

Klimaänderungen kommen im Ozean an: Große, windgetriebene Meeresströmungen verschieben sich polwärts

Gerrit Lohmann und Hu Yang

Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, Bussestr. 24, D-27570 Bremerhaven, Germany. Gerrit.Lohmann@awi.de, www.awi.de/en/paleo

Die globale Erwärmung hat viele verschiedene Aspekte der Auswirkungen auf das Klima. Zu den bekanntesten Folgen gehören neben dem Temperaturanstieg, das Abschmelzen der Gletscher und Eisschilde sowie der Anstieg des Meeresspiegels. Es gibt jedoch auch weitere Veränderungen, die im Gange sind und nicht viel Aufmerksamkeit erhalten. Eine neue Studie stellt fest (Yang et al., 2020), dass sich die großen Ozeanwirbel in einem sich erwärmenden Klima in höhere Breitengrade verlagern.

Die Ozeanzirkulation spielt eine entscheidende Rolle bei der Regulierung des Wetters, des Klimas und des Meereslebens. So transportiert der Golfstrom beispielsweise warmes Wasser von niedrigen in mittlere Breiten und trägt so zur Aufrechterhaltung eines milden Klimas in Europa bei. Umgekehrt transportieren der Kalifornien- und der Kanarenstrom, die sich an den östlichen Rändern des Nordpazifiks bzw. -atlantiks befinden, kaltes Wasser in niedrigere Breiten und tragen zu einem relativ trockenen und kühlen Klima auf dem angrenzenden Festland bei. Der mit dem Stromsystem verbundene Auftrieb bringt nährstoffreiches Wasser aus tieferen Ozeanschichten mit und erhält ein hochproduktives Ökosystem. Angesichts der weitreichenden Auswirkungen der Ozeanzirkulation ist es wichtig zu verstehen, ob und wie die Strömungen auf die globale Erwärmung reagieren. Vor dem Satellitenzeitalter in den 1980er Jahren werden die Ozeanbeobachtungen hauptsächlich von den Schiffen und Küstenstationen durchgeführt, die sowohl räumlich als auch zeitlich spärlich verteilt sind. Daher ist es bis zum Start der Satelliten Anfang der 1980er Jahre schwierig, einen globalen Überblick über die Meeresbedingungen zu erhalten. Seitdem haben die Satelliten die Temperaturen an der Meeresoberfläche und die Oberflächenauslenkung gut erfasst. Allerdings sind Informationen an der Ozeanoberfläche immer noch begrenzt, denn es gibt sehr wenige direkte Messung der Ozeanströmungen.

Auf Grundlage von Satellitendaten haben wir ermittelt, wie sich die großräumige Ozeanzirkulation verändert. Ähnlich wie beim Sturmmuster, das sich aufgrund der Corioliskraft um ein Tiefdruckkern zentriert, sind auch die großräumigen Ozeanwirbel zentriert (Abbildung 1). Durch die Verfolgung des Musters der Meeresspiegeländerungen kann man die Positionsänderungen der Ozeanzirkulation ableiten. Außerdem ist die Ozeanzirkulation durch starke Temperaturgradienten in Folge des Aufeinandertreffens kalten und warmen Wassers geprägt (Abbildung 2). Durch die Verfolgung der Position des Temperaturgradienten sind wir in der Lage, die Bewegung der Grenze der Kalt- und Warmwasserzirkulation zu identifizieren.

Die Ergebnisse, die sich aus den satellitengestützten Meeresspiegel- und Meerestemperaturdaten ergeben, zeigen übereinstimmend, dass sich die acht wichtigsten Zirkulationsstrukturen des globalen Ozeans in den letzten vier Jahrzehnten in Richtung höherer Breitengrade bewegen (Abbildung 1).

Auf der Südhalbkugel sind diese Veränderungen besonders deutlich zu sehen. Auf der Nordhalbkugel dagegen beeinflussen Faktoren wie die Lage der Kontinente und die Meereisentwicklung in der Arktis den Strömungsverlauf, sodass wir hier starke natürliche Schwankungen sehen. Um herauszufinden, welche Prozesse in welchem Ausmaß diese Verlagerung antreiben, simulieren wir die Entwicklung der Strömungssysteme mit einem neuartigen Klimamodell. Das von uns verwendete neuartige Ozeanmodell kann die Küstenprozesse und Anpassungsprozesse durch Ozeanwellen besonders gut abbilden (Danilov et al., 2004; Danek et al., 2019). Das Spektrum an Erkenntnissen aus unabhängigen Beobachtungen und Modellen zeigt, dass die Polverschiebung der großen Zirkulationsmuster sehr wahrscheinlich eine Folge der globalen Erwärmung ist.

Mit der obigen Methode kann man auch abschätzen, wie groß der anthropogen verursachte Trend gegenüber natürlichen Fluktuationen ist, und wie schnell sich die Ozeanzirkulation verschiebt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die großräumige Zirkulation mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 800 Metern pro Jahr polwärts bewegt. Auch die Aufzeichnungen der Ozeansedimente vom Meeresboden, die vergangene Klimawechsel aufzeigen können, zeigen, dass während der letzten Eiszeit, die etwa 21.000 Jahre zurückliegt, Teile der Ozeanzirkulation (z.B. der Agulhasstrom) im Vergleich zu ihrer heutigen Position 800 km näher am Äquator gelegen hat. Dieses kann auch in dem Klimamodell simuliert werden. Dabei sind die jetzigen Veränderungen sind nur ein Vorgeschmack von Änderungen, die in der Zukunft erwartet werden, z.B. der regionale Anstieg des Meeresspiegels, Temperaturveränderungen im Ozean, der Rückgang der Fischereiproduktivität, die Verschiebung der Sturmbahnen und der Meeresarten.

Die Verschiebung der Strömungen wird weitreichende Auswirkungen auf die Umwelt und damit der Gesellschaft haben.

Eine verwandte Analyse (Yang et al., 2016) zeigt, dass die Oberflächentemperatur der Randströme in den zurückliegenden Jahrzehnten zwei- bis dreimal stärker angestiegen ist als dies in den restlichen Meeresregionen der Fall ist (Abbildung 2).

Außerdem gibt der Ozean 20 Prozent mehr Wärme an die Luft ab als noch vor 50 Jahren, was darauf schließen lässt, dass die Wassertemperatur gestiegen ist, sich ihr Fließtempo erhöht

hat und der Ozean mehr Wasser und damit auch mehr Wärme polwärts transportieren. Wo das Meer mehr Wärme abgibt, steigt möglicherweise die Sturmwahrscheinlichkeit. Japan, China und Korea zum Beispiel werden in den kommenden Jahrzehnten vor allem im Winter mit steigenden Lufttemperaturen rechnen müssen, weil der Kuroshiostrom mehr Wärme transportieren und sich mit dem Wind Richtung Norden verlagern wird. Diese Wärme wird den Zustand der Atmosphäre dahingehend verändern, dass Stürme in dieser Region wahrscheinlicher werden.

Diese neuen Studien verstärken die Besorgnis über beunruhigende Szenarien für den künftigen Klimawandel: die Möglichkeit, dass die globale Erwärmung die Zirkulationssysteme des Atlantiks sich verlagern oder abschalten könnte, mit dramatischen Auswirkungen auf Nordamerika und Europa. Zusätzlich zu den windgetriebenen Strömungen gibt es ein sogenanntes Förderband, das warmes Wasser nach Norden und kälteres Wasser in die Tiefe des Ozeans bringt. Beide Systeme tragen dazu bei, dass in Teilen Nordeuropas, die sonst viel kälter wären, relativ milde Bedingungen herrschen. Die windgetriebenen Strömungen reagieren relativ schnell, wohin gehend die Tiefenzirkulation dazu neigt, etwas langsamer auf Umweltveränderungen wie z.B. niedrige Salzgehalte zu reagieren. Somit werden die vollen Auswirkungen möglicherweise erst in Jahrzehnten oder Jahrhunderten zu spüren sein. Eine Vorgängerstudie zeigt, dass das Auftauen Grönlands auf die meridionale Umwälzzirkulation im Atlantik auswirken könnte. Diese Rückkopplung zwischen dem Schmelzen der Eisschilde und dem Salzgehalt des Ozeans werden in den derzeitigen Studien nur ungenügend berücksichtigt (Gierz et al., 2016).

- Danek, C., P. Scholz, and G. Lohmann, 2019: Effects of high resolution and spinup time on modeled North Atlantic circulation. *J. Physical Oceanography*, 49 (5), 1159–1181. doi:10.1175/JPO-D-18-0141.1.
- Danilov, S., G. Kivman, and J. Schroeter, 2004: A finite-element ocean model : principles and evaluation. *Ocean Model.*, 6, 125–150, doi:10.1016/S1463-5003(02)00063-X.
- Gierz, P., G. Lohmann, W. Wei, 2015: Response of Atlantic Overturning to Future Warming in a coupled Atmosphere-Ocean-Ice Sheet Mode. *Geophysical Research Letters*, 42, 6811–6818, DOI: 10.1002/2015GL065276
- Yang, H., Lohmann, G., Krebs-Kanzow, U., Ionita, M., Shi, X., Sidorenko, D., Gong, X., Chen, X., and Gowan, E. J., 2020: Poleward shift of the major ocean gyres detected in a warming climate. *Geophysical Research Letters* (in press) doi:10.1029/2019GL085868
- Yang, H., G. Lohmann, W. Wei, M. Dima, M. Ionita, J. Liu, 2016: Intensification and Poleward Shift of Subtropical Western Boundary Currents in a warming climate. *Journal of Geophysical Research - Oceans* 121, 4928–4945, doi:10.1002/2015JC011513

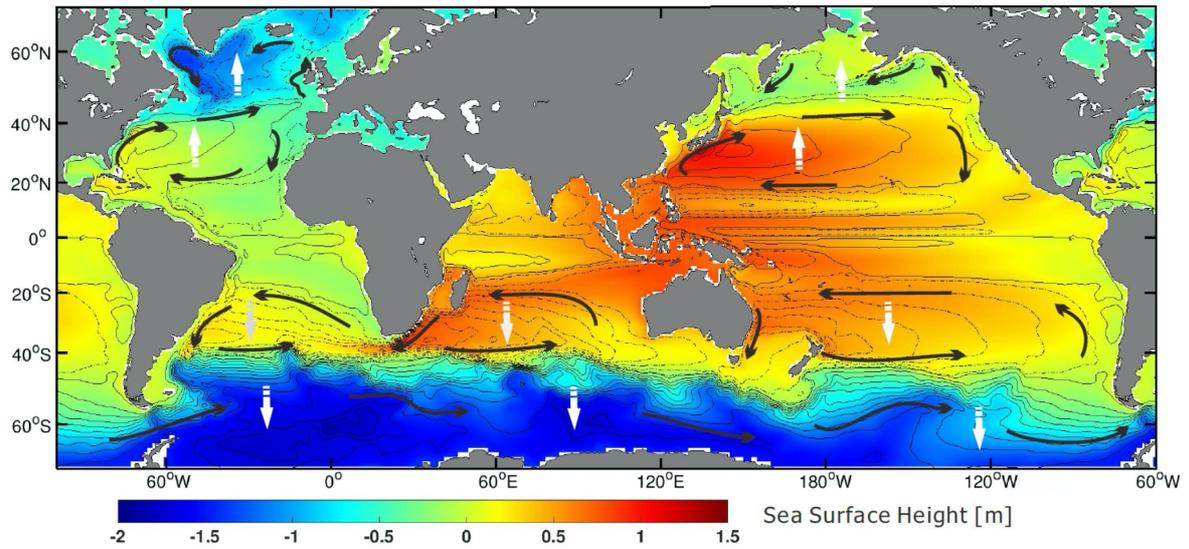


Abbildung 1: Schematische Darstellung der großen windgetriebenen Ozeanzirkulation (schwarze Pfeile) und ihrer Bewegung (weiße Pfeile) unter globaler Erwärmung.

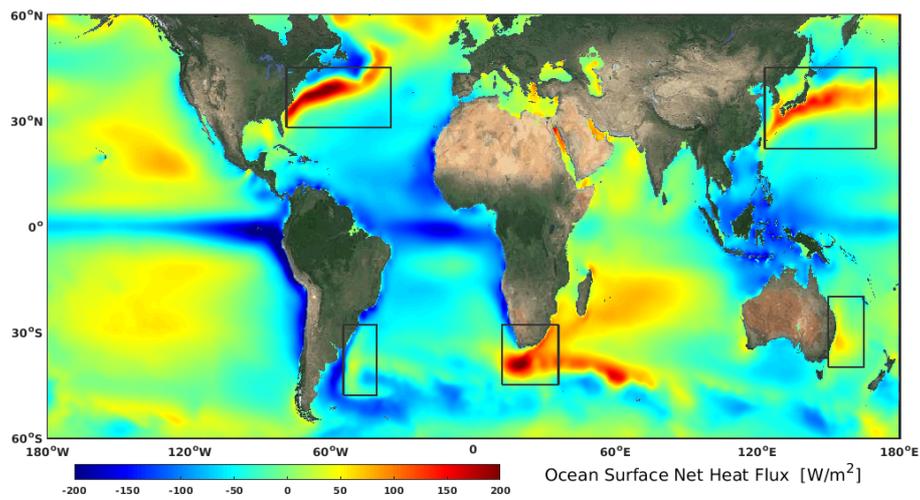


Abbildung 2: Diese Grafik zeigt den durchschnittlichen jährlichen Wärmefluss von der Oberfläche des Ozeans in die Atmosphäre. Überall dort, wo das Meer gelb, orangefarben oder rot eingefärbt ist, gibt der Ozean Wärme an die Atmosphäre ab. Die schwarzen Rahmen kennzeichnen die Lage der Randströmungen (Yang et al., 2016).