



WAS MACHT DIE KLIMAERWÄRMUNG MIT DEM ARKTISCHEN OZEAN?



Der menschengemachte Klimawandel verändert den Wärmehaushalt unseres Planeten. Die zusätzliche Wärme wird zu 93%¹ von den Ozeanen aufgenommen. Das ist mehr als Atmosphäre, Eis und Landmassen zusammen aufnehmen.

Ein globales Förderband für Wärme



Der Golfstrom transportiert warmes Wasser aus den Tropen in die Arktis (rot). Dort kühlt es ab und strömt zurück nach Süden (blau).

Die Ozeane transportieren gigantische Wärmemengen aus den Tropen/Subtropen in die Polarregionen.² Im Atlantischen Ozean werden die nahe des Äquators erwärmten Wassermassen über den Golfstrom, den Nordatlantikstrom und schließlich den Norwegengstrom bis in die Arktis transportiert. Entlang des Weges gibt das Wasser seine Wärme allmählich an die nach Norden kälter werdende Luft ab und kühlt aus. Die Abkühlung hat zur Folge, dass das Wasser an Dichte gewinnt, schwerer wird und absinkt. Das nun erhaltete Wasser strömt zurück nach Süden. Dadurch entsteht ein ozeanischer Wärmekreislauf: Transport von warmem Wasser aus den Tropen in die

Arktis und von kaltem Wasser nach Süden. Dieser Kreislauf wird die **Atlantische Meridionale Umwälzzirkulation** genannt.

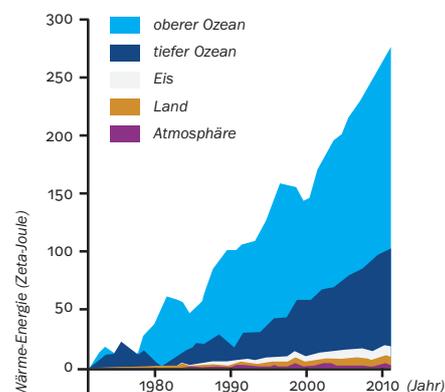
Wärmespeicher Ozean

Nicht nur die Atmosphäre der Erde erwärmt sich, auch die Temperatur der Ozeane nimmt in Folge der menschengemachten Klimaerwärmung zu, allerdings deutlich langsamer. Dies hat mit einer besonderen physikalischen Größe, der spezifischen Wärmekapazität, zu tun, die sich für Wasser und Luft deutlich unterscheidet. Die Wärmekapazität gibt an, wie viel Energie benötigt wird um ein Kilogramm eines Stoffes um 1°C zu erwärmen. Für Wasser ist dieser Wert etwa 4 Mal größer als für Luft. Das hat zur Folge, dass sich ein Kilogramm Wasser bei gleicher Energiezufuhr deutlich langsamer erwärmt als ein Kilogramm Luft. Der Ozean erwärmt sich also langsamer als die Atmosphäre. Zudem ist die Masse des Ozeans um ein Vielfaches größer als die der Atmosphäre. Tatsächlich werden etwa **93% der durch den menschengemachten Klimawandel zusätzlich im Erdsystem vorhandenen Wärmeenergie von den Ozeanen aufgenommen.**¹

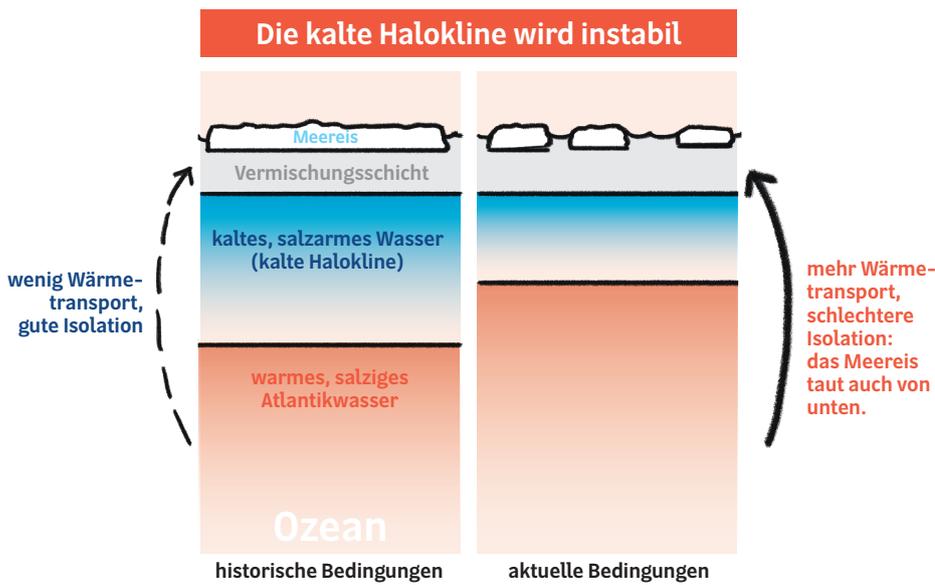
Durch seine große Wärmekapazität und Masse erwärmt sich der Ozean aber weniger schnell als die Atmosphäre. Die mitt-

lere Erwärmung der oberen 2000m des globalen Ozeans zwischen 1955 und 2010 beträgt nur etwa 0,09°C.³ Das entspricht einer zusätzlichen Energieaufnahme von 24×10^{22} J.

Würde man diese Energiemenge, die dem Primärenergieverbrauch ganz Deutschlands von 17.000 Jahren entspricht⁴, unmittelbar in die unteren 10 km der Atmosphäre transferieren, ergäbe sich eine theoretische Erwärmung um 36°C. Ohne die stetige Wärmeaufnahme der Ozeane, wäre es also bereits unerträglich heiß auf der Erde.



Die zusätzliche Wärmeenergie der globalen Erwärmung wird zum größten Teil in den Ozeanen gespeichert (Messwerte von 1971-2010).⁵



Die kalte Halokline wird instabil

Die sogenannte kalte Halokline beschreibt eine Besonderheit des Arktischen Ozeans. Unter dem arktischen Meereis befindet sich eine Wasserschicht, die sehr kalt und gleichzeitig arm an Salz ist.⁷

Der Ursprung dieses Wassers sind Gefrier- und Schmelzprozesse, die dem Wasser Salz entziehen. Diese kalte Schicht begünstigt die Bildung von Meereis im Winter. Das Wasser unter dieser oberflächennahen Schicht ist durch seine Herkunft im Atlantik wärmer und salziger. Die kalte Halokline bezeichnet die starke Zunahme im Salzgehalt, die beide Schichten trennt. Die Stabilität der Schichtung wird durch den Dichteunterschied bestimmt. Im Arktischen Ozean ist die Dichte des Wassers besonders stark vom Salzgehalt beeinflusst. Wenn nun das wärmere Atlantische Wasser in die Arktis strömt taucht es unter das kalte, salzarme Oberflächenwasser ab. Diese stabile Schichtung sorgt dafür, dass kaum Wärme aus dem Atlantischen Wasser das Meereis erreicht, welches auf der Oberfläche schwimmt.

Der Arktische Ozean erwärmt sich.

Langzeitmessungen in der Arktis sowie in der Framstraße und der Barents See, den zwei Haupttrouten für warmes Atlantikwasser in die Arktis, haben bestätigt, dass sich das warme atlantische Wasser, welches über die Atlantische Umwälzzirkulation in die hohen Breiten transportiert wird, erwärmt.⁶ Gleichzeitig wird durch den starken Meereisrückgang viel dunkle

Ozeanoberfläche offengelegt. Diese absorbiert mehr Sonnenstrahlung als helles Meereis, wodurch sich der Arktische Ozean erwärmt und das Eis noch schneller schmilzt. **Dieser sich selbst verstärkende Effekt wird Eis-Albedo-Rückkopplung genannt** (s. Fact Sheet 1).

Weitere Mechanismen, die zur Erwärmung des Arktischen Ozeans beitragen, werden in der aktuellen Forschung untersucht.

Der Arktische Ozean ist also durch die große Wärmeaufnahme der Ozeane generell und speziell durch die Eis-Albedo-Rückkopplung und die instabil werdende kalte Halokline besonders von der Klimaerwärmung betroffen.

Wie die Wände einer Thermosflasche isoliert die kalte Halokline also das Eis von der Wärme aus dem Ozean. Die Stabilität der Schichtung wird durch die Erwärmung des Atlantischen Wasser abgeschwächt, so dass die Isolationswirkung nachlässt und das Meereis auch von unten zu schmelzen beginnt.^{8,9,10}

Finn Heukamp, Ozean- und Klimaphysiker. Er studierte physikalische Ozeanographie und Klimaphysik an der Universität Kiel/GEOMAR. Für seine Forschung an den Änderungen des ozeanischen Wärmetransportes in die Arktis und den daraus resultierenden regionalen Folgen für das arktische Klimasystem arbeitet er mit hochauflösenden globalen Ozean- und Meereis-Computermodellen am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven. finn.heukamp@awi.de

Foto: privat, Illustrationen www.heimach.live



Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.



UNIVERSITÄT LEIPZIG



Universität Bremen



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



Leibniz Institute for Tropospheric Research