

## 5. MEEREIS

Meereis ist nicht nur ein wichtiger Indikator für Klimaänderungen, sondern z.B. durch die Eis-Albedo Rückkopplung und seinen Einfluss auf die atmosphärische und ozeanische Zirkulation ein bedeutender Klimafaktor (Kap. 5.1). Meereis reagiert relativ unmittelbar auf Klimaänderungen. So hat sich als direkte Reaktion auf großskalige Klimaänderungen das Meereis zum Beispiel in den Eiszeitzyklen der vergangenen Jahrhunderte immer wieder stark ausgedehnt und zurückgezogen (Kap. 5.2). Die aktuelle Abnahme des arktischen Meereises um etwa die Hälfte zwischen 1980 und 2012 ist mindestens seit 1500 Jahren beispiellos und möglicherweise das sichtbarste Zeichen der globalen Erwärmung (Kap. 5.3). Erstaunlicherweise zeigt das antarktische Meereis einen ganz anderen Trend: Seine Fläche hat in den letzten Jahren um 1,5% pro Jahrzehnt leicht zugenommen. Die Ursachen dafür sind noch nicht endgültig geklärt (Kap. 5.4). Dagegen nimmt auch die eisbedeckte Fläche der Nord- und Ostsee ab und die Jahreszeit mit Meereisbedeckung hat sich verkürzt (Kap. 5.5). Über die ökologische Bedeutung des Meereises findet man im Band: WARNSIGNAL KLIMA: Die Meere - Änderungen & Risiken mehrere Artikel.

### 5.1 Bedeutung des Meereises für das Weltklima

DIRK NOTZ

**Bedeutung des Meereises für das Klima:** Meereis ist einer der wichtigsten Bausteine des Klimasystems unserer Erde. Dies liegt daran, dass das Meereis die großskalige Zirkulation sowohl der Atmosphäre wie auch des Ozeans entscheidend beeinflusst. Der Einfluss auf die Atmosphäre ergibt sich dabei aus der Tatsache, dass das Eis in hohen Breiten die Flüsse von Wärme und Feuchtigkeit am Unterrand der Atmosphäre sehr effektiv dämpfen kann. Im Winter können so z.B. Wärmeflüsse, die über dem offenen Ozean in hohen Breiten mehrere hundert  $W/m^2$  betragen können, durch Meereis auf wenige  $W/m^2$  reduziert werden. Auch trägt das Meereis zur sogenannten polaren Verstärkung von Klimaveränderungen bei, aufgrund derer die derzeitige Erwärmung des Erdklimas insbesondere in der Arktis deutlich schneller verläuft als in gemäßigten Breiten. Hierdurch reduziert sich der polwärts Temperaturgradient, was wiederum die großskalige Zirkulation in der Atmosphäre verändert. Meereis hat auch einen wichtigen Einfluss auf die Zirkulation des Ozeans, der sich vor allem aus der Abgabe von Salz in das Meerwasser ergibt. Insbesondere im Südlichen Ozean ist diese Abgabe von Salz für die Bildung von kaltem Bodenwasser von Bedeutung, das langsam nordwärts fließt und dabei die Tiefen der Weltmeere auffüllt.

**Importance of sea ice for the global climate:** Sea ice is a key component of the Earth's climate system. Its importance derives primarily from its impact on the large-scale atmospheric and oceanic circulation. Sea ice influences the large-scale atmospheric circulation as it crucially affects the heat and moisture input at the lower boundary of the atmosphere. For example, under cold winter conditions, sea ice can reduce the heat input into the atmosphere from the several hundred  $W/m^2$  that would occur over open water to just a few  $W/m^2$ . In addition, sea ice contributes to so-called polar amplification, which describes the fact that climate changes are most pronounced in high latitudes. This amplification reduces in a warming climate the poleward temperature gradient, which again can have measurable consequences for the large-scale atmospheric circulation. Sea ice also affects large-scale ocean circulation, primarily through its release of salty brine into the underlying ocean. In particular in the Southern Ocean, this brine release is crucial for the formation of cold, dense bottom water that flows northward to fill much of the deep basins of the world's oceans.

Die Veränderungen sowohl des arktischen wie auch des antarktischen Meereises sind aus einer Vielzahl von Gründen von Bedeutung, sowohl in den Polargebieten als auch weit darüber hinaus. Biologisch gesehen bietet das Meereis einen einmaligen Lebensraum für Kleinalgen (Phytoplankton) und Zooplankton sowie für viele Tiere, und Änderungen in der Meereisbedeckung haben weitreichende Folgen für das Ökosystem der Polargebiete. Menschen, die schon seit vielen Jahrtausenden an den Küsten der Arktis wohnen, haben schon immer Meereis als vergleichsweise festen Unter-

grund verwendet, um zu Fuß oder per Hundeschlitten auf Jagd zu gehen oder um Transportwege im Bereich von Fjorden deutlich zu verkürzen. Reedereien erwarten eine erhöhte Schiffbarkeit der Arktis und erhoffen sich durch verkürzte Seewege von Europa nach Ostasien und Amerika zukünftige Entwicklungschancen. Auch im Bereich der Rohstoffförderung insbesondere in den Schelfgebieten werden durch den Rückgang des Meereises neue Möglichkeiten geboten, die sich wiederum in geopolitischen Auseinandersetzungen über die Besitzrechte des Arktischen Ozeans niederschlagen.

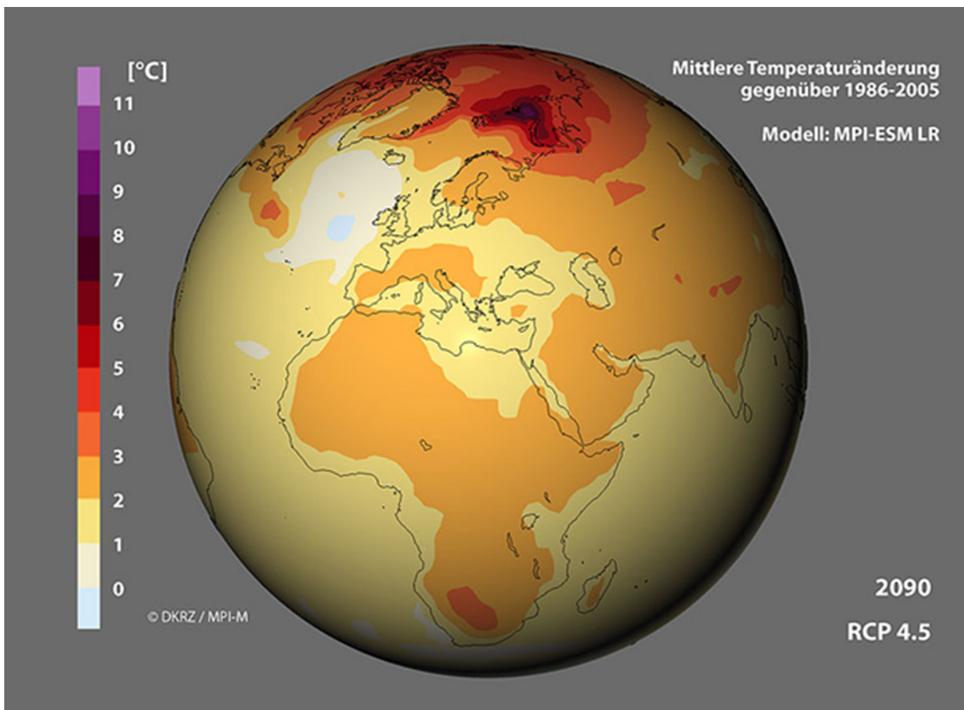
Und schließlich führt der Rückgang und möglicherweise vollständige Verlust von Meereis dazu, dass im Arktischen Ozean eine komplette Landschaft verschwindet, die seit vielen Jahrhunderten unser kulturelles Bild von der Arktis als vereiste, lebensfeindliche, faszinierende und mystische Landschaft geprägt hat.

Neben all diesen Faktoren hat das Meereis aber auch einen sehr direkten und oft weitreichenden Einfluss auf das Klimasystem der Erde, der direkt von den beobachteten Veränderungen berührt wird. Um diese Wechselwirkungen des Meereises mit dem Klimasystem soll es in diesem Kapitel gehen, wobei wir uns zunächst mit dem Einfluss des Eises auf die Atmosphäre beschäftigen und anschließend untersuchen, welchen Einfluss das Meereis auf die Struktur der globalen Ozeanzirkulation hat.

### Bedeutung für die Atmosphäre

In hohen Breiten bildet seit vielen Jahrtausenden Meereis über ausgedehnten Gebieten den Unterrand der Atmosphäre. Im Vergleich zum umliegenden Ozean liegt dabei die Temperatur des Meereises zum Teil deutlich unter der Temperatur des umliegenden Meerwassers. Hierdurch beeinflusst Meereis sehr direkt den Wärmefluss in die Atmosphäre, was großräumig die atmosphärische Zirkulation der Polargebiete und weit darüber hinaus beeinflusst.

Die Tatsache, dass das Meereis im Winter der Atmosphäre völlig andere Randbedingungen bietet als der umliegende Ozean lässt sich sehr leicht durch eine Analyse der entsprechenden Wärmeflüsse verstehen. Der Wärmeeintrag vom Eis in die Atmosphäre wird dabei durch die Gesamtmenge der Wärme bestimmt, die vom Ozean durch das Eis bis in die Atmosphäre gelangen kann. Da der Wärmetransport durch das Eis nahezu ausschließlich durch Wärmeleitung geschieht, bleibt die Gesamtmenge an Wärme, die durch das Eis an die Atmosphäre abgegeben werden kann, auch im tiefsten Winter vergleichsweise gering. Bei einer Oberflächentemperatur von z.B.  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelangen so durch 2 m dickes Eis im Mittel nur etwa  $10\text{ W/m}^2$  am Unterrand der Atmosphäre in die Atmosphäre. Im Vergleich dazu wird im offenen Ozeanwasser der Wärmetransport durch turbulente Wärmeflüsse angetrieben, der im Winter leicht mehrere hundert Watt pro  $\text{m}^2$  erreichen kann. Dieser sehr hohe Wärmefluss kann über viele Tage und Wochen aufrecht erhalten, weil durch den Wärmeabfluss in die Atmosphäre das Oberflächenwasser gekühlt wird, an Dichte zunimmt, absinkt und durch neues, wärmeres Wasser ersetzt wird. Der Gesamtwärmeverlust von Ozeanwasser das nur wenige zehntel Grad Celsius wärmer ist als sein Gefrierpunkt wird hierdurch ungleich größer sein als der Wärmeeintrag von Meereis in die Atmosphäre.



**Abb. 5.1-1:** Simulierte Temperaturänderung zum Ende dieses Jahrhunderts relativ zum Zeitraum 1986-2005 unter der Annahme moderat steigender Treibhausgaskonzentrationen (sogenannten RCP 4.5 Szenario). Deutlich zeigt sich die überdurchschnittliche Erwärmung der hohen Breiten. (Simulation: MPI für Meteorologie, Hamburg, Visualisierung).

Im Sommer sind die beschriebenen Unterschiede allerdings deutlich kleiner, weil dann sämtliche Temperaturen im Klimasystem der Arktis und der Antarktis relativ nahe beieinander liegen. Das Ozeanwasser erwärmt sich nur langsam über 0 °C hinaus, und die Temperatur des im Sommer von Schmelztümpeln und schmelzendem Schnee bedeckten Eises liegt ebenfalls in diesem Bereich. Auch die Lufttemperaturen liegen normalerweise um 0 °C, sodass der Wärmeaustausch zwischen Luft, Ozean und Eis deutlich reduziert wird. Allerdings gewinnt im Sommer die Tatsache an Bedeutung, dass Meereis aufgrund seines vergleichsweise hohen Reflektionsvermögens mindestens fünfmal mehr Sonnenstrahlung reflektiert als der offene Ozean und in wolkenfreien Gebieten damit die Polargebiete effektiv kühlt.

Insgesamt trägt damit das Meereis dazu bei, den großen Temperaturunterschied zwischen den Polargebieten und den mittleren Breiten sowohl im Sommer als auch im Winter sehr effektiv aufrecht zu erhalten. Zieht sich aufgrund einer Klimaerwärmung das Meereis zurück, so verringert sich die Effizienz dieser Prozesse und die Arktis erwärmt sich deutlich stärker als die niedrigeren Breiten (*Abb. 5.1-1*). Es sollte allerdings angemerkt werden, dass diese sogenannte polare Verstärkung von Klimawandel nicht nur durch Änderungen im Meereis verursacht wird (vgl. PITHAN & MAURITSEN, 2014). Eine Reihe weiterer Faktoren trägt dazu bei, dass sich insbesondere die Arktis momentan deutlich schneller erwärmt als der Rest unseres Planeten. Hierzu zählt zum Beispiel die Tatsache, dass bei den niedrigen Temperaturen der Arktis ein deutlich größerer Temperaturanstieg notwendig ist, um eine Veränderung in der Gesamteinstrahlung seitens der Atmosphäre auszugleichen (sogenannten Planck-Effekt). Auch geht bei den niedrigen Temperaturen der Polargebiete ein größerer Anteil von zusätzlichem Wärmeeintrag direkt in die Erwärmung des Systems und weniger in die zusätzliche Verdunstung von Wasser, wie das z.B. in den Tropen der Fall sein würde. Ein weiterer Faktor, der die bodennahe Erwärmung in den Polargebieten verstärkt, ist wiederum recht direkt an das Vorhandensein von Eis gekoppelt: Durch die niedrige Oberflächentemperatur des Eises kommt es in den Polargebieten häufig zur Ausbildung von sogenannten Inversionen, bei denen die Luft stabil geschichtet ist, weil wärmere Luft über kälterer Luft liegt. Eine bodennahe Erwärmung wird daher räumlich nur sehr begrenzt in die Höhe reichen können, weshalb die bodennahe Erwärmung stärker ausfällt als in Gebieten mit neutraler oder instabiler Schichtung.

Aufgrund dieser Tatsachen hat der Rückgang insbesondere des arktischen Meereises möglicherweise klimatische Auswirkungen, die weit über die Polargebiete hinausreichen. Dies hängt damit zusammen, dass

sich, wie geschildert, durch den Rückgang des Meereises zum einen der Eintrag an Wärme am Unterrand der Atmosphäre in hohen Breiten deutlich erhöht, zum anderen durch den Rückgang des Meereises der Temperaturunterschied zwischen den hohen und den mittleren Breiten abnimmt.

In Kombination könnten diese beiden Prozesse die Zirkulationsmuster der Atmosphäre soweit beeinflussen, dass es zu direkten Auswirkungen auf die Wetterbedingungen in mittleren Breiten kommt und insbesondere eine Zunahme von Extremereignissen begünstigt wird (vgl. VIHMA 2014). Entsprechende Studien schlagen dabei zum Beispiel vor, dass durch die Abnahme des Temperaturunterschieds zwischen Arktis und mittleren Breiten der Polare Strahlstrom (Jetstream) geschwächt wird, der als starkes, ostwärts wehendes Windsystem in mehreren Kilometern Höhe die mittleren Breiten in der Vergangenheit effektiv von der polaren Kaltluft isoliert hat, und außerdem zu einem steten Strom von Wettersystemen um die Nordhalbkugel herum beigetragen hat. Angetrieben wird dieser Jetstream durch den polwärts gerichteten Temperaturgradienten, und dessen Abnahme könnte auch den Jetstream schwächen (*Abb. 5.1-2*). Hierdurch könnten polare Kaltlufteinbrüche verstärkt werden und die Bildung von sogenannten blockierenden Wetterlagen zunehmen, die über lange Zeit zu vergleichsweise konstanten Wetterbedingungen führen. Auch wenn diese Zusammenhänge wissenschaftlich nach wie vor recht umstritten sind, so erscheint zumindest plausibel, dass der Rückgang des Meereises zu erheblichen Änderungen in der Atmosphärischen Zirkulation führen wird oder bereits geführt hat. Wie genau diese Änderungen aussehen, und wie sich diese in Zukunft entwickeln werden, ist allerdings aufgrund der hohen Komplexität der zahlreichen relevanten Prozesse momentan noch unklar.

### **Bedeutung für den Ozean**

Neben den beschriebenen Auswirkungen auf die Atmosphäre haben die Veränderungen des Meereises auch deutliche Konsequenzen für die globale Ozeanzirkulation. Hierzu muss man wissen, dass für den Antrieb der globalen Ozeanzirkulation drei Faktoren ausschlaggebend sind: Zum einen der direkte Eintrag an Bewegungsenergie durch den Wind an der Oberfläche des Ozeans, zum zweiten die Veränderungen der potentiellen Energie des Ozeanwassers durch Temperaturänderungen und zum dritten die Veränderungen der potentiellen Energie des Ozeanwassers durch Veränderungen im Salzgehalt des Ozeans. All diese Faktoren werden durch das Meereis beeinflusst, woraus sich die wichtige Rolle des Meereises für die Struktur der Ozeane und damit indirekt für das Klima unserer Erde ergibt.

Betrachten wir zunächst die wohl wichtigste Auswirkung von Meereis auf den darunterliegenden Ozean, nämlich die Veränderung des ozeanischen Salzgehalts durch das Wachsen und Schmelzen von Meereis. Das im Meerwasser gelöste Salz kann nämlich nicht in die Kristallstruktur des Meereises eingebettet werden, sondern verbleibt in einer hochkonzentrierten Salzsole zwischen den festen Eiskristallen. Meereis besteht daher immer aus einer Mischung von festem Süßwassereis und einer mehr oder weniger stark konzentrierten, salzigen Sole. Die Menge dieser Salzsole ändert sich dabei durch verschiedene Prozesse. Zum einen nimmt die Menge der Salzsole immer ab, wenn das Eis kälter wird. Dies liegt daran, dass die Salzsole mit den Süßwasserkristallen im Phasengleichgewicht bleiben muss, sodass der Salzgehalt der Salzsole zunehmen muss, wenn das Eis kälter wird. Dies geschieht dadurch, dass ein Teil des in der Sole enthaltenen Wassers bei der Abkühlung des Eises gefriert, wodurch die Menge der flüssigen Sole abnimmt und die verbleibende Sole stärker konzentriert ist.

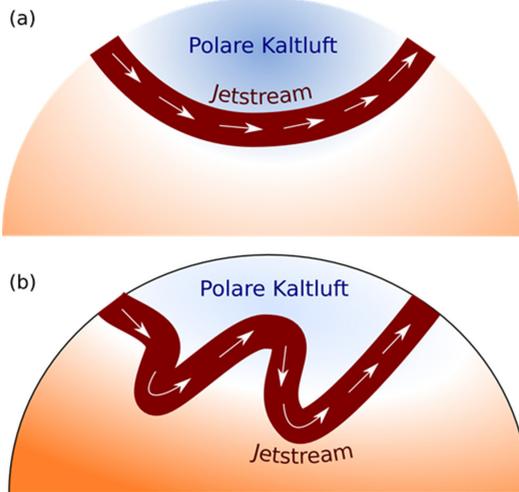
Während sich durch diesen Prozess der Salzgehalt im darunterliegenden Ozean nicht verändert, führen eine Reihe von Prozessen zum langsamen Ausfließen der Sole aus dem Eis, was zu einem Nettosalzeintrag in den Ozean unter dem Eis führt. Der wichtigste entsprechende Prozess ist die sogenannte »gravity drainage«,

also das Herausfließen der Salzsole aufgrund seiner hohen Dichte. Dieses Herausfließen der Salzsole ist insbesondere im Bereich des neu gebildeten Eises an der Eisunterseite sehr effektiv, da das Eis in diesem Bereich aufgrund seiner vergleichsweise hohen Temperatur einen hohen Anteil an flüssiger Salzsole enthält und damit sehr porös ist. Dieses Herausfließen der Salzsole aus den tiefsten Schichten des Meereises führt dazu, dass sich der Gesamtsalzgehalt von neu gebildetem Meereis innerhalb weniger Tage von einem für Meerwasser üblichen Wert von etwa 30-35 g Salz pro Kilogramm Meerwasser auf einen Salzgehalt von nur noch etwa 15 g Salz pro Kilogramm Meereis reduziert. Im Laufe des Winters fließt dann noch weiterhin Sole aus dem Eis, sodass sich zum Einbruch des Sommers ein typischer Salzgehalt von nur noch 5-10 g/kg einstellt.

Im Laufe des Sommers kommt dann ein zusätzlicher Prozess hinzu, durch den noch mehr Salzsole in den Ozean gelangt: An der Oberseite des Eises bilden sich durch das Schmelzen von Schnee und Eis große Mengen recht salzarmen Schmelzwassers, das im Laufe des Sommers langsam durch das Eis sickert und dabei die vorhandene Sole zu einem Großteil aus dem Eis herausdrückt. Hierdurch wird der Salzgehalt des Eises weiter reduziert, sodass im Laufe eines Jahres fast 90% des ursprünglich im Eis enthaltenen Salzes in den Ozean abfließen. Als Folge dieses Salzabflusses führt das spätere Schmelzen von Meereis zu einem sehr effektiven Eintrag von salzarmem Wasser in den Ozean.

In Kombination führen diese Prozesse dazu, dass während des Wachsens des Eises das darunterliegende Wasser salziger wird, wodurch dessen Dichte zunimmt, während sich beim Schmelzen des Eises eine nur wenig salzhaltige Wasserschicht auf den Ozean legt, die zu einer sehr stabilen Schichtung der Wassersäule führt. Insbesondere im Südlichen Ozean tragen diese Prozesse einen entscheidenden Teil dazu bei, dass sich rund um die Antarktis große Mengen von salzigem, kaltem Antarktischem Bodenwassers bilden, die langsam in Richtung Norden fließen und dabei große Teile der Tiefen des Weltozeans füllt. Ohne den Salzausstoß des Meereises bildet sich in Modellsimulationen deutlich weniger solches Tiefenwasser, wodurch die Zirkulation des Ozeans global gravierend verändert wird (STÖSSEL et al. 2002).

Neben diesen direkten physikalischen Einflüssen des Meereises auf den Ozean verändert die Bildung und das Schmelzen von Meereis auch den Austausch von Gasen zwischen dem Ozean und der Atmosphäre. Hierbei ist insbesondere von Bedeutung, dass Meereis einen gewissen Beitrag dazu leistet, dass nach wie vor große Mengen von anthropogenem Kohlendioxid durch die Ozeane aus der Atmosphäre entnommen werden. Dies geschieht dadurch, dass das Meereis im



**Abb. 5.1-2:** Schematische Darstellung möglicher Veränderungen des atmosphärischen Jetstreams. (a) Durch einen großen Temperaturunterschied zwischen den hohen und mittleren Breiten ist der Jetstream relativ stark ausgeprägt, mäandert kaum und schirmt damit die mittleren Breiten effektiv von polarer Kaltluft ab. (b) Durch die starke Erwärmung der hohen Breiten könnte der Jetstream schwächer und damit instabiler werden. Durch sein Mäandrieren könnten Extremereignisse sowohl deswegen zunehmen, weil Wettersysteme länger über einzelnen Regionen verbleiben, als auch weil ein stärkerer Austausch von polaren und äquatornahen Luftmassen stattfinden kann.

Ozean gelöstes Kohlendioxid in der Salzsole konzentriert, sodass dieses beim Herausfließen der Salzsole in tiefere Schichten des Ozeans gelangen kann. Das anschließende Schmelzen des Eises erzeugt dann an der Meeresoberfläche eine Wasserschicht, die einen sehr geringen Anteil an Kohlendioxid enthält, was direkt zu einem zusätzlichen Eintrag von Kohlendioxid aus der Atmosphäre führt. Ursprüngliche konzeptionelle Studien hatten ergeben, dass dieser Prozess möglicherweise von gravierender Bedeutung für die ozeanische Aufnahme von Kohlendioxid ist. Genauere Studien mit großskaligen Klimamodellen haben allerdings kürzlich ergeben, dass der entsprechende Effekt deutlich schwächer ausfällt als ursprünglich angenommen.

### Indirekte Auswirkungen des Meereisrückgangs auf die großen Eisschilde der Erde

Bisher haben wir in diesem Kapitel nur die möglichen direkten Auswirkungen des Meereisrückgangs auf den Ozean und die Atmosphäre beschrieben. Abschließend soll noch kurz auf die indirekten Auswirkungen eingegangen werden, die das Meereis für die Stabilität der großen Eisschilde der Erde, insbesondere in Grönland hat. Diese indirekten Auswirkungen hängen dabei primär damit zusammen, dass der Rückgang von Meereis die Erwärmung der Polargebiete insgesamt deutlich verstärkt. Dies führt dazu, dass auch das Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes verstärkt wird, mit seinen teilweise gravierenden Auswirkungen auf das Klima unserer Erde. So gelangen zum Beispiel durch das Abschmelzen des Eisschildes große Mengen von Süßwasser in den Nordatlantik, was die globale Umwälzbewegung der Ozeane regional stark verändern kann. Durch dieses Süßwasser wird insbesondere der europawärts gerichtete Ausläufer des Golfstroms, der sogenannte Nordatlantikstrom, geschwächt, dessen Antrieb das großräumige Absinken von kaltem, salzigem Wasser vor der Küste Grönlands ist. Indirekt trägt damit das Abschmelzen des Meereises dazu bei, dass der Nordatlantikstrom im Laufe dieses Jahrhunderts deutlich schwächer werden dürfte.

Das Meereis scheint auch regional das Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes zu beeinflussen. Eine Reihe von Beobachtungsdaten deutet daraufhin, dass die Bewegung von Gletschern, die in die Fjorde rund um Grönland münden, einen deutlichen Zusammenhang mit der Eisbedeckung in den Fjorden zeigt. So wurde häufiger beobachtet, dass die Gletscher im Frühling erst dann wieder beginnen größere Mengen an Eis in den Fjord zu kalben, wenn das Meereis in den

Fjorden geschmolzen ist. Ob es zwischen diesen beiden Ereignissen wirklich einen kausalen Zusammenhang gibt, oder ob das gleichzeitige Einsetzen beider Prozesse unabhängig voneinander stattfindet, ist allerdings zurzeit noch nicht klar.

### Diskussion

In diesem Kapitel wurden kurz die unterschiedlichen Prozesse umrissen, aufgrund derer Meereis das Klima unserer Erde weit über die Polarregionen hinaus beeinflusst. Die Diskussion ist dabei zwangsläufig recht beschreibend geblieben, da der derzeitige Forschungsstand nicht hinreichend gesichert ist, um eine detaillierte, quantitative Abschätzung der beschriebenen Prozesse zu ermöglichen.

Einer der Hauptstreitpunkte dreht sich dabei um den Einfluss von Meereis auf die großskalige Zirkulation der Atmosphäre in den mittleren Breiten und insbesondere um die Rolle des Eisrückgangs für Extremwetterereignisse der jüngeren Vergangenheit. Während manche Forscher durch die beschriebene mögliche Abschwächung des Jetstreams hier einen deutlichen Zusammenhang sehen, halten andere Forscher die derzeitige Datenlage noch nicht für ausreichend, um einen kausalen Zusammenhang als gesichert anzusehen. Diese unterschiedlichen Auffassungen sind unter anderem in der sehr dünnen Datenlage begründet, die Raum für teilweise sehr divergierende Interpretationen bieten.

Sicher ist allerdings, dass der Rückgang des Eises zumindest regional zu erheblichen Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation führen kann, wie auch der Einfluss des Eises auf die großräumigen Strömungsmuster der Ozeane als gesichert gelten kann. Als ebenfalls gesichert gilt daher, dass der beobachtete Rückgang des Meereises insbesondere in der Arktis zu großräumigen Veränderungen im Klimasystem der Erde führen wird. Wie genau diese aussehen werden ist allerdings nach wie vor nicht abschließend geklärt.

### Literatur

- PITHAN, F., & T. MAURITSEN (2014): Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geoscience*, 7(3), 181-184, 2014.
- STÖSSEL, A., YANG, K., & S. J. KIM (2002): On the role of sea ice and convection in a global ocean model. *Journal of Physical Oceanography*, 32(4), 1194-1208, 2002.
- VIHMA, T. (2014): Effects of Arctic sea ice decline on weather and climate: A review. *Surveys in Geophysics*, 35(5), 1175-1214, 2014.

### Kontakt:

Dr. Dirk Notz  
Max Planck Institut für Meteorologie, Hamburg  
dirk.notz@mpimet.mpg.de

Notz, D. (2015): Bedeutung des Meereises für das Weltklima. In: Lozán, J. L., H. Grassl, D. Kasang, D. Notz & H. Escher-Vetter (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Das Eis der Erde*. pp. 189-193. Online: [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de). doi:10.2312/warnsignal.klima.eis-der-erde.28