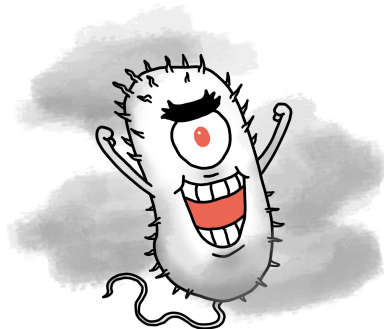




WIE VIEL MEER STECKT IN EINER ARKTISCHEN WOLKE?



Aus dem Meer steigt Wasserdampf auf, der später zu Wassertröpfchen oder Eiskristallen in Wolken wird. Für deren Bildung braucht es jedoch auch winzige Schwebeteilchen. Viele davon liefert das Meer gleich mit.

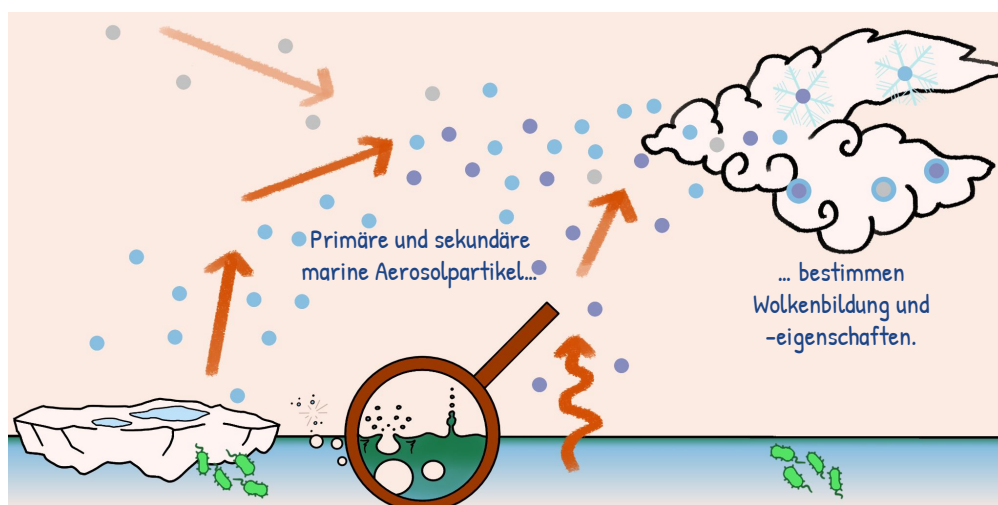
Wolken bestehen aus unzähligen kleinen Wassertröpfchen oder Eiskristallen. Damit sich diese in der Atmosphäre bilden können, braucht es in der Regel die Anwesenheit winziger luftgetragener Schwebeteilchen, sogenannte **Aerosolpartikel**.

An ihnen kondensiert Wasserdampf und es bilden sich Tröpfchen, weshalb man sie auch **Kondensationskeime** nennt. Doch nicht alle Partikel eignen sich gleich gut. Verallgemeinert gilt: Je größer und wasseranziehender ein Aerosolpartikel ist, desto stärker fördert er die Wolkenbildung^{1,2}.

Diesen Effekt kann man leicht selbst beobachten: An kalten Herbst- oder Wintertagen entsteht beim Ausatmen eine sichtbare "Atemwolke". Sie bildet sich, weil sich der ausgeatmete Wasserdampf aus unseren Lungen rasch abkühlt und an feinen Partikeln kondensiert. Neben einem Lagerfeuer oder einem älteren Fahrzeug mit viel Abgas wirkt sie meist optisch dichter, während sie in einem entlegenen Park schwächer ausgeprägt ist. Es gibt dort schlicht weniger der nötigen Schwebeteilchen. Ganz ohne diese gäbe es weder kleine Atemwolken noch die großen Wolken am Himmel.

Außerdem gibt es spezielle Aerosolpartikel, die Wassertröpfchen zu Eiskristallen gefrieren lassen - sogenannte **Eiskeime**. Sie enthalten bestimmte Stoffe, die das Gefrieren von Wasser bei Temperaturen leicht unter 0°C ermöglichen. Fehlen diese, kann Wasser oft bis zu -38°C flüssig bleiben³. Auch wenn auf diesem Gebiet noch viel unerforscht ist, gelten bestimmte Eiweiße, komplexe Zuckerverbindungen und Mineralstäube als wichtige Eiskeime in der Atmosphäre⁴.

Doch woher stammen diese wichtigen Aerosolpartikel? Grundsätzlich gibt es zahlreiche Quellen, etwa Waldbrände, Schiffsverkehr oder ferntransportierte Luftverschmutzung. Zwar erreichen menschengemachte Emissionen inzwischen auch die hohen Breiten, doch ist die arktische Atmosphäre noch vergleichsweise wenig belastet. Dadurch kommen natürliche Aerosolpartikel für die Wolkenbildung stärker zum Tragen. Neben Wüstenstaub rückt dabei immer mehr die Meeresoberfläche als relevante Quelle in den Fokus⁵. Und davon hat die Arktis reichlich.



Meerwasser besteht zu 96,5% aus Wasser, der Rest vor allem aus Salzen. Weniger als 0.01% machen organische Verbindungen aus - ein vielfältiger Mix aus gelösten und festen Stoffen. Dazu zählen Algen, Bakterien, marine Pilze, abgestorbene Zellreste, sowie Fette, Kohlenhydrate und Eiweiße⁶. Für die Atmosphäre besonders relevant ist die oberste Schicht des Meeres, der sogenannte **marine Oberflächenfilm**, in der sich biologische Substanzen anreichern⁷. In den Sommer- und frühen Herbstmonaten finden sich dort, besonders in der arktischen Eisrandzone und in Schmelztümpeln auf dem Packeis, hohe Konzentrationen solcher Stoffe mit großem Potenzial, als Eiskeime zu wirken^{8,9}. Dabei ist noch unklar, ob und unter welchen Bedingungen sie aus dem Meereis freigesetzt werden.

Wind versetzt als treibende Kraft die Meeresoberfläche in Bewegung. Brechende Wellen und platzende Luftblasen schleudern

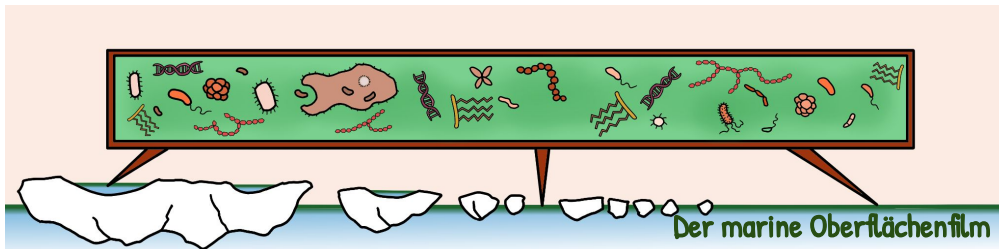
kleinste Meerwassertropfen in die Luft. Dieser **Sea spray**, wie er am treffendsten mit dem englischen Begriff bezeichnet wird, enthält alle gelösten und festen Bestandteile des Meerwassers und bildet beim Trocknen **primäre marine Aerosolpartikel** in verschiedenen Größen^{6,10}. Sehr große Partikel fallen häufig rasch zurück ins Meer und spielen atmosphärisch kaum eine Rolle. Supermikrone Aerosolpartikel von 1 bis 10 Mikrometer, also etwa ein Zehntel der Dicke eines Menschenhaars oder kleiner, bestehen überwiegend aus Meersalz. Mit abnehmender Partikelgröße steigt jedoch der Anteil organischer Substanzen (z.B. Kohlenhydrate und Eiweiße), bis diese in Partikeln unter einem Mikrometer dominieren¹¹.

Außerdem setzt das Meer auch verschiedene Gase frei, darunter Schwefel- und Stickstoffverbindungen¹². Diese Gase entstehen häufig bei der Zersetzung von Pflanzen, Tieren und Mikroben, oder werden von letzteren sogar aktiv erzeugt.

Dazu gehört unter anderem die Substanz Dimethylsulfid (DMS), die den charakteristischen Meergeruch prägt. Unter Einfluss von Licht und atmosphärischen Radikalen (das sind winzige, sehr reaktionsfreudige Teilchen in der Luft, die alles chemisch angreifen, was ihnen in die Quere kommt) werden sie zu Substanzen oxidiert, die anschließend kleine Flüssigkeitstropfen oder Feststoffe in der Atmosphäre bilden - die sogenannten **sekundären marinen Aerosolpartikel**¹³.

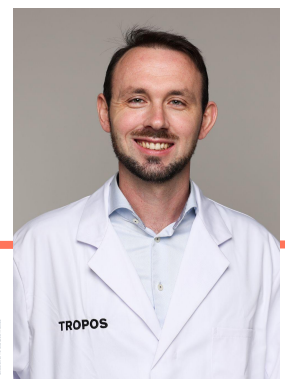
Sowohl diese als auch jene salzhaltigen primären marinen Aerosolpartikel sind meist stark wasseranziehend und wirken als effiziente Kondensationskeime, während manche organische Verbindungen aus dem Meer die Eisbildung in Wolken beeinflussen^{4,14,15}. Gemeinsam bestimmen sie somit die Entstehung und Eigenschaften der Wolken, sowohl global aber vor allem auch in der Arktis.

Die Erderwärmung lässt das arktische Meereis schrumpfen und vergrößert die offenen Wasserflächen¹⁶. Dadurch gelangen mehr, aber auch chemisch veränderte Aerosolpartikel in die Atmosphäre - mit bislang ungewissen Folgen für die Wolkenbildung in der Arktis.



In der sauberen arktischen Atmosphäre zählt jeder Wolkenkeim, und marine Partikel leisten einen wichtigen Beitrag. Wie groß ihr Anteil ist, wird noch erforscht. Mit schwindendem Meereis dürfte ihr Einfluss auf Wolken und Klima zunehmen.

Sebastian Zeppenfeld, Chemiker. Er studierte Lebensmittelchemie an der TU Dresden. Fasziniert von Zuckerverbindungen, zunächst in Lebensmitteln, später in Holz, führte ihn sein Weg an das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS), wo er sich seit seiner Promotion mit der Bedeutung von Kohlenhydraten in der Luft auf die natürliche Wolkenbildung beschäftigt. Für seine Forschung nahm er an mehreren Expeditionen in der Arktis und Antarktis teil. zeppenfeld@tropos.de



Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.



UNIVERSITÄT
LEIPZIG



Universität
Bremen



UNIVERSITÄT
ZU KÖLN



ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-
UND MEERESFORSCHUNG



Leibniz-Institut für
Troposphärenforschung

Illustrationen und Übersetzung: Alexander Mchedlishvili; Kommunikation: Sophie Rosenberg

www.ac3-tr.de, Prof. Wendisch, Sprecher des Verbundprojektes, m.wendisch@uni-leipzig.de; Dr. Brückner, wissenschaftliche Koordinatorin, mbrueck@rz.uni-leipzig.de