

2000 gelbe Gummi-Enten reisen als Gefangene eines Wirbels über die Ozeane

Aus der Luft sind die Meeresströmungen nur schwer zu erkennen – ganz zu schweigen von dem, was sich unter Wasser abspielt

Der Container löste sich bei rauer See aus seiner Verankerung und wurde von einer Welle wie ein Schuhkarton von Bord geschubst. Beim Aufprall in der aufgewühlten See barst der Stahlkasten. Seine Ladung: 28 000 Quetscheentchen. Die gelben Gummitiere wurden von Wellen und Strömungen in alle Richtungen über die Weltmeere verteilt. Doch etwa 2000 blieben beisammen und kreisten durch den Nordpazifik. Sie waren Gefangene eines Wirbels, der sich alles Treibgut einverleibt und nicht wieder freilässt. Ein Schwarzes Loch des Ozeans.

Die riesigen Strömungswirbel „fangen Wassermassen und schwimmende Objekte ein“, erklärt Michael Dellnitz, Professor für Numerische Mathematik und Dynamische Systeme an der Universität Paderborn. Aus ihnen gibt es kein Entrinnen, ähnlich wie bei den Schwarzen Löchern im All mit ihrer unvorstellbaren Anziehungskraft. Beide Phänomene geben Rätsel auf. Doch nun konnten die Forscher einige Geheimnisse der mysteriösen Meereswirbel lüften und beschreiben, was in

Satellitenbilder ermöglichen eine präzisere Beschreibung der Wirbel

ihrem Inneren passiert – und wie sie womöglich unser Klima verändern werden.

Das Problem bei der Untersuchung der Strömungen: Auch wenn die gewaltigen Wirbel Durchmesser von mehr als 150 Kilometer haben können, sind sie im bewegten Chaos der Ozeane aus der Luft schwer zu erkennen. Ganz zu schweigen von dem, was sich unter der Wasseroberfläche abspielt.

Jetzt ist es erstmals gelungen, anhand von Satellitenbildern und einer neuen mathematischen Methode (vgl. rechte Seite oben) einige der Wirbel präziser zu beschreiben. George Haller, Professor für

Die Mathematik der Wirbel

Die Schwarzen Löcher der Meere geben sich bedeckt. Ozeanographen können zwar anhand von Satellitendaten ihre Ausprägungen an der Meeresoberfläche ermitteln. Doch das Spannende, der Transport von Wassermasse, findet unterhalb der Oberfläche statt. Daher ist eine mathematische 3-D-Analyse der Wirbel nötig, um die Wasserströme richtig zu erfassen.

Ein Verfahren hierfür haben Mathematiker und Ozeanographen von der University of New South Wales im australischen Sydney und der Universität Paderborn entwickelt: In ihrem Modell werden virtuell viele Millionen Schwebeteilchen im Ozean verteilt, deren Bewegungen berechnet und so die Wirbelstrukturen identifiziert.

Kosmisches Vorbild

Schwarze Löcher im Weltall (Illustration links) sind Schwerkraftmonster, die alles in sich einsaugen, was ihnen zu nahe kommt. Selbst für Licht gibt es kein Entrinnen. Fliegt ein Lichtstrahl aber in einem bestimmten Abstand an dem Schwarzen Loch vorbei, wird er so gekrümmt, dass er endlos um das Schwerkraftgebilde herumkreist. Ähnlich verhält sich das Wasser entlang der Grenze eines Schwarzen Lochs des Ozeans (roter Kreis oben). Wie bei den Vorbildern im All entkommt nichts aus dem Inneren dieser Grenzregion.



Die Meereswirbel sind ein launischer Motor für das gesamte Weltklima

Nichtlineare Dynamiken an der ETH Zürich, und Francisco Beron-Vera, Forschungsprofessor für Ozeanographie an der Universität von Miami, wiesen damit nach, dass die rotationsgewaltigen Meereswirbel mathematisch tatsächlich den Schwarzen Löchern im All ähneln.

Zugrunde liegt ein aus der Astronomie bekannter Effekt: Streift Licht ein Schwarzes Loch in einem bestimmten Abstand,

Wo Meeresströme aufeinandertreffen, wirken gewaltige Kräfte

wird es nicht verschluckt, sondern durch die immense Schwerkraft so stark gebogen, dass sich der Strahl zu einem kreisförmigen Orbit schließt. Es entsteht eine regelrechte Barriere aus geschlossenen Lichttringen. „Licht umkreist das Schwarze Loch endlos, ohne sich herein- oder herauszudrehen“, verdeutlicht Mathematiker Haller die Ereignisse in der Region, die Photonensphäre genannt wird.

Ähnlich dem Licht in einer Photonen-sphäre verhält sich auch das Wasser entlang der Grenze eines Meereswirbels. „Die Flüssigkeitspartikel bewegen sich wie auf einem geschlossenen Orbit“, sagt der Züricher Experte. „Der Wirbel hat eine Grenze, die Wasser erfasst, es nicht ins Innerste des Wirbels lässt, aber auch nicht aus dem Wirbel herauslässt. Alle anderen passiv schwimmenden Objekte werden in den Wirbelstrom gesaugt, auch wenn sie weiter entfernt sind.“

Ohne eigenen Antrieb – wie etwa bei einem Tier oder einem Schiff – entkommt also nichts aus dem Inneren dieser ge-



Schlecht für das Klima: Schmelzende Gletscher verringern den Salzgehalt der Meere, was die Meeresströmungen schwächt. Die großen Wirbel könnten dem Salzverlust entgegenwirken, hoffen die Forscher

schlossenen Barrierelinien. Nicht einmal Wasser. Haller nennt das „die einfache Erklärung“ des Vorgangs. Die rein mathematische sei hochkomplex. Klar ist: Genau diese berechenbaren Barrieren sind es, die dabei helfen, aus der von Satelliten gelieferten Datenfülle die ozeanischen Wirbel zu identifizieren.

Das Phänomen tritt besonders in der Nähe des Äquators auf, wo sich die Wassermassen der Nordhalbkugel mit denen der Südhalbkugel vereinen (vgl. rechte Seite). Dabei wirken gewaltige Kräfte, die entstehen, wenn Strömungen mit unterschiedlichen Wassertemperaturen aufein-

andertreffen. „Diese Wirbel gab es immer. Es fehlte nur das Werkzeug, um sie zu beschreiben“, sagt Ozeanograph Beron-Vera. Aber wie viele solcher Wirbel rotieren durch die Meere? „Viele ist eine gute Schätzung“, meint er. Die Forschung steht erst am Anfang.

Trotz ihrer gewaltigen Sogkräfte sind die ozeanischen Schwarzen Löcher weit davon entfernt, so etwas wie Bermuda-Dreiecke zu sein: „Ein verlassenes Schiff in der Nähe eines solchen Wirbels würde sehr langsam spiralförmig in das Zentrum des Wirbels treiben und dort einfach stehen bleiben“, beruhigt Haller. Kollege Beron-Vera sekundiert: „Keine Sorge, die Wirbel werden niemanden verschlucken.“ Denn alles, was in ihren Sog gerät, wird wie die Quetscheentchen und anderer Plastikmüll im Strudel gefangen und an der Wasseroberfläche weitergetragen.

So kommt wohl auch einer der größten Müllteppiche, der sogenannte Great Pacific Garbage Patch („Großer Pazifik-Müllfleck“), im Nordpazifik zustande (vgl. Grafik Seite 20/21). „Wasser und schwimmende Materialien wie Schutt, Plankton, Öl und Nährstoffe werden durch die Wirbel weitergetragen wie mit einer Art Wassertaxi“, sagt Beron-Vera.

Doch auch wenn sie nichts und niemanden verschlucken, könnten die Schwarzen Löcher des Ozeans großen Einfluss auf unser Leben nehmen. Denn aller Wahrscheinlichkeit nach wirken sich die Wirbel auf das Klima aus. Darauf deutet eine gemeinsame Arbeit von Haller und Beron-Vera hin, die sieben sogenannte Agulhasringe untersuchten. Das sind Meereswirbel, die im Indischen Ozean an der Südspitze Afrikas entstehen (vgl. Gra-

Die Aktivität der Agulhasringe nimmt durch den Klimawandel zu

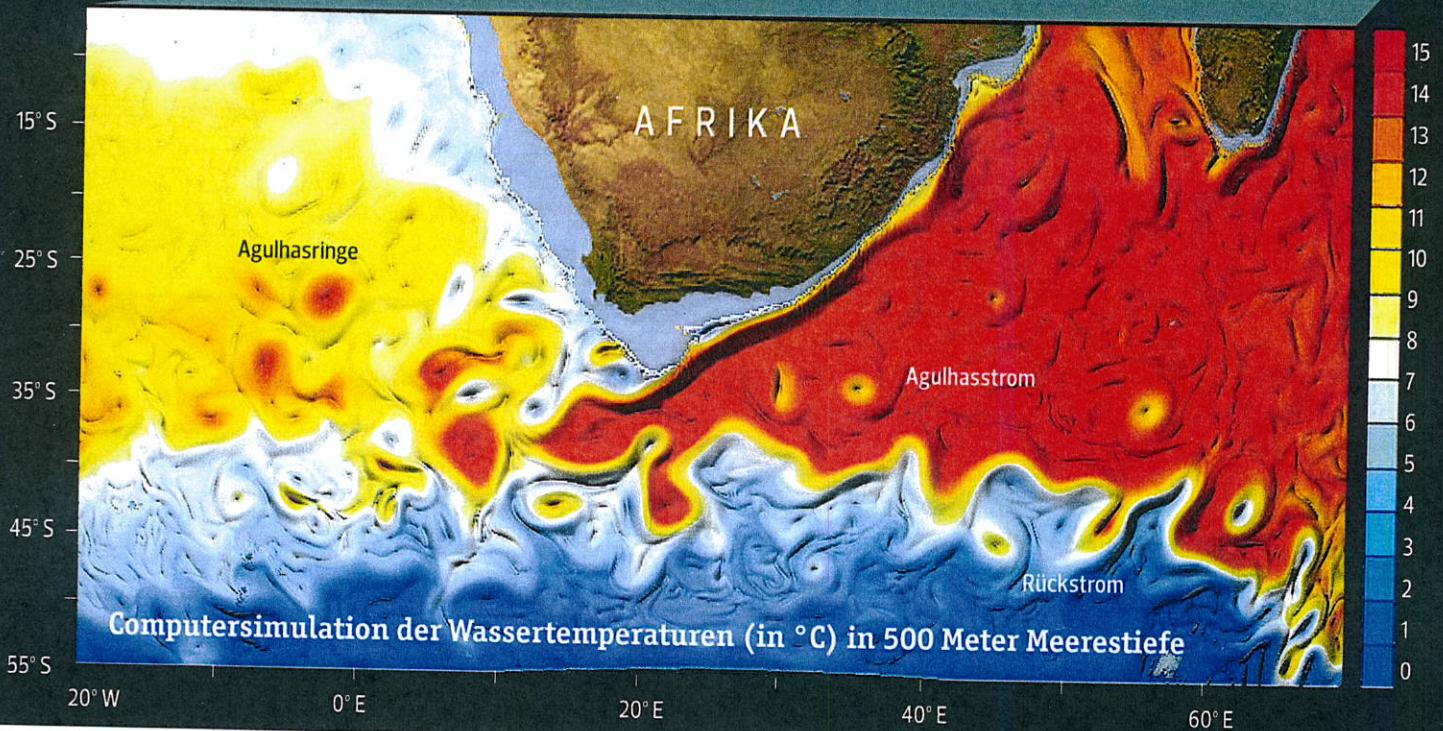
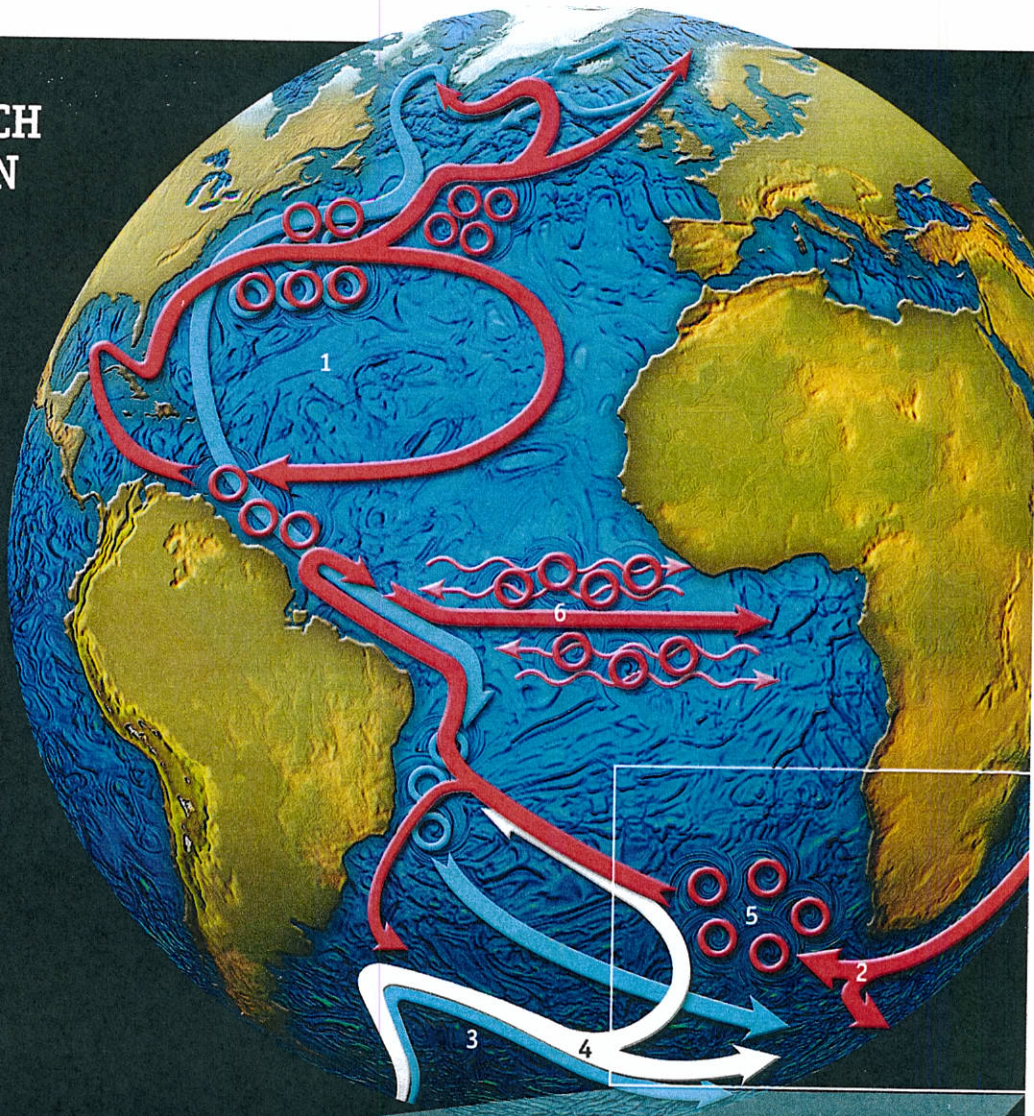
fiken rechts) und warmes, salziges Wasser nordwärts in den Südatlantik transportieren. Es zeigte sich, dass sie das Wasser fast ein Jahr lang ohne Durchmischung mit dem umliegenden Meer gen Norden verfrachteten.

„Ein wichtiger Einflussfaktor für die Entwicklung unseres Klimas ist der Wärme-

WIE DIE WIRBEL DURCH DIE OZEANE WANDERN

Die beherrschende Meeresströmung im Nordatlantik ist der **Golfstrom (1)**. Die warmen Oberflächenströmungen sind rot, die kalten blau gekennzeichnet.

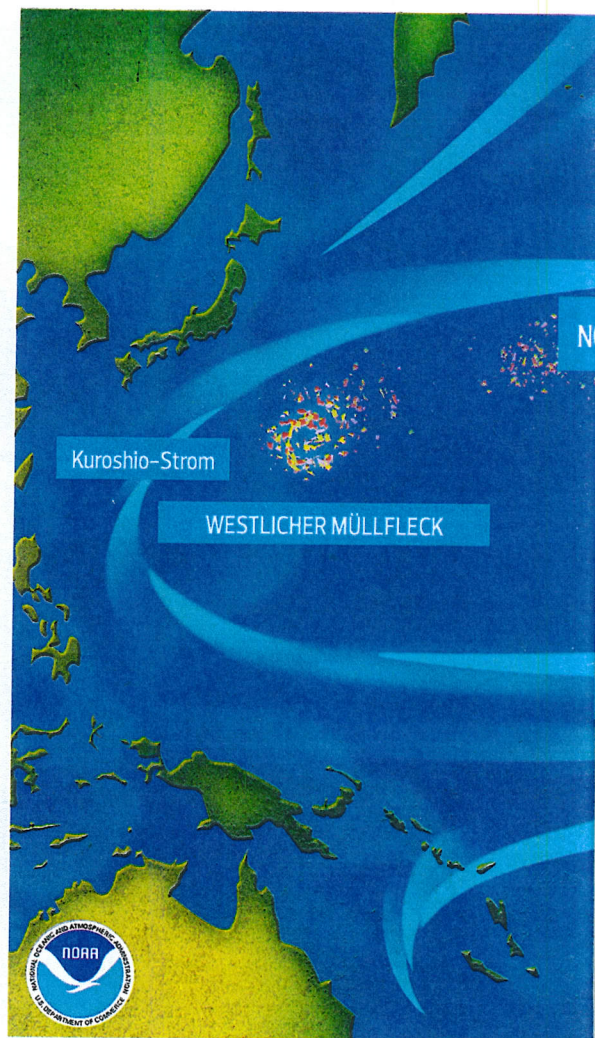
Forscher des Geomar-Instituts in Kiel untersuchen den Einfluss von Strömungen im Südatlantik auf den Norden und damit auf unser Klima: Der warme **Agulhasstrom (2)** zweigt vom südindischen Äquatorialstrom ab. An der Südspitze Afrikas trifft er mit dem kalten antarktischen **Zirkumpolarstrom (3)** und dem **Benguelastrom (4)** zusammen. Folge: heftige Unwetter und extrem hohe Wellen. Dieses Gebräu ist derart gewaltig, dass die in ihm wirkenden Kräfte den Agulhasstrom zur direkten Umkehr in den Indischen Ozean zwingen. An der Spitze dieser sehr engen Wendeschleife schnüren sich ringförmige Meereswirbel ab – die **Agulhasringe (5)**. Sie transportieren warmes, salziges Wasser in das kalte Wasser des Südatlantiks. Dort werden die Wirbel vom **Südäquatorialstrom** und **äquatorialen Gegenstrom (6)** weiterbefördert.



Titelgeschichte



So treibt der in einem Wirbel gefangene Plastikmüll durch den Ozean. Für viele Meerestiere stellt er eine tödliche Gefahr dar



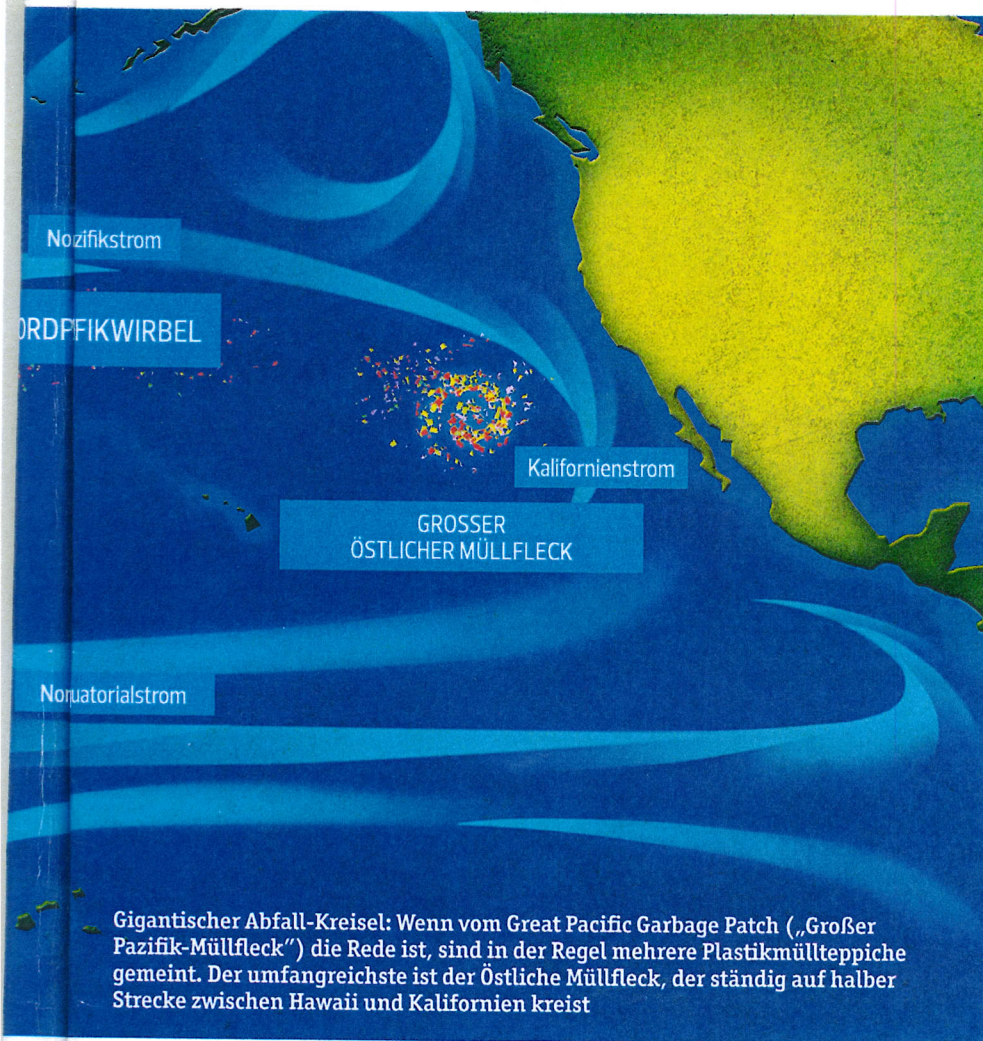
transport in den Ozeanen“, sagt Professor Claus Böning, Experte für Ozeanzirkulation und Klimadynamik am Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. „Wie der Golfstrom ist der Agulhasstrom Teil der weltumspannenden Zirkulation.“ Mit einem wichtigen Unterschied: Im Gegensatz zum kompakt fließenden Golfstrom „zerfleddert“ der Agulhasstrom das Wasser. „Den Wasser-, Wärme- und Salztransport übernehmen komplett die Agulhasringe“, erklärt Böning.

Wir haben es mit einem noch recht unerforschten und launischen Motor für das Weltklima zu tun. Dabei ist der Agulhasstrom eines der größten Förderbänder für Wärmeenergie und Salz auf unserem Planeten. Rund 70 Millionen Kubikmeter Wasser transportiert er pro Sekunde. Mit im Gepäck sind etwa 13 Milliarden Tonnen Salz. Die Wassertemperatur der Wirbel ist im Schnitt um fünf Grad Celsius höher als die des Südatlantiks.

Eine Geomar-Studie zeigt, dass die Aktivität der Agulhasringe durch den Klimawandel zunimmt. Wind- und Strömungsverhältnisse vor der Küste Südafrikas werden sich in den nächsten Jahrzehnten verändern. Das wird sich auch auf Europa auswirken. Bislang behindern starke westliche Winde den Austausch des Wassers zwischen dem Indischen und dem Atlantischen Ozean. In den kommenden

Jahren jedoch, so sagen die Forscher voraus, wird sich die stabile Westwindzone südwärts verschieben. „Somit würde ein breiterer Korridor entstehen, durch den Wassermassen aus dem Indischen Ozean in den Atlantik strömen“, berichtet Böning. „Bereits jetzt können wir beobachten, dass sich die Strömungsmuster in den vergangenen Jahrzehnten entsprechend gewandelt haben.“

Die Veränderungen werden sich auch auf das Wetter in Europa auswirken



Innerhalb dieses Jahrhunderts könnten damit Agulhasringe bis zu einem Drittel mehr salzhaltiges Wasser nach Norden verfrachten, was den Südatlantik deutlich salziger machen würde. Diesen Trend belegen Messungen, nach denen sich der Salzimport in den Atlantik seit 1970 um ein Viertel erhöht hat. Nachdem sich die Ozeane weiter aufheizen, dürfte sich die Schleuse für die Agulhaswirbel vor Kapstadt noch weiter öffnen.

Sollte diese Prognose eintreten, wäre das ein Segen für unser Klima. Denn es könnte die gefürchtete „Aussüßung“ des Nordatlantiks bremsen. Diese entsteht durch verstärkten Süßwasserzufluss, wenn durch die Klimaerwärmung Gletscher und arktisches Eis schmelzen sowie Niederschläge zunehmen. „Wenn Süßwasser in den Ozean gelangt und die Salzkonzentration verändert, wird der Motor für das globale Förderband der Meeresströmungen geschwächt“, warnt Erik van Sebille, Ozeanograph an der australischen

University of New South Wales in Sydney. Denn neben dem Wind spielen unterschiedliche Salzgehalte für die Ozeanzirkulation eine große Rolle. Schwächen sich in einem verdünnten Meer die Konzentrationsunterschiede ab, schwächt der Wärmenachschub aus den Tropen.

Die Eiszeit-Zyklen hängen mit den Agulhasringen zusammen

Das ist keine bloße Theorie, sondern zeigte sich während vergangener Eiszeiten. „Wir wissen aus Paläo-Daten, also aus hunderttausende Jahre alten Informationen aus den Ablagerungen auf dem Meeresgrund, dass Menge und Häufigkeit der Agulhasringe mit den Zyklen der Eiszeiten zusammenhängen“, erklärt van Sebille. Die Forscher gehen davon aus, dass die rotierenden Ringe die atlantische Umwälzirkulation „neu starten“ kön-

nen, nachdem diese zu Beginn einer Eiszeit heruntergefahren worden ist. Van Sebille: „Auch andere Wirbel mischen und rühren das Meerwasser – die globale Ozeanzirkulation würde ohne sie ganz anders aussehen.“ Und damit unser Klima.

Ob sich die Lage im Treibhaus Erde künftig tatsächlich entspannt, ist leider alles andere als sicher. „Die Zahl der Agulhasringe im Südpolarmeer hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Ob das ein Trend oder eine kurzfristige Anomalie ist, bleibt abzuwarten“, gibt sich George Haller von der ETH Zürich vorsichtig. Au-

Für weitere Erkenntnisse sind bessere Rechner notwendig

ßerdem sind die Schwarzen Löcher für eine umfassende Forschung nach wie vor schlecht zu fassen. „Diese Wirbel sind noch nicht Teil der Klimamodelle, die wir für unsere Prognosen des Klimawandels verwenden, denn sie sind zu kleinteilig“, gesteht der Australier van Sebille. „Daher können wir nicht direkt beurteilen, welche Rolle sie beim Klimawandel spielen. Wahrscheinlich wird der Effekt regional verschieden stark ausfallen.“

Das erwartet auch Geomar-Forscher Böning. Gelänge es, den Einfluss der warmen Wirbel auf das Klima besser zu erfassen, ließen sich länderspezifische Änderungen der Temperaturen und Niederschläge genauer abschätzen. Erst mit dem nächsten Fortschritt der Rechnerleistung könnte sich das Problem lösen. „Meereswirbel werden ein wichtiges Forschungsthema der nächsten Jahre und wesentlich für neue Klimamodelle sein“, so Böning.

Sie können auch Antworten auf andere Fragen geben: etwa, wie sich Ölteppiche nach einer Tankerhavarie ausbreiten. Oder wie sich nahrungsmittelreiche Gewässer über die Meere verbreiten – und damit Fischschwärme. Außerdem ließe sich die gesamte marine Nahrungskette besser nachvollziehen. Und eben auch die Entstehung und Ausbreitung von Müllteppichen. Sogar die Route des „Wassertaxis“ für schiffbrüchige Quetscheentchen ließe sich dann vorhersagen.