

Projekt: 1132

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

Federführende Wissenschaftlerin: Franziska Winterstein

Bewilligungszeitraum: 01.01.2024 - 31.12.2024

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

Im Rahmen des Projektes IRFAM-ClimS wurde während der letzten vier Jahre an einer Doktorarbeit gearbeitet, die dieses Jahr erfolgreich verteidigt und veröffentlicht wurde [Stecher, 2024]. Zusätzlich haben wir kürzlich eine Publikation, die auf den Projekt-Ergebnissen basiert, bei Atmospheric Chemistry and Physics eingereicht, die sich aktuell in Begutachtung befindet [Stecher et al., 2024a]. Die zugehörigen Simulationsergebnisse sind als Datensatz auf DOKU veröffentlicht [Stecher et al., 2024b].

Das Hauptziel des Projektes ist die Untersuchung der Bedeutung von atmosphärischem Methan (CH_4) als Rückkopplungskomponente im Klimasystem. Dafür wurden bereits in den letzten Bewilligungszeiträumen eine Reihe von Gleichgewichts-Klimasimulationen mit Kohlenstoffdioxid (CO_2) und CH_4 Erhöhungen als Strahlungsantrieb durchgeführt. Diese Simulationen nutzen eine Flussrandbedingung für CH_4 , sodass sich das CH_4 -Mischungsverhältnis je nach Änderung der chemischen Senke einstellen kann. Dies ist eine wichtige Neuerung, da es momentan noch gängige Praxis ist, das CH_4 -Mischungsverhältnis am Unterrand des Modells vorzuschreiben, z.B. wurde diese Methode in den Simulationen für CMIP6 (Coupled-Model Intercomparison Project 6; Eyring et al. [2016]) genutzt. Abbildung 1 zeigt die Änderung des CH_4 -Mischungsverhältnis nach einer CO_2 -Erhöhung, entweder (a) mit vorgeschriebenen Meeresoberflächentemperaturen, sodass die Temperaturänderung in Bodennähe weitestgehend unterdrückt ist, oder (b) mit einem Deckschichtozeanmodell, das die Temperaturänderung berücksichtigt. Ein wichtiges Ergebnis des Projektes ist, dass das CH_4 -Mischungsverhältnis in der Troposphäre bei einer Temperaturerhöhung abnimmt, und es somit ein negatives Klimafeedback ist. Unser Studie schätzt das Klimafeedback auf $-0.041 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

In diesem Projekt spielt die Untersuchung der Strahlungswirkung von CH_4 eine zentrale Rolle. Da das bisher in ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry (EMAC) standardmäßig genutzte ECHAM5 Strahlungsschema die Strahlungswirkung von CH_4 unterschätzt, haben wir in den letzten Jahren, das überarbeitete Strahlungsmodul von ECHAM6 (PSrad; Pincus and Stevens [2013]) in EMAC eingebaut. Eine Publikation zu diesen Arbeiten ist dieses Jahr bei Geoscientific Model Development erschienen [Nützel et al., 2024]. Bereits im Jahr 2023 haben wir einen Teil der Gleichgewichts-Klimasimulationen des Projektes IRFAM-ClimS mit PSrad als antreibendes Strahlungsschema wiederholt. Bei der Auswertung der Simulationsergebnisse haben wir einen logischen Fehler in der Kopplung der Wolkenschemata gefunden, der dazu führt, dass in Teilen der Stratosphäre die Sedimentation von Eiswolken nicht berücksichtigt wird. Aus diesem Grund mussten wir einen Teil der Simulationen dieses Jahr wiederholen (siehe auch Antrag zu Nachbeantragung von Ressourcen im April 2024).

Erste Ergebnisse zeigen, dass das ERF bei der gleichen Störung der CH_4 Emissionen mit dem PSrad Strahlungsschema höher ausfällt. Und zwar liegt es bei 2.40 W m^{-2} im Vergleich zu 1.72 W m^{-2} in der vergleichbaren Simulation mit ECHAM5 Strahlungsschema. Eine Aufteilung des ERF in einzelne Beiträge steht für die korrigierten Simulationen mit PSrad Strahlung noch aus. Unter anderem, erwarten wir Unterschiede bei der direkten Strahlungswirkung von CH_4 , aber auch beim Adjustment von Wolken, da PSrad die Absorption von CH_4 im Kurzwelligen berücksichtigt, was in anderen Modellen zu einem negativen Wolken-Adjustment führt [Smith et al., 2018, Allen et al., 2021]. Aus diesem Grund beantragen wir für den nächsten Bewilligungszeitraum Speicherplatz, um einen Teil der Daten auf /work vorzuhalten, um die Ergebnisse detailliert auswerten und veröffentlichen zu können.

2 Inverse Optimierung von Methanemissionskataster

Die geplanten Simulationen für die Inversen Optimierung wurden nicht in dem geplanten Umfang durchgeführt. Einzelne Testsimulationen haben ergeben, dass der Algorithmus unzureichende Ergebnisse liefert. Die

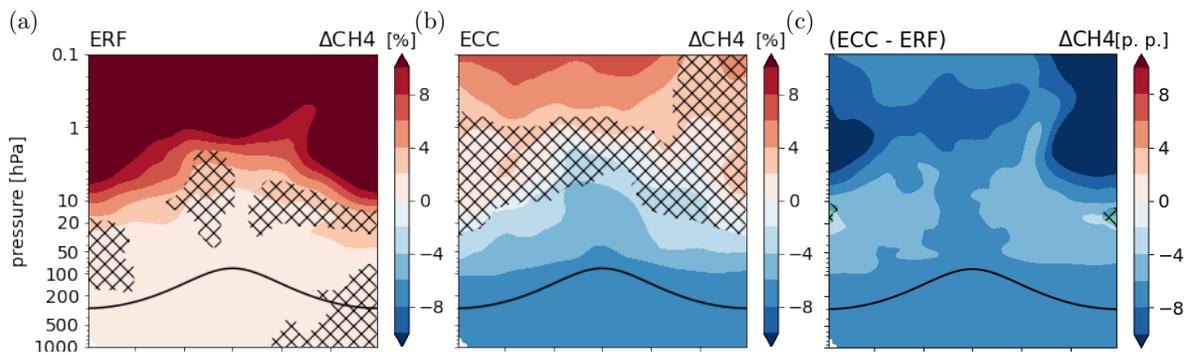


Abbildung 1: CH_4 -Reaktion auf die CO_2 -Erhöhung: Relative Unterschiede zwischen dem jährlichen zonalen gemittelten CH_4 -Mischungsverhältnis der Sensitivitätssimulationen (a) ERFCO₂ (schnelle Reaktion) und (b) ECCCO₂ (vollständige Reaktion) und der jeweiligen Referenzsimulation in [%]. (c) Klimareaktion als Differenz zwischen den CH_4 -Reaktionen in den Feldern (a) und (b) in [Prozentpunkten (p.p.)]. Nicht schraffierte Bereiche sind signifikant auf dem 95% Konfidenzniveau gemäß eines Welch-Tests auf der Grundlage der Jahresmittelwerte. Die durchgezogene schwarze Linie zeigt die Lage der klimatologischen Tropopause.

Sensitivitätsstudie kann erst begonnen werden, wenn die entsprechend belastbaren Ergebnisse erreicht sind.

Literatur

- [Allen et al. 2021] Allen, R. J., Horowitz, L. W., Naik, V., et al. Significant climate benefits from near-term climate forcer mitigation in spite of aerosol reductions. *Environ. Res. Lett.*, 2021. doi: 10.1088/1748-9326/abe06b. URL <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe06b>. 1
- [Eyring et al. 2016] Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., et al. Overview of the coupled model intercomparison project phase 6 (cmip6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.*, 9(5):1937–1958, 2016. doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016. URL <https://gmd.copernicus.org/articles/9/1937/2016/>. 1
- [Nützel et al. 2024] Nützel, M., Stecher, L., Jöckel, P., et al. Updating the radiation infrastructure in messy (based on messy version 2.55). *Geoscientific Model Development*, 17(15):5821–5849, 2024. doi: 10.5194/gmd-17-5821-2024. URL <https://gmd.copernicus.org/articles/17/5821/2024/>. 1
- [Pincus and Stevens 2013] Pincus, R. and Stevens, B. Paths to accuracy for radiation parameterizations in atmospheric models. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(2):225–233, 2013. doi: <https://doi.org/10.1002/jame.20027>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jame.20027>. 1
- [Smith et al. 2018] Smith, C. J., Kramer, R. J., Myhre, G., et al. Understanding rapid adjustments to diverse forcing agents. *Geophysical Research Letters*, 0(ja), 2018. doi: 10.1029/2018GL079826. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018GL079826>. 1
- [Stecher 2024] Stecher, L. The role of methane for chemistry-climate interactions, 2024. URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:19-338123>. 1
- [Stecher et al. 2024a] Stecher, L., Winterstein, F., Jöckel, P., et al. Chemistry-climate feedback of atmospheric methane in a methane emission flux driven chemistry-climate model. *EGUsphere*, 2024:1–37, 2024a. doi: 10.5194/egusphere-2024-2938. URL <https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2024-2938/>. 1
- [Stecher et al. 2024b] Stecher, L., Winterstein, F., Jöckel, P., et al. EMAC simulations of project IRFAM-ClimS with ECHAM5 radiation and interactive chemistry, 2024b. URL https://www.wdc-climate.de/ui/entry?acronym=DKRZ_LTA_1132_ds00001. 1