

# Partner in der Tiefsee

In einem Forschungslabor Bedingungen wie in der Tiefsee zu schaffen, ist wahrlich eine Meisterleistung. **Gunter Wegener** beherrscht diese Kunst. Zusammen mit seinem Team vom **Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie** in Bremen möchte er herausfinden, wie Mikroorganismen am Meeresgrund Methan und andere Kohlenwasserstoffe abbauen.

TEXT **KLAUS WILHELM**

**D**as Häufchen Schlamm, das den Startpunkt des wissenschaftlichen Abenteurers von Gunter Wegener bildet, stammt aus den Tiefen des Meeres. 2009 tauchte Wegener mit einem Forschungs-U-Boot im Guaymas-Becken im Golf von Kalifornien und entnahm in 2000 Metern Tiefe Proben vom Meeresgrund.

„Ich schreibe gerade für ein Kapitel in einem der Standardwerke der Mikrobiologie“, sagt Wegener. „Lehrbuchwissen zu schaffen, das ist für mich schon immer ein Traum gewesen.“ Im betreffenden Kapitel geht es um den Abbau von Erdgas durch Mikroorganismen ohne Sauerstoff – Wissenschaftler wür-

den sagen: die anaerobe Oxidation von Methan – und was Wegener darüber herausgefunden hat.

Im Zentrum der Erkenntnisse von Gunter Wegener und seinem Team steht eine Lebensgemeinschaft sogenannter Archaeen und Bakterien im Meeresboden. Diese fühlen sich erst dann wohl, wenn es richtig heiß ist. Archaeen sind Organismen, die zwar wie Bakterien aussehen, sich aber genetisch fundamental von diesen unterscheiden. Wissenschaftler stellen sie deshalb in eine eigenständige Domäne im Stammbaum des Lebens.

Wie Mikroorganismen Erdgas ohne Sauerstoff abbauen und welche das tun, war bis zu jener Tauchfahrt im Golf von

Im Guaymas Basin im Golf von Kalifornien strömt in 2000 Metern Tiefe salzhaltiges Wasser aus dem Meeresboden und formt Türme aus Mineralien. In den gelben Bakterienmatten (im Bildhintergrund) gibt es Lebensgemeinschaften aus Bakterien und Archaeen. Auf seinen Tauchfahrten mit dem Forschungs-U-Boot Alvin hat Gunter Wegener Proben genommen und die darin lebenden Mikroben im Labor kultiviert.



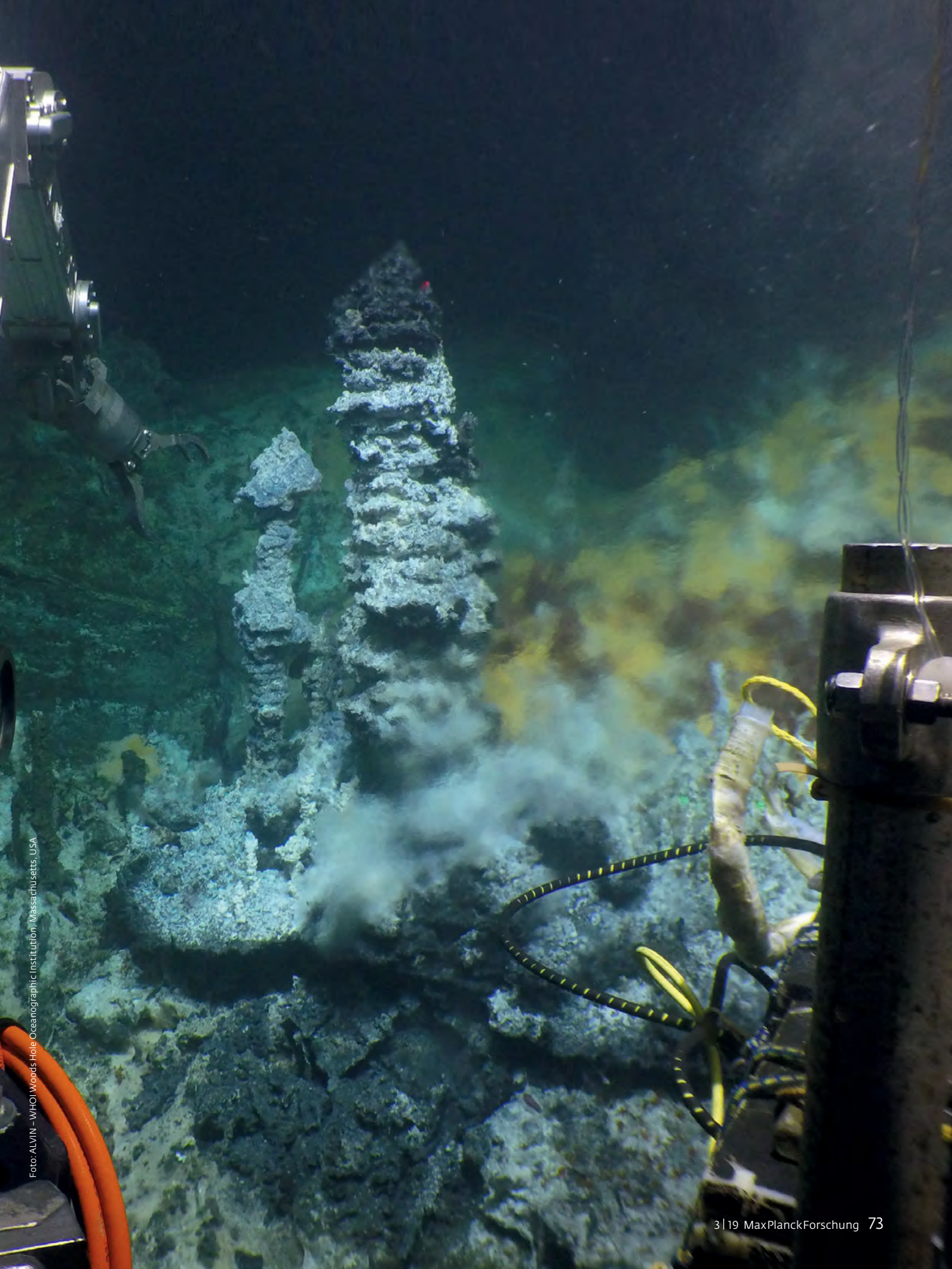


Foto: ALVIN - WHOI Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts, USA



Archaeen leisten einen wichtigen Beitrag zum Auf- und Abbau von Kohlenwasserstoffen auf der Erde.

Kalifornien nicht bekannt. Im Guaymas-Becken entstehen durch geologische Aktivitäten der Erdkruste große Mengen von Methan. Trotzdem steigt nur wenig von dem Treibhausgas auf und gelangt in die Atmosphäre. Wissenschaftler vermuteten deshalb, dass es einen Organismus geben müsse, der das Methan abbaut. Aber erst im Jahr 2000 konnte Antje Boetius am Bremer Max-Planck-Institut nachweisen, dass ein Verbund aus Archaeen und Bakterien das Methan umwandelt – und das ohne Sauerstoff, den es tief im Meeresboden nicht gibt.

Offenbar können manche Archaeen Methan oxidieren und so Energie gewinnen. Am Ende der Reaktionskette entsteht Karbonat. Die Bakterien wiederum profitieren davon, weil sie Sulfat und ein damals unbekanntes Zwischenprodukt nutzen, das bei der Methanoxidation anfällt. „Sie reduzieren Sulfat zu Sulfid“, wie Wegener wissenschaftlich korrekt sagt.

Das Problem: Boetius und ihre Kollegen haben die Lebensgemeinschaften zwischen Methan oxidierenden Archaeen und Sulfat reduzierenden Bakterien nur in kalten Lebensräumen mit Temperaturen von minus 1,5 bis 20 Grad gefunden. Die daran beteiligten Organismen allerdings vermehren sich unfassbar langsam: einmal in sechs Monaten. Im Labor lassen sich mit diesem Tempo diese Organismen kaum kultivieren und Stoffwechselvorgänge wie der Methanabbau analysieren.

Archaeen aus heißen Biotopen wie im Guaymas-Becken haben es vermeh-

rungstechisch eiliger, das war schon länger bekannt. Manch methanogene Spezies kann unter Druck auch bei über 100 Grad Methan herstellen. Und weil der anaerobe Methanabbau der Methanogenese biochemisch sehr ähnlich ist, hatte Wegener die leise Hoffnung, dass er in dem Häufchen Schlamm fündig werden und die mysteriösen Methanfresser ausfindig machen könnte.

### DIE KUNST, MIKROBEN ZU ZÜCHTEN

Dem Forscherteam am Max-Planck-Institut gelang es, aus dem Schlamm die gesuchten Archaeen zu gewinnen und zu kultivieren. „An sich war das ja gar nicht so schwierig“, sagt Wegener, „man braucht dafür eigentlich nur zwei Dinge: Zeit und Geduld.“ Weil beides heute Mangelware ist, ist die Kunst der Kultivierung von Mikroorganismen unter Wegeners Kollegen etwas in den Hintergrund gerückt. Stattdessen haben sich Forscher stärker darauf konzentriert, das Erbgut aller in einer Wasser- oder Bodenprobe enthaltenen Organismen zu sammeln, zu entschlüsseln und wieder einzelnen Lebewesen zuzuordnen. Diese auch Metagenomik genannte Methode liefert einen schnellen, aber eher oberflächlichen Einblick in die Fähigkeiten von Organismen.

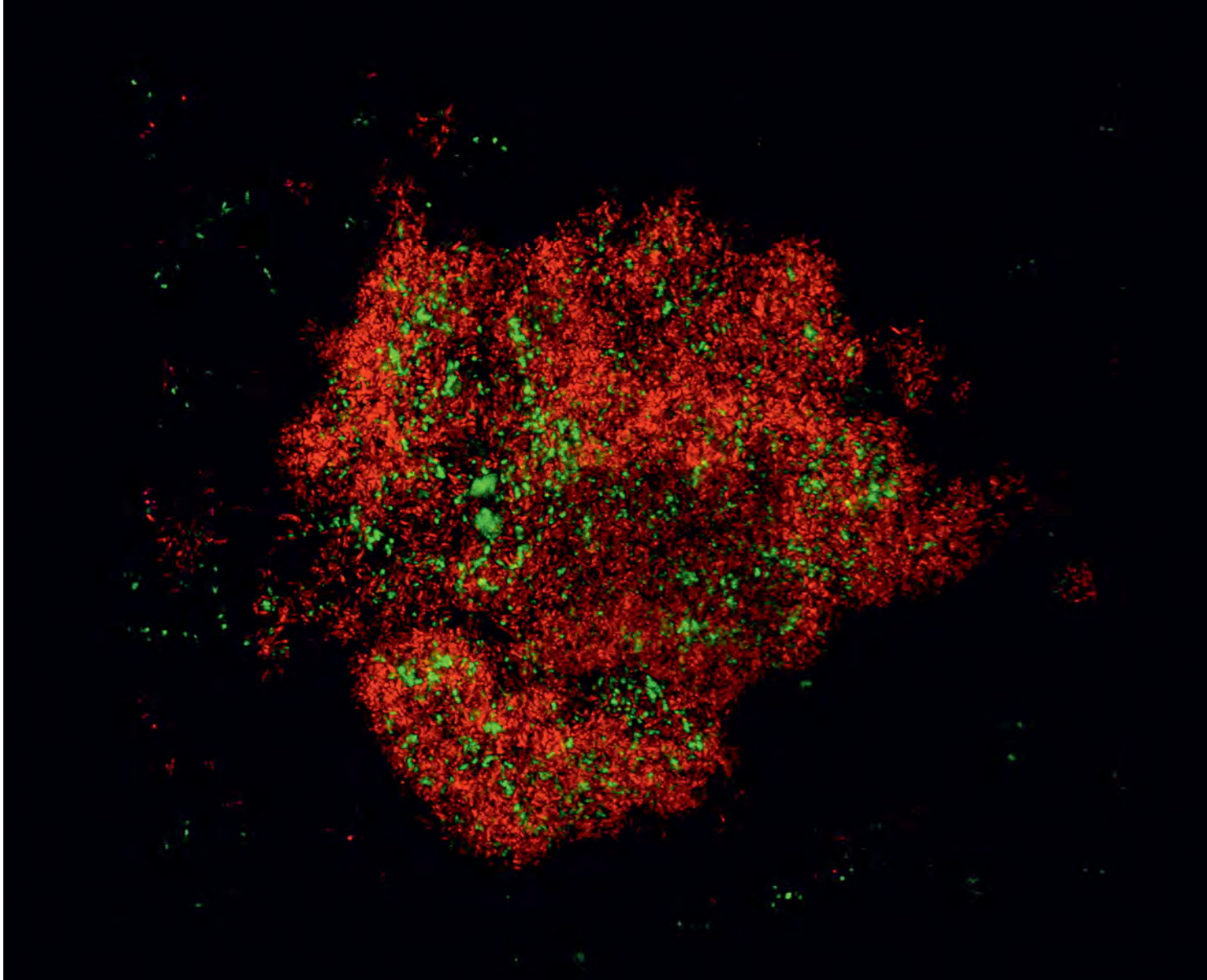
Im Bremer Max-Planck-Institut dümpeln die Mikroben völlig sauerstofffrei in kleinen Flaschen mit künstlichem Meerwasser. „Die Kunst besteht darin, einfach nichts zu unternehmen und nur zu warten“, erklärt der gebürtige Harzer.

„Frühestens nach fünf Wochen schaue ich dann das erste Mal nach.“ Eine Erfolgsformel bis heute und für Wegener ein Wettbewerbsvorteil gegenüber jenen Wissenschaftlern, die unter dem Druck kurzer Vertragslaufzeiten stehen.

Anderthalb Jahre mussten sich Wegener und seine Kollegen gedulden, bis sie die Mikroben zuverlässig vermehren konnten. Erst dann hatten sie eine stabile Kultur ohne Sedimente für ihre Untersuchungen. Ihre Erfahrungen zeigen, dass die Gemeinschaft aus Archaeen und Bakterien im Guaymas-Becken Methan optimal bei 50 Grad oxidiert, dies aber auch noch bei 70 Grad beherrscht. Bei optimaler Temperatur verdoppeln sich die Mikroben etwa alle zwei Monate – deutlich schneller als ihre Verwandten aus kalten Meeresgebieten.

Die Mikrobengemeinschaften bestehen aus Methan oxidierenden Archaeen, die als ANME-1 (ANAerobe MEthanabbauer) bezeichnet werden, und *Desulfoterrivida auxili*, dem wärmeliebenden Sulfat reduzierenden Helferbakterium. Die beiden Partner bilden Aggregate aus vielen Tausend Zellen, die zuweilen in einer kettenförmigen Hülle eine Art Wohngemeinschaft bilden.

Im Anschluss an diese erste Erkenntnis ging es in den folgenden Jahren Schlag auf Schlag. Zunächst zeigten die Wissenschaftler auf, dass die Methan oxidierenden Archaeen die gleichen Enzyme wie ihre Methan erzeugenden Verwandten nutzen, allerdings in umgekehrter Richtung. Der Katalysator für die Aktivierung von Methan ist die



Methyl-Coenzym-M-Reduktase. Die Archaeen stellen es in großen Mengen her. In diesem Enzym wird das Methanmolekül mit der Schwefelverbindung Coenzym M zu Methyl-Coenzym M verknüpft und in weiteren Reaktionen komplett zu Kohlendioxid und schließlich Karbonat umgesetzt.

### STROMKABEL VERBINDEN DIE ZELLEN

Doch was hält die Partnerschaft aus Archaeen und Bakterien zusammen? Wegeners spektakuläre Antwort: „Winzige Kabel aus Proteinen.“ Bei der Oxidation des Methans setzen die Archaeen positiv geladene Protonen und negativ geladene Elektronen frei. Durch die mikroskopisch kleinen Stromkabel können die Teilchen in die Bakterienzellen fließen und dort zur Sulfatreduktion benutzt werden.

Dieselben Bakterien sind auch in anderen mikrobiellen Lebensgemeinschaften zu finden. Sie leben zum Beispiel auch mit Archaeen namens *Syntrophoarchaeum* zusammen, die statt Methan Butan abbauen, wie Wegener mit seinen Kollegen herausfand. Überraschenderweise nutzt auch *Syntrophoarchaeum* Methyl-Coenzym-M-Reduktasen. Bis dahin war die Fachwelt davon ausgegangen, dass diese Enzyme ausschließlich den Methanstoffwechsel ermöglichen. Doch Wegener und sein Mitarbeiter Rafael Laso-Pérez haben neue Varianten dieses Enzyms entdeckt, die Moleküle mit mehreren Kohlenstoffatomen aktivieren.

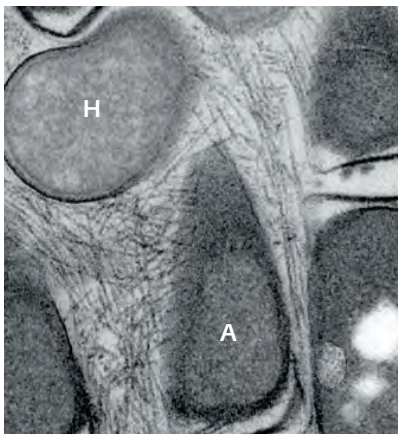
Mit der Hilfe dieses Stoffwechselweges bauen die neu entdeckten Archaeen auch Propan und Ethan ab – also all die kurzkettigen Kohlenwasserstoffgase, die im Guaymas-Becken aus dem Meeresgrund aufsteigen. Die Ent-

Mikrobengemeinschaft unter dem Fluoreszenzmikroskop: Während die Archaeen (rot) Butan zu Kohlendioxid umwandeln, verwerten ihre Partnerbakterien (grün) Sulfat.



**Oben** Laso-Pérez und Wegener müssen ihre Mikroben an das Leben im Labor gewöhnen, um ihren Stoffwechsel untersuchen zu können. Mit viel Geduld haben die Forscher deshalb Techniken entwickelt, damit sich die Mikroorganismen auch ohne Tiefseeschlamm wohlfühlen.

**Unten** Methan oxidierende Lebensgemeinschaft unter dem Elektronenmikroskop. Durch die kabelähnlichen Strukturen fließen vermutlich Elektronen von den Archaeen (A) zu den Bakterien (H). Dadurch können die Archaeen Methan in Kohlendioxid und die Bakterien Sulfat in Schwefelwasserstoff umwandeln.



deckung hat ein ganz neues Forschungsfeld eröffnet: Seit den Funden von Wegeners Team haben mehrere Forscher Methyl-Coenzym-M-Reduktasen in anderen Archaeen nachgewiesen. „Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Archaeen eine wichtigere Rolle im Kreislauf der Kohlenwasserstoffe spielen als bisher angenommen“, meint Laso-Pérez.

### WEITVERBREITETE GENE

Dass die Bremer Wissenschaftler damit richtigliegen könnten, zeigt die Analyse von Genom-Datenbanken, die Wegener zusammen mit einem Kollegen von der Jiaotong-Universität Shanghai nach Gensequenzen für Methyl-Coenzym-M-Reduktasen durchforstet hat. Darin stießen die Forscher auf etliche bislang unbekannte Gene, die die Informationen zur Herstellung dieser Enzyme tragen. Mithilfe der neuen Gene rekonstruierten die Forscher dann in der Masse der vorhandenen Sequenzen das Erbgut der zugehörigen Organismen. Zur Überraschung der Forscher besitzen viele zuvor un-

bekannte Archaeen-Stämme die Gene des Methanstoffwechsels.

Was die Mikroben mit den Enzymen genau machen, ist noch nicht geklärt. Einige scheinen Methan zu erzeugen, andere abzubauen. „Vermutlich haben wir die ersten Archaeen entdeckt, die Methan ohne Partnerbakterien mit Sulfat nutzen können“, erklärt Gunter Wegener. Die bei der Oxidation freigesetzten Elektronen werden dann vermutlich auf Empfängerstoffe übertragen, zum Beispiel oxidiertes Eisen (Rost) oder andere Metalloxide.

Als Nächstes möchte Wegener Proben aus Ölquellen im Nordosten Chinas analysieren. Die darin enthaltenen Organismen sollen Erdöl zu Methan umwandeln können – möglicherweise mithilfe von Methyl-Coenzym-M-Reduktasen: „Wir wollen diese Hypothese testen und als Erste diese Organismen kultivieren.“

Wegener will sich aber künftig nicht nur auf Grundlagenforschung konzentrieren, sondern auch auf mögliche Anwendungen seiner Erkenntnisse. Dazu zählt beispielsweise die Bildung von Ethan mithilfe von Archaeen. Anders als das heute weitverbreitete und industri-

ell hergestellte Methan ist Ethan nämlich kein Treibhausgas, das die Erderwärmung weiter vorantreibt.

Doch trotz aller Anstrengungen wurden bislang in der Natur keine Organismen gefunden, die Ethan oder andere kurzkettige Kohlenwasserstoffe produzieren. Die von Wegener im Guaymas-Becken entdeckten Mikroben bauen das Ethan nur ab. „Aber so wie beim Methan die gleichen Enzyme an Abbau und Bildung beteiligt sind, müsste auch die Herstellung von Ethan ähnlich wie der Abbau funktionieren“, so Wegener.

Deshalb will Gunter Wegener mit anderen Forschern Archaeen genetisch so verändern, dass die Mikroben Ethan produzieren. Was mit einem kleinen Haufen Schlamm begann, könnte dann eines Tages zum Ausgangsstoff für Kunststoffe oder klimaverträglichen Treibstoff für Autos werden. ◀

### AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Im Meeresboden der Tiefsee bilden manche Bakterien und Archaeen eine Lebensgemeinschaft. Während die Archaeen Energie aus der Umwandlung von Methan gewinnen, ziehen die Bakterien sie aus dem Sulfatabbau.
- Die Archaeen- und Bakterienzellen sind miteinander über winzige Zellfortsätze verbunden. Durch diese Mikrokabel können die bei der Methanoxidation anfallenden Elektronen zu den Bakterien fließen, die diese zur Reduktion von Sulfat benötigen.
- Ein Schlüsselenzym des Methanabbaus ist die Methyl-Coenzym-M-Reduktase. Varianten des Enzyms, die auch andere Kohlenwasserstoffe wie Ethan aktivieren können, könnten helfen, klimafreundlichere Treibstoffe zu erzeugen.

### GLOSSAR

**Archaeen:** Die Domäne der Archaeen ist so reichhaltig und divers wie die Domäne der Bakterien. Fast monatlich kommt ein neuer Zweig im Stammbaum dieser Organismen hinzu. Um die Jahrtausendwende zählten Fachleute nur zwei Hauptlinien: die hitze liebenden Crenarchaeota und die Euryarchaeota. Dann kamen die Nanoarchaeen hinzu und etliche mit den Crenarchaeota verwandte Zweige. Anders als früher angenommen, leben Archaeen nicht nur in extremen Umwelten wie heißen Quellen, sondern auch in gemäßigten Lebensräumen. Dort werden sie jedoch zahlenmäßig von anderen Organismen übertrumpft und deshalb oftmals nicht berücksichtigt. Archaeen besitzen für die Natur große Bedeutung, denn sie sind an allen wesentlichen Stoffkreisläufen beteiligt.

# WORLD'S FASTEST

# 4 MPX

*Ultrahigh-speed cameras for intense research and development needs.*

**v2640** 6,600 fps at 2048x1920 pixels  
12,500 fps at 1920x1080 pixels

- Extreme image detail
- Highest sensitivity in its class
- Very low noise at 7e-
- High dynamic range at 64,1 dB
- 1  $\mu$ s exposure (142ns option)
- Multi-mode flexibility



**HSVISION**  
the speedcam company

Phantom Exclusive Distribution in DACH

[www.hsvision.de](http://www.hsvision.de)

High Speed Vision GmbH | Pforzheimer Strasse 128 A | 76275 Ettlingen Germany  
phone: +49 (0)7243 94757-0 | fax: +49 (0)7243 94757-29 | email: [info@hsvision.de](mailto:info@hsvision.de)