

Project: **1022**

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

Principal investigator: **Hella Garny**

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

Die Arbeiten, die im Projekt MACClim durchgeführt wurden, sind entsprechend der im Antrag definierten Arbeitspakete im Folgenden aufgelistet. Aufgrund von aktuellen Entwicklungen der Forschungsfragen wurden manche Themen (und somit Simulationen) hinten angestellt (siehe 1.), andere verstärkt bearbeitet (siehe 2. und 3.). Die Rechenzeit wurde größtenteils wie geplant verbraucht. Die Simulationen werden derzeit ausgewertet, mündeten in einer erfolgreich abgeschlossenen Bachelorarbeit, und Publikationen sind in Vorbereitung. Resultate von Simulationen der vergangenen Jahre wurden nun als Publikationen eingereicht (s.u.).

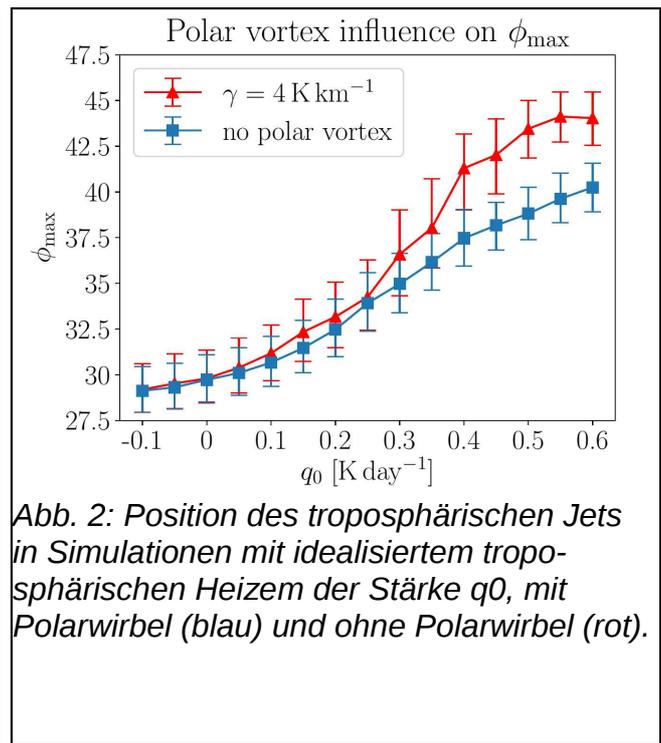
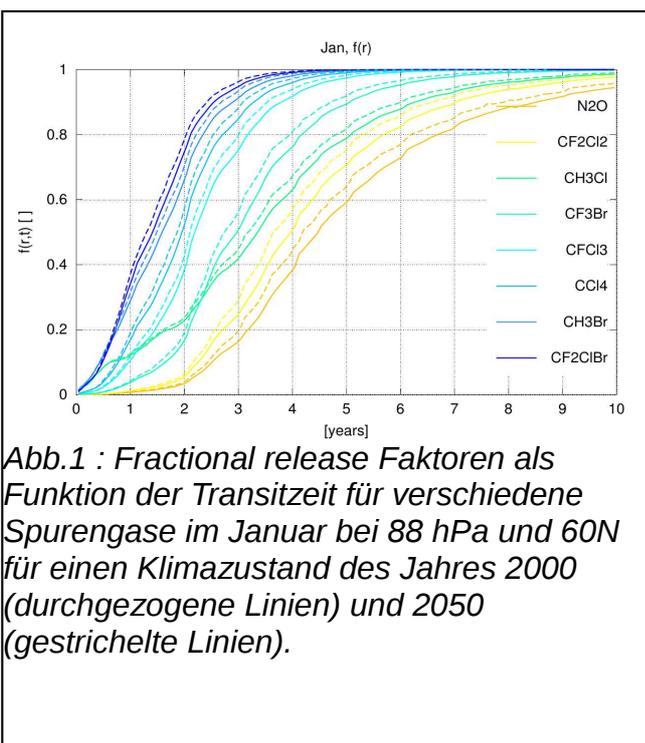
### 1 Auflösungsabhängigkeit großräumiger Mischungsprozesse (WP1/2, Simone Dietmüller)

Aufgrund der Priorisierung zusätzlicher Simulationen zu Punkt 2 und 3 wurde zu diesem Thema bisher nur eine Simulation durchgeführt. Einzelne Simulationen können gegebenenfalls noch im Rest dieses Jahres durchgeführt werden, das Gros der Rechnungen wird jedoch für kommendes Jahr neu beantragt und durchgeführt.

### 2 Transportcharakteristika abgeleitet aus Spurenstoffkonzentrationen

(WP2, Frauke Fritsch)

Die Transportzeit durch die mittlere Atmosphäre an einem Punkt wird beschrieben durch ein Spektrum von Transportzeiten ("Altersspektrum"). Das Konzept kann übertragen werden auf Spezies, die räumlich variierendem chemischem Abbau unterliegen. Darüber können lokale, transitzeitabhängige "fractional release" faktoren  $f(r,t)$  (d.h. der Teil des Spurengases, der bereits chemisch prozessiert wurde) und somit Lebenszeit  $\tau(r,t)$  bestimmt werden. Die räumliche Verteilung deren Änderung zwischen 2000 und 2050 Bedingungen konnten so bestimmt werden (siehe Abb. 1). Dabei wurden Spezies betrachtet, welche maßgeblich die Ozonchemie beeinflussen (Ozon-zerstörende Substanzen), sowie das strahlungswirksame Gas  $N_2O$ . Die Realisierung im Modell für beide Szenarien erfolgte in Zeitscheibensimulationen für jeweils 40 Jahre mit voller Chemie für 8 bzw. 9 Spezies mit 96 bzw. 108 gepulsten Tracern. Dadurch konnten  $f(r,t)$  und  $\tau(r,t)$  in monatlicher Auflösung unter Berücksichtigung der Interannualen Variabilität bestimmt werden. Daneben wurden die im Vorjahr durchgeführten Simulationen mit passiven Pulsen weiter ausgewertet, und mündeten in einer eingereichten Publikation (Fritsch et al, 2019).



### **3 Mechanistische Studien mit idealisiertem Model (WP3, Roland Walz)**

Das ECHAM/MESSy Idealised Model (EMIL) ersetzt Strahlung, Konvektion und andere physikalische Prozesse durch eine einfache Relaxation gegen eine vorgeschriebene Hintergrundtemperatur. Mit einer zusätzlichen Funktion, die diese Hintergrundtemperatur in bestimmten Regionen der Troposphäre verändern kann, wurden Klimawandlexperimente durchgeführt. In Anlehnung an die Simulationen von Wang et al. (2012) konnte bestätigt werden, dass die Stärke des stratosphärischen Polarwirbels ab einem Schwellwert des troposphärischen Temperaturanstiegs von ca. 7 K stark zunimmt. Liegt der Temperaturanstieg in der Troposphäre unter diesem Schwellwert, zeigt sich kein signifikanter Trend in der Stärke des Polarwirbels. Um die Rückkopplung dieser dynamischen, stratosphärischen Regime auf die Troposphäre zu untersuchen, wurden weitere Experimente ohne Polarwirbel durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass der Einfluss des stratosphärischen Polarwirbels auf die troposphärische Zirkulation bis zum Erreichen des Schwellwerts im troposphärischen Temperaturanstieg zu vernachlässigen ist. Erst beim Überschreiten des kritischen Temperaturanstiegs wird der troposphärische Jetstream deutlich polwärts verschoben im Vergleich zu den Simulationen ohne Polarwirbel (siehe Abb. 2).

Wird die atmosphärische Zirkulation anders als in den oben beschriebenen Simulationen nicht topographisch induziert, sondern mit einem zonal variierenden Heiztherm erzeugt, ist die geographische Breite des troposphärischen Jetstreams fast vollkommen unabhängig von der Stärke des Polarwirbels. Daher kann mit dem Setup von Lindgren et al. (2018) die Kopplung zwischen Stratosphäre und Troposphäre nicht untersucht werden. Die Ergebnisse, die diesen Schluss stützen, werden in Garny et al. veröffentlicht werden.

### **4 Einfluss chemischer Senken auf Klimatologien/ Trends von SF6 (WP2, Roland Eichinger)**

Der Spurenstoff SF6 wird häufig zur Bestimmung des Alters der Luft verwendet, die chemischen Senken von SF6 stellen jedoch einen Unsicherheitsfaktor beim Vergleich des Alters der Luft zwischen Modell- und Beobachtungsdaten dar. In Zusammenarbeit mit Kollegen am KIT hat die Gruppe EMAC Simulationen mit einem Modul, welches die chemischen Senken für SF6 parameterisiert durchgeführt. Die Auswertungen einer transienten Simulation mit dem SF6 Senken Modul zeigte, dass sich das Alter der Luft durch die chemischen Senken deutlich erhöht, wodurch eine erheblich verbesserte Vergleichbarkeit mit MIPAS Satellitendaten erreicht wurde. Darüberhinaus verändert der Trend über die letzten Dekaden durch die SF6 Senken das Vorzeichen und ist somit ebenso in Einklang mit Beobachtungsdaten von Ballonmessungen. Diese Arbeiten werden derzeit im Zuge einer Masterarbeit fortgeführt, zusätzlich ist eine Publikation dazu in Bearbeitung. Hierzu konnte anhand von zwei Sensitivitätssimulationen gezeigt werden, dass weder die Veränderung der SF6 Senken, noch der Klimawandel für die Trendumkehr im Alter der Luft durch die Senken verantwortlich ist. Stattdessen konnte gezeigt werden, dass die bloße Anwesenheit der Senken selbst einen solchen Effekt verursachen und den Effekt des Klimawandels überschatten kann. Eine weitere durchgeführte Projektionssimulation bis zum Jahre 2100 wird derzeit ausgewertet um den Effekt der Senken auf die Abschätzung des Alters der Luft mit SF6 in der Zukunft abschätzen zu können. Die Ergebnisse werden derzeit im Rahmen einer Masterarbeit ausgewertet und eine Publikation ist in Vorbereitung (Löffel et al.).

#### **Publikationen in Vorbereitung /in review:**

- 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; under review, 2019
- Eichinger, R., Garny, H., Sacha, P.:** Effects of Missing Gravity Waves on Stratospheric Dynamics; Part 2: Climate Change.; In preparation for Climate Dynamics 2020
- Löffel, S., Eichinger, R., Garny, H., Fritsch, F., Reddmann, T., Versick, S., Stiller, F. Haenel, F.:** The impact of SF6 sinks on age of air climatologies and trends, In preparation for Geophysical Research Letters 2019
- Fritsch, F., Garny, H., Engel, A., Bönisch, H., and Eichinger, R.:** Sensitivity of Age of Air Trends on the derivation method for non-linear increasing tracers, submitted to ACP, 2019
- Garny, H., Walz, R. and Nützel, M.:** Extending the Modular Earth Submodel System (MESSy v2.55) model hierarchy: The ECHAM/MESSy idealized (EMIL) model set-up, to be submitted to GMD, 2019