

Der Verlauf des Golfstroms, sichtbar gemacht.

BILD: NASA

# Der Golfstrom schwächelt

Eines der wichtigsten Wärmetransportsysteme der Erde wird langsamer. Das wird das Wetter in Europa, den USA und Afrika durcheinanderwirbeln

VON JOACHIM LAUKENMANN

In Roland Emmerichs Katastrophenfilm „The day after tomorrow“ überschlagen sich die Ereignisse. Kaum hat der Klimaforscher Jack Hall die von den schmelzenden Polkappen ausgehende Gefahr erkannt, wird Manhattan von einer 50 Meter hohen Flutwelle verschluckt und die halbe Nordhalbkugel durch gigantische Hurrikane tiefgefroren.

Eine so abrupte Klimakatastrophe ist natürlich dem Gesetz der Dramaturgie geschuldet. Doch nicht alles in diesem Blockbuster ist Unsinn. Das Schmelzen der Polkappen, der Abfluss von Süßwasser ins Meer und die davon ausgelöste Schwächung der Meeresströmung sind plausible Szenarien. In Wirklichkeit würde deren Versiegen allerdings Jahrzehnte bis Jahrhunderte benötigen.

Nun zeigen zwei Studien in der Fachzeitschrift *Nature*, dass entsprechende Prozesse bereits im Gange sind. Forscher um Levke Caesar vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) liefern Belege für eine Abschwächung der nordatlantischen Ozeanzirkulation, der sogenannten Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), zu der auch der Golfstrom gehört. Die Ergebnisse werden größtenteils durch eine zweite, ebenfalls in *Nature* publizierte Forschungsarbeit gestützt. David Thornalley vom University College London hat darin mit seinem Team einen längerfristigen Blick auf den Nordatlantikstrom geworfen. Das Resultat: Aktuell ist die AMOC so schwach wie seit 1600 Jahren nicht mehr. Beide Untersuchungen zeigen, dass die AMOC heute etwa 15 Prozent schwächer ist als vor hundert Jahren.

„Dies sind sehr interessante Studien“, sagt Thomas Frölicher von der Abteilung Klima und Umweltphysik (KUP) der Universität Bern, der sich mit Ozeanmodellrechnungen beschäftigt. „Die gewählten Methoden sind sehr innovativ und erlauben nun erstmals, quantitative Rückschlüsse über die Vergangenheit des Nordatlantikstroms zu ziehen.“ Auch Thomas Stocker, der die KUP leitet, hält die Studien für relevant: „Wichtig sind sie einerseits im Hinblick auf die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Ozeanzirkulation. Andererseits liefern sie neue Informationen über die langfristige natürliche Variabilität der Ozeanzirkulation im Nordatlantik.“

Aufgrund von Computersimulationen sagen Forscher schon lange voraus, dass sich die AMOC als Folge der Emission von Treibhausgasen abschwächen wird. Direkte Messungen dieser Meeresströmungen gibt es allerdings erst seit etwas mehr als einem Jahrzehnt – ein Zeitraum, in dem na-

türliche Variationen die Änderungen dominieren und nicht der viel längerfristig wirkende Klimawandel. Die Änderung der AMOC über Jahrzehnte hinweg lässt sich daher nur indirekt rekonstruieren. Genau das haben die beiden Forschergruppen getan – wenn auch auf unterschiedliche Art und Weise.

Das Team um Caesar hat alle verfügbaren Daten über die Temperatur der Meeresoberfläche von 1870 bis heute analysiert. Schon seit mehr als hundert Jahren kühlt sich demnach der subpolare Atlantik südlich von Grönland ab. Dies ist eine der wenigen Meeresregionen, die trotz globaler Erwärmung kälter werden. Zudem zeigen die Daten eine deutliche Erwärmung im Bereich des Golfstroms vor der Ostküste der

## Der Nordatlantik ist bereits abgekühlt, vor der Ostküste der USA ist es wärmer geworden

USA. Dieses Temperaturmuster lässt sich mit einer Schwächung der Nordatlantikströmung erklären. Bringt diese weniger Wärme nach Norden, kühlt sich der Nordatlantik ab. Gleichzeitig verlagert sich der Golfstrom in der Nähe der USA nach Norden und Richtung Land. Dabei erwärmt er die Gewässer entlang der nördlichen Hälfte der US-Atlantikküste.

Ob diese Prozesse tatsächlich mit dem Klimawandel zusammenhängen, haben die Studienautoren mithilfe hochauflösender Klimasimulationen überprüft. Konkret haben sie die gemessene Temperaturentwicklung des Nordatlantiks für die Zeit

von 1870 bis 2016 mit dem Computer rekonstruiert. Messung und Simulation stimmen nur dann überein, wenn bei der Simulation die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zwischen Anfang und Ende der Simulation von Jahr zu Jahr ansteigt. Das legt nahe, dass Treibhausgasemissionen für die marinen Temperaturmuster verantwortlich sind, die sich wiederum am besten mit einer schwächenden Meeresströmung erklären lassen.

„Die Studie ist überzeugend, weil sie die Effekte auch in den 15 Klimamodellen findet, die für den letzten Bericht des Weltklimarats IPCC analysiert wurden“, sagt Stocker. „Das Resultat zeigt eindrücklich, wie der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht nur die weltweite Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans verursacht, sondern auch die Zirkulationsmuster im Ozean großräumig verändert.“ Da die AMOC einen wichtigen Beitrag zum Wärmefluss vom Äquator zum Pol leistet, sei diese Veränderung von globaler Bedeutung.

Thornalley und seine Kollegen haben Modellsimulationen mit neuen Analysen aus Tiefseebohrkernen kombiniert. Damit zeigen die Forscher erstmals die zeitliche Variabilität einer Tiefenströmung in der Labradorsee über die letzten 1600 Jahre auf. „Das liefert die notwendige Basis, um die Änderungen der letzten 50 Jahre, in denen der menschliche Einfluss in vielen Teilen des Klimasystems messbar wird, in einen längerfristigen Zusammenhang zu stellen“, sagt Stocker. Laut Frölicher zeigen die Studien erstmals, dass die Ozeanzirkulation im Atlantik vom Klimawandel bereits betroffen ist. „Damit die gewonnenen Er-

kenntnisse auch verifiziert werden können, ist es von großer Bedeutung, dass die vorhandenen direkten Messungen der AMOC weitergeführt werden.“

In einem Aspekt unterscheiden sich die Studien allerdings: im Zeitpunkt, zu dem die Nordatlantikströmung maßgeblich zu schwächeln beginnt. Caesar und Koautoren datieren das auf Mitte des 20. Jahrhunderts. Thornalley und Kollegen dagegen schon hundert Jahre früher. Das fällt mit dem Ende der kleinen Eiszeit um 1850 zusammen, als Gletscher und Eiskappen geschmolzen sind. Damals habe sich das Frischwasser mit dem Meerwasser vermischt, dieses leichter gemacht und so die Zirkulation der Meeresströmung gebremst. Die folgende Industrialisierung mit den damit verknüpften Treibhausgasemissionen habe den Effekt aber erhalten oder gar verstärkt. Das zeigt: „Neben dem menschlichen Einfluss der letzten 50 Jahre spielen auch noch andere Effekte eine Rolle“, sagt Stocker.

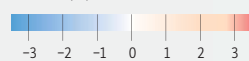
Möglicherweise habe der Strömungswandel bereits das Wettergeschehen beeinflusst, schreiben die Forscher um Caesar. Kalte Luft über dem subpolaren Atlantik führe häufig zu heißen Sommern in Europa. Tatsächlich war der Hitzesommer 2015 mit einer rekordverdächtigen Kälteblase über dem Nordatlantik verknüpft. „Verschiedene Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass eine starke Abschwächung der AMOC zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Winterstürmen über Europa führt“, sagt Frölicher. „Dies muss jedoch noch genauer untersucht werden. Es ist zurzeit nicht klar, ob die bereits beobachtete Abnahme in der AMOC groß genug ist, um einen signifikanten Einfluss auf das europäische Klima zu haben.“ Zudem haben Studien gezeigt, dass eine schwache nordatlantische Strömung den Meeresspiegelanstieg an der US-Küste für Städte wie New York und Boston verschärft. Und die Sahelzone in Afrika dürfte noch trockener werden als ohnehin schon.

Wenn die globale Erwärmung weitergeht, schreiben die Forscher, sei langfristig mit einer zunehmenden Schwächung der AMOC zu rechnen. Die Nordatlantikströmung ist ein sogenannter Kippunkt im Klimasystem: Ist die Strömung einmal zu schwach, lässt sich deren vollständiges Versiegen nicht mehr verhindern. Die große Frage ist: Wie nahe ist die AMOC bereits an diesem Kippunkt? Und kann ein Überschreiten noch verhindert werden? „Aus unseren Arbeiten wissen wir“, sagt Stocker, „dass eine Verlangsamung und Beschränkung der Erwärmung, also dringender Klimaschutz, das Überschreiten verhindern kann.“

## Wie die Meeresströmung die Temperatur regelt

Eine schwächere atlantische Meeresströmung bringt weniger Wärme nach Norden. Der Nordatlantik kühlt ab. Gleichzeitig verlagert sich der Golfstrom in der Nähe der USA nach Norden und Richtung Land. Dabei erwärmt er die Gewässer entlang der US-Atlantikküste.

Beobachtete Temperaturänderung des Meerwassers seit 1870 (°C)



Gratik: tamedia/SZ-Gratik; Quelle: PIK

