

Im Untergrund des Watts: Bakterien in der „tiefen Biosphäre“

Von Bert Engelen

Mikrobielle Prozesse in tieferen Sedimentschichten des Watts wurden bisher kaum erforscht. Die Analyse der Bakteriengemeinschaften im Untergrund des Watts soll zu einer Bilanzierung der Stoffflüsse im Gesamtsystem Wattenmeer beitragen.



Das Bild des norddeutschen Wattenmeeres wird geprägt durch die zahlreichen Vögel auf den Inseln und den Wattflächen und durch die Fischerboote in den Häfen, Anzeichen für die enorme Produktivität des Ökosystems Watt. Aber wie kommt es zu dem Organismenreichtum im Watt? Wie in jedem Ökosystem spielen Mikroorganismen dabei eine wichtige Rolle. Es handelt es sich um Bakterien und Archaeen, zwei unterschiedliche Arten von Organismen, die schon seit Milliarden von Jahren die Erde besiedeln. Sie stehen an einer entscheidenden Stelle in der Nahrungskette, denn sie zersetzen das organische Material der abgestorbenen Lebewesen und liefern Nährstoffe, aus denen neues Leben aufgebaut werden kann. Die große Aktivität der Bakterien ist leicht erkennbar, wenn man auf einer Wattwandlung mit einem Spaten in das Sediment sticht. Die oberen Millimeter sind bräunlich gefärbt und zeigen die Eindringtiefe des Sauerstoffs an. In der oberen Schicht erfolgt die erste Zersetzung des organischen Materials, bei der Sauerstoff durch die Bakterien verbraucht wird. Darunter ist das Watt aber keineswegs tot. Wenige Millimeter tiefer beginnt die Welt der anaeroben Mikroorganismen, die ihren Stoffwechsel an ein sauerstoffreiches Milieu angepasst haben. Sie benutzen Nitrat, Sulfat

oder Mangandioxid zur Energiegewinnung und zum weiteren Abbau des organischen Materials. Ein Zeichen für die Aktivität der sulfatreduzierenden Bakterien ist die Schwarzfärbung des Sediments und der typische Geruch nach faulen Eiern. Die oberflächennahe Zone der Wattsedimente ist recht gut untersucht. Nahezu völlig unbekannt ist, was sich in den tieferen Schichten des Sediments abspielt. Wir wollen deshalb herausfinden, welche mikrobiellen Lebensgemeinschaften die verschiedenen Tiefenzonen im Wattsediment besiedeln, welche Anpassungen sie an ihren Lebensraum zeigen und welche Nährstoffe ihnen zur Verfügung stehen. Diese Fragen können nur durch eine enge Zusammenarbeit von Mikrobiologen und Geochemikern unter Kombination ihrer Untersuchungsmethoden beantwortet werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche interdisziplinäre Forschung ist das geeignete Probenmaterial.

Probenahme im Watt

Zunächst muss ein geeigneter Zeitpunkt für die Probenahme gefunden werden, da die Wattflächen nur bei Niedrigwasser betreten werden können. An der Probenahmestelle

Microbial processes in the deeper layers of tidal flat sediments have hardly been investigated so far. The analysis of bacterial communities in the subsurface of tidal flats will contribute to understanding the balance of material transport in the Wadden Sea system.

wird zur Gewinnung eines Sedimentkerns ein vibrierender Zylinder an einem Aluminiumrohr befestigt, der normalerweise auf Baustellen zur Verdichtung von Beton benutzt wird. Ein mobiler Generator liefert die nötige Energie, um das sechs Meter lange Rohr in das Sediment zu rütteln. Anschließend wird das Rohr mit dem Sediment über ein Dreibein mit Flaschenzug wieder herausgezogen. Bilder und Berichte von Probenahmen im Watt und von anderen Expeditionen sind auf der Internetseite der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie des ICBM unter www.icbm.de/pmbio zu finden.

Das Aluminiumrohr mit seinem Inhalt wird vor Ort in leichter transportable Abschnitte geteilt und nach Oldenburg gebracht, wo die Beprobung der verschiedenen Sedimentschichten erfolgt. Die Rohrabschnitte werden dazu der Länge nach aufgesägt und in zwei Hälften geteilt. Der eine Teil wird für geochemische Analysen verwendet, für die Proben aus verschiedenen Tiefen zur Gewinnung des Porenwassers entnommen werden. Die andere Hälfte des Kerns dient der mikrobiologischen Untersuchung. Ein Teil der Proben

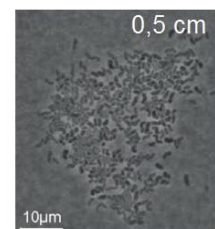
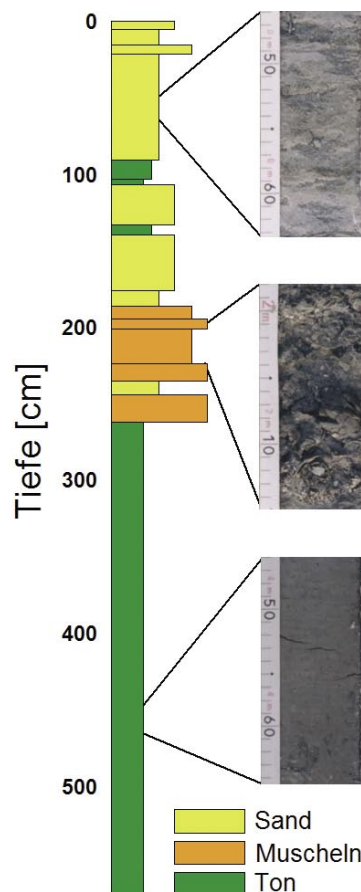
wird in Ethanol fixiert und für die mikroskopische Zählung der Bakterien kühl gelagert. Ein anderer Teil wird sofort eingefroren und später mit molekularbiologischen Methoden analysiert. Die dritte Fraktion wird für die Kultivierung von Mikroorganismen in Nährmedien überführt. Ziel ist es, die Zusammensetzung der Bakteriengemeinschaften in den verschiedenen Tiefen der Sedimentsäule als Ganzes zu erfassen, aber auch prägende Vertreter zu kultivieren. Die Anreicherung und Isolierung von Mikroorganismen ist immer der „Königsweg“ der mikrobiellen Ökologie, da anhand von Bakterien-Reinkulturen die speziellen Stoffwechseleigenschaften untersucht werden können. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Funktion im Ökosystem zu. Aber auch die Anwendung zusätzlicher molekularbiologischer Methoden ist sinnvoll.

Das Dilemma der mikrobiellen Ökologie

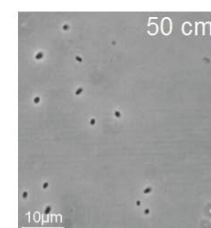
Durch die Verwendung von molekularbiologischen Methoden in der mikrobiellen Ökologie hat sich gezeigt, dass an den

meisten Standorten nur weniger als 1 Prozent der dort vorkommenden Mikroorganismen kultiviert werden können. Dies liegt daran, dass die Verhältnisse der Natur im Labor nicht ausreichend gut simuliert werden können. Auch funktioniert die Isolierung, also die Vereinzelung von Mikroorganismen in Kulturen, nur bedingt, da einige Arten nur in Gemeinschaft wachsen können. Die Kunst der klassischen Mikrobiologie ist es daher, geeignete Methoden und Kultivierungsstrategien zu finden, um möglichst viele verschiedene Vertreter der Bakteriengemeinschaften zum Wachstum zu bringen.

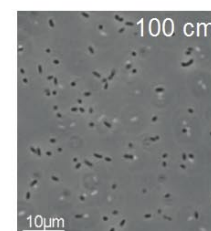
Die Molekularbiologie sucht nach genetischen Mustern, die unabhängig von einer Kultivierung erfasst werden können. Bei Anwendung dieser Methode können aber meist nur die Namen und Verwandtschaftsverhältnisse von Mikroorganismen aufgedeckt werden. Untersuchungen zur Aufklärung der Stoffwechselleistungen sind nicht möglich. Eine gute Analyse von Bakteriengemeinschaften erfordert also die erfolgreiche Kombination unterschiedlicher Methoden.



Glaciecola pallidula



Vibrio splendidus



Shewanella violacea

Bakterienisolate

Links: Entnahme eines bis zu sechs Meter langen Sedimentkerns auf dem Neuharlingersielener Nacken. Rechts: Struktur des Sedimentkerns vom Neuharlingersielener Nacken und Bakterienisolate aus verschiedenen Tiefenstufen.



Wachstumsmedien zur Anreicherung von Bakterien aus dem Watt werden mit Proben aus verschiedenen Tiefenstufen des Sediments beimpft.

Mikrobielle Gemeinschaften in der Tiefe des Watts

In unseren Untersuchungen der Sedimente von verschiedenen Wattflächen bis in eine Tiefe von über fünf Metern konnten wir zeigen, dass die Zahl der Mikroorganismen generell mit der Tiefe abnimmt. Selbst in den tiefsten Schichten finden wir allerdings noch etwa zehn Millionen Mikroorganismen pro Gramm Sediment. Die genetischen „Fingerabdrücke“ zeigen an, dass die Zusammensetzung der mikrobiellen Lebensgemeinschaften in den verschiedenen Tiefenstufen sehr stark von der Beschaffenheit des Sediments abhängt. So ist ein Sedimentkern, der auf dem Neuharlingersielener Nacken gewonnen wurde, in drei Bereiche unterteilbar. Die obere sandige Zone reicht bis in eine Tiefe von etwa zwei Metern, ihr folgen eine eingelagerte Muschelschicht und ein toniger Bereich unterhalb von drei Metern. Molekularbiologisch wurden in dem tiefsten Bereich des Sedimentkerns Bakterien nachgewiesen, wie man sie auch bei Untersuchungen von Tiefseesedimenten findet; allerdings gibt es von ihnen bisher kaum kultivierte Vertreter. Es ist uns zwar gelungen, diese Gruppe in unseren Kulturmedien anzureichern, nicht aber sie als Reinkultur zu isolieren. Insgesamt wurden bei unseren Kultivierungsansätzen etwa 150 Bakterien-Reinkulturen isoliert und auf ihre Stoffwechselleistungen hin untersucht. Aus der tiefsten Zone der Sedimentkerne wurden allerdings fast ausschließlich Sporenbildner isoliert. Es ist also nicht auszuschließen, dass die Zellen in diesem Bereich als Überdauerungsstadien vorliegen und wenig zur mikrobiellen Aktivität beitragen.

Mikrobielle Aktivitäten

Nachdem in den letzten drei Jahren die Bestandsaufnahme der Bakteriengemeinschaften in der Tiefe des Watts im Vordergrund stand, konzentrieren wir uns derzeit auf die Erfassung der mikrobiellen Aktivitäten. Diese Messungen liefern Informationen für die modellierenden Arbeitsgruppen, die an dem Wattprojekt beteiligt sind. Zusammen mit chemischen Daten dienen die Aktivitätsmessungen einer Bilanzierung der Stoffflüsse im Watt. Die Aktivitäten der mikrobiellen Enzyme, die Sulfatreduktion und die Methanoxidation nehmen wie die Zellzahl mit der Tiefe ab, sind aber auch noch in den tiefsten bisher untersuchten Schichten der Sedimentsäule nachweisbar.

Die Rolle des Methans im Watt

Im Wattenmeer wurden im Vergleich mit dem offenen Ozean etwa hundertfach erhöhte Methankonzentrationen gemessen. Um Quellen und Senken dieses klimaaktiven Gases aufzudecken, soll in den kommenden drei Jahren der Methankreislauf in allen Bereichen des Watts (Sediment, Wasser, Schwebstoffe) untersucht werden. Die am Kreislauf beteiligten Mikroorganismen sollen gezählt, isoliert und stoffwechselphysiologisch charakterisiert werden. Von besonderem Interesse sind Lebensgemeinschaften aus methanbildenden Archaeen und sulfatreduzierenden Bakterien, die gemeinsam das im Sediment gebildete Methan unter sauerstofffreien Bedingungen oxidieren

und damit verbrauchen. Diese Konsortien waren bisher nur aus der Tiefsee bekannt und wurden kürzlich von einer Arbeitsgruppe des Bremer Max-Planck-Instituts für marine Mikrobiologie auch im Watt entdeckt.

Verbindungen zur „Tiefen Biosphäre“

In den letzten zehn Jahren wurde deutlich, dass die Ausdehnung der belebten Umwelt wesentlich größer ist, als bisher vermutet. Besonders die Zahl der Mikroorganismen in Tiefseesedimenten ist enorm hoch. Diese so genannte „Tiefe Biosphäre“ beherbergt etwa dieselbe Zahl an Mikroorganismen wie die feste Oberfläche der Erde. Die einzelnen Zellen scheinen zwar wenig aktiv zu sein, aber ihre ungeheure Menge hat eindeutig einen Einfluss auf globale Stoffkreisläufe. Wie die Bewohner der tiefen Biosphäre überleben, woher sie ihre Energie beziehen und welche speziellen Stoffwechselmechanismen sie besitzen, ist weitgehend unbekannt. Die Bakterienarten, die wir bei der Analyse der tiefen Schichten der Wattsedimente gefunden haben, ähneln stark denen der tiefen Biosphäre. Viele von ihnen liegen als Überdauerungsstadien vor und zeigen eine geringe Aktivität. Wir haben mit dem Watt also ein Untersuchungsgebiet vor unserer Haustür, an dem sich aktuelle Fragen zur tiefen Biosphäre beantworten lassen. Die Entwicklungsarbeiten bei der Untersuchung von mikrobiellen Gemeinschaften im Watt strahlen demnach weit über das Wattenmeer hinaus.

Der Autor



Dr. Bert Engelen ist seit 2001 wissenschaftlicher Assistent in der Arbeitsgruppe Paläomikrobiologie des ICBM. Er studierte in Braunschweig Biologie mit den Schwerpunkten Mikrobiologie, Biochemie und Siedlungswasserwirtschaft. Im Jahr 1998 promovierte er an der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft und arbeitete anschließend bei der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung in einem dreijährigen Forschungsprojekt. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Analyse von mikrobiellen Gemeinschaften mariner Sedimente, aber auch anderer Standorte wie z.B. des Bodens, der Wassersäule und in Erdöllagerstätten.