

Project: **1022**

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

Principal investigator: **Hella Garny**

Report period: **2020-01-01 to 2020-12-31**

Im Projekt MACClim (bd1022) wurden bis Dato (15.10.2020) 17303 node-h Rechenzeit von insgesamt 22.154 node-h (15.738 + 6.416 node-h aus der Nachbeantragung) des Jahres 2020 verbraucht. Dabei wurden die Ressourcen weitgehend für die beantragten Zwecke verwendet, einzelne Verschiebungen wurden bereits in der Nachbeantragung während des Jahres erläutert. So wurden ca. 5.650 node-h für das Thema 2.1 (Auflösung von Mischungsprozessen), ca. 1.500 node-h für das Thema 2.2 (Transport), ca. 6.950 node-h für das Thema 2.3 (idealisiertes Modell), ca. 300 node-h für das Thema 2.4 (Idealisierte Monsoon simulationen), ca. 2.600 node-h für das Thema 2.5 (sub-grid skalige Orographie) verbraucht. 327 node-h sind verfallen.

Einzelne Simulationen werden derzeit gerade durchgeführt, weitere sind noch für das 4. Quartal 2020 vorgesehen. Die Daten einiger Simulationen werden derzeit prozessiert und ausgewertet. Im Jahr 2020 wurden im Projekt MACClim eine Dissertation, eine Masterarbeit und mehrere Publikationen auf Basis der am DKRZ durchgeführten Simulationen fertiggestellt (siehe unten).

### **1 Auflösungsabhängigkeit großräumiger Mischungsprozesse (WP1/2, Roland Eichinger, Simone Dietmüller, Hella Garny)**

Die stratosphärische Zirkulation wird bestimmt durch das Zusammenspiel der residualen Zirkulation und Mischung. Mischung erhöht das Alter der stratosphärischen Luft, vor allem durch das Verursachen von Rezirkulation der stratosphärischen Luft. Die verschiedenen Mischungsprozesse sind jedoch stark abhängig von der jeweiligen vertikalen sowie horizontalen Auflösung der Modellsimulation. Um diese Abhängigkeit zu quantifizieren wurden Zeitscheibensimulationen in verschiedenen Kombinationen der horizontalen und vertikalen Auflösung durchgeführt. In den Simulationen wurden zusätzliche diagnostische Werkzeuge integriert: ein Spurengas welches keine vertikale Diffusion erfährt, das Submodell TENDENCY welches einzelne Prozesstendenzen ausgibt und Pulstracer zur Bestimmung der Altersspektren. Die Simulationsdaten werden derzeit prozessiert um mit verschiedenen Verfahren die Zirkulations- und Mischungstärke zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen 2021 publiziert werden.

### **2 Mechanistische Studien mit idealisiertem Model (WP3, Roland Walz, Hella Garny)**

Das ECHAM/MESSy Idealised Model (EMIL) ersetzt Strahlung, Konvektion und andere physikalische Prozesse durch eine einfache Relaxation gegen eine vorgeschriebene Hintergrundtemperatur. So können Zirkulationsunterschiede zwischen Modellläufen mit geänderten Hintergrundtemperaturen allein auf Grundlage der atmosphärischen Dynamik analysiert werden. Die Publikation zur Dokumentation des Modellsystems wurde im Jahr 2020 fertig gestellt und ist akzeptiert (Garny et al., 2020). In der Revision der Publikation konnte eine fehlerhafte Implementierung behoben werden, was einen erhöhten Rechenzeitbedarf in diesem Projektteil begründet hatte. Des Weiteren wurden mit EMIL Experimente mit idealisiertem Kimawandel durchgeführt. In diesen Experimenten kommt es zu abrupten Wechseln dynamischer Regime. Einer dieser Regimewechsel kann bei troposphärischer Erwärmung beobachtet werden und zeichnet sich durch eine rasche Verstärkung des stratosphärischen Polarwirbels von über 20 m/s und eine polwärtige Verschiebung des troposphärischen Jetstreams aus. Die 2020 mit EMIL am DKRZ durchgeführten Simulationen konnten nun zeigen, dass die Brewer-Dobson Zirkulation (BDC) entscheidend für diesen Mechanismus ist. Bei mäßiger tropischer Erwärmung kann die BDC den Temperaturgradienten in mittleren Breiten in der Höhe umkehren und so die Windverstärkung an der oberen Seite des troposphärischen Jetstreams beschränken. Ab einer tropischen Erwärmung von 7 K kann die BDC allerdings nicht mehr an Stärke gewinnen und ihre negative Rückkopplung verschwindet, was zum beschriebenen Regimewechsel führt. Eine Veröffentlichung dieser Resultate ist gerade in Vorbereitung.

### 3 Transportcharakteristika abgeleitet aus Spurenstoffkonzentrationen (WP2, Frauke Fritsch, Hella Garny)

Der Transport in der Stratosphäre kann mittels Altersspektren beschrieben werden. Diese geben die Verteilung der Transportzeiten eines Luftpakets an. Für Tracer, die chemischem Abbau unterliegen, wird das Altersspektrum in den Anteil der Quellsubstanz (arrival time distribution) und den Anteil des Produkts (release time distribution) aufgeteilt. Aus diesen Verteilungen lassen sich dann Diagnostiken wie der mittlere "fractional release" und die pfadintegrierte Lebenszeit bestimmen, welche erlauben, zukünftige Verteilungen von Mischungsverhältnissen zu diskutieren. Dies ist insbesondere relevant für jene Tracer, die Ozon und Strahlung beeinflussen. Bereits im Vorjahr wurden dazu Zeitscheiben Simulationen mit Jahr 2000 und Jahr 2050 Bedingungen durchgeführt, die zum Jahresabschluss ausgewertet wurden. Dabei hat sich gezeigt, dass die Simulationen nur unwesentlich verlängert werden mussten. Es konnten so sehr gut Details in der räumlichen und zeitlichen Änderung der abgeleiteten Diagnostiken des chemischen Abbaus festgestellt werden. Die Ergebnisse wurden in der erfolgreich abgeschlossenen Dissertation von F. Fritsch veröffentlicht. Eine Publikation in einem wissenschaftlichen Journal ist derzeit in Vorbereitung.

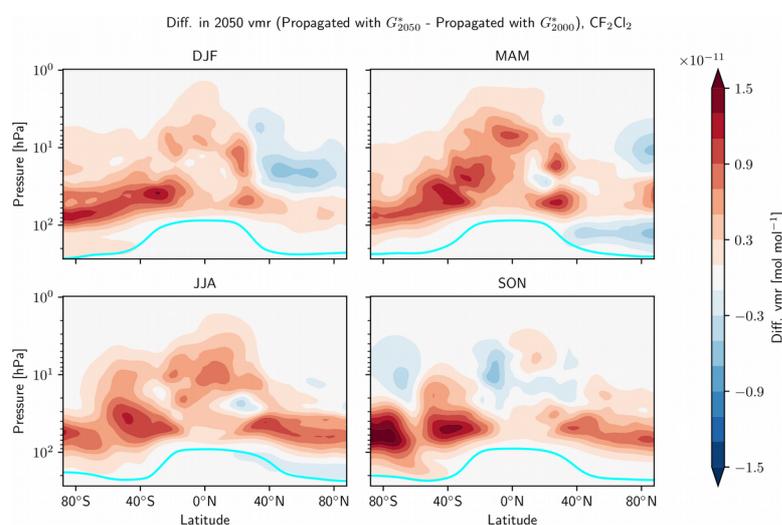


Abb.1: Effekt der Zirkulationsänderung auf die Änderung des Mischungsverhältnisses von  $CF_2Cl_2$  zwischen 2000 und 2050.

### 4 Idealisierte Simulation des Asiatischen Monsuns (WP3, Matthias Nützel, Hella Garny)

Die durch den Asiatischen Monsun entstehende Antizyklone in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre wurde im mechanistischen Model EMIL (siehe 2.) erfolgreich nachgebildet. Dazu wurden Simulationen mit idealisiertem diabatischem Heizen in den Subtropen durchgeführt. Nach einer Reihe von Testsimulationen konnten wir zeigen, dass wir mit EMIL und idealisiertem Heizen eine realistische Monsunantizyklone inklusive typischer Variabilitätseigenschaften der Monsunantizyklone erhalten können (Garny et al., 2020). Basierend auf diesem Stand werden derzeit (4. Quartal 2020) Sensitivitätsexperimente hinsichtlich der Lage und Stärke des idealisierten Heizens durchgeführt. Zudem soll das Thema auch im kommenden Jahr fortgeführt werden und die Analysen durch weitere Sensitivitätssimulationen ergänzt werden.

### 5 Einfluss sub-grid skaliger Orographie auf die Dynamik der Stratosphäre (WP2, Roland Eichinger, Petr Sacha)

Heutige Zirkulationsmodelle verwenden Schwerewellenparameterisierungen, um verschiedene Aspekte der Stratosphärendynamik korrekt darstellen zu können. Eine in den Modellen integrierte sub-grid skalige Orographie ist dabei für die Entstehung orographischer Schwerewellen mitverantwortlich. Das bestehende orographische Schwerewellenschema wurde um einen Aspekt erweitert; der aufgelöste Wind erfährt nun eine zufällige Richtungsänderung wenn er auf die sub-grid Skala übertragen wird. Dies ist in bergigen Gebieten physikalisch sinnvoll und führt zu Veränderungen in der vertikalen Schwerewellenausbreitung. Hierfür wurden einige

Testsimulationen und zwei längere Simulationen durchgeführt, welche derzeit ausgewertet werden. Erste Ergebnisse zeigen jedoch, dass der generelle Einfluss auf die Stratosphärendynamik relativ gering ist. 2021 sollen noch weitere Modifikationen wie die Ermöglichung von Böen auf ähnliche Weise vorgenommen werden. Außerdem ist in diesem Projektbereich die Manipulation der sub-grid skaligen Orographie vorgesehen, speziell im Hinblick auf Schwerewellenhotspots. Einzelne Simulationen dafür sollen noch im 4. Quartal 2020 durchgeführt werden. Andere werden für das kommende Jahr neu beantragt, weil diese aufgrund der oben erläuterten Entwicklungsarbeit vorübergehend in den Hintergrund gerückt sind.

**Dissertation: Frauke Fritsch**, Modeling of stratospheric transport time distributions for inert and chemically active species, Ludwig-Maximilians Universität München, 2020

**Masterarbeit: Sheena Löffel**: The Influence of SF<sub>6</sub> Sinks on Age of Air Climatologies and Trends, Ludwig-Maximilians Universität München, 03.03.2020

#### **Publikationen 2020:**

**Eichinger, R., Garny, H., Sacha, P., Danker, J., Dietmüller, S., Oberländer-Hayn, S.**: Effects of Missing Gravity Waves on Stratospheric Dynamics; Part 1: Climatology, Climate Dynamics; 54, 3165-3183, 2020

**Fritsch, F., Garny, H., Engel, A., Bönisch, H., and Eichinger, R.**: Sensitivity of age of air trends to the derivation method for non-linear increasing inert SF<sub>6</sub>, Atmos. Chem. Phys., 20, 8709–8725, 10.5194/acp-20-8709-2020, 2020.

**Garny, H., Walz, R., Nützel, M., and Birner, T.**: Extending the Modular Earth Submodel System (MESSy v2.55) model hierarchy: The ECHAM/MESSy idealized (EMIL) model set-up, Geosci. Model Dev. Discuss., 10.5194/gmd-2019-330, accepted, 2020.

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

Diallo, M. **Garny, H., Eichinger, R.** et al.: Consistent stratospheric circulation response to volcanic forcings in models and observations, in preparation for ACP 2021

**Eichinger, R., Garny, H., Sacha, P.**, : Effects of Missing Gravity Waves on Stratospheric Dynamics; Part 2: Climate Change,; In preparation for Climate Dynamics, 2020

**Fritsch, F., Garny, H.** et al.: From age spectra to path integrated lifetime in a changing climate, in preparation for ACP, 2020.

**Löffel, S., Eichinger, R., Garny, H., Fritsch, F., Reddmann, T., Versick, S., Stiller, F. Haenel, F.**: The impact of SF<sub>6</sub> sinks on age of air climatologies and trends, to be submitted, Atmos. Chem. Phys., 2020

**Walz, R., Garny, H., and Birner, T.**: Stratospheric Influence during Tropical Upper-Tropospheric Warming in an Idealized General Circulation Model, in preparation for WCD, 2021.