

PAZI-2 ANNUAL REPORT 2007

This document contains a **summary of work package activities during 2007** of the DLR/HGF PAZI-2 project. The cumulative **list of publications** (as of December 2007, 66/23 publications/conference proceedings have appeared, 8 are in preparation) is available as a separate document. Project documents can be downloaded from the website <http://www.pa.op.dlr.de/pazi/>

A separate description of achievements in 2007 is not given. We refer to the **final report of the PAZI-2 project** which is available as *DLR-Mitteilung 2008-01*. Below we provide the agenda from the **final project colloquium**, held in Oberpfaffenhofen, 14 February 2008, and the **summary slides** shown by the project PI.

Overview

Schumann	Weclome	11:00-11:15
Kärcher	Overview PAZI-2	11:20-11:50
Benz	Overview AIDA, Outlook VI-ACI	12:00-12:20
	Lunch / Foyer	12:30-13:15

I Soot emissions

Gerlinger	HBK-S and simulation	13:15-13:35
Schaefer	Emissions and inventory	13:40-14:00

II Contrails

Mannstein	Detection and prediction / UFO	14:00-14:20
Burkhardt	Contrail cirrus	14:20-14:40

III Aerosols and cirrus

Emde	SO ₂ measurement and CIRCLE field campaigns	14:40-15:00
Hendricks	Cirrus modification via soot emissions	15:00-15:20
	Coffee break	15:20-15:40
Schumann	Outlook	15:40-16:00

Edited by Bernd Kärcher, February 2008.

PAZI-2: Overview of Results

Vugraphs presented at the Final Colloquium

An aerial photograph of a lush green forest with a stream winding through it. The water is clear and reflects the surrounding trees. The overall scene is bright and natural.

PAZI-2 (2004-2007)

Final Colloquium

Bernd Kärcher

14 February 2008

Institut für Physik der Atmosphäre

DLR Oberpfaffenhofen

Overall project goals and main products

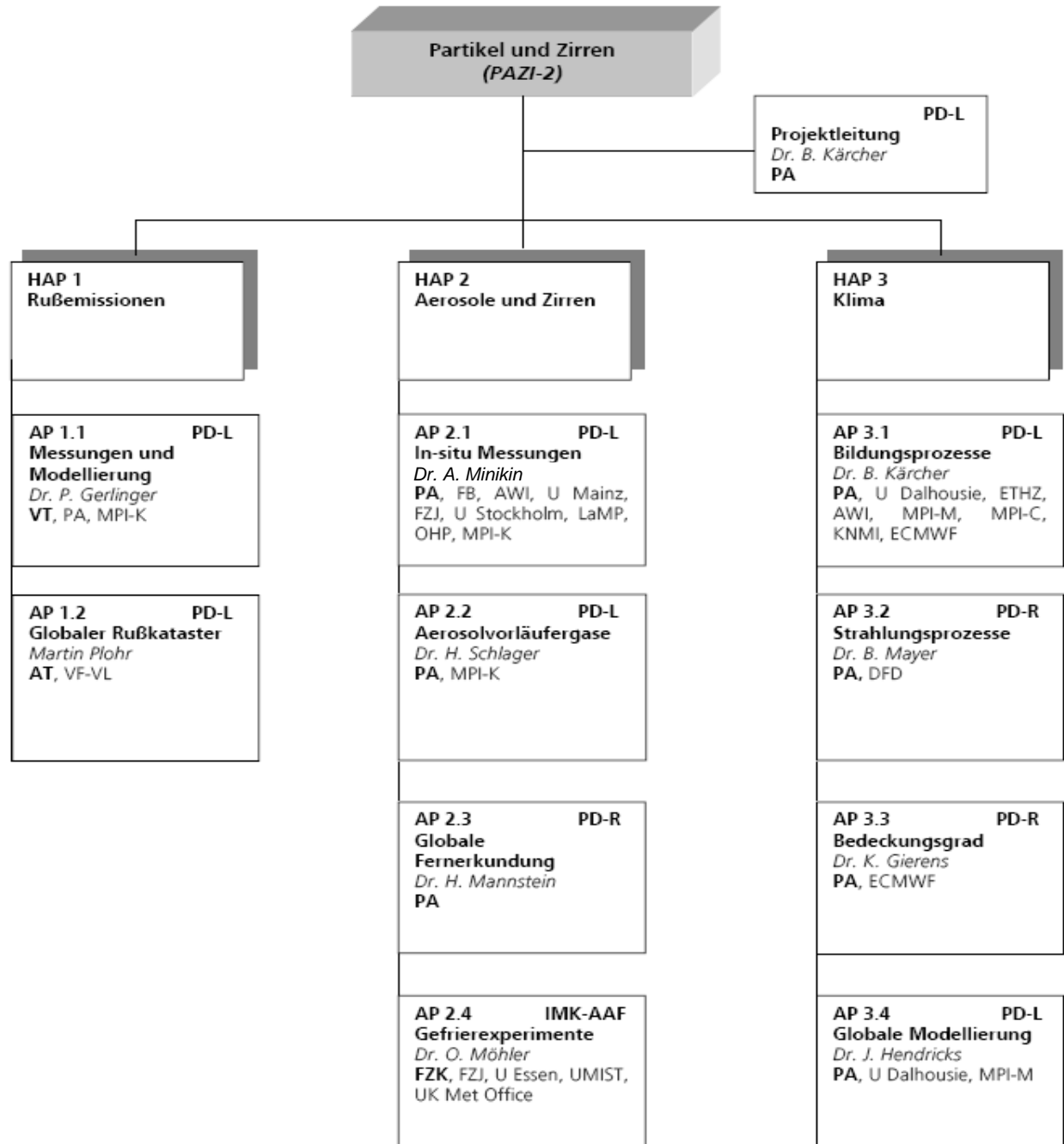
Development and application of simulation techniques for real combustors to predict soot properties at emission

Experimental determination of ice nucleating ability of aerosols and their impact on cirrus clouds and contrail-cirrus

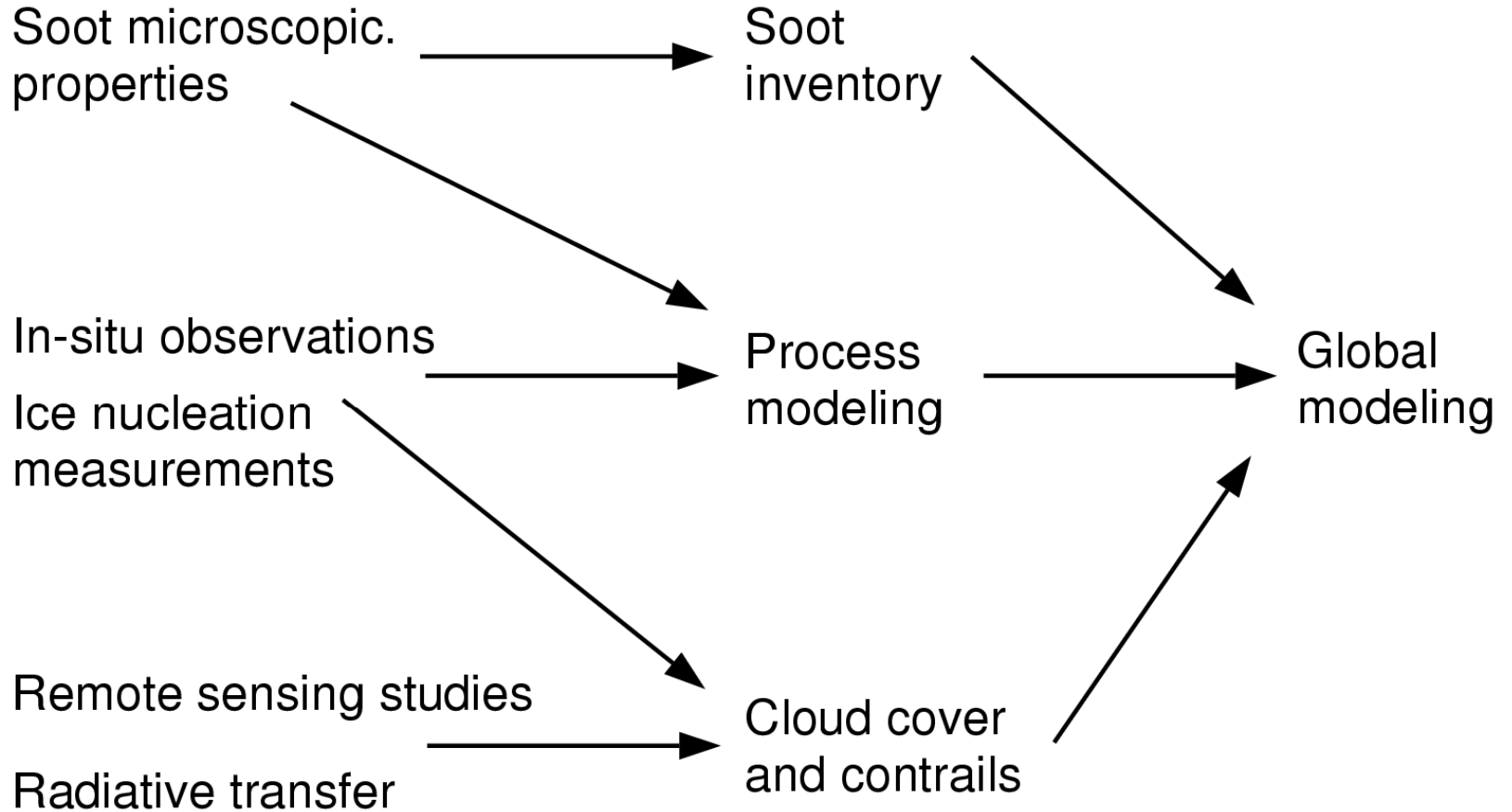
Development and application of simulation techniques for the ECHAM climate model to predict the anthropogenic impact on cirrus, in particular the aviation impact

- [numerical soot code](#) optimized for real combustor scenarios
- [aerosol-cloud-radiation module](#) optimized for use in a climate model
- updated 4D aviation soot emission inventory
- [airborne SO₂ measurement system](#) based on chemical ionization mass spectrometry
- high cloud climatology useful for model validation
- various [parameterization schemes](#) for ice formation, contrail-cirrus cover, and radiation
- experimental clarification of controlling factors of [soot formation](#) in jet engines
- experimental determination of [aerosol freezing](#) properties

Project structure



Project workflow



Major milestones

HMS 1	Soot oxidation measurements completed and existing models describing soot formation improved and validated	December 2006
HMS 2	4D soot emission inventory available	June 2007
HMS 3	Measurement campaigns (HBK-5 and jet engines) performed and 3D simulations incl. soot formation validated	December 2007
HMS 4	Airborne campaign CIRCLE-1 completed and ice nucleation properties of aerosol particles determined	October 2005
HMS 5	Airborne campaign CIRCLE-2 completed, climatically important parameters of cirrus determined and remote sensing methods validated	October 2006
HMS 6	First estimate of the indirect effect of soot from aviation sources on cirrus clouds	December 2007
HMS 7	Aerosol-Cirrus module in ECHAM implemented and validated	December 2005
HMS 8	Ice nucleation parameterization including homogeneous and heterogeneous processes ready for use in ECHAM	June 2006
HMS 9	Aircraft-induced changes in cloudiness and associated climate change quantified	December 2007

Strategic decisions decided on after the midterm meeting resulted in work plan changes regarding contrail / cirrus measurements and modeling.



LAUNCH-2005

International **L**indenberg Campaign for **A**ssessment of **Hu**midity- **an**d **C**loud-
Profiling Systems and its Impact on **H**igh-Resolution Modelling



IPA-Goals

Study properties of persistent contrails and their temporal evolution

Expand the existing data base of upper tropospheric relative humidity with accurate sensors

Test contrail predictability and ability to forecast persistent contrails

DWD-Goals

Assessment of ground-based temperature, humidity and wind-profiling systems, including satellite measurements

Assessment of the impact of 4D data assimilation into a high-resolution weather forecast model from a network of stationary, ground-based water-vapor lidars in comparison to microwave profilers

Field campaign CIRCLE-2

CIRCLE-2 is a [joint DLR/CNES endeavor](#), with a clear focus on the extensive characterization of optical and radiative properties of natural and anthropogenically influenced cirrus for improving the parameterization of these properties in global models.



Goals:

Quantification of optical properties of cirrus particles using airborne, space-borne and ground-based sensors.

Validation of satellite retrievals (MSG, Calipso/CloudSat) with experimental data on cirrus properties.

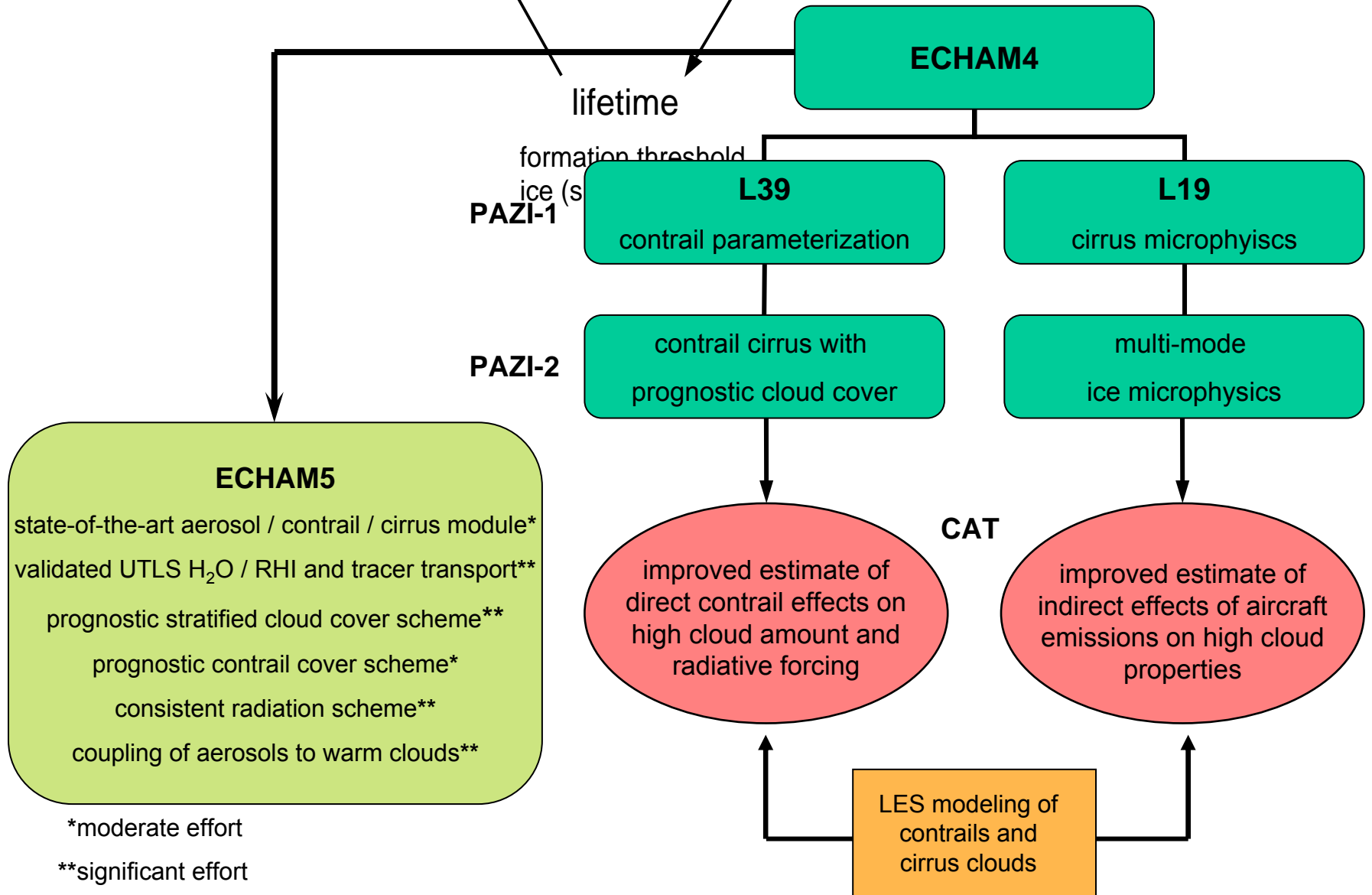
Many research issues have emerged among German and French groups using [two Falcons](#).

Issues covered in ongoing analyses [visit <http://www.pa.op.dlr.de/pazi-falcon/circle2/>]:

- microphysical and optical measurements
- lidar and lidar/radar observations
- IR radiometer and upwelling radiance data
- Calipso case studies
- MSG retrievals and validation
- 3D synthetic cirrus cloud generator.

DLR-IPA
Uni Mainz, IPA
Service d'Aeronomie
Centre d'étude des Environnements
Terrestre et Planétaire
Laboratoire De Météorologie Physique,
Université Blaise Pascal
NASA Langley Research Center

Development of aerosol / cloud modeling

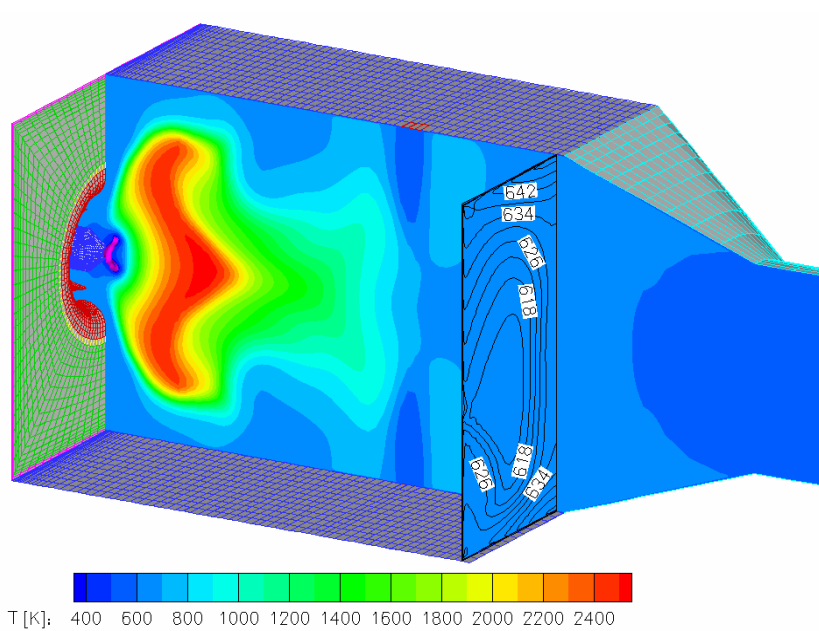


Achievements - Soot effects and ice microphysics

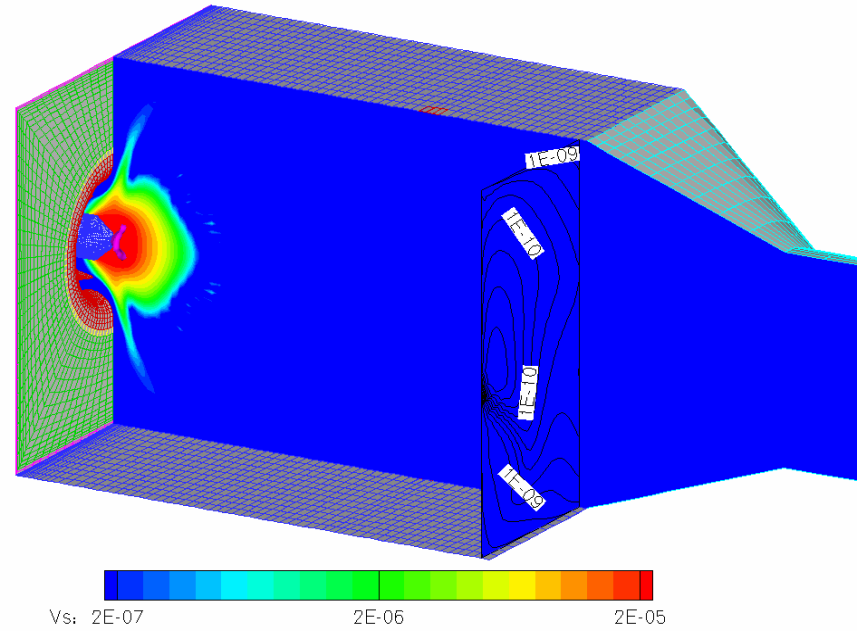
- Improved **understanding of soot formation** obtained from experimental studies using laboratory-scale flames (process studies) and using the HBK-S under more realistic thermodynamic conditions.
- Development of more **reliable simulation techniques for combustion chambers** enabling the prognostic treatment of physical properties of jet engine soot particles (THETA-Code).
- Refinement of methods employed to correlate **physical properties of soot emissions** from jet engines with different operating conditions for representative engines types.
- Substantial progress in **parameterizing the aerosol-ice interaction** in the climate model ECHAM4 through implementation of a scheme treating both homogeneous and heterogeneous ice nucleation consistently.
- Analysis and synthesis of **ice nucleation behavior of soot particles** from different sources including aircraft engines highlighted the difficulty to reconcile available laboratory data; it is unclear what makes soot particles efficient ice nucleating agents and whether aviation soot belongs to that category.
- First estimates of **potential aircraft soot effects on cirrus** with ECHAM4: depending on how background cirrus form, soot may lead to increases or decreases in ice crystal number density provided aircraft soot particles are good ice nuclei.

3D simulations of PAZI-2 combustor experiments

temperature (left) and soot volume fraction (right) at 10 bar pressure



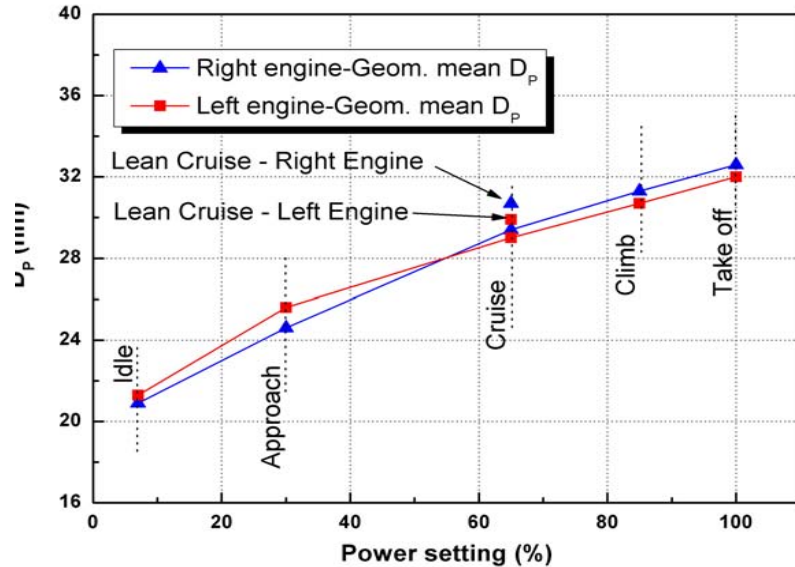
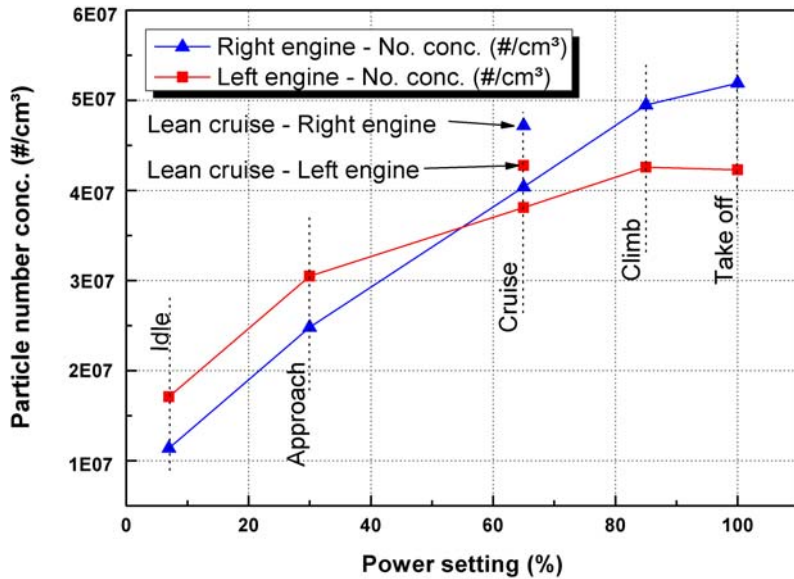
turbulence-chemistry
interaction based on
multivariate PDF
approach



two-moment scheme (soot number
density and volume fraction) and
sectional approach for PAHs; reduced
kinetic scheme for kerosene

Measurements behind real jet engines

systematic ground-based studies of aircraft jet engine particle emissions at different power settings



soot particle number density (left) and mean diameters (right)

Toward a novel 4D aircraft (soot, NO_x) inventory

JT9D-7R4G2 [1PW029]

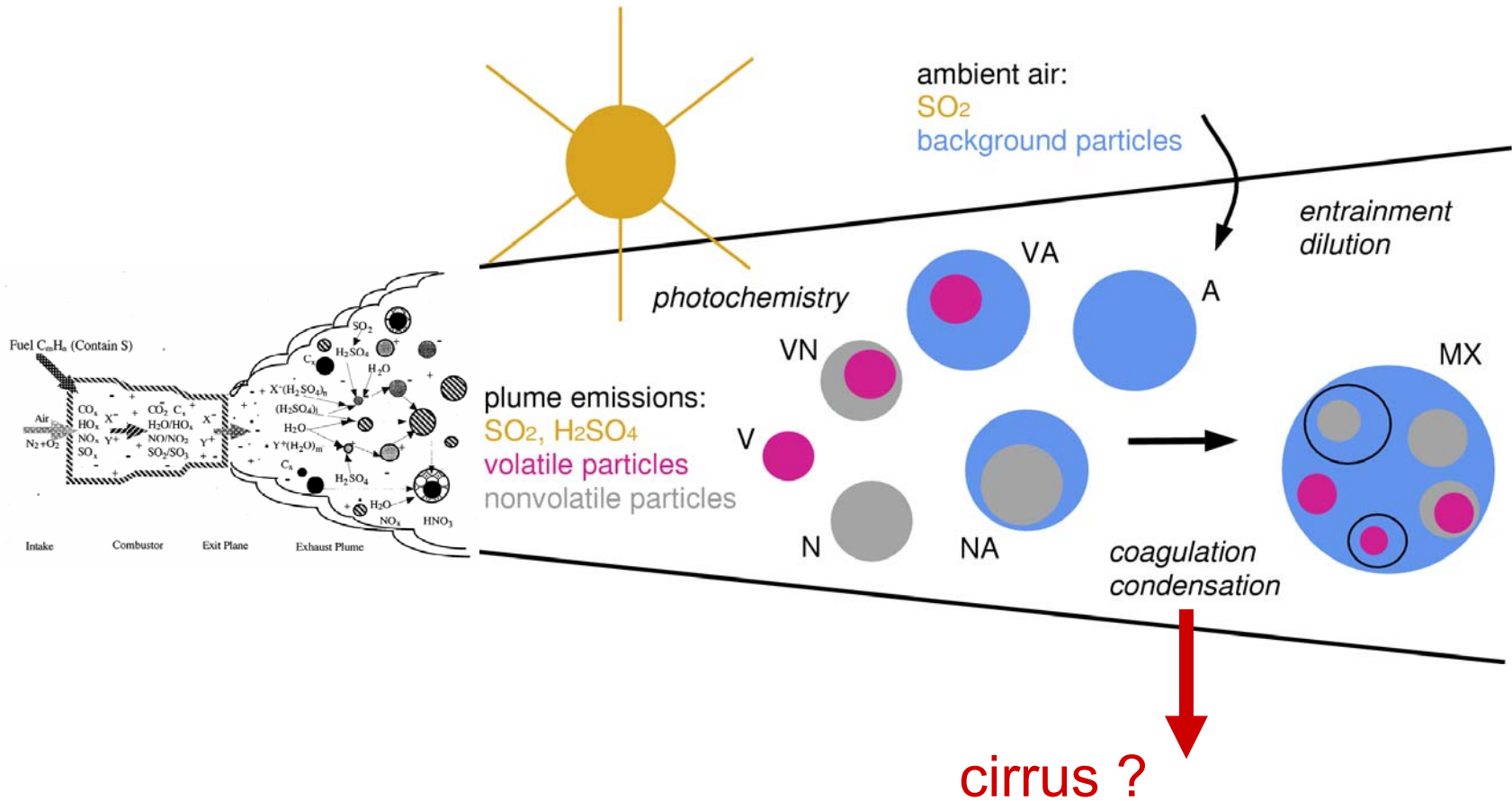
e.g., B747, B767, A300,...

FL [hft]	Ma [-]	Thrust [kN]	m_Fuel [kg/s]	Tt3 [K]	pt3 [kPa]
240	0,5	68,549	0,952	704,092	1191,118
240	0,5	77,481	1,107	732,042	1316,304
240	0,5	85,021	1,26	758,556	1424,773
240	0,5	90,583	1,401	782,972	1506,835
240	0,6	4,407	0,165	483,96	318,911
240	0,6	8,19	0,22	514,274	391,854
240	0,6	13,488	0,291	545,414	481,846

Tables of emission parameters for selected aircraft / engine combinations

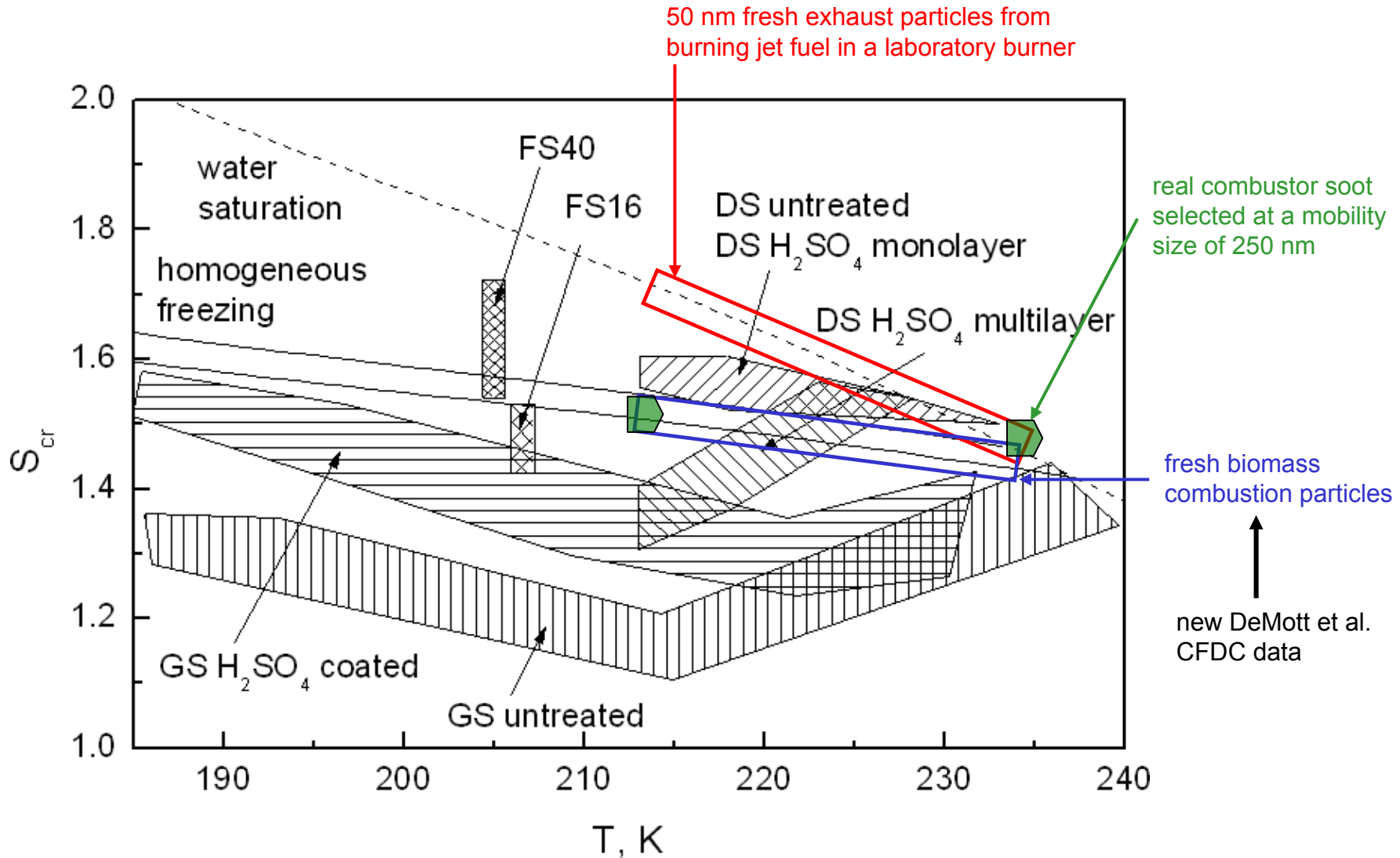
- encompass the total (theoretically possible) range of engine parameters
- consider true flight levels (no altitude interpolation)

Plume model for indirect effect studies



Need targeted in-situ experiment (requiring new instrumentation) to unambiguously demonstrate whether aging aircraft exhaust soot exhibits significant IN behavior.

Summary of lab data on soot particle ice nucleation thresholds



Laboratory data on ice nucleation activity of BC particles have not yet converged to a consistent picture.

Ice from different aerosol sources in ECHAM4

Previous ECHAM version

single mode



contains all types of ice



New ECHAM version

Mode 1



Mode 2



Mode 3



Mode 4

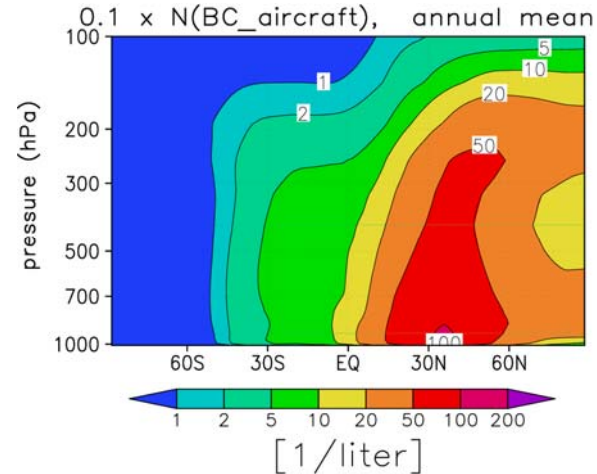
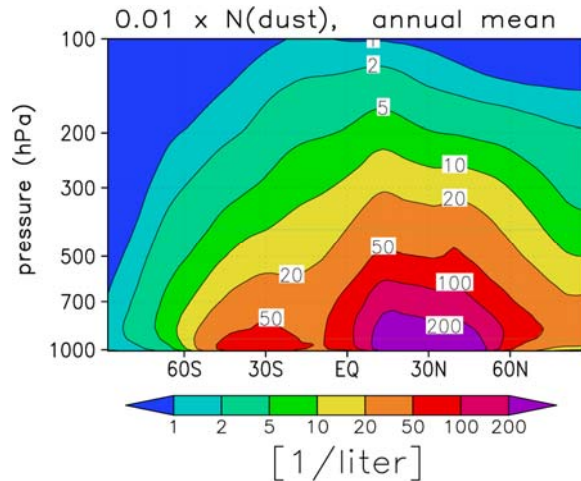


Ice from heterogeneous nucleation on mineral dust

Ice from heterogeneous nucleation on soot

Ice from homogeneous freezing

Ice from other freezing pathways

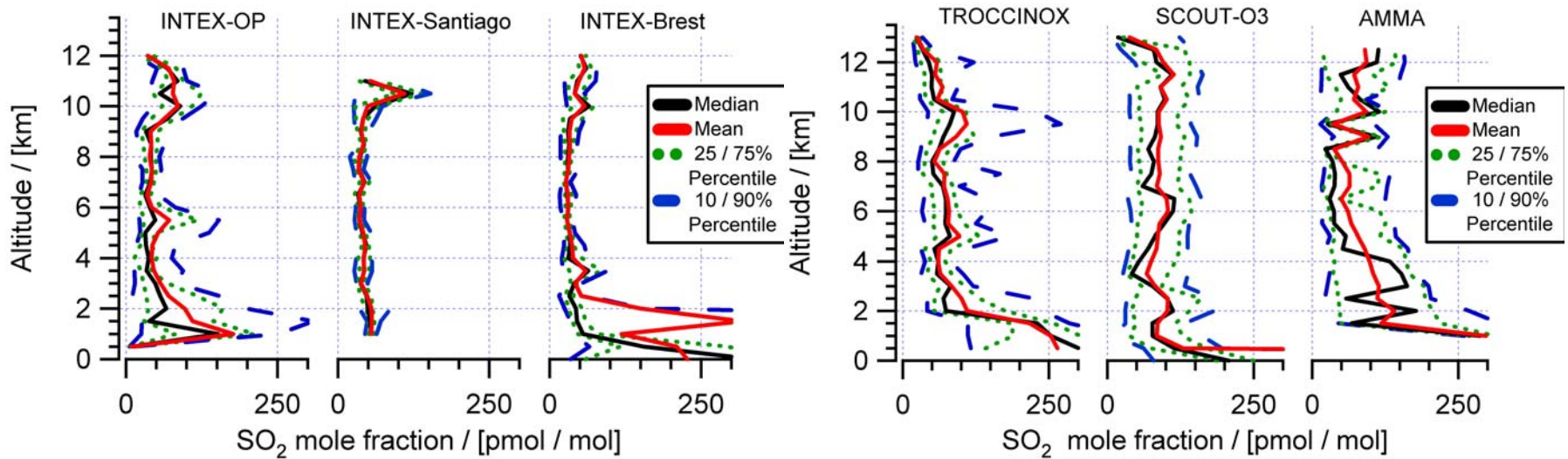


Achievements - Trace gas measurements

- Newly developed airborne measurement system based on chemical ionization mass spectrometry (ITCIMS) has been employed on the FALCON to derive **vertical profiles of SO₂ in various locations** in support of model validation exercises.
- In-situ **measurements of NO_y in cirrus clouds** have been used to quantify the partitioning of reactive nitrogen: up to 30% HNO₃ resides in cirrus ice particles at low temperatures.

Towards a climatology of reliable tropospheric SO₂ data

SO₂ from various ground-based sources is an important aerosol precursor gas, together with aircraft SO₂ emissions leading to growth of aircraft-induced sulfate aerosols.

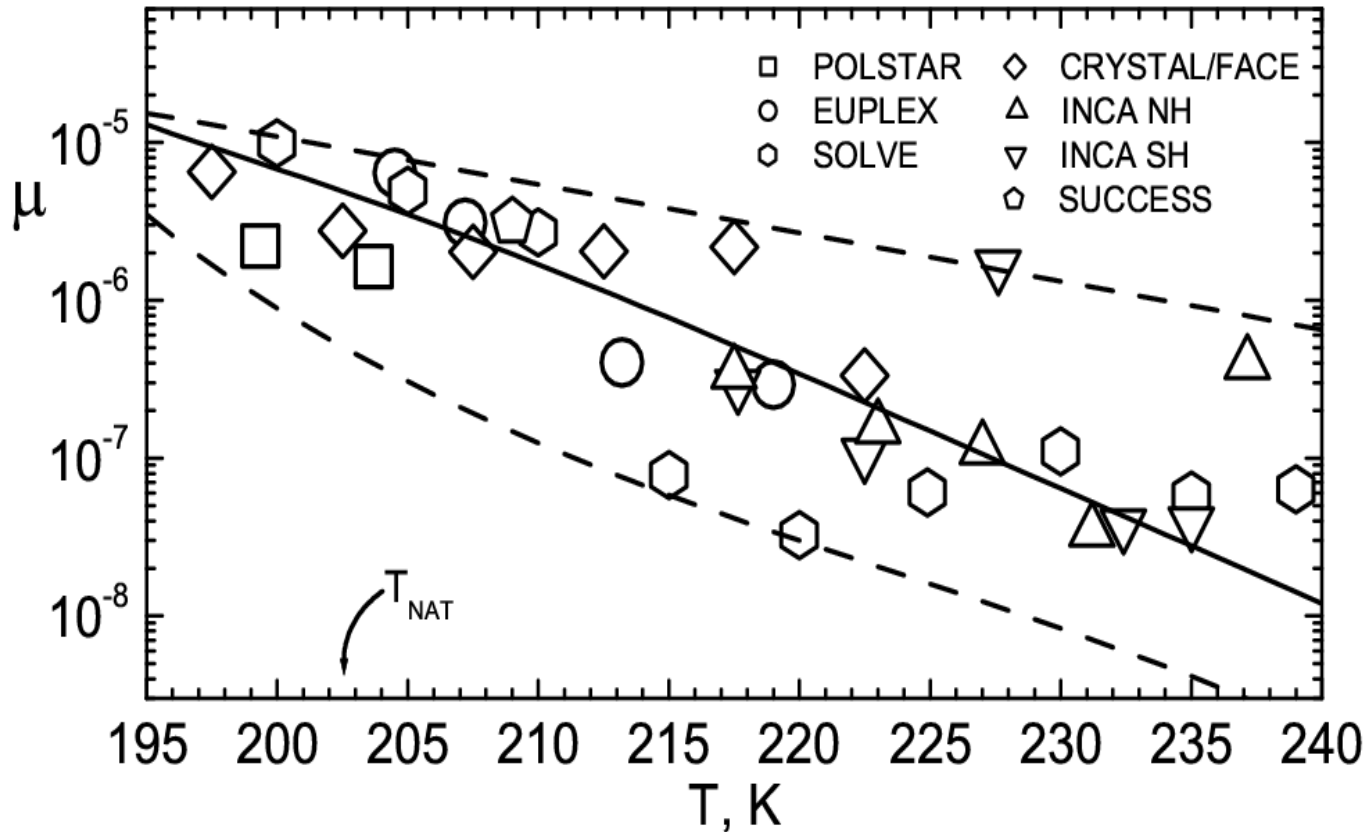


Measured median and mean SO₂ profiles from all flights performed out of Oberpfaffenhofen, Brest, and Santiago (left panels) and Aracatuba, Darwin, and Ouagadougou (right panels).

Data help improve sulfur cycle in global atmospheric models.

Nitric acid is taken up in cirrus clouds and contrails

Collection and analysis of in-situ measurements.



Depletion of HNO_3 from gas phase (up to 30%) may affect aircraft-induced ozone perturbation. Potential role of plume effects in contrails and possibly dry plumes via aerosol uptake.

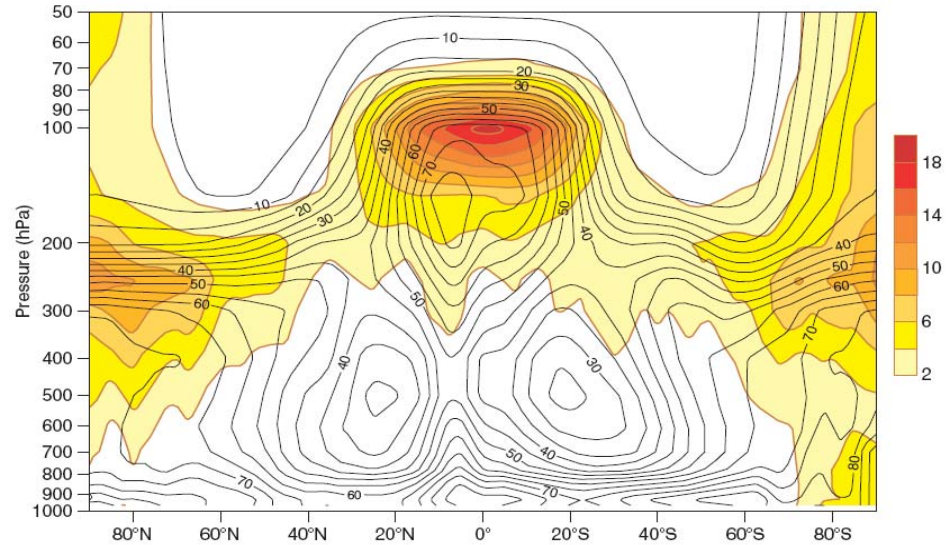
Achievements - Ice supersaturation and cirrus modeling

- Ability to predict midlatitude cirrus properties from homogeneous ice nucleation has matured based on follow-on studies of this process in the aerosol/cloud chamber AIDA using an expanded set of liquid-containing particle precursors.
- Development and validation of a 2D/3D model system for the small-to-mesoscale LES of cirrus clouds using Lagrangian ice particle tracking and interactive aerosol microphysics.
- Analysis of humidity-corrected radiosondes in collaboration with the German Weather Service (DWD) yields insights into the vertical structure of ice supersaturated regions in the upper troposphere at midlatitudes.
- First quantification of moisture and temperature fluctuations along MOZAIC aircraft routes.
- Implementation of ice supersaturation consistent with a prognostic cloud scheme in the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) integrated forecast system led to improved relative humidity fields available in operational analyses.
- First near hemispheric, process-oriented simulations of aerosol effects on cirrus clouds quantify possible changes of midlatitude cirrus properties and cirrus coverage due to IN.
- First thoughts on a prognostic statistical cirrus cloud scheme for the ECHAM5 general circulation model removing the basic inconsistency between resolved ice supersaturation, fractional coverage and ice microphysics.

Global weather forecast includes ice supersaturation

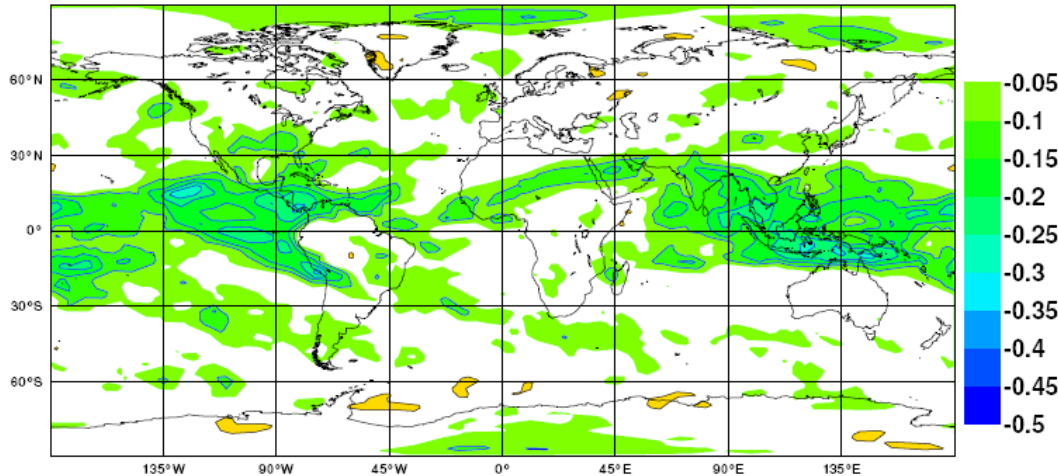
correct treatment of cloud cover and supersaturation in the ECMWF-IFS:
however, validation is pending

ΔRHI



Δ cirrus cloud fraction

High Cloud Cover Difference (Exp-Ctl) 200009 nmon=12 nens=1 Diff: -0.05408 Stdev: 0.05936

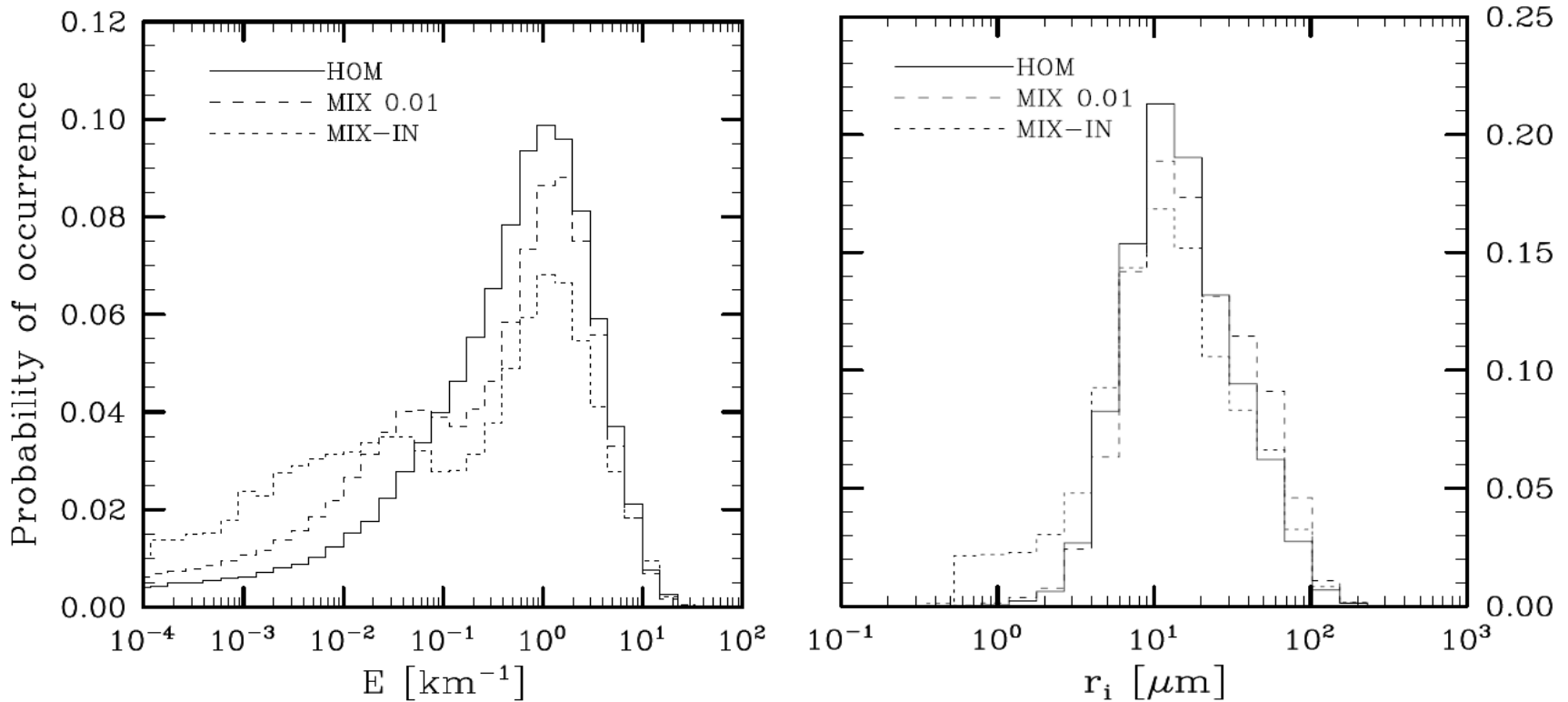


significant changes of
high cloud coverage
and radiative forcing

Figure 2: 12 month average difference in high cloud cover ($p < 450$ hPa approximately) between two experiments using the new nucleation parametrisation and the control, respectively.

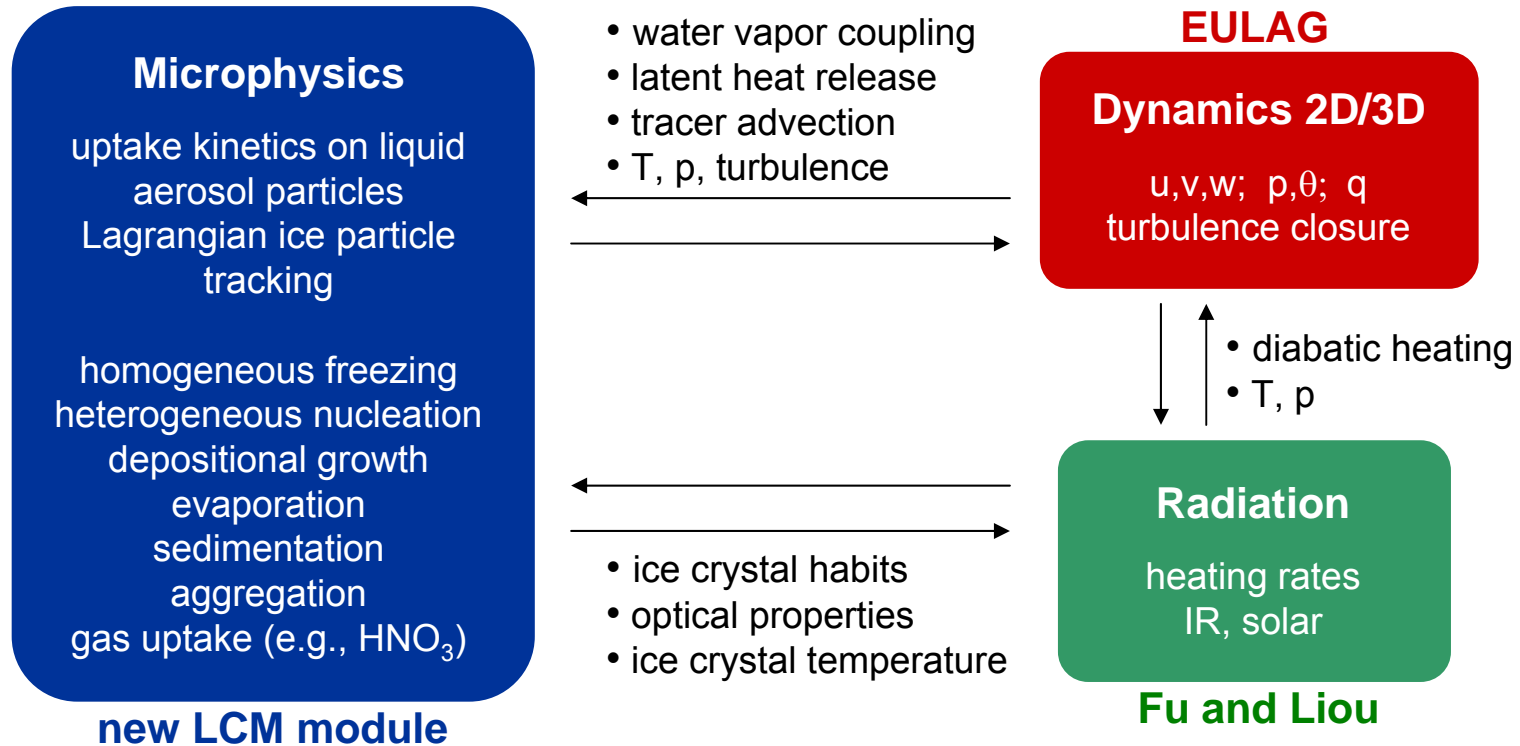
Hint at IN-induced modifications of midlatitude cirrus

Simulated probability distributions of cirrus visible extinction (left) and mean ice crystal radii (right) for homogeneous freezing only (HOM), and with 0.01 background IN per cm^3 of air added with ice nucleation threshold relative humidity of 130% (MIX-0.01) or 105% (MIX-IN).



Weakening of homogeneous mode with a tendency to produce fewer and larger crystals.
Frequency of occurrence of cirrus is more susceptible to IN.

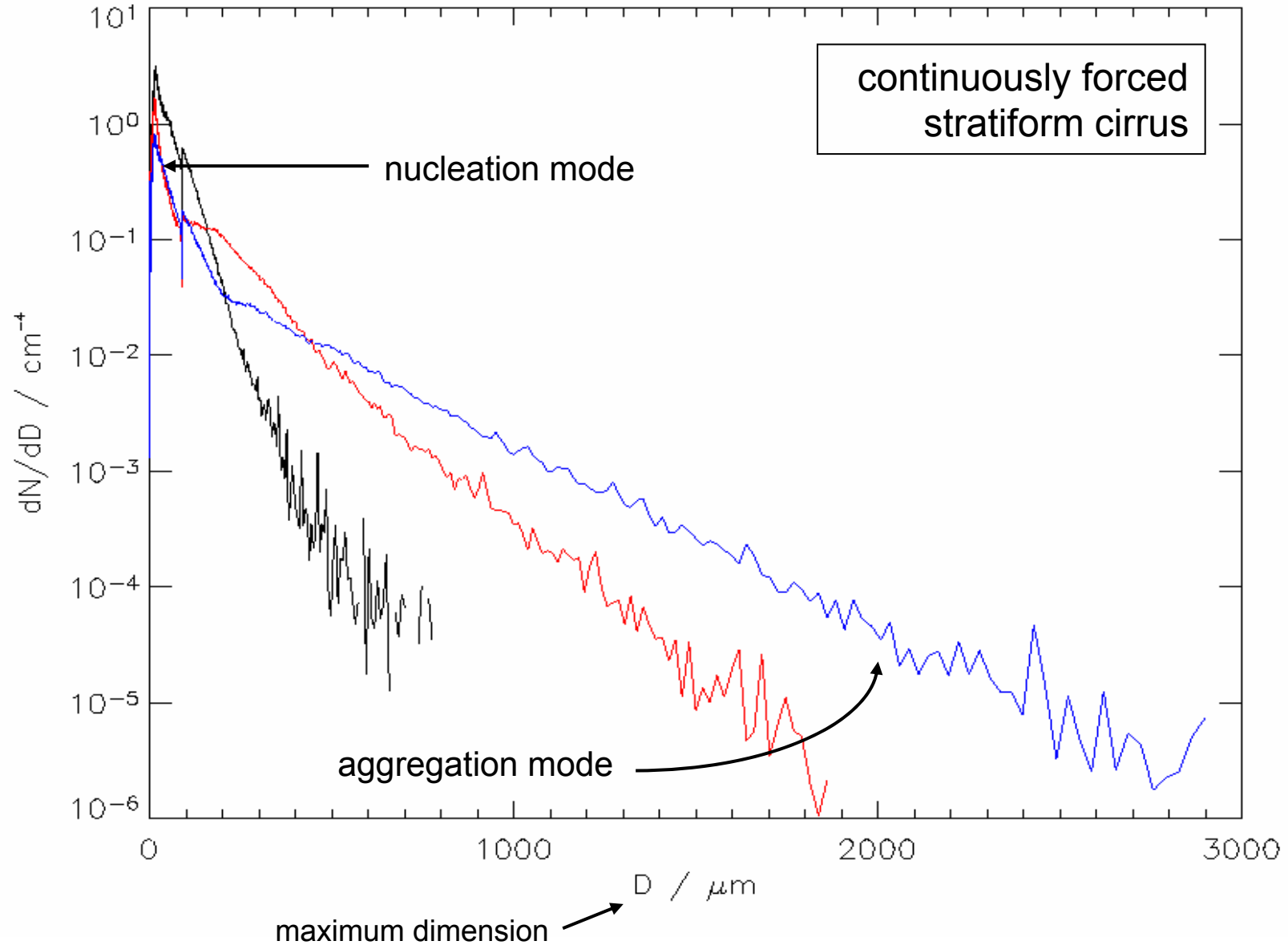
LES cirrus code with unprecedented ice phase microphysics



Model system contributes to GEWEX WG 2 cirrus case study, including validation.

Ideally suited for interpretation of field (aircraft/lidar) measurements of cirrus and contrails and process studies of individual cirrus-controlling factors.

Analysis of aggregation with a Lagrangian approach

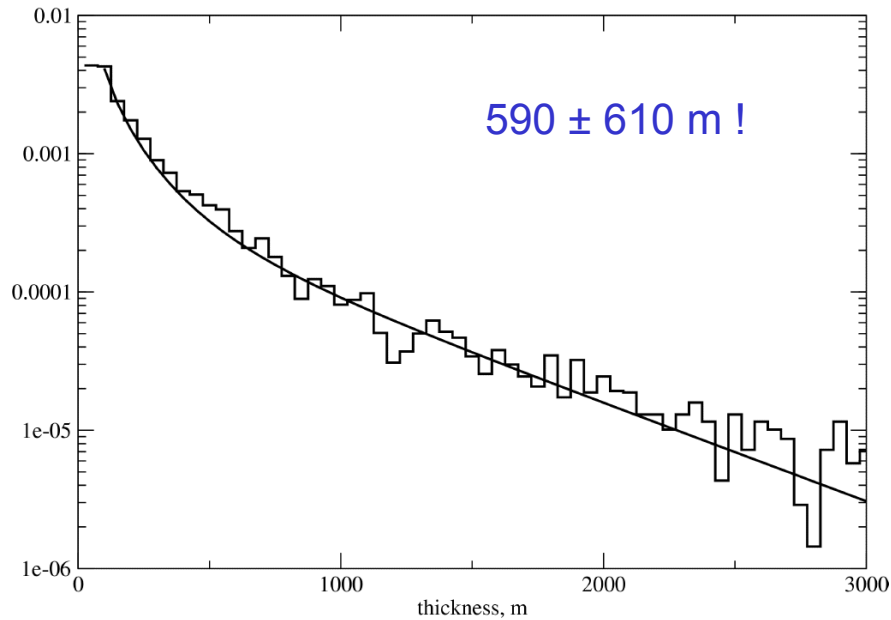
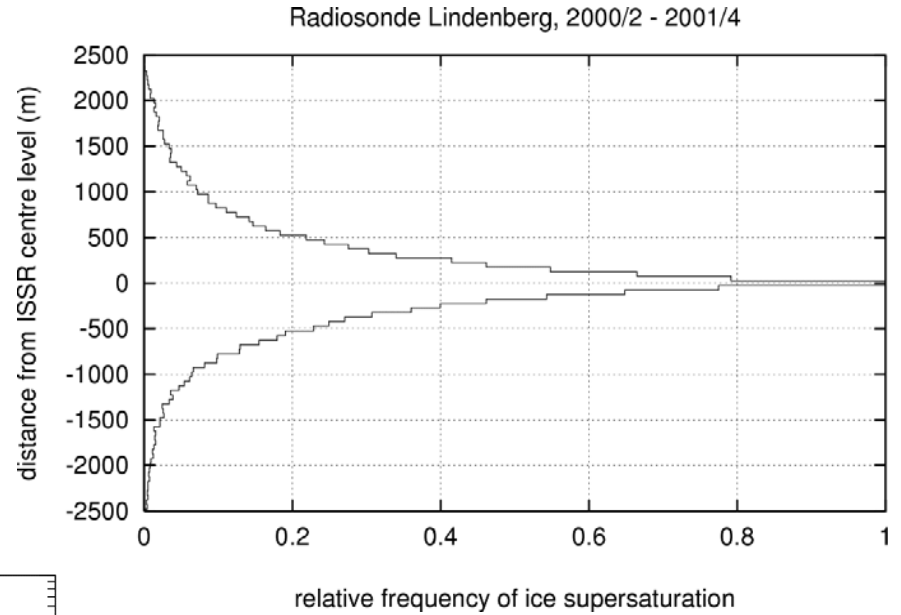


Achievements - Contrails, remote sensing, radiative transfer

- Refinement of the radiative transfer code `libRadtran` with regard to the calculation of cirrus cloud radiative properties within the entire spectral region covered by MSG.
- New retrieval algorithm for cirrus clouds using MSG and comparison of the ECHAM4 radiation scheme with `libRadtran`.
- Remote sensing suggests possible correlation between regional air traffic over Europe and cirrus cloudiness, however, methods need to be refined.
- Measurement campaign PAZI-2/LAUNCH informed about properties of young contrails and their predictability with mesoscale and weather forecast models and yielded perspectives on contrail mitigation.
- Development and validation of a 2D/3D LES model system to simulate contrails and their transition into cirrus clouds.
- Introduction of contrail cirrus as a separate cloud type into the cloud scheme of the climate model ECHAM4, enabling for the first time the simulation of the life cycle of persistent contrails.
- First characterization of aerodynamically-induced contrails using a combination of fluid dynamical, microphysical and optical simulation tools.

Vertical distribution of ice-supersaturated regions

mean thicknesses
from radiosonde data
(only one location)



probability to find
layers with a given
thickness

Contrail cirrus in ECHAM4

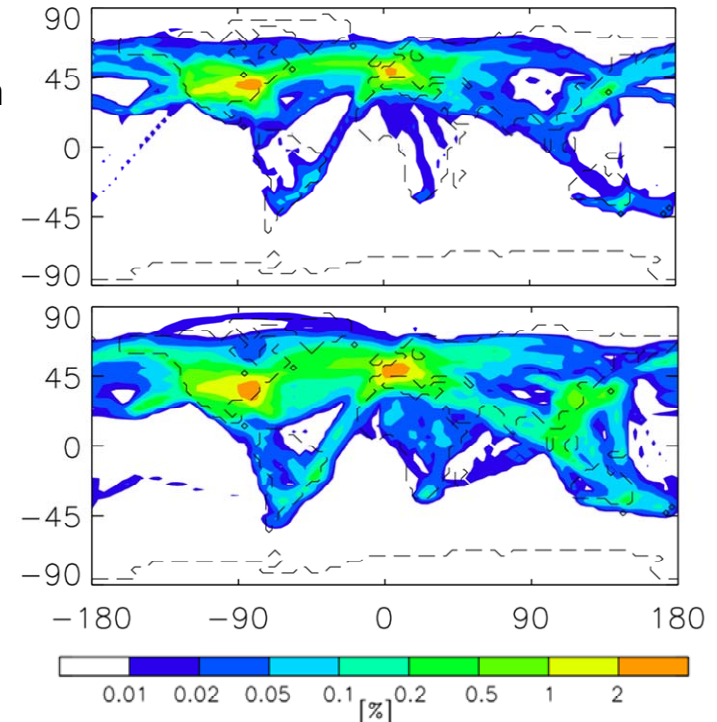
Major areas of progress:

- Mechanistic description of processes affecting contrail cirrus
previous work confined to line-shaped contrails
- No tuning of contrail cover with satellite observations required
previous work did not provide independent estimates of coverage outside of Europe
- Independent microphysical and optical properties of contrail cirrus
previous work did not allow for temporal development of contrail RF and used fixed r_{eff}

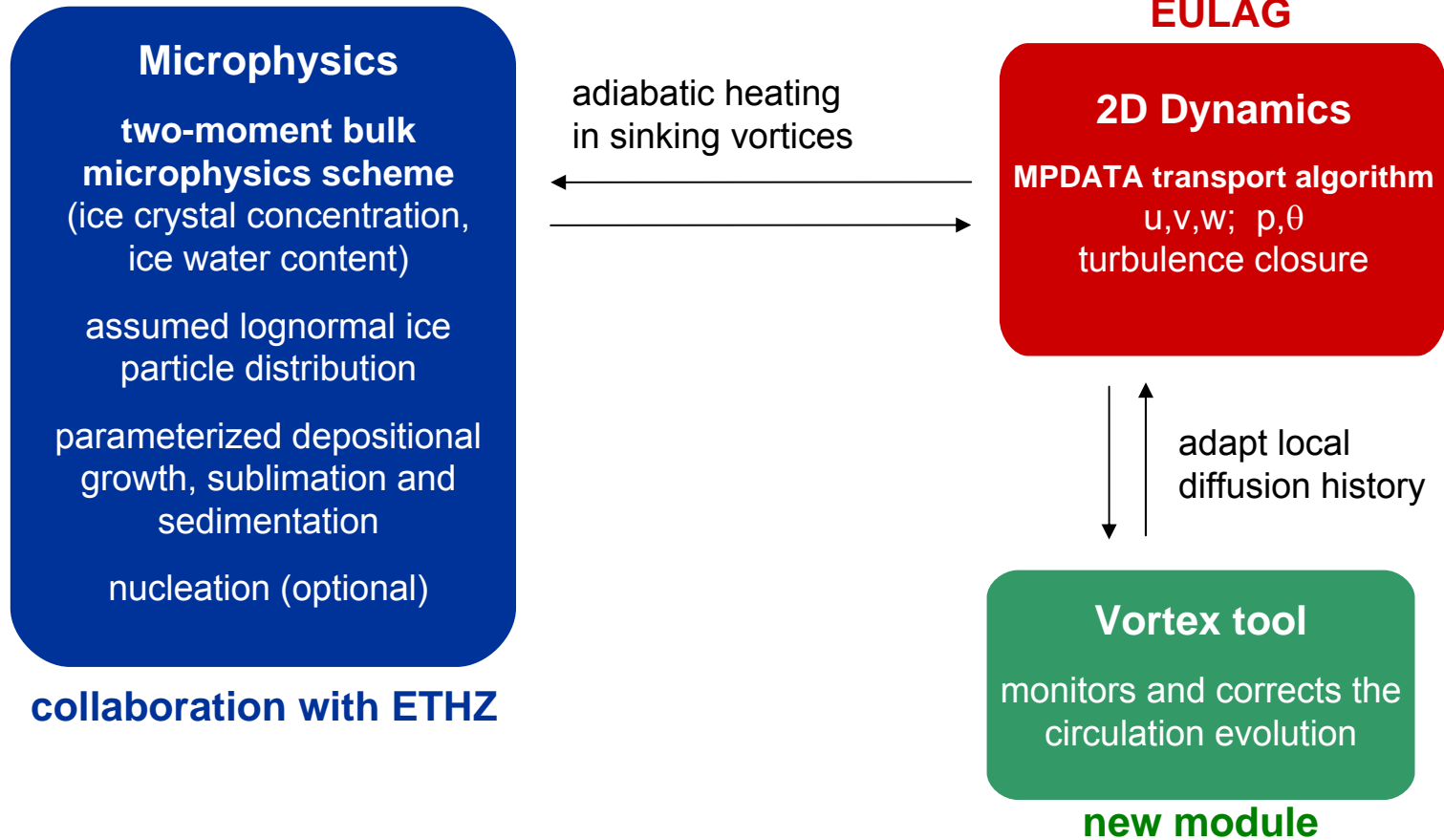
Annual mean global contrail coverage from diagnosed line-shaped contrails (top) and from prognosed contrails younger than 3 h using a new model including contrail cirrus as an independent cloud type (bottom).

Step-wise approach:

- Potential contrail and contrail cirrus coverage
 - Prognostic contrail cirrus coverage, life cycle
 - Optical properties and radiative forcing
 - Mitigation and climate scenarios
- complemented by validation using data and contrail process models.



Small-scale contrail evolution



Model system can be employed on a range of horizontal scales.

Analysis of ice particle properties after vortex break-up

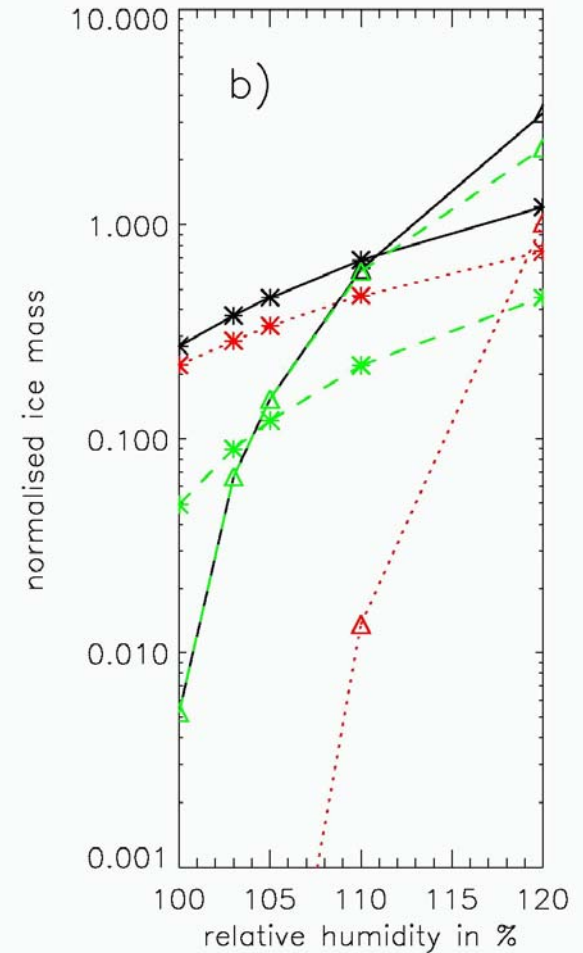
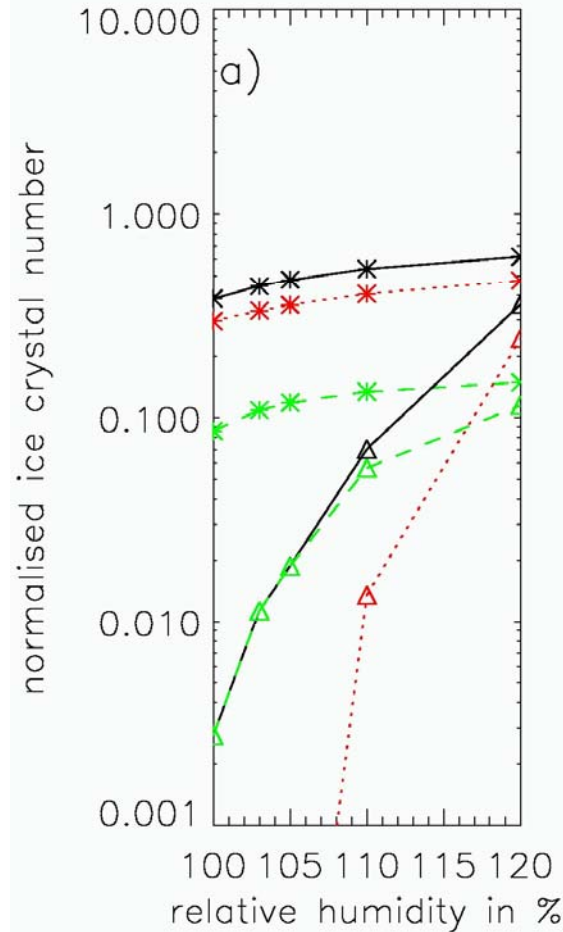
T = 209 K (*) / 222 K (Δ)

black: total
red: primary wake
green: secondary wake

surviving number fraction
depends strongly (factor 100)
on ambient conditions (T, RHI,
 $d\theta/dz$)

ice mass grows rapidly in the
dispersion phase

mass-vs-number determines
vertical distribution of cloud ice
and effective crystal size

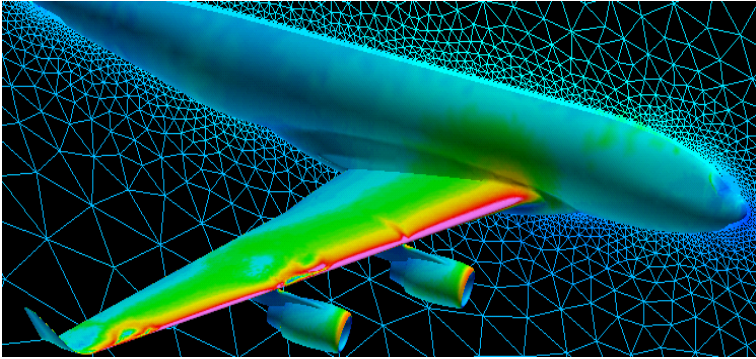


New developments arising from PAZI-2

- Condensed soot production mechanism and nano-soot generator available
- HGF Junior Research Group AEROTROP focusing on aircraft-induced O₃-changes
- Prognostic cloud scheme for ECHAM5
- Fast assessment tool to evaluate aviation climate impact

New DLR-project: Climate-optimized air traffic

Vision: Quantifying the climatic impact of the **whole air transport system**



aircraft design



climate effects



flight routing

..... building on the expertise, tools, and methods acquired during the PAZI projects.

HAP 1 / AP 1.1	Rußemissionen / Messung und Modellierung
PI	Gerlinger, VT
Meilenstein(e)	3D Simulationen mit neuem Rußoxiationsmodell abgeschlossen und validiert; Messungen (HBK-S und reale Triebwerke) abgeschlossen und ausgewertet.

Durchgeführte Arbeitsschritte

Untersuchung der PAZI-2 Brennkammer am HBK-S: Die umgebaute und nun stark schwingungsreduzierte PAZI-2 Brennkammer ist 2007 im Rahmen zweier Messkampagnen am HBK-S untersucht worden. In der ersten Messkampagne wurden stabile Betriebspunkte identifiziert, die zur Untersuchung mehrerer Einflussparameter (Druck, Massendurchsatz, Stöchiometrieverhältnis und Oxidationsluft) auf die Rußbildung genutzt wurden. Bei allen festgelegten Betriebspunkten sind mit LII (laserinduzierte Inkandescenz) 2D-Messungen des Rußvolumenbruchs durchgeführt worden. Nach wie vor traten bei bestimmten Brennkammerbedingungen jedoch noch thermoakustische Schwingungen auf, allerdings mit wesentlich geringerer Amplitude als in den vorangegangenen Messkampagnen. In einer weiteren Messkampagne waren Messungen der Temperatur bei den gleichen Betriebspunkten mit SV-CARS vorgesehen. Dabei haben sich unter den Prüfstandsbedingungen (Fenster) jedoch nur CARS Spektren ergeben, die nicht verwertbar waren. Um dennoch Temperaturwerte zu erhalten, ist die normale CARS-Messtechnik angewandt worden, die allerdings nur bei geringen Rußmengen zuverlässig arbeitet. Daher wurden nur Betriebspunkte vermessen, die relativ geringe Rußvolumenbrüche aufweisen aber dennoch für Flugtriebwerke charakteristisch sind. Zusätzlich ist nach dem Brennkammeraustritt das Abgas mit Sonden untersucht worden. Neben der Gaszusammensetzung wurden dabei auch Russanzahlkonzentration und Größenverteilung ermittelt.

Mehrdimensionale Brennkammersimulationen: Im letzten Projektjahr ist das neu entwickelte PAH- und Rußmodell zum ersten Mal mit einem komplexen Brennstoff (Kerosin) getestet worden (bisherige Brennstoffe waren kurzkettige Kohlenwasserstoffe mit maximal 2 C-Atomen). Dazu musste ein bei VT entwickeltes Kerosin (60% n-Dekan, 28% iso-Oktan, 12% Toluol) Reaktionsmechanismus, bestehend aus 151 Spezies und 820 Komponenten, so weit reduziert werden, dass er bei 3D Simulationen eingesetzt werden konnte. Entstanden ist ein für 10 bar Brennkammerdruck optimierter, reduzierter Mechanismus, der aus 72 Komponenten und 150 Reaktionen besteht. Diese Komplexität ist notwendig, da nur so die für das Rußmodell wichtigen Eingangsspezies Benzol und Acetylen genau vorhergesagt werden. Mit dem reduzierten Kerosin-Mechanismus sind Simulationen der PAZI-Brennkammer durchgeführt worden. Damit ist ein detaillierter Einblick in die Strömungs- und Verbrennungsprozesse dieser Brennkammer (im halbtechnischen Maßstab) möglich. Momentan wird noch an der Auswertung der Daten und am Vergleich mit dem Experiment gearbeitet. Dies sollte jedoch bis Ende des Jahres abgeschlossen sein. Die Kerosin-Simulationen wurden etwas verspätet gestartet, da der hierfür notwendige, reduzierte Reaktionsmechanismus erst relativ spät zur Verfügung stand. Ursprünglich war vorgesehen, einen im EU-Projekt SiA entwickelten Mechanismus zu verwenden. Dort ist das entsprechende Teilprojekt jedoch gescheitert, so dass der nun verfügbare Mechanismus bei VT entwickelt werden musste. Dieser hat sich bei den 3D-Simulationen in Hinblick auf Rechenzeit und numerische Steifigkeit als durchaus handhabbar erwiesen.

Neben der relativ komplexen PAZI-Brennkammer ist auch die SiA- (Soot in Aeronautics) Brennkammer weiter untersucht worden. Schwerpunkt dieser Simulationen war der Einfluss des Drucks auf die Rußbildung sowie die Rußoxidation. Sowohl bei PAZI- als auch bei SiA-Brennkammer liegen komplizierte turbulente Strömungsfelder vor, die eine isolierte Untersuchung von Detailproblem der Rußbildung und Oxidation nicht zulassen. Daher wurden auch im letzten Projektjahr weiterhin Modellflammen und einfache Grundlagenexperimente gerechnet, um die in das PAH- und Rußmodell eingehenden Parameter zu validieren.

Grundlagenexperiment zur Rußoxidation: Die Untersuchungen am Rußoxiationsreaktor im Rahmen von PAZI 2 wurden eigentlich Ende 2006 abgeschlossen. Wegen der viel versprechenden Resultate wurden diese Versuche aus Institutsmitteln 2007 weiter geführt. Hierzu wurde ein verbesserter Reaktor konstruiert und gebaut, der über mit mehreren Entnahmestellen verfügt. Damit ist es möglich, bei Parameterstudien jeweils nur eine Größe zu verändern, da die Einstromungsbedingungen nicht mehr verändert werden müssen. An dem neuen Reaktor wurden isolierte Untersuchungen zur der Oxidation von Rußpartikeln durchgeführt. Gemessen wurden jeweils die Änderung der Rußgrößenverteilung und der Anzahlkonzentration über der Reaktorlänge. Untersuchte Einflussparameter waren u.a. die Temperatur (300–1300 K), die Sauerstoffkonzentration (0–30 % Vol.) und der mittlere Start-Partikeldurchmesser (20 und 28 nm).

Messungen an realen Triebwerken: Im Oktober 2007 sind an einem Prüfstand der RUAG in Ennetmoos (Schweiz) Partikelmessungen an einem Turbomeca Hubschraubertriebwerk (Makila 1A1) durchgeführt worden. Dabei wurden in 3% bzw. 5% Schritten Lastpunkte von 7% (Idle) bis Vollast gefahren. Gemessen wurden Partikelgrößenverteilungen und –anzahlkonzentrationen mit einem EEPs. Ferner wurden Messungen an einer Rolls-Royce Modellbrennkammer durchgeführt, wobei die Ergebnisse jedoch vertraulich sind.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Untersuchungen der PAZI-2 Brennkammer am HBK-S: Es ist in zwei Messkampagnen am HBK-S gelungen, die PAZI-Brennkammer an ausgewählten Betriebspunkten ohne starke Brennkammerschwingungen zu betreiben und zu vermessen. Für zwei Datensätze liegen Rußvolumenbruch, Temperatur- und Abgaswerte vor. Bei anderen Betriebspunkten sind Russdaten und Abgaswerte verfügbar. Zu den am Brennkammeraustritt gewonnenen Messdaten zählen die Zusammensetzung des Abgases, Emissionsindizes, Partikelanzahl und Partikelmasse. Die Daten werden in der numerischen Simulation genutzt.

Mehrdimensionale Brennkammersimulationen: Das neu implementierte PAH- und Rußmodell ist inzwischen an zwei Brennkammern im halbtechnischen Maßstab eingesetzt worden. Dazu wurde ein reduzierter, bei 3D-Brennkammersimulationen einsetzbarer

- Kerosin-Reaktionsmechanismus entwickelt
- und erfolgreich zur Simulation der PAZI-Brennkammer verwendet.

Bei Simulationen der PAZI-Brennkammer sind 2 Probleme aufgetreten: So hat sich in die Strömungsablösung an der abgerundeten Düse als problematisch erwiesen, da die Flamme dort sehr sensitiv auf Änderungen der Kühlluft reagiert. Des Weiteren ergeben sich Differenzen zum Experiment da dort das Kerosin flüssig, in der Simulation aber gasförmig eingebracht wird. Inzwischen liegt eine stationäre Simulation dieser komplexen Brennkammerströmung mit Sekundärlufteinblasung, Kerosin-Verbrennung sowie PAH- und Rußmodell vor. Differenzen zum Experiment ergeben sich vor allem durch die unterschiedliche Eindringtiefe des Brennstoffs. Auf Grund dieser Resultate wird die Anbindung eines Spray-Moduls erwogen. Bei Simulationen der SiA-Brennkammer (gasförmiger Brennstoff: Ethen) hat

- der verwendete multi-variate assumed PDF-Ansatz die Ergebnisse stark verbessert.

Dieser dient zur Modellierung der Turbulenz-Chemie-Interaktion. In Anbetracht der Komplexität der Vorgänge in Flugtriebwerksbrennkammern wurden sehr gute Resultate erzielt. Allerdings sind insbesondere bei der Vorhersage von Rußverteilungen noch Weiterentwicklungen notwendig.

Grundlagenexperiment zur Rußoxidation: Die Versuchsreihen mit Rußpartikeln von 20 und 28 nm Durchmesser zeigen klar, dass die Rußoxidation bei 1000 K einsetzt und quantifizieren die Zunahme mit steigender Temperatur, längerer Verweilzeit und zunehmender Sauerstoffkonzentration.

Messungen an realen Triebwerken: Unter definierten Lastbedingungen konnten komplette Datensätze (Partikelgrößenverteilung und Abgaswerte) für ein Makila 1A1 Triebwerk gewonnen werden. Die Datensätze stehen anderen Arbeitspaketen zur Verfügung.

Input/Output

O: Ergebnisse der Messungen an realen Triebwerken werden, sobald sie komplett vorliegen, an AP1.2 (Rußkataster) geliefert. Resultate des Rußoxidationsexperiments gehen in die numerischen Simulationen des APs ein.

Publikationen

Slavinskaya, N.A

Skeletal Mechanism for Kerosene Combustion with PAH Production, AIAA paper 2000-0992, 2008.

Slavinskaya, N.A, C. Lenfers

Skeletal Mechanism for n-Decane, 2nd International Workshop on Model Reduction in Reacting Flow, Rome, Italy, 2007

Wahl, C., M. Kapernaum, and Th. Rindlisbacher

Airport Air Quality Measurements, Separation of Aircraft and Diesel-Trucks, ECATS Mid-Term Meeting, Munich, 2007.

Wahl, C., M. Kapernaum, and Th. Rindlisbacher

Comparison of Nanoparticle Formation Caused by Leaded and Unleaded Aviation Gasoline Combustion, 11th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles, 2007

Di Domenico, M., P. Gerlinger, and M. Aigner

Numerical Investigation of Soot Formation in Laminar Ethylene-Air Diffusion Flames, ASME paper GT2007-27118, 2007

Di Domenico, M.

Numerical Simulation of Soot Formation in Turbulent Flows.

Dissertation, Universität Stuttgart, 2007.

HAP 1 / AP 1.2	Rußemissionen / Globaler Rußkataster
PI	Plohr, AT mit FW
Meilenstein(e)	Ruß- und Verkehrsdatenbank erstellt

Durchgeführte Arbeitsschritte

Die Erstellung eines globalen Rußkatasters für Luftverkehrsemissionen und die Verfeinerung der wissenschaftlichen Methoden zur schnellen Abschätzung des Rußpartikeleintrages aus Flugtriebwerken in die Atmosphäre war Ziel dieses AP. Die Arbeitsschritte beinhalten die Anwendung weiterentwickelter Rußkorrelationen auf Luftfahrzeug-Triebwerk-Kombinationen, die Beschaffung und die Aufbereitung von Verkehrsdaten sowie eine Analyse der verkehrlichen Entwicklung des Luftverkehrs.

Basis zur Erstellung des Rußkatasters ist das 4D-Katasterprogramm FATE, welches von FW entwickelt und gepflegt wird. Dieses nutzt Flugleistungs- und Emissionsdaten für repräsentative Luftfahrzeug-Triebwerk-Kombinationen, welche von AT zugeliefert werden. In PAZI-2 wurden neue und im Hinblick auf Verbrauch, NO_x und Ruß repräsentative Luftfahrzeug-Triebwerk-Kombinationen von AT definiert und simuliert und in Form von Interpolationstabellen in FATE integriert. Ferner wurde eine Ersetzungsliste erstellt, welche den real fliegenden Luftfahrzeugtypen jeweils einen repräsentativen Typ zuordnet. Erste Testläufe von FATE mit den überarbeiteten Flugleistungsdaten wurden erfolgreich durchgeführt.

Da geeignete Verkehrsdaten der Flugsicherung (FAA/Eurocontrol) nicht zur Verfügung stehen, werden OAG Flugpläne für das Jahr 2006 erworben, welche im Rahmen der Katastererstellung über die Nutzung der Aero2k-Datenbasis um künstliche Wegpunkte (Routings) ergänzt werden sollen. Aufgrund der Problematik der Datenbeschaffung ist das globale Rußkataster in zeitlichem Verzug.

Aufgrund von Verzögerungen in AP 1.1 konnte die geplante Weiterentwicklung der Rußkorrelation noch nicht abgeschlossen werden. Dies erscheint im Laufe des nächsten Quartals aber möglich. Aufgrund der Verzögerungen bei der Katastererstellung ist es denkbar, die Ergebnisse der weiterentwickelten Korrelation noch zu berücksichtigen.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

- Repräsentative Luftfahrzeug-Triebwerk-Kombinationen ausgewählt und Ersetzungsliste für LFZ erstellt.
- Flugleistungs- und Emissionsberechnung für repräsentative Luftfahrzeug-Triebwerk-Kombinationen mit der vorhandenen Rußkorrelation zur Erstellung von Interpolationstabellen für das Katasterprogramm FATE.
- Testläufe von FATE mit den neuen Flugleistungsdaten.
- OAG Flugplänen des Jahres 2006 als Verkehrsdaten für das Russkataster beschafft.
- Erstellung einer von 2 auf 12 Monate erweiterten Verkehrsdatenbank für das Jahr 2006 (in Arbeit).

Folgende Ergebnisse wurden noch nicht erreicht: Weiterentwicklung der Rußkorrelation (voraussichtlich Februar 2008); Erstellung eines Routingmoduls für FATE auf Aero2k-Datenbasis zur Erstellung künstlicher Waypoints für OAG Flüge; Erstellung von 3D-Rußkataster für ausgewählte Zeiträume des Jahres 2006; Erstellung von 4D-Rußkataster (Tagesgang) für ausgewählte Tage des Jahres 2006.

Input/Output

I: Verkehrsdaten (OAG Daten, Dafif, Aero2K), Flugleistungs- und Emissionstabellen.

O: Aufbereitete und bereinigte Verkehrsdaten für 2006, Airport-Datenbank, Länder-Datenbank (ISO 3166 / FIPS10), Rußkataster für ausgewählte Zeiträume

Publikationen

—

HAP 2 / AP 2.1 Aerosole und Zirren / In-situ Messungen
PI Minikin, PA
Meilenstein(e) —

Durchgeführte Arbeitsschritte

Im Mai 2007 wurde in enger Zusammenarbeit mit einer Reihe von französischen Partnern (CNRS, CE/TP, SA, LaMP) sowie der Universität Mainz und der NASA die Flugzeug-Messkampagne CIRCLE-2 durchgeführt. Ziel war die Bestimmung mikrophysikalischer und optischer Eigenschaften von Zirrus-Wolken in mittleren Breiten mit einer Kombination von flugzeug-getragenen Fernerkundungsmethoden (Lidar, Radar, Radianz-Messungen) und in-situ Methoden (Mikrophysik von Eispartikeln). Die Messungen wurden dabei primär auf die Gewinnung geeigneter Daten für den Vergleich mit den Ergebnissen aktiver und passiver Satellitenbeobachtungen (Calipso/CloudSat, Meteosat Second Generation) ausgerichtet. Dazu wurden zwei Messflugzeuge, die DLR Falcon sowie eine französische Falcon, eingesetzt. Flugstrategie und Zeitpunkt der Messflüge wurden auf geeignete meteorologische Bedingungen (Wolkenverteilung), unterschiedliche Bodenalbedo-Verhältnisse (Land/Wasser) und insbesondere zeitgleiche Überflüge von Calipso/CloudSat abgestimmt.

Die Messungen sind insgesamt sehr erfolgreich verlaufen. Mit der DLR Falcon wurden sieben Missionen (15 Messflüge, 42 Flugstunden) durchgeführt, davon drei koordiniert mit beiden Flugzeugen (zweimal von Brest, einmal von Oberpfaffenhofen). Bei fünf Missionen gelang die Unterfliegung von Calipso/CloudSat bei gleichzeitigem Vorhandensein von Zirren. MSG-Beobachtungen liegen für alle gemessenen Zirrus-Fälle vor. Im Dezember 2007 wurde ein zweitägiger Workshop zu ersten Ergebnissen des CIRCLE-2-Experiments durchgeführt. Die Messdaten sind bisher soweit analysiert, dass eine Festlegung der für die Validierung von Satelliten-Retrievals geeigneten Datensequenzen erreicht werden konnte.

Die Auswertung der Messdaten der CIRCLE-1 (PAZI-2/LAUNCH) Messkampagne wurde fortgesetzt und mündete in die Vorbereitung einer Publikation zu den optischen und mikrophysikalischen Eigenschaften des bei CIRCLE-1 vermessenen Contrails eines Embraer-170-Passagierflugzeugs.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Die Auswertung der bei CIRCLE-2 im Mai 2007 durchgeführten Messungen ist noch nicht abgeschlossen. Die beobachteten Zirrus-Fälle decken einen weiten Bereich optischer Dicken bis zu sehr dünnen Zirren ab. Die Synergie von in-situ und Fernerkundungsmessungen von zwei Flugzeugen sowie Satellitendaten bei CIRCLE-2 erlaubt eine Reihe wertvoller Vergleichs-Fallstudien. So können aus Strahlungsmessungen abgeleitete optische Dicken und Effektivradien mit in situ Beobachtungsdaten verglichen werden und die Sensitivität hinsichtlich Annahmen über die Morphologie der Eispartikeln und Wolkenschichtung überprüft werden.

Die bei CIRCLE-1 (PAZI-LAUNCH) durchgeführten Messungen im zunächst persistenten Contrail einer Embraer-170 überdeckten ein Plume-Alter von ~2-16 Minuten. Im frischen Contrail dominieren kleine, quasi-sphärische Eispartikel mit Durchmessern unterhalb von 5 µm die optischen Eigenschaften. Im gealterten Plume sind die Eispartikel deutlich asphärisch und angewachsen, womit die Eigenschaften denen von natürlichen Zirren relativ ähnlicher sind. Der in diesem Fall untersuchte, sichtbare Contrail ist hinter dem erzeugenden Flugzeug entgegen der Erwartung allerdings nicht nachweisbar abgesunken, so dass hier Unsicherheiten hinsichtlich der Homogenität des Plumes und Repräsentativität der Ergebnisse bestehen. Dies betont die Notwendigkeit weiterer Messungen in persistenten Contrails, die allerdings nur mit großem Aufwand hinsichtlich der Flugplanung und Koordinierung mit der Luftverkehrskontrolle durchführbar sind.

Input/Output

O: Messdatensätze der Flugzeug-Experimente zu Zirrus-Eigenschaften und begleitende Satellitendaten (siehe: <http://www.pa.op.dlr.de/pazi-falcon/circle2>)

Publikationen

G. Febvre, J.-F. Gayet, B. Kärcher, A. Minikin, V. Shcherbakov, O. Jourdan, U. Schumann, H. Schlager, R. Busen and M. Fiebig. On optical and microphysical characteristics of contrails and cirrus. To be submitted to the *Journal of Geophysical Research*.

HAP 2 / AP 2.2 Aerosole und Zirren / Aerosolvorläufergase
PI Schlager, PA
Meilenstein(e) —

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Flugzeugmessungen des Aerosolvorläufergases SO₂ bei den Kampagnen TROCCINOX/PAZI-2 (Brasilien), SCOUT-O3 (Australien), INTEX-B (Westeuropa) und AMMA (Westafrika) wurden ausgewertet.
- Neue SO₂-Messungen in polaren Breiten (ASTAR-Kampagne in der Arktis in Spitzbergen) wurden durchgeführt.
- Zwei Dissertationen mit Ergebnissen der SO₂-Flugzeugmessungen angefertigt (Verena Fiedler, Rainer Nau).
- Manuskripte für drei weitere Veröffentlichungen wurden vorbereitet.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Troposphärische SO₂-Profile für mittlere Breiten (Europa) und tropische Gebiete (Brasilien, Australien, Afrika) wurden experimentell bestimmt und mit ECHAM-4 und ECHAM-5 Simulationen verglichen. Die bodennahen SO₂-Konzentrationen (Grenzschicht) in den Modellen stimmen mit den Beobachtungen überein, die SO₂-Werte in der mittleren und oberen Troposphäre werden für Europa, Australien und Afrika von den Modellen um ein bis zwei Größenordnungen unterschätzt.

Die PAZI SO₂-Messungen wurden mit Daten von amerikanischen Kampagnen im Pazifik verglichen und sind mit diesen konsistent.

Für SO₂-haltige Schadstofffahnen in der mittleren und oberen Troposphäre von verschiedenen Quellen (Kupferminen und Vulkane in Südamerika, anthropogene Emissionen aus Asien, Emissionen aus Vegetationsbränden in Afrika) wurde die Aerosolneubildung bzw. -prozessierung exemplarisch untersucht.

Input/Output

O: Quasi-globaler SO₂-Datensatz von fünf Flugzeug-Messkampagnen in polaren, mittleren und niederen Breiten (80°N – 20°S) zur Validierung des globalen Modells.

Publikationen

- Nau, R., Das atmosphärische Aerosol-Vorläufergas SO₂: Messungen mit einem flugzeuggetragenen Massenspektrometer, Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 2004.
- Schuck, T., Flugzeugmessungen troposphärischen Schwefeldioxids und Schwefelsäuremessungen im Abgas von Dieselmotoren, Dissertation, Universität Heidelberg, 2006
- Speidel, M., R. Nau, F. Arnold, H. Schlager, A. Stohl, Sulfur dioxide measurements in the lower, middle, and upper troposphere: Deployment of an aircraft-based chemical ionization mass spectrometer with permanent in-flight calibration, Atmos. Environ. 41, 2427-2437, 2007.
- Fiedler, V., Atmospheric SO₂: Global measurements using aircraft-based CIMS, Dissertation, Universität Heidelberg, 2007
- Nau, R., Weiterentwicklung eines flugzeuggetragenen CIMS-Instruments: Spurengasmessungen in der Atmosphäre und in einem Blitzlabor, Dissertation, Universität Heidelberg, 2007.
- Schuck, T., F. Arnold, R. Nau, V. Fiedler, M. Speidel, H. Schlager, First aircraft-based measurements of sulfur dioxide in the upper troposphere over South America, in preparation for ACP, TROCCINOX Special Section
- Arnold, F., T. Schuck, T. Pirjola, R. Nau, H. Schlager, V. Fiedler, A. Minikin, A. Stohl, Upper tropospheric SO₂ pollution over South America: Impact on aerosol and cloud condensation nuclei formation, in preparation for ACP, TROCCINOX Special Section.
- Fiedler, V., F. Arnold, H. Schlager, A. Minikin, S. Ludmann, Acidic trace gases in an aged tropical biomass burning plume: Aircraft based CIMS measurements and implication for soot activation, in preparation for ACP, AMMA Special Section.

HAP 2 / AP 2.3
PI
Meilenstein(e)

Aerosole und Zirren / Globale Fernerkundung
Mannstein, IPA
—

Durchgeführte Arbeitsschritte

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Input/Output

Publikationen

HAP 2 / AP 2.4 Aerosole und Zirren / Gefrierexperimente
PI Möhler, IMK-AAF
Meilenstein(e) Studium der Wachstumsdynamik nach Eisaktivierung

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Bewertung der bisherigen Laborergebnisse zur heterogenen Eisnukleation von Rußpartikeln, in enger Kooperation mit AP 3.1.
- Weitere AIDA-Experimente zur heterogenen Eisnukleation von Rußpartikeln, insbesondere zum Einfluss des Gehalts an organischem Kohlenstoff auf die Eisnukleation bei simulierten Bedingungen in Zirren.
- Anpassung eines Wolkenmodells an die Randbedingungen von AIDA-Experimenten und Studium der Entstehung und Wachstumsdynamik von Eispartikeln.
- Entwicklung eines verbesserten Algorithmus zur Berechnung von Eiswolkeneigenschaften aus Infrarot-Extinktionsspektren.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Als Beitrag zu einer Arbeit des AP 3.1 (Kärcher et al., 2007) wurden alle bisherigen Laborergebnisse zur heterogenen Eisnukleation von Rußpartikeln zusammengefasst und bewertet. Es hat sich gezeigt dass die Ergebnisse älterer und neuerer Untersuchungen zum Teil widersprüchlich sind. Eine quantitative Bewertung des Beitrags von Rußpartikeln, die von Flugzeugen emittiert werden, auf die Zirrenbildung ist damit noch nicht möglich. Weitere Laborexperimente wurden bereits begonnen oder sind für nachfolgende Projekte geplant.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Anpassung eines Wolkenmodells des UK Met Office an die Randbedingungen von AIDA-Experimenten. Eine erste Studie von Cotton et al. (2007) zeigte eine gute Übereinstimmung der AIDA-Ergebnisse mit entsprechenden Modellergebnisse zur Bildungsrate und zum dynamischen Wachstumsverhalten von Eispartikeln.

In einer weiteren Arbeit (Wagner et al., 2007) wurde der Algorithmus zur Berechnung von Anzahl und Größenverteilung von Eispartikeln entscheidend weiterentwickelt. Insbesondere der Einfluss des Aspektverhältnisses bei stark asphärischen Partikeln wurde neu bewertet. Diese Arbeit ist grundlegend für weitere Untersuchungen des dynamischen Wachstumsverhaltens von Eispartikeln unterschiedlicher Form, insbesondere in sehr kalten Zirren mit Temperaturen unterhalb von -70°C .

Input/Output

O: Bewertung der bisherigen Laborergebnisse zur heterogenen Eisnukleation von Russpartikeln; neues Prozessmodell für die Analyse von Zirrenprozessen anhand von AIDA-Experimenten; neue Methoden zur Analyse des dynamischen Wachstums von Eispartikeln in Zirren.

Publikationen

- Cotton, R.J., S. Benz, P.R. Field, O. Möhler, and M. Schnaiter (2007), Technical note: A numerical test-bed for detailed ice nucleation studies in the AIDA cloud simulation chamber, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 243-256.
- Kärcher, B., O. Möhler, P. J. DeMott, S. Pechtl, and F. Yu (2007), Insights into the role of soot aerosols in cirrus cloud formation, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 4203-4227.
- Wagner, R., S. Benz, O. Möhler, H. Saathoff, M. Schnaiter, and T. Leisner (2007), Influence of Particle Aspect Ratio on the Midinfrared Extinction Spectra of Wavelength-Sized Ice Crystals, *J. Phys. Chem. A*, 111, 13003-13022, 12007.13010.11021/jp0741713.

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Analyse der Aufnahme von HNO₃ in Zirruspartikel basierend auf TROCCINOX und CR-AVE Daten
- Zusammenschau und Bewertung der Eisnukleationseffekte von Rußpartikeln unter besonderer Berücksichtigung der Rußemissionen aus Flugzeugtriebwerken
- Entwurf eines statistischen Zirruswolkschemas für ECHAM5
- Mikrophysikalische Analyse, Simulation und Interpretation aerodynamischer Kondensstreifen

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Die im letzten Berichtszeitraum entwickelte, temperaturabhängige Parameterisierung der HNO₃-Aufnahme in Zirruspartikel wurde erfolgreich weiteren experimentellen Prüfungen unterzogen (Voigt et al., 2007; Popp et al., 2007). Die Tatsache, daß eisbasierte HNO₃ Konzentrationen gemessen wurden, die oberhalb der thermodynamischen Löslichkeitsgrenze liegen ist ein starkes Indiz dafür, dass das von PA vorgeschlagene Trapping bei der Wechselwirkung von HNO₃ mit Eiskristallen in Zirren eine wichtige Rolle spielt.

In einer Gemeinschaftsarbeit mit AP 2.4 und amerikanischen Kollegen wurde der in PAZI-2 erarbeitete Stand des Wissens zur Rolle der Rußpartikel bei der Zirrusbildung zusammengetragen und im Hinblick auf einen möglichen Effekt von Rußemissionen des Luftverkehrs bewertet (Kärcher et al., 2007a). Da bislang kein eindeutiger Nachweis von effizienten Eisnukleationseigenschaften von Rußemissionen gelungen ist, bleibt die Rolle des Luftverkehrs in diesem Punkt spekulativ. Es wurde vorgeschlagen, eine dedizierte in-situ Messkampagne zu planen, um diese Frage einer Klärung zuzuführen.

Erste Ideen zum Entwurf eines statistischen Zirruswolkschemas für ECHAM5 wurden diskutiert, um mittelfristig – auf der Basis eines noch zu bestimmenden, prognostischen Wolkschemas – eine Vereinheitlichung der bisher entwickelten ECHAM4-Modellansätze zur Behandlung von Eisübersättigung, Eisnukleation und Bedeckungsgrad zu ermöglichen (Kärcher and Burkhardt, 2007).

Gemeinsam mit den AP 2.3, 3.2 und 3.3 wurden Phänomenologie und Eigenschaften aerodynamischer Kondensstreifen untersucht (Gierens et al., 2007; Kärcher et al., 2007b). Aufgrund ihrer vermuteten Bedeutung für die Klimawirkung des Luftverkehrs in niederen Breiten wird vorgeschlagen, dieses Thema experimentell und mit Klimamodellen weiter zu untersuchen. In diesem Zusammenhang wird auch auf aerodynamisch-induzierte Präaktivierung aufmerksam gemacht, wonach Flugzeuge möglicherweise eine kontinuierliche Quelle effizienter Eiskerne darstellen.

Input/Output

—

Publikationen

- Voigt, C., B. Kärcher, H. Schlager, C. Schiller, M. Krämer, M. de Reus, H. Vössing, S. Borrmann, and V. Mitev. In-situ observations and modeling of small nitric acid-containing ice crystals. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 3373-3383, 2007.
- Kärcher, B., O. Möhler, P.J. DeMott, S. Pechtl, and F. Yu. Insights into the role of soot aerosols in cirrus cloud formation. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 4203-4227, 2007a.
- Popp, P.J., T.P. Marcy, L.A. Watts, R.S. Gao, D.W. Fahey, E.M. Weinstock, J.B. Smith, R.L. Herman, R.F. Troy, C.R. Webster, L.E. Christensen, D.G. Baumgardner, C. Voigt, B. Kärcher, J.C. Wilson, M.J. Mahoney, E.J. Jensen, and T.P. Bui. Condensed-phase nitric acid in a tropical subvisible cirrus cloud. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24812, doi:10.1029/2007GL031832, 2007.
- Kärcher, B. and U. Burkhardt. Prediction of cirrus clouds in general circulation models. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, submitted, 2007.
- Gierens, K., B. Kärcher, H. Mannstein, and B. Mayer. Aerodynamic contrails: Phenomenology and flow physics. *J. Atmos. Sci.*, to be submitted, 2007.
- Kärcher, B., B. Mayer, K. Gierens, U. Burkhardt, H. Mannstein, and R. Chatterjee. Aerodynamic contrails: Microphysics and optical properties. *J. Atmos. Sci.*, to be submitted, 2007b.

HAP 3 / AP 3.2 Klima / Strahlungsprozesse
PI Mayer, PA
Meilenstein(e) Zirrus-Retrieval für MSG validiert

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Entwicklung eines Verfahrens zur Ableitung von Wolkeneigenschaften aus flugzeuggetragenen Strahl- dichtemessungen und Validierung der MSG-Wolkenprodukte
- Erweiterung des libRadtran Strahlungstransfermodells für detaillierte Klimamodell-Sensitivitätsstudien zur Abschätzung des Fehlers durch vereinfachte Strahlungsparametrisierungen für Zirren
- Sensitivitätsstudie bzgl. der Parametrisierung der optischen Eigenschaften von Zirren

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Zur Auswertung von spektralen Strahl- dichtemessungen der Universität Mainz auf der DLR-Falcon während der PAZI-2/CIRCLE-2 Kampagne wurde ein neues Verfahren entwickelt, das die Bestimmung der optischen Dicke und der effektiven Partikelgröße von Zirren erlaubt. Dieses neue Verfahren wurde für die Auswertung von einigen Messflügen angewendet. Für die Validierung des in AP 2.3 entwickelten Fernerkundungsverfahrens für MSG wurden Wolkeneigenschaften verglichen, die zum einen aus MSG-Daten und zum anderen mit dem neuen Algorithmus aus den zeitgleichen Flugzeugmessungen abgeleitet wurden. Erste Vergleiche für Zirruswolken über Wasser zeigten eine sehr gute Übereinstimmung der aus den unabhängigen Messungen abgeleiteten optischen Dicke. Da die CIRCLE2-Kampagne mit großer Verspätung gegenüber dem ursprünglichen Plan durchgeführt wurde, konnten diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen werden.

Das Strahlungstransfermodell libRadtran wurde erweitert, um den Einfluss der Parametrisierung von Zirren auf deren Strahlungsantrieb im Klimamodell abschätzen zu können. Damit kann der Einfluss verschiedener Annahmen über die Eigenschaften von Zirren (z.B. Größen- und Formverteilung) sowie über den Überlapp von Wolken *offline* ausserhalb der Klimamodells untersucht werden. In einer Sensitivitätsstudie wurde die ECHAM Zirrus-Parametrisierung mit einer genaueren Parametrisierung von Key et al. (2002) mit 56 Spektralbändern verglichen. In einer Studie mit Daten eines ECHAM-Modelljahres in zweistündiger Auflösung wurde der Strahlungsantrieb am Oberrand der Atmosphäre mit libRadtran für beide Parametrisierungen berechnet. Dabei stellte sich heraus, dass sich der Strahlungsantrieb bei Verwendung der realistischeren Parametrisierung um bis zu 50 % größer sein kann. In weitere Sensitivitätsstudien sollen Ergebnisse der CIRCLE-2 Kampagne einfließen.

In einer Fallstudie wurden 3D-Effekte auf Erwärmungsraten von Kondensstreifen mit Hilfe des Modells MYSTIC untersucht. MYSTIC wurde dazu auf den thermischen Spektralbereich erweitert. Das Modell konnte nun auch erstmals mit Hilfe von Messungen während der Sonnenfinsternis im März 2006 validiert werden (Emde and Mayer, 2007, Kazantzidis et al., 2007). Die Berechnungen sollen fortgeführt werden, unter Verwendung der mikrophysikalischen Eigenschaften aus dem 3D-Kondensstreifen-Modell.

Input/Output

I: Messdaten CIRCLE-2; ECHAM-Daten

O: Validierung des MSG-Retrievals mit Messdaten aus CIRCLE-2; Strahlungstransfermodul für Klimamodell- Sensitivitätsstudien; 3D-Strahlungstransportmodell zur Berechnung von Erwärmungsraten in Kondensstreifen

Publikationen

Emde, C. and B. Mayer.

Simulation of solar radiation during a total eclipse: a challenge for radiative transfer.
ACP, 7, 2259-2270, 2007

Kazantzidis A., A. F. Bais, C. Emde, S. Kazadzis, and C. S. Zerefos.

Attenuation of global ultraviolet and visible irradiance over Greece during the total solar eclipse of 29 March 2006.
ACP, 7, 5959-5969, 2007

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Das spin-up Verhalten des ECMWF Modells hinsichtlich der Eisübersättigung wurde untersucht.
- Aerodynamische Modellierung zu aerodynamisch erzeugten Kondensstreifen wurde durchgeführt.
- Auswertung von MOZAIC Daten hinsichtlich instantaner Fluktuationen von Temperatur und Feuchte mit dem Ziel, Input zu stochastischen Wolkenphysikmodulen für Wetter- und Klimamodelle zu liefern.
- Numerische Simulationen des Übergangs von Kondensstreifen in Zirren wurden durchgeführt.

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Es zeigt sich, dass das ECMWF Modell erst ab dem Vorhersagetermin +12h die volle Eisübersättigung erreicht, sowohl hinsichtlich des Grades der Übersättigung, als auch hinsichtlich der von eisübersättigten Regionen bedeckten Flächen.

Aerodynamische Kondensstreifen entstehen wegen der starken Abkühlung des Luftstroms über den Flügeln von typischerweise 15 K. Das reicht, um auch relativ trockene Luft kurzzeitig stark zu übersättigen und Kondensation auszulösen. Der Effekt sollte gerade in wärmeren Schichten der oberen Troposphäre am stärksten sein, wo sich Abgaskondensstreifen noch nicht bilden können. Sie treten also nicht sehr in Konkurrenz zu den normalen Kondensstreifen, sondern ihr Effekt muss zu dem der Abgaskondensstreifen hinzuaddiert werden. Aerodynamische Kondensation tritt vorzugsweise an den Teilen der Tragflächen mit den größten Profiltiefen auf. Damit könnten sie in Zukunft bei Einführung von Nur-Flüglern und blended-wing-body designs besonders wichtig werden.

Das Temperaturfeld in der oberen Troposphäre und untersten Stratosphäre hat eine Autokorrelationslänge von ca. 1000 km. Die Autokorrelation auf Skalen die den Größen von Gitterzellen von Klimamodellen entsprechen überschreitet 0.5. Das Temperaturfeld ist schwach intermittent, wobei die Intermittenz von Luftmassengrenzen (z.B. der Tropopause) hervorgerufen wird. Der ovigale Charakter der Verteilungsdichten der instantanen Temperatur- und Feuchtefluktuationen konnte erklärt werden.

Es wurde ein neuer Prozess der Auflösung von Kondensstreifen identifiziert, nämlich durch Feuchtefluktuationen im Gleichgewichtszustand (d.h. $RH_i = 100\% \pm \epsilon$). Dies muss noch genauer untersucht werden. Der Einfluß von Strahlung auf die dynamische Entwicklung von alternden Kondensstreifen ist bedeutend. Aber auch hinsichtlich der Berechnungsmethoden des Strahlungstransports in Kondensstreifen besteht noch Forschungsbedarf.

Input/Output

Aerodynamische Felder an AP 3.1 und AP 3.2 für mikrophysikalische und optische Berechnungen zu aerodynamischen Kondensstreifen.

Publikationen

- Dotzek, N., K. Gierens, 2007: Instantaneous fluctuations of temperature and moisture in the upper troposphere and tropopause region. Part 2: Structure functions and intermittency. Submitted to *Meteorol Z.*
- Gierens, K., R. Kohlhepp, N. Dotzek, H.G.J. Smit, 2007: Instantaneous fluctuations of temperature and moisture in the upper troposphere and tropopause region. Part 1: Probability densities and their variability. *Meteorol Z.*, 16, 221-231.
- Gierens, K., B. Kärcher, H. Mannstein, B. Mayer, 2007: Aerodynamic contrails: Phenomenology and flow physics. *J. Atmos. Sci.*, to be submitted.
- Kärcher, B., B. Mayer, K. Gierens, U. Burkhardt, H. Mannstein, R. Chatterjee, 2007: Aerodynamic contrails: Microphysics and optical properties. *J. Atmos. Sci.*, to be submitted.
- Tompkins, A.M., K. Gierens, G. Rädcl, 2007: Ice supersaturation in the ECMWF Integrated Forecast System. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 133, 53-63.
- Unterstrasser, S., K. Gierens, P. Spichtinger, 2007: The evolution of contrail microphysics and structure in the vortex phase. *Meteorol. Z.*, accepted.

HAP 3 / AP 3.4 Klima / Globale Modellierung
PI Hendricks, PA
Meilenstein(e) Parameterisierungen implementiert und validiert

Durchgeführte Arbeitsschritte

- Implementierung einer neuen Parametrisierung der Eisbildung in ECHAM
- Evaluation der Wolken- und Aerosoleigenschaften in ECHAM
- Quantifizierung der Effekte von Rußemissionen des Luftverkehrs auf Zirren
- Konsistenztest einer neuen Parametrisierung von Kondensstreifen-Zirren
- Erste Abschätzung des Bedeckungsgrads von Kondensstreifen-Zirren
- Vergleich der Eiswassergehalte und potentiell mit Kondensstreifen bedeckter Gebiete mit Beobachtungen
- Konzeptionelle Entwicklung eines statistischen Zirruswolkenchemas

Erreichte (Zwischen-)Ergebnisse

Die in AP 3.1 entwickelte Parametrisierung zur Darstellung der Konkurrenz heterogener und homogener Nukleation wurde in ECHAM implementiert. Hierzu wurde sie mit dem im vorhergehenden Berichtszeitraum entwickelten mikrophysikalischen Wolkenmodul zur Darstellung verschiedener Eismoden gekoppelt. In diese Modellversion wurde dann das in einer früheren Projektphase entwickelte Modul zur Darstellung von Rußemissionen des Luftverkehrs eingefügt. Nach erfolgreichen Modelltests wurden dann Langzeitsimulationen gestartet, mit denen der mögliche Effekt von Rußpartikeln aus dem Luftverkehr auf die globale Zirrusbewölkung quantifiziert werden soll. Die Ergebnisse werden zum Ende des Projektes erwartet. Zur Evaluation des verwendeten mikrophysikalischen Wolkenmoduls wurden umfangreiche Vergleiche mit Satellitendaten (TOVS, ISCCP, MLS) durchgeführt. Zur weiteren Evaluation wurde aus AP 2.3 eine aus NOAA/AVHRR-Daten abgeleitete Wolkenklimatologie bereitgestellt, die bereits im COBI-Projekt mit ECHAM-Ergebnissen verglichen wurde.

Das mikrophysikalische Aerosolmodul MADE wurde in der ECHAM5-Umgebung hinsichtlich der Darstellung der Aufnahme von Aerosolen in Schnee weiterentwickelt. Die für die Tropopausenregion mit dem Modell simulierten Aerosolkonzentrationen wurden dann mit Flugzeugmessdaten von Rußpartikeln sowie des Gesamtaerosols verglichen. Mit Hilfe von Beobachtungsdaten aus AP 2.2 wurde das Modell hinsichtlich der Darstellung des Aerosolvorläufergases SO₂ evaluiert. Während die simulierten Aerosolkonzentrationen gut mit den Messungen übereinstimmen, findet man deutlich geringere SO₂ Konzentrationen im Modell. Dies könnte auf eine im Modell zu geringe Lebensdauer von SO₂ hindeuten und ist weiter zu analysieren.

Die im letzten Berichtsjahr implementierte Parametrisierung von Kondensstreifen-Zirren wurde auf Konsistenz überprüft. Dazu wurde dem Modell ein auf einem Höhenniveau und auf ein geographisches Gebiet beschränkter Flugverkehr für eine beschränkte Zeit vorgeschrieben. Die zeitliche Entwicklung von Bedeckungsgrad und Eiswassergehalt der Kondensstreifen wurde mit der Entwicklung von Wolken-relevanten, meteorologischen Variablen verglichen. In der simulierten Episode breitete sich die Mehrzahl der neu entstehenden Kondensstreifen nur geringfügig aus. Lediglich zu einem Zeitpunkt waren die atmosphärischen Bedingungen optimal für die Entwicklung von Kondensstreifen, so dass sich diese sehr stark ausbreiteten. Dies deutet auf eine sehr hohe Variabilität der Kondensstreifen-Zirren-Bedeckung hin. Der mittlere Kondensstreifen-Zirren-Bedeckungsgrad ist um ein Vielfaches größer als der Bedeckungsgrad linearer Kondensstreifen alleine. Dieser Bedeckungsgrad ist aber stark von dem angenommenen Grenzwert der optischen Tiefe (ab der Kondensstreifen-Zirren als detektierbar definiert werden) und von der angenommenen Überlappung abhängig. Die Relation des Eiswassergehalts der Kondensstreifen-Zirren zu dem der natürlichen Zirren im Modell ist konsistent mit den wenigen (möglicherweise noch nicht repräsentativen) Beobachtungen, die zur Verfügung stehen. Allerdings wird der Eiswassergehalt der Zirren und folglich der Kondensstreifen-Zirren vom Modell unterschätzt. Eine Veröffentlichung zum Thema Bedeckungsgrad von Kondensstreifen-Zirren ist in Vorbereitung (Burkhardt et al., 2007a).

Eine direkte Validation des potentiell mit Kondensstreifen bedeckten Gebietes ist unmöglich („potentieller Bedeckungsgrad“), da lediglich Daten (z.B. AIRS, MOZAIC) über die Frequenz des Auftretens von Übersättigung existieren. Vergleicht man diese mit der Frequenz des Auftretens von meteorologischen Bedingungen, in welchen Kondensstreifen persistent sein können, so ergeben sich ähnliche regionale Muster, der zonale Gradient dagegen wird unterschätzt. Da aber auch insbesondere die globalen Satellitendaten unsicher sind und sich in der Weiterentwicklung befinden, ist nicht klar, in wie weit die Unterschätzung dieses Gradienten wirklich ein Problem darstellt. Eine Veröffentlichung hierzu ist ebenfalls in Vorbereitung (Burkhardt et al., 2007b).

In Zusammenarbeit mit AP3.1 wurde ein Konzept für einen mikrophysikalisch konsistenten, prognostischen Bedeckungsgrad der natürlichen Zirren entwickelt (Kärcher and Burkhardt, 2007). Die Implementierung eines solchen prognostischen Bedeckungsgrades wird in Zukunft die Beschränkung der Kondensstreifen-Zirren auf einen potentiell maximalen Bedeckungsgrad unnötig machen.

Input/Output

I: Wolkenklimatologie zur ECHAM Validierung aus AP 2.3

O: Quantifizierung der Zirrusänderungen

Publikationen

Burkhardt, U., B. Kärcher, et al.

Contrail cirrus supporting areas, 2007a.

Burkhardt, U. and B. Kärcher

Parameterization of contrail cirrus in GCMs, 2007b.

Petzold, A., et al. (einschl. Hendricks, Lauer)

Perturbation of the European free troposphere aerosol by North American forest fire plumes during the ICARTT-ITOP experiment in summer 2004.

Atmos. Chem. Phys., 7, 5105-5127, 2007

Textor, C., et al. (einschl. Hendricks, Lauer)

The effect of harmonized emissions on aerosol properties in global models – an AeroCom experiment.

Atmos. Chem. Phys., 7, 4489-4501, 2007.