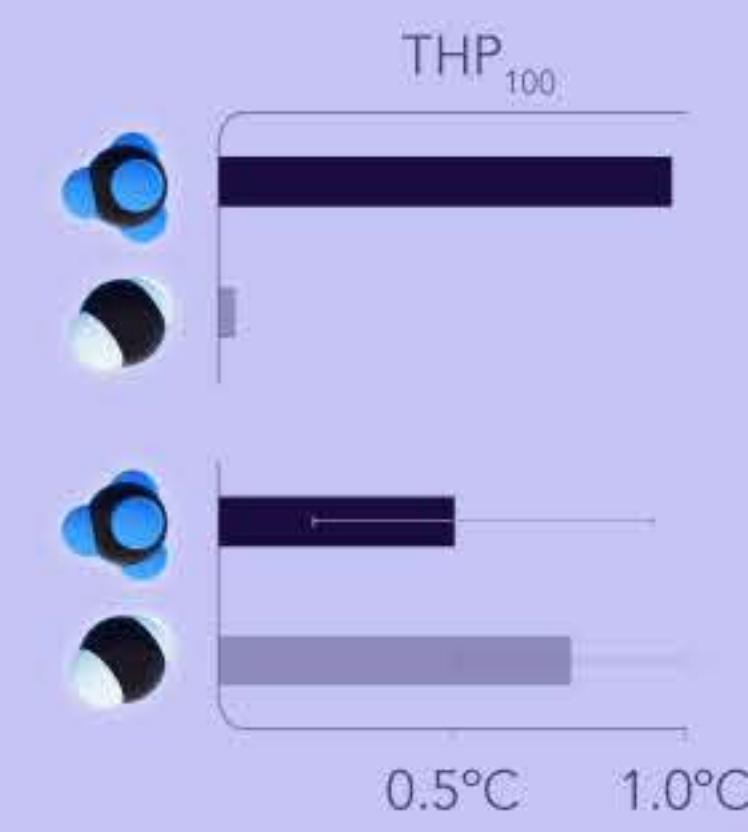


Die Mikrobiologie des Methans

DER EINFLUSS VON MIKROBEN AUF DEN KLIMAWANDEL



Methan ist der wichtigste Bestandteil von Erdgas. Es ist das zweithäufigste Treibhausgas und nach Kohlendioxid der wichtigste Beschleuniger der Klimaerwärmung.



70% des Methans wird von **Mikroben** hergestellt. Ein Großteil der Erderwärmung wird von Mikroorganismen kontrolliert. Menschen sind für einen Großteil dieser Methan-Emissionen verantwortlich, da sie Umgebungen schaffen, in denen diese Mikroben wachsen.

Methan-Produzenten

Mikroorganismen die ihre Energie zum Leben erzeugen indem sie Methan produzieren nennt man **Methanogene**.

Sie produzieren Methan im letzten Schritt des Abbaus von organischem Material. Methanogene leben in vielen verschiedenen Lebensräumen überall auf der Welt.



Alle Methanogenen sind einzellige Organismen, die zur der Domäne der **Archaea** gehören. Dies ist eine Gruppe von Lebewesen die sich in ihrem Zellaufbau und Struktur fundamental von Bakterien und Eukaryoten - zu denen auch die Pflanzen, Pilze und Tiere gehören, unterscheiden.



Alle Methanogenen leben **anaerob** - im Gegensatz zu Menschen und Tieren **überleben sie in Gegenwart von Sauerstoff nicht**. Daher gedeihen Methanogene in Lebensräumen die frei von Sauerstoff sind.



Der Rekord für **Leben in extrem heißen Temperaturen** geht an den Methanogenen *Methanopyrus kandleri*, der in Hydrothermalschloten bei bis zu **122°C/252°F** wächst!

Methan-Konsumenten

Methanotrophe sind Mikroben, die Energie zum Leben gewinnen, indem sie Methan abbauen.

Diese Eigenschaft macht sie für die Reduktion von natürlichen und von Menschen erzeugten Methanemissionen interessant.

Anders als Methanogene findet man Methanotrophie sowohl in der Domäne der **Archaea** als auch innerhalb der **Bakterien**.



Manche methanotrophe Mikroben sind **aerob**, manche **anaerob**. Manche **benötigen Sauerstoff** um zu wachsen, **manche überleben Kontakt mit Sauerstoff nicht**.



Obwohl das Bakterium *Methylomirabilis oxyfera* anaerob lebt, produziert es doch innerhalb seiner Zelle Sauerstoff, um damit Methan zu Kohlendioxid abzubauen. Damit katalysiert dieses Bakterium einen der wenigen der Wissenschaft bekannten Reaktionen die molekularen **Sauerstoff produzieren**.



Methanogenese

Methan ist ein Nebenprodukt im Energie-Stoffwechsel von Methanogenen. Der Prozess der Methanproduktion zur Energiegewinnung nennt sich **Methanogenese**.

Methan kann durch einige verschiedene Reaktionen produziert werden. Die beiden am weitest verbreiteten sind:

Mit einem geschätztem Alter von zumindest 3 Milliarden Jahren, ist die Methanogenese einer der ältesten bekannten Stoffwechselreaktionen zur Energiegewinnung.

CO₂-reduzierende Methanogenese



Essigsäure-spaltende Methanogenese



*Dies sind nur zwei Beispiele von vielen verschiedenen methanogenen Reaktionen mit unterschiedlichen Ausgangsverbindungen.

Methanotrophie

In einem Prozess namens **Methanotrophie** konsumieren methanotrophe Mikroben Methan um damit Energie zu gewinnen.

Im Gegensatz zu Methanogenen leben methanotrophe Mikroben sowohl in Sauerstoff-reichen als auch in Sauerstoff-freien Lebensräumen. In ersteren benutzen sie Sauerstoff um Methan abzubauen, in letzteren übernehmen andere Verbindungen die Rolle des Sauerstoffs.

Aerobe Methanotrophie



Anaerobe Methanotrophie mit Sulfat



*Dies sind nur zwei von vielen verschiedenen Arten der Methanotrophie.

In methanotrophen Aggregaten wandeln Archaea und Bakterien gemeinsam Methan zu Kohlendioxid um. Dies ist ein Beispiel für eine Symbiose.

Wo wird Methan produziert?

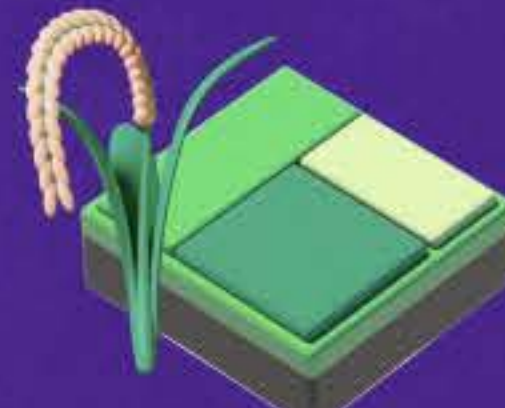
Mägen von Wiederkäuern



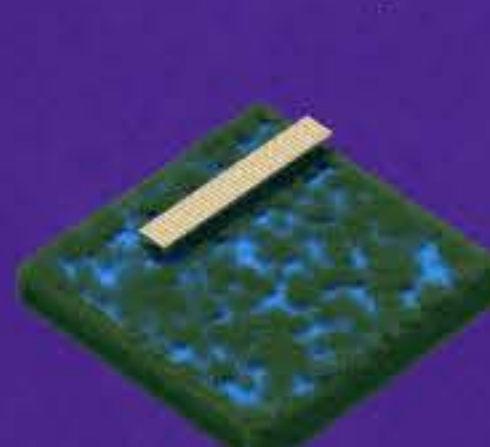
Mülldeponien



Reistelder

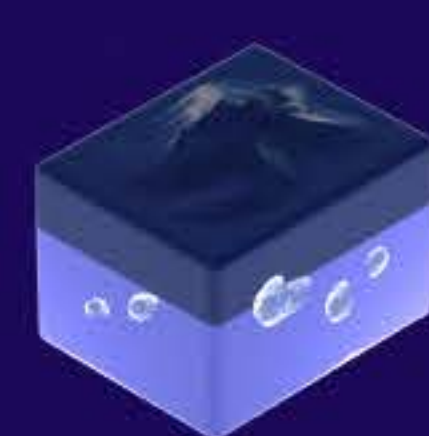


Torfe und Sümpfe



Wo wird Methan abgebaut?

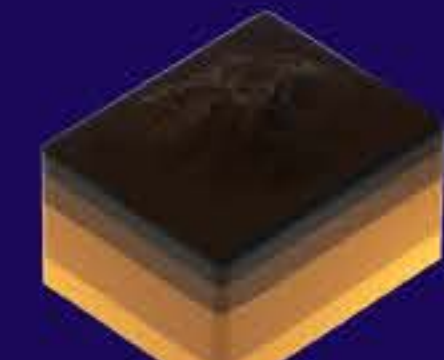
Sedimente über Tiefsee-Methanhydraten



Gewässer



Böden



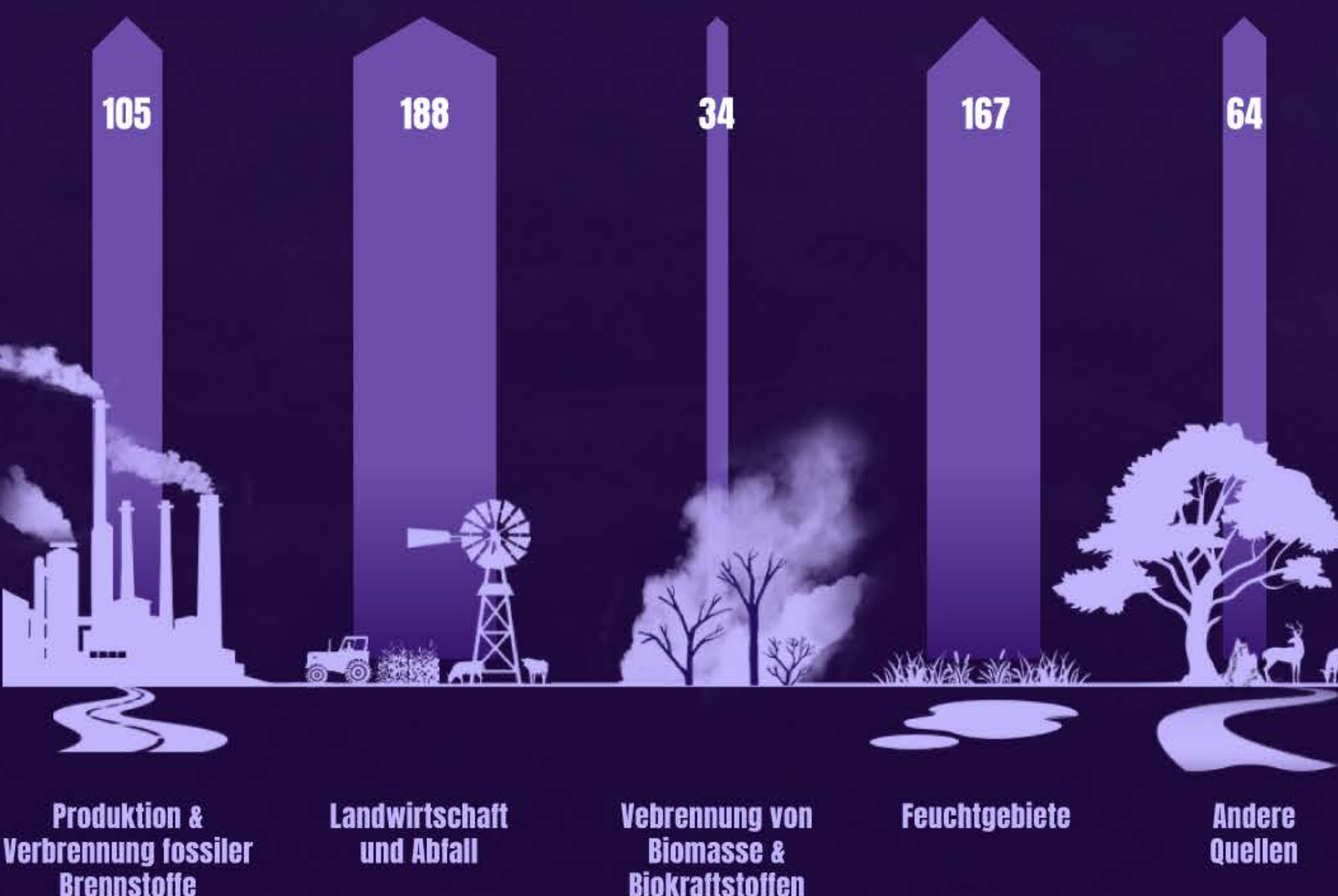
Atmosphäre



Das Methan Budget

Das globale Methan Budget repräsentiert die Bilanz aus Methanemissionen und Abbaureaktionen in der Erdatmosphäre. Die Grafiken zeigen die wichtigsten Habitaten an, in denen Methan emittiert (Quellen) oder abgebaut (Abbau) wird. Der Großteil des von Mikroorganismen oder Gashydraten freigesetzten Methans wird umgehend von methanotrophen Mikroben abgebaut und erreicht damit niemals die Atmosphäre - es wird recycled oder wiederverwertet. Die Diagramme zeigen daher die Nettoemissionen in die Atmosphäre und den Abbau von Methan in der Atmosphäre.

Gesamtemissionen 576-737 Millionen Tonnen pro Jahr



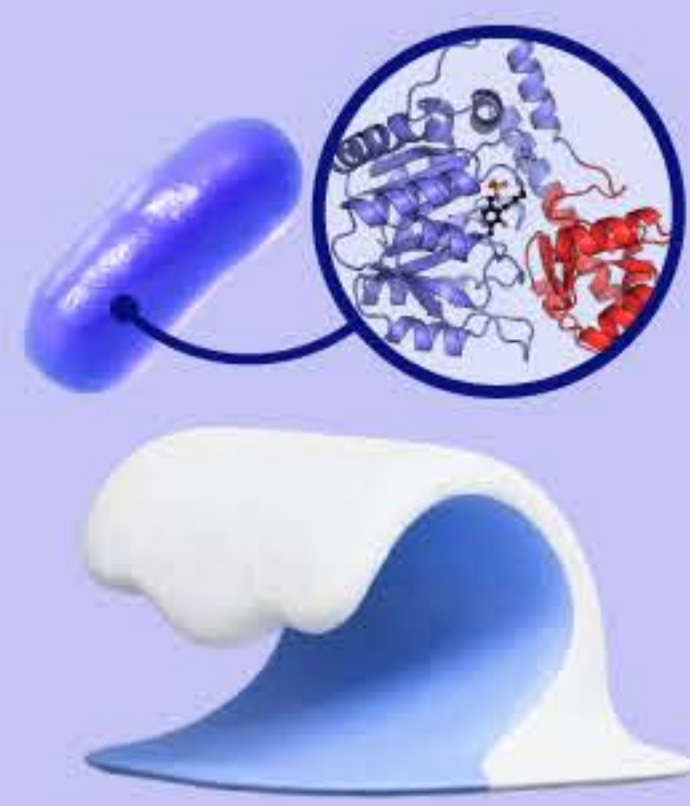
Gesamtabbau 556-625 Millionen Tonnen pro Jahr



Methanogene produzieren circa 1 Milliarde Tonnen Methan pro Jahr. Methanhydrate in der Tiefsee setzen eine zusätzliche Milliarde Tonnen frei.

Ungefähr drei Viertel des freigesetzten Methans wird von Methanotrophen abgebaut und gelangt damit niemals in die Erdatmosphäre. Das meiste Methan wird in Kohlendioxid verwandelt welches, wiederum von anderen Lebensformen aufgenommen wird.

Neu entdeckte Quellen von Methan



Methan in Sauerstoff-reichen Oberflächen-Gewässern war für lange Zeit ein Rätsel. Neue Forschungsergebnisse zeigen, daß Enzyme namens **C-P Lyasen** und **Aspartat Amino-Transferasen** für die Produktion dieses Methans verantwortlich sind.



Für mehr als 40 Jahre dachten Wissenschaftler Methanogenese sei auf eine einzige Gruppe innerhalb der Archaea beschränkt. Neue Forschungsergebnisse zeigen, daß auch andere Archaeengruppen mittels Methanogenese wachsen und damit einen Teil zur Methanproduktion beitragen.

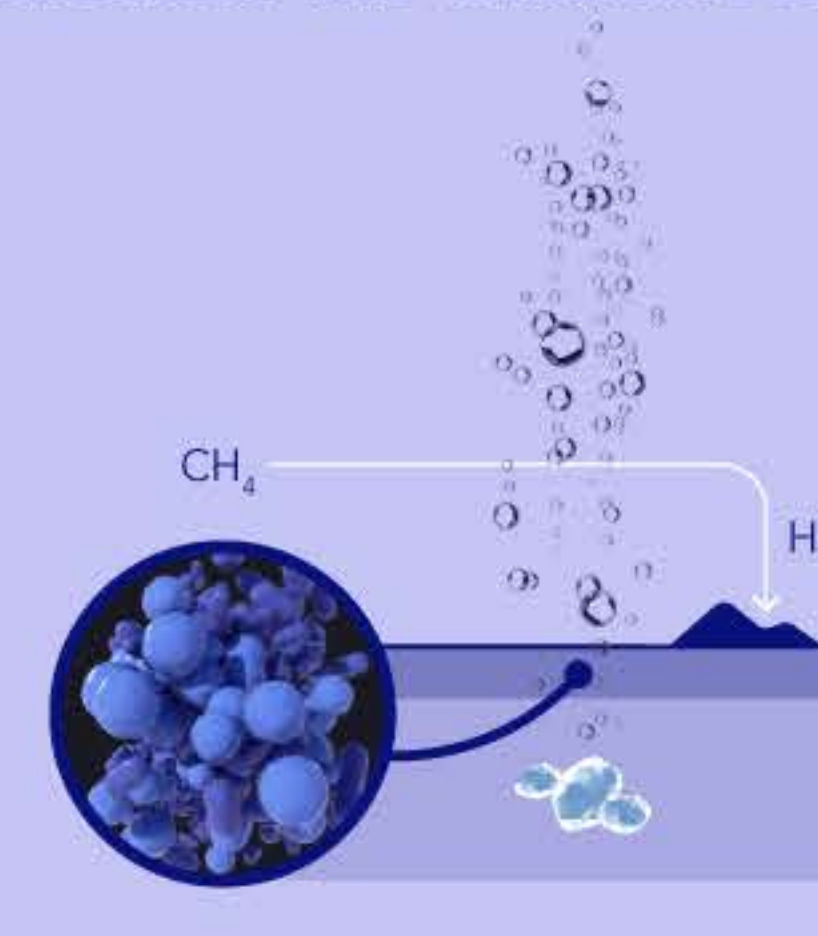


Abiotische Reaktionen, die in allen Zellarten unter Stressbedingungen vorkommen, tragen sehr kleine Mengen zur Methanproduktion bei.

Methanotrophe Mikroben als Klimaretter



Methanhydrate sind Käfige aus Eis in denen Methangas eingeforen ist. Die Energie die global in diesen Methanhydraten lagert übersteigt die Energiemengen in Öl, Gas und Kohle um mindestens das Doppelte.



Schmelzende Methanhydrate in Tiefseesedimenten setzen Methan am Meeresboden frei. Circa 90% dieses Methans wird von Methanotrophen in Kohlendioxid umgewandelt und bildet am Meeresboden sogenannte mikrobielle Riffe aus Carbonaten.



Methanhydrate sind weit über den Meeresboden verteilt. Das aus Hydraten freigesetzte Methan führte in der Erdvergangenheit zu Massensterben. Heute entfernen methanotrophe Mikroben 90% dieses Methans bevor es in die Atmosphäre gelangen kann.

WICHTIGE LITERATURQUELLEN

¹Saunio et al. *The Global Methane Budget 2000-2017*. Earth Syst Sci Data (2020). ²Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. (2021) ³Garcia et al. *Diversity and Evolution of Methane-Related Pathways in Archaea*. Annu Rev Microbiol (2022). ⁴Thauer et al. *Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation*. Nat Rev Microbiol (2008) ⁵Kittel and Boetius. *Anaerobic oxidation of methane: progress with an unknown process*. Annu Rev Microbiol 63 (2009). ⁶Evans et al. *An evolving view of methane metabolism in the Archaea*. Nat Rev Microbiol (2019)

Wissenschaftlicher Inhalt und Übersetzung ins Deutsche: Roland Hatzenpichler | www.environmental-microbiology.com

Design und künstlerische Gestaltung: Mark Belan | www.artscistudios.com; inige Vermögenswerte aus Iconscout.com (CC)

artsci
STUDIOS
artscistudios.com