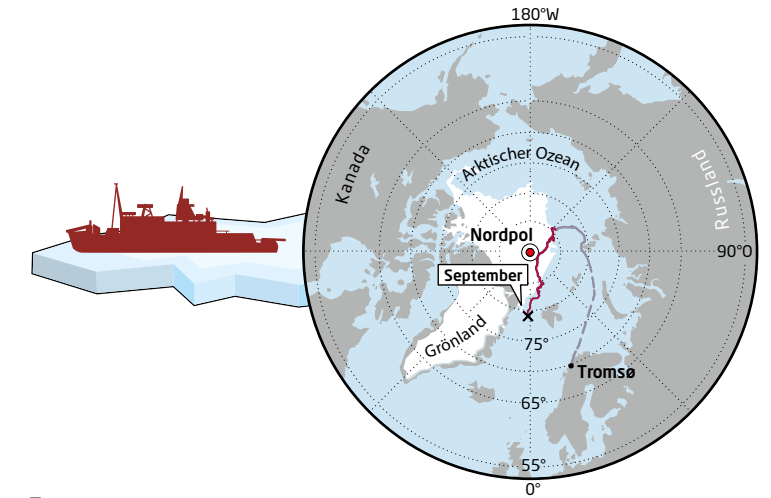


Die beiden Forschungsflugzeuge POLAR 5 und POLAR 6 warten auf dem Flugplatz von Longyearbyan, Spitzbergen, auf ihren MOSAiC-Einsatz. POLAR 6 im Bildhintergrund trägt den Meereisdickensensor EM-Bird am Rumpf montiert.



DriftStory 10

Ein Wiedersehen am Ausgangstor der Arktis

Die AWI-Meereisphysiker Thomas Krumpen und Jakob Belter waren zwei der ersten Wissenschaftler, die im Spätherbst 2019 das Umfeld der MOSAiC-Eisscholle erkundet haben. Die Eisfläche stand damals noch am Anfang ihrer Reise durch die zentrale Arktis. Elf Monate später kehren die Forscher zur Scholle zurück, um diese nochmals zu vermessen - diesmal allerdings vom Flugzeug aus und vor der Küste Nordostgrönlands, dem anderen Ende der Transpolardrift.

Wie sich die Bilder ähneln: Als AWI-Meereisphysiker Dr. Thomas Krumpen am Mittwoch, den 2. September 2020, im Flugzeug über die weit verteilten Reste der ehemaligen MOSAiC-Eisscholle und vieler ihrer Nachbarschollen hinwegfliegt, fühlt er sich unweigerlich an seine erste Begegnung mit dieser besonderen Meereisfläche im Oktober 2019 erinnert. Wieder haben die ersten kalten Herbstnächte die Meereisoberfläche überfrieren lassen; wieder überzieht eine Schicht neuen Eises die vielen Schmelztümpel. Löcher sowie Stellen mit instabilem, von der Sommerwärme zersetztem Eis werden abermals von Schnee kaschiert, sodass die Eisdecke insgesamt viel intakter aussieht als sie es eigentlich ist.



POLAR 6 ist eines von zwei deutschen Polarforschungsflugzeugen vom Typ Basler BT-67. Die Propellermaschine kommt sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis zum Einsatz und wird für jeden Einsatz mit spezieller Forschungstechnik ausgerüstet.

Wüsste Thomas Krumpen nicht genau, in welchem Teil der Arktis er und sein Kollege Jakob Belter sich gerade aufhalten, könnte der Wissenschaftler an ein Fortleben der MOSAiC-Scholle glauben. Allein der Ort des Wiedersehens schließt einen solchen Gedanken aus. Das Forschungsflugzeug **POLAR 6** fliegt an diesem Tag über der Framstraße. Dieses Meeresgebiet liegt zwischen Spitzbergen und Ostgrönland und gilt als das größte Ausgangstor des Arktischen Ozeans. In den Wintermonaten Oktober bis April wandern jedes Jahr aufs Neue rund 1600 Kubikkilometer arktisches Meereis durch die Framstraße hindurch in den Nordatlantik und damit in den sicheren Wärmetod. Nur mal zum Vergleich: Das Schmelzwasser dieser Menge Meereis würde ausreichen, um den Bodensee 35-mal komplett zu füllen.

Die Framstraße markiert somit auch das Ende der Transpolardrift. Als solche wird die von Wind und Ozean angetriebene Wanderung des arktischen Meereises aus den russischen Randmeeren des Arktischen Ozeans über den Nordpol bis vor die grönländische Ostküste bezeichnet. Die MOSAiC-Scholle hat für diesen mehr als 5200 Kilometer langen Weg etwa 610 Tage benötigt. Am vorletzten Julitag 2020 ist sie dann in mehrere Einzelteile zerbrochen. Reste jenes Eises, welches einst das erweiterte MOSAiC-Umfeld bildete, stecken



Für die Eisdickenmessungen geht das Flugzeug in den Tiefflug, sodass Pilot und Besatzung das Meereis bestens erkennen können. Während im Cockpit Zeit für einen Blick über das Meer bleibt (l.), überwachen die Forscher Thomas Krumpen, Jakob Belter und Cristina Sans i Coll (o., v. l. n. r.) per Kamera, ob sich der EM-Bird ordnungsgemäß aus seiner Halterung gelöst hat und perfekt über dem Meereis schwebt.

seitdem vor der Küste Ostgrönlands fest - eingeklemmt in einer Melange aus Eisbergen und auffallend dicken Meereisschollen, die vermutlich aus dem äußersten Norden Grönlands stammen.

Als Zielgerade der Transpolardrift ist die Framstraße für Meereisforschende ganz besonders interessant. „Jedes Detail des Meereises, das hier ankommt, verrät uns etwas über die Umweltbedingungen, denen es im Laufe seiner Drift durch die zentrale Arktis ausgesetzt war“, sagt Thomas Krumpen, wobei die Transpolardrift nicht die einzige Meereis-Autobahn des Arktischen Ozeans ist. Unter außergewöhnlichen Windbedingungen über dem Nordpolarmeer gelangt auch Meereis aus dem westlichen Beaufortwirbel in die Framstraße. Dieses ist in der Regel etwas älter und dicker als das Eis aus den russischen Randmeeren und macht auf die Gesamteismenge des heraustreibenden Eises gerechnet einen Anteil von etwa 35 Prozent aus.

EIN PROGRAMM NAMENS ICEBIRD

Der überwiegende Teil des Eises in der Framstraße aber stammt aus der Laptewsee und der Ostsibirischen See und erlaubt den Meereisforschenden wichtige Einblicke in das Klimasystem der Arktis. Aus diesem Grund kehren Thomas Krumpen und seine Kollegen aus



Der Meereisdickensensor EM-Bird sieht wie ein Torpedo aus und wird vom Hubschrauber oder Flugzeugen an einem langen Seil hängend (Hubschrauber 20 Meter, Flugzeug 80 Meter) über das Eis geschleppt. Er schwebt dann in etwa 15 Meter Höhe über dem Eis.

der AWI-Meereisphysik seit fast 20 Jahren regelmäßig in die nördliche Framstraße zurück, um die Dicke des Meereises zwischen dem 80. und 86. Breitengrad Nord zu vermessen und seine Oberflächeneigenschaften zu dokumentieren.

Die Eisdicken-Messungen werden mit einem elektromagnetischen Sensor durchgeführt. Dieser heißt EM-Bird (übersetzt: elektromagnetischer Vogel) und funktioniert ähnlich wie ein Metalldetektor. Das Gerät baut um sich herum ein elektromagnetisches Feld auf und kann verschiedene Schichten im Untergrund anhand ihrer elektrischen Leitfähigkeit unterscheiden. Salzwasser zum Beispiel leitet sehr gut, Meereis dagegen kaum. Diesen starken Kontrast nutzen die Meereisphysiker, um die Höhe des Gerätes über der Eisunterseite zu bestimmen.

Bei den ersten Messungen vor fast 20 Jahren zogen die Wissenschaftler den Sensor noch in einem Schlitten hinter sich über das Meereis. Die gemessene Höhe über der Eisunterseite ergab also ziemlich direkt die Dicke des Meereises und der darauf liegenden Schneeschicht. Weil zu Fuß jedoch nur kleine Strecken vermessen werden konnten, fliegen die AWI-Meereisphysiker seit dem Jahr 2004 mit dem Hubschrauber oder Forschungsflugzeug über das Eis und schleppen den torpedoförmigen Sensor an einem langen Seil hängend

in etwa 15 Meter Höhe über das Eis - daher auch die Bezeichnung Bird (Vogel). Ein Laserabstandsmesser erfasst dabei die genaue Distanz zwischen Sensor und Eisoberfläche. Um die Meereisdicke zu ermitteln, reicht dann einfache Mathematik. Die Wissenschaftler lesen die Distanz des Sensors bis zur Eisunterseite aus und subtrahieren davon die Höhe des Messgerätes über dem Eis.

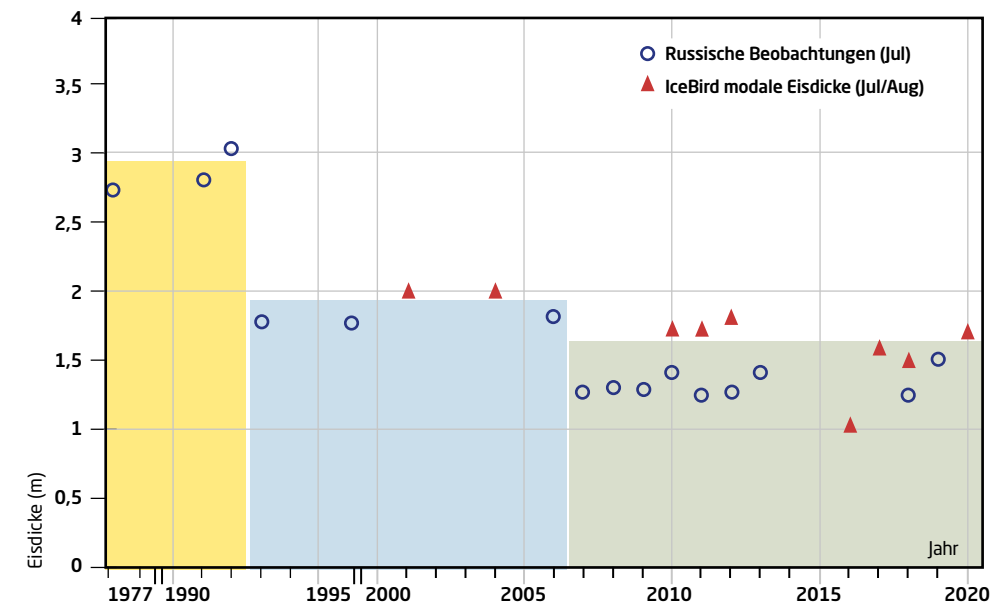
Zu Ehren dieser einzigartigen Messmethode haben die AWI-Meereisphysiker gleich ihr gesamtes luftgestütztes Meereis-Messprogramm in der Arktis nach dem Sensor benannt. Es heißt IceBird (Eisvogel), enthält mittlerweile Daten aus vielen Schlüsselregionen des Arktischen Ozeans und gilt als einer der weltweit wichtigsten Referenz-Datensätze zur Entwicklung der arktischen Meereisdecke.

ZWEI SPRÜNGE MARKIEREN DEN WANDEL

Die IceBird-Daten für die nördliche Framstraße zeigen im Detail vor allem eines - die kontinuierliche Abnahme aller Messgrößen. Betrug zum Beispiel die durchschnittliche Eisdicke im Jahr 2001 noch 2,6 Meter, sind es mittlerweile nur noch 2 Meter - ein Rückgang um 24 Prozent. Parallel dazu ist die am häufigsten gemessene Eisdicke (modale Eisdicke) von 2 Meter (2001) auf 1,5 Meter (2018) gesunken. „Jede einzelne Eisscholle hat heutzutage

Die stufenweise Abnahme der Eisdicke

Die Dicke des arktischen Meereises hat in den zurückliegenden 45 Jahren nicht gleichmäßig abgenommen, sondern in Sprüngen, wie dieser Vergleich russischer und deutscher Beobachtungsdaten zeigt. Farblich hervorgehoben sind dabei die drei Phasen, in denen die Meereisdicke jeweils annähernd gleichgeblieben ist.





viel weniger Zeit zu wachsen, weil das Meereis schneller treibt als früher. Im Vergleich zur Jahrtausendwende legen die dünneren Schollen die Strecke der Transpolardrift heute in fast der Hälfte der Zeit zurück“, erklärt Jakob Belter. War das Meereis am Anfang der IceBird-Messreihe fast drei Jahre alt, bevor es sich in den Nordatlantik verabschiedete, hat heutzutage ein Großteil der Schollen noch nicht mal den zweiten Geburtstag erlebt, wenn sie in die nördliche Framstraße einbiegen.

Interessanter Weise aber hat die Dicke des arktischen Meereises in den zurückliegenden fünf Jahrzehnten nicht gleichmäßig und damit geradlinig abgenommen. Stattdessen verlief die Entwicklung in zwei Sprüngen, wie ein Vergleich der IceBird-Daten mit einer länger zurückreichenden Messreihe russischer Polarforscher zeigt. Der erste Sprung erfolgte demnach im Zeitraum 1992/93: Damals fiel die Eisdicke in der zentralen Arktis plötzlich von durchschnittlich 3 Meter auf weniger als 2 Meter. Zwölf Jahre später (2005-2007) dokumentierten Meereisexperten aus verschiedenen Ländern dann den zweiten Sprung.



Die flugzeuggestützten Eisdickenmessungen ergänzen die regelmäßigen Dickenmessungen, welche im Verlauf der MOSAiC-Expedition direkt auf der Scholle oder aber in deren Umfeld gemacht wurden. Dazu zogen die Wissenschaftler den Sensor im Schlitten über das Eis (o.) oder aber hoben mit dem Bordhubschrauber ab, um das Messgerät an einem Seil hängend über das Eis zu fliegen (l.).

Die Eisdicke nahm um weitere 50 Zentimeter ab und liegt seitdem relativ konstant bei einem Wert zwischen 1,3 Meter und 1,5 Meter. „Wir vermuten, dass beide Sprünge durch grundlegende und vor allem andauernde Veränderungen im Klimasystem der Arktis stattgefunden hat, in dessen Zuge sich die Meereisbildung, der Meereis-Transport sowie die Altersstruktur des Eises nachhaltig verändert haben. Seitdem bildet sich das Eis später im Jahr, es wächst im Winter im geringeren Maße, es driftet schneller und verlässt die Arktis mittlerweile in einem Alter von weniger als zwei Jahren. Altes, mehrere Meter dickes Meereis gibt es in der Arktis heutzutage deutlich seltener als früher“, sagt Jakob Belter.

VERHÄNGNISVOLLE WÄRME AUS DER TIEFE

Zu alledem gibt es bereits Anzeichen für einen nächsten Sprung in der Eisdickenkurve: Im Sommer 2016 dokumentierten die AWI-Meereisphysiker bei ihren Messflügen in der nördlichen Framstraße überwiegend Eis, welches gerade mal ein Meter dick war (ohne Presseisrücken und Verformungen) - ein absoluter Negativrekord. Um herauszufinden,



AWI-Meereisphysiker Jakob Belter wartet auf dem Flughafen von Longyearbyen den Meereisdickensensor EM-Bird. Dieser hängt zu diesem Zeitpunkt in seiner speziellen Start- und Landehalterung, die am Rumpf des Forschungsflugzeuges POLAR 6 angebracht ist.

wieso das Eis bis zu 50 Zentimeter dünner war als in den Jahren zuvor, folgten die Forscher einem Drei-Stufen-Plan. Im ersten Schritt analysierten sie Satellitendaten, auf denen sie die Route des Eises bis zu seinem Ursprungsort in der Laptewsee zurückverfolgen konnten. Anschließend überprüften sie das Wetter entlang der Strecke. Könnte eine sommerliche Hitzewelle dem Eis von oben zugesetzt haben? Nein, die Atmosphärendaten zeigten für den Zeitraum von 2014 bis 2016 keine Auffälligkeiten.

Die Antwort musste also im Ozean liegen - und tatsächlich: Von Januar bis Mai 2015 dokumentierten Forschende der Universität Fairbanks Alaska im Meeresgebiet nördlich der Laptewsee außergewöhnlich hohe Wassertemperaturen. Die Wärme, so weiß man heute, war mit atlantischen Wassermassen aus der Tiefe aufgestiegen und hatte das winterliche Wachstum des jungen Meereises verlangsamt. „Anhand der Satellitendaten können wir belegen, dass das Eis, welches wir im Juli 2016 in der Framstraße vermessen haben, zuvor genau durch dieses außergewöhnlich warme Meeresgebiet vor der russischen Kontinentalkante gewandert ist“, erzählt Jakob Belter.

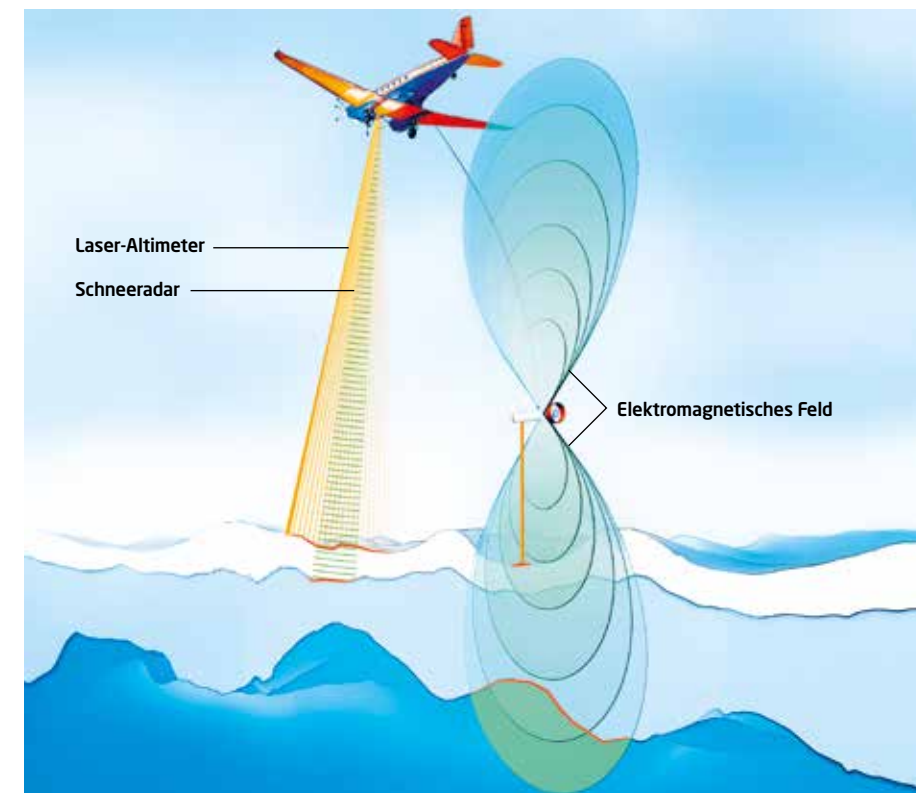
Aber bedeutete diese Erkenntnis automatisch, dass die geringe Dicke des Eises am Ende der Transpolardrift einzig und allein auf das warme Meer am Anfang zurückzuführen war? Hätten sich die Spuren der Wärme nicht über die Zeit verwachsen können? Um eine Antwort auf diese Fragen zu finden, simulierte der junge Wissenschaftler das Wachstum des

Eises in einem einfachen Meereismodell. Dabei berechnet der Computer anhand von vorgegebenen Meeres- und Atmosphärendaten, wie dick das Eis theoretisch werden müsste. „Bei dieser Modellberechnung gehen wir davon aus, dass die Wärmezufuhr von unten, also aus dem Meer, konstant ist und das Eis nur aufgrund der kalten Atmosphäre wächst“, erklärt Jakob Belter. „Beim Blick auf die Ergebnisse aber wurde schnell klar, dass unser Modell die überdurchschnittlich geringe Eisdicke von 2016 nicht abbilden konnte - das heißt, unsere Konstante für den Wärmefluss von unten war falsch. Gerade am Anfang der Transpolardrift muss das Meer demzufolge deutlich mehr Wärme beigetragen haben, als wir am Anfang angenommen haben“, so der Wissenschaftler.

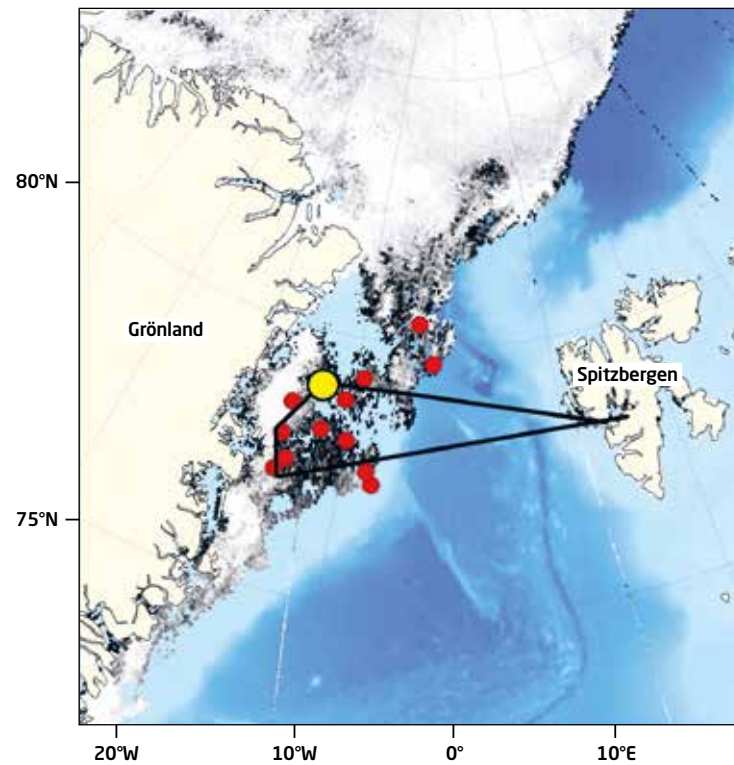
Wie viel mehr Wärme, lässt sich nur erahnen. „Bei unserer ersten Rechnung sind wir von einem Wärmefluss von 2 Watt pro Quadratmeter Eisfläche ausgegangen. Anschließend haben wir den Wert auf 25 Watt gesetzt und die Wärmezufuhr somit mehr als verzweif-

Vier auf einen Streich

Mit seinem Schneesradar, dem Höhenaltimeter und dem EM-Bird erfasst das Forschungsflugzeug vier Parameter, aus denen sich die genaue Meereisdicke errechnen lässt: die Höhe der Schneedecke, den Abstand des Flugzeuges zur Eisoberfläche sowie die Abstände des EM-Birds zur Eisober- und Unterseite.



Auf der Zielgeraden



Anfang September 2020 war die MOSAiC-Scholle in mehrere Teile zerbrochen und das Eis aus ihrem Umfeld hatte sich weit über die Framstraße verteilt. Die roten Punkte markieren Meereisbojen, die zu Beginn der Expedition im Umfeld der Scholle ausgebracht worden waren. Der gelbe Punkt ist die Position des norwegischen Forschungseisbrechers Kronprins Haakon, den POLAR 6 bei einem ihrer drei IceBird-Messflüge überflogen hat. Die schwarze Linie zeigt die Route dieses Fluges.

facht. Die Modellergebnisse gehen nun in die richtige Richtung, sie bilden allerdings noch immer nicht die in der nördlichen Framstraße gemessenen Eisdickenwerte ab. Wir schlussfolgern daraus, dass die „Meereshitzewelle“ im Winter 2014/15 ein ziemlich starkes Ereignis gewesen sein muss, dessen Auswirkungen auf das Dickenwachstum des Meereises bis zum Schluss nicht wieder ausgeglichen werden konnten“, erläutert der Wissenschaftler. Und es blieb nicht das einzige Wärmeextrem-Ereignis, wie neue Forschungsergebnisse zeigen. Im Winter 2017/18 dokumentierten die Messgeräte der US-amerikanischen Ozeanographen erneut aufsteigende Wärme im östlichen Teil des Arktischen Ozeans. Atlantisches Wasser, welches bis zu 1,5 Grad Celsius warm sein kann und bislang in Tiefen von 150 bis 900 Metern zirkulierte, stieg in diesem Zeitraum nachweislich bis in 80 Meter Tiefe auf. Unter solchen Umständen verändert sich der Wärmeaustausch zwischen den arktischen Wassermassen. Wie 2014/15 geschehen, gelangt dann auch im Winter Wärme aus der Tiefe bis an die Meeresoberfläche, schmilzt das Eis von unten oder aber verlangsamt dessen Wachstum. Die Folgen dieses Angriffs sind dann selbst ein Jahr später noch nachweisbar, wie die IceBird-Messungen aus dem Jahr 2016 eindrucksvoll belegen. Finden sich in den IceBird-Daten aus den zurückliegenden Jahren auch Hinweise auf weitere Wärmeattacken aus der Tiefe? Jakob Belter: „Nein, bislang deutet nichts darauf hin.“



Meereis aus dem ehemaligen Umfeld der MOSAiC-Eisscholle treibt im September 2020 durch den nördlichen Teil der Framstraße Richtung Süden, wo es wenige Wochen später schmelzen wird.

Das heißt jedoch nicht, dass es diesen Wärmeeinfluss auf das Meereis nicht gegeben hat. Von unseren Kollegen aus Alaska wissen wir, dass in den zurückliegenden Jahren weitere Meereshitzewellen im östlichen Teil des Arktischen Ozeans aufgetreten sind. Diese aber haben anscheinend nicht jenes Eis getroffen, welches wir ein Jahr später stromabwärts in der Framstraße vermessen haben. Das ist uns bisher tatsächlich nur in 2016 gelungen.“

MOSAIC-SCHOLLE: BIS ZUM SCHLUSS EINE REPRÄSENTATIVE EISFLÄCHE

Auch das Eis aus dem erweiterten MOSAiC-Umfeld ist anscheinend von extremer Wärme aus den Tiefen des Arktischen Ozeans verschont geblieben. „Bis zu ihrem Zerfall am 30. Juli 2020 wies die MOSAiC-Eisscholle eine modale Dicke von 1,7 Metern auf. Und selbst bei unserem Überflug im September waren die Überreste dieses großen Eisfeldes noch immer 0,9 bis 1 Meter dick, was uns angesichts des späten Zeitpunktes im Jahr fast schon überrascht hat“, sagt Thomas Krumpen.

Diese Ergebnisse ließen alle Teilnehmenden der MOSAiC-Expedition erleichtert durchatmen. „Wir können jetzt mit Sicherheit sagen, dass die MOSAiC-Scholle bis zu ihrem Zerfall ein repräsentatives Abbild des Meereises in dieser Region darstellte“, sagt Thomas Krumpen und fügt hinzu: „Diese Erkenntnis macht Hoffnung, dass auch die vielen Untersuchungen, welche im Zuge der Expedition durchgeführt wurden, repräsentative Ergebnisse liefern und die Umweltbedingungen in der zentralen Arktis so genau wie möglich widerspiegeln. Das ist zum Abschluss dieser einzigartigen Expedition eine wirklich gute Nachricht.“ ■