

## Wissen



Im Katastrophenfilm «The Day After Tomorrow» trifft eine gewaltige Flutwelle New York, ausgelöst durch eine Schwächung der Meeresströmung. Foto: Entertainment Pictures, Alamy

# Der Golfstrom schwächelt

Eines der wichtigsten Wärmetransportsysteme der Erde, die nordatlantische Ozeanzirkulation, wird langsamer. Das hat Folgen für das Wetter in Europa, den USA und Afrika.

**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 immense 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 «Nature», dass entsprechende Prozesse bereits im Gang 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.

### Strömung 15 Prozent langsamer

Die Ergebnisse werden grossteils durch eine ebenfalls in «Nature» publizierte Forschungsarbeit gestützt. David Thornalley vom University College London und Kollegen haben einen längerfristigen Blick auf den Nordatlantikstrom geworfen. Das Resultat: Aktuell ist die Amoc so schwach wie seit 1600 Jahren nicht mehr. Und beide Studien zeigen, dass sie heute rund 15 Prozent schwächer ist als vor hundert Jahren.

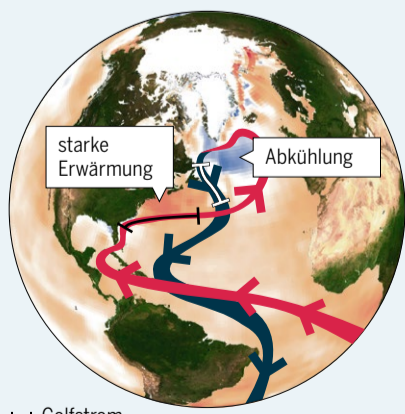
«Dies sind sehr interessante Studien», sagt Thomas Frölicher von der Abteilung Klima und Umweltphysik (KUP) der Universität Bern, der sich mit Ozeanmodellrechnungen beschäftigt. «Die gewählten Methoden sind sehr innovativ und erlauben nun erstmals quantitative Rückschlüsse über die Vergangenheit des Nordatlantikstroms zu ziehen.» Auch Thomas Stocker, der die

KUP leitet und viele Jahre Co-Vorsitzender der Arbeitsgruppe I (Wissenschaftliche Grundlagen) des Weltklimarats IPCC war, 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.»

Die Forschungsergebnisse kommen zu einem Zeitpunkt, wo Klimaschutz weit oben auf der politischen Agenda steht: Die Umweltkommission des Nationalrats beschäftigt sich derzeit mit der Detailberatung zum neuen CO<sub>2</sub>-Gesetz.

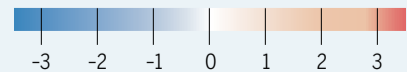
### Wie die Meeresströmung die Temperatur regelt

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.



→ Golfstrom  
← Labradorstrom  
↻ Nordatlantische Ozeanzirkulation

Beobachtete Temperaturänderung des Meerwassers seit 1870 (°C)



Grafik vif / Quelle: PIK

Anhand 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 natürliche 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 taten die beiden Forschergruppen 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. Das 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 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 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 leiste, sei diese Veränderung von globaler Bedeutung.

Thornalley und Co-Autoren haben Modellsimulationen mit neuen Analysen aus Tiefseebohrkernen kombiniert. Damit zeigen die Forscher erstmals die zeitliche Variabilität einer Tiefenströmung in der Labradorsee über die vergangenen 1600 Jahre auf. «Das liefert die nötige Basis, um die Änderungen der letzten 50 Jahre, wo der menschliche Einfluss in vielen Teilen des Klimasystems messbar wird, in einen längerfristigen Zusammenhang zu stellen», sagt Stocker.

### Die Veränderung der Strömung ist von globaler Bedeutung.

Laut Frölicher zeigen die Studien erstmals, dass die Ozeanzirkulation im Atlantik vom Klimawandel bereits betroffen ist. «Damit die gewonnenen Erkenntnisse 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: beim Zeitpunkt, zu dem die Nordatlantikströmung massgeblich zu schwächeln beginnt. Caesar und Co-Autoren datieren das auf Mitte des 20. Jahrhunderts. Thornalley und Kollegen bereits hundert Jahre früher. Das fällt mit dem Ende der Kleinen Eiszeit um 1850 zusammen, als Gletscher und Eiskappen schmolzen. Damals habe sich das Frisch-

wasser 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.

### Heissere Sommer in Europa

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 Studien 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.

Geht die globale Erwärmung weiter, schreiben die Forscher, sei langfristig mit einer weiteren Schwächung der Amoc zu rechnen. Die Nordatlantikströmung ist ein sogenannter Kipppunkt im Klimasystem: Ist die Strömung einmal zu schwach, lässt sich ihr vollständiges Versiegen nicht mehr verhindern. Die grosse Frage ist: Wie nahe ist die Amoc bereits an diesem Kipppunkt? 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.»