



Links: Das antarktische Weddellmeer ist auch im Sommer zum Großteil mit Meereis bedeckt. Rechts: Von den Schelfeisen an der Küste brechen immer wieder gewaltige Tafelberge ab. 2021 umrundete der Eisbrecher Polarstern einen solchen Eisriesen. Unten: Mit Messinstrumenten, die am Meeresboden verankert werden, untersuchen Forscher, ob wärmeres Tiefenwasser das Filchner-Ronne-Schelfeis langfristig abschmelzen könnte. Dicke Rohre schützen die Verankerungen gegen Eisberge.



Oben: Ein Sensor für Salzgehalt und Temperatur wird an einem Seil befestigt und am Meeresgrund verankert. Unten: Die Auftriebskörper einer Verankerung sind durch das Eis gebrochen.

Bedrohte Barriere in der Antarktis

Im Weddellmeer verhindert eine riesige Eisplatte, dass Gletscher in den Ozean fließen und dadurch der Meeresspiegel ansteigt. Doch wie lange hält sie noch?

Text und Fotos: Tim Kalvelage

Wie erforscht man Meeresströmungen dort, wo meist so dicke Eisschollen den Ozean bedecken, dass es selbst für Eisbrecher schwer wird? Horst Bornemann, Veterinärmediziner am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven, benötigt dafür ein Blasrohr mit Betäubungspfeil, einen 600 Gramm leichten Mini-Sensor mit Satellitensender für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven, benötigt dafür ein Blasrohr mit Betäubungspfeil, einen 600 Gramm leichten Mini-Sensor mit Satellitensender und etwas Zweikomponentenkleber. Außerdem einen geeigneten Flossensüßer.

Am Morgen haben er und seine Kollegin Mia Wege von der Universität Pretoria anhand von Satellitenbildern ein Gebiet mit Schollen ausgewählt, das sie nun aus der Luft erkunden. „Robben, ab drei Uhr!“, sagt Bornemann, der vorne neben dem Piloten den besten Ausblick auf das Weddellmeer hat. Der Helikopter fliegt eine leichte Rechtskurve und neigt sich zur Seite. Auf der Rückbank blickt Wege durch ein Fernglas, um die Tiere, die auf dem Eis dösen, zu bestimmen. „Zwei Krabbenfresser“, winkt sie ab. Die häufigste Robbenart der Antarktis ist zu klein für den Sender und hält sich meist nahe der Meeresoberfläche auf. Der Pilot dreht ab und fliegt die nächste Scholle an.

Es gilt, eine Weddellrobbe zu finden – die Art ist größer und jagt bis in viele Hundert Meter Tiefe nach Fischen. Mit ihrer Hilfe wendet die Forscher wichtige ozeanografische Daten sammeln, in einem Unterwasser-Canyon, der den Kontinental-schelf im südlichen Weddellmeer schneidet. Dem Tier soll ein Sensor auf den Hinterkopf geklebt werden, der während der Tauchgänge den Salzgehalt und die Temperatur misst und die Werte beim Luftholen via Satellit übermittelt. Doch heute bleibt ihre Suche erfolglos. Nach drei Dutzend Krabbenfressern, aber keiner Weddellrobbe muss der Helikopter zum Schiff umkehren, da der Treibstoff zur Neige geht.

Die beiden Robben-Experten sind Teil einer Expedition des AWI, die im antarktischen Spätsommer 2021 mit dem Eisbrecher Polarstern ins Weddellmeer aufgebrochen ist, das größte Randmeer des Südozeans, der die Antarktis umgibt. Im Fokus der Expedition steht die Frage, wie veränderbar eine mächtige schwimmende Eisplatte durch den Klimawandel ist: das Filchner-Ronne-Schelfeis im Süden des Weddellmeers. Die mehrere Hundert Meter dicke Eisplatte bedeckt knapp 450 000 Quadratkilometer, etwa die Fläche Schwedens, und wird von Gletschern aus der Ost- und Westantarktis gespeist. Bislang erreichen diese gefrorene Festung unangreifbar. Dank schwerer kalter Wassermassen, die auf dem kalten Kontinental-schelf im Weddellmeer zirkulieren. Der Schelf ist die untermeerische Verlängerung der antarktischen Landmasse. „Die kalten Wassermassen verhindern, dass bisweilen durch eine Tiefseerinne, den Filchner-Graben, auf den Kontinental-schelf schwappet. Das warme Wasser ist salzhaltiger als das Oberflächenwasser und dadurch dichter. Entlang des Grabens fließt

es in Bodennähe auf die Schelfeiskante zu. „Wir wollen klären, ob das nur ein temporäres Phänomen ist oder sich ein Trend abzeichnet“, sagt Hellmer. Computersimulationen deuten an, dass die Kaltwasserbarriere infolge des Klimawandels langfristig kollabieren und ein Schmelzprozess unter dem Schelfeis einsetzen könnte, der nicht mehr aufzuhalten wäre. Dadurch würde das kontinentale Gletschereis schneller abfließen und der Meeresspiegel weiter ansteigen. Zum anderen würden ein Motor der globalen Ozeanzirkulation und der Export von Kohlenstoff in die Tiefsee – eine wichtige Senke für CO₂ aus der Atmosphäre – gebremst.

„Die Schollen sind dick hier, die müssen wir erst mal zertrümmern.“

Schelfeise ragen als flache Ausläufer des antarktischen Eisschildes, der sich vom Inland zur Küste wälzt, teils Hunderte Kilometer weit ins Meer hinaus. Immer wieder brechen von ihnen riesige Tafelberge ab. Drei Viertel des Kontinents Antarktika sind von Schelfeisen umgeben, sie machen zwölf Prozent der von Gletschereis bedeckten Fläche der Antarktis aus. Ihre Masse befindet sich größtenteils unter Wasser. Kontakt zum Meeresgrund haben sie nur vereinzelt an lokalen Erhebungen.

Schelfeise bremsen Gletscher und somit den Eisverlust des antarktischen Eisschildes. Gleichzeitig sind sie dessen Achillesferse: Schmelzen sie oder brechen auseinander, gelangt mehr Kontinentaleis in den Ozean. In den vergangenen 30 Jahren hat die Antarktis davon etwa drei Billionen Tonnen eingebüßt, vor allem in der Westantarktis. Die jährliche Verlustrate hat sich in diesem Zeitraum verdreifacht.

Das Schwinden der Schelfeise ist verantwortlich dafür, dass die Antarktis vermehrt an Masse verliert und so stärker zum Anstieg des Meeresspiegels beiträgt. Prominente Beispiele sind der Zerfall der benachbarten Larsen-Schelfeise A (1995) und B (2002) im Osten der Antarktischen Halbinsel sowie der anhaltende Rückzug zweier Gletscher, die in die Amundsensee in der Westantarktis münden: Pine Island

und Thwaites. Sie sind für acht Prozent des Meeresspiegelanstiegs verantwortlich. Die Gletscher werden von relativ warmem Tiefenwasser aus dem antarktischen Zirkumpolarstrom zurückgedrängt, das zunehmend auf den Kontinental-schelf gelangt. Dazu strömt auch immer wärmeres Wasser unter die Schelfeise, weil die Temperaturen im Zirkumpolarstrom wie fast überall im Ozean zunehmen.

Wissenschaftler befürchten, dass Teile des westantarktischen Eisschildes in naher Zukunft einen Kippunkt erreichen könnten und auf Dauer vollständig abschmelzen. Eine aktuelle Untersuchung zur Stabilität der Schelfeise im Fachjournal *The Cryosphere* sieht zwar noch keine Anzeichen dafür, dass dies bereits eingetreten ist. Doch ein unumkehrbarer Rückzug des Eisschildes wäre bereits bei aktuellen Klimabedingungen möglich, schreiben die Forschenden. Denn das Eis liegt in der Westantarktis größtenteils unter dem Meeresspiegel. Außerdem ist der Küstenuntergrund, auf dem viele Gletscher lasten, zum Landesinneren hin abschüssig. Das macht sie besonders anfällig für wärmere Wassermassen. Dringen diese unter den Schelfeisen bis zur Kontaktlinie mit dem Meeresgrund vor, fressen sie sich allmählich immer tiefer unter die Gletscher, sodass immer mehr Eis der Wärme ausgesetzt ist. In der Folge ziehen sich die Gletscher von der Küste zurück und rutschen zugleich schneller gen Ozean. So wie der Pine Island- und der Thwaites-Gletscher. Sie allein könnten die Weltmeere in den kommenden Jahrhunderten über einen Meter ansteigen lassen.

Ein ähnliches Schicksal könnte den Gletschern hinter dem Filchner-Ronne-Schelfeis drohen, auch dort fällt der Untergrund an vielen Stellen landeinwärts ab. Bislang schützt die Kaltwasserbarriere auf dem Weddellmeer-Schelf das Eis vor dem Abschmelzen. Wird diese in Zukunft halten? Messinstrumente, die Polarforscher aus Deutschland, Frankreich und Norwegen am Meeresboden verankert haben, sollen diese Frage beantworten.

Auf der Expedition mit der Polarstern wollen sie die Geräte bergen, um die Batterien zu wechseln und Daten zu sichern. Sie müssen sich jedoch beeilen, im südöstlichen Weddellmeer bildet sich gegen Ende des Sommers bereits neues Meeris. Bald werden die Instrumente und die Datensätze von der Eisdicke eingeschlossen sein.

„Die Schollen sind dick hier, die müssen wir erst mal zertrümmern, damit die Auftriebskörper an die Oberfläche kommen“, sagt Kapitän Stefan Schwarze auf der Brücke. Dort, wo die Verankerung vor drei Jahren ausgebracht wurde, treibt dichtes Pfannkucheneis – so nennt man ein frühes Meeris-Stadium aus rundlichen Schollen. Die Wassertemperatur beträgt +1,8 Grad Celsius, der Punkt, an dem Meerwasser gefriert.

Nachdem die Polarstern mehrere Kreise gezogen hat, schickt ein Hydrofon ein akustisches Signal zur Verankerung und trennt das Seil mit den Geräten und den Auftriebskörpern vom Ankergewicht. Gebanntes Warten der Forscher. Aber an der Oberfläche ist nichts zu sehen, die Verankerung scheint unter dem Eis festzuhängen. Schwarze übernimmt das Rudern und schiebt mit dem Schiff die Bruchstücke zur Seite. Das Manöver gelingt, kurz darauf tauchen vier rote Kunststoffkugeln neben dem Schiff auf.

Mehr als ein Dutzend Verankerungen stehen inzwischen auf dem Meeresboden

des Weddellmeer-Schelf und am Kontinentalhang. In verschiedenen Wassertiefen zeichnen sie jährlich Salzgehalt und Temperatur sowie Strömungsgeschwindigkeit und -richtung auf. Die ersten wurden vom AWI 2013 im Filchner-Graben installiert. Aufgeschreckt hat die Forscher seinerzeit eine Studie, die Expeditionsleiter Hartmut Hellmer mit Kollegen 2012 im Fachmagazin *Nature* veröffentlicht hat. „Wir haben damals das erste Computermodell für die gesamte Antarktis entwickelt, das auch Schelfeise berücksichtigt“, sagt er. „In unserer Modellstudie schossen bei einem pessimistischen Klimaszenario im Jahr 2070 plötzlich die Schmelzraten unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis in die Höhe.“

Die Ergebnisse der Studie seien ein „Hallo-wach-Moment“ gewesen, sagt Hellmer. In den Computersimulationen schwappte in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wärmeres Tiefenwasser durch den Filchner-Graben unter das Schelfeis. Als 2016 die ersten Datenspeicher der verankerten Instrumente ausgelesen wurden, passten die Messwerte zu den Modellvorhersagen. Im Sommer und Herbst strömte bisweilen wärmeres Wasser auf den Weddellmeer-Schelf. Es drang allerdings nur auf den nördlichen Teil des Kontinental-schelfs vor, der frei von Schelfeis ist. 2017 strömte das warme Wasser sogar ganzjährig dorthin, zeigte die nächste Aufnahme der Verankerungen.

Das wärmere Tiefenwasser des Weddellmeers entstammt dem antarktischen Zirkumpolarstrom, der Antarktika umkreist. Er speist den Weddellwirbel, und dessen südlicher Arm bildet eine Küstenströmung entlang des Kontinentalhangs. Über der Warmwasserschicht im tiefen Weddellbecken liegt eine mehrere Hundert Meter dicke Schicht kalten, salzärmeren Wassers, das auch den Kontinental-schelf bedeckt. Daher kann das Deck gepopt, damit sich niemand Erfrierungen Holt.“

Messungen zeigen, dass gegenwärtig eine stabile Zirkulation sehr kalter Wassermassen auf dem Weddellmeer-Schelf herrscht – anders als in anderen Schelfgebieten der Antarktis, die bereits von einem kalten in einen warmen Zustand gekippt sind. Die Zirkulation beginnt mit der Bil-

dung von Meeris. Dabei entsteht sehr salziges Wasser, da das Salz nicht mitgefriert, sondern als Sole durch winzige Kanäle im Eis ins Meer sickert. Aufgrund der hohen Dichte sinkt es nun zum Meeresgrund. „Dieses kalte, schwere Wasser strömt auf dem südwestlichen Kontinental-schelf unter das Ronne-Schelfeis, kühlt dort weiter ab und wird zum Schelfeiswasser“, erklärt Janout. Das Schelfeiswasser ist mit bis zu minus 2,5 Grad das kälteste Wasser im Ozean. Einige Jahre später verlässt es Filchner-Schelfeis und fließt über den Filchner-Graben zur Schelfkante, wo es in die Tiefsee fließt.

Jüngste Meldungen aus der Antarktis bereiten jedoch Sorgen: 2023 war die Meerisbedeckung auf einem neuen Rekordtief. Ende Februar, im antarktischen Sommer, betrug sie nur noch knapp 1,8 Millionen Quadratkilometer, gut eine Million weniger als im langjährigen Mittel. Das entspricht einem Verlust von fast der dreifachen Fläche Deutschlands. Vor allem an der Küste der Westantarktis war der Eisrückgang dramatisch. Doch anders als in der Arktis, wo das Meeris im Sommer seit Jahrzehnten nurkegeln, gibt es in der Antarktis aber noch keinen klaren Trend. Und noch ist die Eisbedeckung im Winter unerschütterlich, auch wenn sie sich dieses Jahr viel weniger erholt hat als sonst. Aktuelle Studien zufolge dürfte jedoch langfristig auch das antarktische Meeris schwinden, auch im Weddellmeer.

Ein kleineres Männchen“, sagt Bornemann. Die Tiere lagen auf einer großen Meerisfläche an einem Schelfeis in Richtung Osten. Dort sei es ziemlich ungewöhnlich gewesen, sagt er, weil eisige Fallwinde von der Schelfeiskante übers Eis fegten. Er schießt den Robben auf dem Eis aus kurzer Entfernung einen Betäubungspfeil durch den Speck, um sie zu sedieren. Hat die Wirkung eingesetzt, entleert die Forscher die Haare am Hinterkopf der Robbe und kleben den Sensor fest, der beim nächsten Fellwechsel abfällt. Während der Prozedur überwachen sie Atmung und Körpertemperatur des Tieres. Hinterher ist sie noch eine Weile benommen, wagt sich aber bald ins Meer. An diesem Tag hat die weibliche Robbe schon kurz nach der Rückkehr der Wissenschaftler die ersten Salzgehalts- und Temperaturdaten übermittelt.

Daten aus den eisbedeckten Gebieten der Antarktis sind rar. Doch in den vergangenen Jahren fügte sich ein immer detaillierteres Bild der Prozesse auf dem Weddellmeer-Schelf. So haben Wissenschaftler etwa mit heißem Wasser durch Hunderte Meter dickes Eis gebohrt und Sensoren unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis installiert. Zudem haben Expeditionen mit

Die besenderte Robbe sammelt fleißig Daten, ihr tiefster Tauchgang ging auf 775 Meter

der Polarstern die Region erkundet, zuletzt 2018. Mit dabei war damals Markus Janout, physikalischer Ozeanograf am AWI, der auch jetzt an Bord ist. „2018 hatten wir Riesenglück und konnten die gesamte Schelfeiskante abfahren“, sagt er. Normalerweise versperrt dichtes Packeis den Zugang, aber starker Südwind hatte die Schollen weggeschoben. „Wir hatten Windchill bis minus 50 Grad Celsius. Zeitweise wurde das Deck gepopt, damit sich niemand Erfrierungen Holt.“

Messungen zeigen, dass gegenwärtig eine stabile Zirkulation sehr kalter Wassermassen auf dem Weddellmeer-Schelf herrscht – anders als in anderen Schelfgebieten der Antarktis, die bereits von einem kalten in einen warmen Zustand gekippt sind. Die Zirkulation beginnt mit der Bil-

dung von Meeris. Dabei entsteht sehr salziges Wasser, da das Salz nicht mitgefriert, sondern als Sole durch winzige Kanäle im Eis ins Meer sickert. Aufgrund der hohen Dichte sinkt es nun zum Meeresgrund. „Dieses kalte, schwere Wasser strömt auf dem südwestlichen Kontinental-schelf unter das Ronne-Schelfeis, kühlt dort weiter ab und wird zum Schelfeiswasser“, erklärt Janout. Das Schelfeiswasser ist mit bis zu minus 2,5 Grad das kälteste Wasser im Ozean. Einige Jahre später verlässt es Filchner-Schelfeis und fließt über den Filchner-Graben zur Schelfkante, wo es in die Tiefsee fließt.

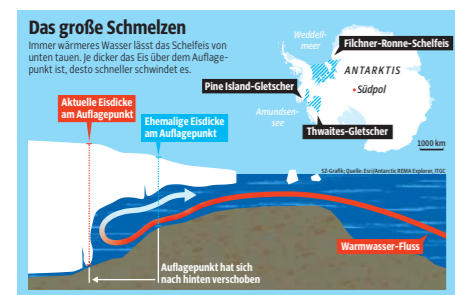
Jüngste Meldungen aus der Antarktis bereiten jedoch Sorgen: 2023 war die Meerisbedeckung auf einem neuen Rekordtief. Ende Februar, im antarktischen Sommer, betrug sie nur noch knapp 1,8 Millionen Quadratkilometer, gut eine Million weniger als im langjährigen Mittel. Das entspricht einem Verlust von fast der dreifachen Fläche Deutschlands. Vor allem an der Küste der Westantarktis war der Eisrückgang dramatisch. Doch anders als in der Arktis, wo das Meeris im Sommer seit Jahrzehnten nurkegeln, gibt es in der Antarktis aber noch keinen klaren Trend. Und noch ist die Eisbedeckung im Winter unerschütterlich, auch wenn sie sich dieses Jahr viel weniger erholt hat als sonst. Aktuelle Studien zufolge dürfte jedoch langfristig auch das antarktische Meeris schwinden, auch im Weddellmeer.

58

Meter würde der Meeresspiegel steigen, wenn das gesamte Eis auf dem Kontinent Antarktika schmilzt. Der im Schnitt 2,1 Kilometer mächtige antarktische Eisschild enthält 90 Prozent allen Gletscheres der Erde. Rund 14 Prozent entfallen auf die Westantarktis, der Rest auf die Ostantarktis. Seit Anfang der 90er-Jahre hat die Antarktis rund drei Billionen Tonnen Gletscheres verloren – einen Eiswürfel mit gut 14 Kilometern Kantenlänge – und den Meeresspiegel um knapp einen Zentimeter erhöht. Prognosen für den Beitrag der Antarktis zum Meeresspiegelanstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts reichen je nach Szenario von wenigen Zentimetern bis zu fast einem halben Meter.



Antarktische Tierwelt: Riesen-Sturmvogel (oben) und Kaiserpinguine (Mitte) begleiten die Expedition. Weddellrobben (unten) werden mit Mini-Sensoren ausgestattet, die bei den Tauchgängen der Tiere Daten liefern.



Das große Schmelzen: Immer wärmeres Wasser lässt das Schelfeis von unten tauen. Je dicker das Eis über dem Auflagepunkt ist, desto schneller schwindet es. Die kalten Wassermassen verhindern, dass bisweilen durch eine Tiefseerinne, den Filchner-Graben, auf den Kontinental-schelf schwappet. Das warme Wasser ist salzhaltiger als das Oberflächenwasser und dadurch dichter. Entlang des Grabens fließt