

Project: 1055

Project title: CMIP6 - AerChemMIP

Principal investigator: Patrick Jöckel

Report period: 2023-07-01 to 2024-06-30

Aktivitäten während des aktuellen Bewilligungszeitraums

Ziel dieses Projektes ist es mit unserem Chemie-Klima-Modell EMAC einen Beitrag zu den CMIP6 (bzw. CMIP7) Simulationen zu leisten und darüber hinaus ein verlässliches Werkzeug für zukünftige Projekte dieser Art zu schaffen.

Der im Antrag dargelegte Plan, im aktuellen Berichtszeitraum einen optimierten Wolkenparametersatz für das gekoppelte EMAC-MPIOM (T42L90MA-GR15L40) System unter Berücksichtigung einer detaillierten Atmosphärenchemie zu bestimmen, wurde jedoch erneut zurückgestellt, bzw. mit den Arbeiten dafür konnte erst unmittelbar gegen Ende des Berichtszeitraums begonnen werden. Der Grund dafür liegt in einer neu entdeckten Inkonsistenz in der Darstellung der Eissedimentation im Modell (Details siehe unten). Wie bereits im letzten Bericht dargelegt wurde, zeigten seinerzeit Testsimulationen mit Atmosphärenchemie eine höhere Strahlungsimbalanz im Atmosphärenmodell als ohne Atmosphärenchemie. Daraufhin hatten wir das Modell zunächst mit dem neueren Strahlungsschema PSrad (*Pincus und Stevens, 2013*) ausgestattet, welches eine realistischere Strahlungswirkung von Methan zeigt und eine höhere Anzahl von Banden im kurzwelligen Strahlungsbereich beinhaltet. Die Publikation dazu (Parameteroptimierung und Evaluierung des Modells ohne interaktive Atmosphärenchemie) wurde kürzlich akzeptiert (*Nützel et al., 2024*). [[Anmerkung: Inzwischen wurde PSrad aus EMAC (inkl. der darin enthaltenen diagnostischen Möglichkeiten, siehe *Nützel et al, 2024*) auch für das neue ICON/MESSy Modell angepasst. Erste technische Tests waren erfolgreich. Wir gehen also davon aus, dass die weitere ICON/MESSy Entwicklung auch von diesem Projekt profitiert, wobei EMAC weiterhin als „benchmark“ Verwendung finden wird.]]

Durch die Tests „mit Atmosphärenchemie“ hatten wir, wie bereits im letzten Bericht dargestellt,

„ ... herausgefunden, dass die Modellparameter, mit denen sich im dynamischen „set-up“, eine Strahlungsimbalanz von etwa + 1 W/m² ergibt, im „set-up“ mit interaktiver Atmosphärenchemie zu einer höheren Strahlungsimbalanz um + 2.5 W/m² führen. Als Ursache dafür konnte die heterogene Chemie in der Stratosphäre, bzw. die Bildung von Polaren Stratosphärenwolken (PSCs), ausgemacht werden. Wenn nämlich das MESSy Submodell, das die Bildung von PSCs beschreibt (MSBM), deaktiviert wird, verringert sich die Strahlungsimbalanz um etwa + 1 W/m². Dies geschieht durch eine erhöhte Bildung von Eiswolken unterhalb der PSCs, die dazu führt, dass weniger langwellige Strahlung die Atmosphäre verlassen kann. Somit wird der langwellige Wolkeneffekt verstärkt Die erhöhte Reflektion von kurzwelliger Strahlung spielt eine untergeordnete Rolle, da PSCs in der polaren Winterhemisphäre gebildet werden und dort kaum kurzwellige Strahlung ankommt. Auf Grund der zu hohen Strahlungsimbalanz haben wir die Modellparameter für das „set-up“ mit interaktiver Chemie nachjustiert. Mit diesem Parametersatz ergibt sich eine Strahlungsimbalanz von etwa + 1 W/m² für „present-day“ Bedingungen.“

Inzwischen hat eine tieferegehende Analyse von Simulationsdaten aus dem DKRZ Projekt 1132 (MIMETIC) die Erklärung für die „erhöhte Bildung von Eiswolken unterhalb der PSCs“ erbracht: Eine im Projekt 1132 durchgeführte 4xCO₂ Simulation führte nach einigen Jahren zu einem „run-away-effect“, in dem in der tropischen Stratosphäre verstärkt und ungebremst Eiswolken gebildet und nach oben transportiert wurden. Dieses unrealistische Verhalten des Modells hat unser Team dazu veranlasst noch einmal genauer hinzuschauen. Einige weitere Simulationen und Analysen waren nötig, um die Ursache des Problems letztendlich einzugrenzen: es handelte sich offenbar um einen logischen Fehler in der Kopplung des „klassischen“ Wolkenschemas mit dem *Multiphase Stratospheric Box Model (MSBM, Jöckel et al., 2016, section 3.5.3)*, welcher dazu führte, dass die Sedimentation von Eiskristallen aus der unteren Stratosphäre unter bestimmten Umständen unterdrückt wurde. Der Logikfehler konnte inzwischen behoben werden, allerdings sind damit natürlich zusätzliche Simulationen zur erneuten Parameteroptimierung und Evaluierung nötig. Diese Simulationen wurden unter den gegebenen Umständen den in diesem Projekt ursprünglich geplanten Simulationen vorgezogen. Der Grund dafür ist wie folgt:

Bisher sind wir davon ausgegangen, dass wir am Ende für die anvisierte Modellauflösung T42L90MA(-GR15L40) **vier** Parameterätze für die optimierte Strahlungsbilanz benötigen werden: jeweils einer für die beiden rein dynamischen „set-ups“ (also ohne interaktive Atmosphärenchemie) mit vorgeschriebenen SST/SIC (A-GCM) und gekoppeltem Ozeanmodell (AO-GCM) sowie jeweils ein weiterer Parametersatz für die zugehörigen „set-ups“ mit Atmosphärenchemie (A-CCM und AO-CCM). Die zum Zeitpunkt dieser Berichterstellung noch laufenden Simulationen und Analysen geben jedoch Anlass zur Annahme, dass es möglich sein wird mit nur **zwei** Parametersätzen auszukommen, nur abhängig davon, ob ein Ozeanmodell gekoppelt ist oder nicht. Mit anderen Worten, wir testen zur Zeit, ob es möglich ist, einen für die A-GCM und A-CCM „set-ups“ gemeinsamen Parametersatz zu finden, mit dem sowohl die vorindustrielle (pre-industrial) als auch die neuzeitliche (present day) Strahlung(im)bilanz realistisch reproduziert werden kann. Sollte dies gelingen, dann können wir auch erwarten, dass ein gemeinsamer Parametersatz für die AO-GCM und AO-CCM „set-ups“ möglich sein wird. Dies wäre ein großer Fortschritt, insbesondere für die CMIP-Aktivitäten, da set-ups „mit“ und „ohne“ interaktiver Atmosphärenchemie bzgl. der gewählten Parameter damit

konsistent würden. Diese Aussicht hat uns veranlasst, die laufenden Tests vorzuziehen und die Parameteroptimierung des AO-GCM (und damit ggf. des AO-CCM) „set-ups“ in den nächsten Bewilligungszeitraum zu verschieben.

Referenzen

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., and Zahn, A. (2016): Earth System Chemistry integrated Modelling (ESCiMo) with the Modular Earth Submodel System (MESSy) version 2.51, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1153–1200, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1153-2016>

Nützel, M., Stecher, L., Jöckel, P., Winterstein, F., Dameris, M., Ponater, M., Graf, P., and Kunze, M.: Updating the radiation infrastructure in MESSy (based on MESSy version 2.55), *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-2140>, 2023. – accepted by GMD 2024.

Pincus, R., and Stevens B. (2013), Paths to accuracy for radiation parameterizations in atmospheric models, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5, 225–233, doi:10.1002/jame.20027 <https://doi.org/10.1002/jame.20027>