

Project: **1062**
 Project title: **ÖkoLuft**
 Principal investigator: **Volker Grewe**
 Report period: **01.01.2025 - 31.12.2025**

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/Speicherplatz beantragt. Im Detail:

- 2.1. Entwicklung von OpenAirClim: Um die atmosphärische Reaktion in Bezug auf die NO_x-Emissionen an verschiedenen Standorten zu untersuchen, wurden 2024 globale Simulationen durchgeführt. Die OpenAirClim Version 2.8.3 wurde 2024 erfolgreich auf der Grundlage dieser Simulationsergebnisse veröffentlicht. Für die weitere Entwicklung werden im Jahr 2025 Simulationen mit unterschiedlichen Emissionsstärken durchgeführt.
- 2.2. Algorithmische Klimawirkungsfunktionen (aCCFs, algorithmic Climate Change Functions): In den Projekten D-KULT und F4EClim werden die Kondensstreifen und NO_x-aCCFs weiterentwickelt.
- 2.3. Überschall-Luftverkehr: Um die atmosphärische Sensitivität im Hinblick des NO_x-Emissionsindex einer zukünftigen Flotte zu untersuchen, wurden in der ersten Hälfte des Jahres 2024 globale Simulationen durchgeführt. Für das Projekt MOREandLESS wurden in 2024 Sensitivitäten hinsichtlich Flottengröße und Flughöhe durchgeführt. Für das Projekt SENECA werden im ersten Quartal 2025 Simulationen mit drei Emissionskatastern mit der Cold-Start Prozedur durchgeführt.
- 2.4. Daten aus WeCare Simulationen zum Vergleich mit bisherigen Simulationen

Entwicklungen für OpenAirClim v4.0

Das open-source Responsemodell [OpenAirClim](#) dient der Bewertung der Klimawirkung von Luftfahrtemissionen. Entscheidend für die Nutzer sind die Benutzerfreundlichkeit, die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten und Schnelligkeit der ausgeführten Simulationsdurchläufe (Völk et al., 2023, Völk et al., in prep.). Voraussetzung für eine aussagekräftige und belastbare Ozon- und Methan-Response sind die zugrunde liegenden Responseflächen, welche für emittiertes NO_x mit dem Chemie-Klimamodell EMAC erzeugt werden. Im Berichtsjahr wurden Simulationen für 288 Emissionsregionen fertiggestellt. Ein Teil der Simulationen musste aufgrund von aufgetretenem Übersprechen in den Signalen wiederholt werden. Derzeit werden die Ergebnisse einer Diagnostik unterzogen und validiert (siehe Abbildung 1).

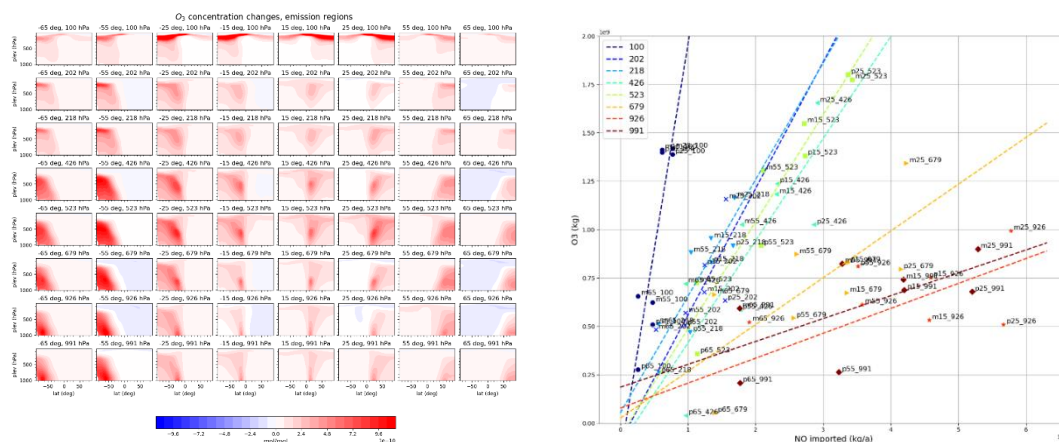


Abbildung 1 (links) Simulierter Response der orts aufgelösten Ozon-Konzentrationsänderungen pro idealisierter Emissionsregion. (rechts) Integrierte Ozon-Massenänderungen in Abhängigkeit vom importierten NO. Jeder Punkt stellt das Verhältnis für eine Emissionsregion dar; die Linien sind Fits für Emissionsregionen einer bestimmten Höhe in hPa.

Klimawirkungsfunktionen und algorithmische Klimawirkungsfunktionen

Ein wesentlicher Teil der Klimaeffekte des Luftverkehrs besteht aus Nicht-CO₂-Effekten wie Kondensstreifen und Ozon. Da diese Effekte von Ort und Zeit der Emissionen abhängen, können Klimawirkungsfunktionen (CCFs) und algorithmische Klimawirkungsfunktionen (aCCFs) genutzt werden, um die Klimaeffekte durch ökoeffiziente Flugrouten zu reduzieren. Während CCFs rechenintensiv sind, bieten aCCFs eine schnelle aber vereinfachte Abschätzung und ermöglichen einen praktischen Einsatz für ökoeffiziente Flugplanung. Im Rahmen des WeCare Projektes wurden bisherige CCFs (Grewe et al., 2014, Frömming et al., 2021) räumlich und saisonal erweitert (Grewe et al., 2017, Frömming et al., in prep). Diese CCFs liefern vergleichbare Ergebnisse zu früheren CCFs. ACCFs zeigen im Vergleich mit detailliert berechneten CCFs, dass allgemeine Größenordnungen und deren Variabilität zwar erfasst werden, im Detail aber einige Abweichungen und Unterschiede auftreten. CCFs aus WeCare bieten wertvolle Daten zur

Verbesserung zukünftiger aCCF-Formulierungen für breitere Anwendungen.

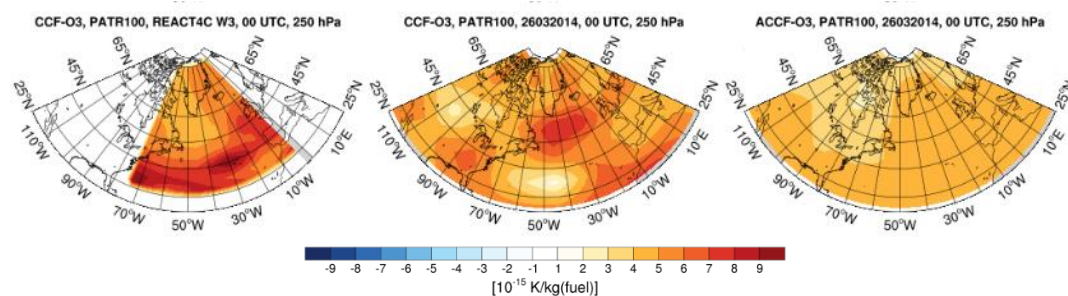


Abbildung 2 Simulierte Ozon-Klimawirkungsfunktionen ($P\text{-ATR100}$ [K/kg(fuel)]) von REACT4C (linke Spalte) und WeCare (mittlere Spalte) und vereinfachte algorithmische Klimawirkungsfunktionen (rechte Spalte) für eine Winter-Wettersituation (REACT4C) bzw. 26. März 2014 (WeCare und aCCFs) für ein exemplarisches Druckniveau.

Überschallluftverkehr

Für das EU Horizon Projekt SENECA wurde eine der drei beantragten Simulationen durchgeführt. Für die letzten Simulationen wurden die Emissionskataster von Projektpartnern nicht rechtzeitig bereitgestellt und die Berechnung steht noch aus. Die Ergebnisse aus den Simulationen für die EU Projekte STRATOFly (Pletzer & Grewe 2024) und MOREandLESS (multi-model comparison, van t Hoff et al. 2025) wurden 2025 in zwei Softwares gebündelt, die auf GitHub gehostet und auf Zenodo gelistet sind:

1. hypersonic-effects, version 2.1, Weiterentwicklung
2. supersonic-effects, version 1.0, Neuentwicklung

Die jeweilige Software dient dem Wissenstransfer für fachfremde Kollegen und Kolleginnen, die auf Flugzeugdesign spezialisiert sind.

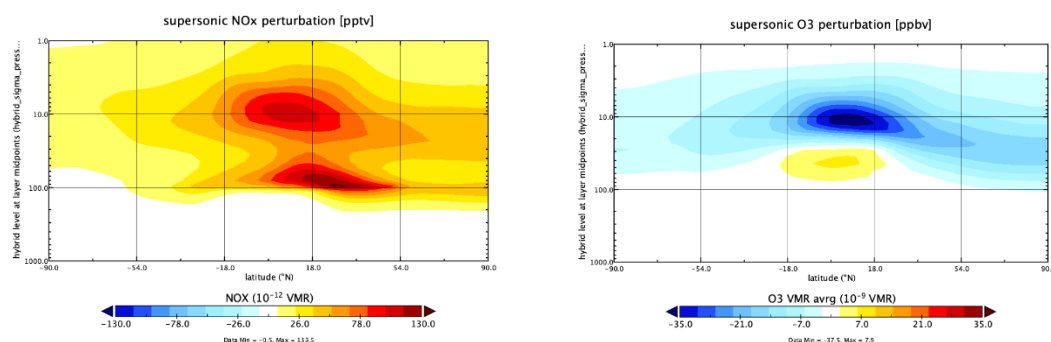


Abbildung 3 NO_x und Ozon Störungen einer Überschallflotte. Je nach Höhe der NO_x-Störung kann durch die unterschiedliche Photochemie Ozonzunahme bzw. Ozonabnahme stattfinden.

Referenzen (publiziert und in Planung)

- Frömming, C., Grewe, V., Brinkop, S., Jöckel, P., Haslerud, A.S., Rosanka, S., van Manen, J., Matthes, S.: Influence of the actual weather situation on non-CO₂ aviation climate effects: The REACT4C Climate Change Functions, Atmos. Chem. Phys., <https://doi.org/10.5194/acp-21-9151-2021>.
- Frömming, C., Grewe, V., Matthes, S., Dietmüller, S., Dahlmann, K., Peter, P., Jöckel, P., Assessing new Climate Change Functions derived from EMAC (MESSy version 2.52) with submodel AIRTRAC(v1.0) and comparison to ACCF(v1.0), in prep. for Geosci. Model Dev.
- Grewe, V., Frömming, C., Matthes, S., Brinkop, S., Ponater, M., Dietmüller, S., Jöckel, P., Garny, H., Dahlmann, K., Tsati, E., Søvde, O. A., Fuglestad, J., Bernsten, T. K., Shine, K. P., Irvine, E. A., Champougny, T., and Hullah, P.: Aircraft routing with minimal climate impact: The REACT4C climate cost function modelling approach (V1.0), Geosci. Model Dev. 7, 175-201, doi:10.5194/gmd-7-175-2014, 2014.
- Grewe, V., Dahlmann, K., Flink, J., Frömming, C., Ghosh, R., Gierens, K., Heller, R., Hendricks, J., Jöckel, P., Kaufmann, S., Kölker, K., Linke, F., Luchkova, T., Lührs, B., van Manen, J., Matthes, S., Minikin, A., Nikolaß, M., Plohr, M., Righi, M., Rosanka, S., Schmitt, A., Schumann, U., Terekhov, I., Unterstrasser, S., Vazquez-Navarro, M., Voigt, C., Wicke, K., Yamashita, H., Zahn, A., and Ziereis, H.: Mitigating the climate impact from aviation: Achievements and results of the DLR WeCare project, Aerospace, 4, 34, 2017.
- Völk, S., Yamashita, H., Megill, L., Dahlmann, K., Grewe, V.: OpenAirClim: A framework for assessing the climate impact of aviation emissions, in prep.
- van 't Hoff, Jurriaan A.; Hauglustaine, Didier; Pletzer, Johannes; Skowron, Agnieszka; Grewe, Volker; Matthes, Sigrun et al. (2025): Multi-model assessment of the atmospheric and radiative effects of supersonic transport aircraft. In: Atmospheric Chemistry and Physics 25 (4), S. 2515–2550. DOI: 10.5194/acp-25-2515-2025.
- Pletzer, Johannes; Grewe, Volker (2024): Sensitivities of atmospheric composition and climate to altitude and latitude of hypersonic aircraft emissions. In: Atmospheric Chemistry and Physics 24 (3), S. 1743–1775. DOI: 10.5194/acp-24-1743-2024.
- Pletzer, Johannes; Righi, Mattia; Grewe, Volker (2025): hypersonic-effects. Version 2.1: Zenodo. Online verfügbar unter <https://zenodo.org/records/14140151>.
- Pletzer, Johannes; van 't Hoff, Jurriaan; Grewe, Volker (2025): supersonic-effects. Version 1.0: Zenodo. Online verfügbar unter <https://zenodo.org/records/15552405>.