Projekt: 1132

Projekttitel: MIMETIC (Modeling atmospherIc METhane for Innovative earth system Chemistry climate research)

Federführende Wissenschaftlerin: Franziska Winterstein

Bewilligungszeitraum: 01.11.2025 - 31.10.2026

1 IRFAM-ClimS (Estimating the Impact of the Radiative Feedback from Atmospheric Methane on Climate Sensitivity)

Im Rahmen des DFG-Projekts IRFAM-ClimS (WI 5369/1-1) haben wir die Bedeutung von atmosphärischem Methan (CH_4) als Rückkopplungskomponente im Klimasystem untersucht. Die zentralen Ergebnisse des Projekts wurden in den vergangenen Jahren bereits im Rahmen einer Dissertation sowie mehreren Publikationen veröffentlicht. Diese Arbeiten basierten auf dem in EMAC standardmäßig eingesetzten ECHAM5-Strahlungsschema (E5rad), das die Strahlungswirkung von CH_4 unterschätzt. Da diese eine Schlüsselrolle für die Abschätzung seines Klimaeinflusses spielt, wurde das überarbeitete Strahlungsmodul PSrad in EMAC genutzt, um den Einfluss des Strahlungsschemas auf den effektiven Strahlungsantrieb (ERF) sowie die Klimasensitivität bei erhöhten Methankonzentrationen zu untersuchen. Im Berichtszeitraum konnten die Analysen der Rapid Adjustments und Klima-Feedbacks abgeschlossen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass der instantane Strahlungsantrieb einer vergleichbaren Methanerhöhung mit PSrad deutlich höher ausfällt als mit E5rad. Auch der effektive Strahlungsantrieb ist erhöht, der Unterschied fällt jedoch geringer aus. Ursache hierfür ist die Berücksichtigung der kurzwelligen Absorption von Methan in PSrad. Diese führt zu Änderungen in der Wolkenbedeckung, einem stärkeren negativen Adjustment des Temperaturgradienten (Lapse-Rate) sowie zu einer reduzierten Abkühlung der Stratosphäre. Darüber hinaus zeigen unsere Analysen, dass sowohl die Klimasensitivität als auch die Efficacy der Methanerhöhung, die Klimasensitivität, im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid, mit PSrad geringer ausfallen. Verantwortlich hierfür sind vor allem Änderungen im Wolken- und Methan-Feedback (siehe Abbildung 1).

Die Arbeiten zur wissenschaftlichen Veröffentlichung dieser Ergebnisse laufen derzeit. Die Verfügbarkeit der Daten bezüglich E5rad und PSrad bildete eine wesentliche Grundlage für die durchgeführten Analysen und den Abschluss der Studie. Für das nächste Jahr beantragen wir erneut, allerdings in deutlich reduziertem Umfang, Speicherplatz auf /work, um die Daten für die Langzeitarchivierung vorzubereiten und gegebenenfalls zusätzliche Auswertungen im Rahmen des Review-Prozesses durchzuführen.

In diesem Bereich wurden im vergangenen Bewilligungszeitraum 102 TiB auf /arch in Anspruch genommen, obwohl kein Speicherplatz beantragt worden war. Dies setzt sich sowohl aus Daten zusammen, die Anfang des Jahres noch vom Vorjahr archiviert werden mussten, als auch um die Archivierung von Simulationsdaten für die Adjustment- und Feedbackanalyse, die erst im Jahr 2026 durchgeführt werden konnte. Beides hätte bereits 2025 archiviert werden sollen und wir bitten zu berücksichtigen, dass im Jahr 2025 173 TiB des bewilligten Archivkontingents aus diesem Grund nicht ausgeschöpft wurden.

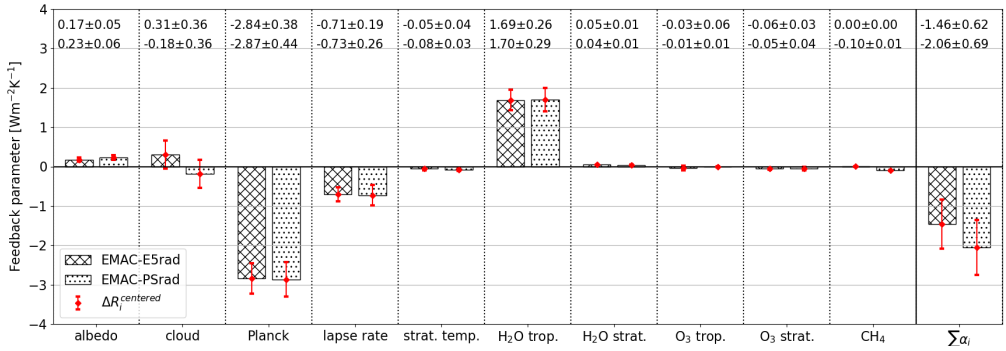


Abbildung 1: Feedbacks individueller Prozesse und deren Summe für CH_4 Störungen mit entweder E5rad oder PSrad (in W m^{-2}). Werte nach dem $\pm$ Symbol und die Errorbars zeigen $2\times$ den Standardfehler des Mittelwerts.

2 QuantOH: Inverse Optimierung von Methanemissionskataster

Um die Unsicherheiten hinsichtlich der atmosphärischen Oxidationskapazität zu untersuchen, wurden Sensitivitäten bezüglich der Einflüsse der Oxidation durch Hydroxylradikal (OH) und Chlor (Cl), sowie Änderungen der Quellzusammensetzung auf die $\delta^{13}C(CH_4)$-Signatur durchgeführt. Diese Erkenntnisse helfen uns bei der Interpretation der a priori Emissionen und der atmosphärischen Oxidationskapazität im Hinblick auf den global beobachteten $\delta^{13}C(CH_4)$-Trend. Zudem wurden die Simulationsergebnisse für den Zeitraum von 1990 bis 2023 mithilfe bodengestützter Standortmessungen und global gemittelten Oberflächenmessungen des NOAA Global Monitoring Laboratory [2, 1] verglichen (Abbildung 2) . Die Mischungsverhältnisse von CH_4 werden über die gesamte Zeitreihe hinweg gut wiedergegeben. Die Verfeinerung der $\delta^{13}C(CH_4)$-Quellensignaturen führt zu einer guten meridionalen und vertikalen globalen Verteilung der Isotopologe. Der Trend in $\delta^{13}C(CH_4)$ folgt zwar dem generellen Verlauf der Beobachtungen, zeigt aber nach 2007 einen weniger steilen Trend, was an der Quellzusammensetzung liegen könnte. Die Ergebnisse wurden im vergangenen Bewilligungszeitraum weiter ausgewertet und für zwei Publikationen aufbereitet. In einem zweiten Schritt wurde eine Simulation mit voll interaktiver Chemie gestartet, bei denen die Senken nicht mehr vorgeschrieben wurden (Feedbacks auf Senken möglich). Für diese verwenden wir die oben verwendeten a priori Emissionsflüsse, mit denen das beobachtete glsch4 von 1990 – 2023 mit einem fest vorgeschriebenem OH und eine troposphärischen Lebensdauer von 9 Jahren gut nachgebildet werden kann. Eine Auswertung der ersten Jahre dieser Simulation ergab jedoch, dass sich in der interaktiven Atmosphärenchemie ein zu niedriges CH_4 Mischungsverhältnis und eine relative geringe Lebensdauer von ca. 8.5 Jahren einstellt. Die Gründe hierfür werde derzeit evaluiert. Eine neue Simulation mit skaliert Emissionen soll noch im verbleibenden Bewilligungszeitraum durchgeführt werden.

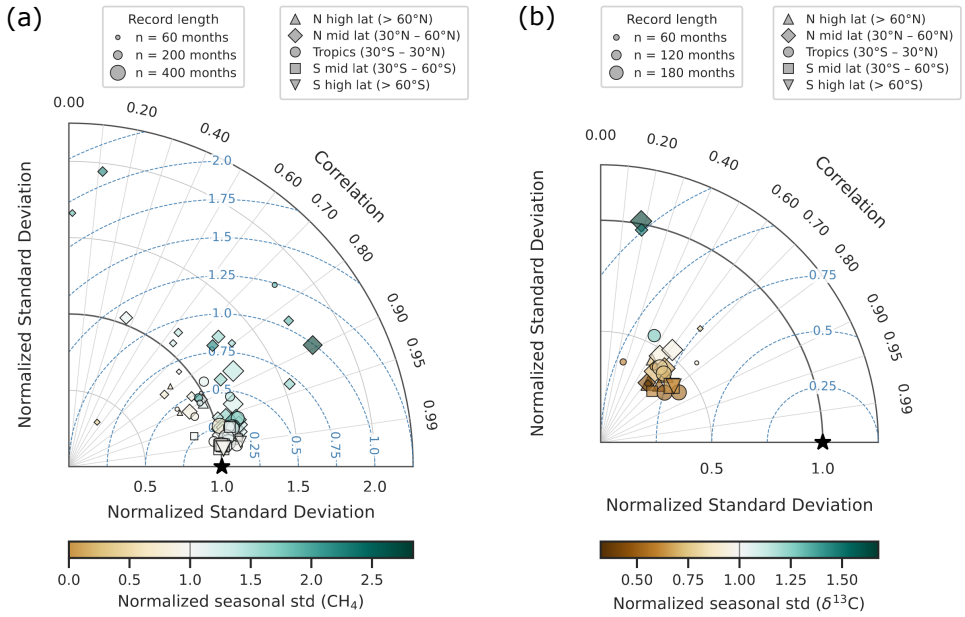


Abbildung 2: Zusammenfassung der statistische Auswertung des Vergleichs 'Modellergebnisse – Beobachtungen' für (a) CH_4 Mischungsverhältnisse und (b) $\delta^{13}C(CH_4)$ zusammen. Das Diagramm zeigt den Korrelationskoeffizienten (Winkel), die normierte Standardabweichung (Radius) und den zentrierten RMSE (blaue Halbkreise).

Literatur

[1] X. Lan, S. Basu, S. Schwietzke, L. M. P. Bruhwiler, E. J. Dlugokencky, S. E. Michel, O. A. Sherwood, P. P. Tans, K. Thoning, G. Etiope, Q. Zhuang, L. Liu, Y. Oh, J. B. Miller, G. Pétron, B. H. Vaughn, and M. Crippa. Improved constraints on global methane emissions and sinks using δ^{13}c-ch$_4$. *Global Biogeochemical Cycles*, 35(6):e2021GB007000, 2021. 2

[2] S. E. Michel, B. H. Vaughn, P. P. Tans, K. Thoning, and X. Lan. Atmospheric d13C-CH4 data from the Institute of Arctic and Alpine Research (INSTAAR) at the University of Colorado, Boulder in cooperation with NOAA Global Monitoring Laboratory, 2021. accessed in 2025. 2