

Project: **1062**
 Project title: **ÖkoLuft**
 Principal investigator: **Volker Grewe**
 Report period: **01.11.2021 - 31.12.2022**

Projektübersicht

Der Fokus des Projekts ist die Anwendung, Entwicklung und Verifikation eines Klima- Chemie-Modells auf regionaler und globaler Skala um die Wirkung von Luftverkehrsemissionen und die Ökoeffizienz möglicher Mitigationsmaßnahmen im Luftverkehr untersuchen zu können. Für den Berichtszeitraum wurde für vier Themen Rechenzeit beantragt. Leider konnten die Arbeiten nicht wie geplant durchgeführt werden. Im Detail:

- 2.1. Entwicklung OpenAirClim: Aufgrund von Personalmangels hat sich der Start des Projekts verzögert. Es konnte nun ein Projektleiter und weiteres Personal gefunden werden, so dass mit einem Start des Projekt Anfang 2023 gerechnet wird.
- 2.2. Atmosphären-chemische und mikrophysikalische Prozesse und ihre Rolle für den Luftverkehr
 - 2.2.1. Vergleich der Simulaitonsdaten mit Messungen (CARIBIC/IAGOS)

Mitte des Jahres konnte eine Mitarbeiterin gefunden werden (bb309140), die sich in der Einarbeitungsphase befindet. Produktionsläufe sind gegen Ende 2022/Anfang 2023 geplant.
 - 2.2.2. Algorithmische Klimawirkungsfunktionen (aCCFs, algorithmic Climate Change Functions): Anstelle der angestrebten Weiterentwicklung und Verifizierung der algorithmischen Klimawirkungsfunktionen, wurden die bestehenden Algorithmen für eine größere Anwendung bereitgestellt. Das gewährleistet eine effektivere Verwendung und Verbreitung der Algorithmen die auf den am DKRZ errechneten Daten beruhen. Dies mündete in eine Python Library die frei verfügbar ist (Dietmüller et al. 2022, s.u.). Die breite Benutzung dieser Funktionen zeigt die Wichtigkeit der Arbeiten (Simorgh et al. 2022, Yin et al. 2022, uvm.).
- 2.3. Die Validierung der aCCFs wurde von einem Kooperationspartner (TU-Delft) übernommen (Rao et al. 2022).
- 2.4. Überschall-Luftverkehr: Es ist uns gelungen die Simulationen für das STRATOFly-EU-Projekt weitgehend in 2021 fertig zu stellen (Pletzer et al. 2022, Pletzer und Grewe, 2022; s.u.). Die neuen Arbeiten in den EU-Projekten More&Less und SENECA, die sich auf andere Überschallkonzepte beziehen als in STRATOFly, sind noch in der Testphase und Produktionsläufe sind für Ende 2022 und Anfang 2023 geplant. Die Verzögerung ergab sich durch Auffinden eines Fehlers in den zugrundeliegenden Emissionsdaten, dessen Analyse zeitraubend war. Der Fehler und die Abschätzung der Wichtigkeit ist in einer Publikation nun dokumentiert (Thor et al., 2022).

Berechnung von Klimawirkungsfunktionen in einer Python Library

Algorithmische Klimawirkungsfunktionen, kurz aCCFs (algorithmic climate change functions) beschreiben die räumlich und zeitliche aufgelöste Klimawirkung von Luftverkehrsemissionen. Somit können aCCFs dazu verwendet werden den Flugverkehr hinsichtlich seiner Klimawirkung zu optimieren. Die ersten Prototypen individueller aCCFs (Wasserdampf, Ozon, Methan und Kondensstreifen aCCF) wurden im EU Projekt ATM4E entwickelt. Das EU Projekt FlyATM4E stellte dann das erste konsistente Set von aCCFs (aCCF-Version 1.0, Yin, et al. 2022) bereit. Zudem wurde in FlyATM4E ein Konzept erarbeitet wie individuelle aCCFs (also aCCF von Wasserdampf, Ozon, Methan und Kondensstreifen) unter Annahme bestimmter technischer Spezifikationen (z.B. Emissionsindex von NO_x) zu einer „merged aCCF“ kombiniert werden können. Für eine technisch effiziente und benutzerfreundliche Berechnung individueller aCCFs sowie von merged aCCFs wurde die Python Library CLIMaCCF entwickelt (Dietmüller et al. 2022). Der schematische Aufbau dieser Python Library wird in Abbildung 1 gezeigt.

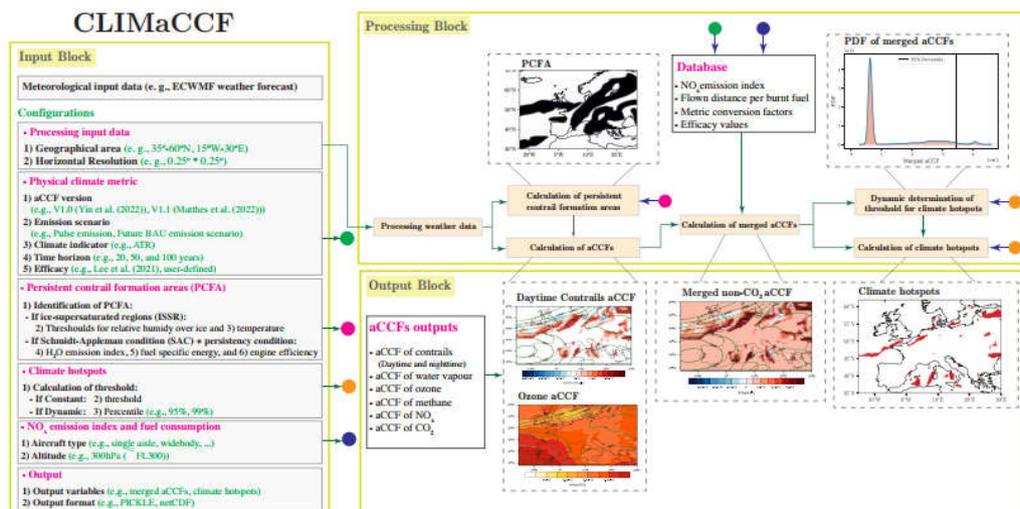


Abb. 1: Schematische Darstellung des Workflows der Python Library CLIMaCCF.

Emissionen einer potentiellen Hyperschallflotte und deren Wirkung auf die Ozonschicht und das Klima

Das EU-Projekt STRATOFly hat sich mit der technischen Möglichkeit einer Hyperschall-Flotte (Mach 8; 25-30 km Flughöhe) beschäftigt und die Umweltwirkungen abgeschätzt. Letzteres sind Arbeiten die am DKRZ stattgefunden haben und in 2 Publikationen dokumentiert sind, bzw. werden (Pletzer et al. 2022; Pletzer and Grewe, 2022). Bei der Abschätzung der Klimawirkung des Überschallverkehrs für geringere Flughöhen war zum Anfang des Projekts bekannt, dass der emittierte Wasserdampf den weitaus größten Beitrag zur Klimawirkung des Überschallverkehrs hat, größer als CO₂. Die Arbeitshypothese für Hyperschallflugverkehr, der in größeren Höhen (25-30 km) stattfindet, war eine deutlich reduzierter Beitrag des emittierten Wasserdampf, da in größeren Höhen die Reaktion mit OH und die Photolyse des Wasserdampfs einer Akkumulierung entgegenwirken sollte. Pletzer et al. (2022) gelang es mit Hilfe einer detaillierten chemischen Budgetanalyse (Abbildung 2), diese Arbeitshypothese zu widerlegen. erstaunlicherweise findet eine Rekombination statt und es wird der Methanabbau forciert, der zu einer weiteren Wasserdampfemission führt. Beide Effekte führen zu einer weiteren Zunahme der Lebenszeit einer Störung der Wasserdampf-Konzentration mit zunehmender Höhe der Emission, bzw. Flughöhe.

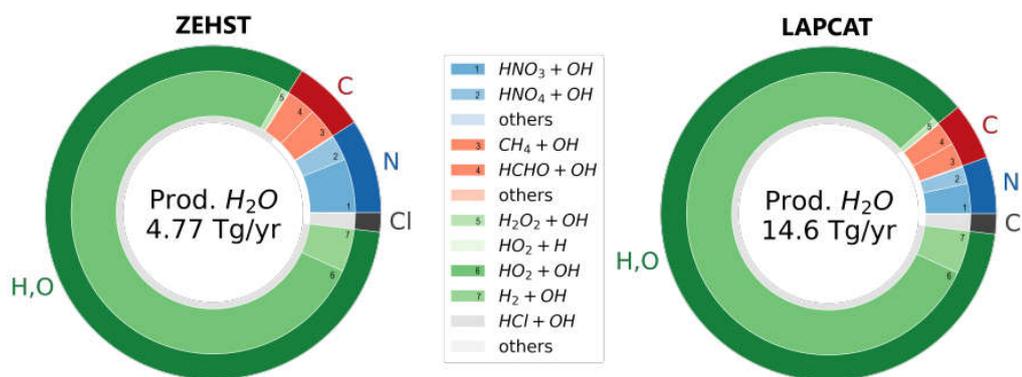


Abb. 2: Analyse der chemischen Produktion von Wasserdampf in der Stratosphäre durch Einbringung von zusätzlichem Wasserdampf durch die ZEHST (25 km) und LAPCAT (30 km) Hyperschallflotten.

In einer weiteren Publikation (Pletzer et al. 2022b) wurden eine Vielzahl weiterer Sensitivitäten bezüglich des Emissionsortes (geografische Breite und Höhe) analysiert. Ein vereinfachtes Tool wurde hieraus entwickelt um eine Klimawirkungsanalyse im Flugzeugdesign integrieren zu können und damit dessen Optimierung zu ermöglichen. Dieses tool steht auf ZENODO den Projektpartnern zur Verfügung. Nach einer Embargofrist wird ein allgemeiner Zugang ermöglicht.

Referenzen (publiziert und in Planung)

- Dietmüller, S., Matthes, S., Dahlmann, K., Yamashita, H., Simorgh, A., Soler, M., Linke, F., Lührs, B., Meuser M.M. Weder, C., Grewe, V., Yin, F., Castino, F., A python library for computing individual and merged non-CO₂ algorithmic climate change functions: CLIMaCCF V1.0, Geosci. Model Dev. Discussion, 2022
- Pletzer, J., Hauglustaine, D., Cohen, Y., Jöckel, P., and Grewe, V., The Climate Impact of Hydrogen Powered Hypersonic Transport, EGU sphere [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2022-285>, in press, Atmos. Chem. Phys., 2022.
- Pletzer, J., and Grewe, V., Sensitivities of Climate and Atmospheric Composition Changes to Emissions from a Potential Fleet of Hypersonic Aircraft as a Function of Altitude and Latitude of Emissions, ACPD, in prep. 2022.
- Rao, P., Yin, F., Grewe, V., Yamashita, H., Jöckel, P., Matthes, S., Mertens, M., Frömming, C., Case study for testing the validity of NO_x-ozone algorithmic climate change functions for optimising flight trajectories, Aerospace 9, doi: 10.3390/aerospace9050231, 2022.
- Simorgh, A., Soler, M., González-Arribas, D., Matthes, S., Grewe, V., Dietmüller, S., Baumann, S., Yamashita, H., Yin, F., Castino, F., Linke, F., Lührs, B., Meuser, M.M. A Comprehensive Survey on Climate Optimal Aircraft Trajectory Planning. Aerospace, 9, 146, <https://doi.org/10.3390/aerospace9030146>, 2022.
- Thor, R.N, Mertens, M., Matthes, S., Righi, M., Hendricks, J., Brinkop, S., Graf, P., Grewe, V., Jöckel, P., and Smith, S., An inconsistency in aviation emissions between CMIP5 and CMIP6 and the implications for short-lived species and their radiative forcing, GMDD, submitted, 2022.
- Yin, F., Grewe, V., Castino, F., Rao, P., Matthes, S., Dahlmann, K., Dietmüller, S., Frömming, C. Yamashita, H., Peter, P., Klingaman, E., Shine, K., Lührs, B., and Linke, F.: Predicting the climate impact of aviation for en-route emissions: The algorithmic climate change function submodel ACCF 1.0 of EMAC 2.53, Geosci. Model Dev. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/gmd-2022-220>, in review, 2022.