

KÖNNEN METHAN-FRESSENDE BAKTERIEN IN TROCKENGEBIETEN ZUR VERRINGERUNG DER TREIBHAUSGASE BEITRAGEN?

Angela Lafuente^{1,2*}, Concha Cano-Díaz¹

¹Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles, Spain

²College of Forest Resources and Environmental Science, Michigan Technological University, Houghton, MI, United States, Singapore

JUNGER REZENSENT:



SEBASTIAN

ALTER: 10

Sind Trockengebiete wüstenähnliche Orte, an denen nichts leben oder wachsen kann? Nein. Trotz Wasserknappheit sind sie sehr vielfältige Ökosysteme, die sich aufgrund des globalen Klimawandels ausbreiten. Die Hauptursache für globale Erwärmung ist die Zunahme der Treibhausgase in unserer Atmosphäre. Deshalb müssen wir natürlich den Ausstoß von Treibhausgasen verringern, aber auch die Untersuchung von Mikroorganismen in der Natur gibt uns spannende Hinweise darauf, wie wir das Problem der globalen Erwärmung noch angehen können. Mikroorganismen leben überall auf der Erde und tatsächlich können einige von ihnen Treibhausgase aus der Luft als Nahrung aufnehmen! In diesem Artikel beschreiben wir unsere Suche nach solchen Bakterien, die eines der stärksten Treibhausgase - Methan (CH₄) - verzehren. Und anders als erwartet, haben wir festgestellt, dass diese Bakterien in Trockengebieten auf der ganzen Welt leben!

DIE GRÖSSTEN LANDÖKOSYSTEME DER ERDE: TROCKENGEBIETE

Trockengebiete sind durch spärliche Niederschläge gekennzeichnet und weisen daher keine üppige Vegetation auf. Sie umfassen jedoch eine ganze Reihe verschiedener Ökosysteme, vom trockensten Ort der Erde, der heißen Wüste von Atacama in Chile, bis zu den grünen Eukalyptuswäldern in Australien, wo Koalas leben (Abbildung 1.1). Trockenland-Ökosysteme beherbergen eine große Anzahl von Organismen, darunter viele Pflanzen und Tiere, die nur in Trockengebieten leben und sich an die rauen Bedingungen angepasst haben. Trockengebiete gehören zu den größten terrestrischen Ökosystemen, die fast die Hälfte der Landoberfläche der Erde (45%) einnehmen und in denen mehr als 40% der menschlichen Bevölkerung leben. Daran erkennt man, wieso Trockengebiete für die Erforschung der Erde äußerst wichtig sind.

Abbildung 1

Methoden, die wir anwenden um Methanotrophe im Boden zu finden und zu untersuchen. Wir haben Trockengebiete auf der ganzen Welt ausgewählt und Bodenproben entnommen (1). Wir analysierten die Eigenschaften dieser Böden, wie den Gehalt an organischer Substanz und den pH-Wert (2). Wir extrahierten die genetische Information (DNA) der im Boden vorhandenen Bakterien (3). Durch die Untersuchung der DNA erhielten wir Informationen über Häufigkeit, Reichtum und Gemeinschaftsstruktur der Methanotrophen aus jeder Bodenprobe (4,5). Dann haben wir mathematisch herausgefunden, welche Boden- oder Klimabedingungen für die Methanotrophen am wichtigsten sind (6).

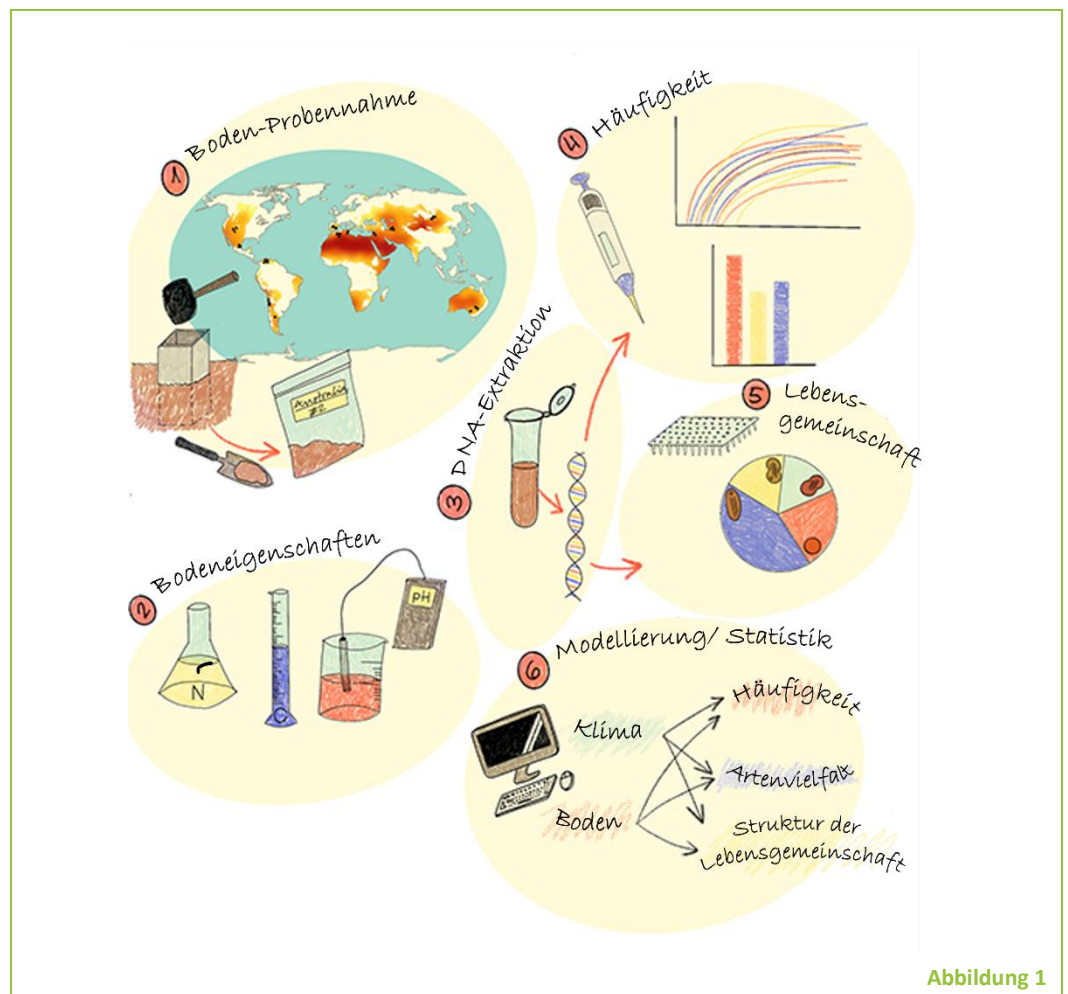


Abbildung 1

ABIOTISCH

Zu den nicht lebenden abiotischen Faktoren in einer Umwelt gehören Temperatur, Wasser und Licht.

Lebewesen und unbelebte Dinge, die man als **abiotische Faktoren** bezeichnet, sind in der Natur durch Kreisläufe eng miteinander verbunden, wie bspw. Pflanzen mit Wasser. Das Wasser ist entscheidend für alle Prozesse, die mit dem Leben zusammenhängen, vom Pflanzenwachstum bis zur Entwicklung der Gemeinschaften von Bodenmikroorganismen. Daher ist Wasser der allerwichtigste abiotische Faktor in einem Ökosystem. Die Verfügbarkeit von Wasser in einem Ökosystem messen wir anhand der so genannten **Aridität**, einer mathematischen Beziehung zwischen der Niederschlagsmenge (Regen,

Nebel oder Schnee) und der Verdunstung von Wasser. Je weniger Wasser verfügbar ist, desto trockener ist ein Ort (Abbildung 1.1).

In Trockengebieten, in denen nicht immer Wasser zur Verfügung steht, sind die natürlichen Kreisläufe zwischen Lebewesen und anderen Substanzen stark beeinträchtigt. Bleibt das Regenwasser aus und sinkt die Luftfeuchtigkeit, wirkt sich dies bspw. auf den Kohlenstoff- und den Stickstoffkreislauf aus und verringert die Menge dieser Elemente im Boden, was wiederum auf Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen einwirkt, die diese Elemente benötigen. Dies macht Trockengebiete sehr anfällig für den fortschreitenden Klimawandel.

TROCKENHEIT

Mathematische Beziehung zwischen der Niederschlagsmenge (Regen, Nebel oder Schnee) und der Verdunstung von Wasser. Sie beschreibt, wie groß der Wassermangel in einem Ökosystem ist.

ABUNDANZ

Die Anzahl der Individuen einer bestimmten Art in einer Umgebung.

METHANOGENE

Eine Gruppe von Mikroorganismen, die keinen Sauerstoff zum Überleben benötigen und daher in sauerstofffreier Umgebung leben können. Sie produzieren Methan bei der Zersetzung von organischem Material, z.B. Blättern oder Holzfragmenten.

BODENBAKTERIEN UND METHAN

Die Erde ist von einer gasförmigen Schicht umgeben, der Atmosphäre, die uns vor Sonneneinstrahlung schützt und dazu beiträgt die Temperatur der Erde zu halten. Die Hauptbestandteile der Atmosphäre sind Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%), aber es gibt auch viele andere Gase in der Atmosphäre. Einige atmosphärische Gase, wie Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf, gehören zu den Treibhausgasen, die so genannt werden, weil sie die Sonnenwärme einfangen und wie das Glas in einem Gewächshaus wirken. Sie lassen das Sonnenlicht auf die Erdoberfläche fallen, verhindern aber, dass die Wärme die Atmosphäre wieder verlässt. Dieser Wärmerückhalt trägt dann zur Erwärmung auf der Erde bei.

Das häufigste vom Menschen erzeugte Treibhausgas in der Atmosphäre ist CO₂, das bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt wird. Das zweitwichtigste Gas, das zur globalen Erwärmung beiträgt, ist jedoch Methan (CH₄). Es ist ein einfaches Molekül, das aus einem Kohlenstoffatom (C) und vier Wasserstoffatomen (H) besteht. Die wärmende Wirkung eines Moleküls Methan entspricht der von 25 Molekülen CO₂, was es zu einem sehr starken Treibhausgas macht. Methan wird von den **Methanogenen** produziert, einer Gruppe von Mikroorganismen, die keinen Sauerstoff zum Überleben benötigen und daher in sauerstofffreien Umgebungen wie Reisfeldern, Seesedimenten und Feuchtgebieten leben können. Diese Methanogene leben auch im Verdauungstrakt von Tieren, z.B. in den Mägen von Rindern und sogar im Menschen! Sie sind für Rülpsen und Furzen verantwortlich und produzieren Methan, wenn sie organisches Material wie Blätter oder Holzreste zersetzen. Neben der Landwirtschaft setzen auch andere menschliche Aktivitäten wie die Öl- und Gasindustrie große Mengen an Methan in unsere Atmosphäre frei [1] (Abbildung 2).

Abbildung 2

Hauptmethanquellen und -senken.

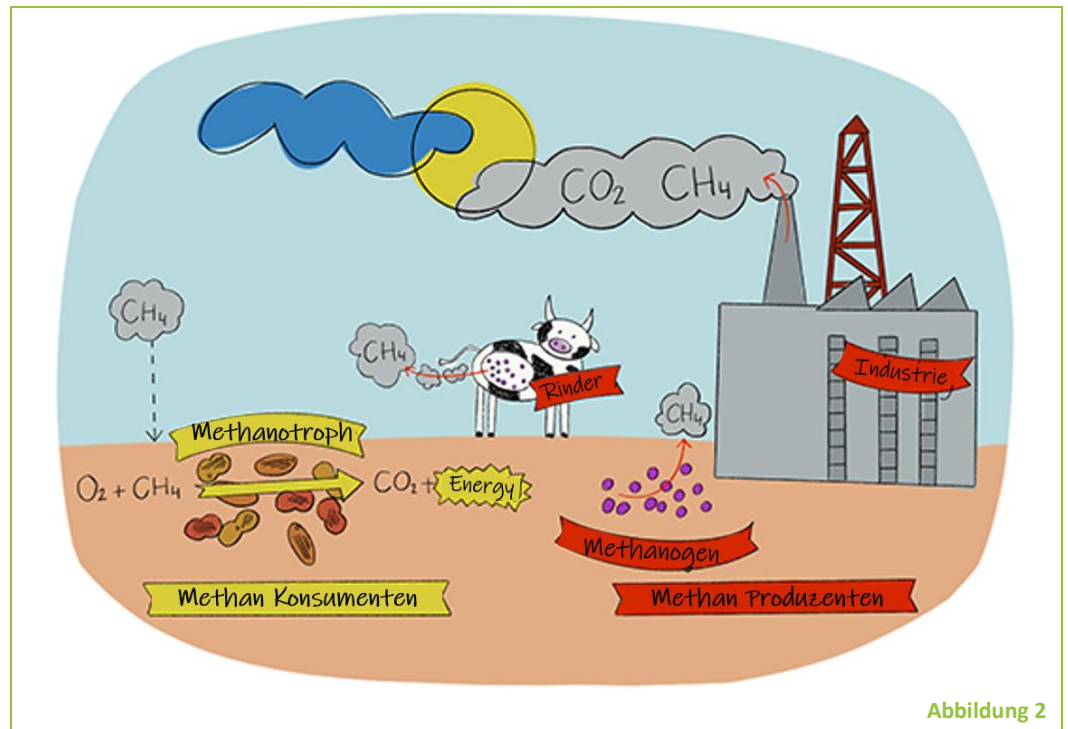


Abbildung 2

Das in die Atmosphäre freigesetzte Methan trägt in hohem Maße zum Klimawandel bei und es gibt nur eine Gruppe von Organismen, die es verbrauchen kann: die **Methanotrophen**. Diese Gruppe von Mikroorganismen ist in der Lage Methan als Kohlenstoff- und Energiequelle zu nutzen und sich im Grunde genommen komplett davon zu ernähren (Abbildung 2)! In Trockengebieten ist die Methanproduktion wegen des Wassermangels gering (zur Erinnerung: Methanogene leben normalerweise in überschwemmten Böden und anderen sauerstofffreien Umgebungen). Aufgrund der großen Ausdehnung von Trockengebieten und des globalen Anstiegs von Methan in der Atmosphäre könnten Trockenland-Ökosysteme jedoch von Interesse sein, wenn Methanotrophe auch dort in großer Zahl vorkommen.

METHANOTROPHE

Gruppe von Mikroorganismen, die in der Lage sind Methan als Kohlenstoff- und Energiequelle zu verwerten. Sie sind Methanfresser.

WIE MAN METHANOTROPHE FINDET UND UNTERSUCHT

Mit unserer Forschung wollten wir herausfinden, ob Methanotrophe in den Böden der Trockengebiete weltweit verbreitet sind und ob sie, wie die meisten Bodenmikroorganismen, empfindlich auf klimatische Bedingungen und Bodeneigenschaften reagieren. Zunächst wählten wir dazu 80 Standorte in Trockengebieten auf der ganzen Welt aus (Abbildung 1.1). An jedem Standort trugen wir Klimadaten zusammen, wie die mittlere Jahrestemperatur, den Jahresniederschlag und die Trockenheit. Außerdem entnahmen wir Bodenproben und analysierten Eigenschaften wie den Gehalt an organischer Substanz (organischer Kohlenstoff), den pH-Wert und den Sandgehalt (Abbildung 1.2). Ein hoher Anteil an organischer Substanz im Boden weist darauf hin, dass der Boden fruchtbar ist, d.h. er enthält genau die Nährstoffe, die Pflanzen, Bodentiere und Mikroorganismen zum Wachstum benötigen. Die pH-Analyse gibt Aufschluss darüber, wie sauer der Boden ist. Der pH-Wert ist einer der wichtigsten Faktoren für das Wachstum von Bodenbakterien. Wenn

Böden z.B. sauer sind wie Essig, können nur bestimmte, säuretolerante Bakterien darin leben. Bodenkörner liegen oft sehr dicht beieinander, lassen aber auch Zwischenräume, in die Luft und Wasser eindringen kann. Die Menge an Sand, der größten Partikelart im Boden, gibt Aufschluss darüber, wie groß diese Zwischenräume im Boden sind. Ein hoher Sandgehalt bedeutet, dass es große Zwischenräume gibt, so dass Luft leicht in den Boden eindringen kann, aber auch Wasser und Nährstoffe leicht abfließen.

Um schließlich die Methanotrophen in unseren Bodenproben zu untersuchen, benötigen wir die genetische Information (DNA) dieser Bakterien [2]. Zunächst erhalten wir nur die gesamte in unseren Bodenproben vorhandene DNA durch einen Prozess, der als **DNA-Extraktion** bezeichnet wird (Abbildung 1.3). Dieses Verfahren wird im Labor mit Hilfe leistungsstarker Enzyme durchgeführt, die die Zellen aufbrechen ohne die genetische Information zu beschädigen. Anschließend analysieren wir diese extrahierte DNA in einem bestimmten Abschnitt, der nur in Methanotrophen vorkommt. Bei diesem Abschnitt der DNA handelt es sich um ein Gen namens *pmoA*. Das *pmoA*-Gen enthält die Anweisungen für ein Protein, das es Methanotrophen ermöglicht atmosphärisches Methan zu verzehren. Die Kenntnis der Konzentration des *pmoA*-Gens in jeder Bodenprobe gibt Aufschluss darüber, wie viele Methanotrophen in dieser Probe lebten (Abbildung 1.4). Es gibt mehrere eng verwandte Arten von Methanotrophen, die ähnliche DNA-Informationen haben, aber verschiedene Arten haben winzige genetische Unterschiede in ihrer DNA, so dass wir die DNA verwenden können um verschiedene Methanotrophe zu identifizieren, ähnlich wie bei einem Fingerabdruck (Abbildung 1.5).

DNA-Studien helfen uns Informationen über die Häufigkeit (Gesamtzahl der vorhandenen Bakterien einer bestimmten Art), den **Artenreichtum** (Anzahl verschiedener vorhandener Bakterienarten) und die Gemeinschaftsstruktur (verschiedene Bakterienarten und Häufigkeit jeder Art) der Methanotrophen aus jeder Bodenprobe zu sammeln (Abbildung 3). Rechnerisch können wir so herausfinden, welche Boden- oder Klimabedingungen für Methanotrophe am wichtigsten sind (Abbildung 1.6).

DNA-EXTRAKTION

Laborverfahren, bei dem Zellen aufgebrochen werden, um das in ihnen enthaltene genetische Material (DNA) freizusetzen, ohne die DNA zu beschädigen.

ARTENREICHTUM

Die Anzahl der Arten (verschiedene Arten) von Organismen, die in einer Umgebung vorkommen.

Abbildung 3

Mikroben-gemeinschaften lassen sich durch drei Eigenschaften beschreiben: Die Abundanz ist die Gesamtzahl der vorhandenen Bakterien einer bestimmten Art. Der Reichtum ist die Anzahl der verschiedenen Arten von Bakterien in einer Umgebung. Die Struktur der Gemeinschaft beschreibt, wie viele verschiedene Arten von Bakterien vorhanden sind und wie häufig jede Art vorkommt.

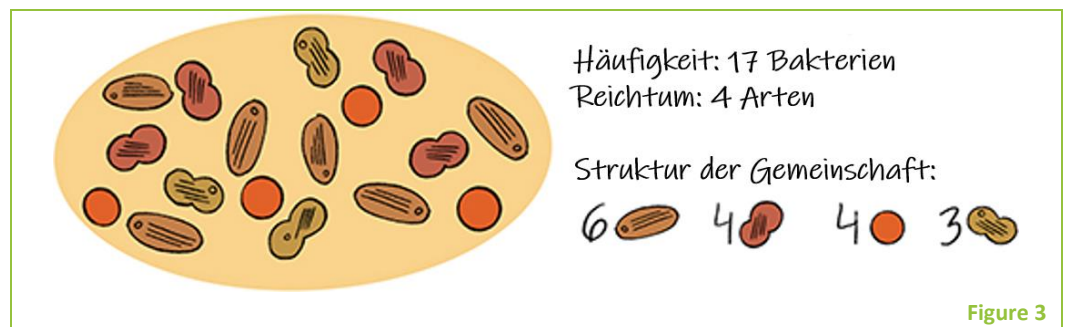


Figure 3

WO METHANOTROPHE LEBEN

Wir waren nicht sicher, ob wir in Trockengebieten überhaupt Methanotrophe finden würden, da diese Mikroorganismen Methan zum Leben brauchen und

Trockengebiete kein typisches Ökosystem für Methanproduktion sind. Der Fund von Methanotrophen in allen Bodenproben aus Trockengebieten war also ein außergewöhnliches Ergebnis! Wir können nun sagen, dass Methanotrophe in den Trockengebieten der Welt verbreitet sind. Überraschenderweise fanden wir sogar einige Methanotrophe, die normalerweise in feuchten Gebieten vorkommen, bspw. in Dänemark, Schottland oder Neuseeland.

Wir haben auch festgestellt, dass in Trockengebieten die durchschnittliche Jahrestemperatur und die Trockenheit nicht die wichtigsten Bedingungen sind, die die Häufigkeit und den Reichtum von Methanotrophen beeinflussen. Häufigkeit und Reichtum können auch durch andere Faktoren wie bspw. den Niederschlag bestimmt werden. Klimabedingungen wie mittlere Jahrestemperatur, Niederschläge, Trockenheit und Bodeneigenschaften wie organische Substanz, pH-Wert und Sandgehalt hatten jedoch Auswirkungen auf die **Gemeinschaftsstruktur** der Methanotrophen. Höhere Temperaturen erhöhten z.B. die Häufigkeit bestimmter hitzeresistenter Methanotropher, mit anderen Worten, in Trockengebieten mit höheren Temperaturen können die Methanotrophengemeinschaften mehr hitzeresistente Methanotrophe enthalten. Klimabedingungen wirken sich auch auf Bodeneigenschaften aus, indem sie bspw. die Verwitterung von Steinen begünstigen, was den Sandgehalt erhöht, oder indem sie den pH-Wert und die organische Substanz des Bodens verändern. Diese Bodeneigenschaften wirken sich letztlich auf die Luftmenge aus, die in den Boden eindringen kann, was sich sehr wichtig für die Gemeinschaftsstruktur der Methanotrophen ist.

STRUKTUR DER GEMEINSCHAFT

Der kombinierte Reichtum und die Abundanz in einer Gemeinschaft.

WAS WIR VON METHANOTROPHEN IN TROCKENGEBIETEN LERNEN

Wie wir festgestellt haben, sind Methanotrophe in Trockengebieten der Welt reichlich vorhanden und weit verbreitet und sowohl das Klima als auch der Boden beeinflussen die Gemeinschaften dieser Methanotrophen. Darüber hinaus stellten wir fest, dass die Struktur der Gemeinschaft methanfressender Bakterien stark von klimatischen Bedingungen abhängt, also Niederschlagsmenge und Temperatur oder Bodeneigenschaften wie dem Gehalt organischer Substanzen im Boden. Da also das Klima die Methanotrophen beeinflusst, gehen wir davon aus, dass der fortschreitende Klimawandel auch die Gemeinschaften der Methanotrophen in den kommenden Jahren verändern wird, was sich wiederum auf den Verbrauch atmosphärischen Methans auswirken wird. Bislang wussten wir, dass Methanotrophe an kalten und feuchten Orten leben, die sicherlich vom Klimawandel betroffen sein werden. Die riesigen Flächen, die Trockengebiete bedecken, und die vielen Methanotrophen, die sie beherbergen, könnten diese Gebiete in Zukunft für den Abbau atmosphärischen Methans äußerst wichtig machen. Mit anderen Worten: Trockenlandbakterien können uns helfen Treibhausgase zu reduzieren! Daher ist es wichtig sich jetzt bereits um Trockengebiete zu kümmern und die in ihnen verborgenen Wunder weiter zu erforschen um mit unserem künftig wärmeren Planeten fertig zu werden. Methanfressende Bakterien in Trockengebieten können uns helfen!

ORIGINAL ARTIKEL

Lafuente, A., Bowker, M. A., Delgado-Baquerizo, M., Durán, J., Singh, B. K., and Maestre, F. T. 2019. Global drivers of methane oxidation and denitrifying gene distribution in drylands. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 28:1230–43. doi: 10.1111/geb.12928

LITERATUR

[1] Cadena, S., Cervantes, F., Falcón, L., and García-Maldonado, J. 2019. The role of microorganisms in the methane cycle. *Front. Young Minds* 7:133. doi: 10.3389/frym.2019.00133

[2] Schallenberg, L., Wood, S., Pochon, X., and Pearman, J. 2020. What can DNA in the environment tell us about an ecosystem? *Front. Young Minds* 8:150. doi: 10.3389/frym.2019.00150

EDITIERT VON: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

QUELLE: Lafuente A and Cano-Díaz C (2021) Can Methane-Eating Bacteria in Drylands Help Us Reduce Greenhouse Gases?. *Front. Young Minds.* 9:556361. doi: 10.3389/frym.2021.556361

INTERESSENSKONFLIKT: Die Autoren versichern, dass die Studie ohne kommerzielle oder finanzielle Beziehungen durchgeführt wurde, die als möglicher Interessenskonflikt ausgelegt werden könnten.

COPYRIGHT © 2021 Lafuente and Cano-Díaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

JUNGER REZENSENT

SEBASTIAN, ALTER: 10

Ich mag Sport, Lesen, Mathe und Tiere.

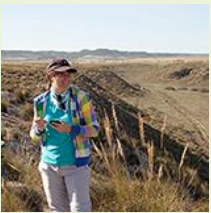


AUTOREN UND AUTORINNEN



ANGELA LAFUENTE

Ich arbeite derzeit als Post-Doc an der Technischen Universität Michigan und beschäftige mich mit dem Kohlenstoffkreislauf in tropischen Torfgebieten. Ich bin Ökologin und interessiere mich dafür, wie sich der globale Wandel auf die Mikroorganismen im Boden und die Treibhausgasflüsse auswirkt. In meiner Freizeit genieße ich die Natur beim Wandern, Radfahren oder Skifahren. *ellyon.diebrunnen@gmail.com



CONCHA CANO-DÍAZ

Ich bin Biologin und beende gerade meine Doktorarbeit an der Universität Rey Juan Carlos (Spanien) ab. Mein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Verbreitung und den ökologischen Präferenzen von Cyanobakterien im Boden. Zurzeit untersuche ich die Auswirkungen des Klimawandels und der Bodenbildungsprozesse auf Cyanobakteriengemeinschaften auf der ganzen Welt. Ich liebe es wissenschaftliche Illustrationen anzufertigen und in meiner Freizeit spiele ich gerne Musik mit der Ukulele und singe im Chor.

ÜBERSETZERIN

SUSANNE HORKA

FINANZIERUNG (ÜBERSETZUNG)

Das Team Translating Soil Biodiversity bedankt sich für die Unterstützung des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG FZT 118, 202548816).