

Tauwetter im Klimarechner

Nirgendwo macht sich der Klimawandel so deutlich bemerkbar wie in der Arktis. Die Menge des Meereises hat hier in den vergangenen Jahrzehnten drastisch abgenommen. Diesen Schwund haben Klimamodelle lange nicht in seinem ganzen Ausmaß erfasst. Das ändert sich nun – nicht zuletzt, weil **Dirk Notz** und seine Forschungsgruppe am **Max-Planck-Institut für Meteorologie** in Hamburg immer besser verstehen, welche Prozesse die Bildung und das Schmelzen des Meereises beeinflussen.

TEXT UTE KEHSE

Jedes Jahr, wenn sich die Polarnacht über den Arktischen Ozean senkt, wächst auf dem klirrend kalten Wasser eine hauchdünne, feste Kruste. Manchmal sind es auch nur einzelne Kristalle, die an der Oberfläche treiben und einen matschigen Brei mit der Konsistenz von Slush-Eis bilden. Nach und nach schließt sich diese Masse zu runden, pfannkuchenförmigen Gebilden zusammen, später entstehen meterdicke Schollen. Am Ende des Winters füllt das Eis fast den gesamten Arktischen Ozean aus, erstreckt sich von Kanada

bis nach Sibirien, schiebt sich durch die Beringstraße und die Baffin Bay, umschließt nahezu ganz Grönland und die Inselgruppe von Spitzbergen. Ende Februar bedeckt das arktische Meereis jedes Jahr rund 15 Millionen Quadratkilometer – eine Fläche, die 1,5-mal so groß ist wie Europa. Im Sommer dagegen schrumpft der weiße Deckel erheblich zusammen.

Und das immer mehr: Seit einigen Jahren ist das Eis stark auf dem Rückzug, 2012 etwa lag die Fläche des Sommerminimums erstmals seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1979 bei

weniger als vier Millionen Quadratkilometern. „In den vergangenen 35 Jahren haben sich Fläche und Dicke des arktischen Meereises im Sommer etwa halbiert. Drei Viertel des Volumens sind weg“, konstatiert Dirk Notz, Meereis-Experte am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg. Das Schmelzen hat dramatische Züge angenommen: Die Nordostpassage entlang der sibirischen Küste ist mittlerweile in den meisten Sommern schiffbar, die Eisgrenze verschiebt sich immer weiter nach Norden. Bis Mitte des Jahrhunderts könnte der Arktische Ozean im



Sommer eisfrei sein – das sagen die meisten Klimamodelle voraus.

Das hat erhebliche Folgen für das Weltklima. Obwohl Meereis nur wenige Meter dick ist, liegt es wie ein Deckel auf dem Ozean und verhindert somit weitestgehend, dass im Winter Wärme aus dem Wasser in die Atmosphäre gelangt. Im Sommer dagegen strahlt das helle Eis einen großen Teil des einfallenden Sonnenlichts wieder ins Weltall ab. Beide Effekte kühlen die Luft in den Polargebieten. Verschwindet das Eis, so erwärmen sich die hohen Breiten noch schneller als ohnehin schon. Dadurch

verringert sich der Temperaturunterschied zwischen mittleren und hohen Breiten – dies könnte wiederum für Wetterkapriolen in den gemäßigten Zonen sorgen.

Noch vor zehn Jahren kamen viele Klimamodelle zu dem Ergebnis, dass mit eisfreien Sommern in der Arktis frühestens Ende des 21. Jahrhunderts zu rechnen sei. Doch das Eis ging deutlich schneller zurück, als es die Simulationen vorhergesagt hatten. 2007 etwa schrumpfte die Eisfläche so stark, dass manche Forscher bereits vermuteten, ein Kipppunkt sei überschritten, jen-

Nicht aus-, sondern nur abgesetzt: Dirk Notz und Thorsten Heller, ein Mitglied der Schiffscrew, nehmen eine Probe auf einer Eisscholle. Bei der Expedition schlossen sie sich dem Polarforscher Arved Fuchs an, der aus nostalgischen Gründen mit dem Segelschiff „Ship of Opportunity“ unterwegs war.

seits dessen das Eis binnen weniger Jahre komplett verschwinden könnte. In den folgenden zwei Jahren dehnte es sich jedoch wieder aus – was ebenfalls unerwartet war. Kurzum: Das Meereis verhielt sich so seltsam, dass Klimaforscher es in ihren Modellen nicht in den Griff zu bekommen schienen. >



Großes Kino am Himmel: Die Daneborg-Forschungsstation auf Grönland bot den Max-Planck-Forschern beste Aussichten auf Polarlichter.

Mittlerweile sind die Unterschiede zwischen Modellen und Wirklichkeit sowohl deutlich besser verstanden als auch deutlich kleiner geworden. Dies ist unter anderem Dirk Notz zu verdanken. Seit sieben Jahren leitet er die Forschungsgruppe „Meereis im Erdsystem“ am Hamburger Max-Planck-Institut. Er und seine Kolleginnen und Kollegen widmen sich der Frage, welche Zukunft dem Meereis rund um den Nordpol und auf der anderen Seite der Erde, in der Antarktis, bevorsteht.

NEUE MESSINSTRUMENTE FÜR FELDEXPERIMENTE

Das Team verfolgt einen sehr umfassenden Ansatz: Die Forscher haben einerseits das großräumige Auf und Ab des Meereises im Blick, werten Satellitendaten aus und modellieren diesen Rhythmus mit aufwendigen Computerprogrammen. Zusätzlich erforschen sie die Physik des Meereises aber auch im Kleinen: In ihrem Labor beobachten sie, wie sich das Eis verändert, wenn es gefriert oder schmilzt. Die physikalischen Prozesse beschreiben sie mit Modellen.

Sie entwickeln auch neue Messinstrumente und setzen diese bei Feldexperimenten ein. „Dass wir Untersuchungen im Labormaßstab mit globalen Studien und unterschiedliche Methoden kombinieren, ist ein Alleinstellungsmerkmal und die große Stärke unserer Gruppe“, sagt Dirk Notz. „Wir bringen die Welten der Modellierer und der Experimentalforscher zusammen.“

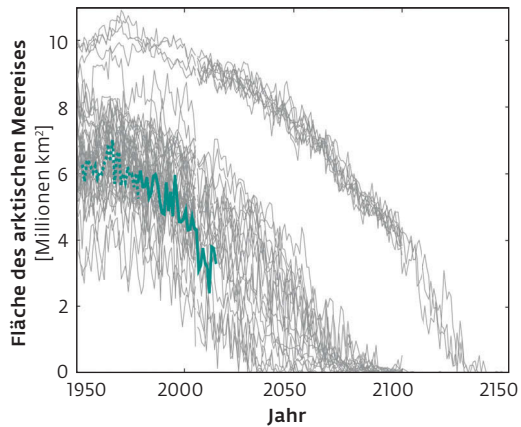
Auf diese Weise verbessern die Forscher die Simulationen der Klimamodelle, wie sich das Meereis global verändert. „Mit unseren Messungen können wir im Kleinen die Prozesse besser verstehen, die das Wachsen und Tauen von Meereis in der Natur beeinflussen“, erläutert Notz. Durch dieses Verständnis können die Forscher dann einschätzen, welche Prozesse in globalen Modellen unbedingt simuliert werden müssen, um vertrauenswürdige Antworten auf zentrale Fragen der Meereisforschung zu erhalten. „Dank unserer Arbeit wissen wir, welche Fragen wir sinnvoll mit unseren Modellen beantworten können, nämlich, zum Beispiel, warum das Meereis in der Antarktis zunimmt, in der Arktis aber schmilzt.“

Der Ort, an dem die Laborexperimente der Gruppe stattfinden, liegt einen kleinen Fußmarsch von Dirk Notz' Büro entfernt. Im 13. Stock des Nachbargebäudes, des Geomatikums der Uni Hamburg, haben Notz und seine Kollegen einen Kühlraum eingerichtet, nicht viel größer als eine Abstellkammer. Den größten Teil dieses Verschlags füllt ein knapp zwei Meter langer, gut einen Meter hoher Wassertank aus. Hier können die Forscher ihr eigenes Meereis züchten und untersuchen. Gleichzeitig testen sie Prototypen selbst entwickelter Messgeräte, die sie später im Feld einsetzen.

„Im Prinzip ist der ganze Raum ein großer Gefrierschrank“, erläutert Dirk Notz. Indem die Forscher die Luft auf bis zu minus 25 Grad herunterkühlen, bringen sie das grünliche Wasser im Tank innerhalb von drei bis vier Tagen von Zimmertemperatur auf Minusgrade. Nach einem weiteren Tag setzt sich auf der Oberfläche genügend Eis für alle möglichen Experimente ab. Mithilfe mehrerer Pumpen können die Forscher das Wasser zum Beispiel gleichmäßig im Kreis strömen lassen oder Wellen erzeugen. Mit Heizplatten an der Seite des Tanks simulieren sie Tauwetter. Schnee kommt aus gewöhnlichen Wassersprühflaschen, Wind von einem Ventilator.

DIE SENSOREN SIND MARKE EIGENBAU

Es wirkt alles ein bisschen improvisiert, doch das stört Dirk Notz nicht. „Es muss nicht schön aussehen, sondern funktionieren“, sagt er. Die gleiche Einstellung hat die Gruppe auch zu Messgeräten. Da es für viele der Größen, die die Forscher im Eis messen wollten, keine passenden Sensoren gab, musste das Team geeignete Messfühler selbst entwickeln. Dirk Notz kommen schon mal Wörter wie „basteln“ oder „hinfrickeln“ über die Lippen, wenn er die Entwicklungsarbeit an den Sensoren beschreibt. „Wir machen alle prakti-



schen Arbeiten selbst, das gehört dazu. Ein wenig praktische Intelligenz braucht man schon“, sagt er.

Die Ergebnisse dieser Entwicklungsarbeit sind weltweit einzigartig. So verfügt die Hamburger Gruppe nun zum Beispiel über ein Messgerät, mit dem der Salzgehalt von Meereis in verschiedenen Tiefen gemessen werden kann. Der Sensor ähnelt einer Harfe. Die kleine Version, die im Experimentiertank zum Einsatz kommt, besteht aus einer Platine und einer Plexiglasplatte, aus

der jeweils im Abstand von einem Zentimeter acht Paare von Drähten herausragen. Zwischen den Drähten wird die elektrische Leitfähigkeit gemessen – woraus sich wiederum der Salzgehalt bestimmen lässt.

„Der Salzgehalt des Meereises ist eine schwer fassbare, aber enorm wichtige Größe zur Charakterisierung des Eises“, berichtet Dirk Notz. Gefriert Meerwasser bei minus 1,8 Grad Celsius, so werden Salz und andere gelöste Stoffe nicht ins Kristallgitter eingebaut, son-

Oben Die Modelle, die im jüngsten Weltklimabericht berücksichtigt wurden, kommen zu sehr unterschiedlichen Vorhersagen für die Bedeckung der Arktis mit Meereis. Die Messdaten von Schiffen und Flugzeugen (gestrichelte grüne Linie) sowie jene von Satelliten (durchgezogene Linie) liegen etwa in der Mitte der zuverlässigsten Simulationen.

Unten Im Hamburger Labor nimmt Dirk Notz (links) eine Eisprobe, während Niels Fuchs die Temperatur der Eisoberfläche misst.





Links Leif Riemenschneider (links im Bild) und ein Mitarbeiter des Teams installieren ein Messinstrument, mit dem sie über die Leitfähigkeit den Salzgehalt des Eises bestimmen, während dieses wächst. Sie tragen Überlebensanzüge für den Fall, dass sie einbrechen.

Rechts Um in möglichst jungem Meereis Experimente machen zu können, sind die Forscher in einem Fjord in Nordost-Grönland mit Hovercraft-Booten unterwegs, die über Eis und durch Wasser fahren.

dem bleiben als hochkonzentrierte Sole in winzigen Taschen und Kanälen innerhalb des Eises übrig, Meereis ist damit immer eine Mischung aus festem Süßwassereis und flüssiger Sole. Weil diese Sole eine höhere Dichte als Meerwasser besitzt, läuft ein Teil von ihr mit der Zeit aus dem Eis heraus und ergießt sich ins Meerwasser. Aus dem Salzgehalt des Meereises leiten die Forscher ab, wie viel Sole noch im Eis verblieben ist. Das ermöglicht wiederum Rückschlüsse auf nahezu sämtliche physikalischen Eigenschaften wie etwa die Wärmeleitfähigkeit und die mechanische Festigkeit des Meereises, die in den Simulationen der globalen Eisentwicklung berücksichtigt werden müssen.

Die Salzsole, die aus dem Meereis herausläuft, spielt zudem eine wichtige Rolle bei der weltweiten Umwälzung der Ozeane – der sogenannten thermohalinen Zirkulation. Die schwere Flüssigkeit erhöht die Dichte des Oberflächenwassers an einigen Stellen in den

Polargebieten immer wieder so sehr, dass es bis zum Grund absinkt und die Tiefsee mit kühlem und sauerstoffreichem Wasser versorgt. Das Auslaufen der Salzsole aus dem Meereis ist somit ein wichtiger Antrieb für diesen Kreislauf, der auch die Meeresströmungen an der Oberfläche in Gang hält.

WIE HÄNGT DER SALZGEHALT VOM ALTER DES EISES AB?

Gründe genug, die komplizierten Vorgänge, die den Salzgehalt des Meereises und die Menge der herausgelaufenen Sole beeinflussen, besser verstehen zu wollen. So war zum Beispiel lange unklar, wie der Salzgehalt vom Alter oder von der Dicke des Eises abhängt. Um diese und andere Zusammenhänge zu ergründen, untersuchten Dirk Notz und sein mittlerweile promovierter Doktorand Philipp Griewank den Salzgehalt nicht nur mit Experimenten, sondern entwickelten auch ein komplexes ein-

dimensionales Modell, um ihn zu beschreiben. Dabei bezogen sie sämtliche physikalischen Prozesse ein, die ihn verändern können. Denn die Struktur und damit der Salzgehalt des Eises entwickeln sich nicht nur beim Wachsen und Tauen, sondern auch wenn es schneit, regnet oder wenn Sonne auf die Oberfläche scheint. Mit ihrem Modell konnten Griewank und Notz gemessene Salzgehalte gut nachvollziehen.

Eine weitere Forschungslücke hat die Meteorologin Ann Kristin Naumann geschlossen. Sie untersuchte während ihrer Masterarbeit in dem Experimentiertank, wie Meereis gefriert, wenn das Wasser von Wellen aufgewühlt oder durch Wind und Strömungen in Bewegung gehalten wird. Über diese Vorgänge war vorher nur wenig bekannt. Naumann musste zunächst eine geeignete Methode finden, um den festen Anteil des breiartigen Eises zu messen, das sich in aufgewühltem Meerwasser heranbildet. Wie die Forscherin feststellte, er-



höht sich der feste Anteil des Matscheises mit der Zeit nicht, auch wenn die Eismasse im Tank insgesamt zunimmt. Solange Matscheis vorhanden ist, besteht nur ein Viertel davon aus festen Eiskristallen – ein Ergebnis, das wichtig ist, um das großräumige Verhalten von Meereis zu verstehen, und das nun in Klimamodelle eingebaut werden kann.

Dirk Notz und seine Kolleginnen und Kollegen haben in ihren Experimenten im Laufe der letzten Jahre zahlreiche weitere Meereisprozesse im Detail untersucht, so etwa das Auftauen und die Vorgänge an der Grenze zwischen Eis und Wasser. Außerdem beschäftigten sie sich mit der Wechselwirkung zwischen Schnee und Meereis. Sie untersuchen etwa, was genau passiert, wenn eine Schneeschicht das Meereis so weit hinunterdrückt, dass die Scholle mit Meerwasser geflutet wird. Das Wasser gefriert dabei und bildet Schneeeis, das in Teilen der Antarktis bis zu 40 Prozent der Meereismenge ausmacht. Ein weiteres Thema ist die Frage, wie Meereis den CO_2 -Austausch zwischen Ozean und Atmosphäre beeinflusst. Das ist von globaler Bedeutung, weil die Weltmeere bislang etwa ein Viertel der

menschlichen CO_2 -Emissionen aufgenommen haben.

Einige dieser Prozesse wollen die Forscherinnen und Forscher demnächst auch in Feldexperimenten untersuchen. Dafür haben sie unter anderem eine größere Version der Salzmessvorrichtung gebaut, die im Meereis vergraben wird und anschließend über eine Satellitenverbindung Daten sendet. Ein erster Test in Grönland endete 2013 vorzeitig nach zwei Wochen, brachte aber bereits viele wertvolle Daten. „Jetzt wollen wir erstmals über längere Zeit beobachten, wie sich die Salinität im Meereis mit der Zeit entwickelt“, erläutert Notz. Bislang gibt es zum Salzgehalt von Meereis nur vereinzelte Messungen aus Eisbohrkernen.

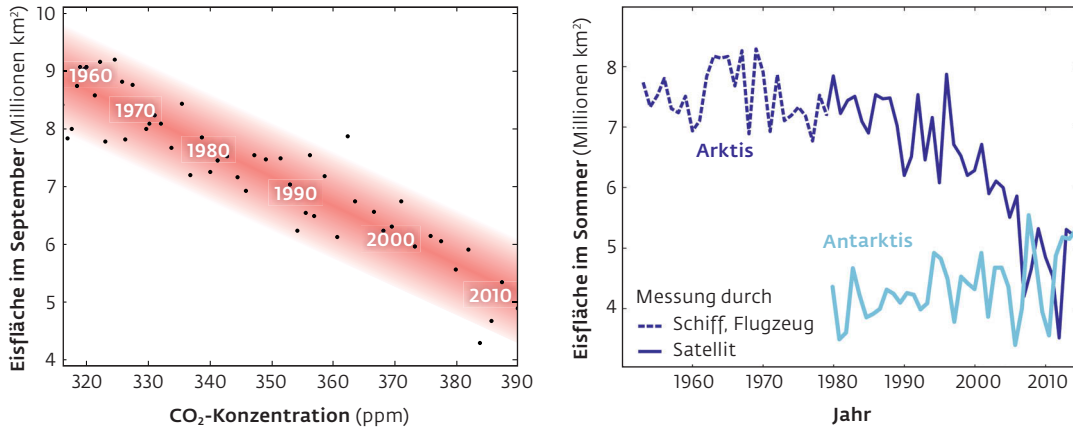
Dafür soll das Salzmessgerät so bald wie möglich zu einem längeren Praxiseinsatz in einem Fjord in Spitzbergen kommen. Außerdem will das Team dort im Eis noch weitere Sensoren platzieren. Sie sollen die Lichtverhältnisse, den pH-Wert, die Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentrationen in verschiedenen Eistiefen messen.

Die Hamburger Forscher tragen somit viele wichtige Details zusammen,

die dabei helfen, die Eigenheiten des Meereises besser zu verstehen – und somit letztlich auch sein großräumiges Verhalten besser simulieren zu können. Auch auf diesem Feld hat Dirk Notz indessen bereits einige Erfolge erzielt. „Indem wir scheinbare Widersprüche zwischen Beobachtungen und Modellsimulationen untersuchten, konnten wir in den letzten Jahren mehrere größere Lücken beim Verständnis von Meereis schließen“, sagt der Meteorologe.

EINE ERKLÄRUNG FÜR DAS ZUNEHMENDE ANTARKTISCHE EIS

Zusammen mit seinen Kollegen Hauke Schmidt und Alexander Haumann fand Dirk Notz zum Beispiel heraus, warum die Meereisfläche in der Antarktis derzeit leicht zunimmt – ein rätselhafter Effekt, der sich in Klimamodellen oft nicht zeigt. Das Ergebnis der Studie, die 2014 in den *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS* erschien: Winde, die vom Land her wehen, haben sich am Rossmeer, einer Meeresregion an der pazifischen Seite der Antarktis, in den letzten Jahren verstärkt und treiben das Eis von der Küste weg. „Das Eis wird nach Norden gepus-



Oben Zwischen dem Schwund des arktischen Meereises und dem Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre besteht ein linearer Zusammenhang (links). Alle anderen möglichen Ursachen für den Rückgang konnten Dirk Notz und seine Kollegen ausschließen. Während das Meereis der Arktis in den vergangenen 50 Jahren abgenommen hat, dehnt es sich in der Antarktis leicht aus (rechts).

Rechte Seite Dirk Olonscheck, Dirk Notz und Niels Fuchs (von links) diskutieren jüngste Messergebnisse und beraten über weitere Experimente.

tet, und der Ozean südlich davon friert wieder zu“, erläutert Notz. Vor allem im pazifischen Sektor der Antarktis nimmt die Meereisbedeckung aus diesem Grund zu – trotz der globalen Erwärmung.

In einer weiteren Studie fanden Dirk Notz und einige Kollegen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie 2011 heraus, dass es keinen Kipppunkt gibt, an dem das Meereis in der Arktis sommers unwiderruflich verschwindet. Zahlreiche Klimaforscher hatten vorher vermutet, dass der Arktische Ozean in einen neuen, im Sommer eisfreien Zustand übergeht, wenn die Eisfläche erst einmal unter eine bestimmte Grenze gesunken ist. Der Eisverlust könnte sich von selbst beschleunigen, so die Befürchtung, da Meerwasser im Sommer mehr Wärme aufnimmt als Eis.

Die Klimasimulation der Hamburger Forscher zeigte jedoch, dass sich das Meereis auch nach einem vollkommen eisfreien Sommer rasch erholt. Denn im Winter gibt der Ozean die zuvor aufgenommene Wärme schnell wieder an die Atmosphäre ab. „Verschiedene Rückkopplungsmechanismen sorgen dafür, dass sich nach ungefähr drei Jahren der alte Zustand wieder einstellt“, erläutert

Dirk Notz. Das bedeutet: Das Meereis in der Arktis passt sich relativ schnell an die herrschenden Klimabedingungen an – und es würde weitgehend stabil bleiben, wenn der Klimawandel gestoppt würde.

NUR DER CO₂-ANSTIEG ERKLÄRT DEN SCHWUND DES EISES

Allerdings wirken sich die zunehmenden Treibhausgaskonzentrationen bereits jetzt ziemlich direkt auf das Meereis aus, wie eine Studie von Dirk Notz und Jochem Marotzke, Direktor am Hamburger Max-Planck-Institut, 2012 offenbarte. Die Forscher werteten dazu Messdaten zur Meereisbedeckung seit den 1950er-Jahren aus. Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass der derzeitige Schwund durch natürliche Schwankungen nicht zu erklären ist – er muss eine äußere Ursache haben. Sonneneinstrahlung, Vulkanausbrüche und andere Faktoren konnten die Forscher ausschließen. Nur die steigenden CO₂-Werte blieben als Ursache übrig. „Die Treibhausgase erhöhen die einfallende Wärmestrahlung in der Arktis, was sich unmittelbar auf den Wärmehaushalt des

Meereises auswirkt: Es schmilzt“, erläutert Notz. Die menschlichen Emissionen, das wiesen die beiden Forscher damit nach, sind die unmittelbare Ursache für den Schwund des Meereises.

Darüber hinaus hat sich Notz auch Gedanken darüber gemacht, wieso dieser Eisschwund in vielen Klimasimulationen deutlich langsamer verläuft als in Wirklichkeit. Diese Diskrepanz wird oft als Indiz dafür genommen, dass die Klimamodelle wichtige Prozesse nicht realistisch erfassen. In einem Fachartikel, der 2015 in der Zeitschrift *PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS* der britischen Royal Society erschien, kommt Notz aber zu dem Schluss, dass die Modellsimulationen durchaus deutlich von den Messdaten abweichen können, ohne grundsätzlich falsch sein zu müssen. Er weist darin nach, dass die Ausdehnung des Meereises so stark von chaotischen natürlichen Schwankungen beeinflusst wird, dass selbst Modelle, die die zentralen physikalischen Prozesse realistisch beschreiben, deutlich von der tatsächlichen Entwicklung abweichen können.

Auch wenn die Klimamodelle den raschen Rückgang des Meereises in der Arktis teilweise nicht vorausgesagt ha-



ben und immer noch verbessert werden können, müssen sie also nicht prinzipiell falsch sein. „Ich halte diese Studie für eines der wichtigsten Ergebnisse unserer Arbeit, mit Konsequenzen weit über das Meereis hinaus“, erklärt Dirk Notz. Denn die Erkenntnisse, dass die natürlichen Schwankungsbreiten genaue Vorhersagen einer Entwicklung erschweren, lassen sich auch auf andere Größen des Erdklimas wie etwa die Niederschlagsmenge oder die Häufigkeit von Stürmen und Trockenheiten übertragen.

Für die Zukunft hat sich der Hamburger Forscher noch einiges vorgenommen. Er und seine Kollegen bauen die Erkenntnisse aus den Experimenten der Gruppe nun verstärkt in globale Erdsystemmodelle ein, damit diese die Eisbedeckung besser prognostizieren können. Ein anderer Schwerpunkt besteht darin, die Vorgänge an der Grenze zwischen Meereis und Meerwasser besser zu verstehen – etwa wie der Ozean Wärme an das Eis abgibt.

Derzeit macht ihr Forschungsobjekt es ihnen aber nicht gerade leicht: Einige Experimente, die das Team im Januar 2016 im Van Mijenfjord auf Spitzber-

gen geplant hatte, musste es mangels Eis absagen. Auf der arktischen Insel herrschte im Dezember und im Januar mehrere Wochen lang Tauwetter – und dies mitten in der Polarnacht. Vom Meereis, das die Insel im Winter gewöhnlich fest im Griff hat, war keine Spur zu sehen. Und gerade meldete der

National Snow and Ice Data Service aus den Vereinigten Staaten, dass die maximale Ausdehnung des arktischen Meereises im Winter seit Beginn der Messungen noch niemals so gering war wie in diesem Jahr.

Wie es aussieht, nimmt die große Schmelze weiter ihren Lauf. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- In der Arktis ist das Meereis seit Beginn der Satellitenmessungen 1979 stark zurückgegangen. Im Sommer gibt es dort heute sogar nur noch ein Viertel der damaligen Eismenge. Diesen starken Schwund haben Klimamodelle früher ebenso wenig wiedergegeben wie die Zunahme des Eises in der Antarktis.
- Dirk Notz und seine Forschungsgruppe „Meereis im Erdsystem“ verbessern die Simulationen der Klimamodelle, indem sie mit Labor- und Feldexperimenten sowie Modellen alle Prozesse im Großen wie im Kleinen untersuchen, die sich auf die Eismenge in der Arktis und in der Antarktis auswirken. Eine wichtige Größe ist dabei der Salzgehalt des Eises, der von verschiedenen Faktoren abhängt.
- So haben die Forscher festgestellt, dass es für das arktische Meereis keinen Kippunkt gibt, jenseits dessen das Meereis im Sommer dauerhaft verschwindet. Zudem haben sie herausgefunden, warum das Meereis in der Antarktis zunimmt: Stärkere Winde vom Land her treiben das Eis von der Küste weg, sodass sich dort neues bildet.
- Einer weiteren Studie zufolge können Klimasimulationen aufgrund von chaotischen natürlichen Schwankungen der Meereismenge deutlich von Beobachtungen abweichen, ohne notwendigerweise falsch zu sein. Diese Erkenntnis lässt sich auf andere Klimagrößen wie etwa die Niederschlagsmenge oder die Häufigkeit von Stürmen und Trockenheiten übertragen.