

Projekt: 1132

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

Federführende Wissenschaftlerin: Franziska Winterstein

Bewilligungszeitraum: 01.11.2022 - 31.12.2022

1 RFAM-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 Methan (CH_4) als Rückkopplungskomponente im Klimasystem. Dafür wurden in diesem Bewilligungszeitraum eine Reihe von Gleichgewichts-Klimasimulationen mit Kohlenstoffdioxid (CO_2) und CH_4 als Strahlungsantrieb durchgeführt. Um eine Anpassung troposphärischen Methans an Änderungen in den chemischen Senken zu ermöglichen, ist es notwendig eine Flussrandbedingung für Methan zu verwenden.

Dies ermöglichte zu untersuchen, in wie weit sich troposphärisches CH_4 in Folge einer CO_2 Erhöhung anpasst. Bei einer CO_2 Erhöhung um den Faktor 1,35 nimmt das CH_4 Mischungsverhältnis in der Troposphäre signifikant um bis zu 7,5 % ab. Die CH_4 Abnahme ist auf eine Zunahme des Hydroxylradikal (OH) und damit einer Verkürzung der CH_4 Lebensdauer zurückzuführen. Die Zunahme von OH wiederum lässt sich durch den Anstieg der Feuchte in einer wärmeren Troposphäre erklären, da Wasserdampf eine Vorläufersubstanz von OH ist.

Ein weiteres Ziel des Projektes ist es den Einfluss einzelner physikalischer und chemischer Rückkopplungen auf den Strahlungshaushalt anhand der Partial Radiative Perturbation Method (z. B. Wetherald and Manabe [1988], Rieger et al. [2017]) zu quantifizieren. Dafür wurden offline Strahlungstransferrechnungen mit dem MESSy Basemodell RAD (MBM RAD) durchgeführt, in denen jeweils eine Komponente gestört wird. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Feedbackanalyse im Fall einer CO_2 Erhöhung um 1,35.

In diesem Projekt spielt die Untersuchung der Strahlungswirkung von CH_4 eine zentrale Rolle. Da das bisher in EMAC standardmäßig genutzte ECHAM5 Strahlungsschema die Strahlungswirkung von CH_4 unterschätzt, haben wir entschieden, das überarbeitete Strahlungsmodul von ECHAM6 (PSrad; Pincus and Stevens [2013]) in EMAC einzubauen. PSrad bildet die Strahlungswirkung von CH_4 deutlich verbessert ab. Die Implementierung, sowie das Tuning und die Evaluation von PSrad in EMAC konnten in diesem Bewilligungszeitraum abgeschlossen werden. Wir beantragen für den kommenden Bewilligungszeitraum erneut Rechenzeit, um die Gleichgewichts-Klimasimulationen mit PSrad Strahlung zu wiederholen.

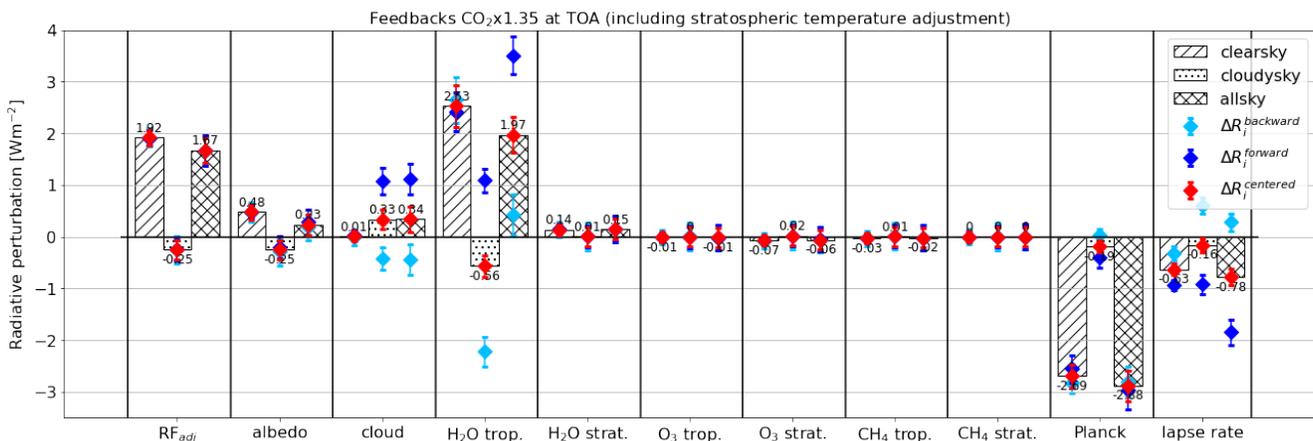


Abbildung 1: Analyse individueller Feedbacks bei einer CO_2 Erhöhung um Faktor 1,35: stratospheric adjusted RF und Feedbacks durch Bodenalbendo, Wolken, troposphärischen und stratosphärischen Wasserdampf, troposphärisches und stratosphärisches Ozon, troposphärisches und stratosphärisches CH_4 , der Bodentemperatur (Planck) und des troposphärischen Temperaturgradienten (Lapse rate). Die Fehlerbalken geben die interannuale Standardabweichung an.

2 Analyse der globalen Isotopensignatur von Methan

Im Berichtszeitraum wurde der globale Methananstieg seit 2006 mit dem gleichzeitigen Abfall der Isotopensignatur untersucht. Ausgehend von einer früheren Referenzsimulation (von 1990 bis 2018), die im vorherigen Berichtszeitraum

durchgeführt wurde, sollten im Berichtszeitraum mehrere Sensitivitätssimulationen ab dem Jahr 2007 durchgeführt werden. Um die aktuellsten Emissionskataster zu berücksichtigen, wurde die Referenzsimulation noch einmal mit neueren Emissionen durchgeführt. Anthropogene Emissionen stammen nun aus dem EDGAR 6.0 Kataster [Crippa et al., 2021]. Emissionen aus Feuchtgebieten wurden aus dem LPX-Bern Datensatz (persönliche Kommunikation) entnommen. Die Emissionen aus Biomassenbrennen stammen aus GFEDv4.1 [Giglio and van der Werf, 2013], welches erst ab dem Jahr 1997 erhältlich ist. Mit Hilfe von EMAC und einer vereinfachten Methanchemie, wurden die Jahre 1990 bis 2020 simuliert. Die Ergebnisse zeigen, dass das global gemittelte Methanmischungsverhältnis und das global gemittelte stabile Isotopenverhältnis ($\delta^{13}\text{C}$) stärker von den Beobachtungen abweichen, als die Ergebnisse der früheren Referenzsimulation. Das Methanmischungsverhältnis zeigte in den Jahren 1990 bis 2005 einen negativen Trend. In einem ersten Schritt wurde daher das OH Feld reduziert, was dazu führte, dass das global gemittelte Methanmischungsverhältnis sich an die Beobachtungen annäherte. Der Verlauf des stabilen Isotopenverhältnisses ($\delta^{13}\text{C}$) änderte sich jedoch nicht. In einem weiteren Schritt wurde die Auswirkung einer Veränderung der Biomassenbrennen-Emissionen untersucht (diese Simulation wird im Folgenden als SDISO-02 bezeichnet). Das Ergebnis (Abbildung 2 links) zeigt, dass eine Erhöhung der Emissionen mit einem Absinken der Emissionen nach 2007 zu der beobachteten Veränderung im $\delta^{13}\text{C}$ führt. Die simulierte Methanmischungsverhältnisse (Abbildung 2 rechts) zeigen zwar den beobachteten Anstieg, liegen allerdings in den Jahren 1990 bis 2005 deutlich unter den Beobachtungen. Im verbleibenden Zeitraum bis Dezember sollen nun weitere Testsimulationen mit unterschiedlichen Feuchtgebiet-Emissionen durchgeführt werden, um eine geeignete Referenzsimulation für weitere Analysen zu finden.

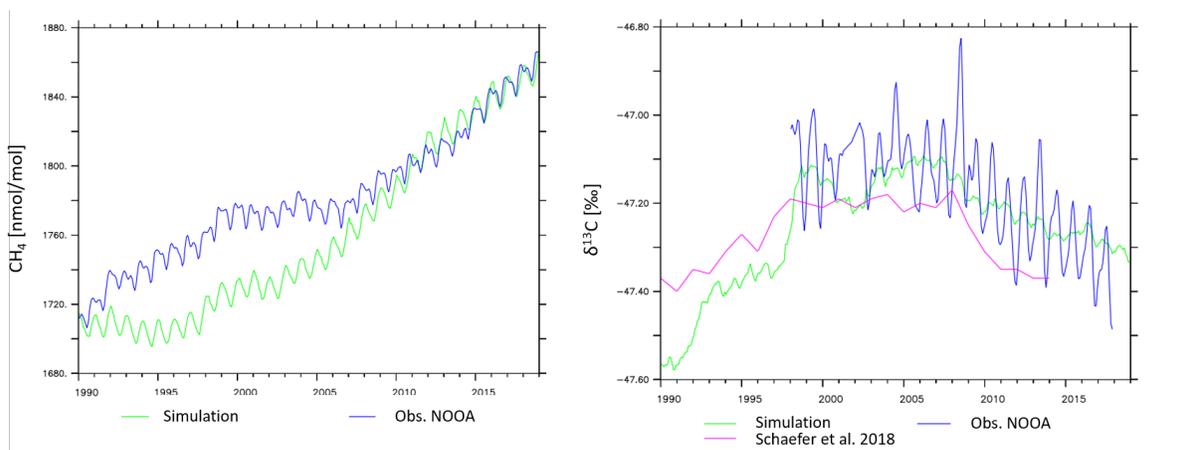


Abbildung 2: Links: Die Abbildung zeigt die global gemittelten Methanmischungsverhältnisse an der Oberfläche für die Jahre 1990 bis 2020. Dargestellt werden die Ergebnisse der SDISO-02 Simulation und die gemessenen NOAA Daten aus Dlugokencky et al. [2020]. Rechts: Die Abbildung zeigt die global gemittelten Oberflächen- $\delta^{13}\text{C}$ Verhältnisse für die Jahre 1990 bis 2020. Dargestellt werden die Ergebnisse der SDISO-02 Simulation, die gemessenen NOAA Daten aus White and Michel [2018] und die Ergebnisse aus Schaefer et al. [2016].

3 Inverse Optimierung von Methanemissionskataster

Nachdem die Entwicklung der Software zur inversen Optimierung stetig voran ging, wurden Testsimulationen zur Evaluierung durchgeführt. Das Emissionskataster das aus diesen Testsimulationen entstanden ist, ist wiederum in einer Vorwärtssimulation verwendet worden. Die Ergebnisse der Simulation zeigen eine Verbesserung der Übereinstimmung des globalen mittleren Methanmischungsverhältnis am Boden mit einem entsprechenden Produkt von NOAA aus global gemittelten Messdaten von marinen Bodenmessstationen, dem Marine Boundary Layer Reference Datensatz [Lan et al., 2022]. Die Sensitivitätssimulationen bezüglich verschiedener OH Mischungsverhältnissen oder Anfangsbedingungen wurden noch nicht durchgeführt, da die ersten Ergebnisse der inversen Optimierung noch evaluiert werden.

Literatur

- [Crippa et al. 2021] Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., et al. EDGAR v6.0 greenhouse gas emissions. [Dataset], 2021. URL <http://data.europa.eu/89h/97a67d67-c62e-4826-b873-9d972c4f670b>. 2
- [Dlugokencky et al. 2020] Dlugokencky, E., Crotwell, A., Mund, J., Crotwell, M., and Thoning, K. W. Atmospheric methane dry air mole fractions from the noaa gml carboncycle cooperative global air sampling network, 1983-2019, version: 2020-07, 2020. 2
- [Giglio and van der Werf 2013] Giglio, J. T. R., L. and van der Werf, G. R. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4). *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(1):317–328, 2013. 2
- [Lan et al. 2022] Lan, X., Thoning, K. W., and Dlugokencky, E. J. Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements, Version 2022-10, 2022. URL <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>. 2
- [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
- [Rieger et al. 2017] Rieger, V. S., Dietmüller, S., and Ponater, M. Can feedback analysis be used to uncover the physical origin of climate sensitivity and efficacy differences? *Climate Dynamics*, 49(7):2831–2844, 2017. doi: [doi: 10.1007/s00382-016-3476-x](https://doi.org/10.1007/s00382-016-3476-x). URL <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3476-x>. 1
- [Schaefer et al. 2016] Schaefer, H., Fletcher, S. E. M., Veidt, C., et al. A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by ¹³CH₄. *Science (New York, N.Y.)*, 352(6281):80–84, 2016. ISSN 1095-9203. doi: [10.1126/science.aad2705](https://doi.org/10.1126/science.aad2705). URL <http://science.sciencemag.org/content/352/6281/80.abstract>. 2
- [Wetherald and Manabe 1988] Wetherald, R. T. and Manabe, S. Cloud feedback processes in a general-circulation model. *Journal Of The Atmospheric Sciences*, 45(8):1397–1415, 1988. 1
- [White and Michel 2018] White, B. V., J. and Michel, S. Stable Isotopic Composition of Atmospheric Methane (13C) from NOAA ESRL Carbon Cycle Cooperative Global Air Sampling Network, 1998–2017, Version: 2018-09-24, 2018. 2