

Pilze – eine neu entdeckte Methanquelle

Fungi – a recently discovered source of methane

Lenhart, Katharina; Keppler, Frank

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

Korrespondierender Autor

Email: frank.keppler@mpic.de

Zusammenfassung

In der Biosphäre werden große Mengen Methan gebildet, die in die Atmosphäre gelangen. Die Nachwuchsgruppe ORCAS am Max-Planck-Institut für Chemie spürt neue Methanquellen in der Umwelt auf und beschreibt die dahinter liegenden Bildungsmechanismen. Pilze sind ein wichtiger Bestandteil terrestrischer Lebensgemeinschaften. Erst kürzlich konnten die Forscher zeigen, dass auch Pilze in ihrem Stoffwechsel Methan freisetzen. Inwieweit diese *neue* Methanquelle zusammen mit der Methanfreisetzung durch Pflanzen die Methanbilanzen in terrestrischen Ökosystemen beeinflusst, ist derzeit noch unbekannt.

Abstract

Large amounts of methane are produced in the biosphere and released into the atmosphere. The junior research group ORCAS at the Max Planck Institute for Chemistry explores new sources of methane in the environment and describes the underlying formation mechanisms. Fungi are an important component of terrestrial biological communities. Just recently, the researchers showed that fungi also release methane in their metabolism. But it is still unknown to what extent this new source of methane contributes to the methane balance of terrestrial ecosystems.

Die Entstehung von Methan in der Umwelt

Methan (CH₄) ist nach Kohlendioxid (CO₂) das zweitwichtigste anthropogene Treibhausgas in

der Atmosphäre [1]. Alarmierend ist, dass sich die Konzentration von Methan in der Atmosphäre im Vergleich mit dem Zustand vor der Industrialisierung fast verdreifacht hat. Seine Treibhauswirkung ist ca. 25-mal stärker als die von Kohlendioxid. Weil es aber in der Atmosphäre in viel kleineren Mengen vorkommt als Kohlendioxid, nimmt es nur den zweiten Platz unter den klimarelevanten Spurengasen ein.

Heutzutage werden jährlich weltweit rund 600 Millionen Tonnen Methan in die Atmosphäre freigesetzt. Ein Großteil des Methans entsteht durch methanbildende Mikroorganismen, sogenannte Archaeen, die unter anderem in Feuchtgebieten, auf Mülldeponien oder bei der Rinderhaltung vorkommen. Der Abbau von Methan erfolgt hauptsächlich durch Oxidation in der Atmosphäre oder durch Bakterien in Böden, die unter Anwesenheit von Sauerstoff das CH₄ zu CO₂ und Wasser abbauen können. Um zuverlässigere Prognosen für die Entwicklung der atmosphärischen CH₄-Konzentration machen zu können, ist eine möglichst detaillierte Kenntnis aller Quellen und Senken sowie der die Flüsse beeinflussenden Faktoren notwendig. Bis vor ein paar Jahren nahm man an, dass biogenes Methan grundsätzlich durch Mikroorganismen und unter Ausschluss von Sauerstoff, also anaerob gebildet wird. Dass auch Pflanzen Methan produzieren, und das ganz ohne die Hilfe von Mikroorganismen, ist erst seit 2006 bekannt [2]. Seitdem erforscht die Arbeitsgruppe ORCAS am Max-Planck-Institut für Chemie unbekannte Methanquellen und neue Bildungswege in der Umwelt. Pilze gehörten bisher nicht zu den Organismen, von denen bekannt war, dass sie Methan produzieren.

Pilze in der Umwelt

Allgemein werden Pilze der *Botanik* zugeordnet. Bei genauerer Betrachtung stellt man aber fest, dass es grundlegende Unterschiede zwischen Pilzen und Pflanzen gibt und der Pilz in der Botanik eigentlich am falschen Platz ist. Deshalb bilden Pilze in der biologischen Klassifikation neben Pflanzen und Tieren ein eigenständiges Reich. Der wesentliche Unterschied besteht bereits in der Ernährung von Pilzen und Pflanzen. Pflanzen nutzen zur Energiegewinnung das Sonnenlicht (*Phototrophie*) und das CO₂ in der Luft als Kohlenstoff-Quelle (*Autotrophie*), sie sind also *photoautotroph*. Pilze hingegen sind weder dazu in der Lage, sich direkt die Energie des Sonnenlichtes nutzbar zu machen, noch können sie CO₂ fixieren. Stattdessen beziehen sie sowohl ihre Energie als auch die zum Aufbau körpereigener Stoffe benötigten Bausteine aus organischen Verbindungen. Bei den Pilzen ist die als *Saprotrophie* bezeichnete Lebensweise weit verbreitet. Saprotrophe Organismen ernähren sich ausschließlich von totem organischen Material, wie es beispielsweise Ständerpilze beim Abbau organischer Substanz (z. B. Totholz) tun. Die Ständerpilze (Basidiomycota) sind eine Abteilung der Pilze die rund 30.000 Arten umfassen. Das sind etwa 30 Prozent aller Pilzarten. Die in der Natur anzutreffenden Lebensgemeinschaften setzen sich zusammen aus *Primärproduzenten* (Pflanzen), *Konsumenten* (Pflanzenfresser, Carnivore) und *Destruenten*. Letztere sind Organismen, die

organische Substanzen (Pflanzen, Tiere) abbauen und in ihre anorganischen Bestandteile zerlegen. Dadurch schließt sich der Kreis. Wird dieser letzte Schritt der Mineralisation unterbrochen, sammelt sich organisches Material an und es entstehen nach Millionen von Jahren fossile Energieträger. Neben Bakterien übernehmen auch Pilze die wichtige Funktion der Destruenten. Pilze sind in der Umwelt weit verbreitet, und oftmals ist nur ein winziger Teil ihrer Biomasse als Fruchtkörper sichtbar. Der eigentliche Pilz, das *Myzel* (Geflecht aus Hyphen im Boden oder im Holz), bleibt im Boden verborgen. In den oberen 30 Zentimetern eines Grünlandbodens findet man pro Hektar ca. 25 Tonnen Organismen (Lebendgewicht). Davon entfallen ca. 10 Tonnen auf Pilze. Das Verhältnis von Pilzen und Bakterien im Boden liegt bei ca. 1:1.

Methanfreisetzung aus Pilzen



Abb. 1: Holzabbauende Ständerpilze (Basidiomycota) wie z. B. das Stockschwämmchen (*Kuehneromyces mutabilis*) produzieren Methan.

© Max-Planck-Institut für Chemie / Keppler

Jüngste Ergebnisse der Arbeitsgruppe ORCAS am Max-Planck-Institut für Chemie zeigen, dass auch Pilze Methan erzeugen (**Abb. 1**). Die Forscher untersuchten verschiedene saprotrophe Ständerpilzsorten, deren Methanabgabe sie unter Laborbedingungen genauestens beobachteten und mithilfe von Konzentrationsmessungen und Isotopenanalysen nachweisen konnten [3]. Dabei wurden die Pilze auf unterschiedlichen Nährböden, die zuvor sterilisiert wurden, kultiviert. Alle acht untersuchten Pilze setzten während ihres Wachstums auf

unterschiedlichen Substraten wie Gras, Laub- und Nadelholz sowie mit definierten Nährsubstanzen (z. B. Acetat, Cellulose, Glucose, Lignin oder Pektin) Methan frei.

Abbildung 2 zeigt den Weißfäulepilz *Phanerochaete chrysosporium* auf Holz in einem Inkubationsgefäß. Weißfäulepilze sind bekannt dafür, in der Natur Lignin und Cellulose zu CO_2 abzubauen. Im Verhältnis dazu ist die von den Pilzen freigesetzte Methanmenge sehr klein. Pro Molekül CH_4 wird eine vielfache Menge (ca. das Millionenfache) an CO_2 gebildet. Daraus lässt sich schließen, dass die von den Pilzen freigesetzte Methanmenge im Vergleich mit anderen Quellen eher gering ist.

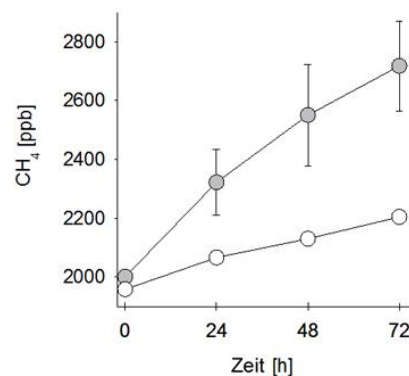


Abb. 2: Links: Wachstum des Weißfäulepilzes *Phanerochaete chrysosporium* auf Fichtenholz in einem Glasgefäß im Labor. Rechts: Kontinuierlicher Anstieg der Methankonzentration über 72 Stunden in den Inkubationsgefäßen mit Holz, auf dem der Pilz *Phanerochaete chrysosporium* wächst (graue Punkte). Im Vergleich die Entwicklung der Methankonzentration von Holz ohne Pilzwachstum (weiße Punkte).

© Max-Planck-Institut für Chemie

Die Pilze wurden bei den Experimenten gleichzeitig auf methanbildende Mikroben untersucht. Dabei konnte durch verschiedene molekularbiologische Analyseverfahren zweifelsfrei gezeigt werden, dass keine Archaeen, bei deren Energiestoffwechsel Methan entsteht, in den Prozess der Methanbildung eingebunden waren. Somit müssen Prozesse innerhalb des Stoffwechsels der Pilze für die Methanbildung verantwortlich sein. Diese Hypothese führte zwangsläufig zu der Frage, welche Vorläuferverbindungen für die CH_4 -Bildung durch den Pilz verwendet werden. Andere Ergebnisse aus der Arbeitsgruppe ORCAS [4] hatten zuvor gezeigt, dass der Eiweißbaustein Methionin (eine schwefelhaltige Aminosäure, siehe **Abb. 3**, links) eine Vorläuferverbindung von CH_4 in Pflanzen darstellt. Dies wurde anhand von Isotopenexperimenten durch das Verhältnis von leichtem Kohlenstoff ^{12}C und schwerem Kohlenstoff ^{13}C festgestellt. Die Isotopenanalyse dient als wichtiges Hilfsmittel, um die Herkunft des Methans zu überprüfen. Bei den Pflanzenexperimenten konnte sogar ganz genau gezeigt werden, welches Kohlenstoffatom in der Aminosäure Methionin zu Methan wird. Die Fütterung von Pilzen mit isotopisch markiertem ^{13}C -Methionin führte ebenfalls zu einer signifikanten Erhöhung der ^{13}C -Isotopensignatur im CH_4 (Abb. 3, rechts). Dies ist ein

eindeutiger Beleg dafür, dass die Methylgruppe im Methionin im Stoffwechsel der Pilze zu Methan umgewandelt werden kann.

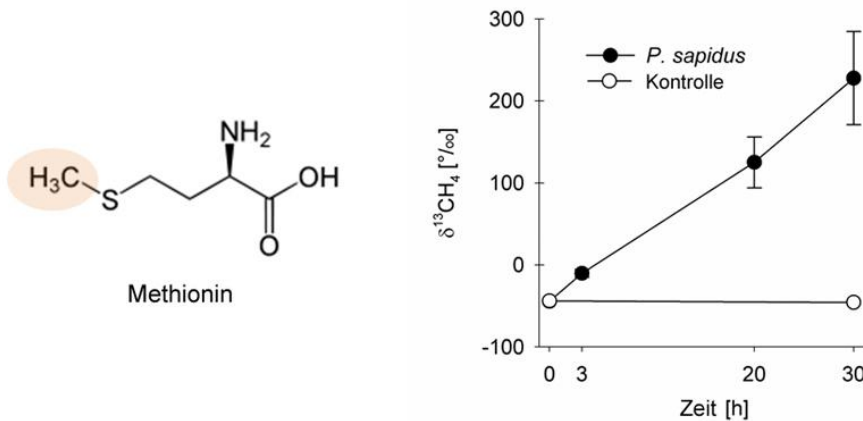


Abb. 3: Links: Der Eiweißbaustein Methionin mit isotopisch markierter Methylgruppe. Rechts: Änderung der Kohlenstoffisotopensignatur im Methan des Inkubationsgefäßes mit dem Pilz *Pleurotus sapidus* nach Zugabe von isotopisch markiertem Methionin. Die Kontrolle enthält nur das sterile Medium.

© Max-Planck-Institut für Chemie

Wissenschaftliche Bedeutung & Ausblick

Die Entdeckung der aeroben Bildung von Methan im Stoffwechsel der Pilze ist überraschend und wirft neue Forschungsfragen auf. Wie groß die globale Menge des von Pilzen produzierten CH₄ ist und welcher Anteil davon in die Atmosphäre entweicht, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden.

Ebenso wie Pilze sind auch methanoxidierende Bakterien in der Umwelt ubiquitär verbreitet. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil des von Pilzen im Boden freigesetzten Methans unmittelbar durch assoziierte Bakterien wieder abgebaut wird. Das macht es besonders schwierig, die Bildungsraten von Methan in der Natur aufzuzeichnen.

Offen bleibt auch, welche ökologische Relevanz die aerobe CH₄-Freisetzung durch Pflanzen und Pilze im Boden spielt. In Zukunft ist die Frage zu klären, welcher Einfluss davon auf methanoxidierende Bakterien und damit direkt auch auf die CH₄-Aufnahme des Bodens ausgeht (**Abb. 4**). Auch die Frage, warum Pilze Methan bilden, ist noch ungeklärt. Dass sich eine CH₄-Produktion positiv auf die CH₄-Oxidation auswirkt, belegt die Studie von Kammann *et al.* [5]. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die CH₄-Abgabe durch Käferlarven die CH₄-Aufnahme eines Grünlandbodens erhöht. Möglicherweise steigern auch Pilze durch ihre

CH₄-Bildung die Netto-CH₄-Aufnahme des Bodens. Die CH₄-Aufnahmeraten von Ökosystemen unterscheiden sich zum Teil deutlich voneinander. Die höchsten CH₄-Aufnahmeraten von Böden findet man in ungestörten (Ur)Wäldern, gefolgt von forstwirtschaftlich genutzten Wäldern, Grünland und schließlich Ackerböden, in denen die CH₄-Oxidation oft vollständig zum Erliegen kommt.

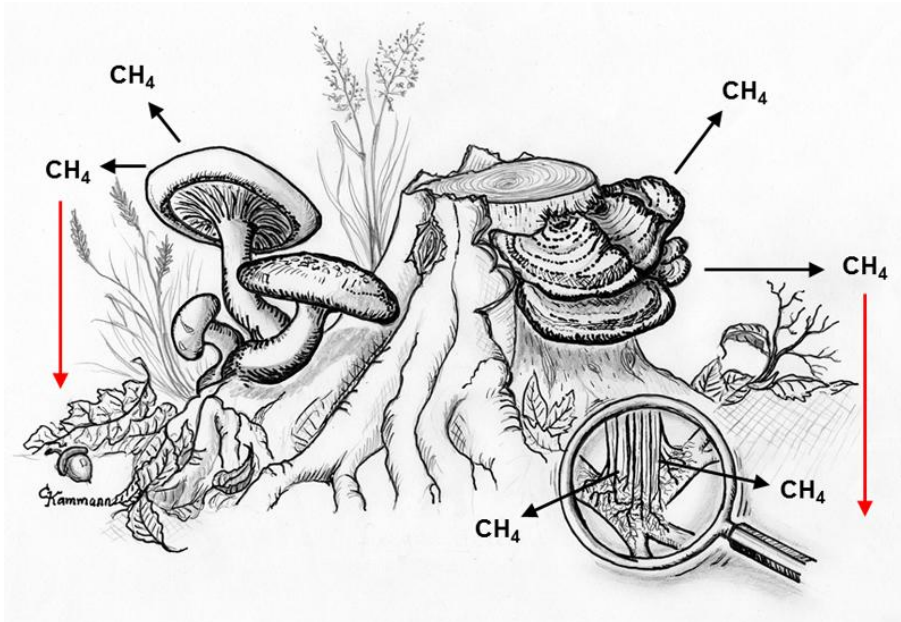


Abb. 4: Schema der Methan-Produktion durch Pilze (schwarze Pfeile) und Abbau durch CH₄-oxidierende Bakterien im Boden (rote Pfeile). Die Methan-Freisetzung von Pilzen fördert möglicherweise das Wachstum methanoxidierender Bakterien, wodurch Pilze direkt die Methan-Aufnahme von Böden beeinflussen könnten. Gezeichnet von Claudia Kammann.

© Max-Planck-Institut für Chemie

Die Entdeckungen der Arbeitsgruppe ORCAS in den letzten Jahren verdeutlichen, dass die aerobe Methanbildung in der Biosphäre weit verbreitet ist. Entgegen der bisherigen Lehrmeinung gibt es aerobe Methanbildung in Pflanzen, Pilzen und Böden [2-4,6,7]. Daraus ergeben sich zahlreiche Fragen, die in Zukunft durch interdisziplinäre Herangehensweisen geklärt werden müssen.

Drittmittelfinanzierung: EURYI Award (European Science Foundation und DFG KE 884/2-1).

Literaturhinweise

- [1] Forster, P.; Ramaswamy, V.; Artaxo, P.; Berntsen, T.; Betts, R.; Fahey, D. W.; Haywood, J.; Lean, J.; Lowe, D. C.; Myhre, G.; Nganga, J.; Prinn, R.; Raga, G.; Schultz, M.; van Dorland, R.
Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing
In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment report of the intergovernmental Panel of Climate Change. (Eds.) Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M. et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (2007)
- [2] Keppler, F.; Hamilton, J. T. G.; Braß, M.; Röckmann, T.
Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions
Nature 439, 187-191 (2006)
- [3] Lenhart, K.; Bunge, M.; Ratering, S.; Neu, T. R.; Schüttmann, I.; Greule, M.; Kammann, C.; Schnell, S.; Müller, C.; Zorn, H.; Keppler, F.
Evidence for methane production by saprotrophic fungi
Nature Communications 3, 1046 (2012)
- [4] Althoff, F.
Sources and pathways of methane formed in oxidative environments
PhD thesis, Johannes Gutenberg University Mainz (2012)
- [5] Kammann, C.; Hepp, S.; Lenhart, K.; Müller, C.
Stimulation of methane consumption by endogenous CH₄ production in aerobic grassland soil
Soil Biology and Biochemistry 41, 622-629 (2009)
- [6] Jugold, A.; Althoff, F.; Hurkuck, M.; Greule, M.; Lenhart, K.; Lelieveld, J.; Keppler, F.
Non-microbial methane formation in oxic soils
Biogeosciences 9, 5291-5301 (2012)
- [7] Keppler, F.; Boros, M.; Frankenberg, C.; Lelieveld, J.; McLeod, A.; Pirttilä, A. M.; Röckmann, T.; Schnitzler, J.-P.
Methane formation in aerobic environments
Environmental Chemistry 6, 459-465 (2009)