

Wie die Ozeane unsere Erde kühlen

Diese Woche erscheint der Spezialbericht des Klimarats über die Weltmeere. Wir erklären, warum die Ozeane für das globale Klima eine entscheidende Rolle spielen.

Von [Arian Bastani](#), 23.09.2019

Was beim einen Ohr hineinkommt, geht beim anderen Ohr wieder hinaus. So geht es Menschen, wenn sie in langweiligen Vorträgen sitzen. Beim Klima, wo die Gesetze der Physik gelten, ist fast dasselbe Prinzip am Werk: Was an einem Ort rauskommt, muss an einem anderen Ort wieder hineingehen.

Ein klimawirksamer Stoff, dessen Verbreitung sich anhand dieses Prinzips beschreiben lässt, ist Kohlendioxid: CO₂. Also jene Substanz, die bei der Verbrennung von Erdöl oder Kohle in die Atmosphäre entweicht und über den Treibhauseffekt von dort aus ihre erwärmende Wirkung entfaltet.

Wie der Haushalt dieser Substanz funktioniert – und welche Rolle das Meer dabei spielt –, dem gehen wir in der ersten Hälfte dieses Beitrags nach.

Die CO₂-Bilanz der Erde

Zentral ist dabei die Erkenntnis: Das Kohlendioxid, das wir ausstossen, landet nicht nur in der Atmosphäre. Denn die atmosphärische Luft steht in ständigem Austausch: mit der terrestrischen Sphäre, also mit Wiesen, Bäumen und Böden, und mit der ozeanischen Sphäre, also mit Wasser.

Wie der CO₂-Austausch zwischen diesen Sphären verläuft, stellt die folgende Grafik überblicksmässig dar. Es handelt sich um eine Art von Bilanz:

- Oberhalb der Nulllinie sind alle **Quellen** aufgeführt, von denen aus aufgrund menschlicher Aktivitäten Kohlendioxid in die Luft entwichen ist – also primär die fossilen Rohstoffe, aber auch die Abholzung.
- Unterhalb der Nulllinie sind die Orte aufgeführt, die das entwichene Kohlendioxid aufgenommen haben: Luft, Wasser, Land. Die **Senken**.

Wie es bei Bilanzen üblich ist, stimmen die Plus- mit den Minus-Posten (bis auf eine unerklärte Restgrösse – vermutlich Mess- und Modellierungsungenauigkeiten) überein. Die Gesamtsumme für jedes Jahr ist null: Was irgendwo rausgekommen ist, ging irgendwo anders wieder hinein.

Die Grafik zeigt, wie der jährliche CO₂-Ausstoss seit 1900 zugenommen hat: In diesem Zeitraum haben wir im Total über 2000 Gigatonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre entlassen. Rund drei Viertel davon stammen aus der Verbrennung fossiler Kohlenstoffreserven und aus der Zementproduktion.

Doch nur etwa 40 Prozent sind in der Luft verblieben. Der Rest wurde von den erwähnten Senken aufgenommen: Wasser und Land.

Land

Zuerst zum Land. Dieses spielt eine ambivalente Rolle. Einerseits ist es eine Quelle von Emissionen (hellbraun): Durch das Abholzen von Wäldern, das Verbrennen von Holz und das Umpflügen von Böden gelangt gespeicherter Kohlenstoff in die Luft. Bis etwa Mitte der 1960er-Jahre überwog dieser Aspekt: Die Bilanz der Landsphäre lag insgesamt im positiven Bereich.

Seither hat der CO₂-Ausstoss aus diesen Quellen nicht etwa aufgehört. Doch mit den steigenden Emissionen nahm der Gegeneffekt überhand (grün): Pflanzen nahmen durch die Fotosynthese CO₂ aus der Luft auf und wandelten es in Biomasse um. Mit der Zeit, durch das Absterben der Pflanzen, gelangte Biomasse und damit auch Kohlenstoff in den Boden.

Seit 1900 haben die Landmassen etwa 30 Prozent der gesamten Emissionen gebunden. Zieht man davon die Emissionen ab, die durch die Abholzung entstanden sind, bleibt eine Menge übrig, die etwa 3 Prozent der fossilen Emissionen entspricht. Damit bildete das Land netto eine leichte Senke.

Ozean

Die Rolle des Ozeans ist eindeutiger. Mit der Aufnahme von rund einem Viertel der menschlichen Emissionen seit 1900 bildete er die wichtigste Kohlendioxidsenke, ohne dabei selbst gleichzeitig als Quelle zu wirken.

Die Aufnahme von CO₂ geschieht in der Oberflächenschicht des Meeres. Wo die Konzentration im Wasser kleiner ist als in der darüberliegenden Luft, geht dieses in den Ozean über. Weil die Luftkonzentration von CO₂ über die Jahre stieg, hat entsprechend auch die Aufnahme ins Wasser zugenommen.

Die Konzentration im Ozean hängt wiederum vor allem von einem anderen Stoff ab. Denn anders als in der Atmosphäre geht CO₂ im Ozean chemische Reaktionen ein und wird damit abgebaut. Wäre das nicht der Fall, könnten die Meere deutlich weniger aufnehmen. Dieser andere Stoff ist Karbonat, das manchen ein Begriff im Zusammenhang mit Wasserhärte sein mag. Wo viel davon im Wasser ist, entfernt der Ozean mehr von unseren Emissionen.

Nun bleibt das mit Kohlenstoff vollgepackte Wasser nicht einfach an Ort und Stelle, der Ozean ist sehr dynamisch. Sondern es wird mit der Strömung in Richtung der Pole getrieben. Dort kühlt es ab, wird dichter, salziger und deswegen auch schwerer und sinkt in die Tiefe. Das darin gebundene CO₂ sinkt mit. Entsprechend ist – über die gesamte Wassersäule aufsummiert – der Kohlendioxidgehalt an jenen Orten am grössten, wo die vertikale Strömung von der Wasseroberfläche hin zum Meeresgrund am stärksten ist.

Wo dies der Fall ist, zeigt die folgende Grafik: in der nördlichen Hälfte des Atlantiks. Dort ist die Sinkströmung stark und der CO₂-Gehalt hoch.

Im Süden des Globus ist der Transport in Richtung Meeresgrund einerseits gleichmässiger verteilt, darum bilden sich keine so starken Aggregationen. Andererseits strömt hier auch viel Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche. Dieses war nicht in Kontakt mit der Luft und deswegen auch nicht mit dem vom Menschen emittierten Kohlendioxid.

Die Umwälzung des Ozeans ist ein Prozess, der Jahrhunderte dauert. Seine Geschwindigkeit limitiert auch die CO₂-Aufnahme des Meeres. Wäre die Umwälzung schneller, hätte der Ozean bereits deutlich mehr Kohlendioxid aufgenommen. Und auch deutlich mehr Wärme – eine weitere Grösse, die dem Langweilige-Vorträge-Gesetz folgt. Will man die Rolle der Meere im Klimasystem verstehen, muss man auch diese Grösse genau anschauen.

Das tun wir in der zweiten Hälfte dieses Beitrags, zu der wir nun kommen.

Wärmehaushalt

Wie bereits beim Kohlendioxid ersichtlich wurde, stehen die verschiedenen Sphären der Erde miteinander im Austausch und bilden so ein Gesamtsystem – das Klimasystem. Das ist im Falle der Wärme nicht anders.

Der wichtige Unterschied zum CO₂ ist jedoch, dass die Wärme von aussen kommt: von der Sonne. Und was von aussen ins Klimasystem hineinkommt, muss – wir kennen das Prinzip bereits zur Genüge – wieder irgendwo raus.

Wegen der fossilen Emissionen und des Treibhauseffekts ist dies aber bei der Wärme zunehmend nicht mehr der Fall. Es entweicht weniger Wärme, als Wärme ankommt – so entsteht ein Wärmeüberschuss. Darum steigt die Erdtemperatur. Wie stark, haben wir diesen Sommer wieder deutlich zu spüren bekommen: Der Juli war global der heisseste jemals gemessene Monat. Seit 1880 sind die Temperaturen insgesamt um 1 Grad gestiegen.

Wovon wir im Alltag aber kaum etwas mitbekommen, ist, wie viel dieser Wärme uns durch den Ozean erspart bleibt. In der öffentlichen Diskussion geht oft vergessen, welche wichtige Funktion die Weltmeere fürs Klima

haben: Sie sind der effektivste Bremsklotz für die Erwärmung, den es überhaupt gibt.

Warum bremst der Ozean den Klimawandel?

- Den ersten Grund haben wir bereits kennengelernt: Die Wassermassen wirken als Senke und nehmen einen Teil des emittierten CO₂ auf. Das lässt mehr Wärmeabstrahlung ins Weltall zu.
- Der zweite Grund: Der Ozean nimmt den Grossteil der zusätzlichen Wärme, die durch den Treibhauseffekt zurückgehalten wird, in sich auf.

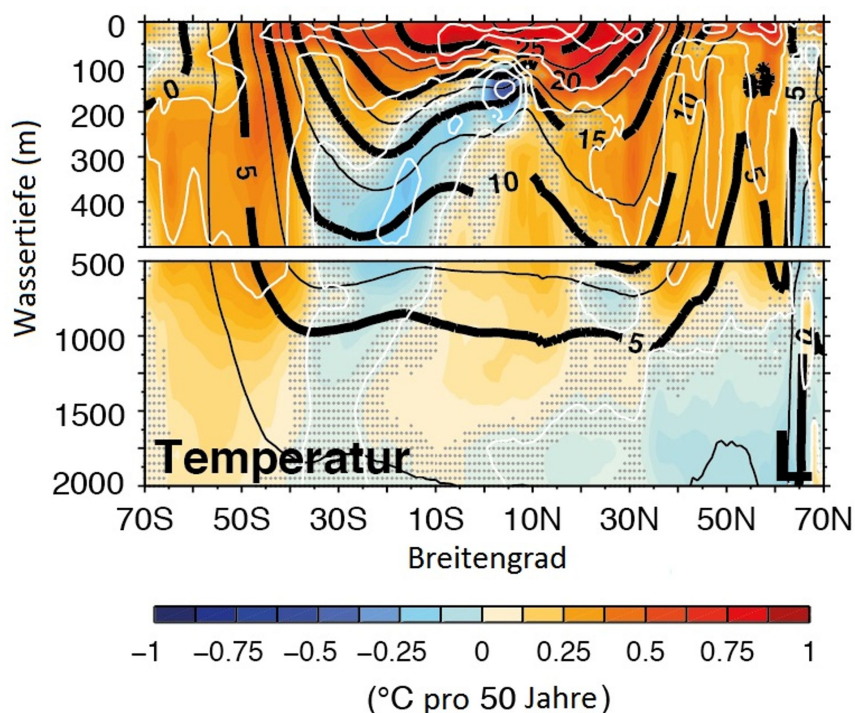
Wie bedeutsam dieser Effekt ist, macht die unten stehende Grafik deutlich: Nur der kleinste Teil des Wärmeüberschusses – rund 1 Prozent – verbleibt tatsächlich in der Atmosphäre und wärmt diese auf. Und bloss ein paar Prozente des Wärmeüberschusses wärmen das Land auf und schmelzen das Eis auf den Gletschern und den Polarkappen. Für die Temperaturerhöhung, die wir mitbekommen, ist also nur ein Bruchteil der Hitze verantwortlich.

Den weitaus grössten Teil hat das Meer absorbiert: etwa 90 Prozent. Dafür verantwortlich sind die hohe Wärmekapazität von Wasser und die grosse Masse des Meeres. Wie sich der Wärmeüberschuss, der etwa seit den 1970er-Jahren existiert, auf die Sphären verteilt, das zeigt die folgende Grafik.

Aufgrund der langsamen Umwälzung des Ozeans sind bisher, ähnlich wie bei der CO₂-Aufnahme, vor allem die Oberflächengewässer in Kontakt mit der Überschusswärme gekommen. Entsprechend sind in den obersten 700-Meter Wasser zurzeit auch noch etwa zwei Drittel der Wärme gespeichert.

Doch allmählich wird die Wärme – in denselben Regionen wie das CO₂ – in die Tiefe transportiert. Dargestellt ist dies in der nächsten Grafik: Sie zeigt auf einem Querschnitt von Süden nach Norden, wie stark sich der Ozean

über die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts erwärmt hat. Man sieht: An mittleren und hohen Breitengraden ist die Hitze bereits nach unten durchgedrungen. Anders ist die Lage am Äquator, wo die oberste Wasserschicht zwar deutlich heisser geworden ist, nicht aber die tieferen Wassermassen.



Quelle: IPCC. Querschnitt entlang der Süd-Nord-Achse. Farben kennzeichnen Temperaturveränderung von 1950 bis 2000. Die dicken schwarzen Linien markieren gleich hohe Zahlenwerte.

Zusammen mit der hohen Wärmekapazität des Wassers sorgt die langsame Umwälzung dafür, dass sich der Ozean als Ganzes nur langsam erwärmt. Statt innerhalb von wenigen Jahren, wie an Land und in der Luft, steigt die Temperatur im Ozean deshalb nur über Jahrzehnte und Jahrhunderte.

Wegen dieser Latenzzeit reagiert der Ozean zurzeit noch immer auf Emissionen, die bereits Jahrzehnte zurückliegen. Er wird sich auch dann noch weiter erwärmen, wenn die Emissionen ganz auf null sinken.

Ausblick

Die Weltmeere bewahren uns also vor einer deutlich stärkeren Erwärmung. Dies, indem sie einen Teil der CO₂-Emissionen aus der Atmosphäre entfernen und indem sie praktisch die ganze im Treibhaus erzeugte Überschusswärme absorbieren.

Diese Dienstleistung hat jedoch auch ihren Preis – für den Ozean und seine Bewohner. In einem Spezialbericht geht der Weltklimarat am Mittwoch darauf ein. In den folgenden Wochen berichten wir hier davon – und hoffen mit den Wissenschaftlern, dass deren Aussagen nicht bloss beim linken Ohr hinein- und beim rechten Ohr wieder hinausgehen. Sondern dass sich die klimatologischen Befunde ins Gedächtnis der Öffentlichkeit einprägen.