

DIE ROLLE DES OZEANS IM KLIMAWANDEL: WAS WIR WISSEN, UND WAS WIR NICHT WISSEN

19. PETERSEN EXZELLENZ-PROFESSUR 09/2018

Werner
Petersen
Stiftung



PROF. DR. TREVOR MCDOUGALL

Position: Professor für Meeresphysik,
University of New South Wales, Sydney, Australien

Forschungsinteresse: Die Rolle des Ozeans im Klimasystem,
insbesondere turbulente und thermodynamische Prozesse im Ozean

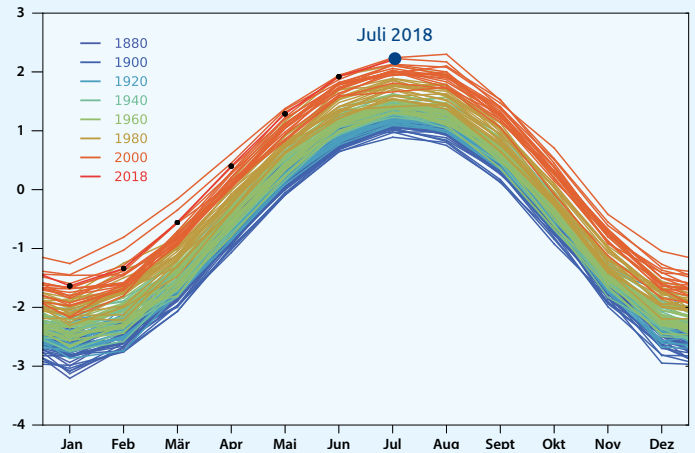




EISZEIT: 6 GRAD KÄLTER ALS HEUTE

Während des letzten Eiszeit-Maximums vor ungefähr 20.000 Jahren waren große Teile der Nordhemisphäre wie auch Nordamerika mit Eis bedeckt. Die Region von New York lag unter einem 1.000 Meter dicken Eispanser.

Veränderungen der Monatstemperaturen von 1880 bis 2018



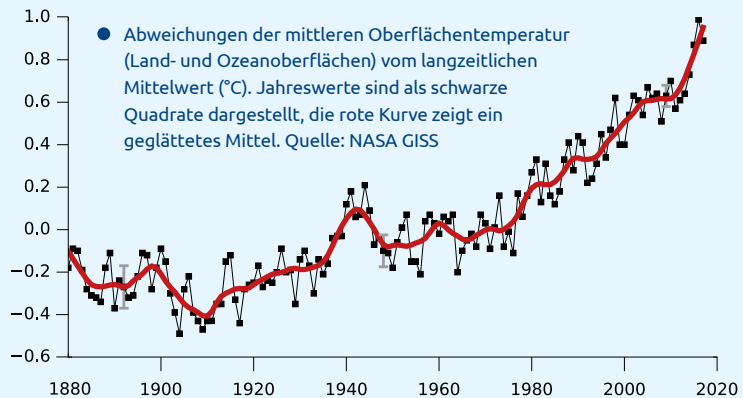
● Globale Durchschnittstemperaturanomalien in Grad Celsius (Differenz aus dem Jahresmittel von 1980 bis 2015). Grafik NASA/GISS/GISTEMP

Wir Menschen führen derzeit ein gefährliches und unkontrolliertes Experiment durch, indem wir die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern und dadurch den Planeten erwärmen und den Meeresspiegel erhöhen. Die Wechselwirkung zwischen der Atmosphäre und dem Ozean ist dabei entscheidend für Klimaschwankungen auf vielen Zeitskalen. Welche Rolle spielt der Ozean bei der Regulierung des Klimawandels auf Skalen von Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten?

Was wir wissen

Bei einer Fortsetzung der gegenwärtigen Nutzung fossiler Brennstoffe sind wir auf dem besten Weg noch vor dem Jahr 2100 die Erdoberfläche, global gesehen, um mehr als 4 Grad Celsius zu erwärmen. Dies ist das Doppelte des im Pariser Abkommen festgeschriebenen Ziels von 2 Grad Celsius. Zum Vergleich: Während der letzten Eiszeit war die Oberfläche des Planeten lediglich um 6 Grad kälter als heute und Nordamerika und Skandinavien lagen unter bis zu einem Kilometer dicken Eispansern. Eine Erwärmung in der oben dargestellten Größenordnung ist damit nicht nur sehr stark, sondern geht auch sehr rasch vonstatten. Es ist klar, dass sich unsere Wege der Energiegewinnung ändern müssen und dass wir dies sehr schnell tun müssen. Allein in den Megastädten leben derzeit ungefähr 100 Millionen Menschen etwa einen Meter über

Globale mittlere Temperatur von 1880 bis 2018



● Abweichungen der mittleren Oberflächentemperatur (Land- und Ozeanoberflächen) vom langzeitlichen Mittelwert (°C). Jahreswerte sind als schwarze Quadrate dargestellt, die rote Kurve zeigt ein geglättetes Mittel. Quelle: NASA GISS

dem aktuellen Meeresspiegel und etwa 200 Millionen Menschen in weniger als fünf Metern Höhe. Bis zum Jahr 2100 wird sich die Zahl der Menschen in den Küstenzonen verdoppeln und der Meeresspiegel wird bei einer Erwärmung um vier Grad um etwa einen Meter global steigen. In den nächsten Jahrhun-

derten ist ein Anstieg um einige weitere Meter sehr wahrscheinlich. Das Klimasystem reagiert sehr träge mit langen Verzögerungen, so auch beim Meeresspiegel, was in erster Linie auf den Ozean zurückzuführen ist. Die oberen 50 Meter des Ozeans erwärmen sich relativ leicht und schnell, um das



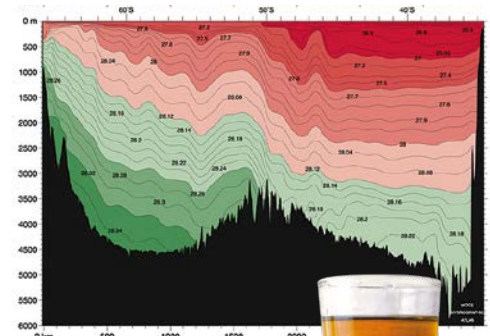
- 1 Kalter antarktischer Fallwind
 - 2 Offene Wasserfläche im Eis (Polynja)
 - 3 Wärmeverlust an die Atmosphäre
 - 4 Niederschläge (Süßwassergewinn)
 - 5 Freisetzung von Kohlendioxid
 - 6 Antarktischer Zirkumpolarstrom mit Meereswirbeln (Eddies)
 - 7 Wärmeabgabe an den Ozean
 - 8 Aufnahme von Kohlendioxid
 - 9 Dichtes kaltes Wasser sinkt ab
 - 10 Auftriebsgebiet
 - 11 Strömung (Ekman-Transport)
 - 12 Vermischung über rauher Meeresbodentopographie
- Grafik: Lynne Talley, Scripps Institution of Oceanography

gesamte Wasservolumen der Weltmeere zu erwärmen, braucht es aber viele Jahrhunderte. Aufgrund dieser Verzögerungen in der Reaktion des Klimasystems haben wir noch eine größere globale Erwärmung vor uns, als in den bisherigen Klimaaufzeichnungen zu sehen ist.

Was sind die zentralen Merkmale des Ozean-Eis-Atmosphären-Systems?

In diesem gekoppelten Klimasystem spielt der Ozean zwei Hauptrollen: einerseits ist er ein großer Wärmespeicher, der als ein großes „thermisches Schwungrad“ wirkt, und andererseits transportiert er Wärme von den warmen niederen Breiten in die kühlen

Polarregionen. Die Verteilung der Wärme im Ozean wird durch dessen Stromsystem ermöglicht. Während die horizontalen Strömungen vor allem den Wind brauchen, hängt die vertikale Verteilung und der Austausch zwischen dem wärmeren Oberflächenwasser und dem kalten Tiefenwasser insbesondere von der Vermischung im Ozean ab. Dies liefert die Motivation, die Vermischungsprozesse detailliert zu untersuchen und den damit verbundenen Strömungen und den Wärmetransport im Ozean richtig zu verfolgen. Von der zusätzlichen Wärme, die der Planet aufgrund der globalen Erwärmung absorbiert hat, befinden sich 93 Prozent davon im Ozean, da, verglichen mit

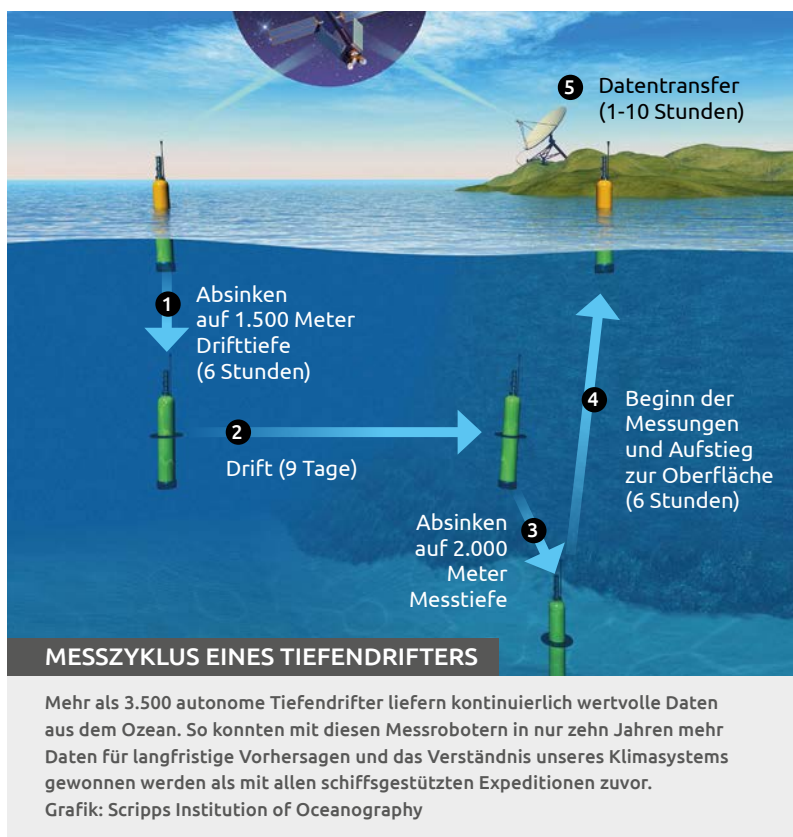


- Wie in diesem Glas mit unterschiedlich eingefärbten Flüssigkeiten verschiedener Dichte angedeutet, gibt es auch in der Wassersäule des Ozeans klar abgegrenzte Schichtungen (im Hintergrund die Dichteverteilung auf einem Schnitt durch den südlichen Ozean zwischen Australien und der Antarktis).
Quelle: WOCE Atlantic Ocean Atlas



- Die traditionelle Methode, Daten aus dem Inneren des Ozeans zu gewinnen, besteht darin, eine mit verschiedenen Sensoren bestückte Messplattform kabelgestützt in den Ozean abzusenken. Photo: David Hall / NOAA

der zum Erwärmen von Meerwasser benötigten Energie, relativ wenig Energie benötigt wird, um die Lufttemperatur zu ändern oder sogar Eis zu schmelzen. Die Sonneneinstrahlung erwärmt die Erde am stärksten in äquatorialen Breiten, und wenn es nicht die Bewegungen der gasförmigen und flüssigen Bestandteile der Erde (Atmosphäre und Ozean) gäbe, wäre es am Äquator extrem heiß und an den Polen noch kälter als derzeit beobachtet.



Vertikale Umwälzzirkulation und turbulente Vermischung

Der Ozean transportiert Wärme über eine Vielzahl von Mechanismen vom Äquator zu den Polen. In der breiten Öffentlichkeit sind insbesondere horizontale Zirkulationsmuster, wie zum Beispiel der Golfstrom, bekannt. Ein anderer Mechanismus, der weniger bekannt, aber nicht weniger wichtig ist, ist die vertikale Umwälzzirkulation, bei der relativ warmes Oberflächenwasser polwärts fließt und kaltes Wasser in tiefen Schichten zurück strömt. Das Verständnis der vertikalen Umwälzzirkulation, die auf turbulente Vermischung im tiefen Ozean beruht, hat in den letzten 15 Jahren enorme Fortschritte

gemacht. Wir verstehen nun viel mehr über die vielen Einzelprozesse, die zu turbulenter Vermischung beitragen. Insbesondere haben wir entdeckt, dass die turbulente Vermischung im tiefen Ozean stark erhöht ist, was durch die Wechselwirkung zwischen den Gezeitenströmungen und der sich ändernden Wassertiefe (wie zum Beispiel mittelozeanische Rücken) hervorgerufen wird. Die Intensivierung der Vermischung am Meeresboden hat wichtige dynamische Implikationen, die wir erst jetzt zu verstehen beginnen. Es scheint, dass der Aufstieg von dichtem, schwerem Wasser im Ozean das Resultat

einer starken vertikalen Umwälzzirkulation ist. Diese Zirkulation besteht aus einer absinkenden Bewegung im Inneren des Ozeans, insbesondere über den mittelozeanischen Rücken, und einer nach oben gerichteten Strömung in den Bodenschichten entlang der Kontinentalabhänge. Die Stärke dieser Umwälzbewegung ist etwa um einen Faktor 4 höher als die mit dem Absinken von Wassermassen in hohen Breiten verknüpfte meridionale Umwälzzirkulation.

Was wir noch nicht wissen

Viele Aspekte der Vermischung im Ozean sind auch heute noch schlecht verstanden. Zum Beispiel ist die Idee einer Oberfläche mit konstanter Dichte sowohl mit theoretischen als auch mit praktischen Komplikationen behaftet. Darüber hinaus führt die energetische Vermischung von Wärme und Salz entlang von Dichteflächen, die durch Ozeanwirbel mit Durchmesser von zirka 100 Kilometern verursacht wird, zu einer ziemlich seltsamen Art von vertikaler Bewegung, die bisher unzureichend quantifiziert werden kann.

Die Wissenschaft der physikalischen Ozeanographie ist im Vergleich zur Meteorologie jung, so wurden erst kürzlich mehrere grundlegende Prozesse im Ozean entdeckt, die noch weitgehend unerforscht sind. Das Studium der Rolle des Ozeans im Klimawandel ist daher eine Herausforderung, aber sehr lohnend und von großer Bedeutung für die Gesellschaft.

Trevor McDougall studierte zunächst Maschinenbau an der Universität von Adelaide und promovierte am Institut für Angewandte Mathematik und Theoretische Physik der University of Cambridge. 1978 kehrte er nach Australien an die Research School of Earth Sciences, Australian National University (ANU) zurück. Nach fünf Jahren an der ANU wechselte er auf eine Stelle als Physikalischer Ozeanograph an das CSIRO in Hobart. Seit 2012 ist er Professor für Ozeanphysik an der Fakultät für Mathematik und Statistik an der Universität von New South Wales, Sydney.

Trevor McDougall wurde 2012 zum Fellow der Royal Society gewählt. Er ist Fellow der Australian Academy of Science

(1997), der Australian Meteorological and Oceanographic Society (2004), des Institute of Physics (2012) und der Royal Society of New South Wales (2015) und der American Geophysical Union (2018). Er ist ferner Vizepräsident der International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO).

Er wurde für seine Forschungstätigkeit mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Humboldt Preis der Alexander von Humboldt Stiftung, der Prince Albert I Medaille der International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO), dem New South Wales Premier's Prize for Excellence in Mathematics, Earth Sciences, Chemistry and Physics und der John Conrad Jaeger Medaille der Australian Academy of Science.