

VIELFALT IM SAND

TEXT: NORA LESSING

52

Mikroorganismen im Meer sind von unschätzbarem Wert für die Stoffkreisläufe auf der Erde: Sie machen die Ozeane so zu Klimapuffern. Katrin Knittel vom Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen untersucht mit ihrem Team die Bakteriengemeinschaften im Meeresboden einer besonders unwirtlichen Gegend: der Arktis.

An der Küste Spitzbergens weht ein eisiger Wind. Schnee bedeckt den Strand, das Tal, die Berge. In der Ferne streift ein Eisbär an der Küste entlang. Seine Silhouette können die Forschenden nur mithilfe eines Schiffsscheinwerfers ausmachen, denn am Isfjorden vor Longyearbyen ist es zur Weihnachtszeit rund um die Uhr dunkel. Das Schiff, welches die Forschenden gechartert haben, ist fünf Meter breit und fünfzehn Meter lang. Die Wellen klatschen gegen den Bug. Ausgerüstet mit Stirnlampen, lassen die Wissen-

schaftlerinnen und Wissenschaftler ihren selbst gebauten Sedimentgreifer zu Wasser, den Ellrott Grab, benannt nach seinem am Bremer Max-Planck-Institut tätigen Entwickler, dem Ingenieur Andreas Ellrott. Die Sedimente entlang der Küste des Isfjorden bestehen, wie nahezu alle ständig unter Wasser liegenden Schelfsedimente, zum größten Teil aus durchlässigen Sanden. Mit ihrem Spezialgreifer können die Forschenden Bodenproben aus den Sedimenten entnehmen, ohne diese durcheinanderzubringen oder das sogenannte Porenwasser – das Wasser aus den Hohlräumen des Bodens – zu verlieren. Zudem ist der Greifer so klein und leicht, dass er auch auf kleinen Forschungsschiffen perfekt einsetzbar ist. Mit einer Kamera kontrollieren die Forschenden, dass das Gerät behutsam auf dem Meeresboden aufsetzt. Die Probe entnimmt der Greifer mit einer einzigen, fließenden Bewegung: Sand vom Meeresboden, bedeckt von einer dünnen Schicht Wasser. Ein Deckel verschließt die Probe, dann ziehen die Forschenden sie an Bord.

Algen, Sandkörner verschiedener Größe und Farbe, graubrauner Schlick – für das bloße Auge wirkt das Sediment höchst unscheinbar. Wer es jedoch unter dem Mikroskop betrachtet, entdeckt einen unvorstellbaren Artenreichtum. „In jedem Gramm Sediment leben 100 Millionen bis mehrere Milliarden von Mikroorganismen, die Tausenden verschiedenen Arten angehören“, erklärt Katrin Knittel, Projektleiterin in der Abteilung Molekulare Ökologie am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen. Egal wo sie und ihr Team den Greifer auswerfen: Im Sediment finden sie stets eine vor Artenreichtum nur so strotzende Mischung von Mikroorganismen, die sich im Zusammenleben mit ihren Fähigkeiten gegenseitig ergänzen.

Im Vergleich mit einem Sandkorn sind Bakterien winzig, die meisten sind nur rund 0,001 Millimeter klein. Aus Sicht eines Bakteriums wirkt da ein Sandkorn wie ein kleiner Planet, in dem sich Täler und Hügel, Spalten und Risse auftun. In ebendiesen sie-



WISSEN AUS

— BIOLOGIE & MEDIZIN

Der Isfjorden an der Westküste Spitzbergens ist mit über hundert Kilometern Länge einer der größten Fjorde der Insel. Forschende des Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie chartern die fünfzehn Meter lange MS Farm seit drei Jahrzehnten regelmäßig, um hier Wasser- und Bodenproben zu nehmen, die dann im Labor untersucht werden.





54

Dirk de Beer lässt während der Polarnacht im Isfjorden mit einem kleinen Kran den Ellrott-Greifer zu Wasser, ein selbst entwickeltes Gerät zum Nehmen von Bodenproben. Am Greifer ist eine Lampe montiert, die den Boden beleuchtet, sodass die Forschenden mit der ebenfalls am Greifer angebrachten Kamera beobachten können, ob das Gerät vorsichtig aufgesetzt hat und wie die Umgebung am Meeresboden aussieht. Gewichte sollen verhindern, dass das Gerät beim Zugreifen nach oben gedrückt wird.

deln viele Bakterien besonders gern, denn hier sind sie gut geschützt – vor der Strömung, vor mechanischem Abrieb oder vor Fressfeinden. Ein einziges Sandkorn kann bis zu hunderttausend Bakterien aus drei- bis sechstausend Arten beherbergen. Zuweilen siedeln die Bakterien dabei dicht an dicht, manchmal aber klaffen große unbesiedelte Flächen. Warum das so ist? Bisher noch ein Rätsel. Ein weiterer verblüffender Fund: Anders als in anderen Lebensräumen bilden

Bakterien auf Sandkörnern kaum Kolonien, vielmehr vermehren sich Individuen verschiedener Arten oft unmittelbar nebeneinander.

Unterschiedliche Lebensstile

Welche Mikroorganismen wo und unter welchen Bedingungen im Sediment leben, untersucht Chyrene Moncada

in ihrer Doktorarbeit. Sie zählt die Zellen, identifiziert die verschiedenen Arten und analysiert deren Stoffwechsel. Dazu hat sie eine Methode entwickelt, mit der sie Bakterien entsprechend ihres Lebensstils auf Sandkörnern in drei Gruppen einteilen kann: fest anhaftende Bakterien, lose anhaftende Bakterien und Porenwasserbakterien. Erstere sitzen derart fest an den Sandkörnern, dass sie nur mittels Ultraschall von ihnen gelöst werden können. Sie machen rund 85 Prozent aller Mikroben im Sediment aus, sind aber oftmals weniger aktiv als die Bakterien der anderen Gruppen und vermehren sich zumeist recht langsam. Die lose anhaftenden Bakterien sitzen ebenfalls auf den Sandkörnern, lassen sich aber durch Schütteln lösen. Diese Bakterien scheinen sehr aktiv zu sein und Sauerstoff und Nahrung schneller zu verarbeiten als ihre fest anhaftenden Nachbarn. Die dritte Gruppe wohnt im Wasser zwischen den Sandkörnern, dem Porenwasser. Diese Gruppe von Bakterien ist in Moncadas Experimenten – neben den lose anhaftenden Bakterien – die aktivste. „Die Bakterien im Porenwasser haben als erste Zugriff auf frische Nährstoffe aus der Umgebung“, erklärt die Mikrobiologin. „Die lose und die fest anhaftenden Bakterien verarbeiten dann, was die Porenwasserbakterien übrig lassen.“

Die Porenwasserbewohner haben also einen Standortvorteil: Die Nahrung, die aus der Wassersäule von oben herabrieselt, steht ihnen unmittelbar zur Verfügung. Daher wäre zu erwarten, dass diese Bakterien besonders zahlreich sind. Das ist aber nicht der Fall. „Im Porenwasser gibt es deutlich weniger Individuen als auf den Sandkörnern“, sagt Moncada. „Ich vermute, dass sie von weidenden und wasserfiltrierenden Tieren gefressen und auch von durchströmendem Wasser ausgespült werden.“ Wer sich im Porenwasser an reichhaltiger Nahrung labt, muss dafür also offenbar in Kauf nehmen, ständig in Lebensgefahr zu schweben. Eine deutlich ruhigere Nachbarschaft wählen die fest anhaftenden Bakterien, die in kleinen Spalten und Rissen auf den Sandkörnern ihre Zelte aufschlagen. Hier jedoch ist

die Versorgungslage mäßig. „Sie sind sicherer und werden nicht weggespült. Dafür kann der Wettbewerb mit den Nachbarn sehr hart sein.“

Bei den Bakteriengemeinschaften, die sich auf den Sandkörnern und um sie herum herausbilden, spielt nicht nur Konkurrenz, sondern vor allem Kooperation eine wichtige Rolle. Daher erforscht Sebastián Silva-Solar in seiner Doktorarbeit, wie genau diese Lebensräume von verschiedenen Arten besiedelt werden und wie die Arten mit der Konkurrenzsituation umgehen. Dazu mischt der Forscher etwa Meerwasser mit sterilisierten Sandkörnern und beobachtet, wie nach und nach unterschiedliche Bakterienarten aus dem Wasser auf die Oberfläche oder in die Ritzen eines Sandkorns vordringen. Wer zuerst da ist, bestimmt möglicherweise, wer sich als Nächstes ansiedelt. „Ich stelle mir das vor wie die Wiederbesiedelung eines mit Asche bedeckten Gebietes nach einem Vulkanausbruch: Am Anfang ist da nichts. Im Laufe der Zeit wachsen Gras und Büsche, und die schaffen die Voraussetzungen, dass andere Arten nachkommen können.“

Die Art und Weise, wie Bakterien Zuckermoleküle chemisch aufbrechen und verdauen, ist ein Beispiel für Zusammenarbeit. Einerseits gibt es eine „egoistische“ Abbaumethode. Dabei nutzen die Mikroorganismen Oberflächenenzyme, um die Zucker zu binden, grob zu zerkleinern und durch ihre äußere Zellmembran zu schleusen. Im Raum zwischen der äußeren und inneren Zellmembran der Bakterien werden die Zucker weiter zerkleinert und dann in die Zelle aufgenommen. „Dabei gehen wenig bis gar keine Abbauprodukte an die Umgebung verloren, sodass die Nahrung vor Konkurrenten geschützt ist“, erklärt Katrin Knittel. Alternativ zerlegen Bakterien die Zuckermoleküle vollständig außerhalb der Zelle. Die dabei entstehenden Abbauprodukte können dann allerdings auch von anderen Mikroorganismen genutzt werden. „Im Sediment ist der egoistische Abbauweg selten. Hier setzen die mikrobiellen Bewohner lieber auf gute Nachbarschaft und teilen“, so Knittel. „Die auf engem Raum zusammenlebenden Bakterien produzieren einen Enzymcocktail, der die Zuckermoleküle zerkleinert und der Gemein-

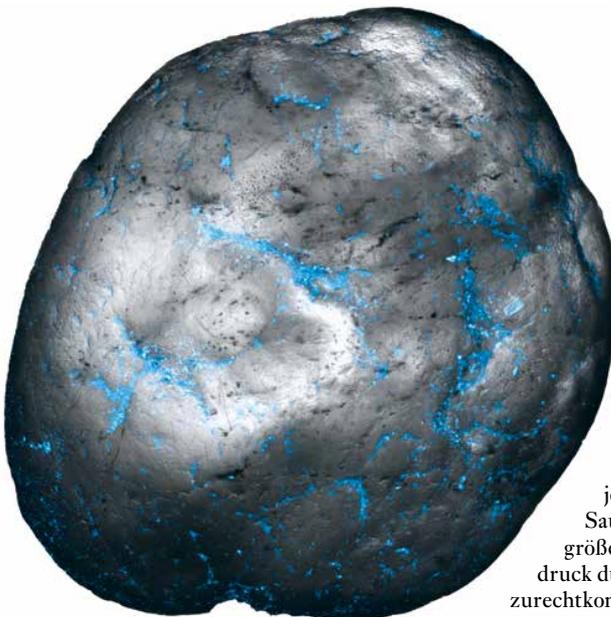
schaft zur Verfügung stellt.“ Welche Arten im Sediment dieser „kommunistischen Gesinnung“ fröhnen, ist im Einzelnen allerdings noch unklar. „Den größten Teil der Arten, die wir im Meerwasser finden, können wir bislang noch nicht im Labor kultivieren“, erklärt Katrin Knittel. Trotzdem lassen sich diese Bakterien und ihre Rolle im Ökosystem erforschen. „Wir haben mittlerweile eine Reihe von Untersuchungsmethoden entwickelt, für die wir die Arten nicht im Labor halten müssen. Erbgutanalysen sämtlicher im Sediment vorkommender Lebensgemeinschaften verraten uns beispielsweise, über welche Möglichkeiten zum Zuckerabbau einzelne Organismen verfügen.“ Außerdem sind oftmals gar nicht die einzelnen Arten entscheidend, sondern die Gemeinschaft als Ganzes.

Sommers wie winters

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt von Katrin Knittel und ihrem Team ist, wie die komplexe Bakteriengemeinschaft im Meeresboden auf sich ändernde Umweltbedingungen reagiert. Es hat sich bereits gezeigt, dass diese Gemeinschaft erstaunlich stabil ist. Die Forschenden führen zu verschiedenen Jahreszeiten – im Sommer und Winter, unter der Mitternachtssonne und in der Polarnacht – aufs Meer hinaus und nahmen Proben. Obwohl die Art und die Menge des absinkenden Materials deutlich variieren, beispielsweise weil in der dunklen Jahreszeit Algen kaum produktiv sind, verändert sich bei den Bakterien auf den ersten Blick nur wenig. Während sich die Bakteriengemeinschaft im freien Wasser im Wandel der Jahreszeiten modifiziert und anpasst, scheinen den Sandbakterien Frühling, Sommer, Herbst und Winter reichlich egal zu sein. „Die Artenvielfalt sowie die Anzahl der Individuen pro Art bleiben übers Jahr sehr stabil“, erläutert Katrin Knittel. Aber sind die Jahreszeiten ebenso wie die Polarnacht den Sandbakterien wirklich gleichgültig? Bei genauerem Hinsehen beobachteten die Forschenden

55

FOTO: SEBASTIAN SILVA



Auf Sandkörnern haftende Mikroorganismen (blau) siedeln in erster Linie in Rissen und Vertiefungen der Körnchen. Dort sind sie vor Umwelteinflüssen und Räubern geschützt, müssen jedoch auch mit Sauerstoffmangel und größerem Konkurrenzdruck durch andere Arten zurechtkommen. (Korngröße: 0,5 Millimeter)

den jedoch, dass einzelne Arten zu bestimmten Zeiten aktiver waren, auch wenn sich die Anzahl der Bewohner der Sandkörner nur wenig veränderte. Sind möglicherweise Enzyme im Laufe der Jahreszeiten unterschiedlich aktiv, weil jeweils unterschiedliche Nahrung am Boden zur Verfügung steht?

Gene für Zuckerabbau

Dazu untersuchten die Bremer Forschenden, welche Gene die Bakterien zum Abbau von Algenzuckern besitzen und wie weit sie diese nutzen. Und tatsächlich zeigen sich hier deutlichere Unterschiede als bei der Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaft. Insbesondere im Frühjahr und Sommer, wenn frisches Material aus dem Wasser herabsinkt, stürzen sich die Bakterien darauf. Sie besitzen aber auch die nötigen Enzyme, um das Material zu verzehren, das im Meeresboden vorhanden ist oder dort produziert wird. Hierzu zählen etwa tierische Schleime oder

56

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Der Meeresboden vor den Küsten beherbergt eine riesige Artenfülle an Mikroorganismen. Auf einem einzigen Sandkorn können bis zu hunderttausend Bakterien leben, die mehreren Tausend Arten angehören.

Im küstennahen Meeresboden ist die Bakteriengemeinschaft, unabhängig vom wechselnden Nahrungseintrag im Lauf der Jahreszeiten, stabil und divers. Je artenreicher die Gemeinschaft ist, desto robuster ist sie gegen Störungen. Wie sie auf Dauer mit den steigenden Wassertemperaturen, der Versauerung und Verschmutzung der Meere zurechtkommen wird, ist jedoch ungewiss.

Chitin. Daran knabbern die Bakterien das ganze Jahr über. Besonders wichtig ist diese Nahrungsquelle im Winter, wenn andere Nahrung fehlt. Die langfristige Verfügbarkeit dieser Substanzen im Meeresboden stabilisiert insgesamt die dortige Bakteriengemeinschaft. „Die Enzyme spiegeln wider, welche Algenzucker den Bakterien in den verschiedenen Jahreszeiten zur Verfügung stehen“, erläutert Knittel. „Es ist nicht so anders, wie wenn man bei uns auf den Markt geht: Im Sommer wird viel verschiedenes heimisches frisches Obst und Gemüse angeboten, aber im Winter bleiben irgendwann nur die eingelagerten Kartoffeln übrig.“ Die Forschenden vermuten, dass diese Effekte vor allem bei Porenwasser- und lose anhaftenden Bakterien auftreten, aber nicht bei den fest anhaftenden Bakterien.

Was dieses offenbar robuste Ökosystem dem Klimawandel entgegenzusetzen hat, muss sich noch zeigen. Gerade in

den Polarregionen wie in Spitzbergen sind die Veränderungen dramatisch. Noch weiß die Forschung wenig darüber, wie sich steigende Temperaturen und Veränderungen in der Meereschemie auf das Leben im Meeresboden auswirken. Aber die Erkenntnis von Knittel und ihrem Team, wie vielfältig die Bakteriengemeinschaft dort ist, macht Hoffnung: Ökosysteme mit hoher Biodiversität sind widerstandsfähiger gegenüber Umwelteinflüssen. Ein gesundes Ökosystem kann Umweltschwankungen abpuffern, auch wenn manche Faktoren kurzzeitig aus dem Gleichgewicht geraten. So können Bakterien im Meer dem Klimawandel entgegenwirken – etwa indem sie das klimaschädigende Gas Methan zersetzen, das an manchen Stellen aus dem Meeresboden blubbert. „Klar ist aber: Auch dieses Ökosystem kommt an die Grenzen der Belastbarkeit, wenn sein über lange Zeit stabiles Gleichgewicht ins Wanken geraten sollte“, sagt Katrin Knittel



FOTO: FANNI ASPETSBERGER / MPI FÜR MARINE MIKROBIOLOGIE

Nach erfolgter Probenahme holt Chyrene Moncada den Ellrott-Greifer im Isfjorden wieder an Bord und überprüft, ob der Einsatz erfolgreich war.

