

Projekt: id0853
Berichtszeitraum: 01.01.2019 - 31.12.2019
Projekttitel: Earth System Chemistry Integrated Modelling (ESCiMo)
Federführender Wissenschaftler: Dr. Patrick Jöckel

Im o.a. Bewilligungszeitraum wurden weitere Simulationen mit EMAC für die "Chemistry Climate Model Initiative" (CCMI) durchgeführt bzw. weitergeführt. Diese sind in Tabelle 1 in der thematischen Übersicht und in Tabelle 2 zusammen mit den verwendeten Ressourcen gelistet.

Simulation	Setup	Bemerkung
SC1SD-base-03	T42L90MA (RCP8.5) 2005/01 -- 2018/12 T42L90MA	nudged with 6-hourly ERA-5 data; updated model version; including isotopologues of H ₂ O and CH ₄ (HDO, CH ₃ D, ¹³ CH ₄); emissions according to RCP8.5 scenario
SC1SD-base-04	T42L90MA (RCP6.0) 2005/01 -- 2018/12 T42L90MA	nudged with 6-hourly ERA-5 data; updated model version; including isotopologues of H ₂ O and CH ₄ (HDO, CH ₃ D, ¹³ CH ₄); emissions according to RCP8.5 scenario
SC1SD-hour-03	T42L90MA (RCP8.5)	1.5 years, nudged with hourly ERA-5 data
SC1SD-hour-04	T42L90MA (RCP6.0)	1.5 years, nudged with hourly ERA-5 data
SC1SD-base-01	T42L90MA (RCP8.5) 2017/08 -- 2018/07	specified dynamics ("nudged" towards ERA-Interim); emission scenario RCP8.5
SC1SD-base-02	T42L90MA (RCP6.0) 2017/08 -- 2018/07	specified dynamics ("nudged" towards ERA-Interim); emission scenario RCP6.0
RC2-sCFC11-01	T42L90MA (RCP6.0) 2002/01 – 2050/12	as RC2-base-04 but with CFC11 fixed at 2002 conditions
RC2-sCFC11-02	T42L90MA (RCP6.0) 2002/01 – 2010/02	as RC2-sCFC11-01 but with CFC11 fixed at 2002/12 conditions
RC2-sCFC11-03	T42L90MA (RCP6.0) 2018/01 – 2020/12	as RC2-sCFC11-01 but with CFC11 fixed at 2017 conditions
RC2-sCFC11-04	T42L90MA (RCP6.0) 2020/01 – 2050/12	branched from RC2-base-04 with transient CFC11 (2002 onwards) after 2020
ERA-5 nudging data; step 1 (resolution independent)	1990 – 2018	pre-processing of ERA-5 data for SD simulations

Tabelle 1: Übersicht über die EMAC Simulationen im Projekt ESCiMo im Jahr 2019. Die grau unterlegten Zeilen zeigen die Simulationen aus dem Antrag, die nicht durchgeführt wurden. Die blau unterlegten Simulationen wurden stattdessen durchgeführt. Die weiß unterlegten Simulationen wurden noch im Nov/Dez 2018 durchgeführt und tauchen daher in Tabelle 2 nicht auf.

Simuliert wurde in der spektralen Auflösung **T42** mit 90 (L90MA) Schichten zwischen Boden und ca. 80 km (MA = middle atmosphere), jeweils auf 10 Knoten von "mistral":

- Die „specified dynamics“ Simulationen (**SC1SD-base-03/04** und **SC1SD-hour-03/04**) konnten nicht durchgeführt werden, da die Bereitstellung der notwendigen „nudging“-Daten basierend auf ECMWF ERA-5 Reanalysedaten eine komplette Restrukturierung der notwendigen Vorprozessierung erforderte. Für eine effiziente Prozessierung der Daten musste aufgrund der großen Datenmenge der Ausgangsdaten (spektrale Auflösung T317, stündlich) die Vorprozessierung in zwei Teilschritte aufgeteilt werden: einen Schritt, der von der Zielmodellauflösung unabhängig ist, und einen auflösungsspezifischen Schritt. Diese Aufteilung reduziert einen großen Teil der ansonsten wiederholt anzuwendenden Operatoren (cdo) und ermöglicht die gleichzeitige Prozessierung verschiedener Zielauflösungen, erfordert aber die Speicherung der Zwischenergebnisse aus Schritt 1. Dies wurde im o.a. Berichtszeitraum für die Jahre 1990-2018 durchgeführt, siehe Tabellen 1 und 2. Die dadurch anfallenden zusätzlichen knapp 90 TByte mussten auf /work vorgehalten werden, so dass weder ausreichend Platz für zusätzliche Simulationsdaten, noch für die noch zu prozessierenden auflösungsspezifischen „nudging“-Daten (Schritt 2) vorhanden war. Die Situation in /work

wurde noch weiterhin dadurch erschwert, dass die Projektdaten vom DKRZ noch nicht nach /doku überführt wurden. Aus diesem Grund müssen diese auch im nächsten Jahr noch weiter in /work vorgehalten werden, siehe Antrag.

- Die bestehenden Simulationen (**SC1SD-base-01/02**) wurden aber wie geplant um den in der Tabelle 1 angegebenen Zeitraum verlängert, um einen Vergleich mit neueren Messdaten zu ermöglichen. Der Vergleich beider Szenarien, RCP6.0 und RCP8.5 erlaubt eine Abschätzung der Unsicherheiten bzgl. der Spurengasemissionen. Dies erfolgte aber bereits im Nov/Dez 2018, also unmittelbar nach dem Report 2018, und taucht daher in Tabelle 2 nicht mehr auf.
- Aus aktuellem Anlass¹ (siehe auch *Dameris et al., 2019*) wurde bereits in 2018 die Simulation RC2-sCFC11-01 begonnen, um die Frage zu beantworten, welche möglichen Auswirkung die kürzlich entdeckten Verstöße¹ gegen das Protokoll von Montreal auf die stratosphärische Ozonschicht haben. Diese Simulation ist in Tabelle 2 gelb markiert und nicht Bestandteil der Summen. **RC2-sCFC11-01** wurde aber im Berichtszeitraum fertiggestellt und auf Wunsch der Gutachter (*Dameris et al., 2019*) durch 3 weitere Sensitivitätssimulationen ergänzt (**RC2-sCFC11-02/03/04**). Die Ergebnisse dazu stehen kurz vor der finalen Veröffentlichung.

simulation	resolution	number of simulated years	node-h / year	data size [TByte/year]	node-h	data size [TByte]
SC1SD-base-03						
SC1SD-base-04						
SC1SD-hour-03						
SC1SD-hour-04						
SC1SD-base-01	T42L90MA					
SC1SD-base-02	T42L90MA					
RC2-sCFC11-01	T42L90MA	48	263.0	2.61	12624.0	125.28
RC2-sCFC11-01	T42L90MA	1	263.0	2.61	263.0	2.61
RC2-sCFC11-02	T42L90MA	8	263.0	2.61	2104.0	20.88
RC2-sCFC11-03	T42L90MA	3	263.0	2.61	789.0	7.83
RC2-sCFC11-04	T42L90MA	31	263.0	2.61	8153.0	80.91
ERA-5 nudging data	step 1 (resolution independent)	29		3.1		89.90
SUMME 2018					11309	202.13

Tabelle 2: Übersicht über die verbrauchten Ressourcen im Jahr 2018 bis zum Stichtag 21.10.2018.

Zusätzlich wurden bis zum Stichtag 1000 node-h für Vor- und Nachprozessierung, Testsimulationen, "debugging" und die Vorbereitung weiterführender Modellsetups, bzw. die Entwicklung zur neuen EMAC Version 2.55.0 verwendet.

Die Aufbereitung und der "upload" der geforderten Daten für CCMI wurde auch 2019 fortgesetzt und wird auch in 2019 auf Grund von Problemen beim BADC nicht abgeschlossen werden können. Zudem wurde auch mit der Übertragung der Daten von /arch nach /doku in 2019 begonnen, die Übertragung ist jedoch keineswegs abgeschlossen.

¹ Montzka, S. A., Dutton, R., Yu, P., Ray, E., Portmann, R. W., Daniel, J. S., Kuijpers, L., Hall, B. D., Mondeel, D., Siso, C., Nance, D. J., Rigby, M., Manning, A. J., Hu, L., Moore, F., Miller, B. R., Elkins, J. W.: A persistent and unexpected increase in global emissions of ozone-depleting CFC-11, *Nature*, 557, 413–417, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0106-2>, 2018.

Ausblick

Im nächsten Bewilligungszeitraum (d.h. 2020) soll der Übergang zu CCMI-2 mit vorbereitenden Simulationen begonnen werden, ebenso sollen neue "specified dynamics" Simulationen (SC1SD-base) mit ERA-5 Daten und neuen CMIP6 Szenarien durchgeführt werden. Dazu ist es auch notwendig, die Vorprozessierung der ERA-5 Daten weiterzuführen. Darüber hinaus soll die Übertragung der Daten von /arch nach /doku weitergeführt werden.

Weitere **Publikationen**, die auf den Daten des ESCiMo-Projektes beruhen, sind erschienen:

Petropavlovskikh, I., Godin-Beekmann, S., Hubert, D., Damadeo, R., Hassler, B., & Sofieva, V.: SPARC/IO3C/GAW Report on Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere, Tech. rep., doi: 10.17874/f899e57a20b, URL <https://elib.dlr.de/126666/>, 9th assessment report of the SPARC project, published by the International Project Office at DLR-IPA. also: GAW Report No. 241; WCRP Report 17/2018 (2019)

Revell, L. E., Stenke, A., Tummon, F., Feinberg, A., Rozanov, E., Peter, T., Abraham, N. L., Akiyoshi, H., Archibald, A. T., Butchart, N., Deushi, M., Jöckel, P., Kinnison, D., Michou, M., Morgenstern, O., O'Connor, F. M., Oman, L. D., Pitari, G., Plummer, D. A., Schofield, R., Stone, K., Tilmes, S., Visionsi, D., Yamashita, Y., & Zeng, G.: Tropospheric ozone in CCMI models and Gaussian process emulation to understand biases in the SOCOLv3 chemistry–climate model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18, 16 155–16 172, doi: 10.5194/acp-18-16155-2018, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/18/16155/2018/> (2018)

Chrysanthou, A., Maycock, A. C., Chipperfield, M. P., Dhomse, S., Garny, H., Kinnison, D., Akiyoshi, H., Deushi, M., Garcia, R. R., Jöckel, P., Kirner, O., Pitari, G., Plummer, D. A., Revell, L., Rozanov, E., Stenke, A., Tanaka, T. Y., Visionsi, D., & Yamashita, Y.: The effect of atmospheric nudging on the stratospheric residual circulation in chemistry–climate models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 11 559–11 586, doi: 10.5194/acp-19-11559-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/11559/2019/> (2019)

Lamy, K., Portafaix, T., Josse, B., Brogniez, C., Godin-Beekmann, S., Bencherif, H., Revell, L., Akiyoshi, H., Bekki, S., Hegglin, M. I., Jöckel, P., Kirner, O., Liley, B., Marecal, V., Morgenstern, O., Stenke, A., Zeng, G., Abraham, N. L., Archibald, A. T., Butchart, N., Chipperfield, M. P., Di Genova, G., Deushi, M., Dhomse, S. S., Hu, R.-M., Kinnison, D., Kotkamp, M., McKenzie, R., Michou, M., O'Connor, F. M., Oman, L. D., Pitari, G., Plummer, D. A., Pyle, J. A., Rozanov, E., Saint-Martin, D., Sudo, K., Tanaka, T. Y., Visionsi, D., & Yoshida, K.: Clear-sky ultraviolet radiation modelling using output from the Chemistry Climate Model Initiative, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 10 087–10 110, doi: 10.5194/acp-19-10087-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/10087/2019/> (2019)

Harari, O., Garfinkel, C. I., Ziskin Ziv, S., Morgenstern, O., Zeng, G., Tilmes, S., Kinnison, D., Deushi, M., Jöckel, P., Pozzer, A., O'Connor, F. M., & Davis, S.: Influence of Arctic stratospheric ozone on surface climate in CCMI models, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 9253–9268, doi: 10.5194/acp-19-9253-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/9253/2019/> (2019)

Polvani, L. M., Wang, L., Abalos, M., Butchart, N., Chipperfield, M. P., Dameris, M., Deushi, M., Dhomse, S. S., Jöckel, P., Kinnison, D., Michou, M., Morgenstern, O., Oman, L. D., Plummer, D. A., & Stone, K. A.: Large Impacts, Past and Future, of Ozone-Depleting Substances on Brewer-Dobson Circulation Trends: A Multimodel Assessment, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 0, doi: 10.1029/2018JD029516, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018JD029516> (2019)

Šácha, P., Eichinger, R., Garny, H., Pišoft, P., Dietmüller, S., de la Torre, L., Plummer, D. A., Jöckel, P., Morgenstern, O., Zeng, G., Butchart, N., & Añel, J. A.: Extratropical age of air trends and causative factors in climate projection simulations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 7627–7647, doi: 10.5194/acp-19-7627-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/7627/2019/> (2019)

Gillett, Z. E., Arblaster, J. M., Dittus, A. J., Deushi, M., Jöckel, P., Kinnison, D. E., Morgenstern, O., Plummer, D. A., Revell, L. E., Rozanov, E., Schofield, R., Stenke, A., Stone, K. A., & Tilmes, S.: Evaluating the Relationship between Interannual Variations in the Antarctic Ozone Hole and Southern Hemisphere Surface Climate in ChemistryClimate

Models, Journal of Climate, 32, 3131–3151, doi: 10.1175/JCLI-D-18-0273.1, URL <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0273.1> (2019)

Yang, H., Waugh, D. W., Orbe, C., Zeng, G., Morgenstern, O., Kinnison, D. E., Lamarque, J.-F., Tilmes, S., Plummer, D. A., Jöckel, P., Strahan, S. E., Stone, K. A., & Schofield, R.: Large-scale transport into the Arctic: the roles of the midlatitude jet and the Hadley Cell, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 5511–5528, doi: 10.5194/acp-19-5511-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/5511/2019/> (2019b)

Williams, R. S., Hegglin, M. I., Kerridge, B. J., Jöckel, P., Latter, B. G., & Plummer, D. A.: Characterising the seasonal and geographical variability in tropospheric ozone, stratospheric influence and recent changes, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 3589–3620, doi: 10.5194/acp-19-3589-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/3589/2019/> (2019)
Bais, A. F., Bernhard, G., McKenzie, R. L., Aucamp, P. J., Young, P. J., Ilyas, M., Jöckel, P., & Deushi, M.: Ozone-climate interactions and effects on solar ultraviolet radiation, *Photochem. Photobiol. Sci.*, pp. –, doi: 10.1039/C8PP90059K, URL <http://dx.doi.org/10.1039/C8PP90059K> (2019)

Eichinger, R., Dietmüller, S., Garny, H., Šácha, P., Birner, T., Bönisch, H., Pitari, G., Visionsi, D., Stenke, A., Rozanov, E., Revell, L., Plummer, D. A., Jöckel, P., Oman, L., Deushi, M., Kinnison, D. E., Garcia, R., Morgenstern, O., Zeng, G., Stone, K. A., & Schofield, R.: The influence of mixing on the stratospheric age of air changes in the 21st century, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19, 921–940, doi: 10.5194/acp-19-921-2019, URL <https://www.atmos-chem-phys.net/19/921/2019/> (2019)

Yang, H., Waugh, D. W., Orbe, C., Patra, P. K., Jöckel, P., Lamarque, J.-F., Tilmes, S., Kinnison, D., Elkins, J. W., & Dlugokencky, E. J.: Evaluating Simulations of Interhemispheric Transport: Interhemispheric Exchange Time versus SF6 Age, *Geophysical Research Letters*, 46, doi: 10.1029/2018GL080960, URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2018GL080960> (2019a)

Folgende oben erwähnte Veröffentlichung ist akzeptiert, jedoch zum Stichtag noch nicht final publiziert:

Dameris, M., Jöckel, P., and Nützel, M.: Implications of constant CFC-11 concentrations for the future ozone layer, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-239>, accepted, 2019.

Weitere Publikationen sind z.Zt. bereits in der Begutachtung bzw. in Vorbereitung.