

**Projekt:** 1132

**Projekttitel:** MIMETIC (Modeling atmospheric METHane for Innovative earth system Chemistry climate research)

**Federführende Wissenschaftlerin:** Franziska Winterstein

**Bewilligungszeitraum:** 01.01.2025 - 31.12.2025

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

Im Rahmen des DFG-Projekt IRFAM-ClimS (Vorhaben WI 5369/1-1) wurde letztes Jahr eine Doktorarbeit erfolgreich verteidigt und veröffentlicht und das DFG Projekt erfolgreich beendet. Dieses Jahr haben wir eine Publikation, die auf den Projekt-Ergebnissen basiert, bei ACP veröffentlicht [4]. Einen Teil der zugehörigen Modellergebnisse haben wir dieses Jahr bei DOKU veröffentlicht [5]. Der andere Teil wurde bereits letztes Jahr veröffentlicht [3]. Hauptziel des Projektes ist die Untersuchung der Bedeutung von atmosphärischem Methan ( $\text{CH}_4$ ) als Rückkopplungskomponente im Klimasystem. Daher spielt die Strahlungswirkung von  $\text{CH}_4$  eine zentrale Rolle. Da das bisher in ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry (EMAC) standardmäßig genutzte ECHAM5 Strahlungsschema (im weiteren E5rad) die Strahlungswirkung von  $\text{CH}_4$  unterschätzt, haben wir das überarbeitete Strahlungsmodul von ECHAM6 [PSrad; 2] in EMAC eingebaut [siehe 1]. Dieses Jahr wurde der Einfluss des PSrad Strahlungsschemas auf den effektiven Strahlungsantrieb (ERF) und die Klimasensitivität bei Erhöhung der Methanemissionen untersucht. Abbildung 1 zeigt, dass der instantane Strahlungsantrieb (IRF) für eine vergleichbare Erhöhung des  $\text{CH}_4$ -Mischungsverhältnisses mit PSrad deutlich höher ausfällt. ERF ist ebenfalls höher, allerdings ist die Summe der rapid radiative adjustments geringer, sodass der Unterschied nicht so deutlich ausfällt wie beim IRF. Grund dafür ist, dass PSrad die Absorption von  $\text{CH}_4$  im Kurzwelligen berücksichtigt, was zu einem negativen Adjustment von Wolken, einem stärker negativen Adjustment des troposphärischen Temperaturgradienten (lapse rate), sowie einer reduzierten Abkühlung der Stratosphäre führt (Abb. 1). Zudem deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass die Klimasensitivität der Methanerhöhung mit PSrad reduziert ist. Wir arbeiten momentan an der Veröffentlichung der Ergebnisse.

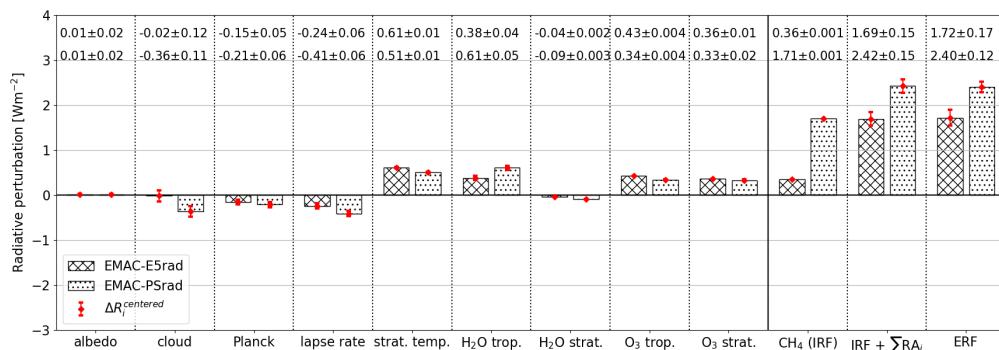


Abbildung 1: Rapid radiative adjustments individueller Prozesse, instantaner Strahlungsantrieb (IRF), die Summe von IRF und rapid radiative adjustments, und online ERF für  $\text{CH}_4$  Störungen mit entweder E5rad oder PSrad (in  $\text{W m}^{-2}$ ). Werte nach dem  $\pm$  Symbol und die Errorbars zeigen  $2 \times$  den Standardfehler des Mittelwerts.

## 2 Einfluss einer Wasserstoff-Wirtschaft auf Methan

Ziel dieses Projektes ist, den Einfluss von einer erhöhten Konzentration von Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) auf die chemische Zusammensetzung, und dabei vor allem auf  $\text{CH}_4$ , besser zu verstehen. Die wichtigste chemische Senke von atmosphärischem  $\text{H}_2$  ist die Oxidation mit OH, genau wie für  $\text{CH}_4$ . Eine erhöhte atmosphärische Konzentration von  $\text{H}_2$  kann deshalb zu einer Abnahme der Konzentration von OH führen, und damit die atmosphärische  $\text{CH}_4$ -Lebensdauer verlängern. Um dieses Feedback zu untersuchen, haben wir eine Reihe von Wasserstofferhöhungen mit EMAC mit Flussrandbedingung für  $\text{CH}_4$  geplant. In diesem Setup kann sich das  $\text{CH}_4$ -Mischungsverhältnis

auf Änderungen der chemischen Senke einstellen. Wir konnten dieses Jahr nur eine der geplanten Erhöhungen durchführen, da die Kollegin, die dafür eingeplant war, das Institut wechselte. Die Modellergebnisse zeigen eine signifikante Erhöhung des globalen CH<sub>4</sub>-Mischungsverhältnis von 1.87 ppm auf 1.92 ppm, wenn das jetzige H<sub>2</sub>-Mischungsverhältnisses (530 ppb) mit dem Faktor 1.5 skaliert wird. Die Rechenzeit wird erst zu einem späteren Zeitpunkt erneut beantragt, wenn die Nachfolge der Stelle geklärt ist.

### 3 QuantOH: Inverse Optimierung von Methanemissionskataster

Ziel des Projektes ist bestehenden Unsicherheiten hinsichtlich der atmosphärischen Oxidationskapazität mithilfe der inversen Optimierungsmethode zu reduzieren. In einem ersten Schritt wurde ein bestehendes Setup durch aktualisierte CH<sub>4</sub>-Emissionskataster und  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ -Quellsignaturen manuell so optimiert, dass der global beobachtete Trend (CH<sub>4</sub>-Mischungsverhältnis und  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ ) im Zeitraum 1990 – 2021 simuliert werden kann. Im restlichen Bewilligungszeitraum wird mit diesen a priori Emissionen eine Vorwärtssimulation mit 11 CH<sub>4</sub>-Emissionssektoren zusätzlich regional aufgespalten und je fünf Altersklassen als Vorbereitung für die Inversion durchgeführt. Zum Testen der Inversions-Software wurden in diesem Jahr bereits zwei Simulationen (EMAC/CH4 mit 240 diagnostischen Tracern) durchgeführt, deren Auswertung noch aussteht. Zusätzlich wurden Sensitivitäten hinsichtlich des Einflusses von CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Biomassenbrennen, sowie Veränderungen der Methansenken OH und Chlor (Cl) auf die  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ -Signatur untersucht. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss einer OH-Reduktion gering ist, wohin gegen kleine Änderungen der Chloroxidation oder der Biomassenbrennenemissionen starken Einfluss haben (Abb. 2). Dies unterstreicht die Berücksichtigung dieser Faktoren bei der Interpretation des globalen CH<sub>4</sub>-Trends. Die Ergebnisse werden derzeit in einer Publikation zusammengefasst und bis Ende des Jahres bei Atmospheric Chemistry and Physics eingereicht.

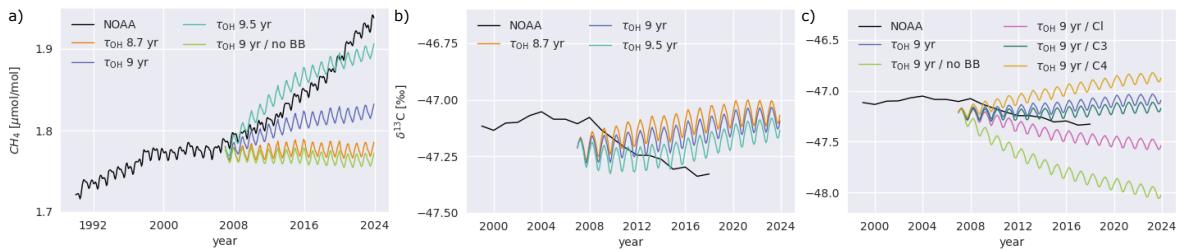


Abbildung 2: Global gemittelte Oberflächen-CH<sub>4</sub>-Mischungsgesetze a) und zugehörige  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ -Werte b/c) für Sensitivitäten mit unterschiedlichem OH (troposphärische CH<sub>4</sub>-Lebensdauer: 8,7, 9 und 9,5 Jahre), ohne Fraktionierung durch die Chloroxidation (Cl), ohne Biomassenbrennenemissionen (no BB), und mit unterschiedlichen  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ -Signaturen für Biomassenbrennen (C3/C4).

### 4 MethanMIP

Die Simulationen zu diesem Projekt wurden nicht durchgeführt, da die dafür benötigten Ressourcen, die diesjährig gewährten Ressourcen überschritten. Zudem befand sich die zuständige Mitarbeiterin in Elternzeit.

### Literatur

- [1] M. Nützel, L. Stecher, P. Jöckel, F. Winterstein, M. Dameris, M. Ponater, P. Graf, and M. Kunze. Updating the radiation infrastructure in messy (based on messy version 2.55). *Geoscientific Model Development*, 17(15):5821–5849, 2024. 1
- [2] R. Pincus and B. Stevens. Paths to accuracy for radiation parameterizations in atmospheric models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2):225–233, 2013. 1
- [3] L. Stecher, F. Winterstein, P. Jöckel, M. Ponater, M. Mertens, and M. Dameris. EMAC simulations of project IRFAM-ClimS with ECHAM5 radiation and interactive chemistry, 2024. 1
- [4] L. Stecher, F. Winterstein, P. Jöckel, M. Ponater, M. Mertens, and M. Dameris. Chemistry–climate feedback of atmospheric methane in a methane-emission-flux-driven chemistry–climate model. *Atmos. Chem. Phys.*, 25(10):5133–5158, 2025. 1
- [5] L. Stecher, F. Winterstein, P. Jöckel, M. Ponater, M. Mertens, and M. Dameris. EMAC simulations of project IRFAM-ClimS with ECHAM5 radiation and interactive chemistry (additional data), 2025. 1