Project: **1062**

Project title: **ÖkoLuft**

Principal investigator: **Volker Grewe**

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

Projektübersicht: Der Fokus des Projektes 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.

Im Antragszeitraum wurden Arbeiten durchgeführt zur Modellevaluation von EMAC/MECO(n) durch Flugzeugmessungen, zur Wirkung von Stickoxidemissionen des Luftverkehrs, zur Evaluation von algorithmischen climate-change Funktionen (aCCFs) entlang von Flugzeugtrajektorien, zu klima-optimalen Routen im globalen Klima-Chemie-Modell EMAC und zum Mitigationspotential durch Formationsflug.

Vergleich EMAC/CARIBIC MECO(n)

Für die Untersuchung der atmosphärenchemischen Prozesse, die relevant für die Wirkung von Luftverkehrsemissionen sind, wurde eine Version von MECO(1) entwickelt, in dem in die globale EMAC-Instanz (L90) eine COSMO-Instanz mit hohem Oberrand (high top, L61) integriert ist (Matthes et al., 2019). In dieser Modellversion mit umfassender Atmosphärenchemie wurde für die Episodenanalyse zusätzlich das Modul Tagging eingesetzt, um Emissionen in unterschiedlichen Regionen, beispielsweise im Nordatlantischen Flugkorridor, in ihrer Wirkung zu untersuchen. Hierbei ist ein Untersuchungsaspekt die Bedeutung der Modellauflösung für die Berechnung der luftverkehrsinduzierten Änderungen und Beiträge, weshalb das MECO(1) Modell verwendet wurde.

Die Klimawirkung des Luftverkehrs wurde mit zwei unterschiedlichen Methoden berechnet. In einer Episodenrechnung führt das luftverkehrs-induzierte Ozon im globalen Mittel zu einer Änderung der Strahlungsbilanz von 41 mW/m^2 Strahlungsantrieb (radiative forcing) bei der Tagging-Methode und von 32 mW/m^2 beim Störungsansatz (Perturbation) (Abbildung 1). Im globalen Mittel liegt die mit dem Störungsansatz berechnete Klimawirkung etwa 25% niedriger, als der mit der Tagging-Methode berechnete Beitrag des Luftverkehrs.

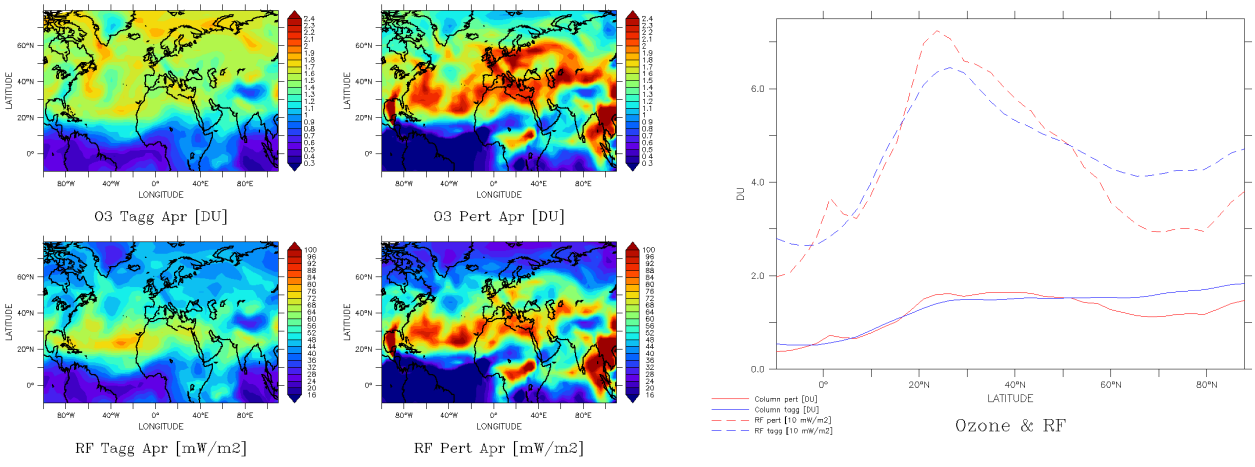

Abb. 1: Luftverkehrs-induzierte Änderung der Ozonsäulen [DU] (*obere Zeile*) im 5 Stundenmittel für April nach Störungsrechnung (*linke Spalte, perturbation approach*) und Taggingmethode (*mittlere Spalte, tagging*) und damit verbundener Strahlungsantrieb [mW/m^2] (*untere Zeile*), zonal gemittelte Änderung *(rechte Spalte)* der Ozonsäule [DU] und Strahlungsantrieb (*gestrichelt*, radiative forcing, mW/m^2) für Störungsansatz (*rot*) und Taggingmethode (*blau*).

Zusätzlich wurde die meteorologische Evaluation der Episode im Jahr 2014 und der gezielte Vergleich von atmosphärischen Konzentrationen entlang der Flugwege von Messflugzeugen (IAGOS, CARIBIC, DLR-HALO, DLR-Falcon) weiter geführt (Matthes et al., 2019). Die Daten entlang der Flugzeugtrajektorien wurden mit dem EMAC-Submodel s4d online diagnostiziert und als zeitlich hochaufgelöster Output zur Verfügung gestellt.

Verifizierung der aCCFs EMAC/AirTraf/TAGGING

Für die Verifizierung des aCCFs-Konzepts wurde das benötigte Modell-Setup entwickelt. Diese Rechnungen beinhalten das Submodell AirTraf, welches die während der Simulation berechneten Flugzeugtrajektorien und deren Emissionen mit der Modell-Chemie koppelt und das Submodell TAGGING, welches einen Algorithmus zur Detektion des Luftverkehrsbeitrags zur Ozonänderung bereitstellt, sowie das Strahlungsschema zur Berechnung des Strahlungsantriebs.

Um die vom Modell berechneten Temperaturen, Feuchten und Übersättigungen in Reiseflughöhe zu evaluieren, wurden für IAGOS-Flüge mit dem Schmidt-Appleman Kriterium das Kondensstreifenbildungspotential und deren Persistenz mit Beobachtungen verglichen. Diese Arbeiten sind Teil des SESAR 2020 Projektes 4DTM (PJ18) und haben zum Ziel die Anforderungen für einen MET-Informationsdienst für die Flugroutenplanung als Vorhersageprodukt zur Verfügung zu definieren, welcher es erlaubt Regionen zu identifizieren, in denen Kondensstreifen-Bildung stattfinden kann (Matthes und Grewe, 2019).

Klimaoptimale Routen

Das EMAC Submodell Airtraf (V2.0) wurde überarbeitet, um Flugbahnen und deren Emissionen für einen bestimmten Flugplan zu berechnen. Es wurden sieben Flugroutenoptionen eingeführt, darunter die Vermeidung von Kondensstreifen, minimale wirtschaftliche Kosten und minimale Klimaauswirkungen. Beispielsimulationen der neuen Routing-Optionen wurden für einen typischen Wintertag durch Kopplung von EMAC (V2.53) mit den AirTraf und ACCF Submodellen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen deutlich den Gegensatz zwischen Klimaschutz und Kostensteigerung (Abbildung 2). Die Routing-Optionen zur Vermeidung von Kondensstreifen und zur Minimierung von Klimaauswirkungen verringern potenzielle Klimaauswirkungen, während die beiden Optionen die Kosten erhöhen. Die Simulationsergebnisse stimmen gut mit den Literaturdaten überein und die Konsistenz des Submodells AirTraf (V2.0) wurde verifiziert. Die Veröffentlichung der technischen Beschreibung des erweiterten EMAC / AirTraf (V2.0) und die ersten Optimierungsergebnisse liegen vor (Yamashita et al., 2019).

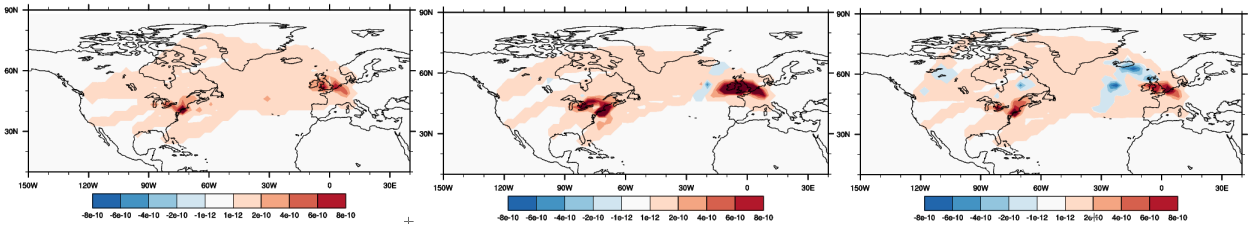

Abb. 2: Klimawirkung (ATR20) für 1 Tages-Simulation: Routen-Optimierung für Vermeidung von Kondensstreifen (*links*), Kosten (*Mitte*) und Klima (*rechts*).

Formationsflug

Beim Formationsflug entsteht neben der direkten Einsparung auf Grund von aerodynamischen Vorteilen, ein weiteres Einsparpotential durch die nicht-lineare Atmosphärenchemie. Dieser nicht-lineare Effekt der Ozonchemie wird im Rahmen des LuFo-Projekts FormIC mit den Modellen EMAC und MECO(n) (T42L90/0.44°L61) anhand von typischen Flugszenarien im Nordatlantischen Flugkorridor (NAFC) näher untersucht. Diese Simulationen tragen dazu bei, das Mitigationspotential im Hinblick auf die Klimawirkung durch Formationsflug zu quantifizieren. Um die Linearität der atmosphärischen Mechanismen zu untersuchen, wurde mit zwei verschiedenen Verfahren (Störungsansatz, Tagging) die Klimawirkung des Luftverkehrs für Szenarien mit veränderten Emissionsmengen die Ozonstörung und die hiermit verbundene Änderung des Strahlungsantriebs untersucht. In den tropischen Breiten zeigt der Vergleich der luftverkehrs-induzierten Änderung der Ozonsäulen teils eine mehr als zweifache Wirkung (Zunahme um 120%), während im Nordatlantischen Flugkorridor der Emissionsverdopplung nur einer Ozonsäulenzunahme von 70% entspricht.

Klimawirkung einer Hyperschall-Luftflotte in der zivilen Luftfahrt

Im EU-2020 Projekt STRATOFLY wird die Klimawirkung einer Luftflotte mit alternativen Antriebsmitteln untersucht. Die Arbeiten begannen verspätet, da erst im April ein qualifizierter Doktorand am DLR eingestellt werden konnte. Während die zivile Luftfahrt aktuell hauptsächlich Kerosin als Antriebsmittel verwendet, untersuchen wir in diesem Innovationsprojekt Emissionen,

die bei der Verbrennung von Wasserstoff entstehen (Wasserdampf, unverbrannter Wasserstoff und Stickoxide, Abbildung 5). Diese Emissionen des Überschallverkehrs beeinflussen die physikalische und chemische Zusammensetzung der Atmosphäre. Da Wasserdampf im EMAC/MESSy-Modell über die spezifische Luftfeuchte berechnet wird, fehlte bisher die Möglichkeit H_2O-Emissionen (Fluss in Moleküle/m^3/s) in diesen Kreislauf einzubinden. Dieses auch für die Zukunft hilfreiche Feature ist nun nach mehrmonatiger Entwicklungsarbeit durch das neue Submodul H2OEMIS gegeben. Die geplanten Produktionsläufe (EMAC T42L90) werden voraussichtlich noch in diesem Jahr durchgeführt werden können.

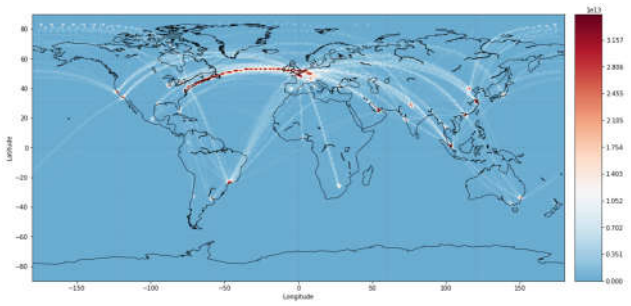

Abb. 3: Globale H_2O-Emissionen einer potentiellen Flugzeugflotte mit einem Anteil von 9.2 % Hyperschall-Flugzeugen.

Sonstige Bemerkung

Das Projekt 1062 ÖkoLuft hat 2018 begonnen. Für die einzelnen Arbeitsbereiche wurden Modellanpassungen durchgeführt, die teils mehr Zeit in Anspruch nahmen als geplant. Zusätzlich wurden Produktionsläufe verzögert, da erst umfassende Evaluationsarbeiten abgeschlossen werden mussten. Somit konnten, insbesondere im ersten Halbjahr die benötigten Ressourcen noch nicht abgerufen werden. Die in 2019 geplanten Arbeiten im Hinblick auf regionale Unterschiede von Transport der Emissionen und chemischer Reaktionen mit Fokus auf tropischen bzw. subtropischen Gebieten konnten noch nicht begonnen werden. Bevor die neuen Simulationen gestartet werden konnten, waren umfangreiche Evaluierungsmaßnahmen notwendig um die Verlässlichkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Diese Evaluierungsmaßnahmen sind nun abgeschlossen und die zugehörige Publikation (Frömming et al., 2019) kann voraussichtlich Ende 2019 eingereicht werden.

Referenzen

Frömming, C.; Grewe, V.; Brinkop, S.; Matthes, S.; Haslerud, A.; Irvine, E.; Rosanka, S.; van Manen, J. Influence of weather situations on aviation climate effects: The REACT4C Climate Change Functions. Atmospheric Chemistry and Physics, in preparation, 2019.

Matthes, S., Ziereis, H., Jöckel, P., Zahn, A, et al., Reactive Species in the UTLS – Aviation emissions and climate impacts, IAGOS-CARIBIC Workshop, Bad Wildbad, 22.-24. Januar 2019.

Matthes, S., Mertens, M., Ziereis, H., Jöckel, P., Zahn, A., and Kerkweg, A., What controls reactive species in the upper troposphere and lower stratosphere: aircraft measurement and EMAC modelling, Meteorologentagung DACH, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, 18.–22. März 2019.

Matthes, S. and Grewe, V., Advanced MET-Service for climate-optimised aircraft trajectories: Maßgeschneiderte MET-Dienste zur Klima-Optimierung von Flugzeugtrajektorien, Meteorologentagung DACH, Garmisch-Partenkirchen, Deutschland, 18.–22. März 2019.

Yamashita, H., Yin, F., Grewe, V., Jöckel, P., Matthes, S., Kern, B., Dahlmann, K., Frömming, C., Various aircraft routing options for air traffic simulation in chemistry-climate model EMAC 2.53: AirTraf 2.0, Geosci. Model Dev., in preparation – full draft available, 2019.