

Project: 782

Project title: **Stratospheric Change and its Role for Climate Prediction (SHARP)**

Principal investigator: **Martin Dameris**

Report period: **2019-01-01 to 2019-12-31**

a)Methan

*H<sub>2</sub>O und HDO Profile*

In einer Kollaboration mit Kollegen von SRON (Niederlande) sollten mit EMAC a-priori-Vertikalprofile von H<sub>2</sub>O und HDO erstellt werden, die für die „retrievals“ ebendieser Variablen aus den Messdaten des Satelliten Sentinel-5P benötigt werden, welcher im Oktober 2017 gestartet wurde. Die geplanten Simulationen konnten im vergangenen Bewilligungszeitraum nicht durchgeführt werden. Eine notwendige Voraussetzung für die geplanten transienten Simulationen mit vorgegebener Dynamik sind Datensätze mit meteorologischen Parametern aus Reanalysedaten. Da im vergangenen Jahr das zuvor genutzte Produkt ERA-Interim eingestellt wurde und die Daten des neuen Produktes ERA5 noch prozessiert werden müssen (siehe Bericht und Antrag von Projekt 853), standen die erforderlichen Daten noch nicht zur Verfügung.

Die benötigte Rechenzeit wird daher für das kommende Jahr neu beantragt. Die bewilligte Rechenzeit im Antragszeitraum 2019 wurde jedoch für das Teilprojekt *Extrememissionsszenarien* (siehe unten) verwendet.

*Extrememissionsszenarien*

In vorherigen Antragszeiträumen wurden Simulationen bezüglich der instantanen klimatischen Reaktion auf stark erhöhte Methanmischungsverhältnisse untersucht. Die Ergebnisse hierzu wurden im aktuellen Bewilligungszeitraum veröffentlicht (*Winterstein et al. 2019*). Dabei handelt es sich um die Simulationen mit vorgeschriebener Meeresoberflächentemperatur („sea-surface temperature“, SST), die die schnellen Veränderungen in der Atmosphäre durch die veränderten Methanmischungsverhältnisse zeigen. Zusammengefasst implizieren die Ergebnisse, dass die stark erhöhten Methanmischungsverhältnisse (doppeltes und fünffaches Methanmischungsverhältnis) einen wesentlichen Anstieg in stratosphärischem Wasserdampf und weitgehend auch in der Ozonsäule bewirken. Der mit dem höheren stratosphärischen Wasserdampf einhergehende Temperaturabfall in der Stratosphäre führt zu einem erhöhten Ozonabbau in der antarktischen unteren Stratosphäre. Außerdem wurde eine Strahlungswirkung von  $0.69 \text{ W m}^{-2}$  (doppeltes Methan) bzw.  $1.79 \text{ W m}^{-2}$  (fünffaches Methan) berechnet.

Im Bewilligungszeitraum wurden außerdem Modellsimulationen bezüglich des langfristigen Einflusses stark erhöhter Methanmischungsverhältnisse auf die chemische Zusammensetzung der Stratosphäre und das Klima, analysiert, die im vorletzten Bewilligungszeitraum durchgeführt wurden. Hierfür wurde statt vorgeschriebener SSTs ein Mixed Layer Ocean (MLO) verwendet. Dabei wurde ein Modellfehler erkannt und behoben. Daraufhin wurden neue Simulationen im gleichen Setup durchgeführt.

Die Simulationen dieser Studie wurden im Rahmen einer Masterarbeit ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen überwiegend eine ähnliche Entwicklung wie in den Simulationen mit vorgeschriebener SST (siehe *Winterstein et al. 2019*). Unterschiede zeigen sich zum Beispiel in der Methanlebensdauer. Die generelle Verlängerung der troposphärischen Methanlebensdauer bei starkem Anstieg des

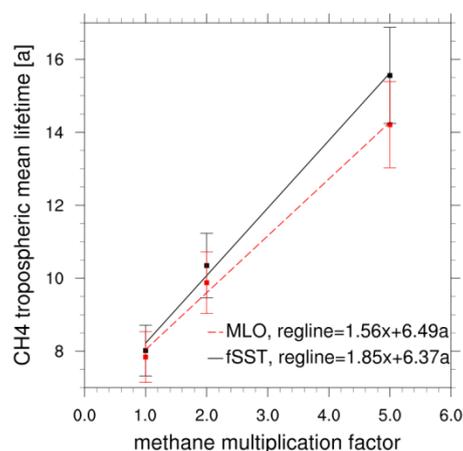


Abbildung 1: Troposphärische Methanlebensdauer abhängig von dem Multiplikationsfaktor (Referenz, 2x Methan, 5x Methan) für die zwei Simulationsstudien mit vorgeschriebener SST (fSST, schwarz) und dem Mixed Layer Ocean (MLO, rot).

Methanmischungsverhältnisses ist bei den Simulationen mit MLO geringer als bei der vorgeschriebenen Randbedingung (siehe Abbildung 1). Außerdem führen die erhöhten Methanmischungsverhältnisse zu einer erhöhten Wasserdampf- und Ozonmischungsverhältnisse in der Troposphäre. In der unteren Stratosphäre zeigt sich eine Ozonreduktion, durch erhöhten Transport von ozonarmen Luftmassen aus der Troposphäre in die Stratosphäre. Dieses Muster wird durch die Temperaturanpassung in der Troposphäre, die durch den MLO ermöglicht wurde, noch verstärkt. Insgesamt zeigt die Temperaturveränderung durch die erhöhten Methanmischungsverhältnisse ein typisches Bild. Temperaturanstiege sind in der Troposphäre zu erwarten, mit einem Maximum in den oberen tropischen Schichten. Die Stratosphäre kühlt sich ab. Während die Temperaturveränderung in den vorherigen Simulationen durch die feste untere Randbedingung unterdrückt wurde, konnten nun die langfristigen Klimaeinflüsse inklusive der Temperaturrückkopplungen untersucht werden. Die Ergebnisse der Masterarbeit (Stecher, 2019, *in prep.*) sollen zeitnah in einem Fachjournal publiziert werden.

## b) Auswertungen der ESCiMo Simulationen

### Vulkane

Im Rahmen einer Masterarbeit (Kilian, 2018) wurden 3 Modellsimulationen aus dem ESCiMo Projekt (Konsortialprojekt id0853, Jöckel et al. 2016) auf die chemische Veränderung zunächst der tropischen Atmosphäre nach der Eruption des Mt. Pinatubo auf den Philippinen im Jahre 1991 hin untersucht. Der Fokus lag auf der Änderung der Ozonverteilung und der zugrunde liegenden Prozesse. Das besondere an den EMAC-Simulationen aus dem ESCiMo Projekt (853) ist, dass der Effekt der Vulkanaerosole auf die Strahlung und die Chemie jeweils getrennt betrachtet werden konnten. Der rein chemische Effekt der Vulkaneruption auf die Ozonverteilung lies sich damit herausarbeiten. Im Antragszeitraum wurde die Analyse nun auf die mittleren Breiten und die Polregionen ausgedehnt. Die Publikation hierzu ist fast fertiggestellt und soll im Dezember 2019 eingereicht werden (Kilian et al. 2019, *in prep.*).

### Monsun

Messungen die während der StratoClim Kampagne (<http://stratoclim.org/>) durchgeführt wurden zeigen ein klares Muster, je nachdem ob der Flug im Juli oder im August stattfand. Ein Hauptergebnis der Datenauswertung und dem Vergleich mit Modellsimulationen ist, dass dies dynamische Gründe hat. Die verwendeten ESCiMo Simulationen (Projekt 853) zeigten insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den durchgeführten Messungen.

## c) Effekt von Raumfahrzeugen auf die Atmosphäre beim Wiedereintritt

Die Auswirkungen von Weltraumfahrzeugen auf das Klima wurden mit EMAC (2.54) und dem Klima-Chemie Reaktionsmodell AirClim untersucht. EMAC-Langzeitsimulationen zeigen, dass die Zerstörung von Raumfahrzeugen beim Wiedereintritt in die Atmosphäre in der oberen Stratosphäre einen Ozonabbau verursacht (siehe Abbildung 2), der zu einem positiven Nettostrahlungsantrieb führt. Die AirClim-Simulationen zeigen, dass die Erdoberflächentemperaturen durch die zerstörten Raumfahrzeuge im Jahr 2100 um  $96 \times 10^{-9}$  K ansteigen (nominales Szenario für den Wiedereintritt von stillgelegten Raumfahrzeugen). Dieser Temperaturanstieg ist um sechs Größenordnungen geringer als der der globalen Luftfahrt ( $121 \times 10^{-3}$  K im Jahr 2100). Daher ist die potenzielle Auswirkung von Weltraumfahrzeugen auf das Klima sehr gering. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse in *Atmospheric Chemistry and Physics* ist in Vorbereitung.

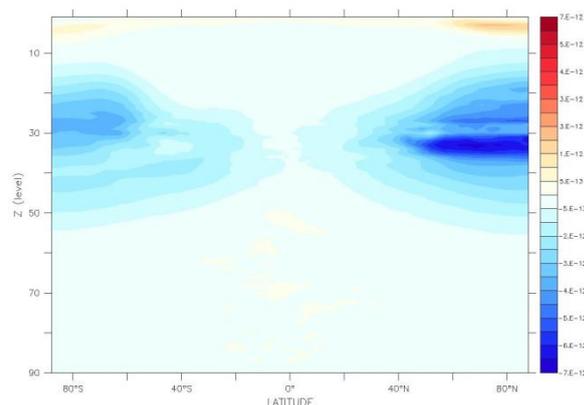


Abbildung 2: Ozonveränderung auf Grund von zerstörten Raumfahrzeugen (nominales Szenario).

## References:

- Dietmüller, S.: Relative Bedeutung chemischer und physikalischer Rückkopplungen in Klimasensitivitätsstudien mit dem Klima-Chemie-Modellsystem EMAC/MLO Ludwig Maximilian Universität München, 2011.
- Jöckel, P., Tost, H., Pozzer, A., Kunze, M., Kirner, O., Brenninkmeijer, C. A. M., Brinkop, S., Cai, D. S., Dyroff, C., Eckstein, J., Frank, F., Garny, H., Gottschaldt, K.-D., Graf, P., Grewe, V., Kerkweg, A., Kern, B., Matthes, S., Mertens, M., Meul, S., Neumaier, M., Nützel, M., Oberländer-Hayn, S., Ruhnke, R., Runde, T., Sander, R., Scharffe, D., & Zahn, A.: Earth System Chemistry integrated Modelling (ESCiMo) with the Modular Earth Submodel System (MESSy) version 2.51, *Geoscientific Model Development*, 9, 1153–1200, doi: 10.5194/gmd-9-1153-2016, URL <http://www.geosci-model-dev.net/9/1153/2016/>, 2016.
- Kilian, M.: Impact of the Eruption of Mt. Pinatubo on the Chemical Composition of the Tropical Atmosphere as Simulated with EMAC, Master's Thesis, Universität Innsbruck, Austria, 2018.
- Kilian, M., Brinkop, S. and Jöckel, P., Impact of the Eruption of Mt. Pinatubo on the chemical composition of the atmosphere, *Atmos. Chem. Phys. Disc.*, 2019, in prep.
- Stecher, L.: Effects of strongly enhanced atmospheric methane concentrations in a fully coupled chemistry-climate model, Master's Thesis, Ludwig Maximilian Universität München, 2019, in prep.
- Tanalski, F.: Untersuchung von Klimaveränderungen durch extreme Methanemissionen, Universität Duisburg-Essen, Universität Duisburg-Essen, 2017.
- Winterstein, F., Tanalski, F., Jöckel, P., Dameris, M. & Ponater, M.: Implication of strongly increased atmospheric methane concentrations for chemistry-climate connections, *Atmos. Chem. Phys.*, 2019, 19, 7151-7163, 2019.