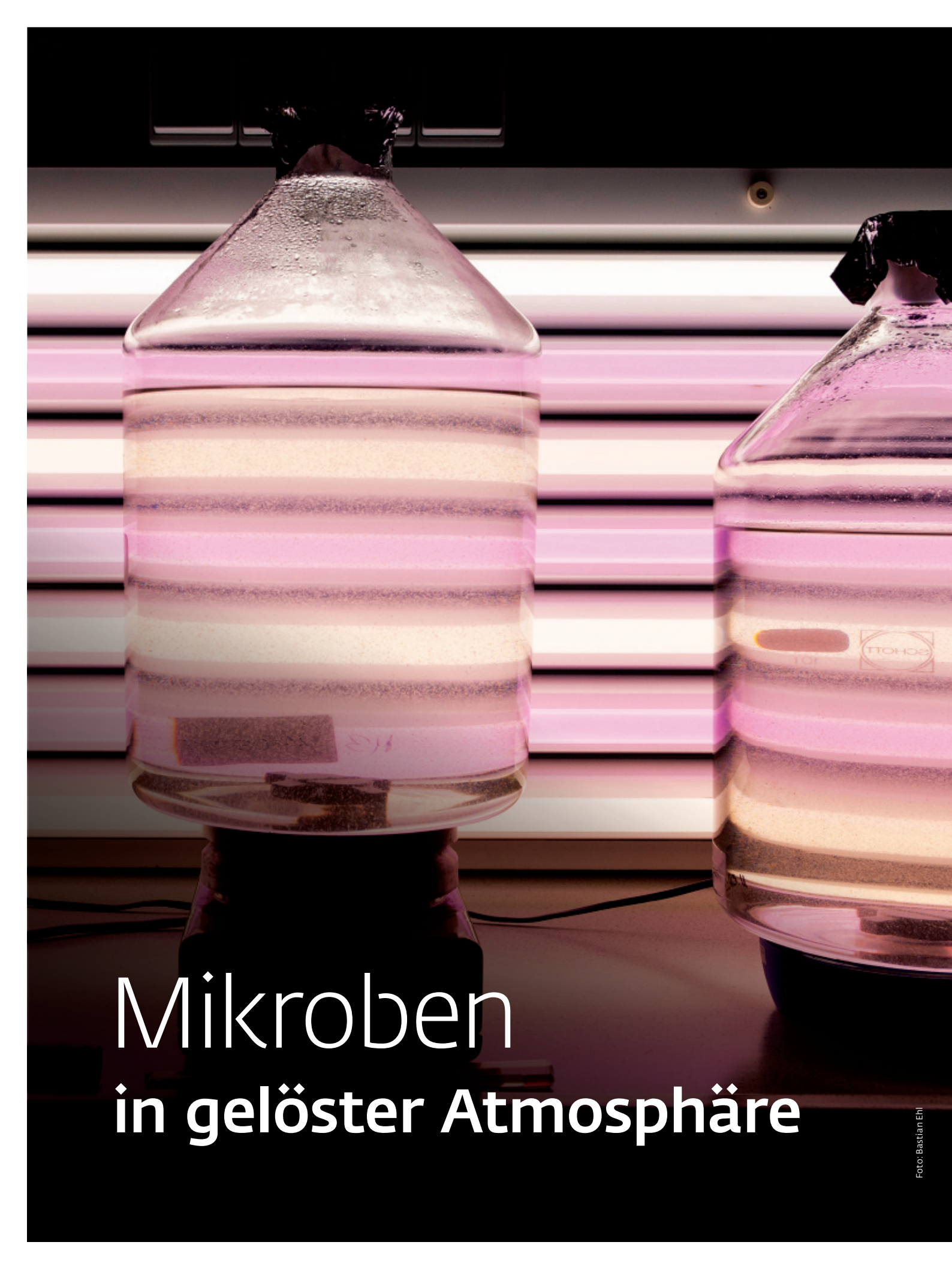




Mikroben in gelöster Atmosphäre



Algenblüte im Labor: Künstliches Meerwasser wird mit etwas Wasser aus der Nordsee angeimpft. Dadurch entstehen eine Algen- und anschließend eine Bakterienblüte. Diese zeigen sich als Partikel im farblosen Wasser.

Riesige Mengen gelösten organischen Kohlenstoffs treiben in den Weltmeeren. Eigentlich ein gefundenes Fressen für Mikroorganismen. Doch die nehmen seltsamerweise kaum Notiz davon.

Thorsten Dittmar vom **Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie** in Bremen will diese und andere Wissenslücken der Meeresforschung schließen. Denn das Fressverhalten der Mikroorganismen im Ozean bestimmt das Klima auf der Erde entscheidend mit.

TEXT NILS EHRENBURG

Unser Forschungsobjekt steckt hier drin“, sagt Thorsten Dittmar und deutet vor sich auf den Tisch. Dort steht ein gläserner Messkolben, fast bis zum Rand gefüllt mit Wasser. Dittmars Büro auf dem Campus der Uni Oldenburg ist lichtdurchflutet, aber trotzdem lässt sich in dem Behälter bis auf gewöhnliches Wasser nichts erkennen. Die Spur einer Trübung vielleicht – mehr nicht. „Genau ein Liter Nordseewasser, voll mit einzelligen Organismen“, fährt er fort, „insgesamt etwa eine Milliarde. Ein paar Algen, hauptsächlich aber Bakterien.“ Damit leben in nur sieben Litern Meerwasser so viele Einzeller wie auf der Erde Menschen.

Thorsten Dittmar interessiert sich aber weniger für all die Mikroorganismen in seinem Messkolben als vielmehr dafür, was sie fressen – oder nicht fressen: gelöstes organisches Material, also wasserlösliche, kohlenstoffhaltige Moleküle in allen Variationen. Ein Milligramm, nicht mehr als ein Krümel Pulverkaffee, schwimmt davon unsichtbar im Messkolben. Das klingt wenig, rechnet man aber den darin gebundenen Kohlenstoff auf das Gesamtvolumen aller Ozeane hoch, kommt man auf unvorstellbare 700 Milliarden Tonnen. So viel Kohlenstoff enthalten weltweit alle lebenden Organismen zusammen.

Hauptquelle des gelösten organischen Materials ist das Fotosynthese betreibende Plankton im Meer: Algen und Bakterien, die während ihres Wachstums kontinuierlich Stoffwechselprodukte ins Wasser abgeben. Diese Moleküle werden auch frei, wenn pflanzliches von tierischem Plankton gefressen oder durch Viren zerstört wird. Bakterien wiederum, die ohne Fotosynthese auskommen müssen, dient das gelöste Material als Nahrung.

Schwimmen die gelösten organischen Stoffe im Meer, werden sie durch größtenteils unbekannte Prozesse vielfältig umgeformt. So kommt es zu einer schier endlosen Diversität: Nach Dittmars Schätzung treiben zwischen zehn und 100 Millionen verschiedene organische Substanzen im Ozean. „Nur etwa fünf Prozent dieses Materials lassen sich bekannten chemischen Strukturen zuordnen, etwa Aminosäuren, Zuckern, Fetten und einigen mehr. Die restlichen 95 Prozent sind völlig unbekannt“, sagt der Forscher.

Im September 2008 begann Thorsten Dittmar deshalb damit, eine neue und ungewöhnliche Nachwuchsgruppe des Bremer Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie aufzubauen. Ungewöhnlich nicht nur, weil sie auf einem nahezu unbekannten Forschungsgebiet arbeiten sollte, sondern auch wegen ihres



Wir sind so etwas wie die Ernährungsberater am Max-Planck-Institut.

Standorts: an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg, eine Stunde Fahrzeit von Bremen entfernt.

Für die Max-Planck-Gesellschaft ist das ein einzigartiges Modell, denn keine andere ihrer Arbeitsgruppen ist komplett außerhalb des Mutterinstituts angesiedelt. Der Nutzen des Oldenburger Modells ist wechselseitig: Das mikrobiologisch ausgerichtete Max-Planck-Institut in Bremen profitiert von der langen geochemischen Tradition des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres der Universität Oldenburg – das wiederum seine eigene mikrobiologische Forschung mit jener der Bremer ergänzen kann. Dittmars Arbeitsgruppe selbst profitiert als Know-how-Schnittstelle gleich doppelt.

ZWISCHEN BREMEN UND OLDENBURG

„Ich fühle mich wohl in Oldenburg“, sagt Thorsten Dittmar, der zuletzt in den USA an der Florida State University in Tallahassee geforscht hat. Kein Wunder, denn die Arbeitsgruppe marine Geochemie, die mit ihm allein begann, ist in weniger als drei Jahren auf heute insgesamt 16 Mitarbeiter angewachsen: ein deutliches Zeichen dafür, wie viel Forschungsbedarf auf diesem Gebiet besteht.

Im Fokus der Arbeitsgruppe stehen drei zentrale Fragen: Welche Teile des gelösten organischen Materials fressen marine Mikroorganismen? Was fressen sie nicht und warum nicht? Wie beeinflussen die Vorlieben der Mikroorganismen das Klima? „Wir sind also beinahe so etwas wie die Ernährungsberater am Max-Planck-Institut“, sagt der Wissenschaftler mit einem Augenzwinkern.

Wer diese Fragen beantworten will, muss erst einmal wissen, was überhaupt auf der Speisekarte steht. Die Forscher wollen also die Identität der vielen unbekannten Substanzen lüften – eine

Mammutaufgabe. Zunächst müssen sie das Analysematerial besorgen, je nach Fragestellung in den unterschiedlichsten Ecken der Welt: im Golf von Mexiko, in den Polarmeeren der Arktis und Antarktis, an den hydrothermalen Quellen der Tiefsee oder gleich vor der Haustür in der Nordsee vor Helgoland.

Dazu fahren die Wissenschaftler regelmäßig auf der *Polarstern* mit – einem Forschungsschiff, das im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland wissenschaftliche Expeditionen unternimmt und vom Bremerhavener Alfred-Wegener-Institut betrieben wird. Die Wasserproben, welche die Forscher aus unterschiedlichen Tiefen entnehmen, werden an Bord filtriert, damit die Mikroorganismen und andere Schwebstoffe entfernt werden, und dann entsalzt. Mithilfe von Absorber-Kartuschen werden die organischen Bestandteile gebunden und schließlich als gelbliche, hochkonzentrierte Lösung mit ins Labor genommen.

„Statt mit zehn Litern pro Wasserprobe kommen wir so mit nur zehn Millilitern nach Hause. Das spart viel Platz“, sagt Dittmar. Was dann im Labor in Oldenburg folgt, ist eine der größten Herausforderungen für einen analytischen Chemiker überhaupt. Denn für die herkömmliche Molekularanalyse müssen die einzelnen Bestandteile voneinander getrennt werden – unmöglich bei der Vielfalt der gelösten organischen Verbindungen und ihrer gewaltigen Zahl von mehr als zehn Millionen unterschiedlichen Molekülen.

Glücklicherweise beherbergt Dittmars Labor ein mehr als zwei Millionen Euro teures und vier Tonnen schweres revolutionäres Instrument: Hinter einer durchsichtigen Schallschutzwand steht dort seit September 2010 Deutschlands leistungsstärkstes Massenspektrometer. „Das Gerät ist in der Meeresforschung einmalig. Wir

können damit die Masse eines Moleküls auf weniger als die Masse eines Elektrons genau bestimmen“, sagt Thorsten Dittmar stolz.

Nur fünf dieser Geräte gibt es auf der ganzen Welt. Und nur das in Oldenburg wird für Meeresforschung eingesetzt. Herzstück der mannshohen, an einen Gastank erinnernden Anlage ist der derzeit weltweit stärkste kommerziell erhältliche Magnet, der in der Massenspektrometrie verwendet wird. Und wie es der Zufall will, liegt die einzige Firma, die solche Geräte vertreibt, quasi um die Ecke – in Bremen.

ANALYSE MIT DEM STÄRKSTEN MAGNETEN

Die ultrahochauflösende Massenspektrometrie hat den vielleicht entscheidenden Durchbruch bei der Erforschung des gelösten organischen Materials gebracht. Denn die neue Technik misst so genau, dass die Wissenschaftler die exakte Summenformel jedes Moleküls bestimmen können. Diese gibt an, aus welchen Elementen ein Molekül besteht und in welcher Anzahl sie vorkommen. Erst das neue Gerät offenbart die enorme molekulare Vielfalt in den Ozeanen. 5000 bis 10000 verschiedene Summenformeln lassen sich innerhalb einer halben Stunde in einer Probe bestimmen. Insgesamt mehrere Zehntausend haben die Forscher auf diese Weise identifiziert.

Aber warum fressen die Bakterien ihre riesige Speisekammer nicht einfach leer? Denn der Hauptteil des gelösten organischen Materials treibt viele Tausend Jahre lang in mundgerechten Stückchen in der Tiefsee umher, ohne dass ein Bakterium zubeißt. „Man muss sich das wie ein permanentes Oktoberfest im Ozean vorstellen, auf dem zwar ein paar Grillhendl über den Tresen gehen, aber niemand das Bier anrührt“, sagt Thorsten Dittmar. >



Pinguine sind ständige Begleiter auf Expeditionen mit der *Polarstern* (unten), auch stürmisches Wetter gehört zum Alltag der Forscher (links). Mit einer sogenannten CTD-Rosette können die Wissenschaftler Wasserproben aus unterschiedlichen Tiefen entnehmen und an Bord holen (rechts).



» Man muss sich das wie ein permanentes Oktoberfest im Ozean vorstellen, auf dem zwar ein paar Grillhendl über den Tresen gehen, aber niemand das Bier anrührt.



Thorsten Dittmar öffnet die Injektions-einheit des Massenspektrometers. Aus der Spritze am rechten Bildrand gelangt die Probe über die rot ummantelte Kapillare in die Injektionsquelle.

Doch zumindest einen Teil des Rätsels haben die Wissenschaftler bereits gelöst. Sie haben erstmals eine Substanzklasse in der Tiefsee entdeckt, die dort nicht vermutet wurde: funktionalisierte polyzyklische Aromaten. Bisher ist kein Organismus bekannt, der diese aus

mehreren Kohlenstoffringen bestehenden Kohlenwasserstoffe produzieren kann. Sie entstehen nur, wenn organische Substanz verbrannt oder durch Erdwärme in tiefen Sedimentschichten erhitzt wird.

Insbesondere in sehr altem Tiefenwasser, das lange vor Beginn der Industrialisierung das letzte Mal an der Oberfläche lag, fanden die Forscher erhöhte Konzentrationen dieser Stoffe. Damit scheiden vom Menschen verursachte Verbrennungsprozesse als Quelle aus. Denn wenn die menschlich beeinflussten Substanzen vom Land ins Meer gelangen, werden sie schon an der Oberfläche größtenteils durch Sonnenlicht abgebaut.

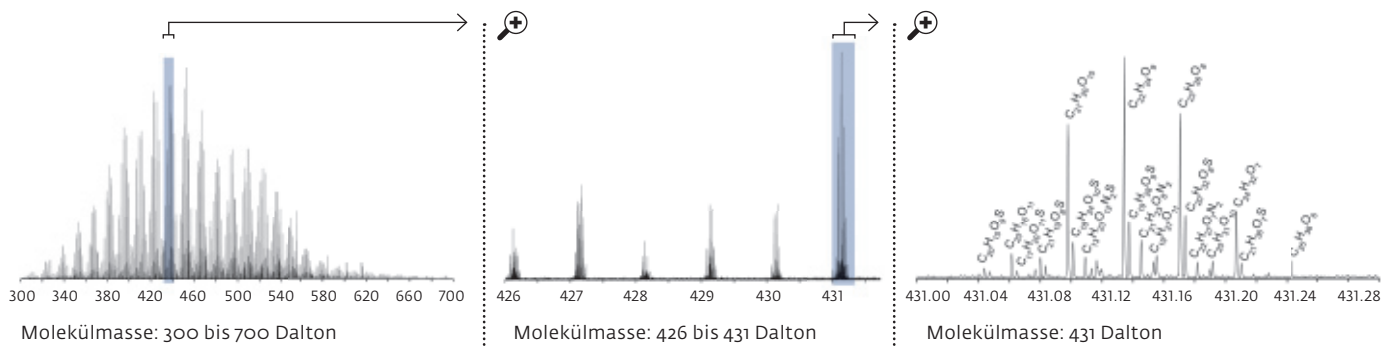
Die Aromaten, die Dittmar und seine Kollegen überall in der Tiefsee nachgewiesen haben, könnten also aus den Sedimenten des Ozeanbodens stammen. Dittmar entwirft dafür folgendes Szenario: Meerwasser, das eine Art Extrarunde durch den Meeresboden dreht, tritt unter anderem an hydrothermalen Quellen mit Temperaturen von mehr als 400 Grad Celsius wieder aus. Vermutlich werden auf diese Weise organische Stoffe aus den Sedimenten herausgelöst und, chemisch

umgewandelt, in die Tiefsee gespült. Weil hier das zerstörerische Sonnenlicht fehlt, bleiben sie lange stabil. „Bis zu 20 Prozent des gelösten organischen Materials könnte auf diesem Weg durch Hitzeeinwirkung verändert werden“, schätzt Dittmar.

ZWANGSDIÄT AUS POLYZYKLISCHEN AROMATEN

So ließe sich auch erklären, warum Bakterien die meisten im Meerwasser gelösten organischen Substanzen links liegen lassen: Möglicherweise fehlen ihnen einfach die geeigneten Werkzeuge für den Abbau der veränderten Substanzen, sodass sie gezwungenermaßen auf viele ursprünglich leckere Happen verzichten.

Für diese unfreiwillige Diät der Bakterien können wir eigentlich nur dankbar sein. Denn würde auch der stabile Teil des gelösten organischen Materials gefressen und der darin gebundene Kohlenstoff freigesetzt werden, könnte das den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre locker verdoppeln – mit entsprechend katastrophalen Folgen für das Klima. Aber auch der umgekehrte Fall ist denkbar: Wenn die Bak-





Deutschlands leistungsfähigster Massenspektrometer steht in Oldenburg.

terien plötzlich einen Teil ihrer Nahrung verweigern, würde sich gelöstes organisches Material im Ozean auf Kosten des atmosphärischen Kohlendioxids anreichern. Eine Steigerung des gelösten organischen Materials von heute einem Milligramm auf 1,5 Milligramm pro Liter würde den atmosphärischen Kohlendioxidgehalt halbieren und auf das Niveau der letzten Eiszeit absenken – und damit für eine ziemlich kühle Brise sorgen.

SORGTEN BAKTERIEN SCHON EINMAL FÜR TAUWETTER?

Vor 600 Millionen Jahren haben die Bakterien möglicherweise schon einmal einen Anstieg des Kohlendioxids in der Atmosphäre ausgelöst: Damals glich die Erde einem riesigen Schneeball, die globale Durchschnittstemperatur lag weit unter dem heutigen Wert, und die Ozeane waren weitgehend zugefroren. Einer – allerdings nicht ganz unumstrittenen – Hypothese zufolge kam vermehrt Sauerstoff in die Meere, sodass es

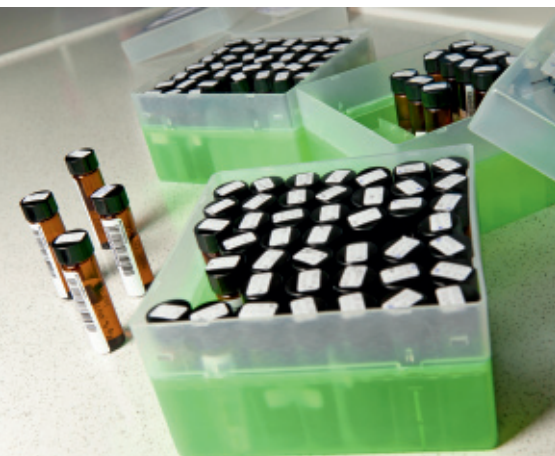
den Bakterien gelang, gelöstes organisches Material abzubauen. Das dadurch freigesetzte Kohlendioxid entwich in die Atmosphäre und löste einen Treibhauseffekt aus.

Was immer die globale Erwärmung damals bewirkt haben mag, das Fressverhalten der Bakterien im Meer besitzt das Potenzial, das Klima zu beeinflussen. Kein Wunder also, dass gelöstes organisches Material neuerdings in Verbindung mit Geo-Engineering genannt wird. Beim Geo-Engineering greift der Mensch in natürliche Kreisläufe ein, um den Klimawandel zu bremsen (MAXPLANCKFORSCHUNG 2/2010, Seite 36 ff.)

Könnte man – so die Theorie – die Bakterien dazu bringen, einen Teil ihrer Nahrung links liegen zu lassen, so ließen sich der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre senken und der Treibhauseffekt reduzieren. Thorsten Dittmar ist allerdings skeptisch: „Bevor der Mensch natürliche Prozesse manipuliert, sollte er sie erst mal bis ins Detail verstehen. Ohne dieses Wissen lassen sich die Auswirkungen eines solchen Eingriffs nicht einmal annähernd abschätzen.“

Doch auch ohne Geo-Engineering ändert sich schon heute das Reservoir gelöster organischer Substanzen. Die globale Erwärmung sorgt dafür, dass die Permafrostböden in den Tundren Sibiriens und Kanadas langsam auftauen. Das setzt verstärkt organisches Material frei, das über die vielen Flüsse auch in den Nordatlantik gespült wird. Die spannende Frage ist nun: Was passiert mit diesem zusätzlichen Eintrag gelöster organischer Substanzen? Wird er gefressen, was schlecht für das Klima wäre? Oder bleibt er stabil und landet in der Tiefsee?

Um das Schicksal des zusätzlichen gelösten organischen Materials aufklären zu können, müssen die Forscher nicht nur wissen, was Bakterien auf dem Teller liegen lassen, sondern auch deren Leibspeisen ausfindig machen. Derzeit analysieren Thorsten Dittmar und seine Kollegen deshalb Wasserproben aus der Helgoländer Langzeitserie: Seit 1962 messen Forscher vor der Insel kontinuierlich Salzgehalt, Temperatur sowie die Artenzusammensetzung des pflanzlichen, tierischen und bakteriellen Planktons – jede Woche neu, immer an derselben Stelle. >



Wasserproben aus der Helgoländer Langzeitserie liefern Daten zu Salzgehalt, Temperatur und Artenzusammensetzung des Planktons (links). Thorsten Dittmar mit einem Extrakt aus 4000 Litern Meerwasser mit gelöstem organischem Material (rechts).

Durch den Vergleich der Helgoländer Daten zur Algen- und Bakteriendichte mit den neu gewonnenen Informationen zur Zusammensetzung des gelösten organischen Materials haben die Forscher wichtige Schlüsselsubstanzen identifiziert. Blüht etwa eine bestimmte einzellige Kieselalge, produziert sie unter anderem eine organische Substanz, die ein Bakterium für sein Wachstum benötigt. „Die organischen Substanzen sind also Teil unzähliger hochspezifischer Beziehungsgeflechte zwischen den Mikroorganismen des Meeres“, sagt Thorsten Dittmar.

ORGANISMEN PRODUZIEREN EXOTISCHE SUBSTANZEN

Noch ist die Auswertung in vollem Gange, doch eine exotische Substanzklasse haben die Wissenschaftler in den Gewässern vor Helgoland schon entdeckt: ungewöhnliche Zuckermoleküle, die bisher noch gar nicht im Meer nachgewiesen wurden. Diese Stoffe sind in der medizinischen Forschung unter anderem wegen ihrer enzymhemmenden Wirkung bekannt und werden für die Pharmazie aus Landpflanzen gewonnen oder künstlich hergestellt. „Die exotischen Moleküle tauchen im Wasser kurz nach der Blüte einer bestimmten Algengruppe auf. Das ist also der erste Nachweis für die natürliche Produktion dieser Substanzklasse im Meer“, sagt Dittmar. Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe sind möglicherweise auch für die Medizin bedeutsam.

Gerade erst wurde Dittmars Team die Teilnahme an drei weiteren Ausfahrten der *Polarstern* ins Südpolarmeer genehmigt, die alle während des kommenden Winters stattfinden sollen – auf der Südhalbkugel ist dann Sommer. Die Gewässer rund um die Antarktis sind der einzige Ort, an dem Meeresforscher Wasser aus allen Gebieten der Erde an nur einem Tag analysieren können, denn dort fließt Wasser aus Antarktis, Arktis, Atlantik und Pazifik zusammen.

Dadurch lässt sich das gelöste organische Material in Gewässern mit unterschiedlichen Lebensbedingungen für Bakterien untersuchen. Denn Bedingungen wie beispielsweise die Wassertemperatur beeinflussen die Zusammensetzung und Aktivität der Bakteriengemeinschaften und damit auch die Zusammensetzung des gelösten organi-

schen Materials. Auf diese Weise trägt die Forschung dazu bei, die globalen Stoffkreisläufe und möglichen Veränderungen durch den Klimawandel besser zu verstehen.

Wie wichtig die Arbeit der Max-Planck-Forschungsgruppe in Oldenburg ist, wird beim Blick in den letzten Sachstandsbericht des Weltklimarats schnell klar. Seit seinem Erscheinen im Jahr 2007 sind die darin gemachten Aussagen zum Klimawandel die wesentliche Basis für politische Entscheidungen zum Klimaschutz. Doch nach gelöstem organischem Material sucht man in dem mehr als hundert Seiten starken Papier vergebens. Denn 2007 war der Wissensstand noch viel zu lückenhaft, um die 700 Milliarden Tonnen Kohlenstoff sinnvoll in globale Klimamodelle zu integrieren. „Nun wird es Zeit für ein Update“, sagt Thorsten Dittmar. ◀

GLOSSAR

Organische Moleküle

Unter diesem Begriff werden die meisten kohlenstoffhaltigen Verbindungen bezeichnet. Kohlenstoff ist nach Wasserstoff das Element, das die meisten chemischen Verbindungen mit anderen Elementen einzugehen vermag. So kann Kohlenstoff über Einzel- oder Doppelbindungen Ketten und Ringe mit sich selbst sowie anderen Elementen bilden. Kohlenstoffverbindungen gelten aus diesem Grund als die Basis allen Lebens auf der Erde.

Funktionalisierte polyzyklische Aromate

Polyzyklische aromatische Verbindungen sind organische Moleküle, in denen Atome in mehreren Ringen angeordnet sind. Die Bindungselektronen der Ringstrukturen sind nicht einer einzelnen Bindung zugeordnet, was die Moleküle sehr reaktionsträge und stabil macht. Funktionalisierte polyzyklische Aromate besitzen darüber hinaus zusätzliche Molekülreste, etwa Hydroxyl- oder Aminogruppen, welche die Polarität der Verbindungen und damit die Wasserlöslichkeit erhöhen.