

Projekt: **80**Projekttitle: **Klima und Verkehr (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre)**Federführende Wissenschaftler: **Dr. Johannes Hendricks, Prof. Dr. Robert Sausen**Berichtszeitraum: **01.11.2020 - 31.08.2021**

Zusammenfassende Übersicht

Experiment	Status
Aerosolcharakterisierung 1	Experiment „Aerosolcharakterisierung 1“ nicht durchgeführt, wegen des hohen Ressourcenverbrauchs der Modellversion in der T63L31-Auflösung und erhöhter Ressourcenbedarfe der Experimente „Effekte Luftverkehr“ und „TraK Gasphasenchemie“.
Aerosolcharakterisierung 2	Experiment „Aerosolcharakterisierung 2“ in der T42L41-Auflösung erfolgreich durchgeführt.
Effekte Luftverkehr	Durchgeführt; Publikation eingereicht.
TraK Aerosol TraK Gasphasenchemie TraK-Kondensstreifen	Alle Modellläufe zu den ersten beiden Experimenten durchgeführt; weitere Sensitivitätsstudien für Ende 2021 und 2022 geplant. Das Experiment „TraK-Kondensstreifen“ befindet sich momentan in der Durchführung.
Anthropogene Eiskerne Eiskernklimatologie	Beide Experimente durchgeführt; in Form einer Dissertationsschrift publiziert; eine Publikation eingereicht; weitere Publikationen in Arbeit.
Experimente Daten	Durchgeführt; Daten weiter ausgewertet und zum Vergleich mit in 2021 generierten neuen Daten herangezogen.

Detailbericht

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 und erhöhter Ressourcenbedarfe der Experimente „Effekte Luftverkehr“ und „TraK Gasphasenchemie“ nicht durchgeführt. Stattdessen gelang jedoch die Durchführung von **Experiment „Aerosolcharakterisierung 2“** in der T42L41-Auflösung. Die dazu erfolgte transiente Simulation der Jahre 2001-2018 wurde sehr detailliert mit verschiedenen Beobachtungsdatensätzen evaluiert und steht nun als Referenzexperiment für die Anwendungssimulationen zu den Verkehrseffekten bereit.

Zur Quantifizierung der Effekte von Aerosolen aus dem Luftverkehr (**Experiment „Effekte Luftverkehr“**) wurde mit der aktuellen Version des Aerosol-Klima-Modells EMAC/MADE3 ein weiteres Simulationsensemble zur Wirkung flugzeuggenerierter Rußpartikel auf die globale Zirrusbewölkung und die Strahlung durchgeführt. Hierbei wurde eine hinsichtlich des Integrationsschemas der prognostischen Größen des Wolkenmoduls weiterentwickelte Modellversion eingesetzt. Wie im vorhergehenden Ensemble (vgl. Projektbericht 2020) wurden dabei besonders unsichere Eingangsparameter variiert, wie die Eisbildungseigenschaften der Rußpartikel sowie die dynamischen Antriebe der Wolkenbildung. Aufgrund der starken Nichtlinearität der Effekte wurde die Anzahl der Sensitivitätsstudien zur Eingrenzung der Unsicherheiten erheblich ausgeweitet. Es zeigen sich teils deutliche Strahlungsantriebe, die betragsmäßig in der Größenordnung der Wirkungen der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs liegen, sofern sehr effiziente Eisbildungseigenschaften angenommen werden. Bei den mutmaßlich realistischen Annahmen der Eisbildung sind die Effekte jedoch deutlich kleiner. Sehr große Strahlungsantriebe, die teilweise von anderen Arbeitsgruppen gefunden werden, konnten nicht bestätigt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in Form eines Fachartikels dokumentiert und bei einer referierten Zeitschrift eingereicht, wo sie sich in der Begutachtung befinden (Righi et al., 2021; vgl. unten).

Im Rahmen des DLR-Projektes TraK (Transport und Klima) sind Rechnungen zur Klimawirkung von Verkehrsemissionen in einer globalen Verkehrsprojektion erfolgt. Im Einzelnen wurden die Wirkungen der globalen Emissionen des Land-, Luft- und Seeverkehrs quantifiziert. Für jeden einzelnen Verkehrssektor wurden mit Hilfe der Modellversion EMAC/MADE3 die verkehrsinduzierten Veränderungen des atmosphärischen Aerosols und die resultierenden Strahlungsantriebe für die Zeithorizonte 2015, 2030 und 2050 be-

stimmt (**Experiment „TraK Aerosol“**). Es wurden sowohl die im TraK-Projekt erstellte Verkehrsprojektion als auch die IPCC-Szenarien SSP1-1.9, SSP2-4.5 und SSP3-7.0 betrachtet. Für die Zeithorizonte 2015 und 2050 wurden zudem entsprechende Rechnungen für die atmosphärische Gasphasenchemie durchgeführt (**Experiment „TraK Gasphasenchemie“**). Dabei wurden mit der Modellvariante EMAC/QCTM/Tagging die Wirkungen der Emissionen auf den Ozonhaushalt sowie die resultierenden Strahlungsantriebe bestimmt. Mit Hilfe dieser Rechnungen wurde zudem die Wirkung der Verkehrsemissionen auf die atmosphärische Oxidationskapazität (OH-Konzentration) ermittelt. Hieraus wurde dann die verkehrsinduzierte Änderung der Methan-Lebenszeit abgeleitet, die im Rahmen von weiteren Analysen nun zur Bestimmung der Wirkung des Verkehrs auf Methan verwendet wird. Daraus sollen dann schließlich in Q4/2021 die entsprechenden Strahlungsantriebe der Methanveränderungen abgeleitet werden. Derzeit laufen zudem Modellrechnungen mit der EMAC-Variante EMAC/MADE3/CCMod, mit denen für die Verkehrsprojektion des TraK-Projektes auch die Bildung von Kondensstreifen durch die Emissionen des Luftverkehrs und deren Wirkung auf den Strahlungshaushalt analysiert wird (**Experiment „TraK-Kondensstreifen“**).

Das **Experiment „anthropogene Eiskerne“** wurde bereits in 2020 begonnen. Es zielt auf die Untersuchung des Potentials anthropogener Aerosole (z.B. Ruß oder Sulfat aus dem Verkehr und anderen Quellen) zur Beeinflussung von Zirruswolken sowie der resultierenden Strahlungsantriebe. Dazu wurde in früheren Projektphasen die Ankopplung der Darstellungen von Eiskernen an das mikrophysikalische Wolkenmodell in EMAC/MADE3 um die „neuen Eiskerne“ Ammoniumsulfat und hochviskose organische Partikel erweitert. Mit diesem Modell wurde in 2020, im Rahmen gezielter Sensitivitätsstudien, die mögliche Wirkung der verschiedenen Eiskerntypen, einschließlich Ruß aus Bodenquellen sowie aus dem Luftverkehr, auf die globale Zirrusbewölkung und den Strahlungshaushalt untersucht. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auch auf dem Einfluss der bisher nicht berücksichtigten Eiskerntypen, die beispielsweise auch im Experiment „Effekte Luftverkehr“ noch vernachlässigt wurden. In 2021 wurde das Experiment nach einer Weiterentwicklung des numerischen Integrationsschemas der prognostischen Größen des Wolkenschemas wiederholt. Die erhaltenen Zirrusmodifikationen resultieren in signifikanten Strahlungsantrieben (Werte von bis zu -100 mW/m^2 als Gesamteffekt der Eiskerne). Gezielte Rechnungen zum Gesamteffekt anthropogener Eiskerne zeigen etwas geringere Werte. Insgesamt zeigen die Studien, dass zwar signifikante Eiskerneffekte zu erwarten sind, die hier erhaltenen Strahlungsantriebe jedoch geringer sind, als in früheren Studien anderer Arbeitsgruppen postuliert.

In Analogie zum Experiment „anthropogene Eiskerne“ wurde auch das **Experiment „Eiskernklimatologie“** mit der neuen Modellversion in vergleichsweise hoher räumlicher Auflösung (T63L31) wiederholt. Als Ergebnis liegen nun erstmals Informationen über die Konzentrationen und globalen räumlichen Verteilungen der einzelnen Eiskerntypen vor. Die Resultate beider Experimente wurden bereits im Rahmen einer Dissertationsschrift zusammengefasst (Beer, 2021). Entsprechende Publikationen in referierten Fachzeitschriften befinden sich in der Entstehung. So wurde bereits ein Artikel bei einer Fachzeitschrift eingereicht, der sich auf die Klassifizierung des modellierten globalen Aerosols in räumliche Regime bestimmter Aerosoltypen richtet (Li et al., 2021).

Die Bestandsdaten aus 2020 und früheren Jahren wurden/werden zur weiteren Auswertung sowie zum Vergleich mit den in 2021 durchgeführten Experimenten vielfach herangezogen (**Experimente „Daten: Gekoppeltes Modell“**, **„Daten: Aerosolwirkungen“**, **„Daten: Ozonchemie“**, **„Daten: TraK Aerosol“**, **„Daten: TraK Gase“**, **„Daten: Eiskerne“**).

Entstandene Publikationen

Beer, C. G.: Global modelling of ice nucleating particles and their effects on cirrus clouds, PhD thesis, Ludwig-Maximilians-Universität, München, in print, 2021.

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. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/gmd-2021-191>, in review, 2021.

Righi, M., Hendricks, J., and Beer, C. G.: Exploring the uncertainties in the aviation soot-cirrus effect, Atmos. Chem. Phys. Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/acp-2021-329>, in review, 2021.