

Projekt: **80**Projekttitle: **Klima und Verkehr (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre)**Federführender Wissenschaftler: **Dr. Johannes Hendricks**Berichtszeitraum: **2021-11-01 – 2022-10-31****Zusammenfassende Übersicht**

Experiment	Status
Aerosolcharakterisierung 1	Experiment „Aerosolcharakterisierung 1“ nicht durchgeführt, aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs der Modellversion in der T63L31-Auflösung und erhöhter Ressourcenbedarfe der Experimente „Aerosolcharakterisierung 2“ und „Aerosol-Responsemodell“
Aerosolcharakterisierung 2	Experiment „Aerosolcharakterisierung 2“ in der T42L41-Auflösung erfolgreich durchgeführt. Publikation abgeschlossen
Luftverkehr - warme Wolken	Noch nicht durchgeführt wegen nicht abgeschlossener Entwicklung des dazu erforderlichen Abgasfahnenmodells, Verschiebung in 2023
Luftverkehr - Eiswolken	Noch nicht durchgeführt wegen Verzögerung der dazu erforderlichen Labormessungen, Verschiebung in 2023
Aerosol-Eiswolken-Wechselwirkungen	Teilweise durchgeführt: Testsimulationen mit zusätzlichen Eiskerntypen, Prozessvariation zum Vergleich mit Messungen, Weiterführung in 2023
Verkehrseffekte: Aerosol, Gasphasenchemie, Kondensstreifen	Alle Modellläufe zu den Experimenten durchgeführt; Publikationen in Arbeit
Aerosol-Responsemodell	Experimente für die Regionen Europa und Asien durchgeführt bzw. in Bearbeitung, weitere Simulationen in Vorbereitung
Experimente Daten	Durchgeführt; Daten weiter ausgewertet und zum Vergleich mit im Berichtszeitraum generierten neuen Daten herangezogen; Publikationen in Arbeit

Detailbericht

Portierung der Modellwerkzeuge auf Levante: Im Berichtszeitraum wurden die hier verwendenden Varianten des EMAC-Modellsystems zunächst von Mistral auf Levante portiert und nach umfangreichen Testsimulationen für den operationellen Einsatz bereitgestellt. Aufgrund der Umstellungsarbeiten und der zum Teil mangelnden Verfügbarkeit von Levante, konnte insbesondere in Q1/2022 die verfügbare Rechenzeit nur teilweise genutzt werden.

Für den Berichtszeitraum waren Experimente zur Charakterisierung des globalen Aerosols als Basis für die weiteren Anwendungsexperimente geplant. Das besonders hochauflösende **Experiment „Aerosolcharakterisierung 1“** wurde dabei wegen des hohen Ressourcenverbrauchs der Modellversion in der T63L31-Auflösung, der im Projektkontext geringeren Priorität sowie erhöhter Ressourcenbedarfe weiterer Experimente (vgl. Tabelle) nicht durchgeführt. Stattdessen lag der Fokus auf dem **Experiment „Aerosolcharakterisierung 2“** in der T42L41-Auflösung. Dazu erfolgte eine transiente Simulation der Jahre 2001-2020 mit gegenüber früheren Simulationen erweiterter Ausgabe. Das Experiment wurde sehr detailliert mit verschiedenen Beobachtungsdatensätzen evaluiert und wird nun als Referenzexperiment für die Anwendungssimulationen zu den Verkehrseffekten verwendet. Zusätzlich wurde auf Basis von Clusteranalysen früherer Simulationen dieser Art das globale Aerosol detailliert untersucht und die Ergebnisse in einer Publikation (Li et al., 2022) dokumentiert.

Zur Quantifizierung der Effekte von Aerosolen aus dem Luftverkehr waren verschiedene Experimente mit EMAC inkl. dem Aerosolsubmodell MADE3 geplant, um die in früheren Projektphasen identifizierten großen Unsicherheiten der Wirkungen der Partikel auf warme Wolken (**Experimente „Luftverkehr – warme Wolken“**) sowie auf Eiswolken (**Experimente „Luftverkehr – Eiswolken“**) zu reduzieren. Das Experiment zu warmen Wolken baut auf den Resultaten eines Flugzeugabgasfahnenmodells auf, dessen Entwicklung jedoch erst in den kommenden Monaten abgeschlossen sein wird. Das Experiment kann daher erst in 2023 durchgeführt werden (vgl. Antrag). Das Experiment zur Wirkung von luftverkehrs-induzierten Partikeln auf Eiswolken basiert auf neuen Labormessungen zur Wirkung von Rußpartikeln auf die Eisbildung. Diese

Messungen werden derzeit von der ETH-Zürich im Rahmen des EU-Projektes ACACIA durchgeführt. Aufgrund von Verzögerungen der Untersuchungen konnten die entsprechenden Modellrechnungen noch nicht begonnen werden und sind nun ebenfalls für 2023 geplant (vgl. Antrag), wobei eine erste Referenzsimulation ggf. noch in Q4/2022 begonnen wird. Aufgrund dieser Verzögerungen lag der Fokus dieses Themenblocks im Berichtszeitraum auf dem **Experiment „Aerosol-Eiswolken-Wechselwirkungen“**, das auf Grundlagenstudien zur aerosol-induzierten Bildung von Eiswolken zielt. In diesem Zusammenhang wurden eine Reihe von Testsimulationen durchgeführt, bei denen die Eisbildungseigenschaften von Aerosolen sowie die dynamischen Antriebe der Zirrusbildung (vertikale Bewegungen bzw. Abkühlungsraten) variiert wurden. Diese Rechnungen bilden die Grundlage für ein Simulationsensemble, das in 2023 erweitert werden soll und die Basis für detaillierte Vergleiche mit flugzeuggestützten Messungen sein wird. Die Resultate sollen dazu beitragen, die Unsicherheiten der anwendungsorientierten Simulationen (Experimente zu Luftverkehr) weiter zu reduzieren. Auf Basis der Arbeiten in diesem Themenblock sind im Berichtszeitraum 2 Publikationen veröffentlicht worden (Righi et al., 2021; Beer et al., 2022). Eine Dissertation wurde final publiziert (Beer, 2021).

Im vorhergehenden Berichtszeitraum wurden umfangreiche Rechnungen zur Klimawirkung von Verkehrsemissionen in einer globalen Verkehrsprojektion durchgeführt. Im Einzelnen wurden die Wirkungen der globalen Emissionen des Land-, Luft- und Seeverkehrs quantifiziert. Für jeden einzelnen Verkehrssektor wurden mit Hilfe der Modellversionen EMAC mit MADE3 und EMAC im QCTM-Modus mit dem Submodell TAGGING die verkehrs-induzierten Veränderungen des atmosphärischen Aerosols und der Gasphasenchemie sowie die resultierenden Strahlungsantriebe für die Zeithorizonte 2015, 2030 und 2050 bestimmt. Im aktuellen Berichtszeitraum wurden die Experimente zur Wirkung des Luftverkehrs auf das Jahr 2019 ausgeweitet, um im Rahmen des DLR-Projektes Eco2Fly ein aktuelles Assessment zu den Wirkungen des Luftverkehrs auf das Klima zu erstellen. Diese Simulationen erfolgten im Rahmen der **Experimente „Verkehrseffekte - Aerosol“** und **„Verkehrseffekte – Gasphasenchemie“**. Weitere Simulationen zu diesem Themenkomplex wurden für das Jahr 2015 durchgeführt, um die Sensitivität der luftfahrt-induzierten Aerosol- und Gasphaseneffekte gegenüber Veränderungen der räumlichen Emissionsverteilung zu untersuchen. Dies war durch Diskrepanzen in der räumlichen Verteilung der CMIP6-Emissionsdaten zum Luftverkehr motiviert, die im Berichtszeitraum identifiziert wurden. Aufgrund vergleichsweise hoher Unsicherheiten der Quantifizierungen der Aerosoleffekte und der zugrunde liegenden Emissionsdaten wurden zudem verschiedene Sensitivitätsstudien mit EMAC und dem Submodell MADE3 durchgeführt, bei denen die Partikelemissionen des Landverkehrs variiert wurden. Ergänzend wurden nun auch Modellrechnungen mit der Modellvariante EMAC mit MADE3 und einem Submodell zur Beschreibung von Kondensstreifenzirren CCMoD durchgeführt, um auch die Bildung von Kondensstreifenzirren durch die Emissionen des Luftverkehrs und deren Wirkung auf den Strahlungshaushalt beschreiben zu können (**Experiment „Verkehrseffekte - Kondensstreifen“**). Dabei wurden die Jahre 2015, 2019 und 2050 betrachtet. Verschiedene Publikationen zu den Ergebnissen dieses Themenblocks sind in Arbeit.

Eine weitere Aktivität des Berichtszeitraumes war die Durchführung von Simulationen zur Ableitung eines Aerosol-Klima-Responsemodells, welches eine effiziente Ad-hoc-Bewertung des Klimaschutzzpotenzials von Mitigationsmaßnahmen im Verkehr sowie der Klimawirkung lokaler Emissionsquellen ermöglichen soll. Dazu werden im Rahmen des **Experimentes „Aerosol-Responsemodell“** Simulationen mit der Modellvariante EMAC mit MADE3 durchgeführt, bei denen die Emissionsmengen von Aerosolkomponenten und Aerosolvorläufergasen in unterschiedlichen Weltregionen variiert und die entsprechenden Effekte auf die Strahlungsantriebe quantifiziert werden. Dies dient schließlich als Grundlage zur Ableitung von Aerosol-Responsefunktionen als wesentliche Basis für das Responsemodell. Im Berichtszeitraum konnten die Simulationen für Europa abgeschlossen werden. Die Simulationen für Asien werden voraussichtlich in Q4/2022 abgeschlossen. Rechnungen zu weiteren Weltregionen konnten vorbereitet aber noch nicht durchgeführt werden, da die Rechnungen aufgrund eines geringen Signal-zu-Rausch-Verhältnisses der Strahlungsantriebe auf mehr Simulationsjahre ausgedehnt werden mussten, als erwartet.

Die Bestandsdaten aus früheren Jahren wurden/werden vielfach zur weiteren Auswertung sowie zum Vergleich mit den im Berichtszeitraum durchgeführten Experimenten herangezogen (**Experimente „Daten: Aerosolwirkungen“**, **„Daten: Gasphasenchemie“**, **„Daten: Eiskerne“**).

Entstandene Publikationen

- Beer, C. G.: Global modelling of ice nucleating particles and their effects on cirrus clouds, Ph.D. thesis, Ludwig-Maximilians-Universität München, <https://doi.org/10.5282/edoc.28470>, 2021.
- Beer, C. G., Hendricks, J. and Righi, M.: A global climatology of ice nucleating particles at cirrus conditions derived from model simulations with EMAC-MADE3, Atmos. Chem. Phys. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/acp-2022-529>, in review, 2022.
- Li, J., Hendricks, J., Righi, M., and Beer, C. G.: An aerosol classification scheme for global simulations using the K-means machine learning method, Geosci. Model Dev., 15, 509-533, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-509-2022>, 2022.
- Righi, M., Hendricks, J., and Beer, C. G.: Exploring the uncertainties in the aviation soot–cirrus effect, Atmos. Chem. Phys., 21, 17267–17289, <https://doi.org/10.5194/acp-21-17267-2021>, 2021.