



(Foto: Mario Hoppmann / AWI)

DR. KLAUS GROSFELD, DR. RENATE TREFFEISEN, SINA LÖSCHKE

AUSGANGSPUNKT EINER JAHRHUNDERTREISE

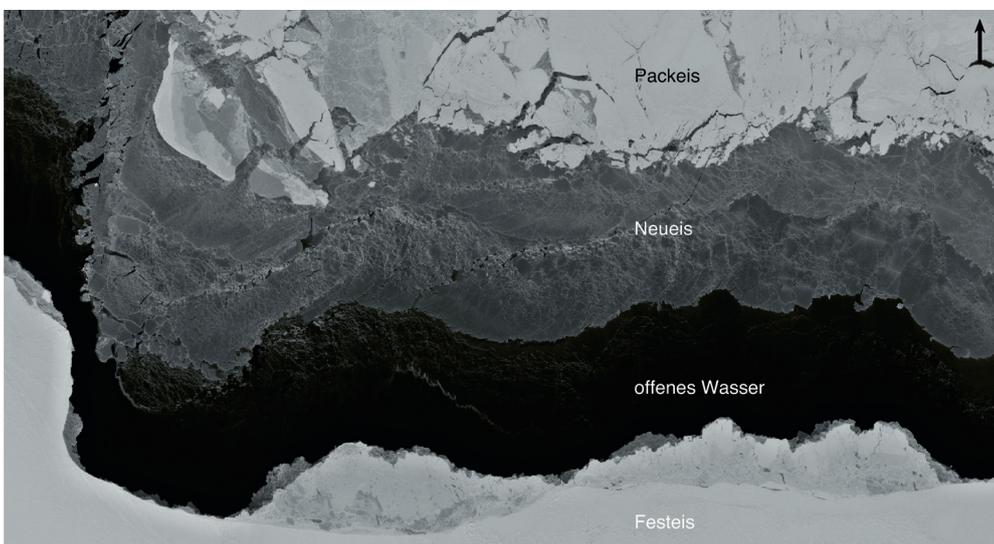
Einen Winter lang auf einer Eisscholle im Arktischen Ozean zu forschen, blieb für die meisten Meereisspezialisten bisher ein Traum. Zu aufwendig wäre die Expedition, zu unberechenbar das polare Wetter, hieß es immer. Im September 2019 aber begann, was vorher als unmöglich galt. Der deutsche Forschungseisbrecher Polarstern ließ sich für ein Jahr im Meereis der Arktis einfrieren und bot Polarforschenden aus 20 Nationen die Chance ihres Lebens. In einem Camp auf dem Eis in der zentralen Arktis untersuchten sie rund um die Uhr das Meereis, den Ozean, die Atmosphäre und das Leben im Meer. Sie wurden Zeugen einer gigantischen Transformation des Nordpolargebietes, deren erster Verlierer vermutlich das Meereis sein wird.

Das prominenteste Merkmal des Arktischen Ozeans ist sein Meereis. Seit mindestens 18 Millionen Jahren und damit seit Menschengedenken wird der kleinste Ozean der Welt im Sommer wie Winter von einer Eisschicht bedeckt. Deren Fläche wächst und schrumpft im Rhythmus der Jahreszeiten. Zum Ende des Winters ist sie in der Regel zwei- bis dreimal so groß wie am Ende des Sommers.

Das arktische Meereis gehört zu den wichtigsten Komponenten im Klimasystem der Erde. Die weiße Eis- und Schneedecke der Arktis reflektiert bis zu 90 Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung und schickt diese zurück in das Weltall. Auf diese Weise kühlen Eis und Schnee nicht nur die Nordpolarregion. Sie legen auch den Grundstein für die Entstehung globaler Wind- und Meeresströmungen, welche die Wärme aus den Tropen über den gesamten Globus verteilen und die Erde zu einem für uns Menschen lebenswerten Planeten machen. Das Meereis der Arktis, soviel weiß man heute, beeinflusst das Wetter und Klima auf der gesamten Nordhalbkugel. Was in der Arktis geschieht, ist somit auch für die Abermillionen Menschen südlich des Nordpolarkreises von maßgeblicher Bedeutung.

In der Kinderstube des Meereises

Meereis entsteht vor allem in den Küstenbereichen der flachen, russischen Randmeere des Arktischen Ozeans. Dort, in der Kara- und Laptewsee sowie der Ostsibirischen See wehen im Winter starke ablandige Winde über das Meer, deren Luft bis zu minus 40 Grad Celsius kalt ist. Sie lassen immer wieder offene Wasserflä-



Dieses Satellitenbild, aufgenommen über der Laptewsee, zeigt den Prozess der Neueisbildung im März 2019. Als Festeis wird Meereis bezeichnet, welches an der Küste festgefroren ist. (Quelle: ESA / Drift + Noise)

Zeitgleich zur MOSAiC-Expedition erlebte die Arktis einen ihrer wärmsten Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Infolgedessen schrumpfte die Meereisfläche bis September auf die zweitkleinste jemals von Satelliten gemessene Resteisfläche von 3,8 Millionen Quadratkilometern. Zum Vergleich: Am Ende des Winters (März 2020) bedeckte das Eis eine viermal so große Fläche (15,2 Millionen Quadratkilometer). Die Abbildung zeigt die minimale Meereseiskonzentration am 9. September 2020.

meereisportal.de
seaiceportal.de

Meereseiskonzentration

09.09.2020

Langzeitmittel 1981 - 2010
der Meereseisausdehnung

— März
— September

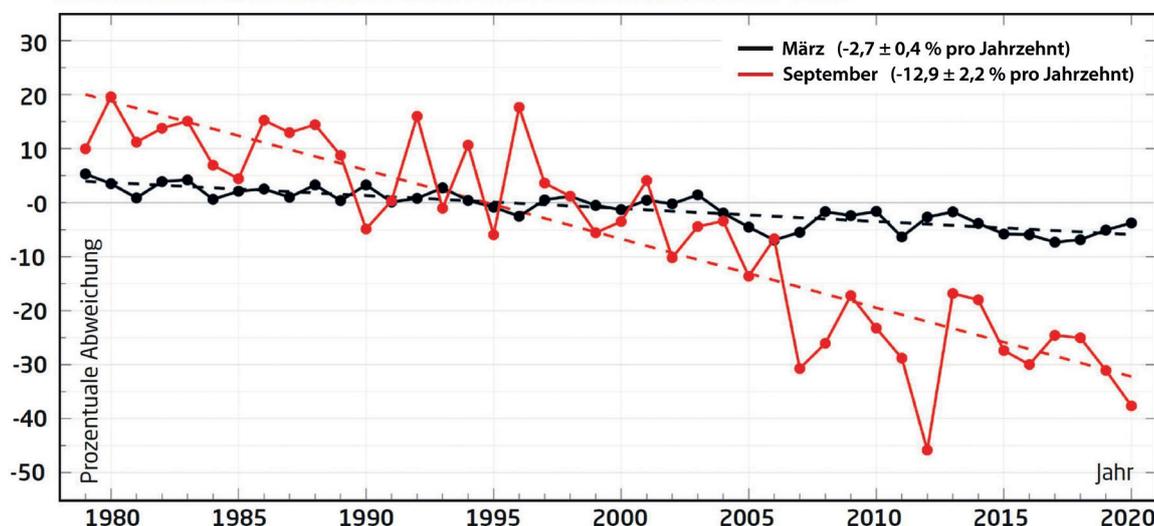


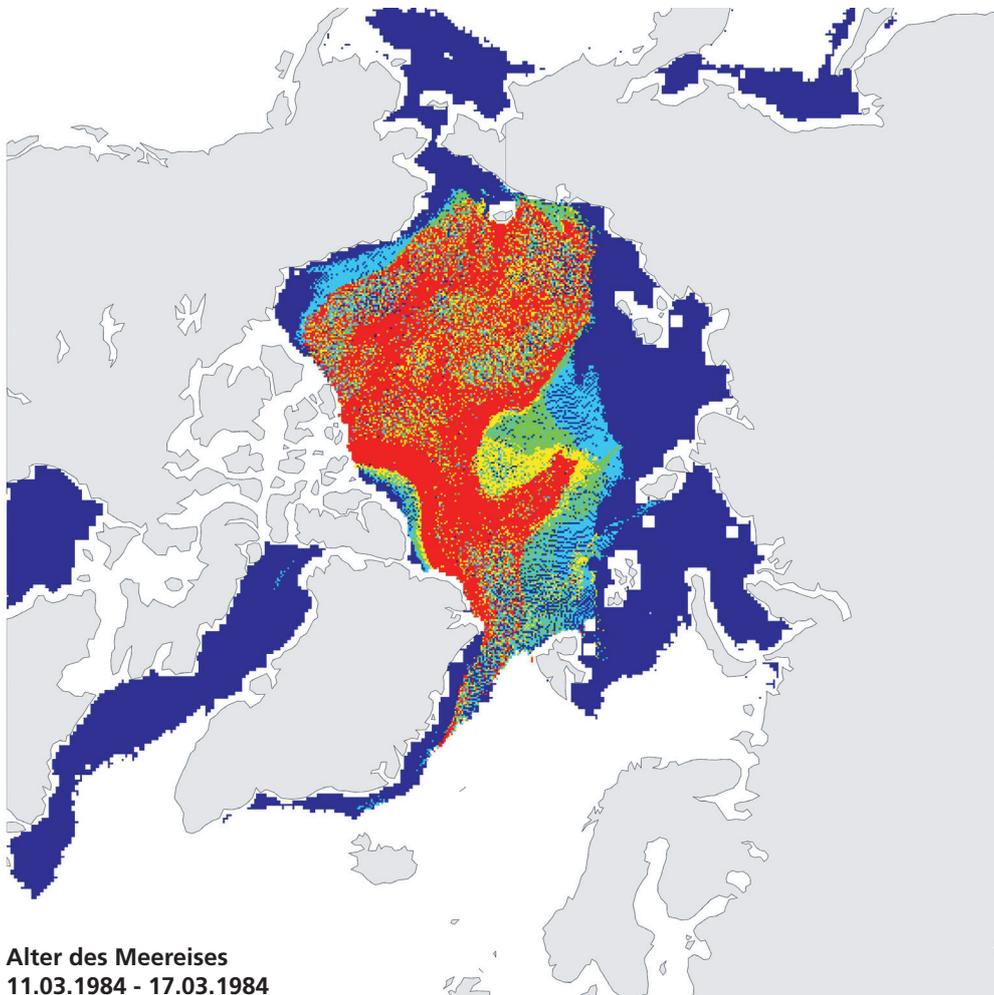
chen entstehen, deren Oberfläche zu Eis gefriert, dann aufbricht und vom Wind auf das Meer hinausgeschoben wird, sodass der Kreislauf von vorn beginnen kann und Meereseis wie am Fließband produziert wird. Der größte Teil des Eises, welches anschließend die Meereseisdecke der zentralen Arktis bildet, stammt aus dieser

Region. Der restliche Teil bildet sich direkt im Umfeld des Nordpols oder aber vor den Küsten Grönlands und Nordamerikas. Weil in deren Küstenbereichen der Wind jedoch vielerorts landeinwärts weht, schiebt er das Eis nicht auf das Meer hinaus, sondern vor der Küste zusammen, sodass es dort besonders dick wird.

Im Sommer schmilzt das Eis immer großflächiger. Im Winter gefriert es später noch bis zu jener Dicke, die das Eis benötigt, um den anschließenden Sommer zu überstehen. (Datenquelle: NASA NSIDC DAAC University of Colorado Tschudi, Meyer, Steward Version: EASE-Grid 4.1)

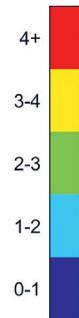
ABWEICHUNG DER MEEREISAUSDEHNUNG VOM LANGZEITMITTEL 1981 - 2010



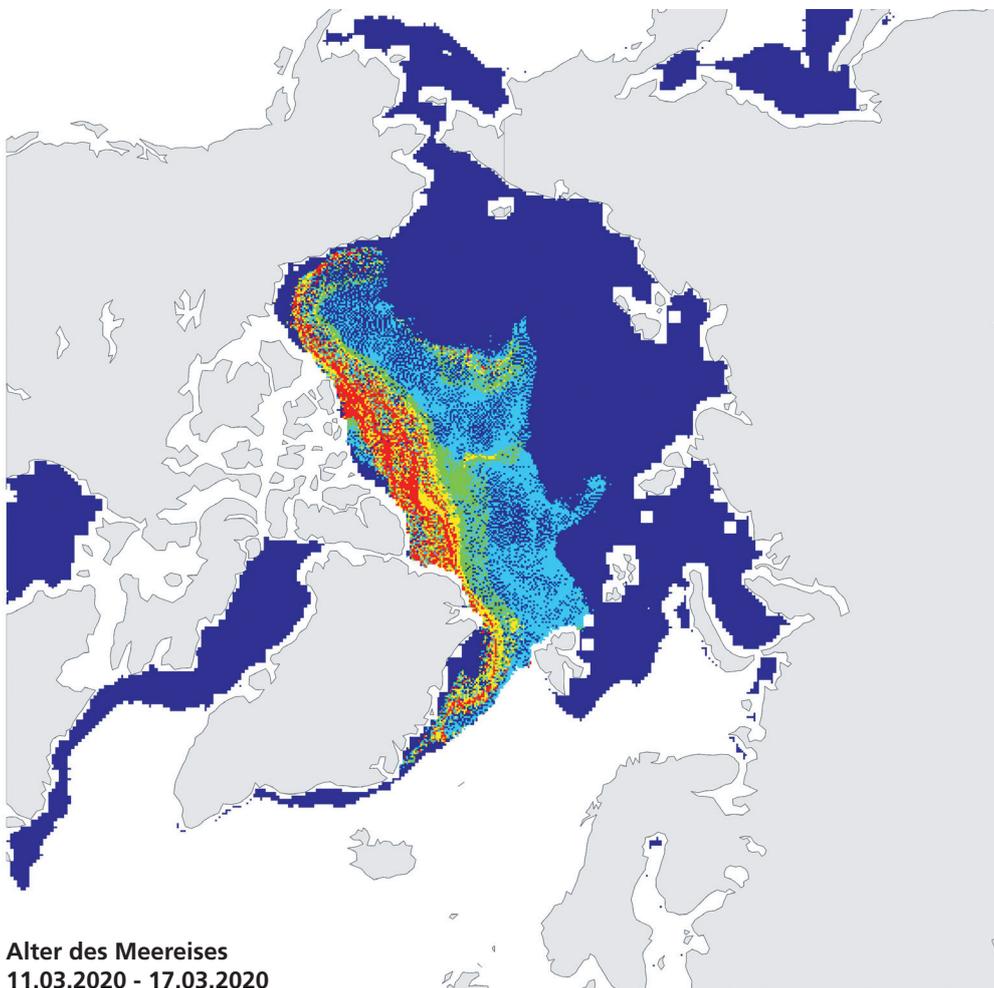


Alter des Meereises
11.03.1984 - 17.03.1984

Alter in Jahren

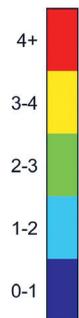


In der Arktis gilt: Je älter und demzufolge dicker das Meereis ist, desto länger kann es im Sommer der Wärme der Sonne und des Meeres trotzen. Da mittlerweile aber nur noch ein Fünftel der Eisfläche älter als zwei Jahre ist (Abb. unten), haben Sonne und Meer immer leichteres Spiel. (Datenquelle: NASA NSIDC DAAC University of Colorado Tschudi, Meyer, Steward Version: EASE-Grid 4.1)



Alter des Meereises
11.03.2020 - 17.03.2020

Alter in Jahren



Der Anfang vom Ende

Das junge Meereis wächst, so lange die Luft an seiner Oberfläche kalt genug ist, dass Wärme aus dem Oberflächenwasser an der Eisunterseite durch die Scholle hindurch nach oben entweichen kann. Unter diesen Voraussetzungen gefriert nämlich das Wasser an der Schollenunterseite und das Meereis wächst von unten. Diese Ausgangsbedingungen – anhaltend kalte Luft und anhaltend kühles Oberflächenwasser – aber sind im Zuge des Klimawandels nicht mehr regelmäßig gegeben. Dramatisch steigende Luft- und Meerestemperaturen in der Arktis haben das Meereis in eine Abwärtsspirale getrieben, an deren absehbaren Ende der Arktische Ozean im Sommer eisfrei sein wird – voraussichtlich noch vor Mitte des 21. Jahrhunderts und damit in weniger als 30 Jahren. Denn die Arktis erwärmt sich mehr als doppelt so schnell wie die Erde im globalen Durchschnitt.

Vergleicht man die heutige Arktis mit den Bedingungen von vor 30 Jahren, übersteht inzwischen nur noch eine halb so große Meereisfläche den Sommer. Die 14 kleinsten Sommereisflächen seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1979 wurden allesamt in den zurückliegenden 14 Jahren gemessen (2007 – 2020). Die Eismenge – also das Volumen – hat um drei Viertel (75 Prozent) abgenommen, weil das Meereis heute deutlich dünner ist. Gleichzeitig gibt es kaum noch Schollen, die älter sind als zwei Jahre und somit ausreichend Zeit hatten, zu stattlichen, mehr als drei Meter dicken Schollen heranzuwachsen. In den russischen Randmeeren wird mittlerweile im Winter nur noch so dünnes Neueis gebildet, welches im anschließenden Frühling schmilzt, bevor es den zentralen Arktischen Ozean erreicht. Das heißt, es tritt deutlich weniger Meereis die lange, als Transpolardrift bezeichnete Reise an, welche die Eisschollen aus den russischen Randmeeren einmal quer über den Arktischen Ozean führt – vorbei am Nordpol bis in das Meeresgebiet zwischen Ostgrönland und Spitzbergen. Dort, in der Framstraße, verlässt das Eis dann den Arktischen Ozean und schmilzt in den wärmeren Gewässern des Nordatlantiks.

Welche Ausmaße der Klimawandel inzwischen in der Arktis annimmt, wurde selten so deutlich wie im Jahr 2020. Im Januar dokumentierten Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Institutes (AWI) zunächst das zweitniedrigste Meereisvolumen seit Beginn der Messungen; die maximale Winterausdehnung im März fiel unterdurchschnittlich aus. Im April breitete sich die erste Hitzewelle des Jahres über Sibirien aus. Die Lufttemperatur über der russischen Arktis lag in dieser Zeit bis zu 6 Grad Celsius über normal. Die Wärme blieb den ganzen Sommer lang: Während auf

dem Festland die sibirische Tundra brannte und Meteorologen arktische Hitzerekorde von bis zu 38 Grad Celsius meldeten, zog sich das Meereis im Eiltempo zurück. Seine Fläche erreichte im Juli einen historischen Tiefstand. Die eisfreien Meeresregionen waren nun vollends der Sonne ausgesetzt und erwärmten sich in einem solchen Maße, sodass Ozean und Atmosphäre gemeinsam die arktische Eisdecke auf ihre bisher zweitkleinste Sommer-Restfläche schrumpfen ließen. Anschließend verzögerte das warme Meer die winterliche Eisneubildung um fast vier Wochen.

Die MOSAIC-Expedition: Eine einmalige Gelegenheit

Es gibt keine Zweifel mehr: Die Arktis ist eine der am stärksten vom Klimawandel betroffenen Regionen der Welt und durchläuft derzeit eine rapide Transformation. Die einst gefrorenen Welten im Hohen Norden verlieren ihren Schutzschild aus Eis und Schnee. Wissenschaftler beobachten diese grundlegenden Veränderungen sowohl mit Satelliten aus dem All als auch auf Expeditionen sowie mithilfe vieler Messstationen und Observatorien an Land, auf dem Eis und im Meer. Ein zusammenhängendes und vor allem auch schlüssiges Bild vom Wandel der Arktis zu zeichnen, gelingt bislang jedoch noch nicht, weil die Untersuchungen in der Regel an unterschiedlichen Orten durchgeführt werden, sie zu verschiedenen Zeiten im Jahr erfolgen und so gut wie nie Meereis, Schnee, Atmosphäre, Ozean und die Biologie gleichzeitig in den Blick nehmen. Um diese klaffende Daten- und Wissenslücke zu schließen, brauchte es ein außergewöhnliches Forschungsvorhaben. Eine Expedition in die zentrale Arktis, auf der Wissenschaftler ein ganzes Jahr lang im selben Umfeld alle relevanten Umweltparameter messen und dokumentieren konnten – sowohl im Meereis selbst als auch bis in großer Höhe darüber sowie in großer Tiefe darunter. Dass ein solcher Kraftakt nur gemeinsam gelingen könnte, war allen interessierten Wissenschaftlern schnell klar. Und so schlossen sich 20 polarforschende Nationen zusammen, um unter der Leitung des deutschen Alfred-Wegener-Institutes, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung die Jahrhundertexpedition MOSAIC durchzuführen.

Ein Jahr lang – von Oktober 2019 bis Oktober 2020 – driftete der deutsche Forschungseisbrecher Polarstern an einer Eisscholle vertäut über den zentralen arktischen Ozean. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Bord errichteten ein großes Forschungscamp auf dem Eis, in welchem sie erstmals disziplinübergreifend Messungen von Meereis, Schnee, Ozean und Atmosphäre sowie biologische Studien durchführten – mit modernster Forschungstechnik, allen Widrigkeiten wie Dunkelheit, Sturm und polarer Eiseskälte zum Trotz.

Das Institut

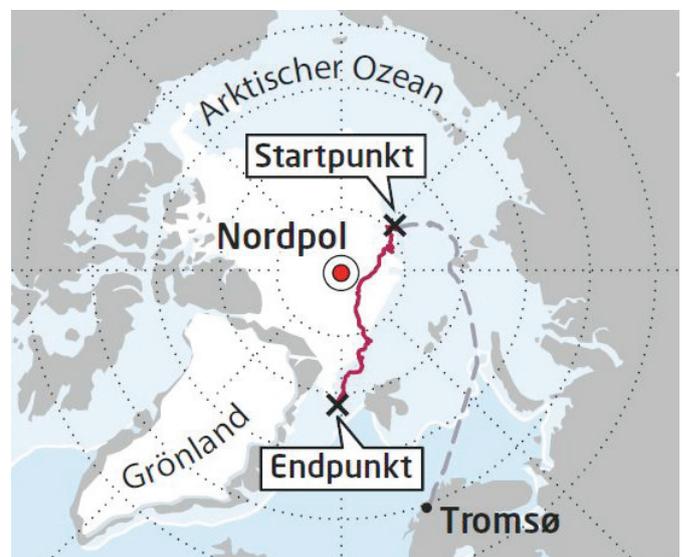
Das Alfred-Wegener-Institut (AWI), Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, forscht in den Polarregionen und Ozeanen der mittleren und hohen Breiten. Als eines der 18 Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft koordiniert es Deutschlands Polarforschung und stellt Schiffe wie den Forschungseisbrecher Polarstern sowie Forschungsstationen für die internationale Wissenschaft zur Verfügung.

Kontakt

Dr. Klaus Grosfeld ist Klimawissenschaftler am AWI und Geschäftsführer des Forschungsverbundes „Regionale Klimaänderungen und Mensch (REKLIM).

E-Mail: klaus.grosfeld@awi.de

Dr. Renate Treffeisen ist Leiterin des Klimabüros für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg am Alfred-Wegener-Institut. E-Mail: renate.treffeisen@awi.de

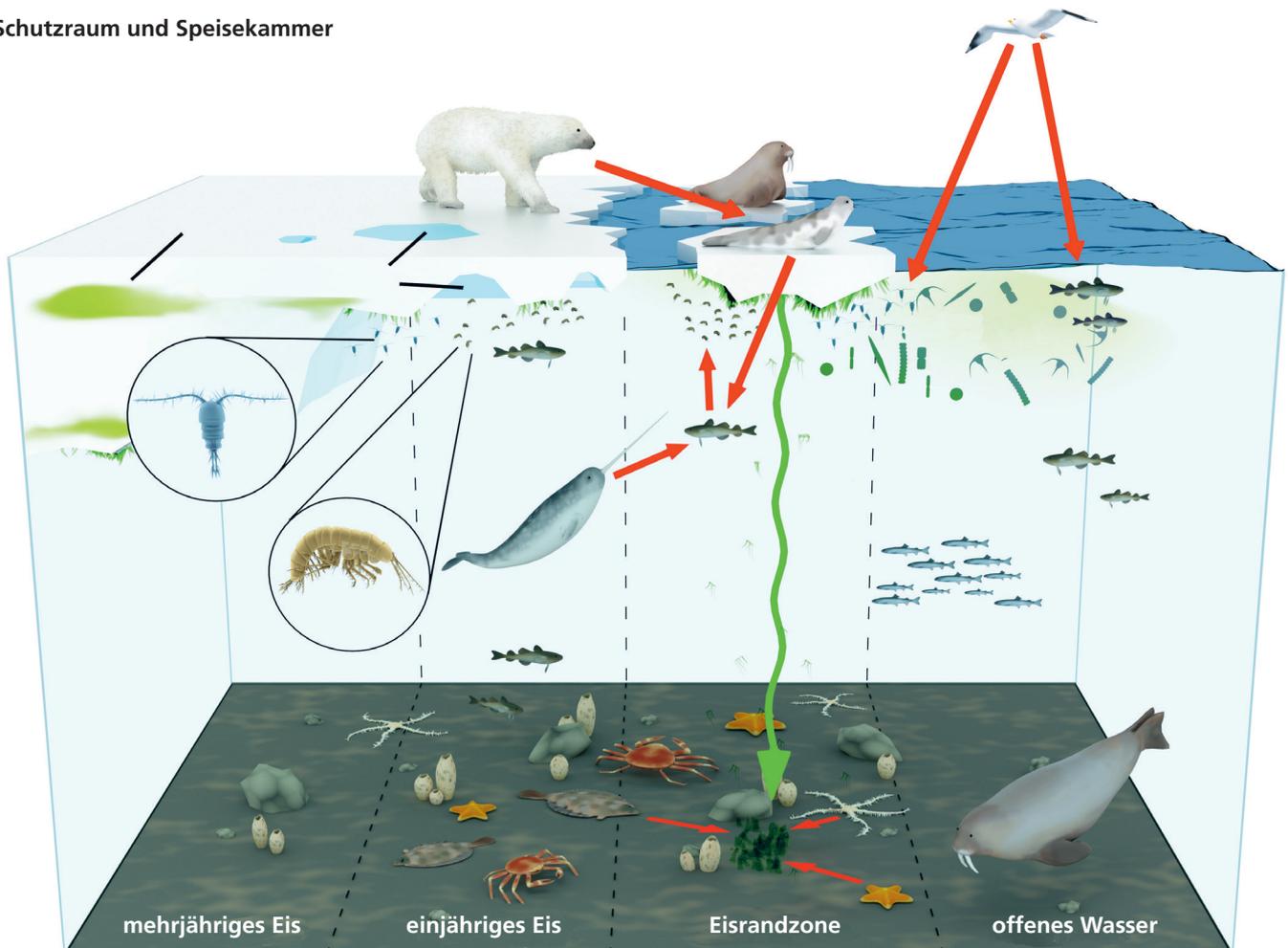


Zehn Geschichten aus dem Forschungscamp auf dem Eis

Das Redaktionsteam des Meereisportals (meereisportal.de) begleitete die auf das Meereis spezialisierten Expeditionsteilnehmenden bei ihrer Arbeit auf dem Eis und berichtete in seinen DriftStories über die Hintergründe, Methoden, Fortschritte und Erkenntnisse der Meereisforschung. Diese Publikation vereint alle zehn Wissenschaftsgeschichten mit dem Ziel, interessierten Le-

serinnen und Lesern Einblicke in die faszinierende und überraschend komplexe Welt des arktischen Meereises zu gewähren. Außerdem wollen wir Sie teilhaben lassen an dieser Expedition der Superlative: Werden Sie wie unsere Protagonisten Zeuge der arktischen Transformation und erleben Sie vielleicht ein letztes Mal die Drift des arktischen Meereises, wie wir sie bisher kennen. Die Tage des weißen Aushängeschildes der Arktis sind nämlich längst gezählt.

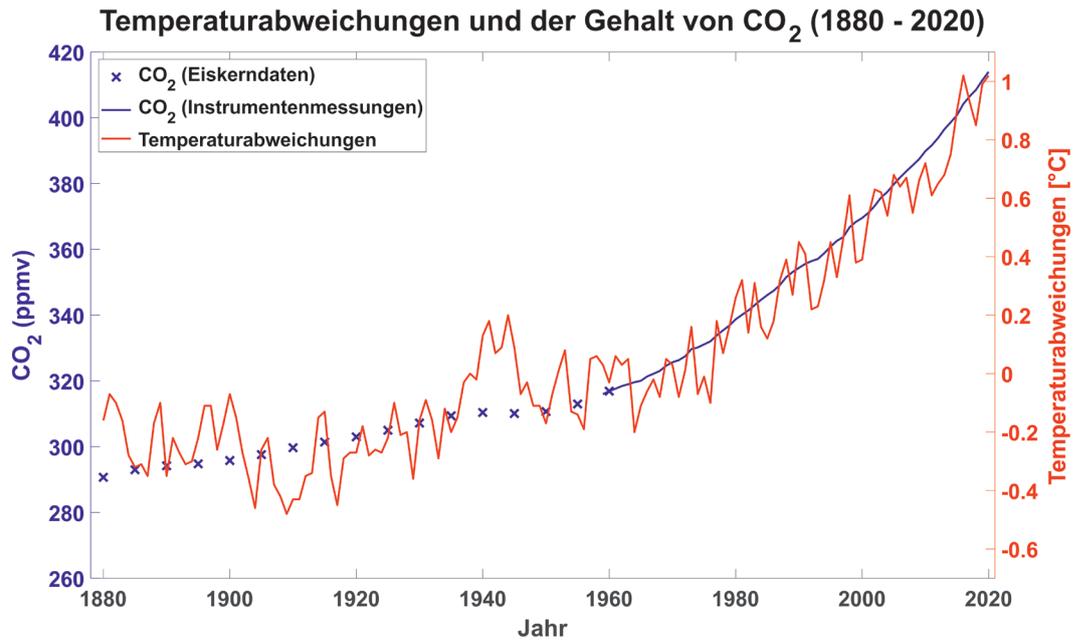
Schutzraum und Speisekammer



Das Meereis beeinflusst nicht nur die Wärmebilanz der Arktis; es legt auch den Grundstein für das Leben im Nordpolarmeer, indem es Eisalgen und Kleinstgetier (Zooplankton, u. I.) als Schutzraum und Speisekammer dient. Beide Organismengruppen überdauern in den Solekanälen des Meereises den harschen Winter. Mit der Rückkehr der Sonne im Frühling vermehren sich die Eisalgen und bieten Ruderfußkrebse und anderem Zooplankton reichhaltige Nahrung. Dem Zooplankton wiederum stellen Fische wie der Polardorsch nach. Er ist eine der Schlüsselarten im Arktischen Ozean, denn auf ihn machen Wale und Robben ebenso Jagd wie Papageientaucher und andere Seevögel. Walrosse (u. r.) dagegen finden ihre Beute am Meeresboden. Dessen Lebensgemeinschaften leben von jenen Nahrungsresten, die von der Meeresoberfläche in die Tiefe sinken – auch für sie ist das Eis deshalb überlebenswichtig. (Fotos: l.: Zooplankton Tisbe, Carmen David / AWI; r.: Walrosse, Christopher Michel / Flickr CC BY 2.0)



Änderung des atmosphärischen CO₂-Gehaltes (blau) und Temperaturabweichung (gegenüber dem Zeitraum 1951 – 1980) der globalen Mitteltemperatur (rot) im Zeitraum 1880 bis 2020. (Datenquellen Temperatur: GISS, <https://data.giss.nasa.gov/gistemp>, Kohlendioxidgehalt: CO₂ bis 1960: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>, CO₂ Instrumentenmessungen ab 1959: Dr. Pieter Tans, NOAA/GML (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/) und Dr. Ralph Keeling, Scripps Institution of Oceanography (scripps-co2.ucsd.edu/))



DriftStories aus der zentralen Arktis Ein Jahr, eine Scholle – Meereisforschung extrem

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen unserer Zeit und beeinflusst unser alltägliches Leben bereits in vielfältiger Form. Sei es durch häufigere und längere Trocken- oder Dürrephasen wie in den Sommern 2018 und 2019, sei es durch extreme Hitzewellen oder Starkniederschläge oder durch den Anstieg des Meeresspiegels. Jeder von uns spürt und kann erleben, dass sich unser Klima und damit unsere Lebensbedingungen auf der Erde verändern.

Seit der Industrialisierung zum Ende des 19. Jahrhunderts hat sich die globale Mitteltemperatur der Erde bereits um 1,1 °C erwärmt und wird noch weiter ansteigen, wenn wir nicht umfangreiche Maßnahmen einleiten, um die Ursachen der Erwärmung zu begrenzen. Der Großteil dieser Erwärmung, und da ist sich die Wissenschaft überwiegend einig, wird durch die Emission von Kohlenstoffdioxid (kurz CO₂) verursacht, die zum einen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe für die Energieversorgung, in der Industrieproduktion und dem Verkehr, zum anderen aber auch in der Landwirtschaft entstehen.

Nirgendwo auf der Erde ist der Klimawandel aber bereits so sichtbar wie in der Arktis. Die Jahresmitteltemperatur hat sich in der Arktis mehr als doppelt so stark erwärmt wie auf der ganzen Erde, das Meereis schmilzt bis zum Ende des Sommers heute bereits auf mehr als die Hälfte seiner Fläche im Vergleich zu vor 40 Jahren, der Arktische Ozean erwärmt sich zusehends. Dies alles hat Auswirkungen auf die Artenvielfalt und die hochspezialisierten Ökosysteme, die sich an die harschen Bedingungen der arktischen Welt angepasst haben. Aber nicht nur für das Natur- und Ökosystem hat der Klimawandel Folgen, auch für die Menschen, die seit Generationen in dieser Umwelt leben. Viel mehr noch: was in der Arktis geschieht bleibt nicht in der Arktis, sondern wirkt sich auch auf die Wetter- und Klimabedingungen bis weit nach Mitteleuropa oder auch Nordamerika aus. Die Arktis ist weniger weit von Berlin entfernt als beispielsweise Madrid, daher sind Veränderungen in der Arktis auch bis zu uns spürbar.

Um das arktische Klimasystem und seine Veränderungen besser zu verstehen, die Prozesse und Zusammenhänge zwischen Atmosphäre, Eis, Ozean und Ökosystem zu untersuchen und

mit diesen Erkenntnissen bessere Vorhersagen für die Zukunft ableiten zu können, ist der Forschungsreisende Polarstern im Herbst 2019 für eine einjährige Expedition in die zentrale Arktis aufgebrochen, um einen ganzen Jahreszyklus vor Ort zu untersuchen. Das Redaktionsteam des Meereisportals (meereisportal.de), einem umfassenden Informations- und Datenportal rund um das Thema Meereis, hat die auf das Meereis spezialisierten Expeditionsteilnehmenden der Jahrhundertexpedition MOSAiC bei ihrer Arbeit auf dem Eis begleitet und in seinen DriftStories über die Hintergründe, Methoden, Fortschritte und Erkenntnisse der Meereisforschung exklusiv berichtet. Diese DriftStories fassen zehn Wissenschaftsgeschichten zusammen mit dem Ziel, interessierten Leserinnen und Lesern Einblicke in die faszinierende und überraschend komplexe Welt des arktischen Meereises zu gewähren. In den Geschichten können Sie vielleicht ein letztes Mal die Drift des arktischen Meereises verfolgen, wie wir sie bisher kannten. Denn die Tage des weißen Aushängeschildes der Arktis sind längst gezählt.

DriftStories aus der zentralen Arktis Ein Jahr, eine Scholle – Meereisforschung extrem

Das Buch „DriftStories aus der zentralen Arktis“ kann als komplette Fassung als PDF (www.meereisportal.de/mosaicdriftstories/) abgerufen oder auch als kostenlose Printversion bei info@reklim.de in deutscher und englischer Sprache bestellt werden. www.meereisportal.de ist eine unabhängige Wissens- und Datenplattform, die vom Helmholtz-Forschungsverbund Regionale Klimaänderungen und Mensch (www.reklim.de) zusammen mit dem Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg am AWI initiiert wurde. Sie bietet Meereis-Echtzeitdaten aus Arktis und Antarktis sowie Informationen zum Zustand des Meereises für jeden.

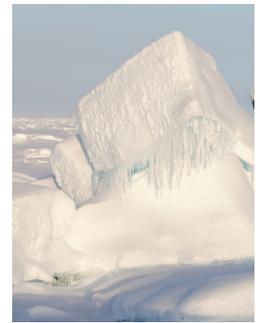


Ausgangspunkt einer Jahrhundertreise

1. „Das arktische Meereis gehört zu den wichtigsten Komponenten im Klimasystem der Erde.“

a) Erläutere die Wirkungsweise des Meereises, die auch für uns in Deutschland von Bedeutung sind.

b) Erkläre wo und wie Meereis „wie am Fließband“ entsteht..



2. Betrachtet man die heutige Arktis und vergleicht diese mit der von vor 30 Jahren, sind vor allem drei große Unterschiede festzustellen:

1	
2	
3	

3. Die MOSAIC-Expedition: Eine einmalige Gelegenheit.

a) Stelle die grundlegende Besonderheit der MOSAIC-Expedition heraus.

b) Trage die zentralen Forschungsfelder, die mit dieser Expedition gleichzeitig betrachtet werden konnten, in den Kasten ein.

Ausgangspunkt einer Jahrhundertreise

1. „Das arktische Meereis gehört zu den wichtigsten Komponenten im Klimasystem der Erde.“

a) Erläutere die Wirkungsweise des Meereises, die auch für uns in Deutschland von Bedeutung sind.

Eis und Schnee der Arktis reflektieren bis zu 90 % der einfallenden Sonnenstrahlung und beeinflussen so Wetter

und Klima. Mit dem Kühlungseffekt wird die Entstehung globaler Wind- und Meeresströmungen ermöglicht:

Polarluft, Polarfront, Jetstream.

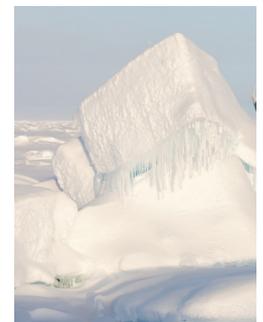
b) Erkläre wo und wie Meereis „wie am Fließband“ entsteht..

In russischen Randmeeren der Arktis entstehen im Winter immer wieder starke ablandige

Winde, die bis zu minus 40 °C kalt sind. Diese Winde treiben bereits gefrorene Eis-

flächen auf das offene Meer. Die dadurch frei werdenden Wasserflächen gefrieren dann

erneut und der Kreislauf beginnt von vorn.



2. Betrachtet man die heutige Arktis und vergleicht diese mit der von vor 30 Jahren, sind vor allem drei große Unterschiede festzustellen:

- 1 Nur eine halb so große Fläche Meereis übersteht den Sommer.
- 2 Die gesamte Eismenge, das Volumen, hat um ca. 75 % abgenommen (das Eis ist deutlich dünner geworden).
- 3 Die meisten Eisschollen sind deutlich kleiner und dünner und schmelzen, bevor sie die Transpolar drift erreichen.

3. Die MOSAIC-Expedition: Eine einmalige Gelegenheit.

a) Stelle die grundlegende Besonderheit der MOSAIC-Expedition heraus.

Polarforscher aus 20 Nationen arbeiteten unter der Leitung des AWI bei der Expedition MOSAIC zusammen.

Um möglichst alle relevanten Forschungsgebiete über einen langen Zeitraum aus nächster Nähe erforschen

zu können, ließ sich die FS Polarstern über ein

Jahr im arktischen Eis einfrieren und driftete so an

einer Eisscholle vertäut durch das arktische Meer.

Eine so lange und schwierige Expedition ins

arktische Eis, mit diesen Herausforderungen an

Mensch und Technik, ist bis heute einzigartig.

b) Trage die zentralen Forschungsfelder, die mit dieser Expedition gleichzeitig betrachtet werden konnten, in den Kasten ein.

Meereis

Schnee

Atmosphäre

Ozean

Biologie