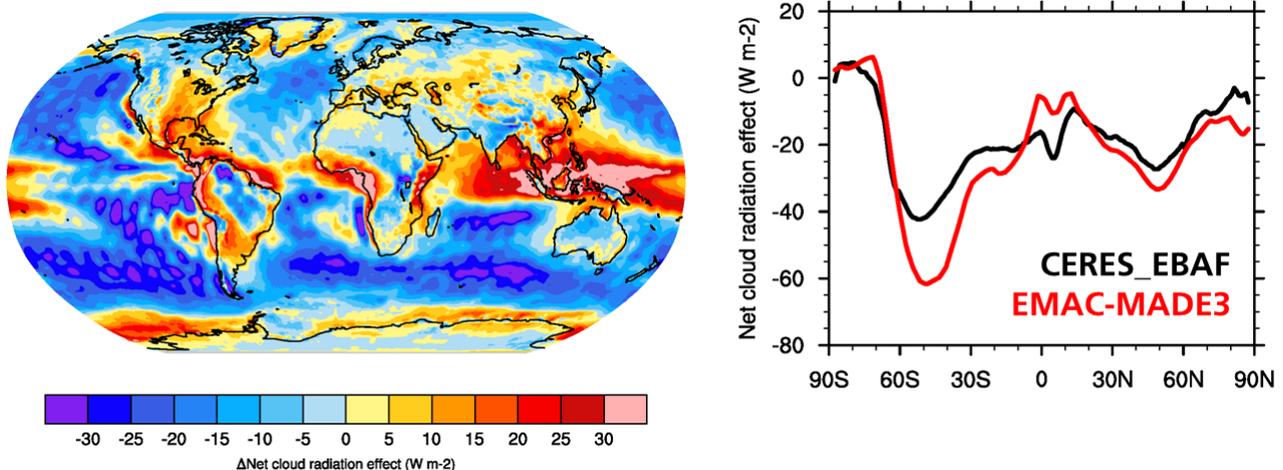


Projekt: 80

Projekttitle: **Klima und Verkehr (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre)**Federführende Wissenschaftler: **Prof. Dr. Robert Sausen, Dr. Johannes Hendricks**Berichtszeitraum: **01.01.2016 - 31.12.2016**Bericht 2016 „Klima und Verkehr“**1 Konsistente Simulation der Effekte des globalen Land-, See- und Luftverkehrs auf Aerosol und Klima**Verantwortlich: *Righi (b309057), Kaiser (b309086), Hendricks (b309012)*

Die Arbeiten in diesem Teilprojekt erfolgten im Rahmen des DLR-Projektes VEU-2 (Verkehrsentwicklung und Umwelt, Phase 2). Ziel der Modellrechnungen war es, im Berichtszeitraum erste Quantifizierungen der Effekte verkehrsinduzierter Aerosole auf Eis- und Mischphasenwolken sowie der resultierenden Strahlungseffekte vorzunehmen. Dazu wurde das Aerosolsubmodell MADE3 (Kaiser et al., 2014) nun vollständig (alle relevanten Kopplungen) in die aktuelle Version (2.52) des globalen Klima-Chemie-Modells EMAC integriert. Gegenüber der im vergangenen Berichtszeitraum entwickelten Modellversion war hierzu noch die Kopplung von MADE3 mit dem Strahlungsschema sowie mit einem mikrophysikalischen (2-Momenten) Wolkenschema (Lohmann und Hoose, 2009) erforderlich. Letzteres Schema erlaubt u.a. auch die Simulation der Effekte von Eiskernen auf Mischphasenwolken. Zur Darstellung der Aerosoleffekte auf Zirruswolken wurde zudem eine weiterentwickelte Form des Wolkenschemas (Kuebbeler et al., 2014) ergänzt.

Zur Entwicklung dieser Modellversion wurde eine Reihe von Testsimulationen durchgeführt. Dies schloss auch Testläufe und Sensitivitätsstudien zur Optimierung der Darstellungen der nassen Deposition und Wolkenprozessierung von Aerosolpartikeln ein (EMAC-Submodell SCAV) und erfolgte in enger Abstimmung mit den Arbeiten in Projekt 968 (vgl. entsprechender Bericht). Danach erfolgten verschiedene Kontrollsimulationen mit unterschiedlichen Konfigurationen der Eingangsdaten und Steuerparameter. Die erhaltenen Resultate wurden mit Hilfe von Beobachtungsdaten evaluiert. Abb.1 zeigt die globale Verteilung des Netto-Strahlungsantriebes der Bewölkung, als ein Ergebnisbeispiel.



**Abbildung 1:** Mit der voll gekoppelten Version (einschl. Wolken- und Strahlungskopplung) des Aerosol-Submodells MADE3 in EMAC berechneter Netto-Strahlungsantrieb der Bewölkung, als globale Verteilung (links) sowie zonale Mittel (rechts) im Vergleich zu Beobachtungsdaten (CERES).

Zur Standortbestimmung wurden dann, analog zu einer entsprechenden Studie mit der Vorversion des Modells (Righi et al., 2013), Modellläufe zur Neu-Quantifizierung der Effekte des Aerosols aus dem globalen Landverkehr bei Vernachlässigung der Effekte auf Eiswolken durchgeführt. Die Ergebnisse vergleichen sich gut mit den früheren Resultaten, zeigen jedoch in einigen Sensitivitätsstudien höhere Strahlungsantriebe. Dies ist durch revidierte Annahmen zur Größenverteilung des Hintergrundaerosols bedingt, deren Belastbarkeit nun nochmals überprüft wird.

Schließlich wurden erste Modellrechnungen zur Wirkung der Aerosole auf Eiswolken durchgeführt, die noch auszuwerten sind. Der Fokus dieser Simulationen lag insbesondere auf der Darstellung möglicher Effekte von Rußemissionen des Luftverkehrs auf die Zirrusbewölkung und den Strahlungshaushalt, da dies bereits Gegenstand früherer Studien war und somit einen Aufsattpunkt bietet.

Im Projekt VEU-2 wird das EMAC-Modell u.a. auch zur Generierung von Randbedingungen für Regionalsimulationen verschiedener Projektpartner (KIT, HZG) eingesetzt (vgl. DKRZ-Antrag 2017, Projekt 80). In diesem Zusammenhang wurden mit dem oben beschriebenen Modell erste Testläufe zur Berücksichtigung windgetriebener Emissionen von Mineralstaub (bisher fixe Emissionsmengen) durchgeführt.

Weitere Testläufe erfolgten zur Vorbereitung der Implementation von MADE3 in die nächste EMAC Version (2.53).

## **2 Simulation der Effekte schwefelarmer Treibstoffe im globalen Schiffsverkehr**

*Verantwortlich: Kaiser (b309086) / Righi (b309057) / Hendricks (b309012)*

Für dieses Teilprojekt war eine Quantifizierung der Effekte schwefelarmer Treibstoffe im internationalen Schiffsverkehr im Hinblick auf die Reduktion der Klimawirkung der Schiffsemissionen geplant. Um die Resultate früherer Studien (z.B. Righi et al., 2011) zu hinterfragen, sollten diese Rechnungen mit dem Aerosol-Submodell MADE3 erfolgen. Aufgrund Verzögerungen in der Implementierung von MADE3 (Abschnitt 1), konnten diese Rechnungen bis zum Berichtszeitpunkt noch nicht erfolgen. Sie sind nun für das Jahr 2017 geplant (vgl. DKRZ-Antrag 2017, Projekt 80).

## **3 Simulationen zum Einfluss von Rußemissionen auf Kondensstreifenzirren**

*Verantwortlich: Bier (b309107) / Burkhardt (b309022)*

Fokus dieses Teilprojektes ist die globale Simulation von Kondensstreifenzirren, ihrer Strahlungseffekte sowie entsprechender Modulationen durch Veränderungen der spezifischen Emissionen des Luftverkehrs. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des DLR-Projektes ECLIF (Biofuel impact on contrails and climate), dessen Gegenstand die Wirkungen der Verwendung alternativer Treibstoffe im Luftverkehr ist. Im Berichtszeitraum wurden die Prozessstudien zur Untersuchung der Auswirkungen einer um 80% verringerten Eiskristallanzahl, die aus einer entsprechenden Verringerung von Flugzeug-Rußpartikelemissionen durch alternative Treibstoffe hervorgehen soll, auf Eigenschaften, Lebenszyklus und Strahlungswirkung von Kondensstreifenzirren mit ECHAM5-CCmod weitergeführt. Es zeigt sich, dass die Reduktion von Ruß in bestimmten synoptischen Situationen, und zwar in großräumigen Eis-übersättigten Gebieten, wo mikrophysikalische Prozesse eine große Rolle spielen, einen starken Einfluss auf die Eigenschaften und Strahlungswirkung von Kondensstreifenzirren-Clustern hat. In anderen Situationen dominieren dagegen dynamische Prozesse und die Reduktion der Rußemissionen hat nur einen geringen Einfluss auf den Lebenszyklus der Kondensstreifenzirren. Für jeweils eine mikrophysikalisch und eine dynamisch kontrollierte Situation wurden auch Simulationen mit Eiskristallanzahlreduktionen um 20%, 40%, 60% und 90% durchgeführt, um die Nichtlinearität der Strahlungswirkung von Kondensstreifenzirren in Abhängigkeit von der anfänglichen Eiskristallanzahl zu untersuchen.

Es wurden 2 Modelljahre zur Auswertung der statistischen Häufigkeit dieser synoptischen Situationen sowie zur Analyse der Eigenschaften und Strahlungswirkung von Kondensstreifenzirren simuliert. Die Ausgabefrequenz war in diesen Simulationen sehr hoch, um den Lebenszyklus der Kondensstreifenzirren analysieren zu können. In einem Simulationsjahr wurde eine Eiskristallanzahl, die hohen Rußemissionen entspricht, und im anderen Jahr eine um 80% verringerte Eiskristallanzahl, die mit geringen Rußemissionen korrespondiert, vorgeschrieben. Abb. 2 zeigt jeweils für hohe und geringe Rußemissionen die über alle innerhalb des entsprechenden Jahres simulierten Kondensstreifenzirren-Lebenszyklen gemittelte normierte totale Extinktion, die ein Maß für die Strahlungswirkung der Kondensstreifenzirren pro anfänglichem Bedeckungsgrad darstellt.

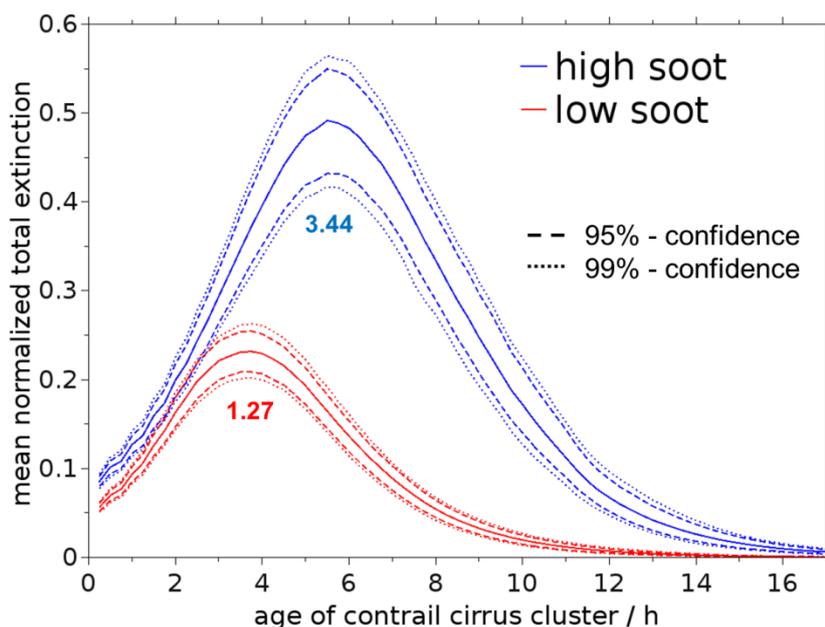


Abbildung 2: Normierte totale Extinktion gemittelt über ca. 260 Lebenszyklen von Kondensstreifen innerhalb eines Jahres bei hohen (blau) und niedrigen (rot) Rußemissionen. Der Flugverkehr wurde alle 28 h im 220 hPa Niveau im Südosten der USA jeweils für 1 h berücksichtigt. Gemittelt wurde nur über diejenigen Situationen, in denen sich Kondensstreifen bilden konnten.

Aus den Resultaten geht hervor, dass die Verringerung von Rußemissionen das Maximum der Strahlungswirkung etwa um ein Faktor 2 herabsetzt, die gesamte Strahlungswirkung, die durch das Integral der Kurven repräsentiert wird, um 60% verringert und die mittlere Lebensdauer der Kondensstreifen um etwa 4 Stunden verkürzt.

In Ergänzung zu diesen Arbeiten wurde die Parametrisierung der anfänglichen Eiskristallanzahl von Kondensstreifen in Abhängigkeit von Flugzeugemissionen, Atmosphärenzustand und Hintergrundaerosolpartikeln erfolgreich in ECHAM5-CCmod implementiert und mit einigen Testläufen geprüft und validiert. Ein Teil der damit geplanten globalen Simulationen (je 10 Modelljahre) mit verschiedenen Annahmen zu Rußpartikelemissionen werden nicht mehr in 2016 erfolgen können und müssen daher auf das Jahr 2017 verschoben werden.

#### Entstandene Publikationen:

Righi, M., Hendricks, J., Sausen, R., 2016: The global impact of the transport sectors on atmospheric aerosol in 2030 – Part 2: Aviation, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 4481–4495, doi:10.5194/acp-16-4481-2016.

Hendricks, J., Righi, M., Dahmann, K., Gottschaldt, K.-D., Grewe, V., Ponater, M., Sausen, R., Heinrichs, D., Winkler, C., Wolfermann, A., Kampffmeyer, T., Friedrich, R., Klötzke, M., Kugler, U.: Quantifying the climate impact of emissions from land-based transport in Germany, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, submitted, 2016.

#### Sonstige Referenzen:

Kaiser, J. C., Hendricks, J., Righi, M., Riemer, N., Zaveri, R. A., Metzger, S., Aquila, V., 2014: The MESSy aerosol submodel MADE3 (v2.0b): description and a box model test, *Geosci. Model Dev.*, 7(3), 1137–1157, doi:10.5194/gmd-7-1137-2014.

Kuebbeler, M., Lohmann, U., Hendricks, J., Kärcher, B., 2014: Dust ice nuclei effects on cirrus

clouds, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 3027–3046, doi:10.5194/acp-14-3027-2014.

Lohmann, U., Hoose, C., 2009: Sensitivity studies of different aerosol indirect effects in mixed-phase clouds, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 8917–8934, doi:10.5194/acp-9-8917-2009.

Righi, M., Klinger, C., Eyring, V., Hendricks, J., Lauer, A., Petzold, A., 2011: Climate impact of biofuels in shipping: global model studies of the aerosol indirect effect, *Environ. Sci. Tech.*, 45, 3519–3525, doi:10.1021/es1036157.

Righi, M., Hendricks, J., Sausen R., 2013: The global impact of the transport sectors on atmospheric aerosol: simulations for year 2000 emissions, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 9939–9970, doi:10.5194/acp-13-9939-2013.