



Methansenke Waldboden

„SaMS“ – Soils as Methane Sinks

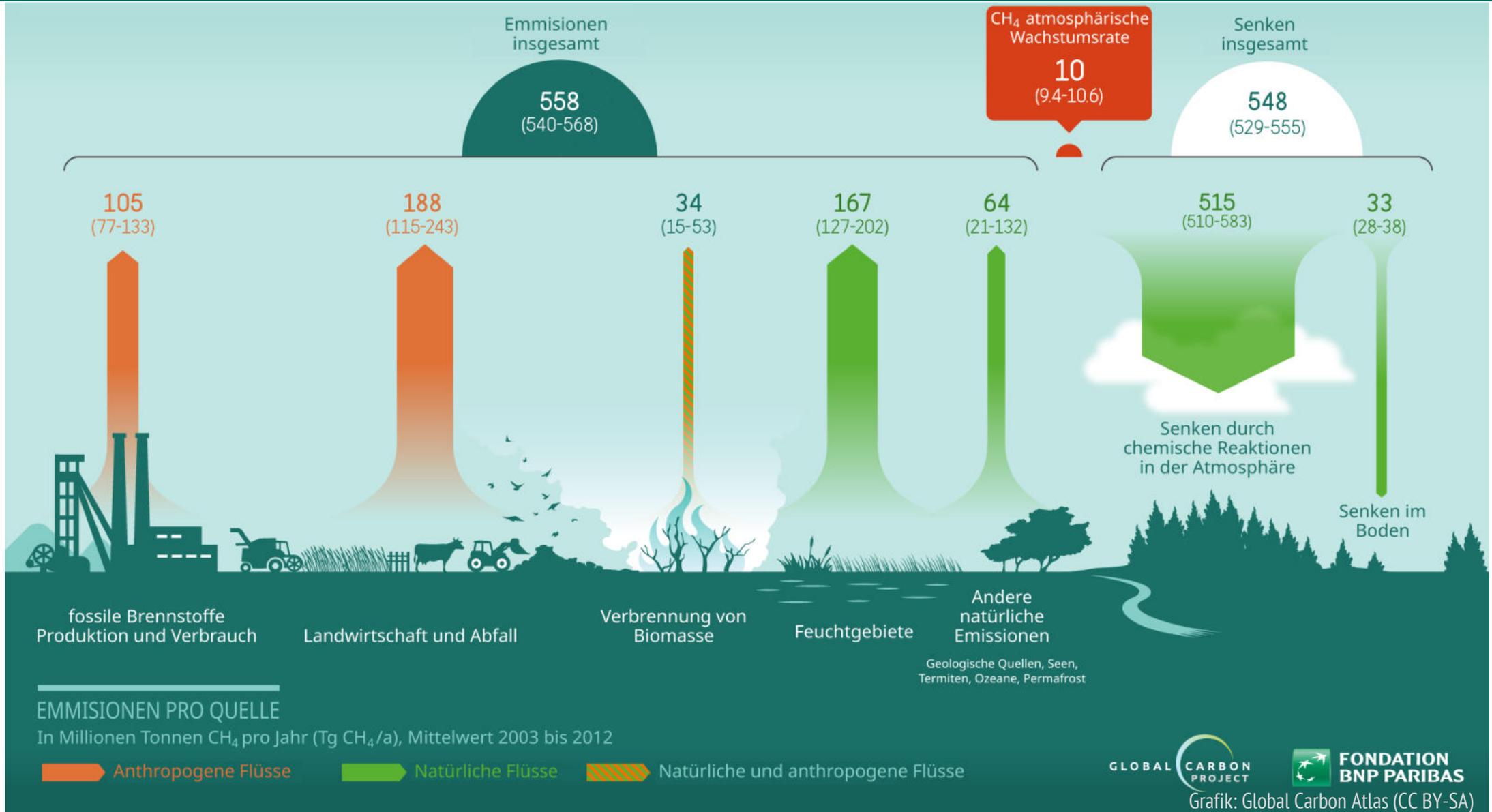
Bakterien als Schlüssel zum Klimaschutz

^{1,2}**Verena Lang**

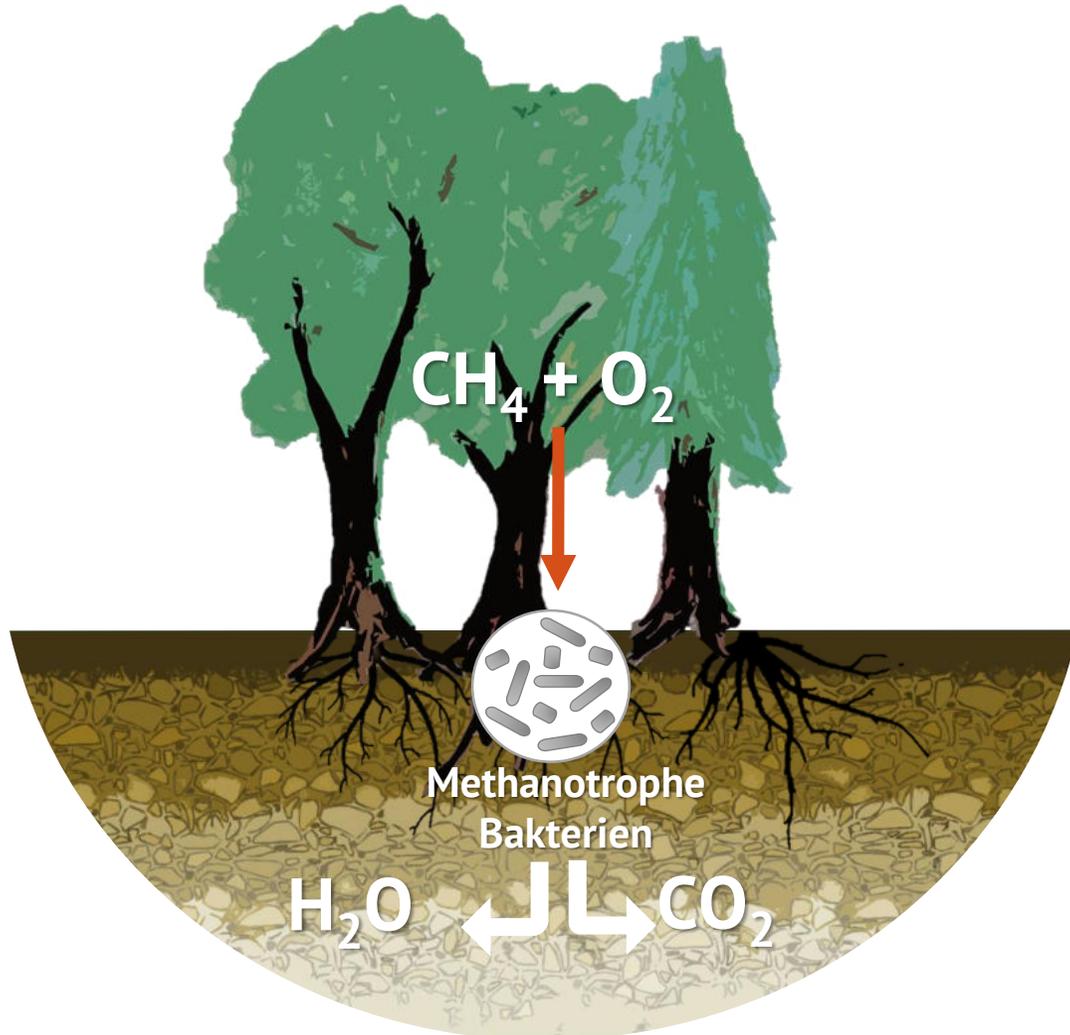
^{1,2}Valentin Gartiser | ¹Peter Hartmann | ¹Alexander Schengel | ²Martin Maier

¹Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Abteilung Boden & Umwelt, Wonnhalde 4, 79100 Freiburg
²Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Lehrstuhl für Bodenphysik, Grisebachstraße 6, 37077 Göttingen

1 | Hintergrund: Methankreislauf



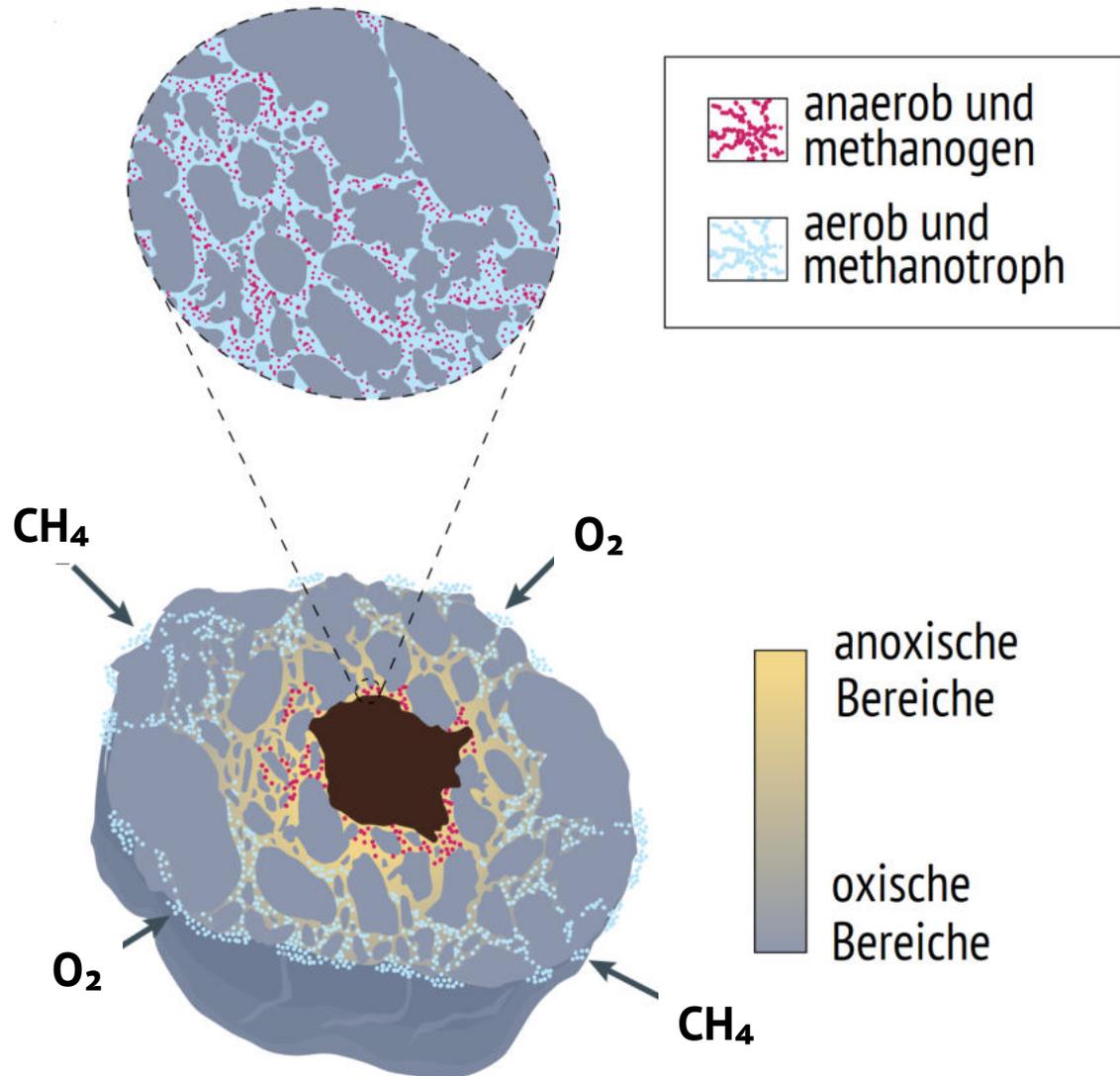
1 | Hintergrund: Prozess des Methanabbaus



mikrobieller Prozess

- Bakterien bauen Methan beim Vorhandensein von **ausreichend Sauerstoff** ab und verstoffwechseln dieses zum Endprodukt CO_2

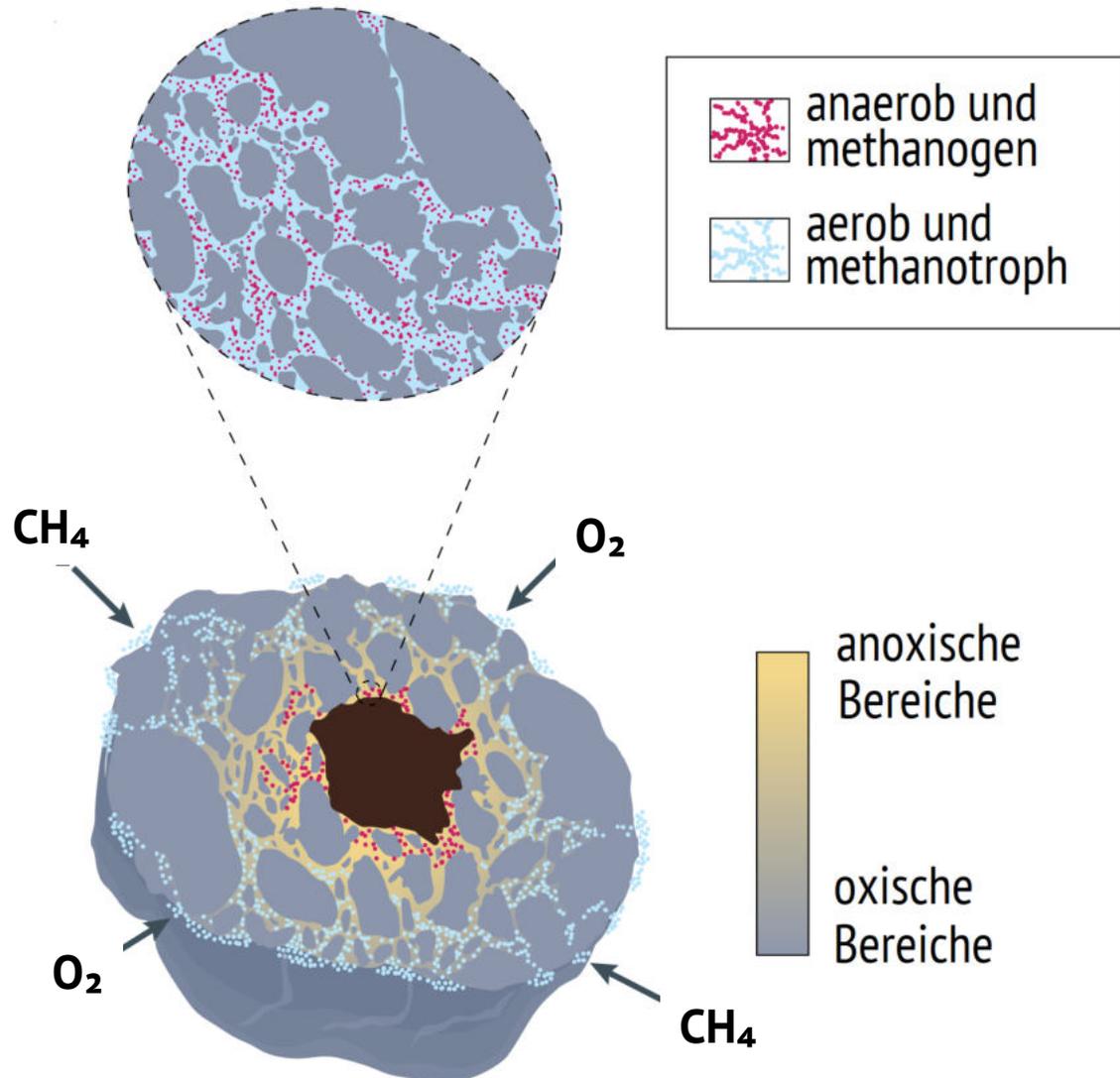
1 | Hintergrund: Prozess des Methanabbaus



mikrobieller Prozess

- Bakterien bauen Methan beim Vorhandensein von **ausreichend Sauerstoff** ab und verstoffwechseln dieses zum Endprodukt CO₂
- methanotrophe (methan-abbauende) und methanogene (methan-produzierende) Bakterien **kommen nebeneinander vor** und sind im ständigen Wechselspiel

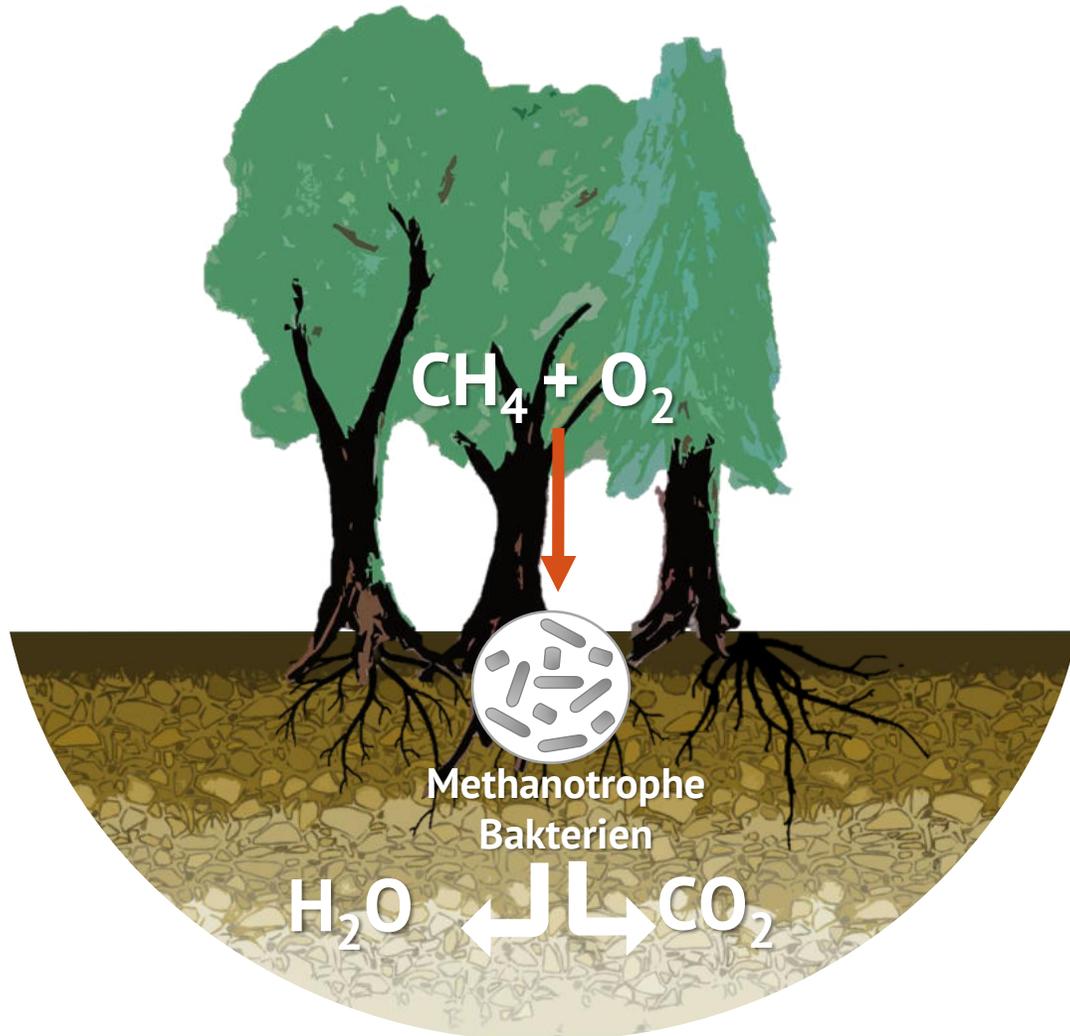
1 | Hintergrund: Prozess des Methanabbaus



mikrobieller Prozess

- Bakterien bauen Methan beim Vorhandensein von **ausreichend Sauerstoff** ab und verstoffwechseln dieses zum Endprodukt CO₂
- methanotrophe (methan-abbauende) und methanogene (methan-produzierende) Bakterien **kommen nebeneinander vor** und sind im ständigen Wechselspiel
- gut durchlüftete **Waldböden** der gemäßigten Zone **überwiegt der Abbau** → **globale Methansenke**

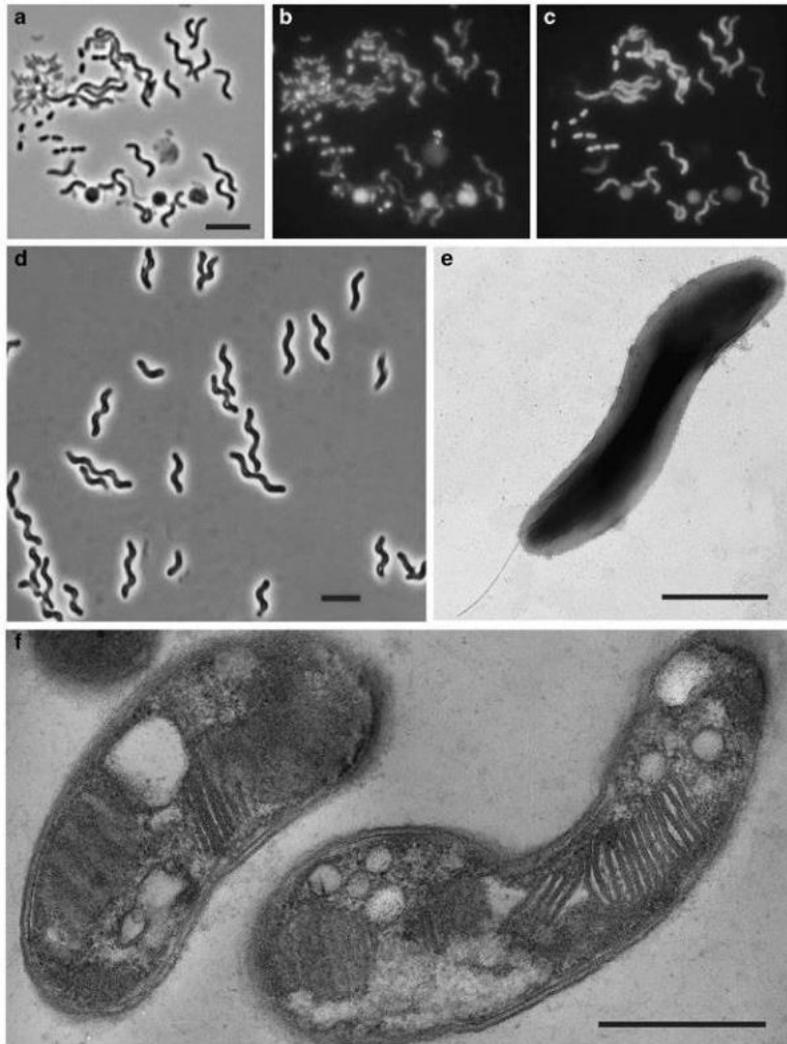
1 | Hintergrund: Prozess des Methanabbaus



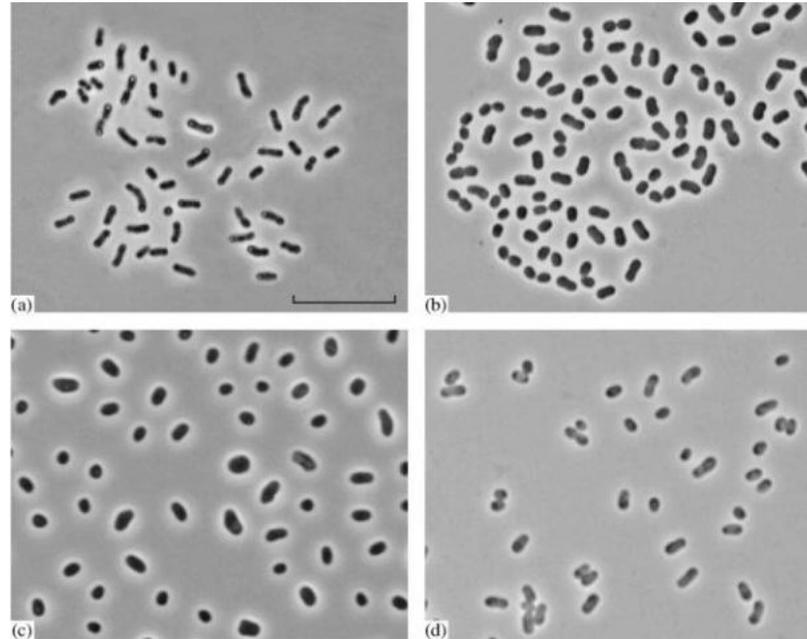
mikrobieller Prozess

- Bakterien bauen Methan beim Vorhandensein von **ausreichend Sauerstoff** ab und verstoffwechseln dieses zum Endprodukt CO_2
- methanotrophe (methan-abbauende) und methanogene (methan-produzierende) Bakterien **kommen nebeneinander vor** und sind im ständigen Wechselspiel
- gut durchlüftete **Waldböden** der gemäßigten Zone **überwiegt der Abbau** → **globale Methansenke**
- Großteil der Methankonsumption findet in den oberen 10cm der Böden statt.

1 | Hintergrund: methanotrophe Bakterien (MOB)



Quelle: Danilova et al. (2016): An new call Morphotype among methane oxidizers ISME J (10) 2734–2743



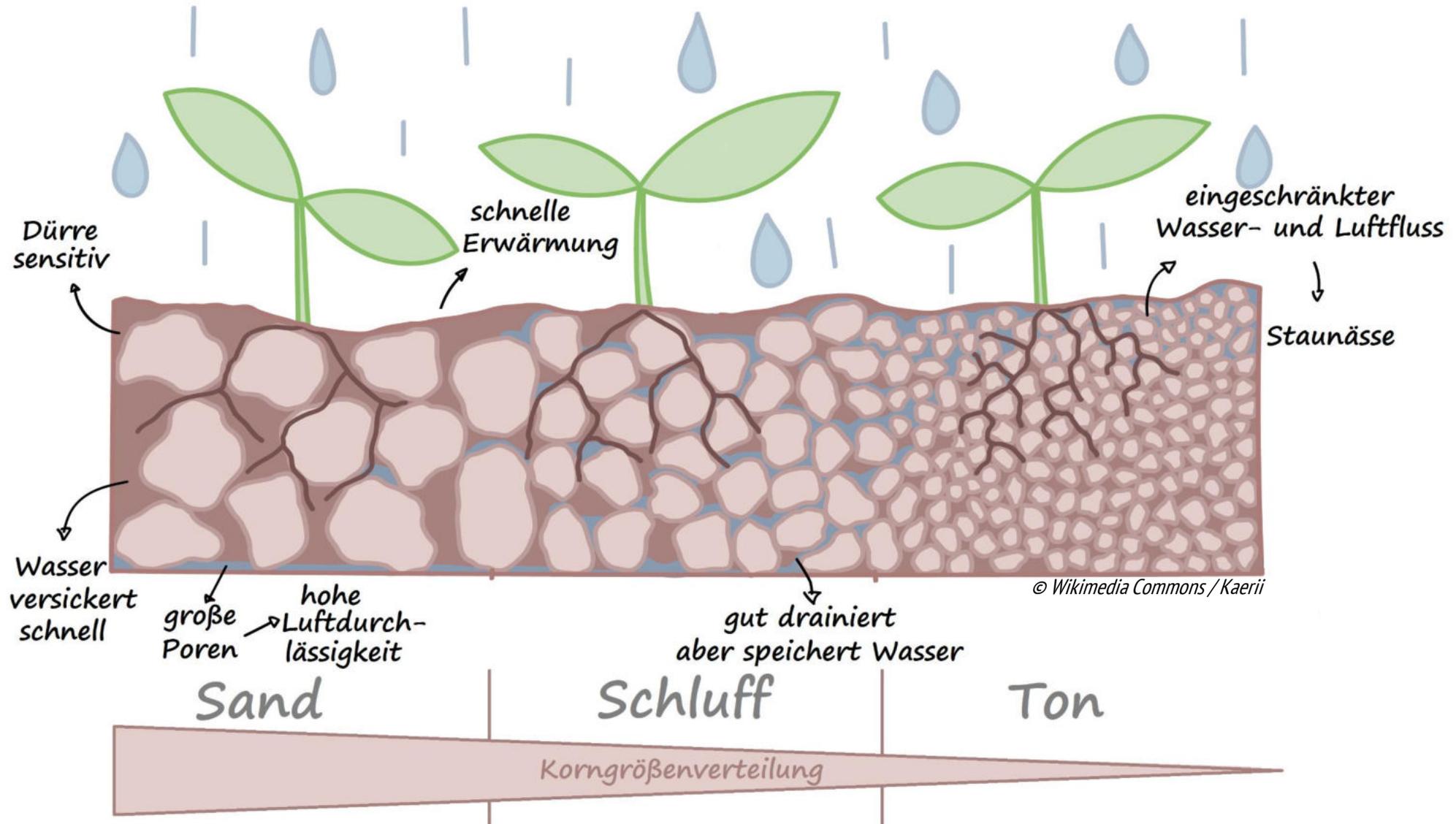
Quelle: Dedysh (2009): Exploring Methanotroph Diversity, Microbiology, Vol. 78, No. 6, pp. 655–669.

- **weite Verbreitung** über verschiedene Ökosysteme hinweg
- **hohe genetische Diversität** der MOB's
- wichtigster Lebensraum im **Boden: aerober, gut durchlüfteter Bereich**

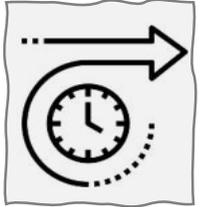
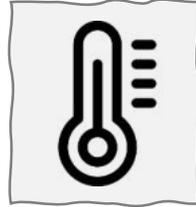


Quelle: Kalyuzhanaya et al (2018): The Methane-Oxidizing Bacteria (Methanotrophs) In: Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer

1 | Hintergrund: Einflussfaktor Boden



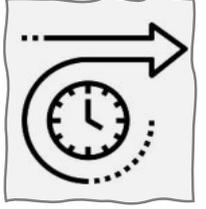
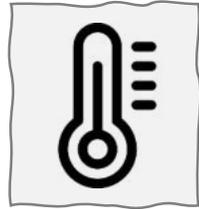
1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



Bodenwassergehalt

- Wichtigste Einflussgröße der Methankonsumption (negativ korreliert)
- **Beeinflusst luftgefüllten Porenraum** und die Gasdiffusion und den Transport der Substrate zu den Mikroorganismen).

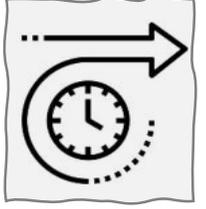
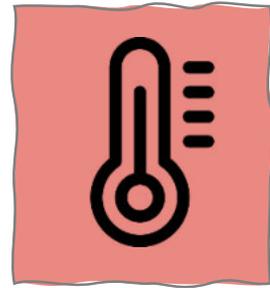
1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



Niederschlag

- **indirekte Beeinflussung des Gastransport** durch Zunahme des Bodenwassergehaltes.
- Starkregenereignisse schaffen schnell **suboxische Bedingungen und fördern Methanproduktion**

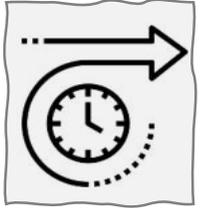
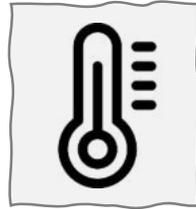
1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



Temperatur

- generell **große Spanne in der Temperaturtoleranz** und **geringe Saisonalität**
- höhere mikrobielle Aktivität bis der Bodenwassergehalt limitiert

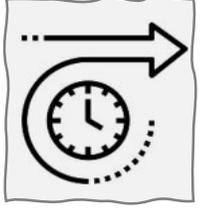
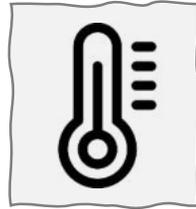
1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



Managementeinflüssen

- MOB's reagieren sensibel auf **Nutzungsänderung und Bodenverdichtung**
- **Stickstoffdüngung** hemmt enzymatischen Prozess → hohe Methansenkenleistung unbeeinflusster Waldböden.

1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



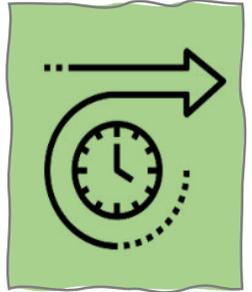
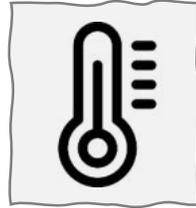
mögliche Klimawandeleffekte



- Veränderungen in der **Niederschlagsverteilung und Menge**
- Gefahr von **Starkregenereignissen** und **Dürre**.
- Temperaturerhöhung bewirkt **Verlängerung der aktiven Saison**
- **Zunahme von Extremwetter** führt zu Änderung/Verlagerung der Bakterien

Mittlere Bodenfeuchte bestimmt maßgeblich die Auswirkungen des Klimawandels auf die Methanotrophie

1 | Hintergrund: Einflussfaktoren (im Klimawandel)



Perspektive

- klimawandelbedingte Trends oder Treiber noch weitestgehend unbekannt
- **Grund: Mangel an ausreichend langen und einheitlichen Methanmessreihen**

1 | Hintergrund: Datenlage

Ni & Groffman (2018): Declines in methane uptake in forest soils

eigene Messstandorte + Metastudie zur weltweiten Verfügbarkeit von globalen Methanmessungen aus Waldböden

PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Keyword, Author, or DOI

Home Articles Front Matter News Podcasts Authors Sub

RESEARCH ARTICLE

Declines in methane uptake in forest soils

Xiangyin Ni and Peter M. Groffman

+ See all authors and affiliations

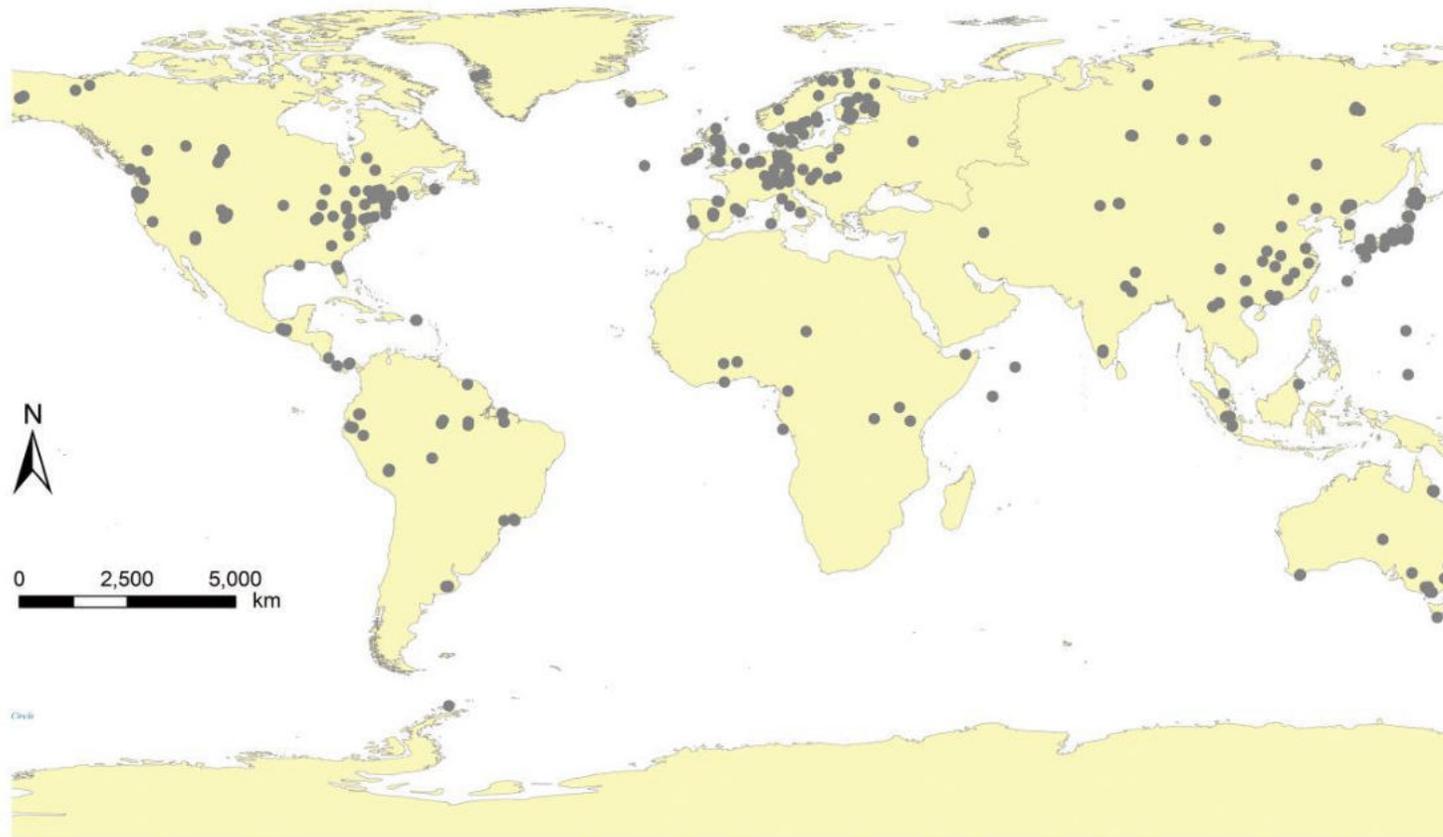
PNAS August 21, 2018 115(17):8587–8590, first published August 6, 2018; <https://doi.org/10.1073/pnas.1807377115>

Edited by Eric A. Davidson, University of Maryland Center for Environmental Science, Frostburg, MD, and accepted by Editorial Board Member A. R. Ravishankara July 2, 2018 (received for review May 2, 2018)

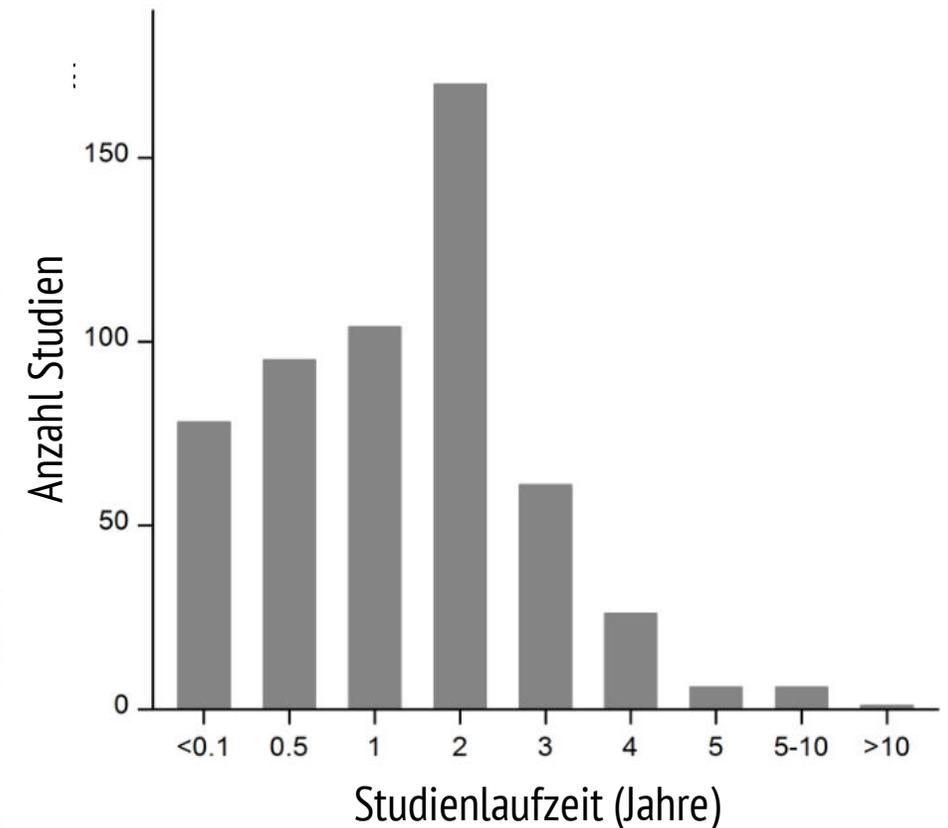
CH₄ uptake appears to be driven by increases in precipitation and soil hydrological flux. Furthermore, an analysis of CH₄ uptake around the globe showed that CH₄ uptake in forest soils has decreased by an average of 77% from 1988 to 2015, particularly in forests located from 0 to 60 °N latitude where precipitation has

1 | Hintergrund: Datenlage

Ni & Groffman (2018): Declines in methane uptake in forest soils



Ni & Groffman (2018): Fig. S1. Globale Verteilung von in situ CH₄-Flussmessungen.

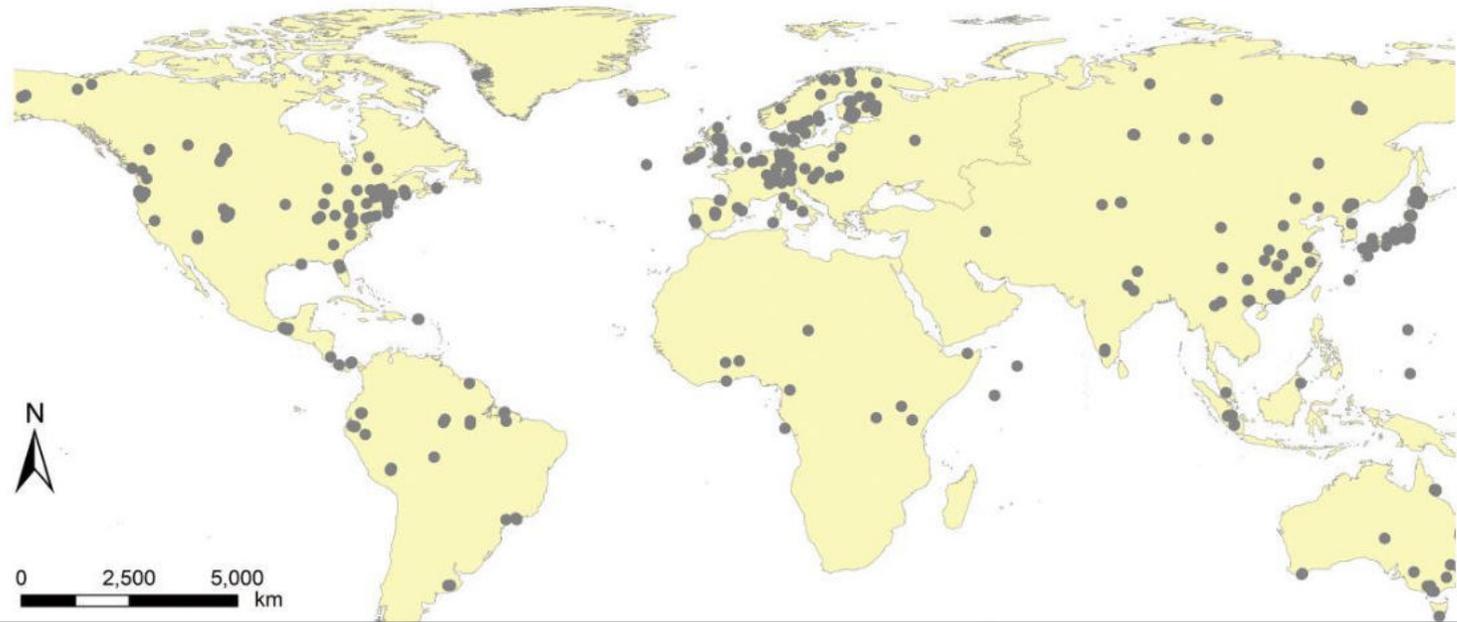


Ni & Groffman (2018): Fig. S2. Länge der Untersuchungszeiträume von In-situ-CH₄-Flussmessungen aus 317 wissenschaftlichen Artikeln.

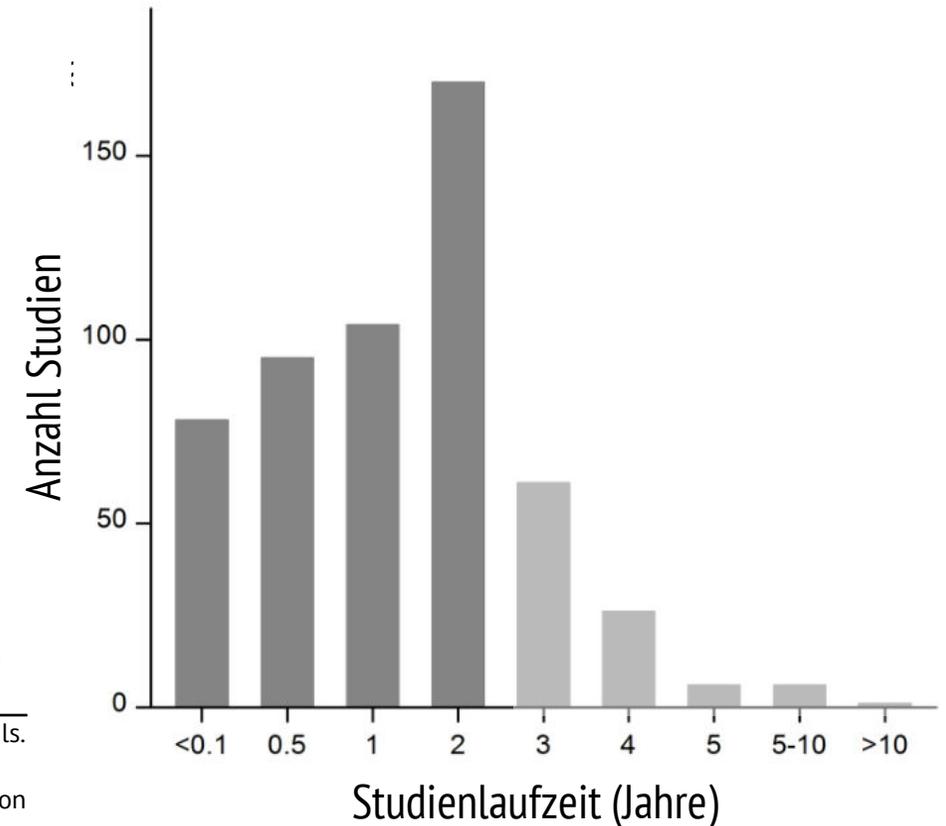
80 % dieser Studien dauerten weniger als zwei Jahre.

1 | Hintergrund: Datenlage

Ni & Groffman (2018): Declines in methane uptake in forest soils



Ni & Groffman (2018): Supplementary Dataset S1: Study periods of current global in situ measurements of CH₄ uptake in forest soils.



Ni & Groffman (2018): Fig. S2. Länge der Untersuchungszeiträume von In-situ-CH₄-Flussmessungen aus 317 wissenschaftlichen Artikeln.

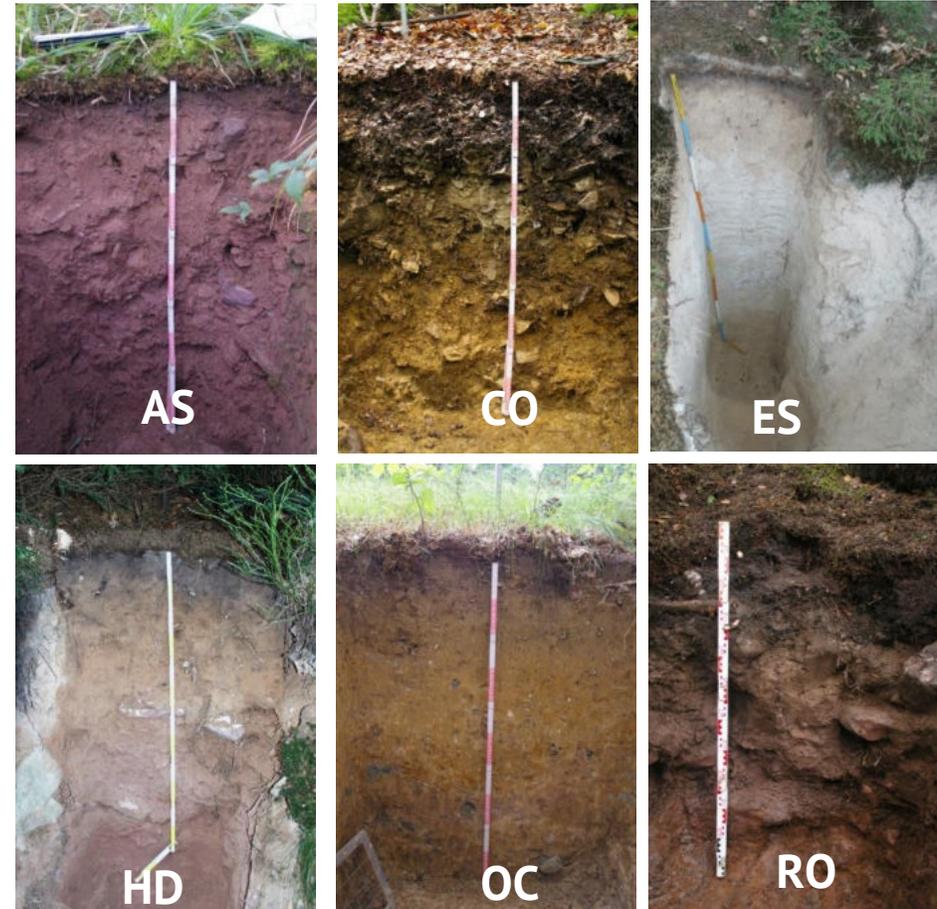
80 % dieser Studien dauerten weniger als zwei Jahre.

Citation	Experimental site	Latitude	Longitude	Study period (year)	Duration
		°N	°E		
Luo et al. 2012	Höglwald Forest, Germany	48.50	11.17	16.0	1994-2010
Gundersen et al. 2012	Höglwald Forest, Germany	48.28	11.60	7.9	Jan 2000-Dec 2007
Christensen et al. 1997	Abisko, Sweden	68.33	20.85	7.0	1989-1995
Ishizuka et al. 2009	Japanese Archipelago OG, Japan	36.93	140.58	6.8	May 1995-Mar 2002
Davidson et al. 2008	Tapajós National Forest, Brazil	-2.90	-54.95	6.6	Sep 1998-Apr 2005
Fiedler et al. 2008	Wildmooswald, Germany	47.11	8.11	5.2	Sep 1999-Nov 2004
Castro et al. 1995	Harvard Forest, USA	40.50	-72.16	5.0	1988-1993
Krause et al. 2013	Alptal, Switzerland	47.30	8.71	5.0	Mar 2007-Feb 2012
Yang et al. 2017	Xi Mountain, China	31.54	110.68	5.0	Mar 2011-Feb 2016

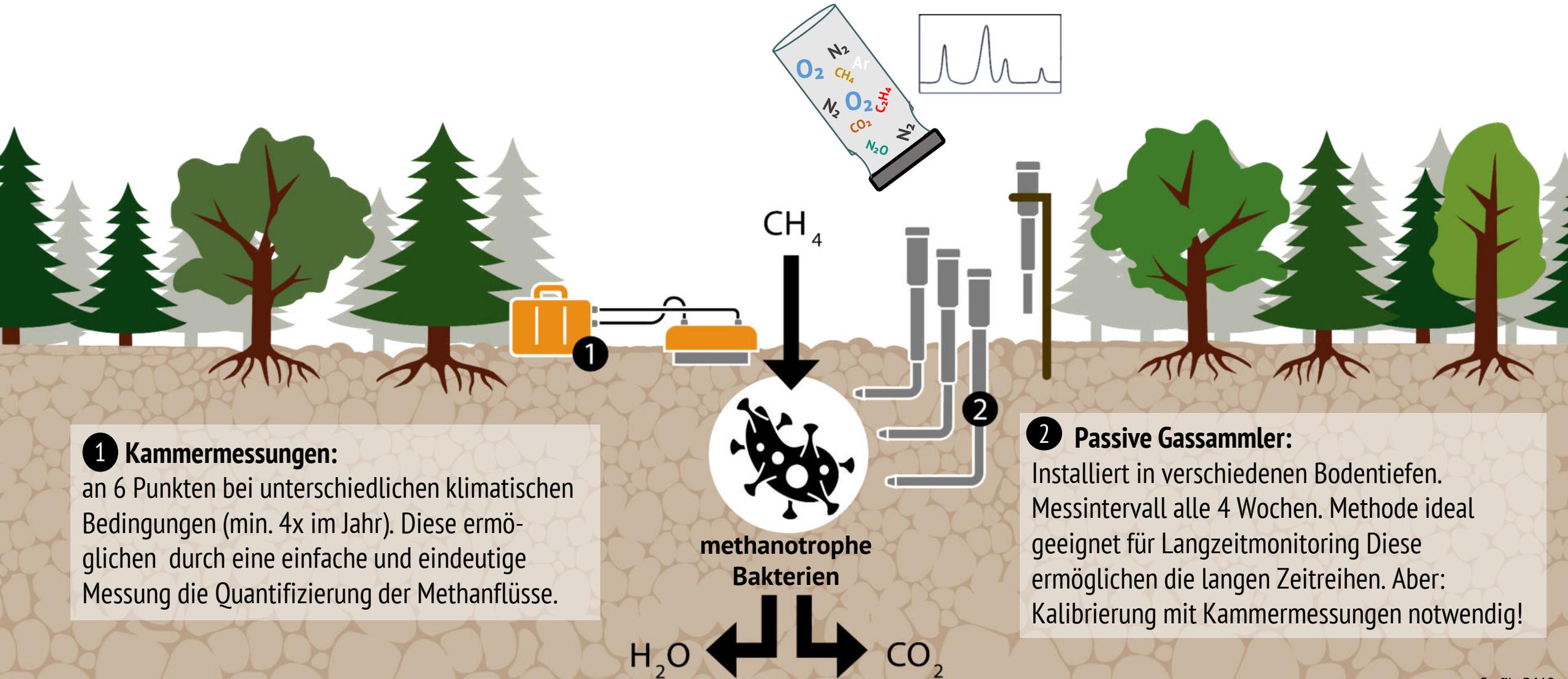
2 | Material & Methoden - Messstandorte



- >20 **Versuchsflächen** in Deutschland & Methanflüsse **bis zu 25 Jahre**
- inklusive **13 Langzeitmessungen** von ICP Level II Umweltmonitoringflächen
- Messungen ab **1998** im Fichtenbestand (*Picea abies*) und ab **2010** auch im Buchenbestand (*Fagus sylvatica*) + langjährige Kalkungsflächen



Fotos: Hermann Buberl / FVA-BW



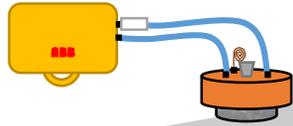
1 Kammermessungen:

an 6 Punkten bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (min. 4x im Jahr). Diese ermöglichen durch eine einfache und eindeutige Messung die Quantifizierung der Methanflüsse.

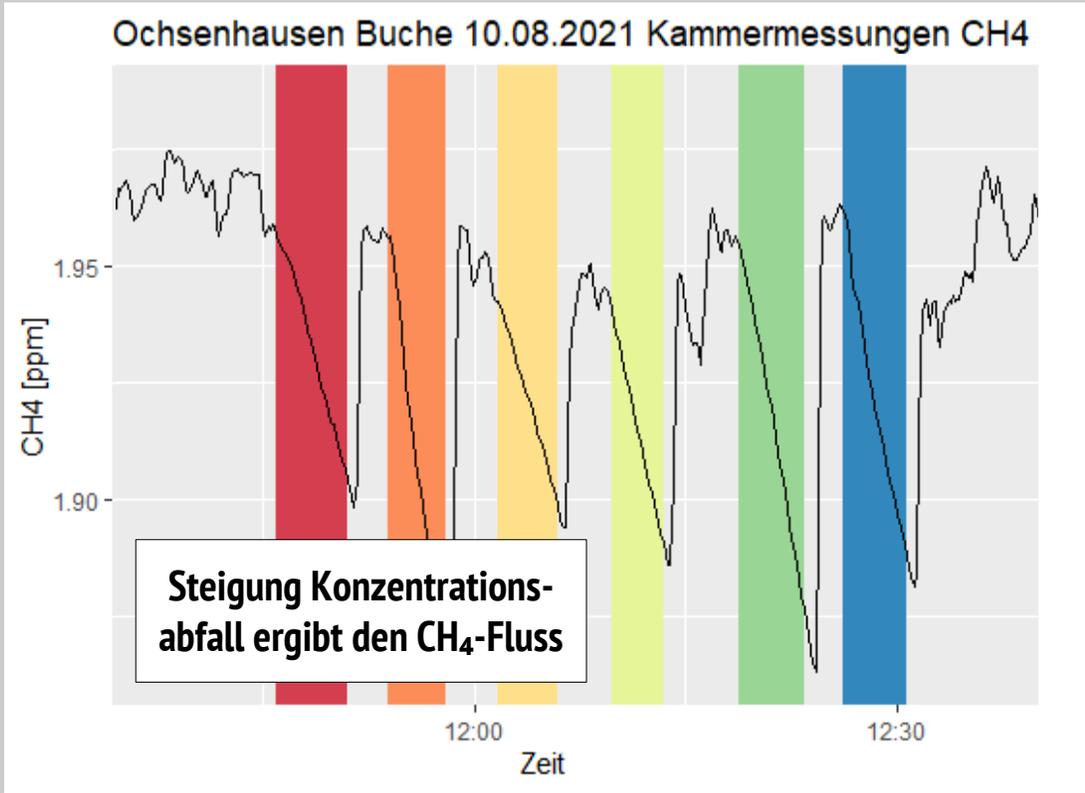
2 Passive Gassammler:

Installiert in verschiedenen Bodentiefen. Messintervall alle 4 Wochen. Methode ideal geeignet für Langzeitmonitoring Diese ermöglichen die langen Zeitreihen. Aber: Kalibrierung mit Kammermessungen notwendig!

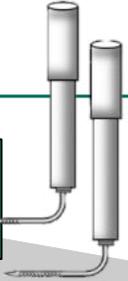
2 | Material & Methoden – Messverfahren



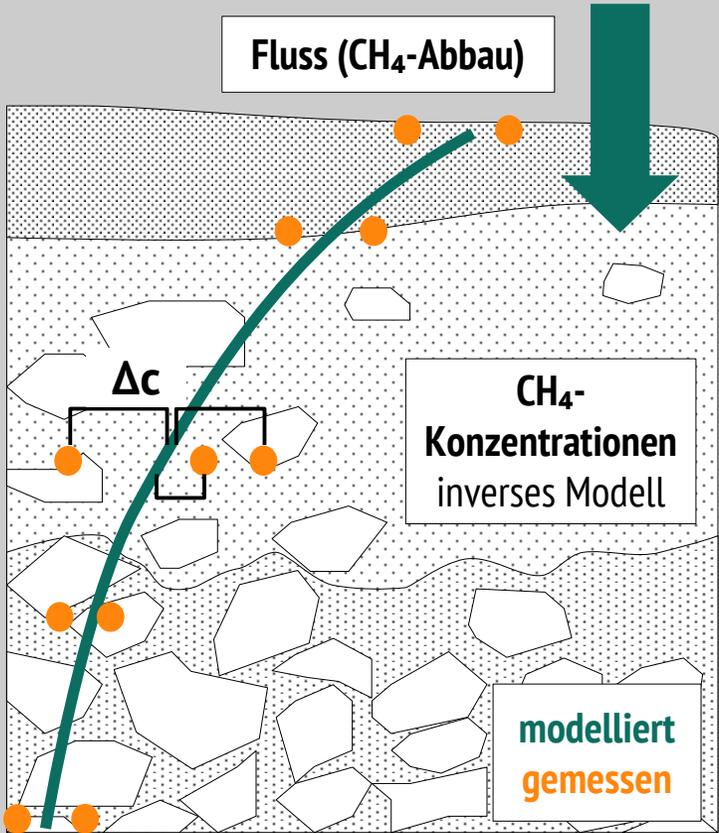
Kammermessungen



Passivgassammler



Ziel
Vorteile beider
Methoden
verbinden



Grafik: Valentin Gartiser

R-Paket »ConFluxPro«
github.com/valentingar/ConFluxPro



Mehr Infos!

„A toolbox for soil gas analysis“



Jochheim et al. (2022)

Frontiers in Forests and Global Change 5: 826298
Dynamics of soil CO₂ efflux and vertical CO₂ production in a European beech and a Scots pine forest

Hubert Jochheim¹, Stephan Wirth², Valentin Gartiser³, Sinikka Paulus^{4, 5}, Christoph Haas^{2, 6}, Horst H. Gerke³ and Martin Maier^{3, 5}

¹Research Platform "Data Analysis & Simulation", Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany

²Research Area 1 "Landscape Functioning", Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany

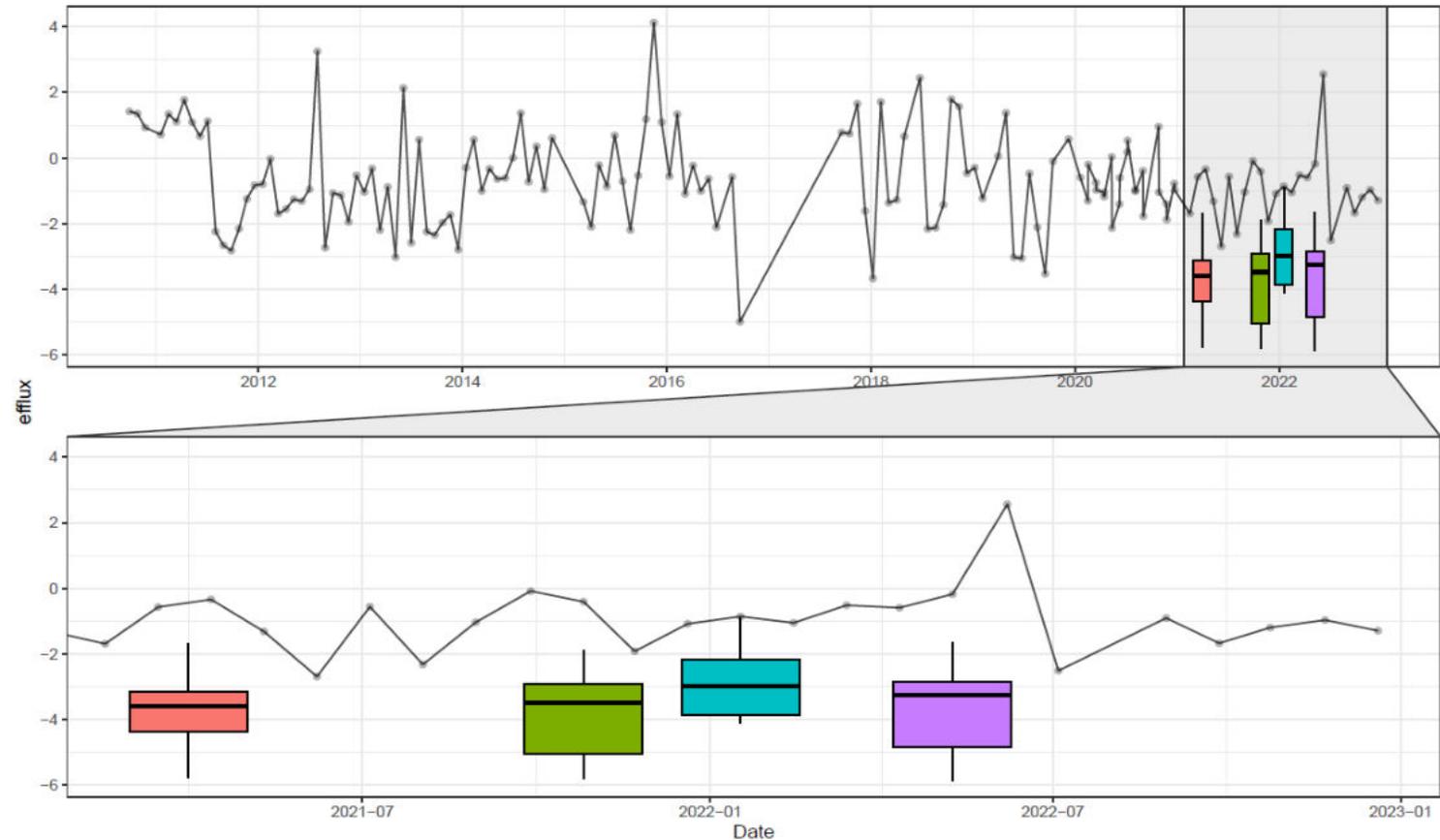
³Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Germany

⁴Max Planck Institute for Biogeochemistry, Germany

⁵University of Freiburg, Germany

⁶Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Germany

gemessene „mittlere“ Diffusivität
≠
tatsächliche lokale Diffusivität



R-Paket »ConFluxPro«
github.com/valentingar/ConFluxPro



Mehr Infos!

„A toolbox for soil gas analysis“



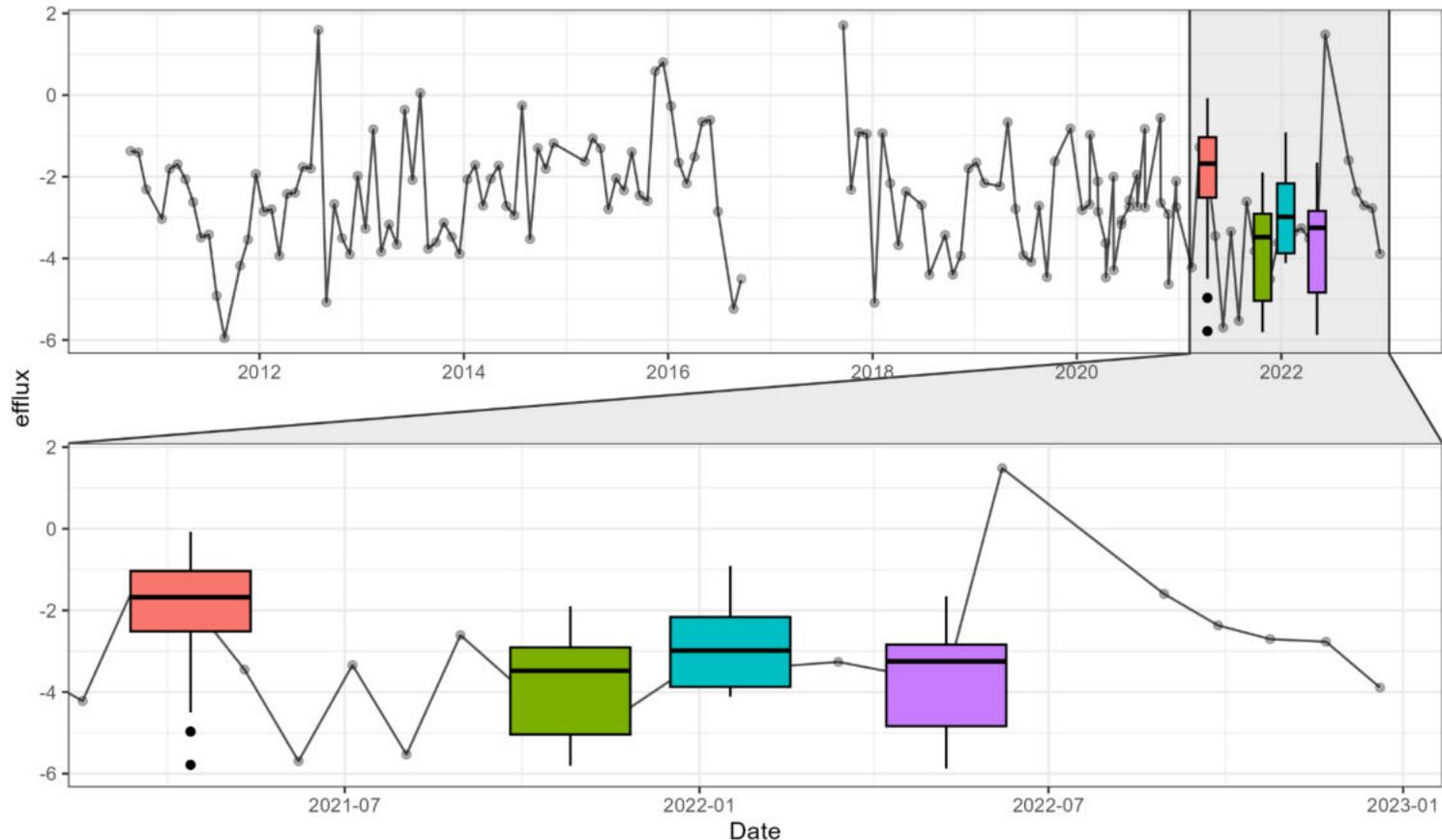
Jochheim et al. (2022)

Frontiers in Forests and Global Change 5: 826298
 Dynamics of soil CO₂ efflux and vertical CO₂ production in a European beech and a Scots pine forest

Hubert Jochheim¹, Stephan Wirth², Valentin Gartiser³, Sinikka Paulus^{4, 5}, Christoph Haas^{2, 6}, Horst H. Gerke³ and Martin Maier^{3, 5}

¹Research Platform "Data Analysis & Simulation", Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany
²Research Area 1 "Landscape Functioning", Leibniz Center for Agricultural Landscape Research (ZALF), Germany
³Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Germany
⁴Max Planck Institute for Biogeochemistry, Germany
⁵University of Freiburg, Germany
⁶Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Germany

gemessene „mittlere“ Diffusivität
 ≠
 tatsächliche lokale Diffusivität



3 | Ergebnisse

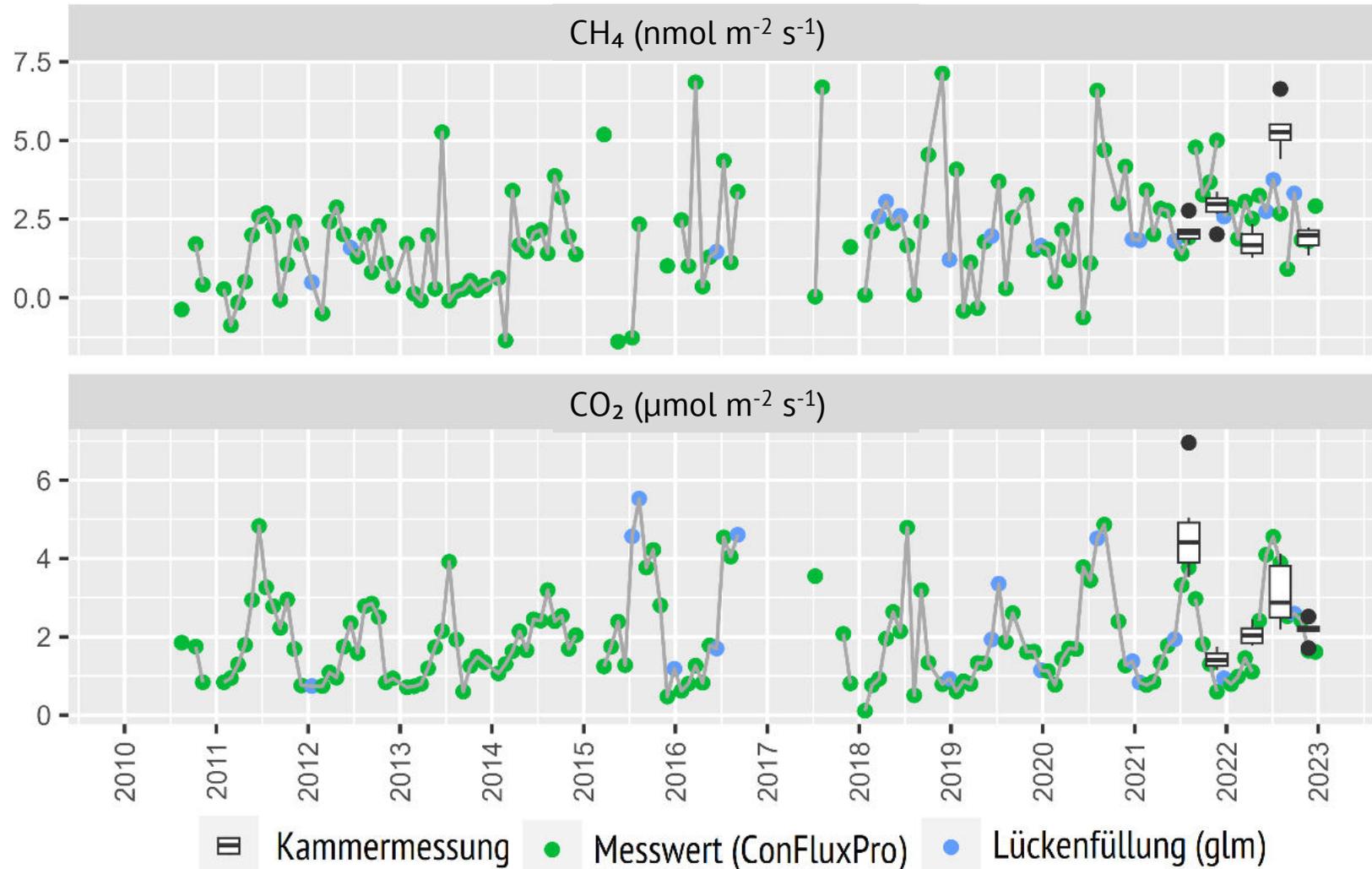
Projektziele

- (1) Quantifizierung der Methansenke Waldboden
- (2) Trendanalyse
- (3) Identifikation von Einflussfaktoren
- (4) Schließen der Datenlücke in Langzeitmessreihen

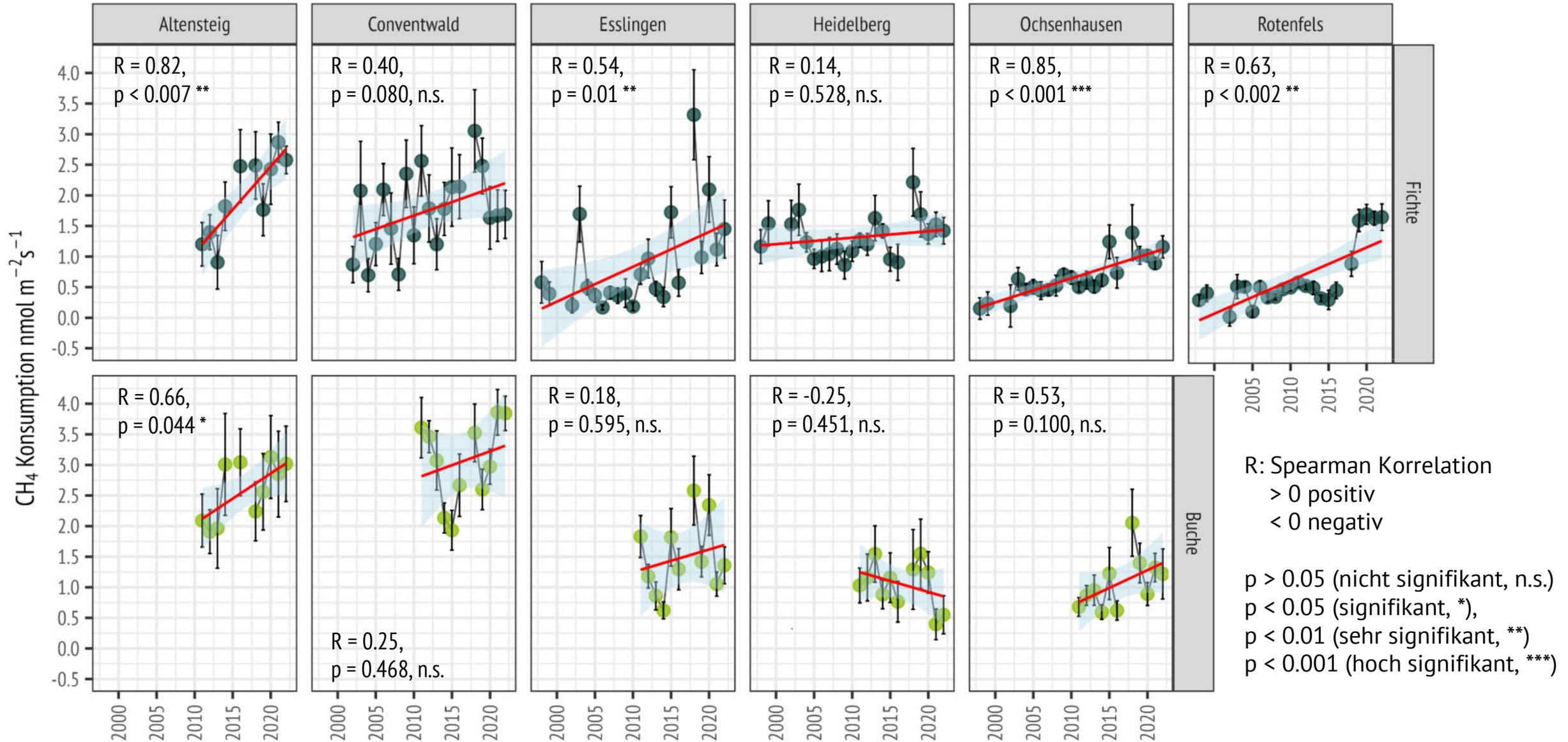
- Lückenfüllung einzelner Messtage
- GLM (pro Messfläche) über Bodenfeuchte und -temperatur, Niederschlag & CO₂-Fluss → Parameterreduzierung
- größere Messlücken (2000-2002 & 2017) verbleiben

→ Ziel: verlässliche Jahresmittelwerte!

Altensteig Fichte



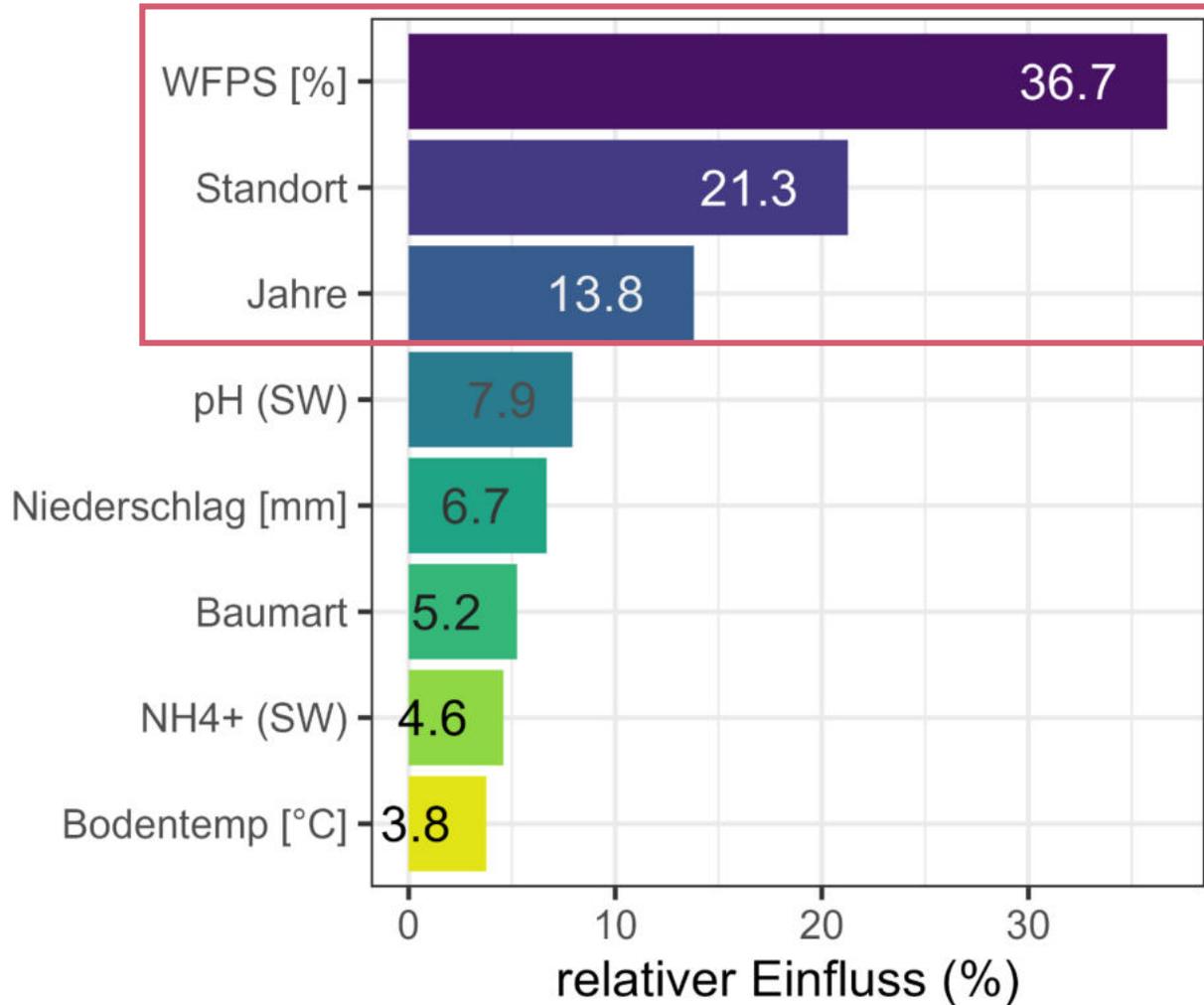
3 | Ergebnisse – Quantifizierung + Trend



3 | Ergebnisse – Einflussfaktoren BRT

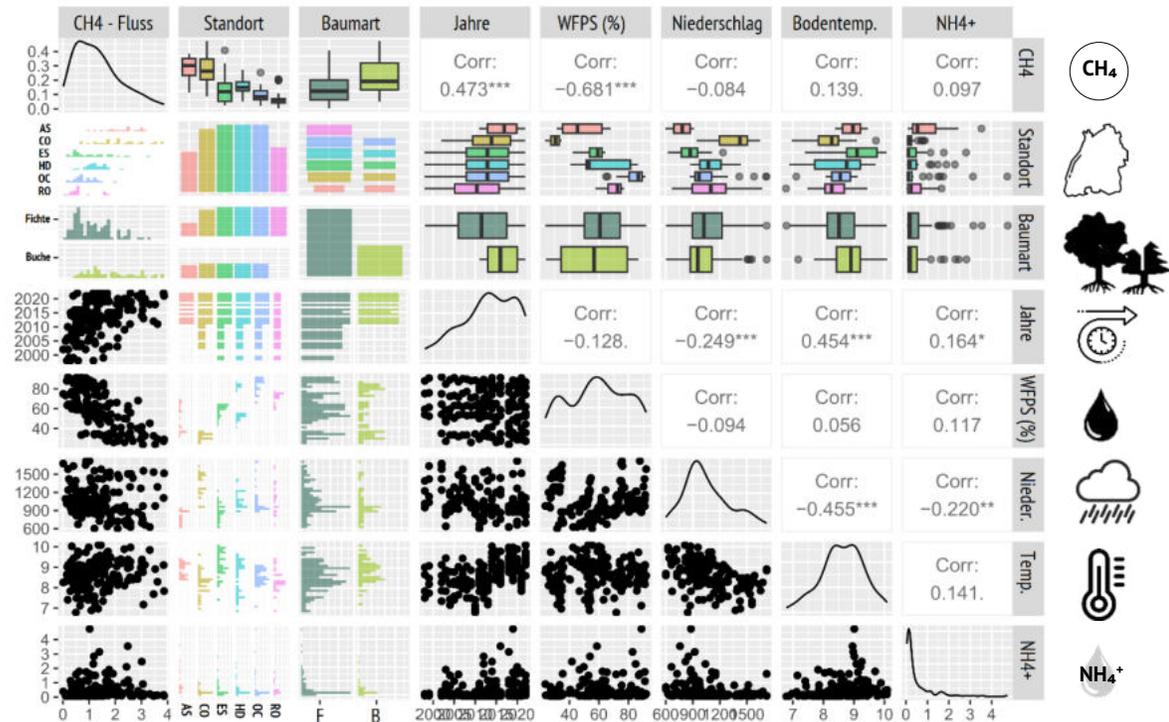
Haupteinflussfaktoren auf Jahresmittelwerte der Methankonsumption

Boosted Regression Tree mit Jahresmittelwerten: Korrelation Trainingsdaten 0.97, $R^2=0.93$, 2500 Trees



signifikant (*) korrelierende Einflussfaktoren mit Jahresmittelwerten der Methankonsumption**

- **Zeit (positiv)**
- **Wassergefüllter Porenraum (WFPS, negativ)**

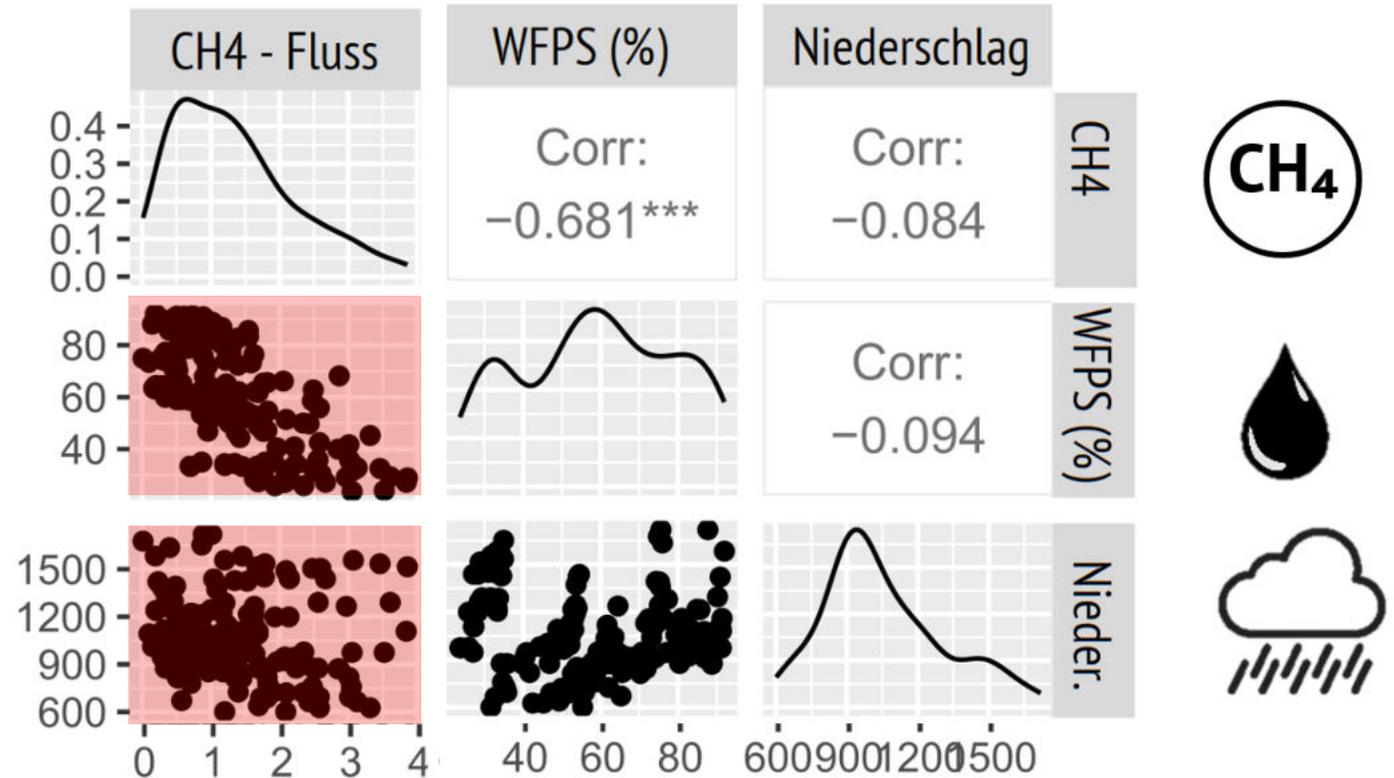
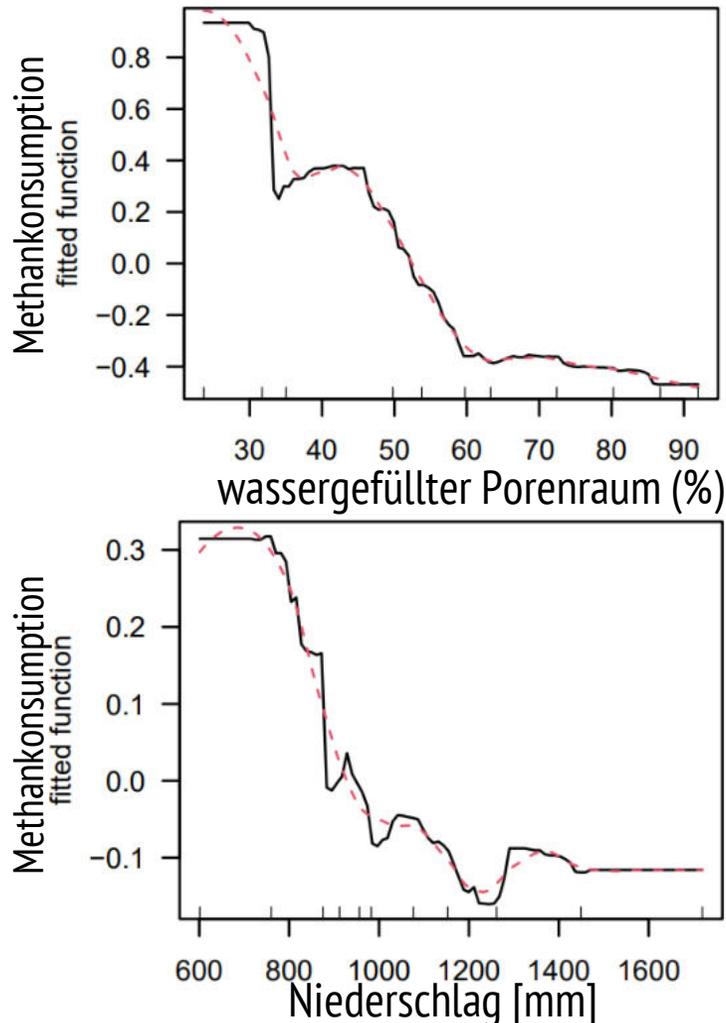


3 | Ergebnisse – Einflussfaktoren: Wasser / Gasdiffusion



BRT Ergebnis:

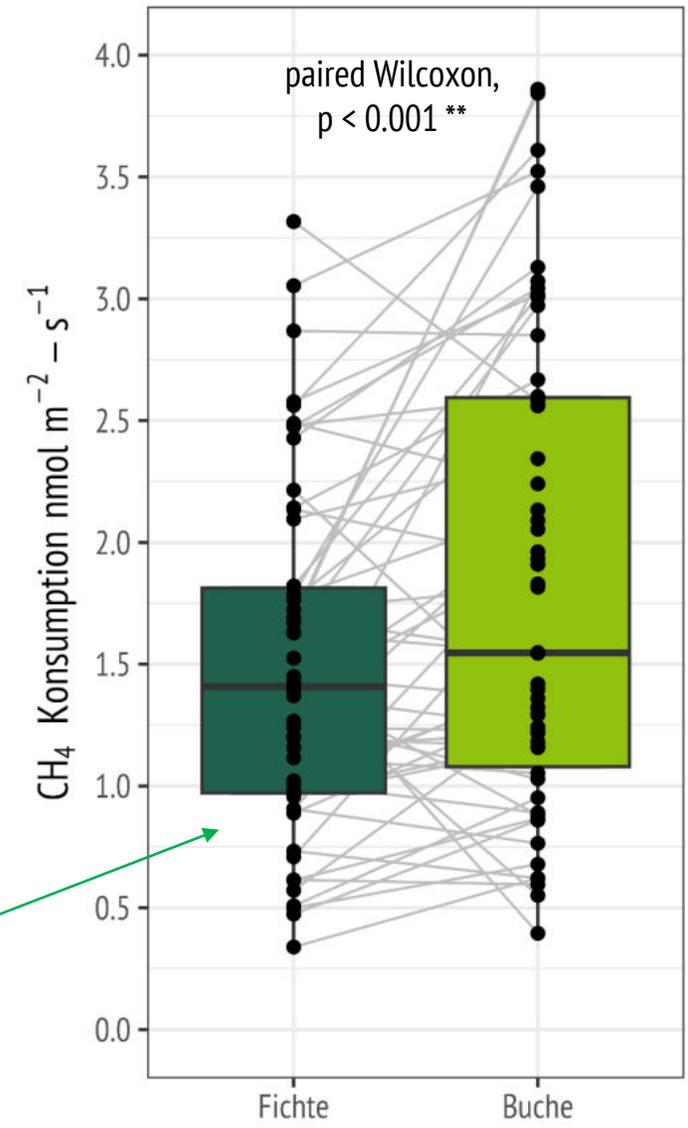
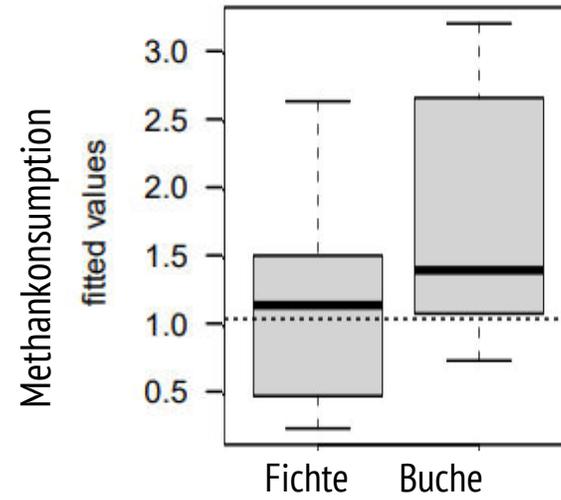
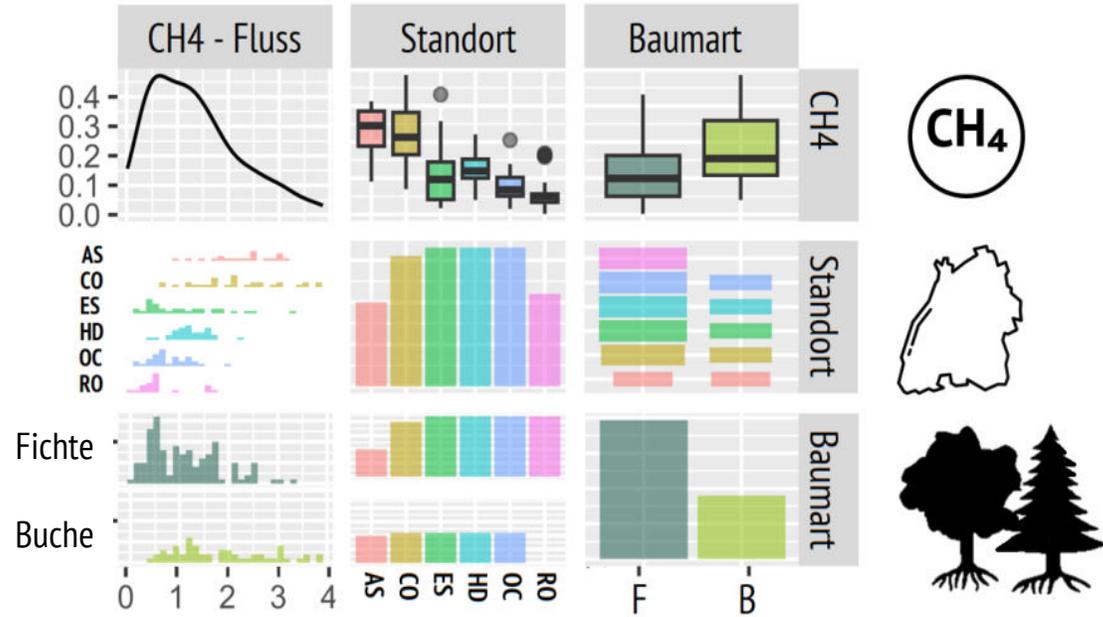
wassergefüllter Porenraum (36.7 %) & Niederschlag (6.7 %)



- Wasser- / und luftgefülltes Porenraumverhältnis auch langfristig wichtiger Einflussfaktor
- Verminderte Gasdiffusion verlangsamt Transport der Substrate → geringe Methankonsumption

3 | Ergebnisse – Einflussfaktor: Standort und Baumart

BRT Ergebnis:
standörtliche Unterschiede (21.3 %) & Baumart (5.2%)



Nur benachbarte Messflächen und gemeinsamer Messzeitraum
→ signifikant höhere Methankonsumption unter Buche!

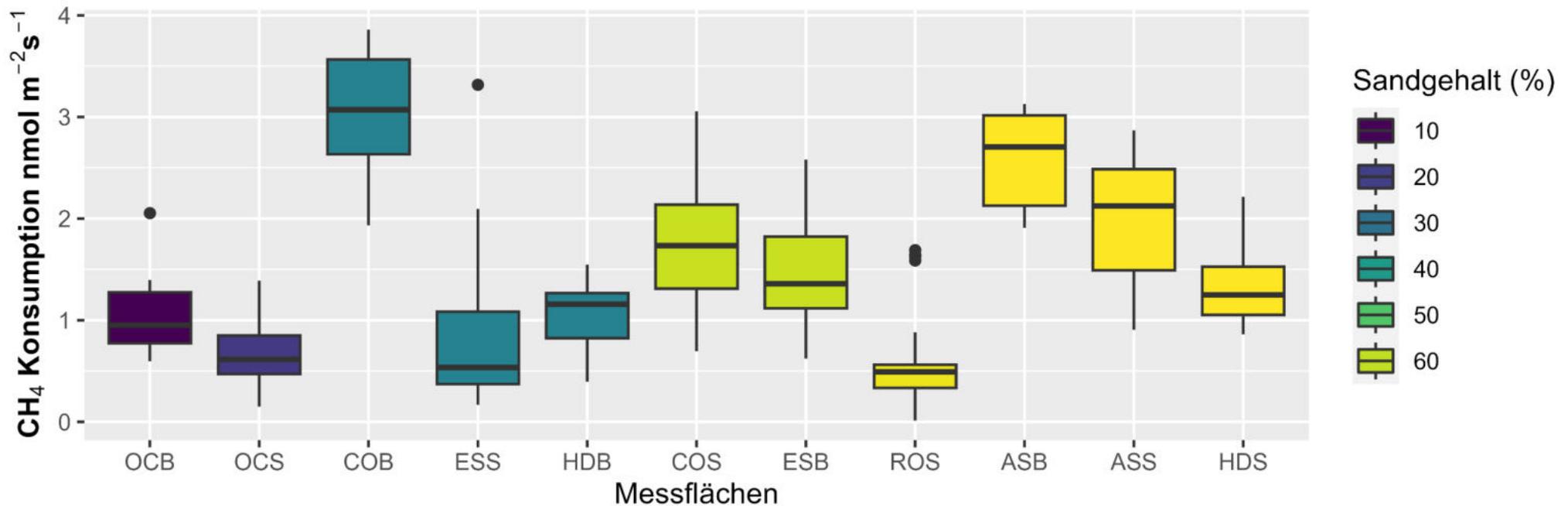
3 | Ergebnisse – Einflussfaktor: Standort und Baumart

BRT Ergebnis:
 standörtliche Unterschiede (21.3 %) & Baumart (5.2%)



Unterschiede in: Skelettgehalt, Bodentyp, Bodenart, N-Deposition, Witterung, Bewirtschaftung...

→ **Standort = vielschichtiger, schwer zu differenzierender Parameter**



3 | Ergebnisse – Einflussfaktor: Standort und Baumart



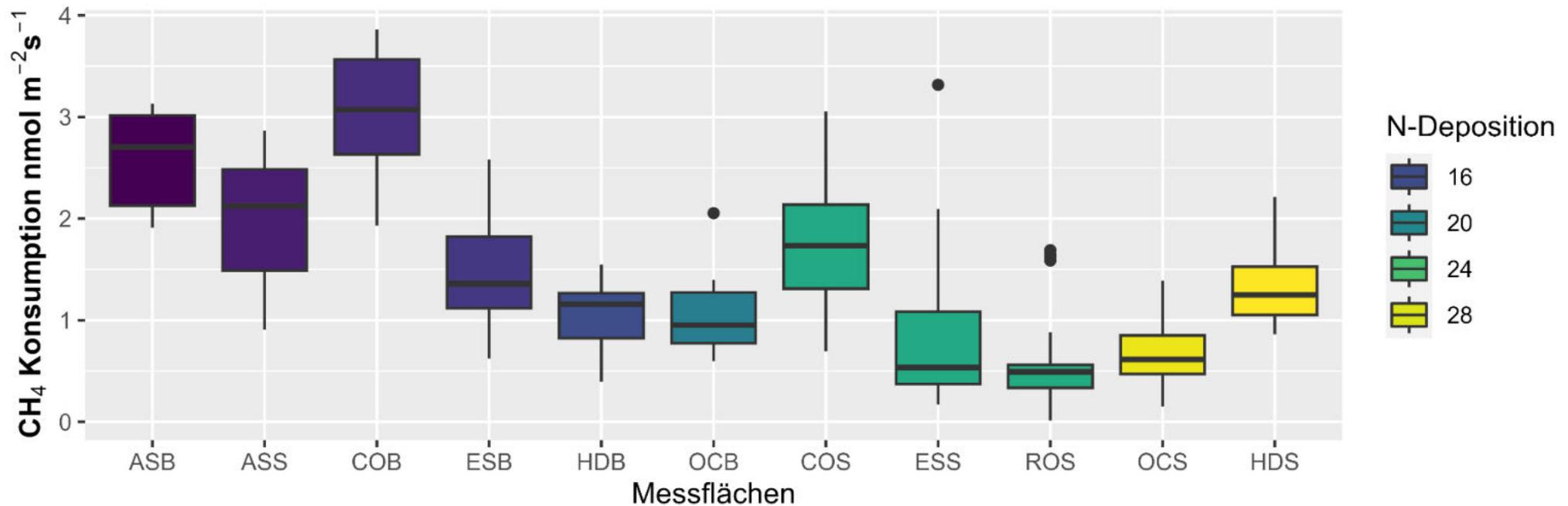
BRT Ergebnis:

standörtliche Unterschiede (21.3 %) & Baumart (5.2%)



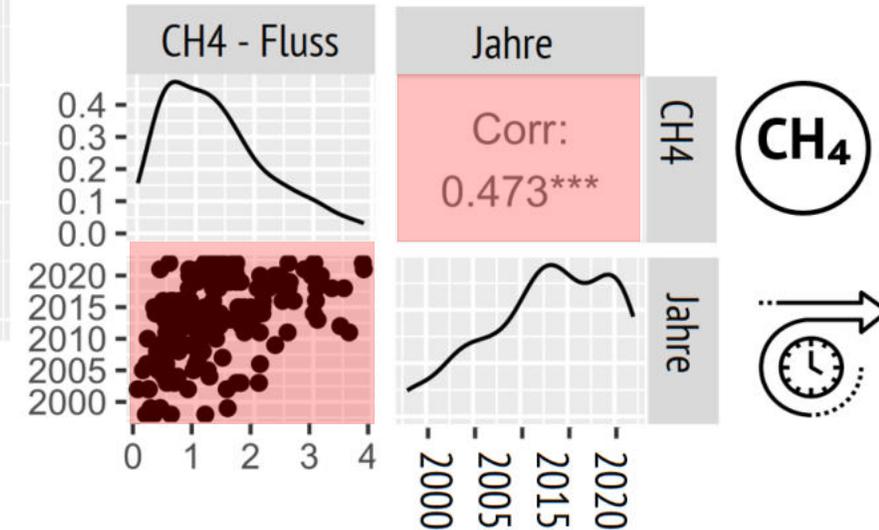
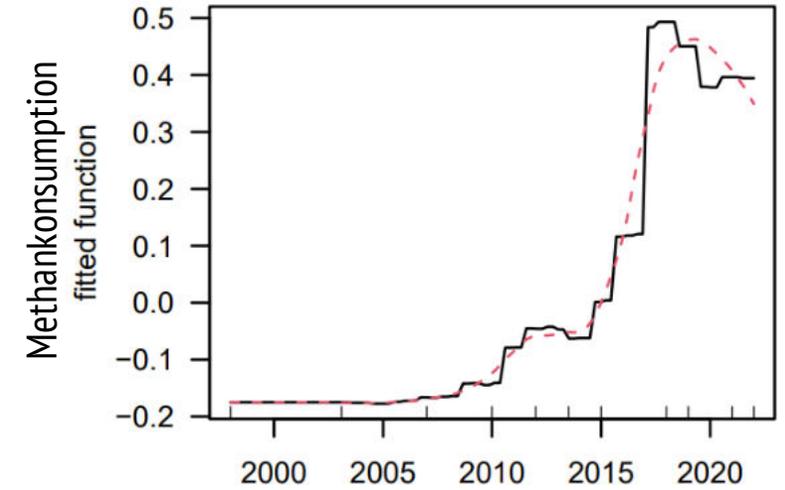
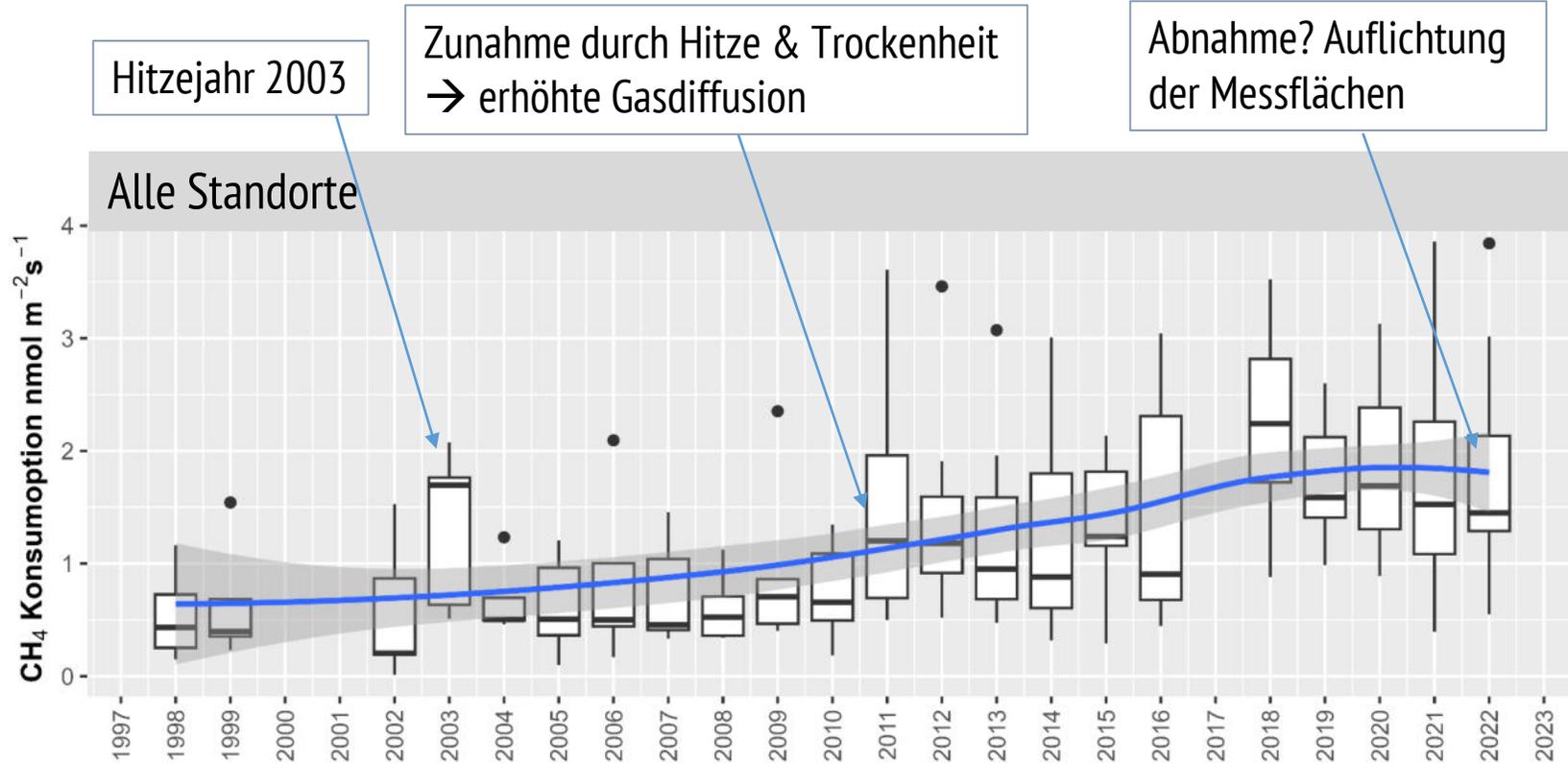
Unterschiede in: Skelettgehalt, Bodentyp, Bodenart, N-Deposition, Witterung, Bewirtschaftung...

→ Standort = vielschichtiger, schwer zu differenzierender Parameter



3 | Ergebnisse – Einflussfaktor: zeitlicher Trend

BRT Ergebnis:
 zeitlicher Trend (13.8 %): deckt sich mit Standort-/ Klimahistorie



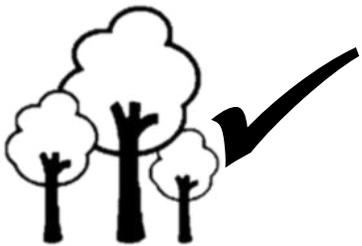


Ausblick

- Bildung von **standörtlichen Mittelwerten** und **multivariate Analyse**
- Vergleich mit Studien anderer Forschungsinstitute

Fazit

- Kombination von Passivsammler und Kammermessungen **ermöglicht Quantifizierung und bietet Möglichkeit zum Erhalt langer konsistenter Messreihen.**
- langzeitliche **Trends** der Methankonsumption **vorwiegend positiv aber auch mit hoher Unsicherheit.**
- Vergleich der Jahresmittelwerte:
 - größter langzeitliche Einflussfaktoren:
Wassergefüllter Porenraum & Standort
 - **Methankonsumption: Buchenbestände > Fichtenbestände**
- Andere Umweltparameter **interanuell unbedeutend**



www.fva-bw.de/soils-as-methane-sinks



Fachabteilungen Beschäftigte

THEMEN DATEN & TOOLS



Startseite > Fachabteilungen > Boden und Umwelt > Boden- und Klimaschutz > Soils as Methane Sinks

SAMS – SOILS AS METHANE SINKS

Waldböden als wichtigste terrestrische Senke für atmosphärisches Methan im Klimawandel: eine bedrohte Klimaleistung von Waldböden?



Article Long Term Soil Gas Monitoring as Tool to Understand Soil Processes

Martin Maier *¹, Valentin Gartiser, Alexander Schengel and Verena Lang

Department Soil and Environment, Forest Research Institute Baden-Württemberg, 79100 Freiburg, Germany; valentin.gartiser@forst.bwl.de (V.G.); Alexander.Schengel@forst.bwl.de (A.S.); Verena.Lang@forst.bwl.de (V.L.)
* Correspondence: martin.maier@forst.bwl.de

Received: 29 October 2020; Accepted: 30 November 2020; Published: 3 December 2020

Featured Application: Extensive long-term monitoring of greenhouse gases in soils. The mechanically simple and robust design makes the set-up an efficient, versatile, and reliable tool for soil gas monitoring, especially in forest soils. It can also be included in other routine monitoring networks with limited investment and relatively low additional labor costs.

Abstract: Soils provide many functions as they represent a habitat for flora and fauna, supply water, nutrient, and anchorage for plant growth and more. They can also be considered as large bioreactors



Abb. 103: Methan (CH₄) in Waldböden: Senken und Senker. Die Abbildung zeigt eine vertikale Ansicht durch einen Waldboden. Oben sind die Wurzeln von Bäumen und Büschen zu sehen, die in den Boden reichen. Darunter sind die verschiedenen Schichten des Bodens dargestellt. Pfeile zeigen den Austausch von Gasen (CO₂, CH₄) zwischen der Atmosphäre, der Bodenoberfläche und den verschiedenen Bodenschichten an. Ein Diagramm rechts zeigt die Konzentrationen von CO₂ und CH₄ in verschiedenen Tiefen an.

VIELEN DANK!

FVA Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg

LFV Landes
Forst
Verwaltung
BW



mehr Infos auf der Webseite ...

Kontakt ...

Verena.Lang@forst.bwl.de

Martin.Maier@uni-goettingen.de

Projekträger

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

FKZ: 2218WK58X4

GFNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Waldklimafonds

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages