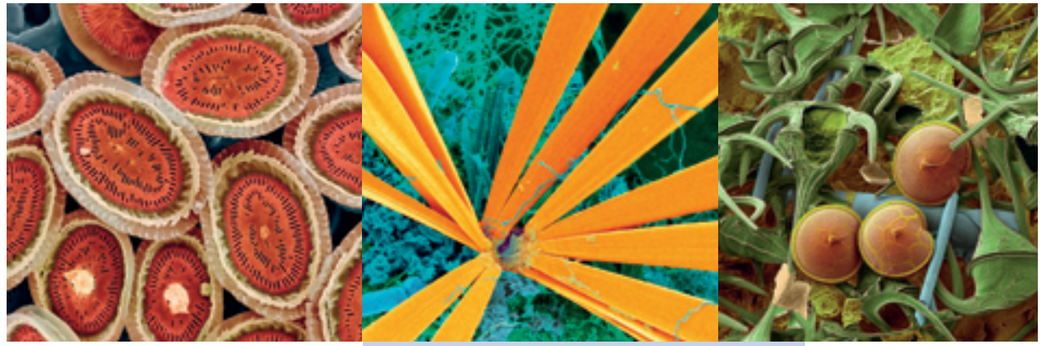
Biopumpen wälzen Klima um

Algen treiben Blüten: Vor der Küste Norwegens färben die Mikroorganismen das Meer grün.

Foto: NASA

Die globale Erwärmung lässt sich bisher nur vage vorhersagen – nicht zuletzt deshalb, weil die Forscher das Zusammenspiel der unzähligen Klimafaktoren immer noch nicht vollkommen durchschaut haben. Am **Max-Planck-Institut für Biogeochemie** *in Jena arbeiten Wissenschaftler um* **Martin Heimann** *derzeit an einem neuen Rechenmodell: Es soll vor allem besser als bisher beschreiben, wie die Lebewesen der Ozeane den Kohlendioxidhaushalt beeinflussen.*

Fotos: Science Photo Library



Formenvielfalt unter Wasser: Silikatbildner (Mitte) verarbeiten gelöste Siliziumverbindungen zu Mineralien. Zu den Baumeistern des Meeres gehören auch die Kalkbildner (links). Diese Lebewesen schaffen Kalkstrukturen und binden darin gelöstes Kohlendioxid. Das Mikroplankton (rechts) übernimmt keine spezielle Funktion, zu diesem Typ zählen Mikroorganismen mittlerer Größe.

Es müssen keine Naturkatastrophen sein, die mit Wirbelstürmen oder Überschwemmungen zu Fanalen des weltweiten Klimawandels werden. Auch stille Boten zeugen von den Veränderungen: Bäume, die im Schnitt ein paar Wochen früher blühen als noch vor wenigen Jahrzehnten. Oder Tiere, die ihren Lebensraum langsam nordwärts verlagern. Mitverantwortlich für die Klimaveränderung ist der Mensch, der seit Beginn der Industrialisierung unter anderem zunehmend fossile Brennstoffe verfeuert und dadurch für einen Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre sorgt.

Insgesamt ist die weltweite Durchschnittstemperatur seit Ende des 19. Jahrhunderts um gut ein halbes Grad Celsius gestiegen. Experten rechnen in Zukunft mit wesentlich drastischeren Veränderungen. Wenn der Ausstoß von Treibhausgasen nicht massiv verringert wird, nimmt die Durchschnittstemperatur bis zum Jahr 2100 um 1,5 bis 6 Grad Celsius zu, so die Prognose des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

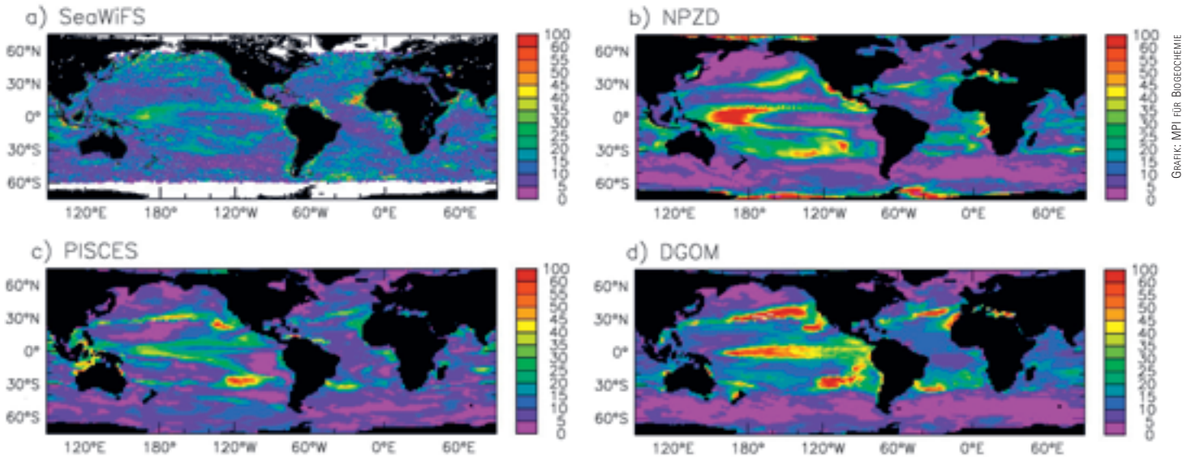
Solche Vorhersagen sind bislang allerdings relativ ungenau. Unter anderem deshalb, weil die Forscher noch nicht genug über einzelne Klimafaktoren und ihre Wechselwirkungen untereinander wissen. Immerhin: Seit vielen Jahren sind sie davon überzeugt, dass die Ozeane entscheidenden Einfluss auf das weltweite Klimageschehen haben. Aber auch hier müssen sie noch viele Unbekannte in Kauf nehmen, etwa den Einfluss, den die Lebewesen in den Weltmeeren auf den Kohlendioxid-Haushalt ausüben. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena arbeiten nun seit fünf Jahren am *Dynamic Green Ocean Model* (DGOM) – einem Modell, das neben den chemischen und physikalischen Zusammenhängen auch die Rolle der Biomasse in den Ozeanen berücksichtigt.

Die Weltmeere nehmen gigantische Mengen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) auf und gelten deshalb als wichtige Kohlenstoffsenke. Inzwischen gehen Forscher davon aus, dass rund ein Viertel des CO_2, das der Mensch seit Beginn der Industrialisierung weltweit freigesetzt hat, von den Weltmeeren absorbiert wurde. Eine der spannendsten Fragen, die sich in diesem Zusammenhang noch nicht beantworten lässt, lautet: Wie wird sich die Aufnahmekapazität der Ozeane für Kohlendioxid verändern, wenn dessen Konzentration in der Atmosphäre weiter steigt?

„Im Fall von terrestrischen Ökosystemen glauben wir, dass zunehmende CO_2-Konzentrationen wie Dünger wirken“, sagt Corinne Le Quéré, die bis vor Kurzem am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena gearbeitet hat. Das wäre nicht überraschend, denn Pflanzen produzieren aus Kohlendioxid, Wasser und mithilfe anderer Nährstoffe komplexe organische Materie; nimmt die CO_2-Konzentration in der Luft zu, kann sich auch der Umsatz dieser Stoffwechselreaktionen erhöhen. In den Ozeanen sieht das anders aus. „Hier gibt es schon jetzt einen großen Überschuss kohlenstoffhaltiger Verbindungen; noch mehr CO_2 würde hier kaum – wie wir es für terrestrische Ökosysteme vermuten – als Dünger wirken“, erläutert Martin Heimann, Direktor am Jenaer Max-Planck-Institut.

Die Rolle der Mikroorganismen

Im Fall der Weltmeere müssen die Wissenschaftler chemische, physikalische und biologische Prozesse analysieren, um berechnen zu können, welche Mengen Kohlenstoffverbindungen unter verschiedenen Bedingungen gespeichert werden. Bisher gehen in ihre Klimamodelle allerdings vor allem physikalische Größen wie die Temperatur und das Strömungsverhalten des Wassers ein. „In Jena haben wir deshalb vor fünf Jahren angefangen, ein Ozeanmodell zu entwickeln, das den Einfluss mariner Mikroorganismen detailliert und maßgebend berücksichtigt“, sagt Corinne Le Quéré. Aber natürlich lässt auch das neue Modell die Phy-



Grafik: MPI für Biogeochemie

Das Modell macht die Farbe: Die Darstellungen geben wieder, um wie viel Prozent die Menge an Phytoplankton im Meer jährlich schwankt. Ein Modell, das nicht mit funktionalen Planktontypen arbeitet, berechnet nur geringe Schwankungen (a). Das Modell NPZD berücksichtigt zwei funktionale Planktontypen (b), Pisces vier (c) und die hier gezeigte Simulation des DGOM fünf (d).

sik und die Chemie der Ozeane nicht außer Acht.

Prinzipiell besteht ein sensibles Gleichgewicht zwischen atmosphärischem und in Meerwasser gelöstem Kohlendioxid. Die wichtigsten physikalischen Faktoren, welche die Aufnahme von Kohlendioxid im Wasser bestimmen, sind dessen Temperatur und Strömungsverhalten. Es gilt: Je wärmer das Wasser, desto weniger CO_2 kann es aufnehmen – jeder, der eine anfangs kühle Flasche Sprudelwasser erwärmt, kann diesen Effekt beobachten. Je wärmer das Oberflächenwasser, desto schwächer ist die Meeresströmung, die das Wasser vertikal durchmischt. Auch hier sinkt die Menge an gelöstem CO_2.

Im Wasser herrscht zudem ein chemisches Gleichgewicht zwischen gelöstem Kohlendioxid, das weniger als ein Prozent ausmacht, Carbonat und Hydrogencarbonat, das mit etwa 91 Prozent den Hauptanteil stellt. „Je mehr CO_2 in der Atmosphäre vorhanden ist, desto weniger kann das Meerwasser davon zusätzlich aufnehmen – das ergibt sich allein aus den Gleichgewichtskonstanten dieser Reaktionen“, erklärt Martin Heimann.

Sowohl die steigenden Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre als auch die zunehmenden Temperaturen beim Treibhauseffekt würden demnach dazu führen, dass die Ozeane in Zukunft weniger zusätzliches CO_2 aufnehmen könnten. Das würde die weltweite Durchschnittstemperatur weiter in die Höhe treiben – es entstünde ein Teufelskreis, der die Klimaveränderung noch beschleunigen würde. „Quantitativ können wir diese Effekte bisher aber nur schwer abschätzen, weil wir nicht wissen, wie sich die veränderten physikochemischen Bedingungen auf die im Meer lebenden Mikroorganismen auswirken“, betont Le Quéré, die ihre in Jena begonnene Forschung inzwischen an der School of Environmental Sciences der University of East Anglia in Norwich fortsetzt.

Kontrollmechanismus für Kohlendioxid

Sicher ist, dass die Mikroorganismen im Meer wie eine Art biologische Pumpe wirken. Diese verfrachtet einen großen Teil des aufgenommenen Kohlendioxids als organische Kohlenstoffverbindungen in die Tiefe. „Wir nehmen an, dass Änderungen in der Stärke der biologischen Pumpe über längere Zeiträume einen der wichtigsten Kontrollmechanismen der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration darstellen“, so Le Quéré. Ohne biologische Pumpe läge die CO_2-Konzentration der Atmosphäre heute bei rund 580 statt 380 ppm (parts per million) – dies berechneten Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg.

Am Betrieb dieser Pumpe sind viele verschiedene Mikroorganismen beteiligt. Algen, die nahe der Wasseroberfläche leben und Chlorophyll besitzen, können Kohlendioxid direkt aufnehmen. Ähnlich wie grüne Pflanzen an Land setzen sie dieses zu organischen Kohlenstoffverbindungen um. Damit sind die Algen eine wichtige Nahrungsquelle für kleine, aber auch größere Meeresbewohner, die ihrerseits kohlenstoffhaltige Stoffwechselprodukte ausscheiden, die wiederum in die Tiefe und zum Meeresgrund sinken. Größtenteils werden sie dort von Bakterien zersetzt, wodurch organische in anorganische Kohlenstoffverbindungen überführt werden. Andere Mikroorganismen verwandeln das im Wasser gelöste Hydrogencarbonat in Kalkschalen. Sterben diese Lebewesen, sinken auch diese Schalen zum Meeresgrund.

So tragen unzählige Arten mariner Mikroorganismen dazu bei, dass das ursprünglich aus der Atmosphäre stammende Kohlendioxid im Meer auf vielfältige Weise chemisch umgesetzt wird. Übrigens: Zwar speichern die Ozeane ungefähr tausendmal weniger Biomasse als die Ökosysteme an Land. Trotzdem – so schätzen die Wissenschaftler – produzieren die marinen Organismen aufgrund hoher Umsätze eine ähnliche Menge organischen Materials wie die Lebewesen an Land.

„Für das *Dynamic Green Ocean Model* haben wir die marinen Lebewesen je nach ihrer Größe, Dichte, Morphologie und Funktion in zehn Klassen eingeteilt“, erklärt Corinne Le Quéré. Die Forscher bezeichnen diese Klassen als *Plancton Functional Types* oder funktionale Planktontypen (PFT). Zu einem dieser Typen gehören etwa die Bakterien, die aus organischen Kohlenstoffverbindungen wieder Kohlendioxid freisetzen, das zumindest zum Teil zurück in die Atmosphäre gelangt. Ein anderer Typ sind Organismen, die Stickstoff fixieren und dadurch den gesamten Stickstoffhaushalt der Ozeane bestimmen. Weitere Klassen bilden Organismen, die Kalkschalen oder Silikate produzieren.

Satelliten sichten Algen

Bevor die Forscher die klimarelevanten Aktivitäten aller zehn Planktonklassen in ihr Klimamodell integrieren können, müssen sie allerdings noch wichtige Eigenschaften der einzelnen Organismen erforschen. „Über Mikroorganismen im Meer wissen wir weit weniger als über Mikroorganismen an Land“, erklärt Le Quéré. Wachsen einzelne funktionale Typen eher in warmem oder in kaltem Wasser? Wie schnell wachsen sie und wie lange leben sie? Welche Nährstoffe brauchen sie? Solche und viele andere Fragen müssen erst beantwortet werden, bevor das neue Klimamodell wirklich verlässliche Daten liefern kann.

Um die Qualität des Modells beurteilen zu können, vergleichen Corinne Le Quéré und ihre Kollegen berechnete Daten mit Satellitenbeobachtungen. Zwar steckt auch die Satellitentechnik, mit der sich Mikroorganismen im Meer beobachten lassen, noch in den Kinderschuhen. Immerhin können die Forscher mit den elektronischen Spähern schon chlorophyllhaltige Algen erfassen. Auf Satellitenbildern variiert die Menge dieser Algen im Verlauf eines Jahres relativ stark. Mit einem einfachen biogeochemischen Modell des Ozeans lassen sich diese Schwankungen nicht beschreiben. Die Wissenschaftler wollen ihr neues Klimamodell in Zukunft durch die Einbeziehung der funktionalen Planktontypen so weit verbessern, dass dies möglich wird.

Auch die Frage, warum die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre während der letzten großen Eiszeit vor 18 000 Jahren um 80 bis 100 ppm niedriger lag als vor etwa 250 Jahren – also im späten Holozän vor der Industrialisierung –, wollen die Forscher mit dem DGOM beantworten. „Inzwischen ist sicher, dass der Ozean dabei eine entscheidende Rolle spielt; die Details sind aber noch unklar“, sagt Martin Heimann, der sich vor allem mit der Validierung von Klimamodellen durch Messdaten beschäftigt.

Ein großer Teil des atmosphärischen CO_2 verschwand während der letzten Eiszeit im Meer – so vermuten die Experten. Auch damals könnte eine biologische Pumpe am Werk gewesen sein. Le Quéré und ihre Kollegen errechneten aus den in Eisbohrkernen gemessenen Konzentrationen die Exportproduktion, also die Leistung der biologischen Pumpe. „Wenn wir vier PFT einbeziehen, können wir die Schwankungen in der Exportproduktion zwischen den Bedingungen heute und denen während der letzten großen Eiszeit grob reproduzieren“, sagt Le Quéré. „Allerdings lassen sich die größten Änderungen, die das Modell für den äquatorialen Pazifik berechnet, durch die Messdaten nicht belegen.“

Die Wissenschaftler des Projekts *Dynamic Green Ocean* werden deshalb erst einmal weiter Feldforschung betreiben müssen. Nur wenn sie die Lebensbedingungen der marinen Mikroorganismen besser kennen, werden sie nicht nur Klimaschwankungen der Vergangenheit besser erklären, sondern auch zukünftige Klimaentwicklungen vorhersagen können. Ute Hänsler