sein werden. Kohlendioxid stört außerdem die Karbonatbildung in den Körperflüssigkeiten der Meeresbewohner. Das heißt, Arten, die ihre Schalen aus Kalk oder Aragonit bauen, verfügen nicht mehr über ausreichend Baustoffe.

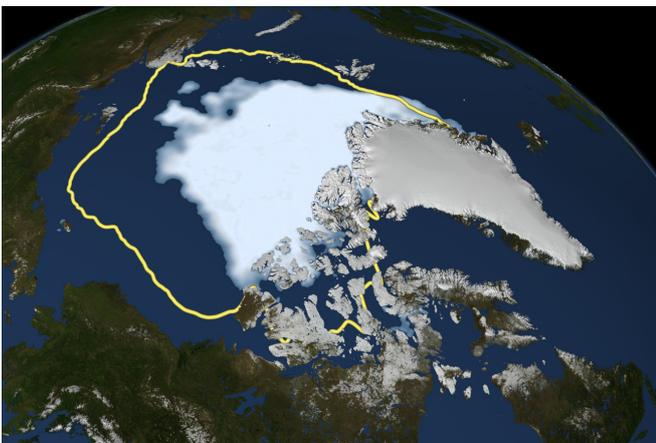


Türkisblau schimmert einer der vielen Schmelzwassertümpel, die sich im Sommer auf dem Meereis der Arktis bilden. Je dünner die Eisschicht am Tümpelgrund ist, desto dunkler seine Farbe, denn der Ozean schimmert von unten durch das Eis hindurch. AWI-Biologen untersuchen an solchen Tümpeln unter anderem, unter welchen Bedingungen Eisalgen in den Schmelzwasseransammlungen wachsen. (Foto: Stefan Hendricks, AWI)

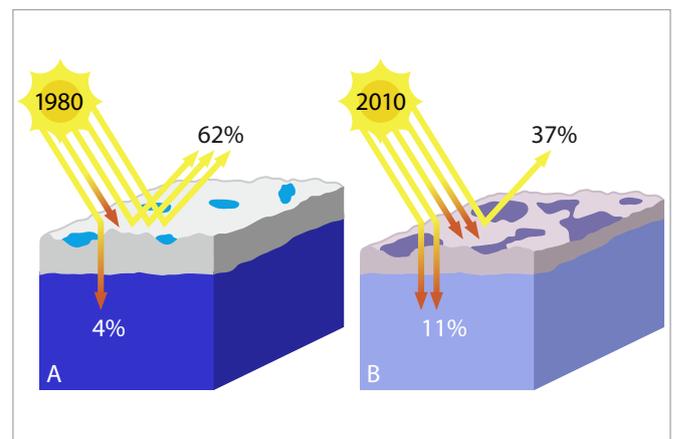
Weniger Eis, mehr Delikatessen für die Tiefsee

Nirgendwo zeigen sich die Folgen des Klimawandels so klar und deutlich wie an der arktischen Meereisdecke. Sie ist in den zurückliegenden 25 Jahren nicht nur kleiner geworden, sondern auch viel dünner. Wo im Sommer früher bis zu vier Meter dickes Eis trieb, das vier Jahre oder älter war, finden Forscher heute auf ihren Expeditionen in der Regel einen Teppich aus rund 90 Zentimeter dünnen, einjährigen Schollen. Eis, das mit Schmelztümpeln überzogen ist und seine wichtigste Klimafunktion - das Zurückstrahlen des Sonnenlichtes - kaum noch erfüllen

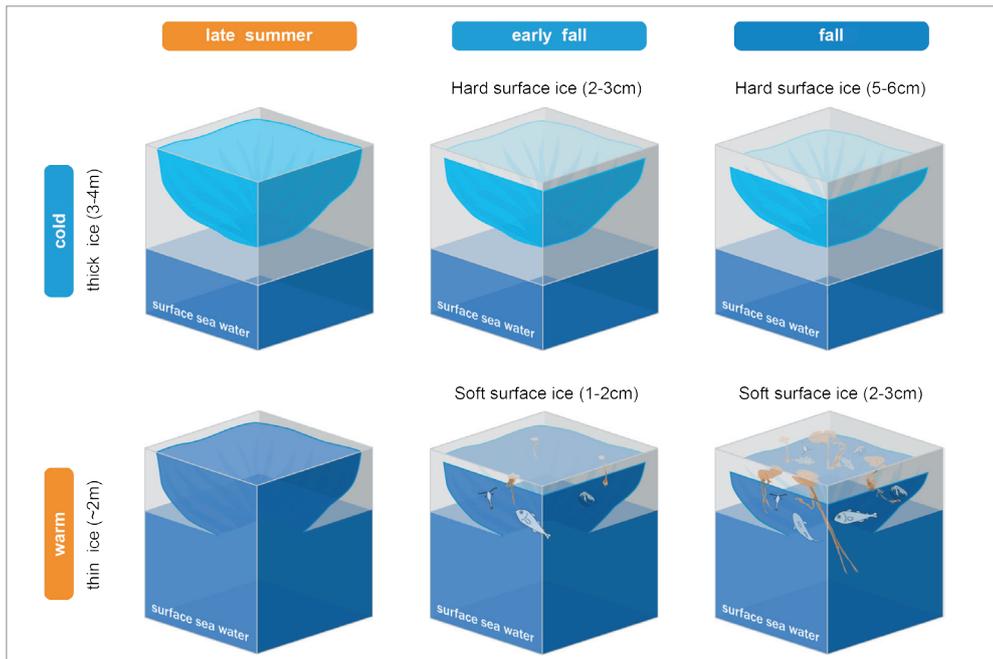
kann. Stattdessen absorbiert es mehr als die Hälfte der Sonnenstrahlen. Ein immer größer werdender Teil des Lichts dringt sogar durch das Eis hindurch und verleiht den Lebensgemeinschaften im und unter dem Eis vermutlich zusätzliche Energie für ein großflächiges Wachstum. Dabei genügt hochspezialisierten Arktisbewohnern wie den Eisalgen schon ein bisschen Licht, um sich zu vermehren. Als Eisalgen bezeichnet man verschiedene Algenarten, die in den Solekanälen des Eises oder an der Schollenunterseite leben. Sie produzieren fast die Hälfte der Nahrungsgrundlage im Arktischen Ozean. Legen sie zu, haben Polardorsch und Co. mehr zu fressen.



Im Sommer 2012 schrumpfte die arktische Eisdecke auf ein September-Rekordminimum von 3,41 Millionen Quadratkilometern (weiße Fläche). Dieser Wert lag weit unter der Durchschnittsfläche der Jahre 1979 bis 2010, welche hier als gelbe Linie dargestellt wird. (Karte: NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio)



Noch im Jahr 1980 war das Packeis der Arktis so dick, dass es ihm gelang, mehr als 60 Prozent der einfallenden Sonnenenergie zu reflektieren. Dieser Wert hat sich bis heute fast halbiert. Das verbliebene Eis ist oft nur einen Winter alt, dünn und von zu vielen Schmelztümpeln überzogen, als dass es viel Licht zurückstrahlen könnte. (Grafik: AWI)



Speisekammern im Eis

Schmelzwassertümpel sind kein neues Phänomen in der Arktis. Es gab sie schon früher, mit dem Unterschied, dass die Luft kälter und das Packeis dick genug war, um nicht durchzuschmelzen.

Das dünne Eis von heute kann der Erwärmung wenig entgegenzusetzen. Bilden sich im Sommer flache Tümpel, entwickeln sich diese schnell zu bodenlosen Löchern. Wenn diese jedoch im Spätsommer wieder überfrieren, wachsen in den Hohlräumen mehr Eisalgen als unter der Scholle. Neue Speisekammern entstehen, die vor allem am Anfang des langen Winters Futter für Ruderfußkrebse und Polardorsche bereithalten.

(Abbildung: Lee, S.H et al. 2011. Holes in progressively thinning Arctic sea ice lead to new ice algae habitat. *Oceanography* 24(3): 302-308)

Als besonders guter Lichtverwerter erwies sich die Eisalge *Melosira arctica*. Im Sommer 2012 fanden AWI-Forscher auf einer Polarstern-Expedition in die zentrale Arktis dieses Gewächs in großen Teppichen unter dem dünnen Eis - und als herabgesunkene Klumpen auf dem Meeresboden in der Tiefe. Wie konnte das sein? Was war in den Wochen zuvor passiert?

Das viele Sonnenlicht, das durch das Eis gedrungen war, hatte der Eisalge zunächst zu einem Mega-Wachstum an der Eisunterseite verholfen. Als das Meereis im Laufe des Sommers dann nach und nach schmolz, lösten

sich die Algenteppiche, verklumpten und sanken wie Steine und damit für die Biologen unerwartet schnell in die Tiefe. Am Meeresboden angekommen, stürzten sich Bodenbewohner wie Seegurken und Haarsterne auf die vielen Futterbrocken. Welch ein plötzlicher Nahrungsüberfluss für die sonst eher Schmalkost gewöhnten Tiefseearten. Die Tiere fraßen so viel, dass sie deutlich größer und eher geschlechtsreif waren als in einem früheren Sommer mit einer dickeren Meereisdecke.

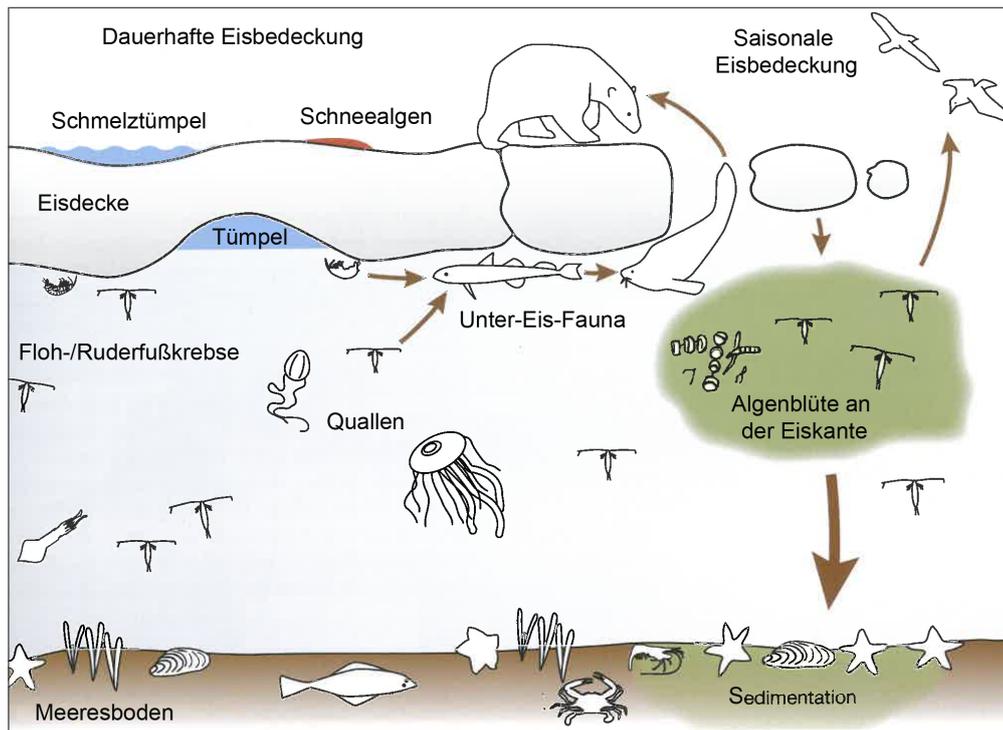
Hinzukommt: Algenklumpen, welche die Tiefseebewohner übrig gelassen hatten, wurden von Sauerstoff zeh-



Wer sich das arktische Packeis von unten anschaut, entdeckt dort Eisalgen wie *Melosira arctica*. Diese und andere kälteliebende Algen beginnen nach dem Ende der Polarnacht zu wachsen, wenn wieder Sonnenlicht in die Arktis und somit auch durch das Eis dringt. Schmilzt das Eis dann im Laufe des Sommers, sterben die Algen ab. (Foto: ROV/AWI)



Zwei Seegurken steuern auf einen Algenklumpen zu, der von der Meeresoberfläche in die arktische Tiefsee gesunken war. AWI-Forscher haben einen solchen Futterregen erstmals im Sommer 2012 beobachtet. Ihre Schlussfolgerung: Veränderungen im Meereis wirken sich unmittelbar auch auf die Bewohner der Tiefe aus. (Foto: Antje Boetius/AWI)



Ohne Eis geht nichts

Die Eisdecke des Arktischen Ozeans ist ein wichtiger Pfeiler des Meereslebens. Sein Gefrieren und Schmelzen bestimmt, ab wann und wie lange Eisbären auf dem Eis Robben jagen können. Die selbe Zeit bleibt Floh- und Ruderfußkrebse, sich an der Schollenunterseite mit Eisalgen satt zu fressen. Die wohlgenährten Krebstiere wiederum dienen als Futter für Polardorsche, denen Robben, Seevögel und Wale nachstellen.

Wenn im Sommer die Eisfläche schmilzt, verschwindet auch die Speisekammer der Untereis-Arten. Dafür dringt Sonnenlicht in die obere Wasserschicht. Freiwasser-Algen beginnen zu wachsen, sinken ab und versorgen auf diese Weise die Lebewesen der Tiefsee mit Nahrung. (Infografik: ArcCoML, ins Deutsche übersetzt)

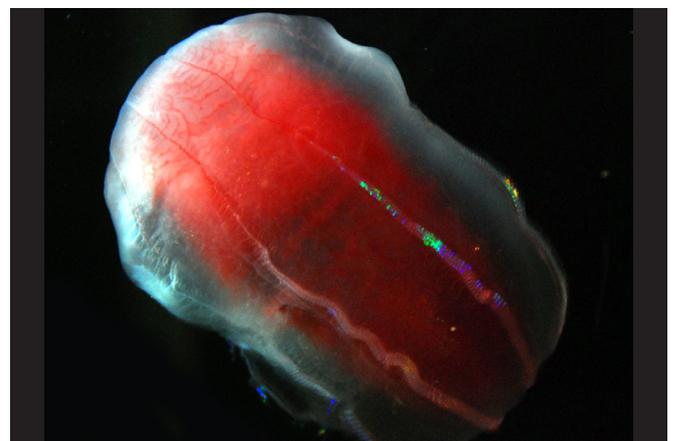
renden Mikroorganismen zersetzt. Dies wiederum hatte zur Folge, dass der Sauerstoffgehalt im Meeresboden unter den Algenklumpen deutlich abnahm. Am Ende blieb für die AWI-Wissenschaftler die Erkenntnis: Das viele Sonnenlicht, das in den Ozean gedrungen war, hatte das Nahrungsgefüge des arktischen Meeres von der Oberfläche bis in 4000 Meter Tiefe grundlegend verändert - und das in einem Zeitraum von gerade einmal zwei Monaten.

Welche Langzeitfolgen die Abnahme des Meereises hat, werden AWI-Forscher auf künftigen Polarstern-Expe-

ditionen untersuchen. Fest steht schon jetzt: Mit dem Meereis schwindet im Arktischen Ozean ein wichtiger Pfeiler seines polaren Ökosystems (siehe Grafik oben). Kurzfristig wird das Mehr an Licht das Algenwachstum im Arktischen Ozean und damit die Produktivität des Gewässers steigern - abhängig von der Frage, ob den Algen ausreichend Nährstoffe zur Verfügung stehen. Langfristig aber verschwindet der Lebensraum für all jene Arten, welche an die speziellen Herausforderungen des Lebens auf, im und unter dem Meereis angepasst sind.



Mit dem Packeis schwindet die Kinderstube des Polardorsches *Boreogadus saida*. Seine Jungtiere leben bis zu einem Alter von zwei Jahren in und unter dem Eis. In den Höhlen und Gängen finden die Fische genügend Nahrung und Schutz vor Feinden. (Foto: Hauke Flores/AWI)



Auch die arktische Beroe-Rippenqualle jagt unter dem Eis. Sie ernährt sich von anderen Rippenquallen, die wiederum Floh- und Ruderfußkrebse jagen, welche an der Eisunterseite leben. Das hier fotografierte Tier ist etwa fünf Zentimeter lang. (Foto: Carmen David/AWI)



Zuhause im Hohen Norden: Der Beluga ist eine von 16 Säugetierarten, die unter oder auf dem arktischen Meereis leben. (Foto: Franco Banfi)

Wer lebt im Arktischen Ozean und welche Arten brauchen das Meereis?

Auf, über oder direkt unter dem Eis

- Über dem arktischen Ozean gehen etwa 60 verschiedene Seevogelarten auf die Futtersuche; darunter Arten wie der Papageitaucher.
- Forscher kennen heute 16 Säugetierarten, die auf oder unter dem Eis leben. Die bekanntesten Vertreter sind Eisbären, Ringelrobben, Walrosse, Grönland-, Beluga- und Narwale.
- Im Eis und an seiner Unterseite lebt eine hochspezialisierte Gemeinschaft aus mehr als 2100 bekannten Einzellern wie Viren, Bakterien, Archäen, Eisalgen sowie mehr als 50 Arten von Kleinlebewesen wie Floh- und Ruderfußkrebse. Die meisten Algen wachsen im Frühjahr im unteren Teil des Eises, wo die Temperatur gleichmäßig und die Nährstoffdichte am höchsten ist. Bakterien dagegen halten auch eine Temperatur bis minus zehn Grad Celsius aus und bevölkern das gesamte Eis.

In der Wassersäule

- Im Arktischen Ozean leben etwa 240 bekannte Fischarten, von denen vor allem der grönländische Dorsch *Arctogadus glacialis* und der Polardorsch *Boreogadus saida* vom Eis abhängen. Ihr Nachwuchs findet an der Eisunterseite Futter und Schutz.

- Wenn ab April das Meereis zu schmelzen beginnt, wachsen und vermehren sich die mehr als 1800 bekannten arktischen Phytoplankton-Arten, darunter zur Hälfte Kieselalgen. Ihr Wachstum ist dann so stark, dass es vor der Eiskante zu einer sogenannten Algenblüte kommen kann, an der sich dann rund 340 Zooplankton-Arten wie Floh- und Ruderfußkrebse ihre Fettreserven für den nächsten Winter anfrassen.

Am Meeresboden

- In den flachen Küstengewässern der arktischen Meere haben Forscher mehr als 160 verschiedene Tang-Arten entdeckt. 40 Prozent davon sind Braunalgen, und jeweils 30 Prozent Rot- und Grünalgen.
- Das Leben am Boden der flachen arktischen Schelfmeere setzt sich aus mehr als 2600 verschiedene Arten zusammen, darunter vor allem Krebstiere und Ringelwürmer. Auch aus diesem Grund sind diese Bereiche des Arktischen Ozeans wichtige Futterplätze für Säugetiere wie Robben und Wale.
- Am Boden des Arktischen Ozeans leben mehr als 1100 Tierarten. Bekannt sind bisher zum Beispiel 366 verschiedene Gliederfüßer, 197 Kammertier-Arten sowie 194 Ringel- und 140 Fadenwurm-Arten.



Gerade mal einen Millimeter messen die Gehäuse der subarktischen Flügelschnecke *Limacina helicina*. Ihre Reaktionen auf den Klimawandel untersuchen AWI-Biologen derzeit aus zwei Gründen. Zum einen drängen Einwanderer in ihren Lebensraum, zum anderen besteht die Gefahr, dass die Tiere bei zunehmender Ozeanversauerung nicht mehr genügend Baustoff für ihr Gehäuse bilden können. (Foto: Kathrin Busch/AWI)

Framstraße: Highway der Artenwanderung

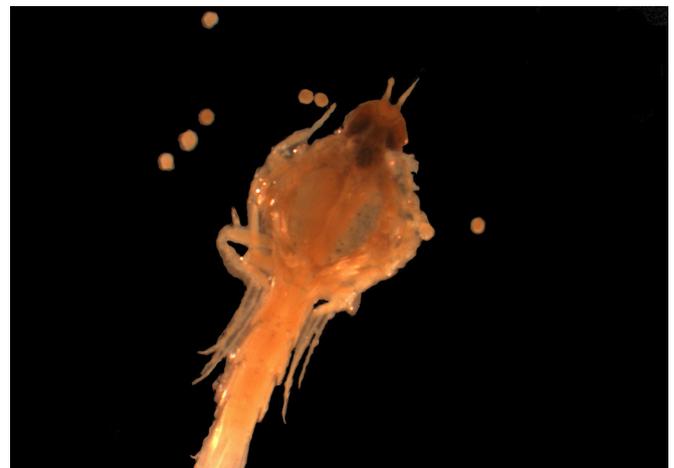
Die Framstraße ist im Zuge des Klimawandels zu einem Highway der Artenwanderung geworden. Durch den Seeweg zwischen Grönland und der Inselgruppe Spitzbergen strömen seit jeher atlantische Wassermassen in den Arktischen Ozean, welche wärmer als zwei Grad Celsius sind. In den zurückliegenden Jahrzehnten aber hat die Temperatur dieses einströmenden Wassers stetig zugenommen. Dadurch erwärmen sich zum einen die zentral-arktischen Gewässer, zum anderen öffnet der warme Einstrom aber auch Einwanderern aus dem Atlantik den Weg in die hohen Breiten - so zum Beispiel der Flügelschnecke *Limacina retroversa* und dem Flohkrebis *Thermisto compressa*.

Beide Atlantikbewohner mögen es warm. Die Flügelschnecke *Limacina retroversa* zum Beispiel fühlt sich bei einer Wassertemperatur von zwei bis 19 Grad Celsius am wohlsten. Bis vor 15 Jahren fanden Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Institutes sie nur gelegentlich am HAUSGARTEN, dem Tiefsee-Langzeitobservatorium in der Framstraße. Viel öfter ging ihnen damals noch ihre subarktische Schwester *Limacina helicina* in die Falle. Diese kälteliebende Flügelschnecke vermehrt sich bei Temperaturen von -1,6 bis vier Grad Celsius am besten und zählte bis dato zu den wichtigsten Beutetieren der Fische und Bartenwale in der Framstraße.

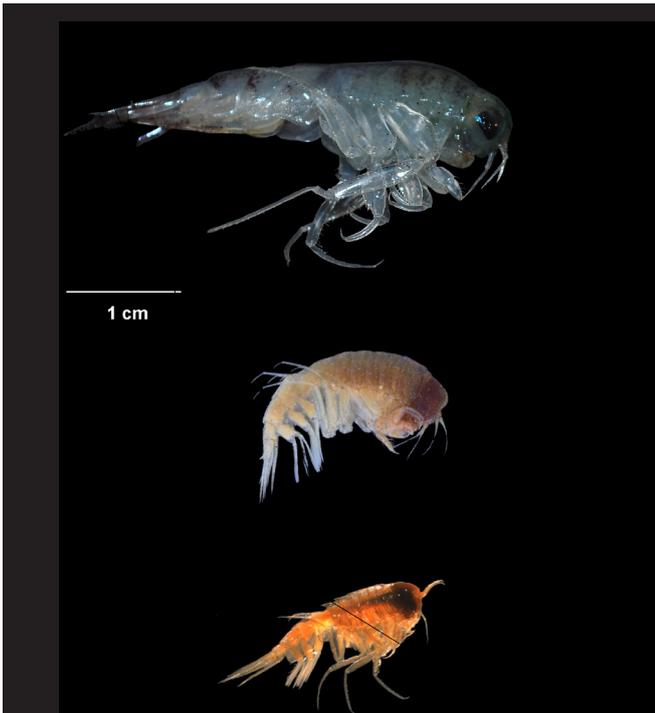
Ihre Revierhoheit aber muss sich die arktische Flügelschnecke seit dem Jahr 2005 teilen. In jener Zeit ström-

te deutlich wärmeres Atlantikwasser in die Framstraße als in den Jahren zuvor - und mit dem Strom kam die atlantische Verwandte.

Ob die Einwanderin die angestammte Art vollends verdrängen wird, können die AWI-Wissenschaftler noch nicht sagen. Fest steht: Steigt die Temperatur des Richtung Norden strömenden Wassers weiter, könnte *Limacina helicina* ihr Heimspiel gegen die atlantische Flügelschnecke verlieren und nach Norden auswandern. Der Grund: Die Wärme bekommt ihr auf lange Sicht nicht so gut wie ihrer Widersacherin aus dem Süden.



Dieses atlantische Flohkrebisweibchen besaß eine mit Eiern (kugelförmige Gebilde) prall gefüllte Bruttasche, als es sich in der Falle am Tiefseeobservatorium verfang. Funde wie dieser belegen, dass die Einwanderer in der Arktis heimisch geworden sind. (Foto: Angelina Kraft/AWI)



Klein ersetzt groß: Dieses Bild zeigt die Größenunterschiede zwischen dem arktischen Flohkrebs *Themisto libellula* (oben), seinem subarktischen Verwandten *Themisto abyssorum* (Mitte) und dem Atlantik-Einwanderer *Themisto compressa*. (Foto: Angelina Kraft/AWI)

Einen Schritt weiter als die atlantische Flügelschnecke ist der Flohkrebs *Themisto compressa*. Auch er kam mit dem wärmeren Atlantikwasser in die Framstraße. Im Gegensatz zur Flügelschnecke aber schafft er es inzwischen auch, sich im hohen Norden fortzupflanzen, wie AWI-Biologen erst vor kurzem herausfanden.

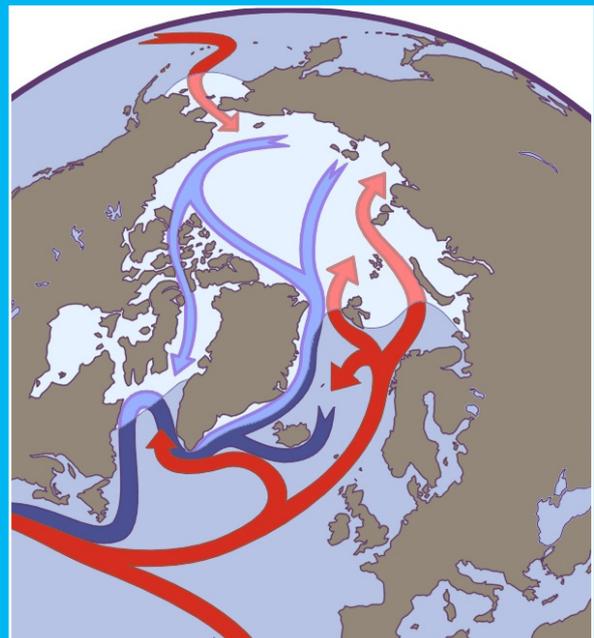
Leidtragende dieser zunehmenden Artenwanderung aus dem Nordatlantik in den Arktischen Ozean werden am Ende vermutlich die Tiere am Ende der Nahrungsketten sein. Denn viele der atlantischen Einwanderer sind deutlich kleiner und somit weniger nahrhaft als ihre subarktische und arktische Verwandtschaft.

Ein Beispiel: Fische, Robben, Seevögel und Wale, die früher in der Framstraße Jagd auf den arktischen Flohkrebs *Themisto libellula* machten, erbeuteten mit einem ausgewachsenen Flohkrebs etwa 40 Milligramm Fett. Ein wahres Festmahl! Um bei ihrer neuen Beute, dem atlantischen Flohkrebs *Themisto compressa*, auf die selbe Energiemenge zu kommen, ist deutlich mehr Jagdausdauer notwendig. Der Grund: Ein Flohkrebs dieser Art ist maximal 2,5 Zentimeter lang und enthält nicht mehr als drei Milligramm Fett. Das heißt, Kabeljau und Co. müssen von den neuen Flohkrebsen in etwa zwölfmal mehr fangen als vorher.

Der Weg der Wärme

Der Arktische Ozean ist durch mehrere Seewege mit dem restlichen Weltmeer verbunden. Der Seeweg durch das Beringmeer verbindet ihn mit dem Pazifik. Hier fließt je nach Jahreszeit -1,6 bis 2 Grad Celsius warmes Wasser in den Arktischen Ozean. Die Verbindung zum Atlantischen Ozean führt über mehrere Zugänge, unter anderem durch die Framstraße, den Seeweg zwischen Grönland und Spitzbergen.

Westlich und östlich Grönlands strömt bis zu -1,9 Grad kaltes Wasser aus dem Arktischen Ozean Richtung Süden. Auf der östlichen Seite dagegen fließt auf zwei Wegen (Framstraße und Barentssee) mehr als 2 Grad warmes Wasser aus dem Atlantischen Ozean nach Norden - und zwar zehnmal mehr als auf der Pazifikseite. Etwa die Hälfte davon macht in der Framstraße sofort wieder kehrt. Der andere Teil dagegen gelangt in den Hohen Norden. AWI-Wissenschaftler messen seit mehr als 15 Jahren die Temperatur des durch die Framstraße fließenden Atlantikwassers. Sie ist seit Beginn der Messungen um ein halbes Grad Celsius gestiegen. Das bedeutet: Die atlantische Strömung trägt heute mehr Wärme in den Arktischen Ozean als früher und koppelt ihn somit an den großen Wärmespeicher „Weltmeer“.



Diese Grafik zeigt, über welche Seewege warmes Wasser (rot) in den Arktischen Ozean einströmt und wo kaltes Wasser (blau) wieder herausströmt. (Grafik: NSIDC)



Deutliche Anzeichen: Der Kongsfjord auf Spitzbergen zeigt heute ein anderes Gesicht als noch vor drei Jahrzehnten. Vor 35 Jahren war der Fjord rund 200 Tage pro Jahr zugefroren und von Meereis bedeckt. Heute bildet sich die Eisdecke erst viel später im Jahr und hält für maximal 40 Tage. Im selben Zeitraum (1980-2010) ist die Durchschnittstemperatur an der Wasseroberfläche von 1,7 auf 2,2 Grad Celsius gestiegen. (Foto: Joe Haschek/AWI)

Fjorde Spitzbergens: Anpassungsfähige Generalisten gesucht

Wer einst in den Fjorden Spitzbergens überleben wollte, musste perfekt an die eiskalten Lebensbedingungen angepasst sein. Gefragt waren Spezialisten wie der Polardorsch. Im Laufe der Evolution hatte er zum Beispiel Anti-Gefrier-Proteine entwickelt, um im bis zu minus 1,8 Grad kalten Oberflächenwasser des Arktischen Ozeans überleben zu können. Er hat seinem Nachwuchs im Packeis eine schützende Kinderstube gesucht und sich auf Beute spezialisiert, die im Nordpolarmeer in ausreichenden Mengen vorhanden war. Belohnt wurde diese Anpassungskunst mit einer Hauptrolle als „Schlüsselart“ im arktischen Nahrungsnetz. Polardorsche sind bis heute das wichtigste Beutetier für arktische Meeressäuger wie Robben und Belugawale und werden auch vom Menschen in großen Mengen gefischt.

Diese Hauptrolle steht jetzt jedoch auf dem Spiel. Die steigende Temperatur der arktischen Gewässer kostet den Polardorsch viel Energie. Laborversuche am Alfred-Wegener-Institut haben gezeigt, dass es dem Fisch schon bei vier Grad Celsius kaltem Wasser zu warm wird und er nicht mehr so gut wächst wie bei einer Temperatur um den Gefrierpunkt.

Sein Verwandter, der Atlantische Kabeljau, dagegen fühlt sich bei vier Grad Celsius erst richtig wohl. Er ist in den zurückliegenden Jahren aus der wärmer

werdenden Nordsee und dem Nordatlantik Richtung Norden gewandert und findet in den Fjorden Spitzbergens inzwischen optimale Lebensbedingungen.

Sein Erfolgsgeheimnis: Der Atlantische Kabeljau ist Generalist. Er fühlt sich bei einer Wassertemperatur von vier bis zehn Grad Celsius wohl und kann seinen Stoffwechsel, den Blutkreislauf und andere Körperfunktionen schnell an wechselnde Lebensbedingungen anpassen. Die zunehmende Belastung durch das saurer werdende Wasser des Arktischen Ozeans dürfte er ebenfalls leichter wegstecken als der Polardorsch. Die



Der Atlantische Kabeljau - hier in einem Aquarium fotografiert - ist in den vergangenen Jahren aus dem Nordatlantik Richtung Arktis gewandert und macht dort seinem kälteliebenden Verwandten, dem Polardorsch, das Revier in den Fjorden Spitzbergens streitig. (Foto: Hans-Petter Fjeld (CC-BY-SA))



Als ausgewachsener Krebs kann es die kälteliebende Seespinne *Hyas araneus* mit saurerem Wasser aufnehmen. Lebensgefährlich wird es dagegen, wenn die Spinne als Larve auf Wassermassen mit erhöhtem Säuregrad trifft. (Foto: Lars Harms/AWI)

AWI-Experten vermuten deshalb, dass die Widerstandsfähigkeit gegenüber der Ozeanversauerung und dem gleichzeitigen Temperaturanstieg im Konkurrenzkampf der beiden Arten der entscheidende Faktor sein könnte.

Doch auch Generalisten kann die Ozeanversauerung zusetzen. Auf welche Weise, das wird vermutlich der Nachwuchs der Seespinne *Hyas araneus* zu spüren bekommen. Die Seespinnenlarven schwimmen im Gegensatz zu ihren ausgewachsenen Artgenossen in den oberen Wasserschichten - also dort, wo die Ozeanversauerung den Wissenschaftlern zufolge zuerst zu spüren sein wird.

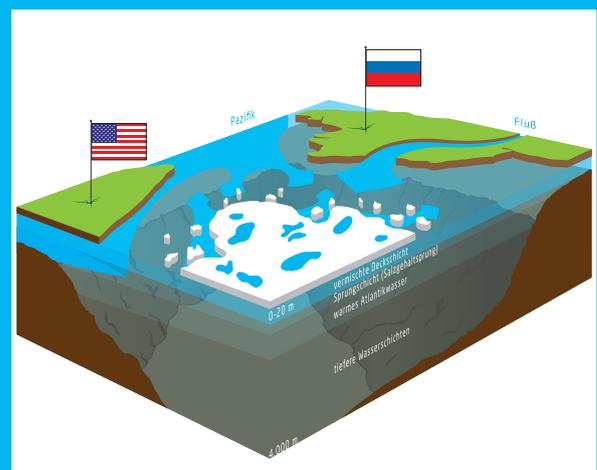
AWI-Biologen haben die künftigen Lebensbedingungen der Seespinnen im Labor simuliert und festgestellt: Das saurere Meerwasser beeinflusst die Entwicklung der Krebse schon im Ei. Es verändert den Säuregehalt ihres Blutes und anderer Körperflüssigkeiten und wirkt sich so ganz entscheidend auf die Überlebenschancen des Nachwuchses aus. Bei den Laborversuchen starben über 70 Prozent jener Larven, die schon als Embryo im Ei saurerem Wasser ausgesetzt waren.

Doch damit nicht genug: Hat der Nachwuchs den Säurestress als Embryo bewältigt und ist als Larve geschlüpft, steht er gleich vor der nächsten Herausforderung. Denn: Der Seespinnennachwuchs entwickelt sich im saureren Wasser langsamer. Er läuft somit länger Gefahr, gefressen zu werden und reagiert zudem empfindlich auf steigende Wärme. Überstehen die Larven aber auch diese Prüfungen, sind sie sozusagen über dem Berg. Sie setzen sich auf dem Meeresboden ab; ihr Körper ist voll entwickelt und kann sich von nun ab besser auf saureres Wasser einstellen.

Ein Deckel aus Süßwasser

In den Arktischen Ozean münden einige der größten Flüsse unseres Planeten - zum Beispiel die Lena und der Mackenzie. Sie transportieren viel Süßwasser, das sich an der Oberfläche mit dem Meerwasser mischt und eine salzarme Schicht bildet, die sich wie eine Linse auf die tieferen Wasserschichten legt. Es gibt Anzeichen, dass im Zuge des Klimawandels die Niederschläge in der Arktis und in den großen Wassereinzugsgebieten der Flüsse zugenommen haben und diese heute mehr Süßwasser in den Ozean transportieren als noch vor 20 Jahren. Dazu kommen wachsende Süßwassereinträge durch das schmelzende Meereis.

AWI-Ozeanografen und ihre internationalen Partner haben in den zurückliegenden 25 Jahren eine drastische „Aussüßung“ des Arktischen Ozeans beobachtet. Das Nordpolarmeer speichert heute 30 Prozent mehr Süßwasser in seiner oberen Wasserschicht als noch im Jahr 1992. Ob die Ursache dafür der oben skizzierte vermehrte Zustrom ist, oder ob in den vergangenen Jahrzehnten der Abfluss des salzarmen Wassers (oder des Süßwassers) in Richtung Atlantik reduziert war, ist noch nicht geklärt. In jedem Fall führt die Aussüßung zu einer stabileren Dichteschichtung des Meerwassers, welche den Austausch zwischen den lichtdurchfluteten oberen Schichten und den nährstoffreichen tieferen Schichten behindert.



Diese Grafik zeigt zum einen, aus welchen Quellen Süßwasser und salzärmeres Wasser in den Arktischen Ozean eingetragen wird (Flüsse, schmelzendes Meereis, Pazifik). Zum anderen illustriert sie, auf welche Weise sich die Wassermassen je nach Salzgehalt schichten. Das eingeströmte Süßwasser befindet sich vor allem in der Deckschicht, die wie ein Deckel auf den salzreicheren Schichten liegt. (Grafik: AWI)



Interdisziplinäre Zusammenarbeit auf dem Eis: Biologen, Meereisphysiker und Chemiker des Alfred-Wegener-Institutes untersuchen auf einer Sommer-Expedition des Forschungsschiffes Polarstern im Jahr 2012 das Meereis des zentralen Arktischen Ozeans. (Foto: Mar Fernandez, AWI)

Forschungsfragen: Das große Ganze verstehen

Wärmer, saurer, weniger Eis: Die Veränderungen im Arktischen Ozean schreiten im Eiltempo voran. Um sie zu verstehen und die Folgen für den Rest der Welt besser einschätzen zu können, haben sich am Alfred-Wegener-Institut Wissenschaftler aus allen am Haus vertretenen Fachdisziplinen zu einer interdisziplinären Meereis-Gruppe zusammengeschlossen. Gemeinsam wollen die Forscherinnen und Forscher das komplexe

Zusammenspiel zwischen Atmosphäre, Eis, Ozean und Land untersuchen. Zu dieser Zusammenarbeit gehört nicht nur ein regelmäßiger Austausch über neue Erkenntnisse und Forschungsmethoden, sondern auch gemeinsam geplante Polarstern-Expeditionen in den zentralen Arktischen Ozean. Um zu verstehen, wie der Klimawandel die Arktis von der Atmosphäre bis in die Tiefsee verändert - dafür arbeiten am AWI Physiker, Biologen, Geologen, Chemiker, Ozeanografen, Meteorologen und viele andere Fachleute Hand in Hand.

Kontakt zu den AWI-Experten



Forschungsthema Eisalgen

Dr. Ilka Peeken
Tel: 0471 4831-1378
E-Mail: Ilka.Peeken@awi.de



Forschungsthema Tiefsee

Dr. Thomas Soltwedel
Tel: 0471 4831-1775
E-Mail: Thomas.Soltwedel@awi.de



Forschungsthema Leben unter dem Eis

Dr. Hauke Flores
Tel: 0471 4831-1444
E-Mail: Hauke.Flores@awi.de



Forschungsthema Kabeljau

Dr. Felix Christopher Mark
Tel: 0471 4831-1015
E-Mail: Felix.Christopher.Mark@awi.de



Forschungsthema Ozeanographie

Prof. Dr. Ursula Schauer
Tel: 0471 4831-1817
E-Mail: Ursula.Schauer@awi.de



Forschungsthema Seespinnen

Dr. Daniela Storch
Tel: 0471 4831-1934
E-Mail: Daniela.Storch@awi.de

Impressum: Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven; Herausgeberin: Karin Lochte (Direktorin)

Redaktion: Sina Löschke, Kristina Bär (E-Mail: medien@awi.de)
Coverfoto: Sebastian Menze, AWI,
Expertenfotos: AWI, privat