

Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie

Ein ungewöhnliches Enzym ermöglicht die Inaktivierung von Methan

Presse ♦ Archiv der Pressemitteilungen ♦ Pressemitteilungen 2003 ♦ Ein ungewöhnliches Enzym ermöglicht die Inaktiv...

19.12.2003

Methan ist wie Kohlendioxid ein Treibhausgas. Es entsteht im Meeresboden in riesigen Mengen beim Verwesensorganischen Materials und könnte als Gas in die Atmosphäre aufsteigen. Erst kürzlich entdeckte man, dass eine natürliche Barriere aus Mikroorganismen dieses verhindert.



Methan ist wie Kohlendioxid ein Treibhausgas. Es entsteht im Meeresboden in riesigen Mengen beim Verwesensorganischen Materials und könnte als Gas in die Atmosphäre aufsteigen. Erst kürzlich entdeckte man, dass eine natürliche Barriere aus Mikroorganismen dieses verhindert. Bei der Entschlüsselung dieses komplexen Prozesses ist man jetzt weiter gekommen. Max-Planck-Forschern aus Marburg, Berlin und Bremen ist es jetzt gelungen, den Biokatalysator zu identifizieren und zu isolieren, der das Kunststück fertig bringt, das chemisch träge Methan bei Normaltemperaturen ohne Sauerstoff unschädlich zu machen.

Methan ist ein häufig vorkommendes natürliches Gas. Es ist Hauptbestandteil von Erdgas, das wir als Energielieferanten nutzen, und von Sumpfgas, das aus stehenden Gewässern und Reisfeldern in die Luft entweicht. Dieser Ausstoß in die Atmosphäre gibt Anlaß zu Sorgen: Methan ist wie Kohlendioxid ein Klimagas, das infrarote Strahlung abfängt und zur globalen Erwärmung beiträgt.

Seit wenigen Jahren gilt einer weiteren Gasquelle vermehrt die Aufmerksamkeit von Geologen, Klimaforschern und Biologen, nämlich dem im Meeresboden gebildeten und gespeicherten Methan. Die Mengen übertreffen sogar die der fossilen Brennstoffe bei weitem. Trotz ständiger Neubildung und Wanderung zur Oberfläche des Meeresbodens gelangen aber zum Glück keine bedenklichen Methanmengen aus dem Meer in die Atmosphäre. Spezielle Mikroorganismen unter der Oberfläche des Meeresbodens oxidieren nämlich das Methan, bevor es ins freie Wasser gelangen kann (Abbildung 1 und 2). Dieser Oxidationsvorgang, so wichtig und weit verbreitet er auch ist, ist dennoch alles andere als verstanden (Pressemitteilung "Methanfresser im Ozean" vom 11.10.2000).

Es gibt Befunde, die zeigen, dass dieser Prozeß von zwei in Symbiose lebenden Mikroorganismen gesteuert wird. Doch das Wissen um diesen geheimnisvollen Prozess wächst. Schon länger ist bekannt, dass in der Zone der Methanoxidation kein Sauerstoff vorhanden ist und für die Mikroorganismen nur das aus dem Meerwasser kommende Sulfat als Oxidationsmittel zur Verfügung steht. Das Sulfat wird dabei zu Schwefelwasserstoff reduziert. Schwefelwasserstoff ist für höhere Lebewesen zwar sehr giftig, wird aber durch andere Mikroorganismen etwas weiter oben im Kontakt mit dem freien Meerwasser sehr schnell und vollständig reoxidiert.



Abbildung 1 Proben aus dem Schwarzen Meer: Ein Stück dieser Schlote konnten die Forscher mit einem Tauchboot aus 200 Meter Tiefe bergen und das neue Enzym isolieren. (Bildquelle: Projekt Ghostdabs, Universität Hamburg).

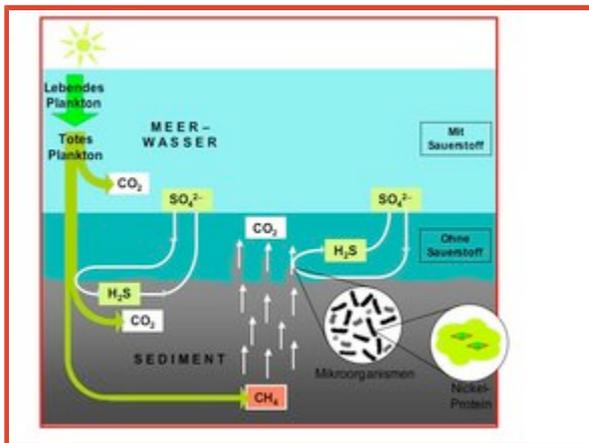


Abbildung 2 Der Weg des Kohlenstoffs im Schwarzen Meer mit Bildung und Inaktivierung von Methan. Der gesamte Wasserkörper des Schwarzen Meeres besteht aus einem oberen Teil mit Sauerstoff und einem unteren Teil ohne Sauerstoff. Abgestorbenes Plankton sinkt in die Tiefe und die Zersetzung zu Kohlendioxid (CO_2) beginnt. Im oberen Wasser passiert das mit Sauerstoff (der Einfachheit halber nicht eingezeichnet). Weiter unten bauen dann sogenannte Sulfat-reduzierende Mikroorganismen das tote organische Material mit Hilfe des im Meerwasser reichlich vorhandenen Sulfats ab. Dabei bildet sich Schwefelwasserstoff sowie wiederum Kohlendioxid (CO_2). In der tieferen Sedimentschicht ist das Sulfat verbraucht und es entsteht gasförmiges Methan (CH_4). In Proben aus den Schloten aus dem Schwarzen Meer wurden die neuartigen Mikroorganismen in den Mikrobenmatten entdeckt, die dieses Methan mit Sulfat (SO_4^{2-}) oxidieren, also inaktivieren. Aus Sulfat wird dabei wiederum Schwefelwasserstoff, der in einem anderen Prozess in Sulfat zurückverwandelt wird. In anderen Meeren enthält gewöhnlich der gesamte Wasserkörper Sauerstoff und die Methanoxidation mit Sulfat findet dann im Sediment statt.

Doch ungelöste Fragen gibt es noch reichlich: Sulfat ist ein viel schwächeres Oxidationsmittel als Sauerstoff. Somit liefert die Methanoxidation mit Sulfat auch sehr, sehr wenig Energie für die Zellen, und es erstaunt, wie die Mikroorganismen mit dieser Niedrigskalorien-Kost überhaupt ihr Leben fristen können. Doch nicht genug damit. Methan ist eine äußerst reaktionsträge Substanz. Die Formel des Methanmoleküls ist CH_4 , d.h. es besteht aus einem Atom Kohlenstoff (C) und vier Atomen Wasserstoff (H), die das Kohlenstoffatom symmetrisch umgeben und abschirmen, so dass es chemisch schwer angreifbar ist. Es stimmt zwar, dass Methan-Luft-Gemische sehr heftig explodieren können, aber diese von Sauerstoff abhängige Reaktion braucht eine glühend-heiße Zündung und läuft bei mehreren hundert Grad Celsius ab. Der Meeresboden dort, wo Methan oxidiert wird, ist jedoch kalt und enthält keinen Sauerstoff. In der Chemie kennt man zwar auch einige Reaktionen von Methan, die keiner Initialzündung und keines Sauerstoffs bedürfen, dafür aber anderweitig sehr extreme Verhältnisse wie z.B. hoch konzentrierte Schwefelsäure und einen besonderen Katalysator erfordern. Die Mikroorganismen schaffen es aber offensichtlich spielend, das Methan ohne extreme Retortenbedingungen umzusetzen. Lange hat man über das Enzym, sprich den Biokatalysator spekuliert, mit dem die Mikroorganismen das widerspenstige Methan aufschließen. Diesem Biokatalysator sind Wissenschaftler an den Max-Planck-Instituten für Terrestrische Mikrobiologie in Marburg, Marine Mikrobiologie in Bremen und Molekulare Genetik in Berlin nun offensichtlich auf die Spur gekommen. Eine Schwierigkeit dabei war, dass man die methanoxidierenden Mikroorganismen bisher nicht im Labor züchten konnte, was sonst immer eine Voraussetzung für biochemische Untersuchungen war. Möglich wurde die Erforschung des ungewöhnlichen Enzyms dennoch durch eine vorausgegangene Expedition ins Schwarze Meer in einem Kooperationsprojekt mit der Universität Hamburg. Während dieser Expedition waren Unterwassergebiete in 200 Metern Tiefe aufgespürt worden, wo Methan in schlotähnlichen Gebilden nach oben steigt ("Riffe" aus Bakterien entdeckt, Pressemitteilung vom 9.8.2002. Diese Schloten sind so dicht mit pelzigen Belägen, sogenannten Matten, aus methanoxidierenden Mikroorganismen bewachsen, dass sie genügend Substanz für biochemische Untersuchungen im Labor liefern. Über spezielle Extraktions- und

Trennverfahren ließ sich aus den Matten ein auffälliges Protein isolieren, das in seiner Menge alle anderen darin vorkommenden Proteine übertraf und daher eine zentrale Rolle in den dortigen Mikroorganismen spielen muss. Eine weitere Analyse ergab, dass dieses Protein Nickel enthält, ein Metall, das im Vergleich mit dem häufigen Biometall Eisen, als relativ selten in Zellen aller Art gilt. Allerdings weiß man schon lange, dass Nickel auch etwas mit dem umgekehrten Prozeß, der Bildung von Methan, zu tun hat. Der Biokatalysator in den Mikroorganismen, der zur Freisetzung von Methan in Sümpfen, Reisfeldern und Sedimenten führt, ist ebenfalls ein Protein, das Nickel enthält. Der Vergleich der beiden Proteine zeigte große Ähnlichkeiten. Aus allen diesen Beobachtungen schlossen die Forscher, dass es sich bei dem in den Matten so häufig vorkommenden Protein um das gesuchte Enzym für den Verdau von Methan handelt.

Dann begann die Suche nach dem Gen für dieses Protein bzw. Biokatalysator. Diese gestaltete sich schwierig, weil das Ausgangsmaterial mit einer unbekanntem Anzahl von anderen Organismen verunreinigt war und damit die Erbinformationen vieler Bakterien enthielt. Den Forschern gelang es bis jetzt nicht, die Mikroorganismen aus der Mikrobenmatte aufzureinigen und eine Reinkultur zu erzeugen, die sie dann nach allen Regeln der Kunst hätten untersuchen können. Das war keine Überraschung, denn auch viele andere Mikroorganismen aus der Umwelt kann man im Labor nicht zum Wachsen bringen. Die Forscher konnten trotz dieser Schwierigkeit in diesem genetischen "Heuhaufen" die "Stecknadel" finden: das vollständige Gen für das Nickel-haltige Protein. Sie nutzten dafür Techniken aus der Genomanalyse, die bisher vor allem in den Bereichen Medizin und Biotechnologie eingesetzt wurden. Mit dieser „Umweltgenomik“ konnten die Wissenschaftler einen großen vollständigen Genomabschnitt, ein sogenanntes Contig, aus der Umwelt ins Labor holen. Im Gegensatz zum klassischen Ansatz braucht man dazu keine aufgereinigten Bakterien, sondern "zäumt das Pferd von hinten auf". Die Forscher schredderten zuerst grob die gesamte Erbsubstanz der Umweltprobe und suchten dann gezielt nach Contigs mit den wesentlichen Genen. Diese Stücke wurden dann gelesen („sequenziert“), mittels Bioformatik interpretiert und konnten dann einem bisher nicht isolierten Archaeobakterium zugeordnet werden. Mit diesem neuartigen Ansatz eröffnen sich mit einem Schlag neue Perspektiven. Es wird zunehmend möglich, nicht nur das Genom eines einzelnen Organismus, sondern den Genpool (d.h. alle Gene aller Organismen) eines Habitats zu studieren. Seien es die Lebensgemeinschaften an extremen Standorten wie der Arktis oder an heißen Thermalquellen, oder auch ganz „normale“ Standorte wie das Wattenmeer - an Überraschungen wird es nicht fehlen.

So war es auch bei den Methan-oxidierenden Mikrobenmatten aus dem Schwarzen Meer. Als die beteiligten Forscher die Gene analysierten, welche die Erbinformation für die Bildung des Nickel-haltigen Proteins tragen, fanden sie eine auffallende Ähnlichkeit mit der Erbinformation für das Methan-bildende Enzym. Warum letzteres für den "Vorwärts"-Prozeß, die Methanbildung, aber das neu gefundene Protein für den "Rückwärts"-Prozeß, die Methanoxidation, geeignet ist, ist noch unklar. Dass diese Biochemie derzeit noch so geheimnisvoll erscheint, mutet wie ein Paradoxon an: Methan ist ein sehr kleines, einfaches Molekül, viel kleiner und einfacher als z.B. Rohrzucker. Mit der Biochemie verhält es sich aber ganz offensichtlich umgekehrt: Der biochemische Abbau von Rohrzucker ist wohlbekannt und einfach zu verstehen, während alle biochemische "Prozesse ums Methan" den Biologen zum Grübeln und den Chemiker zum Staunen bringen. Doch ist dieses kein Staunen und Grübeln im Elfenbeinturm. Für die chemisch-technische Verwertung Methan als Ausgangsstoff wäre ein Katalysator nach einem Prinzip, wie es die Mikroorganismen in den Matten seit Jahrtausenden anwenden, eine Errungenschaft. Auch das „neue“ Nickel-Enzym selbst ist nichts Exotisches: Angesichts seines hohen Prozentgehalts in den Mikroorganismenzellen und angesichts der riesigen Flächen im Meer, wo Methan oxidiert wird, darf man es sicherlich als ein weltweit häufiges Enzym mit einer Schlüsselfunktion im Stoffkreislauf der Meere bezeichnen.

Rückfragen an

a) Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie, Bremen, Celsiusstr. 1, 28359 Bremen
www.mpi-bremen.de

Dr. Martin Krüger, 0421-2028-736, mkrueger@mpi-bremen.de
Prof. Dr. Friedrich Widdel, 0421-2028-700, fwiddel@mpi-bremen.de
Prof. Dr. Rudolf Amann, 0421-2028-930, ramann@mpi-bremen.de

Pressesprecher

Dr. Manfred Schlösser, 0421-2028-704, mschloes@mpi-bremen.de

oder an die anderen beteiligten Institute

b) Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Marburg
Karl-von-Frisch-Str., 35043 Marburg
www.uni-marburg.de/mpi/
Prof. Dr. Rolf Thauer, 06421-178-201, thauer@staff.uni-marburg.de

c) Max-Planck-Institut molekulare Genetik, Berlin
Ihnestrasse 63 – 73, 14195 Berlin
www.molgen.mpg.de

Dr. Richard Reinhardt, 030-8413-1226, rr@molgen.mpg.de

Titel der Originalarbeit

"A conspicuous nickel protein in microbial mats that oxidise methane anaerobically"
Martin Krüger, Anke Meyerdierks, Frank Oliver Glöckner, Rudolf Amann, Friedrich Widdel,
Michael Kube, Richard Reinhardt, Jörg Kahnt, Reinhard Böcher, Rudolf K. Thauer, Seigo Shima.
Nature, Band 426, S. 878-881, 18./25.12.2003.

© 2005, Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie