

Project: 1033
 Project title: Luftverkehr, Zirruswolken und Klima
 Project leader: Dr. Ulrike Burkhardt
 Report period: 2023.01.01 – 2023.12.31

2.1 Klimawirkung von Kondensstreifen für neue umweltfreundliche Antriebsformen

2.1.1 Sehr starke Rußreduktionsszenarien und Wasserstoffverbrennung (H2C)

Verantwortlich: Weiß-Rehm(b309218), Burkhardt (b309022)

Es wurden Simulationen mit ECHAM5, in welchem ein Kondensstreifenzirren Module CCMOD implementiert ist, für verschiedene Emissionsszenarien von Flugzeugen für das Jahr 2050 und das SSP2-4.5 Szenario durchgeführt. Insbesondere die emittierte Rußpartikelanzahl variiert stark je nach verwendetem Treibstoff bzw. Triebwerk und hat einen großen Einfluss auf den Strahlungsantrieb der Kondensstreifen-Zirren. Wir haben sieben Simulationen durchgeführt, welche sowohl konventionelle als auch erneuerbare Treibstoffe und moderne Triebwerke abdecken. Zudem wurden extreme Rußemission-Reduktionen simuliert welche als Vorbereitung für Simulationen der Kondensstreifenbildung bei Wasserstoffverbrennung dienen. Die durchgeführten Simulationen zeigen

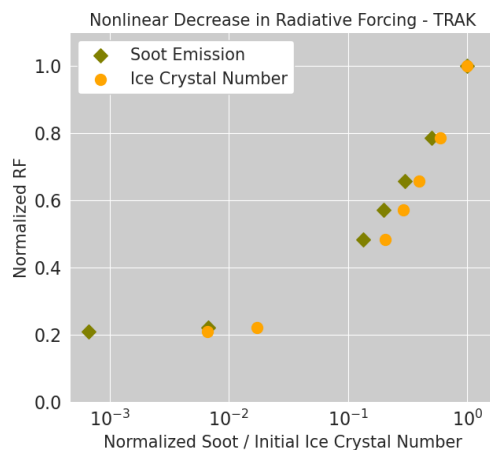


Abbildung 1: Strahlungsantrieb von Kondensstreifenzirren als Funktion der Rußanzahl-emission bzw. der

einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen der Rußanzahlemission bzw. der resultierenden Eiskristallanzahl und dem zugehörigen Strahlungsantrieb (Abb1.). Die Simulationen wurden auch für einen Vergleich mit Messungen der ECLIF3-Kampagne verwendet. Zudem wurden, die Messkampagne ergänzende, Simulationen durchgeführt, deren Ergebnisse aktuell veröffentlicht werden (Märkl et al., 2023).

Momentan wird eine neue Nukleations-parametrisierung für Wasserstoffverbrennung als Antrieb der Flugzeug-Flotte in ECHAM5-CCMOD implementiert. Die Parametrisierung basiert auf LES Simulationen und stellt den atmosphärischen Aerosolhintergrund als Basis für die Nukleation in den Vordergrund.

2.1.2 Brennstoffzelle (H2FC)

Verantwortlich: Bickel (b309139), Burkhardt (b309022)

This subproject investigates the climate impact of water (vapor + liquid) emissions by future fuel cell powered air traffic. Since the chemical reaction in the fuel cell does not produce soot particles or sulfate, it may be expected that ambient aerosols play a major role. However, if considering the emission of liquid water, in form of very small ($<1 \mu\text{m}$) droplets with high number concentrations, droplet formation on ambient aerosols may be neglected and the freezing process is mainly driven by homogeneous freezing. Many offline simulations were performed to determine the freezing fraction and ice crystal number concentration (ICNC) for different emission scenarios. Processes such as droplet freezing, which is dependent on temperature and droplet water mass, plume dilution, diffusional growth of droplets and ice crystals, and the associated latent heating due to condensation, evaporation and freezing were

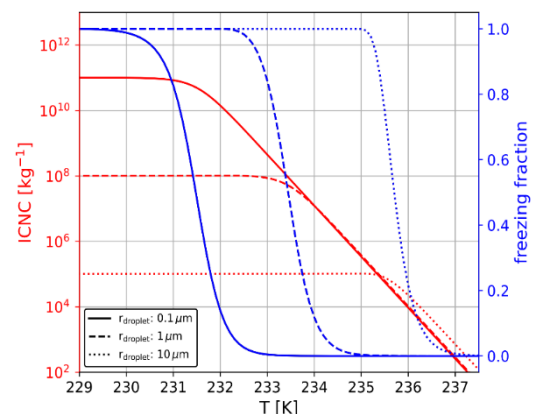


Figure 2: Freezing fraction (blue) of droplet emitted from a fuel cell and the associated initial ice crystal number concentration (red) dependent on ambient temperature for different initial droplet radii.

considered. To initialize our climate model the box model simulations were used to calculate lookup-tables for various ambient temperatures and humidity. Figure 2 shows the emitted ICNC (red) and freezing fraction (blue) for different ambient temperatures (x-axis) for an ambient relative humidity of 110%. It is evident that large fractions of smaller droplets freeze only at very low temperatures. Preliminary climate model simulations using ECHAM5-CCMod indicate that emitting small droplets may lead to a larger contrail cirrus radiative forcing then when using kerosene as fuel. Nevertheless, we find a large sensitivity of contrail cirrus radiative forcing on the fraction of liquid water emissions and initial droplet size.

2.3. Evaluierung hochauflösender Simulationen mit Kampagnendaten

Verantwortlich Verma (b309131) / Burkhardt (309022)

In this subproject, we simulate single campaign days in the high-resolution ICON-LEM to study variability in the contrail life cycle depending on the background atmospheric conditions and to compare simulation results with contrail properties that were observed during campaign measurements. We use the contrail parameterization implemented in ICON-LEM (Verma and Burkhardt, 2022) to simulate contrail formation and their life cycles during ECLIF3 and VOLCAN measurement campaigns in the Mediterranean.

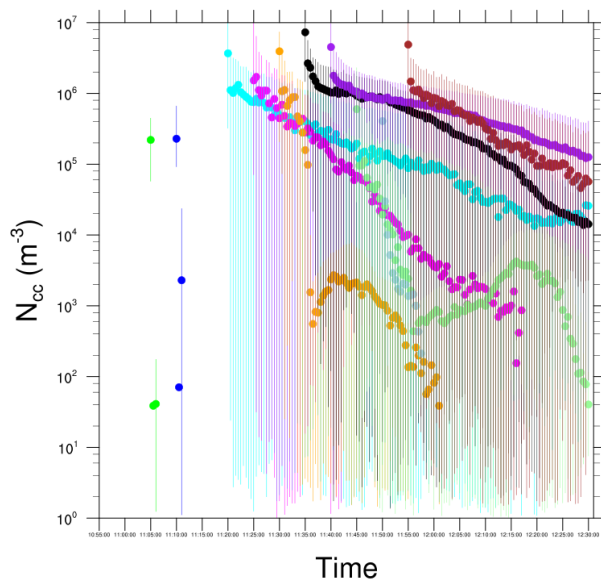


Figure 3: Evolution of ice number concentration in contrails (N_{cc} (m^{-3})) during their life cycle

We set up ICON-LEM over the Mediterranean centered around Corsica and Sardinia and implemented the flight track of the contrail producing aircraft on the ECLIF3 campaign day, 16th April 2021, and performed simulations with Jet A1 and HEFA fuel emissions. We simulated contrails for two hours (campaign time duration). Figure 3 shows the evolution of ice number concentration in contrail segments when using Jet A1 fuel. The simulations show a large variability of contrail cirrus life cycles connected with the atmospheric variability. Some contrails are formed in ice-subsaturated cloud-free air and persist only for a few seconds and some contrails live for more than an hour. We will compare the properties of contrails formed using Jet A1 and HEFA fuel with observational data.

2.3 Wolkenfeedback

Verantwortlich: Burkhardt (b309022)

Das Projekt konnte aufgrund von Zeitmangel nicht durchgeführt werden. Dafür wurden teilweise für die anderen Projekte mehr Simulationen durchgeführt.

Referenzen:

Märkl, Voigt, Sauer, Dischl, Kaufmann, Harlaß, Hahn, Roiger, Weiß-Rehm, Burkhardt, Schumann, Marsing, Scheibe, Dörnbrack, Renard, Gauthier, Swann, Madden, Luff, Sallinen, Schripp, and Le Clercq, in review: Powering aircraft with 100% sustainable aviation fuel reduces ice crystals in contrails

Verma, P. and Burkhardt, U.: Contrail formation within cirrus: ICON-LEM simulations of the impact of cirrus cloud properties on contrail formation, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 8819–8842, <https://doi.org/10.5194/acp-22-8819-2022>, 2022.