

Project: **1132**

Project title: **MIMETIC (Modeling atmospheric METHan for Innovative earth system Chemistry climate research)**

Principal investigator: **Franziska Winterstein**

Report period: **2021-01-01 to 2021-12-31**

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

Das Hauptziel des Projektes IRFAM-ClimS ist die Untersuchung der Bedeutung von atmosphärischem CH₄ als Rückkopplungskomponente im Klimasystem. Dafür sind eine Reihe von Gleichgewichts-Klimasimulationen mit (zunächst) CO₂ und (später) CH₄ als Strahlungsantrieb geplant. Um eine Anpassung troposphärischen Methans an Änderungen in den chemischen Senken zu ermöglichen, ist es notwendig eine Flussrandbedingung für Methan zu verwenden.

In diesem Projekt spielt die Untersuchung der Strahlungswirkung von CH₄ eine zentrale Rolle. Da das bisher in EMAC standardmäßig genutzte ECHAM5 Strahlungsschema die Strahlungswirkung von CH₄ unterschätzt, haben wir entschieden, das überarbeitete Strahlungsmodul von ECHAM6 (PSrad) in EMAC einzubauen. Eine erste Testsimulation mit PSrad deutet auf eine verbesserte Darstellung der Strahlungswirkung von CH₄ in PSrad hin (siehe Tabelle 1). Diese Testsimulation nutzte PSrad nur für den langwelligen Strahlungstransfer. In Zukunft kann PSrad allerdings sowohl für den langwelligen, als auch für den kurzwelligen Strahlungstransfer genutzt werden. Die technische Implementierung konnte in diesem Bewilligungszeitraum abgeschlossen werden, sodass wir nun mit dem Tuning des Set-ups mit dem PSrad Strahlungsschema beginnen können.

Tabelle 1: Strahlungswirkung von CH₄ bei 2x und 5x CH₄ (Referenz: global gemitteltetes Bodenmischungsverhältnis von 1800 ppm) mit dem ECHAM5 Strahlungsmodul und dem PSrad Strahlungsmodul (nur langwelliger Strahlungstransfer PSrad) im Vergleich mit Literaturwerten (Myhre et al., 1998; Etminan et al. 2016).

	Winterstein et al. 2019 (ECHAM5) [Wm ⁻²]	PSrad LW / ECHAM5 SW [Wm ⁻²]	Myhre et al. 1998 [Wm ⁻²]	Etminan et al. 2016 [Wm ⁻²]
2xCH ₄	0.23	0.51	0.53	0.62
5xCH ₄	0.51	1.50	1.55	-

Da die Implementierung von PSrad in EMAC länger dauerte als ursprünglich angenommen, war es in diesem Bewilligungszeitraum nicht möglich, die geplanten Simulationen mit PSrad in vollem Umfang durchzuführen. Daher werden die Ressourcen für die Simulationen zur Klimasensitivität von CH₄ erneut für den kommenden Bewilligungszeitraum beantragt. Um das Simulationsset-up zu testen und später den Einfluss des Strahlungsschemas untersuchen zu können, wurde in diesem Bewilligungszeitraum zusätzlich ein Teil der CO₂-getriebenen Simulationen mit dem bisherigen ECHAM5 Strahlungsschema durchgeführt.

Um individuelle chemische und physikalische Rückkopplungen in den Sensitivitätssimulationen abzuschätzen, ist eine ausführliche Feedbackanalyse anhand der Partial Radiative Perturbation Method (z. B. Wetherald and Wanabe 1988; Rieger et al. 2017) geplant. Das MESSy Basemodel RAD (MBM RAD) bietet die Möglichkeit, die MESSy Strahlungsberechnung offline, also nicht an einen dynamischen Kern gekoppelt, durchzuführen. Das Strahlungsschema ist dabei das Gleiche wie in online EMAC Simulationen. In diesem Bewilligungszeitraum wurde die dreidimensionale Version von MBM RAD ausführlich getestet, um sicherzugehen, dass die mit MBM RAD berechneten Strahlungsflüsse konsistent zur online berechneten Strahlung sind. Wenn alle für die Strahlungsberechnung notwendigen Variablen, wie Temperatur, Feuchte etc., aus einer vorangegangenen EMAC Simulation korrekt in MBM RAD eingelesen werden, reproduziert MBM RAD die Strahlungsflüsse.

b) Analyse der globalen Isotopensignatur von Methan

Die Analyse soll den globalen Methan Anstieg seit 2006 und den gleichzeitigen Abfall der Isotopensignaturen untersuchen. Mit Hilfe von EMAC und einer vereinfachten Methanchemie soll beurteilt werden, welche Rolle dabei der Anstieg der unkonventionellen Gasförderung (sogenanntes Fracking) spielt. Unter Berücksichtigung regionaler Aspekte wurde hierfür eine Übersicht der isotopischen Signaturen der verschiedenen Methanquellen erstellt. Ausgehend von dem a posteriori Emissionskataster von Frank (2018)

und dem aktuellen Emissionskataster EDGARv5.0 (<https://edgar.jrc.ec.europa.eu>) wurden einige Referenzsimulation (SDISO-base) für die Jahre 1990 bis 2019 (30 Simulationsjahre) mit den zusammengestellten Isotopensignaturen durchgeführt und evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl das Methanmischungsverhältnis, als auch das stabile Isotopenverhältnis ($\delta^{13}\text{C}$) latitudinal als auch vertikal gut simuliert werden konnten. Außerdem kann das globale Methanmischungsverhältnis für den Zeitraum 2000 bis 2007 (Plateau) simuliert werden. Auch der Anstieg des globalen Methanmischungsverhältnis 2007 ist in den Modellergebnissen präsent. Die Veränderung des global gemitteltem Isotopenverhältnis nach 2007 war Teil der durchgeführten Sensitivitätsstudie, bei der untersucht werden sollte inwieweit Emissionen aus unkonventioneller Gasförderung zu den beobachteten Änderungen des global beobachteten Absinkens des Isotopenverhältnisses nach 2007 führen kann. Dafür wurden mehrere Simulationen mit gleichbleibender Gesamtemission, aber unterschiedlicher Quellenzusammensetzungen durchgeführt. Um den Einfluss von unkonventioneller Gasförderung zu testen, wurden die Emissionsflüsse aus fossilen und biogenen Emissionen reduziert. Gleichzeitig wurden die Emissionen aus unkonventionellen Gasförderung neu eingeführt. Zusätzlich wurden Emissionen aus Biomassenbrennen variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass unkonventionelle Gasförderung zwar einen Beitrag zum derzeitigen Methananstieg leistet, aber nicht hauptsächlich für die Veränderung der Isotopensignatur verantwortlich ist. Die Veränderung der Emissionen aus Biomassenbrennen hingegen haben große Auswirkungen auf die Gesamtsignatur, diese Veränderungen der Emissionsflüsse stehen allerdings im Widerspruch zu den aktuellsten Emissionskatastern (GFEDv4.1). Abschließend kommen somit vor Allem die biogenen Emissionen oder eine Veränderung der Senke (OH Feld) in Frage. Das derzeitige Setup und die Referenzsimulation können für weitere Sensitivitäten diesbezüglich verwendet werden. Das bisher vorgeschriebene OH Feld wurde in drei weiteren Simulationen verändert bzw. erhöht. Erste Auswirkungen auf das Isotopenverhältnis waren sichtbar, konnten aber nicht zu den beobachteten Signaturen führen. Für diese Simulationen wurde die Gesamtemission außerdem gleich gehalten, was zu einem zu geringem Methanmischungsverhältnis führte. Weitere Simulationen und Auswertungen stehen diesbezüglich noch an.

c) Inverse Optimierung von Methanemissionskataster

Auf Grund von Abwesenheiten im ersten Dreivierteljahr von 2021 wurde das Projekt zur inversen Optimierung von Methanemissionen nicht weiterbearbeitet. Die geplanten Simulationen können daher erst im letzten Viertel des Jahres 2021 durchgeführt werden. Da das Ende der Laufzeit von Mistral absehbar ist, kann allerdings nicht sicher davon ausgegangen werden, dass die Simulationen wie geplant durchgeführt werden können.

References:

- Etminan M., Myhre G., Highwood E. J. and Shine K. P., Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing, *Geophys. Res. Lett.*, 2016.
- Frank, F., Atmospheric methane and its isotopic composition in a changing climate: A modelling study, Ludwigs Maximilian Universität München, Ludwig Maximilian Universität München, 2018.
- Myhre G., Highwood E. J., Shine K. P. and Stordal F., New estimates of radiative forcing due to well mixed greenhouse gases, *Geophys. Res. Lett.*, 1988.
- Rieger, V. S., Dietmüller, S. and Ponater, M., Can feedback analysis be used to uncover the physical origin of climate sensitivity and efficacy differences?, *Clim Dyn* 49, 2831–2844, 2017.
- Wetherald R. T. and Manabe S., Cloud feedback processes in a general circulation model, *J Atmos Sci* 45:1397–1416, 1988.