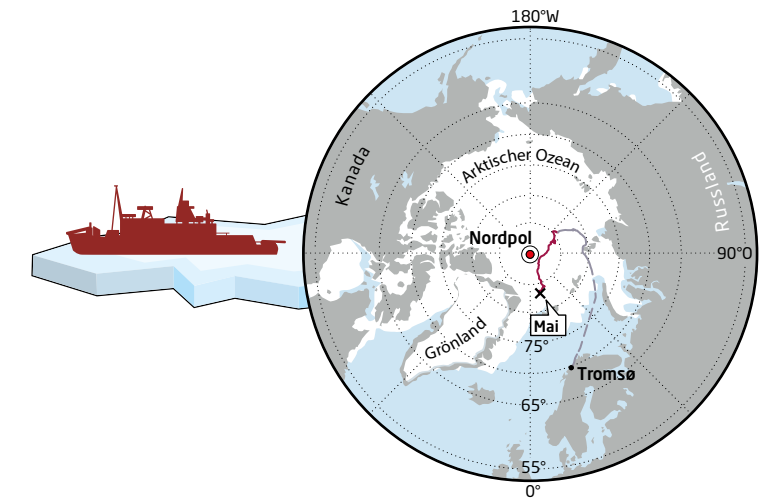


Schmelzwassertümpel fast so lang wie das Forschungsschiff Polarstern bedecken am 30. Juni 2020 die MOSAiC-Eisscholle. Begonnen aber hatte die Schneeschmelze schon Wochen früher.



DriftStory 07

## Das Omen des ersten Schneeballs

Mit der Sonne kehrt auch die Wärme zurück in die Arktis. Wie diese jedoch die Schneesicht verändert und damit auf das Meereis wirkt, ist bisher noch nicht richtig verstanden. AWI-Forscher haben die Veränderungen des Schnees deshalb mit besonderem Augenmerk verfolgt - und mit einem verblüffend einfachen Trick.

**Satelliten, Roboter, Hightech-Kameras:** Auf keiner Polarexpedition zuvor wurde das arktische Meereis bislang mit so viel moderner Technik vermessen wie im Rahmen der MOSAiC-Expedition. Dennoch greifen die Meereisphysiker im Eiscamp manchmal auch auf ganz einfache Tricks zurück, um Erkenntnisse zu gewinnen - zum Beispiel auf den kinderleichten Schneeballtest. „Mit dem Versuch, einen Schneeball zu formen, können wir ziemlich gut überprüfen, ob die Schneeschmelze eingesetzt und sich der Flüssigwassergehalt im Schnee erhöht hat. Unter normalen Winterbedingungen ist der Schnee auf dem arktischen Meereis nämlich viel zu kalt und trocken, um ihn zu einer Kugel zu formen“, erklärt AWI-Schneeexpertin Dr. Stefanie Arndt.

Sie führte den Schneeballtest bei ihren Forschungsarbeiten im MOSAiC-Eiscamp deshalb regelmäßig durch. Schließlich war Stefanie Arndt als Teilnehmerin des dritten

Fahrtabschnittes genau zu jenem Zeitpunkt auf der Scholle angekommen, als es in der zentralen Arktis nach der langen Polarnacht zum ersten Mal wieder dämmerte und die Sonne ihre Rückkehr ankündigte. Der Frühling stand vor der Tür und mit ihm die wichtigen Forschungsfragen, ab wann und vor allem auf welche Weise das Sonnenlicht und die steigenden Lufttemperaturen die Schneedecke auf dem arktischen Meereis verändern würden.

Zunächst aber rieselten der Wissenschaftlerin die für den Schneeball gedachten zwei Handvoll Schnee ein jedes Mal durch die Finger - auch als die Sonne in den ersten beiden Aprilwochen schon 24 Stunden pro Tag über dem Horizont stand. „Eine ungestörte, weiße Schneefläche besitzt eine enorm hohe Rückstrahlkraft, die als Albedo bezeichnet wird. Sie reflektiert bis zu 90 Prozent des einfallenden Sonnenlichtes. Wenn zur gleichen Zeit auch die Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes liegt, kann die Sonnenenergie den Schnee und das Meereis darunter nicht schmelzen. Das heißt, die physikalischen Eigenschaften des Schnees verändern sich kaum und er pappt auch nicht zusammen“, erzählt Stefanie Arndt.



Juni 2020: Eine Holzplatte dient den Forschern als Brücke über einen Schmelzwasserbach, der zwischen Schiff und Camp verläuft.

## EIN VORGESCHMACK AUF DEN FRÜHLING

Der Wendepunkt kommt am 19. April in Form eines kurzen, massiven Wärmeeinstroms in die zentrale Arktis. Innerhalb eines Tages stieg die Lufttemperatur an der Schneeoberfläche im MOSAiC-Eiscamp von minus 7,4 Grad Celsius auf minus 0,2 Grad Celsius. Die Wärme blieb nur für knapp 24 Stunden, doch ihre Kraft reichte aus, um die Schneedecke nachhaltig zu verändern. „Die warme Luft an der Schneeoberfläche sorgte unmittelbar dafür, dass sich auch das obere Drittel der Schneeschicht bis an den Schmelzpunkt erwärmte“, berichtet die Wissenschaftlerin. Im Anschluss gefror die Schneeschicht wieder komplett. Zu diesem Zeitpunkt aber hatte die Wärme längst erste Spuren im Schnee hinterlassen. „Wir gehen davon aus, dass in dieser kurzen Warmphase die ersten der vielen großen Schneekristalle zu schmelzen begannen, sie ihre Form veränderten und kleiner wurden, auch wenn man der gesamten Schneefläche diese Veränderungen im Detail noch nicht ansehen konnte“, sagt Stefanie Arndt.

Mit bloßem Auge zu erkennen ist einzig und allein eine auffällige Glazéschicht, die sich an der Schneeoberfläche gebildet hat. „Der Schnee sah von oben aus, als sei die gesamte Fläche großflächig angeschmolzen. Tatsächlich aber war die Oberfläche nach dem Wärmeeinbruch wieder angefroren und reflektierte nun wie ein Spiegel“, berichtet die Wissenschaftlerin.

Einen solchen Wärmeeinbruch in der zentralen Arktis selbst miterleben, ist für Stefanie Arndt und alle anderen Wissenschaftler an Bord Polarsterns das Highlight des Frühlings. Alle Forschergruppen intensivieren ihre Messungen, um die Auswirkungen des

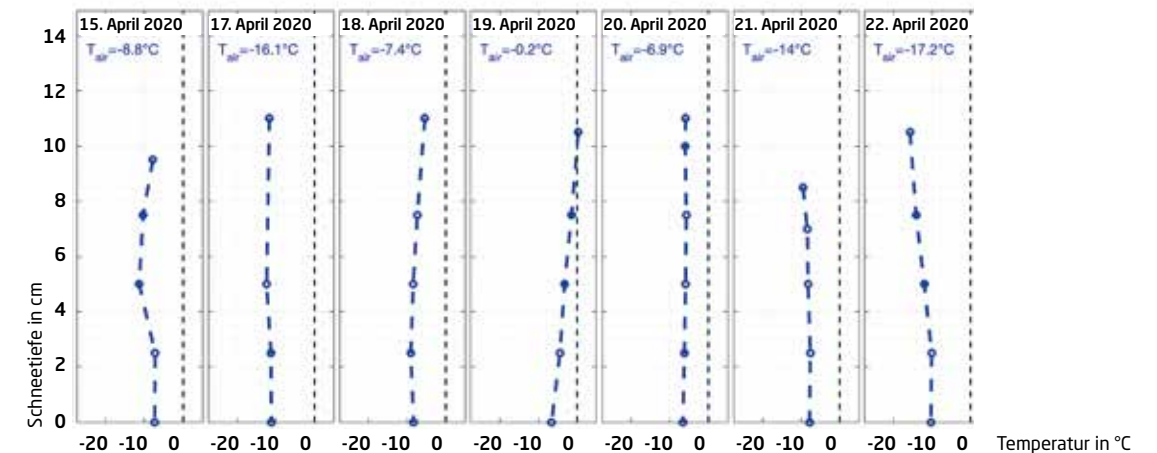


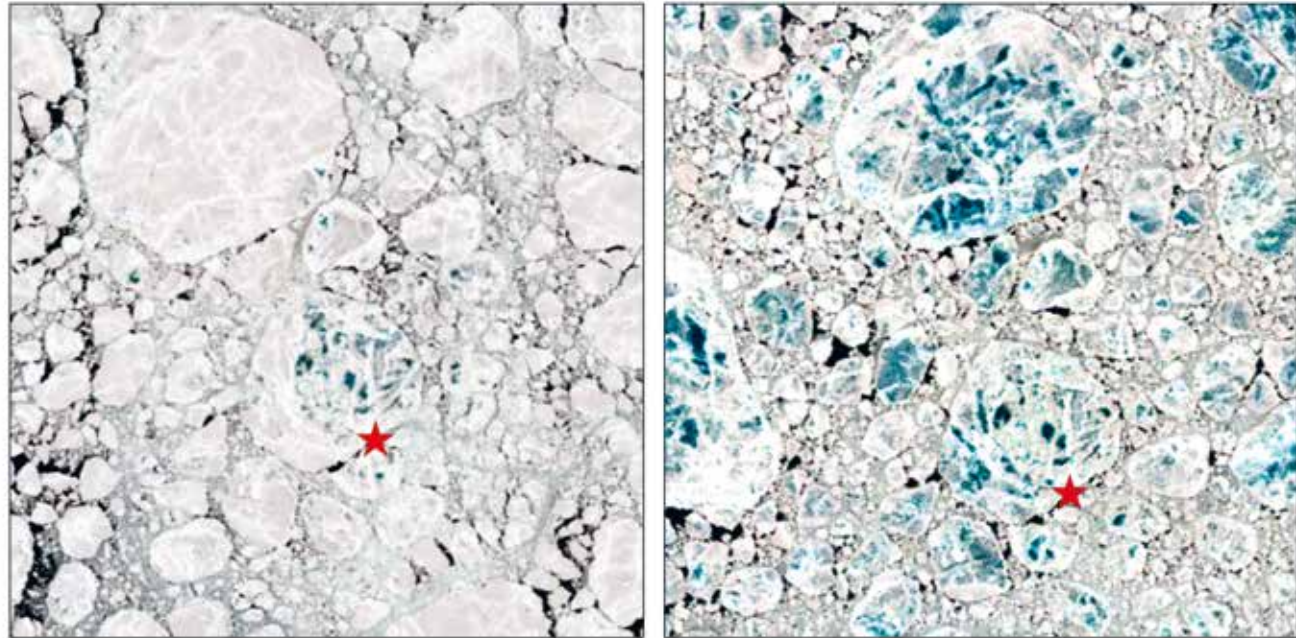
DR. STEFANIE ARNDT

formte im Laufe der MOSAiC-Expedition tatsächlich regelmäßig Schneebälle für Forschungszwecke - sofern die Schneeeigenschaften dies zuließen.

## Wenn die Atmosphäre dem Schnee einheizt

Als sich die Luftmassen über der MOSAiC-Scholle vom 18. April auf den 19. April 2020 plötzlich erwärmten, veränderte sich auch das Temperaturprofil der Schneedecke auf dem Eis unmittelbar, wie diese Messdaten belegen. Vor allem die Temperatur im oberen Drittel der Schneeschicht stieg bis dicht an den Schmelzpunkt. Anschließend kühlte der Schnee jedoch genauso schnell wieder aus.





Neun Tage liegen zwischen diesen beiden Satellitenaufnahmen vom Eis rund um die MOSAiC-Scholle (roter Stern). Am 21. Juni 2020 bilden sich die ersten Schmelzwassertümpel (l.); am 30. Juni 2020 bedecken sie große Flächen des Eises (r.).

Ereignisses in allen Sphären zu dokumentieren – von der Atmosphäre bis in den Ozean. Relativ schnell aber wird deutlich: Ein kurzer Wärmeeinbruch allein reicht noch nicht aus, um die Schmelzsaison in der zentralen Arktis in Gang zu setzen. Dazu bedarf es schon eines besonderen Ereignisses, welches sich fast vier Wochen später, am 12. Mai einstellt. An diesem Tag fegt ein Sturmtief vom **Nordkap** kommend mit Windstärke 7 bis 10 durch die zentrale Arktis und tauscht die winterliche Kaltluft im MOSAiC-Eiscamp gegen wärmere Luft aus dem Süden aus. Die Lufttemperatur an der Schneeoberfläche steigt erneut rasch an – von minus 10,9 auf minus 0,2 Grad Celsius. Nur diesmal bleibt die Wärme und vollendet, was sie im April begonnen hat.

### DIE EISSCHOLLEN WERDEN GRAU

Frisch gefallene Schneekristalle besitzen eine Vielzahl winziger Flächen und Kanten. An ihnen reflektiert das Sonnenlicht, sodass die Schneedecke für Betrachter weiß erscheint. Erwärmt sich der Schnee aber, lässt die Wärme die vielen Mikrostrukturen der Schneekristalle miteinander verschmelzen. Kanten werden runder, die Kristalle klumpen zusammen. Backschnee entsteht, aus dem sich nun auch Schneebälle formen lassen. „Setzt sich dieser Prozess über zwei bis drei Tage fort, färbt sich die ehemals weiße Schneedecke grau ein, weil sie aufgrund veränderter optischer Eigenschaften nun nicht mehr das gesamte

Das Nordkap ist ein in das Nordpolarmeer hineinragendes Kap auf der Insel Magerøya, die an der äußersten Nordküste Norwegens liegt. Es gilt seit dem Jahr 1999 als der nördlichste vom Festland auf dem Straßenweg erreichbare Punkt Europas.

Spektrum des einfallenden Sonnenlichtes reflektiert. Stattdessen absorbiert sie fortan mehr und mehr Sonnenstrahlung, welche den Schnee weiter erwärmt und seine Schmelze von innen vorantreibt. Er sackt in sich zusammen, wird feuchter und verwandelt sich in grauen Schneematsch, dessen Schmelzwasser in Vertiefungen auf dem Meereis erste Pfützen bildet“, erklärt Stefanie Arndt.

Der Auftakt der Schneeschmelze auf dem Meereis markiert im Frühjahr auch das Ende der AWI-Eisdickenmessungen mithilfe des CryoSat-Satelliten. Ist der Schnee feucht, wird das Radarsignal des Satelliten nicht mehr eindeutig genug zurückgestrahlt. Den Wissenschaftlern fällt es dann schwer, anhand der Messdaten zu erkennen, ob das Signal von einer Schnee-Eisschicht oder aber vom offenen Wasser reflektiert wurde. Daher unterbrechen sie die Messungen für den Sommer.

Stefanie Arndt kann die Anfänge der Schneeschmelze in der dritten und vierten Maiwoche leider nur von Bord Polarsterns aus beobachten. Das Schiff befindet sich, in dieser für die Meereisphysiker so entscheidenden Phase, Corona-bedingt gerade auf dem Weg nach Spitzbergen, um das Wissenschaftler-Team auszutauschen. Als sich das Schiff nach dem Crewwechsel wieder der MOSAiC-Eisscholle nähert, ist es bereits Mitte Juni.

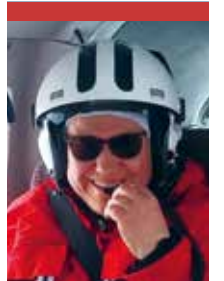
### EIN TEPPICH AUS SCHMELZTÜMPELN

Als eine der ersten Teilnehmerinnen des vierten Fahrtabschnittes sieht AWI-Klimaforscherin Dr. Gerit Birnbaum die Scholle. Im Rahmen von Eis-Lasermessungen mit dem Polarstern-Hubschrauber überfliegt sie das Schollen-Ensemble und dokumentiert den Zustand der Eisoberfläche: „Bei unserem ersten Überflug am 16. Juni gab es auf den Eisschollen im Umfeld der MOSAiC-Scholle erste Tümpel hauptsächlich entlang der Presseisrücken. Schmelztümpel in den flacheren, undeformierten Bereichen der Schollen waren noch relativ selten. Stattdessen sahen wir hier regelmäßige graue Muster oder Flächen, die vom schmelzenden Schnee zeugten, während sich die Presseisrücken wie weiße Bänder über die Schollen zogen“, berichtet sie von Bord Polarsterns.

Zwei Wochen später steht auf den Schollen vielerorts Wasser. „Bis Ende Juni nahm dann der Flächenbedeckungsgrad der Tümpel rasch zu; die Schneeschmelze war in vollem Gange. Temperaturbedingt gab es aber mehrere Zyklen von Schmelze und Wiedergefrieren der obersten Wasserschicht in den Tümpeln. Wir konnten also gut neu gebildete, dünne Eisschichten auf ihrer Oberfläche sehen“, erzählt Gerit Birnbaum. Auf dem jungen Eis, welches gerade einen Winter alt war, hatte sich der graue Schneematsch aufgelöst und sein Schmelzwasser einen Flickenteppich aus miteinander verbundenen Pfützen und Tümpeln gebildet. Die Presseisrücken zogen sich weiterhin als hellere Bänder über die Schollen.

Die Veränderungen an der Eisoberseite wirken bis in den Ozean, wie die Strahlungsmessdaten der AWI-Meereisphysiker zeigen. Überall dort, wo Schmelzwassertümpel auf dem Eis entstehen, wird das Sonnenlicht nämlich weniger reflektiert. Es erwärmt das Wasser in den Tümpeln und dringt im zunehmenden Maße durch das dünner werdende Eis in den oberen Ozean, wo es Algen das Startsignal zum Wachsen gibt.

Diese Lichtdurchlässigkeit nimmt erstaunlicher Weise erst dann wieder ab, wenn die Schmelztümpel von oben durch die Eisdecke hindurchschmelzen und ein Großteil ihres



DR. GERIT BIRNBAUM

ist Meteorologin und arbeitet in der Sektion Meereisphysik am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven. Die Rolle von Schmelztümpeln im Zusammenspiel von Meereis und Atmosphäre ist eines ihrer zentralen Forschungsthemen.

Strahlungssensoren messen die einfallende oder aber reflektierte Lichtmenge und wurden während der MOSAiC-Expedition sowohl auf dem Eis als auch darunter eingesetzt. Die Untereis-Messungen dienten u. a. der Frage, ab wann Algen im und unter dem Eis genügend Licht bekommen, um sich zu vermehren.

Wassers in den Ozean abläuft. In diesem Moment beginnt die nun nackte und freiliegende Eisfläche an den Rändern des ehemaligen Tümpels, das einfallende Sonnenlicht wieder stärker zu reflektieren, und die **AWI-Strahlungssensoren** unter dem Eis dokumentieren einen deutlichen Rückgang der Lichtintensität – eine wichtige Erkenntnis für die Energiebilanz und Wärme Flüsse im System Meereis-Ozean.

### AUF DEN QUADRATMETER GENAU

„In den ersten Julitagen sind vor allem große, tiefere Tümpel auf dem zweijährigen Eis ausgelaufen – das heißt, ihre Wasserfläche oder Ausdehnung ist wieder geschrumpft. Auf dem einjährigen Eis ist die Schmelze soweit fortgeschritten, dass in manchen Bereichen der Flächenanteil der blauschimmernden Tümpel grösser ist als die Fläche der verbliebenen Schneematschreste, die sich nur an jenen Stellen gehalten haben, wo sie topografisch etwas höher liegen“, sagt Gerit Birnbaum. In der Fachsprache werden diese letzten Flecken Grauweiß auch „Streuschicht“ genannt, denn als Schnee kann man die Überreste wirklich nicht mehr bezeichnen.

Gerit Birnbaum und ihr Team dokumentieren das Wachsen und Schrumpfen der Schmelztümpel auf den Quadratmeter genau, denn bei den Hubschrauber-Messflügen über das Eis erfassen Kameras die Größe, den Umfang und die Form der einzelnen Tümpel. Außerdem erkennen die Forscher anhand der Kamera-Daten die Größenverteilung der Schmelzwasseransammlungen, ob die Tümpel miteinander verbunden sind und wie tief ein jeder von ihnen ist. Vermessen werden zusätzlich die mittlere Albedo des Meereises und mit einem Laser-Scanner die Topografie seiner Oberfläche.



Das Werk der Wärme: Die grauen Schneeflächen verraten den Forschern, in welchen Bereichen der Eisscholle die Schneedecke zu schmelzen begonnen hat. Diese Luftaufnahme stammt vom 24. Mai 2020.

Zu wissen, wie früh im Jahr sich die ersten Schmelztümpel bilden, wie groß sie werden und wann sie auslaufen, ist entscheidend, wenn es um die Frage geht, wann die Arktis im Sommer vermutlich das erste Mal eisfrei sein wird. Als dunkle, sonnenlichtabsorbierende Fläche trägt das Netz aus Schmelzwassertümpeln nämlich maßgeblich dazu bei, dass das arktische Meereis im Sommer schneller und großflächiger schmilzt als in der Vergangenheit.

Aus diesem Grund laufen Gerit Birnbaums MOSAiC-Schmelztümpel-Messdaten auch in einer Vielzahl wissenschaftlicher Analysen ein. So untersuchen Wissenschaftler, ob die Tümpel auf der MOSAiC-Eisscholle und in ihrem erweiterten Umfeld repräsentativ sind für das Meereis in der zentralen Arktis. Andere wiederum kontrollieren mithilfe der Hubschraubermessungen, inwiefern verschiedene satellitengestützte Messinstrumente die arktischen Schmelztümpel passgenau erfassen.

Eines dieser Systeme ist MODIS, das Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer an Bord der US-amerikanischen Terra- und Aqua-Satelliten. Dessen Daten wollen AWI-Meereisphysiker im MOSAiC-Sommer nutzen, um das Schmelzen der gesamten arktischen Meereisdecke bis in das kleinste Detail nachzuverfolgen. Dazu dokumentieren sie mithilfe des Satellitensystems, wann wo tatsächlich Meereis vorhanden war, in welchen Bereichen es von Schmelztümpeln bedeckt wurde und wo sich offene Wasserflächen gebildet hatten. Gerit Birnbaums zahllose Hubschrauber-Messflüge über die langsam schmelzende MOSAiC-Eisscholle werden sich am Ende also auf vielfache Weise auszahlen. ■



Gut acht Wochen später, am 29. Juli 2020, bauen die Wissenschaftler ihr Forschungscamp ab. Die Scholle steht zu großen Teilen unter Wasser und zerbricht einen Tag später in viele Einzelteile.