Project: **1062**
Project title: **ÖkoLuft**
Principal investigator: **Volker Grewe**
Report period: **2018-01-01 to 2018-12-31**

**Projektübersicht:** Der Fokus des Projekt 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 Verifizierung eines Modellkonzepts welches auf einem algorithmischem Zusammenhang von Klimawirkung und regionaler Meteorologie beruht, den sogenannten aCCFs (algorithmic Climate Change Functions), zu lima-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) genested wird. Diese Modellversion wurde mit umfassender Atmosphärenchemie für die Episode März und April 2014 analysiert. Hierbei wurden neben der meteorologischen Evaluation, u.a. von geopotentieller Höhe und relativer Feuchte (Abbildung 1), die atmosphärischen Konzentrationen entlang der Flugwege der Messflugzeuge analysiert. In diesem Zeitraum fand die ML-Cirrus Kampagne statt, und CARIBIC2 und IAGOS Messflüge. Die Daten entlang der Flugzeugtrajektorien werden mit dem EMAC-Submodel s4d online diagnostiziert und als zeitlich hochaufgelöster Output zur Verfügung gestellt. Die Variabilität der Beobachtungsdaten wird vom Modell leicht unterschätzt, während grundlegende Variationen vom Modell deutlich wiedergegeben werden.

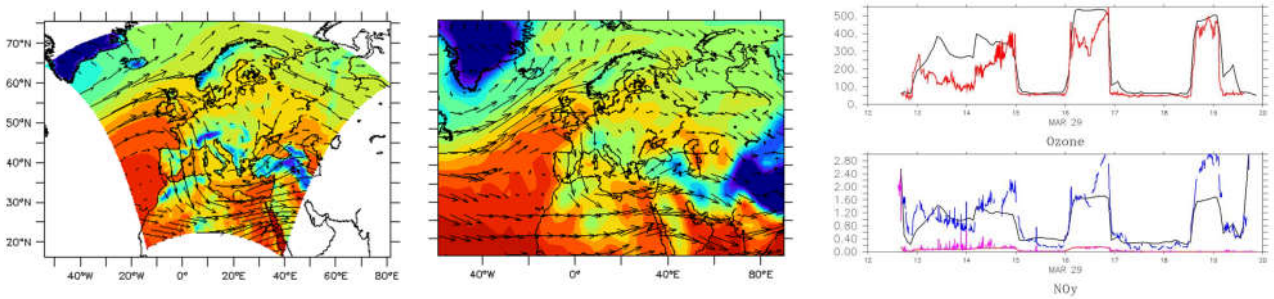


**Abb. 1:** MECO(1) meteorologische Analyse: Geopotentielle Höhe in der COSMO-Instanz (*links*) und der EMAC-Instanz (*Mitte*). Vergleich mit Flugzeugmessungen: gemessene Konzentration von Ozon (*rot*), Stickoxiden $NO_y$ (*blau*) und NO (*pink*) entlang der Trajektorie des HALO-Messflugzeugs am 29. März 2014 im Vergleich zu MECO(1)/EMAC.

## Verifizierung der aCCFs EMAC/AirTraf/TAGGING

Für die Verifizierung des aCCFs-Konzepts wurde das benötigte Modell-Setup entwickelt. Dieses beinhaltet das Submodelle AirTraf und TAGGING. Diese Rechnungen beinhalten die Kopplung der während der Simulation in EMAC berechneten Flugzeugtrajektorien und deren Emissionen mit der Modell-Chemie und einen TAGGING Algorithmus zur Detektion des Luftverkehrsbeitrags zur Ozonänderung, sowie das Strahlungsschema zur Berechnung des Strahlungsantriebs. Erste Ergebnisse zeigen eine Absenkung des luftverkehrsbedingten Strahlungsantriebs durch eine geringere Ozonproduktion bei klimaoptimaler Routenplanung. Dieses erste Ergebnis stellt einen wichtigen Schritt in Richtung der Verifizierung der aCCFs dar.

## Klimaoptimale Routen

Das EMAC Submodell Airtraf dient der Berechnung von Flugzeugtrajektorien und deren Emissionen für einen vorgegebenen Flugplan.

Im Berichtszeitraum wurde für einen typischen Wintertag eine EMAC(V2.53)/AirTraf Simulation mit aCCFs durchgeführt, um klimaoptimale und kostenoptimale Routenoptionen zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigen den trade-off zwischen einer Reduzierung der Klimawirkung und einer Kostenzunahme. Die Publikation der technischen Beschreibung des erweiterten EMAC/AirTraf Moduls und der erste Optimierungsergebnisse sind derzeit in Vorbereitung.

Während des Antragszeitraums wurde zum einen das Modell angepasst um eine größere Zahl von Optimierungsmöglichkeiten zu erhalten, zum Beispiel durch die Berücksichtigung der Betriebskosten zusätzlich zu Klimawirkung und Flugzeit. Darüber hinaus wurde eine mehrmonatige Simulation durchgeführt um die Parameter der Optimierungsroutine zu testen.

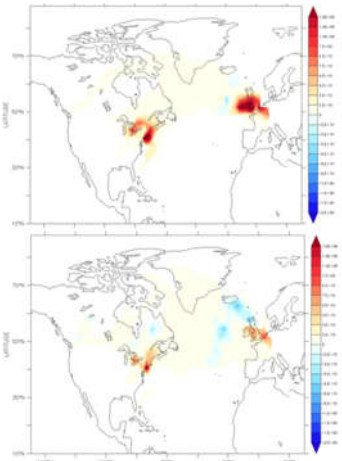

**Abb. 2:** Klimawirkung (ATR20) für 1 Tages-Simulation: Routen-Optimierung für Kosten (*oben*) und Klima (*unten*).

## Formationsflug

Beim Formationsflug besteht neben der direkten Einsparung auf Grund von aerodynamischen Vorteilen, ein weiteres Einsparpotential durch die nicht-lineare Atmosphärenchemie. Dieser nicht-lineare Effekt der Ozonchemie, insbesondere im Nordatlantischen Flugkorridor (NAFC), wird mit den Modellen EMAC und MECO(n) anhand von typischen Flugszenarien näher untersucht und quantifiziert, um in die Schätzung des gesamten Mitigationspotentials einzufließen. Hierzu wurde um die Linearität zu testen, die Wirkung von 100% Luftverkehrsemissionen mit dem Faktor 2 skaliert und mit den Ergebnissen einer doppelten Emissionsmenge verglichen (Abbildung 3).

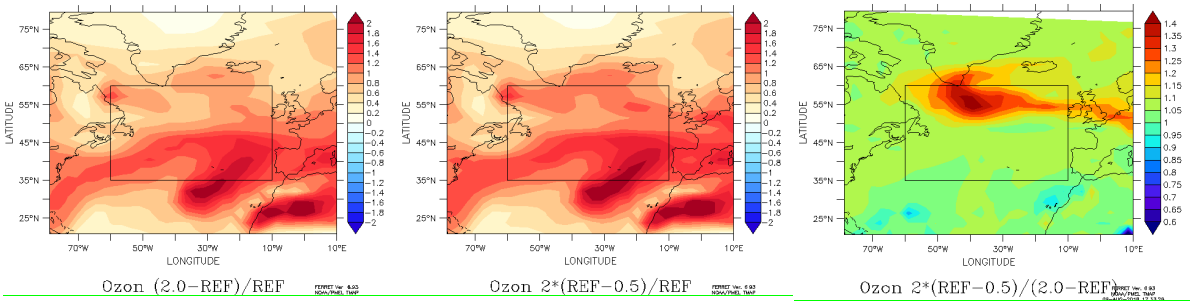


**Abb. 3:** Relative Ozonänderung durch Verdopplung der Luftfahrt-Stickoxidemissionen (*links*) und zweifache Änderung bei Erhöhung von 50% auf 100% Emission (*Mitte*). Zusätzlich ist der relative Vergleich der beiden Ozonänderungen gezeigt (*rechts*). NAFC-Region gekennzeichnet mit einer schwarzen Linie.

## Sonstige Bemerkung

Das Projekt 1062 ÖkoLuft hat 2018 begonnen. Für die einzelnen Arbeitsbereiche waren Modellanpassungen und Set-ups notwendig, die mehr Zeit in Anspruch nahmen als geplant. Speziell die Nutzung der hochauflösenden Version (MECO(n)) in Verbindung mit dem Modul TAGGING gestaltete sich schwieriger als erwartet. Eine Anpassung des Environments führte nicht zum gewünschten Erfolg, so dass nach einer längeren Evaluierungsphase beschlossen wurde, auf das Release der nächsten erweiterten EMAC Modellversion V2.54 zu warten. Diese ist nun seit September 2018 verfügbar. Gerade für diese Simulationen wurde ein beträchtliches Kontingent beantragt, weshalb die geplante Rechenzeit nur zu einem Teil abgerufen werden konnte.

## Referenzen (in Planung)


- Frömming, C.; Grewe, V.; Brinkop, S.; Haslerud, A.; Matthes, S.; Irvine, E.; Rosanka, S.; van Manen, J. Influence of weather situations on aviation emission effects: The REACT4C Climate Change Functions. Atmos. Environ. in preparation, 2019.
- Yamashita, H., Yin, F., Grewe, V., New aircraft routing options for the air traffic simulation model in the chemistry-climate model EMAC 2.54: AirTraf V2.0, GMDD, in preparation, 2018.