

Project: **1022**

Project title: **The middle atmosphere in a changing climate - MACClim**

Principal investigator: **Hella Garny**

Report period: **2022-01-01 to 2022-12-31**

Im Projekt MACClim (bd1022) wurden bis Dato (19.10.2022) 6202 node-h Rechenzeit von insgesamt 8195 node-h des Jahres 2022 verbraucht. Dabei wurden die verbrauchten Ressourcen weitgehend für die beantragten Zwecke verwendet. 1500 node-h davon sind jedoch verfallen. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die geplante Rechenzeit für Punkt 2 aufgrund von Änderungen im Projekt nicht abgerufen werden konnte und die Simulationen für Punkt 3 aufgrund mangels an Arbeitszeit nicht durchgeführt werden konnten (genaue Erklärungen unten). 2049 node-h waren bereits verfallen, als Levante im ersten Quartal noch weitgehend inaktiv war, in jenem Zeitraum wurden noch 2416 node-h auf Mistral gerechnet. Die Umstellung von Mistral auf Levante hat ebenso Arbeitszeit in Anspruch genommen. Weitere Simulationen für Punkt 1 und 4 stehen noch aus, diese werden im verbleibenden Zeitraum in 2022 noch durchgeführt, außerdem werden noch einige node-h für Datenprozessierung und Analysen (Punkt 5) benötigt. Im Zeitraum des Reports wurden im Projekt MACClim eine Doktorarbeit und mehrere Masterarbeiten fertiggestellt bzw. Begonnen, sowie mehrere Publikationen auf Basis der am DKRZ durchgeführten Simulationen teils fertiggestellt, teils vorbereitet (siehe unten).

## **1 Spurengastransport in einem idealisierten Modell mit Chemie (HGF-MACClim)**

*Verantwortlich: Hella Garny (b309076), Matthias Nützel (b309106), Aman Gupta (b381346), Pablo Conrat Fuentes (b381739), Anna Götz (b309220), Philip Rupp (b381740)*

Das trocken-dynamische Modell EMIL (ECHAM5/MESSy Idealized Model) wurde in den vergangenen Jahren für mechanistische Studien zur Troposphären-Stratosphären gekoppelten Dynamik eingesetzt. Eine Doktorarbeit zur Untersuchung der Stratosphären-Troposphären Kopplung in einem sich änderen Klima wurde dieses Jahr erfolgreich abgeschlossen (Walz, 2022), und eine daraus hervorgegangene Publikation akzeptiert (Walz et al., 2022). Daneben wurden Simulationen mit EMIL in mehreren Masterarbeiten eingesetzt.

In einer der Arbeiten wurden Regime von troposphärischen Jets untersucht (Pablo Conrat, Masterarbeit, Oktober 2021 - Oktober 2022; Kooperation mit LMU). Dafür wurde zunächst das Model set-up erweitert, um (schnelles) diabatisches Heizen durch Konvektion getrennt von der langsameren Relaxation zu einer (Strahlungsgleichgewichts)-Hintergrundtemperatur zu parameterisieren. In dieser einfachen Konvektionsparameterisierung ist die vertikale Schichtung ein freier Parameter, und die Ergebnisse haben gezeigt, dass eine Variation der vertikalen Schichtung zu verschiedenen Regimen der Jets führt: eine sehr stabile Schichtung führt zu einem Regime, in welchem der Subtropische Jet und der Jet der mittleren Breiten getrennt sind, während eine weniger stabile Schichtung zu einem Zusammenführen der zwei Jets führt. Diese Masterarbeit wird im Oktober 2022 eingereicht, und für das kommende Jahr ist eine Publikation der Ergebnisse geplant.

In einer weiteren Masterarbeit (Anna Götz, Masterarbeit, März 2022 - April 2023; Kooperation mit DLR Institut für Planetenforschung) werden Zirkulationsregime für langsam rotierende Planeten untersucht. Dafür wurde zunächst ein Submodell für MESSy implementiert, welches eine einfache Änderung der Rotationsrate mittels Namelist erlaubt. Erste Simulationen zeigen eine gute Vergleichbarkeit mit früheren Studien. In diesem Kontext waren für 2022 auch Simulationen mit chemischen Tracern geplant; diese wurden auf das Jahr 2023 verschoben (siehe Antrag).

Neben den Masterarbeiten wurden im Jahr 2022 vorbereitende Simulationen in einer Kooperation mit der LMU (Philip Rupp) durchgeführt, in welchen untersucht werden soll wie die Wechselwirkung von planetaren Wellen der Wellenzahl 1 und 2 zu dynamischer Variabilität im stratosphärischen Polarwirbel führen.

## 2 Umfassende Simulation für Studien zum Alter der Luft (ISSI-AoA)

Verantwortlich: Hella Garny (b309076) / Roland Eichinger (b309073)

Aufgrund von Änderungen im Projektverlauf wurde diese Simulation nicht durchgeführt und wird vorerst nicht erneut beantragt. Zunächst konnten bestehende Simulationen weiter ausgewertet werden um den gegebenen Fragestellungen zu Klimatologien und Trends des Luftalters und damit der stratosphärischen Zirkulation sowie von Mischungsprozessen weiter nachzugehen. Für den weiteren Verlauf wird derzeit mit anderen Projekten (id0853) kooperiert, welche ähnliche Simulationen durchführen. Dadurch können Ressourcen eingespart werden, während den wissenschaftlichen Fragestellungen weiter nachgegangen werden kann.

## 3 Einfluss subgrid-skaliger Orographie auf die Dynamik der Stratosphäre (HGF-MACCLim / ROMIC-WASCLIM)

Verantwortlich: Roland Eichinger (b309073) / Petr Sacha (b381114)

Die beantragten Simulationen zur Weiterentwicklung der Schwerewellenparametrisierung hin zu einer zufälligen Änderung des Bodenwindes wurden 2022 nicht durchgeführt. Hierfür fehlte aufgrund nicht bewilligter Forschungsprojekte die Arbeitszeit, welche v.a. für die Modellentwicklung, aber auch für Durchführung und Auswertung der Simulationen benötigt wird. In 2022 wurde ein weiterer Forschungsantrag (bei DFG und GACR) eingereicht, welcher diese Arbeiten beinhaltet. Sie werden daher auf das nächste Jahr verschoben und die Computer Ressourcen im DKRZ Antrag für 2023 erneut beantragt.

## 4 Einfluss von Schwerewellen auf die südhemisphärische Zirkulation (ROMIC-WASCLIM)

Verantwortlich: Roland Eichinger (b309073) / Hella Garny (b309076)

Um den Einfluss von Schwerewellen auf die stratosphärische Dynamik in der südlichen Hemisphäre zu untersuchen, wurden 2022 Entwicklungsarbeiten am Modell weitgehend abgeschlossen. Diese beziehen sich auf eine vereinfachte Lösung der horizontalen Propagation von orographischen Schwerewellen. Einzelne Testsimulationen haben bereits gezeigt, dass die horizontale Umverteilung des Schwerewellenflusses in einem Modelllevel, anhand von speziell generierten Umverteilungsmatrizen technisch realisierbar ist. Dabei wird bei einem moderaten Mehraufwand an Rechenzeit eine deutlich realistischere Verteilung des Einflusses von Schwerewellen auf die Modelldynamik erreicht. Dies wird in Abbildung 1 anhand des Schwerewellendrags oberhalb des Levels der Umverteilung (68), mit und ohne der Erweiterung, veranschaulicht. Weitere Testsimulationen und kurze Evaluationssimulationen werden noch dieses Jahr durchgeführt und dafür verbleibende Rechenzeit aufgewendet. Mehr Simulationen, insbesondere zum Tunen des Modells mit der erweiterten Parametrisierung sind für 2023 geplant.

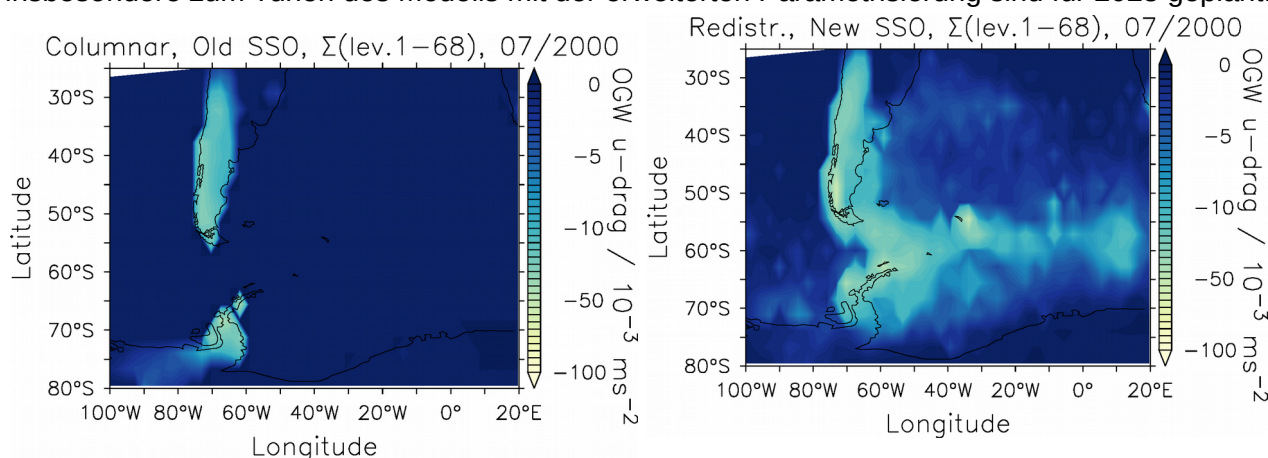


Abb. 1: Summe des Schwerewellendrags oberhalb des Levels der Umverteilung in einer Simulation ohne (links) und einer Simulation mit (rechts) der Neuentwicklung der Parametrisierung

## 5 Auswertung vorhandener Simulationen (HGF-MACCLim / ROMIC-WASCLIM / W2W)

Verantwortlich: Hella Garry (b309076) / Roland Walz (b309147) / Sheena Löffel (b309157) / Roland Eichinger (b309073) / Matthias Nützel (b309106) / Petr Sacha (b381114) / Leonhard Hufnagel (b309202) / Aman Gupta (b381346)

Einige der benannten Auswertungen konnten im Jahr 2022 durchgeführt werden. Zum Thema Einfluss von Ozon auf die Dynamik der Stratosphäre konnten hierbei einige neue Erkenntnisse gewonnen werden. Im Vordergrund steht dabei, dass Ozonänderungen, welche durch den veränderten atmosphärischen Zustand durch einen Anstieg in CO<sub>2</sub> entstehen, die CO<sub>2</sub>-induzierten stratosphärische Zirkulationsänderungen dämpfen, wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Hierzu wurde eine Masterarbeit an der LMU fertig gestellt (Leonard Hufnagel, März 2021 – März 2022) und eine Publikation zum Thema ist derzeit in Begutachtung bei Journal of Climate (Hufnagel et al., under review).

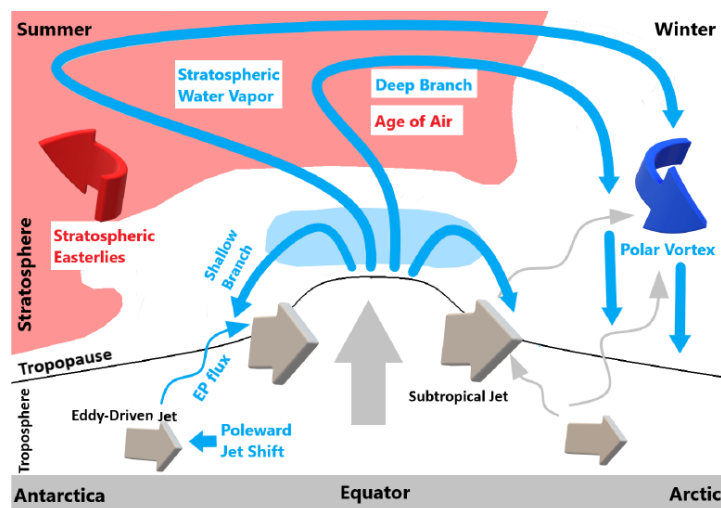


Abb. 2: Schematische Darstellung der thermischen und dynamischen Effekte einer Ozonänderung. Blau/rot steht für Abkühlung/Erwärmung, bzw. Abschwächung/Verstärkung.

In der Masterarbeit "Tracer transport from the Asian Monsoon Anticyclone to the Stratosphere in idealised model simulations", wurde künstlicher Tracer Transport in einem idealisierten Modell der asiatischen Monsun Antizyklone untersucht. Im Nachgang dazu wurden im letzten Antragszeitraum weitere Sensitivitätssimulationen durchgeführt, da sich aus der Masterarbeit weitere Fragestellungen ergeben haben. Mit Hilfe der bestehenden Daten von Masterarbeit und den neuen Simulationen können diese nun untersucht werden, weitere Simulationen zum Thema sind derzeit nicht geplant. Die Auswertungen der Daten, welche auf /work durchgeführt werden, haben bereits begonnen.

Zum Thema mechanistische Studien mit dem idealisierten Modell EMIL wurden wie oben beschrieben einige Studien durchgeführt. Andere Analysen für welche die Simulationen bereits durchgeführt und die Daten teils prozessiert wurden stehen noch aus. Darunter befindet sich die Themen Auflösungsabhängigkeit großräumiger Mischungsprozesse und Einfluss subgrid-skaliger Orographie auf die Dynamik der Stratosphäre. Die auf /work vorgehaltenen Daten sind bereits reduziert und prozessiert, die Rohdaten der Simulationen wurden in /arch gespeichert.

#### **Masterarbeit von Leonhard Hufnagl:**

- “The Influence of Ozone Changes on the Stratospheric Dynamics in 4xCO<sub>2</sub> Climate Simulations”, Eingereicht am 03.03.2022 an der Ludwig-Maximilians Universität München (LMU).

#### **Masterarbeit von Pablo Conrat Fuentes :**

- “Jet Regimes in a Dry Dynamical Core Model”, geplante Abgabe 31.10.2022 an der Ludwig-Maximilians Universität München (LMU).

#### **Masterarbeit von Anna Götz:**

- “Circulation regimes on slowly rotating planets”, geplante Abgabe April 2023 an der Ludwig-Maximilians Universität München (LMU).

#### **Masterarbeit von Andreas Bartenschlager:**

- “Tracer transport from the Asian Monsoon Anticyclone to the Stratosphere in idealised model simulations”, Eingereicht im August 2021 an der Ludwig-Maximilians Universität München (LMU).

#### **Dissertation von Roland Walz**

- “Dynamical coupling of the stratosphere and troposphere in a changing climate”, April 2022, Ludwig-Maximilians Universität München (LMU), DOI: [10.5282/edoc.30160](https://doi.org/10.5282/edoc.30160)

#### **Publikationen 2022:**

- **Loeffel, S., Eichinger, R., Garny, H.,** Reddmann, T., **Fritsch, F.,** Versick, S., Stiller, G., and Haenel, F. (2022): The impact of sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>) sinks on age of air climatologies and trends; Atmospheric Chemistry and Physics (ACP), 22, 1175--1193, 2022, doi: 10.5194/acp-22-1175-2022, URL: <https://doi.org/10.5194/acp-22-1175-2022>
- **Hufnagl, L., Eichinger, R., Garny, H.,** Birner, T., Kuchar, A., Jöckel, P., and Graf, P., Stratospheric Ozone Changes damp the CO<sub>2</sub>-induced Brewer-Dobson Circulation Acceleration, in review, Journal of Climate, 2022
- **Walz, R., Garny, H.,** and Birner, T.: Stratospheric Influence during Tropical Upper-Tropospheric Warming in an Idealized General Circulation Model, accepted, JAS, 2022.

#### **Publikationen in Vorbereitung:**

- Diallo, M., Ploeger, F., **Eichinger, R. Garny, H.,** Dunker, N., Ball, W., Ern, M., Stenke, A., Aquila, V. , Kinnison, D.E., Tilmes, S., and Hegglin, M.I.: Sulfate aerosol injections induce an uncertain response of the stratospheric meridional overturning circulation, in preparation for Nature Climate Change
- **Eichinger, R.,** Rhode, S., Preusse, P., **Garny, H.,** et. al: Horizontal redistribution of orographic gravity wave flux in a global chemistry-climate model, to be submitted at Geoscientific Model Development