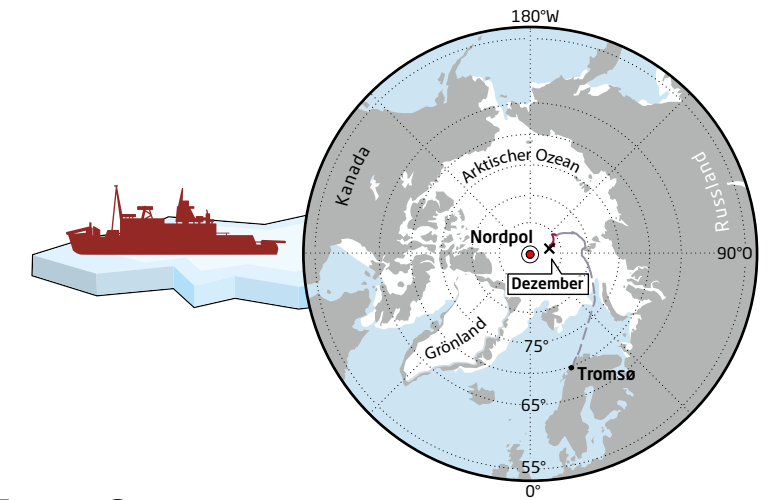




Mit diesem Radar-Messgerät untersuchten die Forscher, wie genau sich die Schneehöhe auf dem Meereis mit Satellitenmessverfahren bestimmen lässt.



DriftStory 02

Für einen schärferen Blick aus dem All

Satellitenbeobachtungen sind der einzige Weg, das arktische Meereis großflächig im Blick zu behalten. Noch aber haben die Messungen aus dem All Schwächen. Einzigartige Kontrollmessungen im Rahmen der MOSAiC-Expedition werden jetzt helfen, diese zu überwinden.

Als Dr. Gunnar Spreen am Abend des 19. November 2019 von der Schiffsbrücke des Forschungseisbrechers Polarstern schaut, sieht er, wie sich im Scheinwerferlicht plötzlich jener Teil der MOSAiC-Eisfläche am Schiff vorbeischiebt, auf dem die Messinstrumente seiner Fernerkundungsgruppe stehen. Die Eisbewegung entlang eines langen Risses stoppt nach etwa 500 Metern. Dennoch weiß der Physiker von der Universität Bremen, dass seine Gruppe nun gezwungen sein wird, sich ein neues Messfeld zu suchen. Durch die Bewegung haben sich nämlich dort, wo die Fernerkundungsmessgeräte bislang standen, viele kleinere Risse im Eis gebildet. Durch sie ist Meerwasser in die Schneedecke auf dem Eis eingedrungen und hat sie in salzigen Schneematsch verwandelt. Die Schneedecke ist somit unbrauchbar für die vielen Messungen, mit denen die Wissenschaftler sie in den kommenden Monaten untersuchen wollten. Schnee ist nämlich bis heute einer der größten Unsicherheitsfaktoren bei der Fernerkundung von Meereis und einer der Gründe, warum Satellitenexperten an der bislang aufwendigsten Schiffsexpedition in die zentrale Arktis teilnehmen.



EIN IDEALES WERKZEUG

Satelliten kommen seit mehr als 40 Jahren in der Meereisforschung zum Einsatz. Auf ihren Messungen basieren einige der wichtigsten Erkenntnisse zum Klimawandel, so zum Beispiel unser Wissen zum flächendeckenden Rückgang des arktischen Meereises. Satellitenbasierte Eiskarten werden inzwischen in der polaren Schifffahrt genutzt und können auf Onlineportalen quasi in Echtzeit von jedermann abgerufen werden.

Mittlerweile überfliegen mehr als 20 Satelliten zur Meereisbeobachtung die Polarregionen. Die meisten von ihnen kreisen in einer Höhe von 600 bis 800 Kilometern um die Erde. Sie erreichen ein Tempo von sieben Kilometer pro Sekunde (25.000 km/h) und umrunden die Erde pro Tag gut 14-mal. Einige dieser Satelliten blicken mit sogenannten optischen Sensoren auf die Arktis und Antarktis herab. Das heißt, sie machen ähnlich wie ein Fotoapparat Bilder. Brauchbar sind ihre Aufnahmen jedoch nur im Frühling, Sommer und Herbst, wenn die Sonne über dem Horizont steht und die polaren Landschaften flächendeckend ausleuchtet. Außerdem dürfen Wolken den Blick auf die Eisflächen nicht versperren.

Gunnar Spreen, vom Institut für Umwelphysik der Universität Bremen, beobachtet hingegen das Meereis mithilfe sogenannter Mikrowellensensoren. Diese liefern auch bei Polarnacht und bei wolkenverhangenem Himmel einzigartige Daten. Zum Einsatz kommen dabei zwei grundsätzlich verschiedene Messverfahren – eines mit aktiven Mikrowellensensoren (Radarmessung) und eines mit passiven Sensoren (Radiometermessung).



Physiker Gunnar Spreen ist auf die Polarstern-Brücke gekommen, um auf dem Eisradar des Schiffes die Bewegungen des Meereises rund um den Eisbrecher zu überprüfen (l.). Einmal haben er und sein Team die zehn Fernerkundungsmessgeräte schon umziehen müssen, nachdem sich dicht neben deren erstem Messfeld ein Riss im Eis gebildet hatte.

Trägt ein Satellit einen aktiven Mikrowellensensor, gibt dieser langwellige (Millimeter bis Dezimeter), nichtsichtbare elektromagnetische Strahlung Richtung Erde ab und misst entweder, welcher Anteil dieses Signals vom Meereis reflektiert wird oder aber wieviel Zeit vergeht, bis das Signal die Eisdecke erreicht hat und wieder zum Sensor zurückgestrahlt wird. Die reflektierte Energiemenge erlaubt Rückschlüsse auf die Oberflächenstruktur und das Alter des Eises. Von der Laufzeit des Signals wiederum können die Physiker ableiten, wie weit das Meereis aus dem Meer emporragt. Dieser Höhenwert ermöglicht es ihnen dann, die Gesamtdicke des Eises zu berechnen.

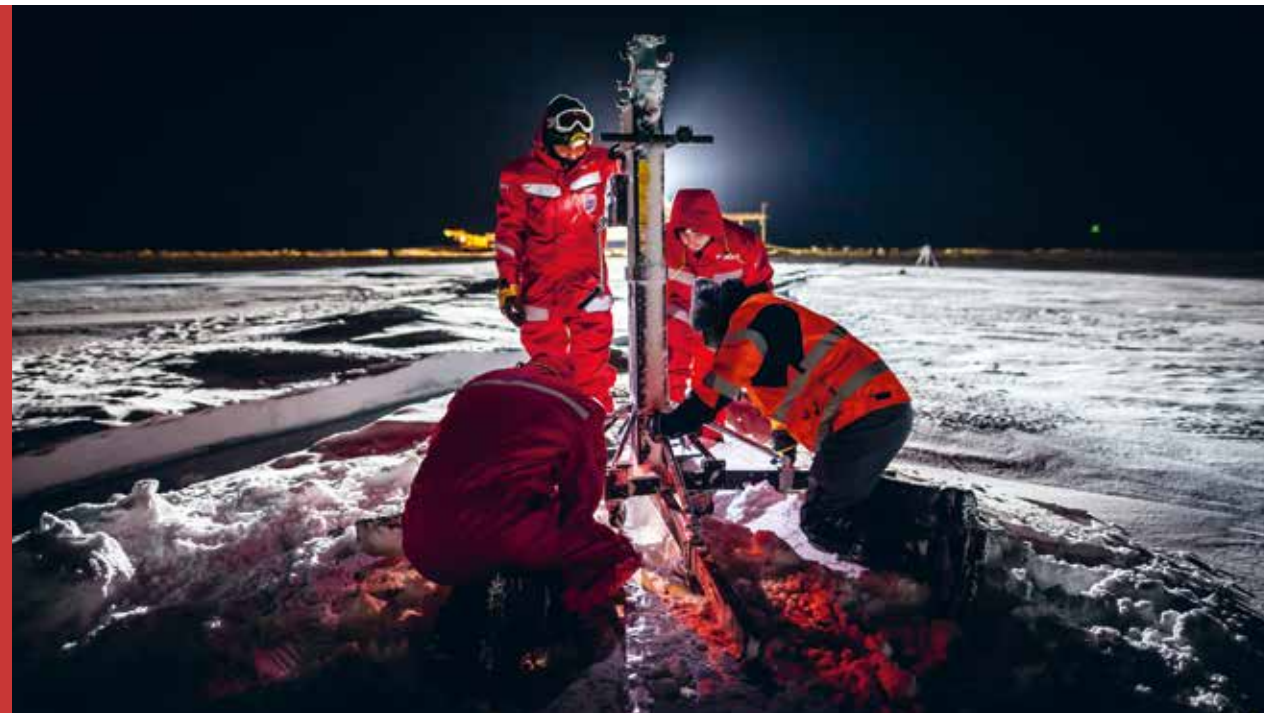
Passive Mikrowellensensoren dagegen senden kein Signal aus. Diese sogenannten Radiometer messen einzig und allein, wieviel langwellige Strahlung das Meereis aufgrund seiner Temperatur eigenständig an die Umgebung abgibt. Dazu muss man wissen, dass jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von $-273,15$ Grad Celsius Strahlung im Infrarot- und Mikrowellenbereich emittiert. Schnee und Meereis haben eine Grundtemperatur von minus 1,8 Grad Celsius an der Eisunterseite, bis minus 30 Grad Celsius an der Oberfläche und strahlen demzufolge auch Energie ab. Der Anteil der abgegebenen Mikrowellenstrahlung ist zwar um ein Vielfaches kleiner als die Strahlung im Infrarotbereich, dafür aber wandern die Mikrowellen nahezu ungestört durch Wolken und Atmosphäre. Satelliten können sie deshalb ziemlich genau aus dem Weltall vermessen – und zwar rund um die Uhr, an 365 Tagen pro Jahr.

„Satelliten sind das einzige Werkzeug, mit dem wir das Meereis der Polarregionen jederzeit flächendeckend beobachten können“, sagt Gunnar Spreen. „Die große Herausforderung dabei ist jedoch, dass wir wichtige Eiseigenschaften wie Fläche, Dicke, Alter oder Eiskonzentration nie auf direktem Wege messen. Stattdessen erfassen die Satelliten physikalische Größen wie die Mikrowellen-Helligkeitstemperatur, die wir erst umwandeln müssen, bevor Aussagen über das Meereis möglich sind“, ergänzt der Physiker.

SCHNEE IST NICHT GLEICH SCHNEE

Für diese Berechnungen benutzen die Wissenschaftler spezielle Algorithmen, in denen in Gleichungen beschrieben ist, welche physikalischen Prozesse zum Beispiel ablaufen, wenn Mikrowellen auf Schnee treffen, in ihn eindringen und von ihm gestreut und reflektiert werden. Die Genauigkeit dieser Methoden aber lässt bislang noch zu wünschen übrig, denn Schnee ist keine verlässliche Konstante. Im Gegenteil, er verändert sich ständig und mit ihm seine Rückstreuungseigenschaften.

„Frisch gefallener Schnee zum Beispiel besteht aus ganz locker aufeinanderliegenden Flocken und ist für Mikrowellenstrahlung quasi transparent. Wir sehen nur das darunter liegende Eis“, erklärt Gunnar Spreen. Wird der Schnee dagegen älter, verklumpen sich die



Umzug der Messgeräte: Dieses Bild vom Abbau eines der Instrumente zeigt, der Riss im Eis ist keine zwei Meter entfernt.

Flocken zu größeren Schneekörnern. Diese sind dann durchaus in der Lage, das Mikrowellensignal zurückzustreuen. Ähnliche Effekte stellen sich ein, wenn der Wind, wie in den ersten MOSAiC-Wochen geschehen, über die Schneedecke fegt und ihre Oberfläche verdichtet. „Die Rückstreuungseigenschaften ändern sich dann grundlegend. Schnee ist eben nicht gleich Schnee“, formuliert es der Experte.

Zu welchen Messfehlern eine verhärtete Schneeoberfläche führen kann, erläutert Gunnar Spreen an einem Beispiel: „Wenn wir mit dem **CryoSat**-Radaraltimeter die Eisdicke vermessen, gehen wir bei unseren Berechnungen grundsätzlich davon aus, dass das Satellitensignal am Übergang von Schnee zu Eis reflektiert wird. Mittlerweile aber wissen wir, dass das nicht immer der Fall ist. Verdichtet sich zum Beispiel die Oberflächenschicht aufgrund des Windes oder bilden sich Eislinsen im Schnee, kann es sein, dass unser Signal nicht mehr an der Schnee-Eis-Grenzschicht zurückgestrahlt wird, sondern weiter oben im Schnee. Berechnen wir dann auf Basis dieser Abstandsmessung die Eisdicke, schleicht sich automatisch ein Fehler ein.“

SATELLITENTECHNIK AUF DEM EIS

Um solche Fehlerquellen zu identifizieren, haben die Satellitenexperten für die MOSAiC-Expedition ihre Satellitentechnik sprichwörtlich auf das Eis geholt. Am Fernerkundungsmessfeld sind zehn hochempfindliche Messinstrumente aufgebaut, welche dieselben Sensoren tragen wie die Satelliten im Weltall. Sie alle sind auf dieselbe Eis- und Schneefläche gerichtet, sodass die Forschenden viele verschiedene Messungen parallel durchführen und Eis und Schnee mit Mikrowellensignalen in verschiedenen Frequenzen untersuchen können. Gleichzeitig erfassen die Meereisphysiker Eisparameter wie Schollendicke, Salzgehalt und Schneehöhe auch auf herkömmliche physikalische Weise, um diese Echtzeitdaten im Anschluss dann mit den von den Mikrowellendaten abgeleiteten Eiskennzahlen abzugleichen.

„Wir wollen ganz genau verstehen, was mit unseren Satellitensignalen im Schnee und Eis passiert und wie sich die Rückstreuung und die Abstrahlung im Laufe der Jahreszeiten verändern“, sagt Gunnar Spreen. Dazu fehlten bislang nämlich grundlegende Daten, vor allem aus der **Polarnacht**. Im Rahmen von MOSAiC haben die Forschenden nun erstmals die Chance, die Prozesse im Eis und im Schnee auf einer Scholle ein Jahr lang zu beobachten: Angefangen im Winter mit Schneestürmen und eisigen minus 30 Grad Celsius Lufttemperatur; gefolgt vom Frühling, in dem sich der Schnee erwärmen und der Flüssigwasseranteil steigen wird, bis hin zum Sommer, wenn sich das Schmelzwasser in vielen Tümpeln sammelt und das Eis so löchrig sein wird wie ein Schweizer Käse.

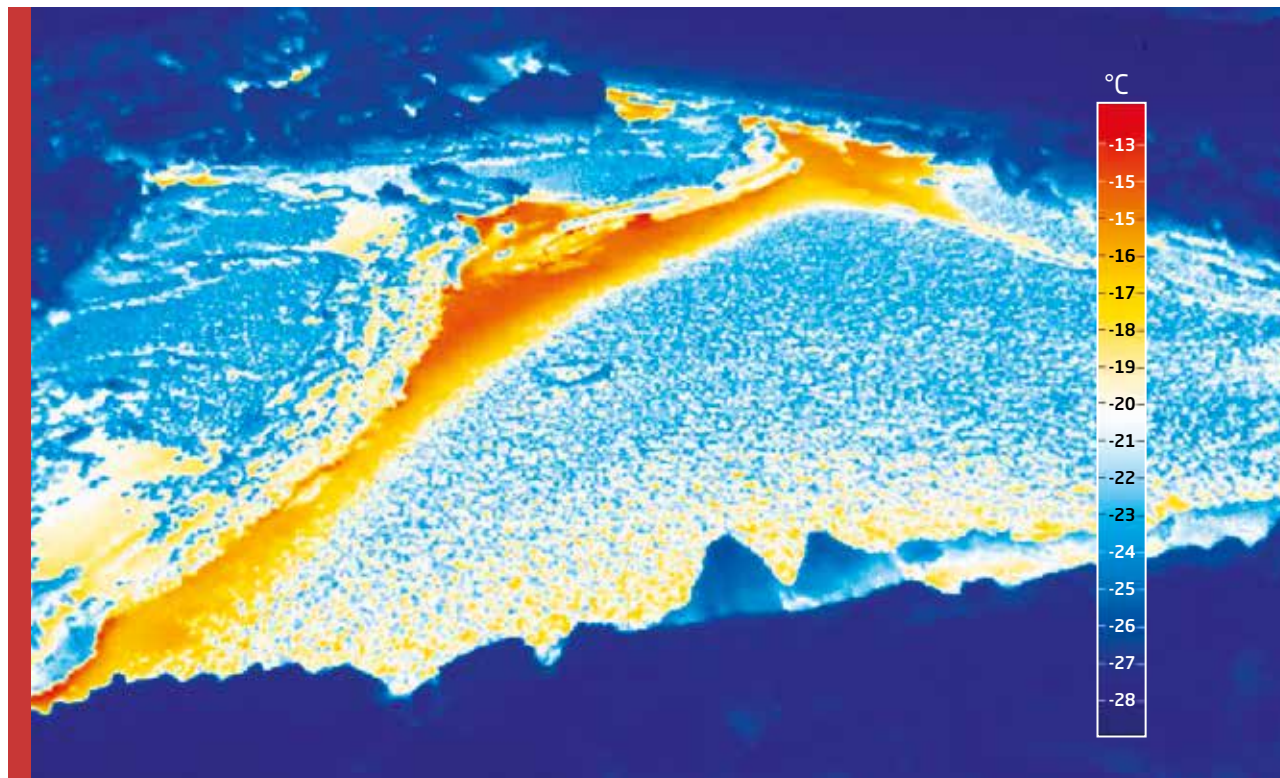
Aufgrund dieser einmaligen Gelegenheit beteiligen sich 13 Forschungsinstitutionen mit ihrer Satellitenmesstechnik an den aufwendigen Untersuchungen. Das MOSAiC-Satellitenvalidierungsprogramm ist somit der bislang größte internationale Versuch, die Genauigkeit der Fernerkundungsmethoden für Meereis zu verbessern. Bis klare Fortschritte vermeldet werden können, liegt aber noch viel Arbeit vor den Wissenschaftlern – und dass ändern in und dies nicht nur, weil das Fernerkundungsmessfeld nach der plötzlichen Eisbewegung im November an einen neuen Standort verlegt werden musste. „Wenn wir alle

CryoSat-2 heißt ein Satellit der Europäischen Raumfahrtagentur, der ausschließlich die Eismassen der Erde untersucht. Er ist mit einem Radaraltimeter ausgestattet, welches sowohl die Höhe des Meereises vermisst als auch Höhenveränderungen der Eisschilde in Grönland und der Antarktis.

Als Polarnacht wird jene Phase des Jahres bezeichnet, in der die Sonne in der Arktis nicht über den Horizont steigt. Während südlich des 78 Breitengrades Nord dann trotzdem noch etwas Dämmerlicht zu sehen ist, bleibt es nördlich davon nahezu 24 Stunden am Tag stockfinster.

Vor-Ort-Daten zu den Wechselwirkungen von Mikrowellen mit Schnee und Eis gesammelt haben, werden wir diese auswerten und versuchen, die physikalischen Prozesse besser zu verstehen. Im Anschluss gilt es dann, diese Prozesse in Form von verbesserten Gleichungen in unsere Algorithmen zur Datenauswertung einzubauen. Wenn uns das gelungen ist, können wir die Algorithmen auf die Satellitendaten anwenden und überprüfen, ob die Unsicherheiten abgenommen haben“, erklärt Gunnar Spreen.

Ein konkretes Ergebnis aber haben die MOSAiC-Schnee- und Eismessungen schon jetzt gebracht. Ein neues Zwei-Frequenz-Messverfahren zur Bestimmung der Schneedicke auf dem Meereis hat bei den Messungen auf der MOSAiC-Scholle überzeugt. „Dieses Zwei-Frequenz-Radaraltimeter wird künftig auf einem neuen europäischen Satelliten „CRISTAL“ eingesetzt. Es misst die Schneedecke, indem das Signal der höheren Frequenz nahe der Schneeoberfläche reflektiert wird, während die Wellen der tieferen Frequenz am Schnee-Eis-Übergang zurückgestrahlt werden“, erläutert Gunnar Spreen. Die Differenz beider Werte ergibt am Ende die Schneehöhe, leichte Unsicherheiten eingeschlossen. „Bei unseren Testmessungen auf dem Eis konnten wir beobachten, wie die beiden Signale im Detail reflektiert werden. Dieses Wissen werden wir jetzt in die Algorithmen übertragen und



Diese Infrarotaufnahme zeigt dünnes Neueis. Durch einen Riss steigt Meerwasser auf, das deutlich wärmer ist als das Eis.

auf diese Weise die Unsicherheit in den Messungen reduzieren, noch bevor der Satellit im Weltall kreist“, erläutert der Physiker.

Neben „CRISTAL“ unterstützt die MOSAiC-Fernerkundungsgruppe noch eine zweite zukünftige Satellitenmission der ESA mit Vor-Ort-Messungen auf dem Eis. Das Copernicus Imaging Microwave Radiometer – kurz CIMR genannt – wird die Eis- und Schneeeigenschaften künftig mit fünf verschiedenen Mikrowellenfrequenzen messen und den Wissenschaftlern so die Möglichkeit eröffnen, die Eisfläche und -dicke, die Höhe der Schneedecke sowie die Eisbewegungen besser zu beobachten.

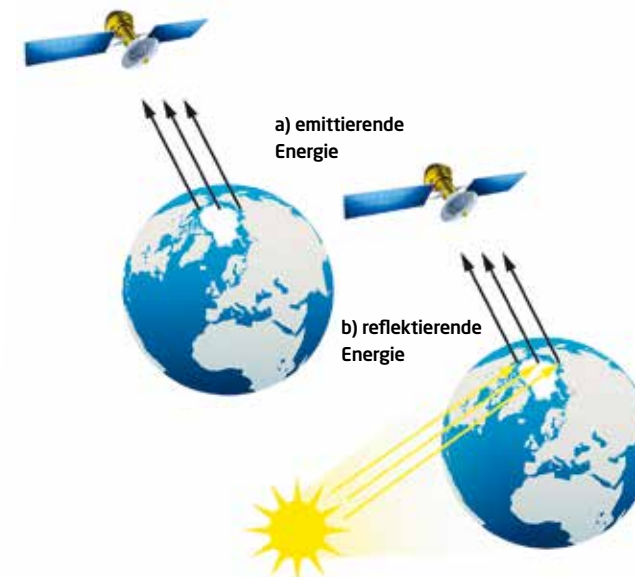
Dem Ausreißversuch der mit Messinstrumenten beladenen Eisfläche im November kann Gunnar Spreen inzwischen auch etwas Gutes abgewinnen: „Wenige Tage zuvor hatte sich schon ein etwa zwei bis drei Meter breiter Riss durch unser Messfeld gezogen. Bei einer Lufttemperatur von minus 30 Grad Celsius ist die oberste Wasserschicht dann schnell wieder gefroren, was uns die einmalige Möglichkeit eröffnete, dieses ganz dünne Eis mit seinen Frostblumen zu vermessen. In der Polarnacht auf dem arktischen Meereis zu arbeiten und dabei zu sehen und zu hören, wie schnell sich dieser Naturraum durch Wind und Meer verändert, war ein wirklich faszinierendes Erlebnis!“ ■

Wie Satelliten das Meereis vermessen

Passive Fernerkundung

Messung natürlich vorhandener Energie

- emittierte Energie (a): Infrarot- und Mikrowellenlängen (bei Tag und Nacht)
- reflektierte Energie (b): sichtbare Wellenlängen (nur bei Tageslicht)



Aktive Fernerkundung

Satellitensensor erzeugt ein Signal und erfasst die rückgestreute und reflektierte Strahlung

- unabhängig von Lichtverhältnissen und somit bei Tag und Nacht einsetzbar
- bietet oft bessere Auflösung als passive Systeme

