

Project: 1033
 Project title: Luftverkehr, Zirruswolken und Klima (DLR-Institut für Physik der Atmosphäre)
 Project leader: Ulrike Burkhardt
 Report period: 01.11.2020 – 31.08.2021

1 Simulationen zum Einfluss von Rußemissionen auf Kondensstreifen-Zirren

Verantwortlich: Bier (b309107), Burkhardt (b309022)

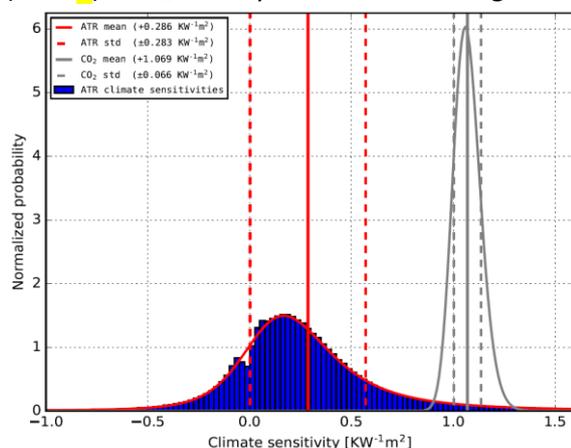
In diesem Projekt wurde ECHAM5-CCMod mit den Parametrisierungen zur Eisnukleation von Kärcher et al. (2015) und zum Eiskristallverlust während der Wirbelphase von Unterstrasser (2016) für Simulationen mit unterschiedlichen Rußemissionen verwendet, um den Einfluss der Anzahl der emittierten Rußpartikel auf den Strahlungsantrieb von Kondensstreifen zu bestimmen. Es zeigte sich, dass der Strahlungsantrieb von Kondensstreifen nichtlinear von der Anzahl der emittierten Eiskristalle abhängt (Burkhardt et al., 2018; Bier und Burkhardt, 2021). Die durchgeführten Simulationen wurden unter anderem für die Abschätzung der Unsicherheit des Klimaeinflusses von Kondensstreifen-Zirren aufgrund der Unsicherheit und Variabilität in den Rußanzahlemissionen verwendet (Lee et al., 2020). In diesem Jahr wurden noch kleinere Korrekturen in den Analysen der Simulationen vorgenommen, so dass das Paper demnächst eingereicht werden kann. Dieses Teilprojekt wird lediglich als Datenprojekt weitergeführt werden und die Daten sollen im nächsten Jahr archiviert werden.

2 Simulation von Temperaturresponse und Klimasensitivität von Kondensstreifen-Zirren

Verantwortlich: Bickel (b309139) / Ponater (b309003) / Reineke (b309134)

Ziel eines internen DLR-Projektes ist es, den effektiven Strahlungsantrieb (ERF, Forster et al., 2016) und die Klimawirkungseffizienz („efficacy“, Hansen et al., 2005) von Kondensstreifen-Zirren (KSZ) zu bestimmen, darüber hinaus aber auch die physikalischen Ursachen für Abweichungen im globalen Responseverhalten vom Referenzfall einer CO₂-Erhöhung zu liefern. Im bisherigen Projektverlauf wurden - zur Ermittlung der ERFs - Simulationen mit vorgeschriebener Meeresoberflächentemperatur (SST) durchgeführt und diese Ergebnisse publiziert (Bickel et al., 2020). Weiterhin wurden die Simulationen mit angekoppeltem Deckschichtozean vorbereitet (Ponater et al., 2021) und dazu die KSZ-Parametrisierung (CCMod, Bock und Burkhardt, 2016) in das Modellsystem EMAC integriert, inkl. einer anschließenden Neuevaluierung und eines Neu-Tuning mit Fokus auf einer ausgeglichenen Strahlungsbilanz.

Im Berichtszeitraum wurden mit EMAC/CCMod Gleichgewichtsklimasimulationen sowohl für KSZ als auch für CO₂-Erhöhungen durchgeführt. Nach geltender Theorie (e.g., Richardson et al., 2019) sollte der Klimasensitivitätsparameter $\lambda = \Delta T_{sfc} / \text{ERF}$ für beide Störungen annähernd gleich sein. Dies ist jedoch nicht der Fall, vielmehr ergibt sich in den KSZ-Simulationen eine signifikant kleinere Klimasensitivität (Abb. 1). Die „efficacy“ des KSZ-Strahlungsantriebes für die global gemittelte Bodentemperatur wäre demnach nur etwa ein Viertel derjenigen von CO₂.



demnach nur etwa ein Viertel derjenigen von CO₂.

Abbildung 1: Verteilungsfunktionen des Klimasensitivitätsparameters (λ) aus Simulationen mit einer CO₂-Verdoppelung und Kondensstreifen-Zirren mit 12-fach überhöhtem Luftverkehr (ATR), bestimmt auf der Basis von ERF- und ΔT_{sfc} -Werten für einzelne Simulationsjahre. Diese Werte sind für ATR wesentlich geringer und die ATR-Verteilungsfunktion daher breiter. Der Mittelwert für λ ist in der KSZ-Simulation (0.29 KW⁻¹m²) gegenüber der CO₂-Erhöhungssimulation (1.07 KW⁻¹m²) signifikant reduziert.

Ähnlich wie bei der Ursachenanalyse für das reduzierte ERF von KSZ (Bickel et al. 2020) wurde erneut die Methode der Rückkopplungsanalyse eingesetzt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Gründe für die geringere Klimasensitivität der KSZ eine negative Rückkopplung der natürlichen Wolken (positiv für CO₂) sowie eine betragsmäßig verstärkte negative lapse-rate-Rückkopplung sind. Damit ist der totale Rückkopplungsparameter für KSZ stärker negativ als für CO₂ und es reicht ein deutlich geringerer Temperaturresponse aus, um das Strahlungsgleichgewicht des Klimasystems wiederherzustellen.

3 Simulationen zum Einfluss von Kondensstreifenbildung in hohen nördlichen Breiten (AVIATE)

Verantwortlich: Königl(b309196) / Burkhardt (b309022)

In diesem aus Norwegen finanzierten Projekt wurden im Berichtszeitraum Simulationen zur Bildung und dem Einfluss von Kondensstreifen-Zirren aufgrund des im Skandinavischen Raum stattfindenden Flugverkehrs durchgeführt. Ein neues Flugverkehrskataster, welches nur den Skandinavischen Flugverkehr beinhaltet, wurde im Modell implementiert und Simulationen durchgeführt. Wie erwartet zeigte sich, dass in den hohen nördlichen Breiten zum Zeitpunkt der Kondensstreifenbildung eine hohe Anzahl von Eispartikeln im Flugzeugplume nukleiert. Unerwartet dagegen war die stark verringerte Eiskristallanzahldichte in Kondensstreifen-Zirren, wenn statt global nur regional über Skandinavien Flugverkehr stattfindet (Abb. 2). Aus dem Vergleich der Eiskristallanzahldichten bei regionalem bzw.

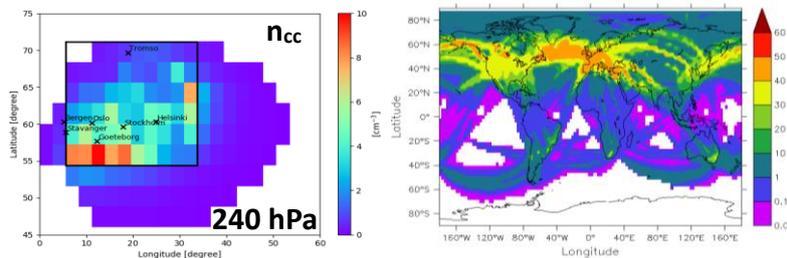


Abbildung 2: Eiskristallanzahldichte in Kondensstreifen-Zirren (links) für Flugverkehr nur über Skandinavien und (rechts) für den globalen Flugverkehr.

globalem Flugverkehr zeigt sich, dass die relativ hohen Dichten über Skandinavien bei globalem Flugverkehr hauptsächlich durch Advektion vom Nordatlantischen Flugkorridor hervorgerufen werden. Wenn keine Kondensstreifen-Zirren nach Skandinavien transportiert werden können, dann sinkt der Bedeckungsgrad und der

Strahlungseinfluss von Kondensstreifen-Zirren um mehr als eine Größenordnung. Um den Einfluss der im Klimamodell in den hohen Breiten zu hoch liegenden Tropopause abzuschätzen, haben wir außerdem eine Simulation für den Skandinavischen Flugverkehr durchgeführt, der unterhalb der beobachteten mittleren Tropopausenhöhe liegt. Dabei zeigte sich, dass ein großer Anteil des Skandinavischen Flugverkehrs oberhalb der beobachteten Tropopause stattfindet und dass der Strahlungseinfluss der Kondensstreifen-Zirren um ca. 50% sinkt gegenüber der Abschätzung für den gesamten Skandinavischen Flugverkehr. Die Ergebnisse unserer Simulationen sollen in dem norwegischen Projekt einerseits dazu verwendet werden, den Einfluss der Skandinavischen Flugverkehrs abzuschätzen und Mitigationsmethoden zu entwickeln. Im kommenden Jahr sollen unsere Ergebnisse in eine gemeinsame Publikation einfließen.

4 Darstellung von dünnen Eiswolken im Klimamodell

Verantwortlich: Burkhardt (b309022)

Das Projekt, welches in den vergangenen Jahren an einer Reihe von Publikation mitgearbeitet hat, konnte dieses Jahr aufgrund des Wegfalls einer Mitarbeiterin nur ganz beschränkt weitergeführt werden. Trotzdem konnte in diesem Projekt noch eine Publikation beendet werden (Rybka et al., 2021) In Zukunft soll nur noch an Analysen der Eis-Übersättigungsfrequenz in hoch und niedrig auflösenden Simulationen im Vergleich zu Beobachtungsdaten gearbeitet werden. Diese Arbeiten sind mit dem internen MABAK Projekt verbunden und nutzen gleichzeitig den obigen Arbeiten zu Kondensstreifen-Zirren. Die Eisübersättigungsfrequenz ist eine zentrale Variable bei der Simulation von Kondensstreifen-Zirren, da sie die Bildung und Persistenz der Kondensstreifen limitiert. Der belegte Speicherplatz wurde bereits stark verringert, und soll im nächsten Jahr auf diesem Level gehalten werden.

Entstandene Publikationen:

Bickel, M., Ponater, M., Bock, L., Burkhardt, U., Reineke, S., 2020: Effective radiative forcing of contrail cirrus, *J. Clim.*, 33, 1991-2005.

Bier, A., & Burkhardt, U., 2021: Impact of parametrizing the contrail's jet and vortex phase and contrail cirrus properties and radiative forcing, *J. Geophys. Res. Atmos.*, in preparation.

Lee, D.L., Fahey, W., Skowron, A., Allen, M.R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S.J., Freeman, S., Forster, P.M., Fuglestedt, J.S., Gettelman, A., de Leon, R.R., Lim, L.L., Lund, M.T., Millar, R.J., Owen, B., Penner, J.E., Pitari, G., Prather, M.J., Sausen, R., Wilcox, L.J., 2020: The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing from 2010 to 2018, *Atmos. Environ.*, online first available, doi:10.1016/j.atmosenv.2020.817134.

Ponater, M., Bickel, M., Burkhardt, U., Bock, L., 2020: Towards determining contrail cirrus efficacy, *Aerospace*, 8, 42, doi: 10.3399/aerospace8020042.

Sonstige Referenzen:

Bock, L., and Burkhardt, U. (2016). Reassessing properties and radiative forcing of contrail cirrus using a global climate model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121(16), 9717–9736.

Burkhardt, U., Bock, L., and Bier, A. (2018). Mitigating the contrail cirrus climate impact by reducing aircraft soot number emissions. *npj Climate and Atmospheric Science*, 37, 1–7.

Forster, P., et al., 2016: Recommendations for diagnosing effective radiative forcing from climate models for CMIP6, *J. Geophys. Res. Atmos.* 121, 12460-12475.

Hansen, J., et al., 2005: Efficacy of climate forcings, *J. Geophys. Res.* 110, D18104.

Kärcher, B., Burkhardt, U., Bier, A., Bock, L. and Ford, I. J., 2015: The microphysical pathway to contrail formation, *J. Geophys. Res. Atmos.* 120, 7893–7927.

Richardson, T.B., et al., 2019: Efficacy of climate forcings in PDRMIP models, *J. Geophys. Res. Lett.* Atmos. 124, 12824-12844, doi:10.1029/2019JD030581.

Unterstrasser, S. (2016). Properties of young contrails—A parametrisation based on large-eddy simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(4), 2059–2082. <https://doi.org/10.5194/acp-16-2059-2016>