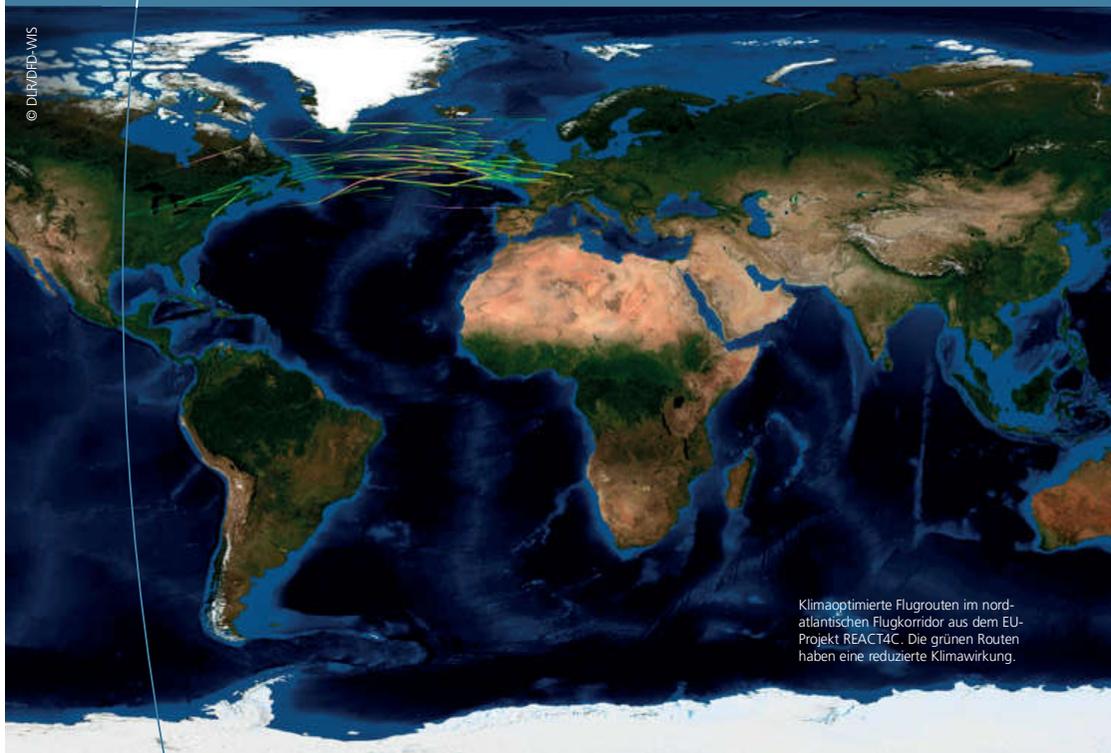


# AUF DER RICHTIGEN SPUR

Welche Wege zu einem klimafreundlichen Luftverkehr führen, erzählt eine DLR-Atmosphärenforscherin im Interview

Von Bernadette Jung



Klimaoptimierte Flugrouten im nordatlantischen Flugkorridor aus dem EU-Projekt REACT4C. Die grünen Routen haben eine reduzierte Klimawirkung.

**D**er globale Wandel verändert die Luftfahrt. Wie die Atmosphärenforschung dazu beitragen kann, den Luftverkehr in den kommenden 30 Jahren ökoeffizient zu gestalten und welche Herausforderungen dabei noch zu meistern sind, darüber spricht die Atmosphärenphysikerin Dr. Sigrun Matthes mit der DLR-Redakteurin Bernadette Jung.

## Dr. Sigrun Matthes

arbeitet am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen. Ihr besonderes Forschungsinteresse gilt der numerischen Modellierung der Klimawirkung des Luftverkehrs mit dem globalen Erdsystemmodell EMAC. Dabei geht es ihr speziell um die Quantifizierung des Klimaeffekts anthropogener Emissionen. Aktuell leitet sie interdisziplinäre Forschungsarbeiten in den Horizon-2020-Projekten ACACIA und ClimOP zur Klimawirkung des Luftverkehrs. Darüber hinaus ist Matthes Vorsitzende des europäischen Forschungsverbands und Exzellenznetzwerks ECATS (Environmentally Compatible Air Transport System), das Wege zu einem nachhaltigen Luftverkehr finden soll. Sie leitet dort die Arbeitsgruppe Aviation climate impact and mitigation options.



## Wenn der Luftverkehr in Zukunft wächst, nimmt auch der Ausstoß an Emissionen zu – wo setzen Sie in Ihrer Forschung an?

Der Luftverkehr, der aktuell noch auf fossile Energieträger setzt, trägt mit seinen Emissionen zum Klimawandel bei. Die Prozesse in der Atmosphäre, die diese Klimawirkung verursachen, sind äußerst komplex und teilweise sehr schwer messbar. Damit Flugzeuge möglichst klimaoptimiert fliegen können, muss die Forschung Informationen darüber bereitstellen, welchen Einfluss die einzelnen Emissionen haben und welche Wechselwirkungen mit der Atmosphäre entstehen. Wir setzen hier auf einen stark interdisziplinären Ansatz und ich arbeite aktuell dazu in verschiedenen nationalen und europäischen Forschungsprojekten. Das DLR hat unter anderem den Zuschlag für das Horizon-2020-Forschungsprojekt ACACIA (Advancing the Science for Aviation and Climate) bekommen. Dieses befasst sich mit der Wirkung von Luftverkehrsemissionen auf das Klima. Besonderes Augenmerk legen wir auf sogenannte Nicht-Kohlenstoffdioxid-Effekte. Sie sind noch nicht ausreichend bekannt und im Emissionshandel derzeit nicht berücksichtigt. Die Klimawirkung von Nicht-Kohlenstoffdioxid-Effekten ist komplexer und möglicherweise auch stärker als die von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Wir Atmosphärenforscher möchten dem nachgehen und die Unsicherheiten in den Abschätzungen verringern.

## Was weiß man über diese Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte?

Flugzeuge stoßen unterschiedliche Spurenstoffe aus, die jeweils einen Einfluss auf die Atmosphäre und damit auf die Strahlungsbilanz und das Klima haben. So greifen emittierte Stickoxide in die Luftchemie ein. Dabei entsteht Ozon, welches zu einer Erwärmung der Atmosphäre führt. Die von den Stickoxiden ausgelösten Prozesse bewirken aber auch einen Abbau des atmosphärischen Methans. Das hat einen abkühlenden Effekt. Weiterhin entstehen unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen langlebige Kondensstreifen und Kondensstreifenzirren. Dies sind die einzigen Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte des Luftverkehrs, die am Himmel sichtbar sind. Sie können sich in der Atmosphäre über mehrere Stunden ausbreiten und haben, je nach Situation, einen kühlenden bis erwärmenden Strahlungseffekt. In der Summe über Tag und Nacht sowie über den gesamten Globus wirken sie erwärmend.

Eine bisher möglicherweise unterschätzte Wirkung geht von dem noch wenig erforschten „indirekten Aerosoleffekt“ aus. Er entsteht durch die Emission von Aerosolen bei der Verbrennung von Kerosin. Aerosole sind kleinste Partikel, die in der Luft schweben – insbesondere Rußpartikel und Sulfattröpfchen. Diese nehmen noch lange

nach der Emission und auch weit entfernt vom Flugpfad Einfluss auf die natürliche Wolkenbildung. Hierdurch verändern sich der Bedeckungsgrad und die Wolkeneigenschaften. Es ist prinzipiell möglich, dass solche Flugzeugaerosole eine Klimawirkung haben, die der des CO<sub>2</sub> ebenbürtig ist. Die Wirkungen dieser Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte sind aber derzeit noch nicht durch Messungen und Beobachtungen nachgewiesen und vorhandene Abschätzungen des indirekten Aerosoleffekts sind sehr unsicher. Das wollen wir ändern.

## Sie haben also die „Spur“ aufgenommen – wie geht es weiter?

Im Rahmen von ACACIA entwickeln wir eine Messstrategie, damit wir die Mechanismen und Prozesse des indirekten Aerosoleffekts identifizieren und die Stärke des Effekts abschätzen können. Dazu untersuchen wir zunächst, ob und in welcher Weise bereits vorhandene

„Die Klimawirkung von Nicht-Kohlendioxid-Effekten ist komplexer und möglicherweise auch stärker als die von CO<sub>2</sub>“

ene Messdaten dafür herangezogen werden können. Das umfasst Daten von Langzeitmessungen auf Linienflugzeugen, von Beobachtungen aus Flugmesskampagnen, unter anderem mit unseren DLR-Forschungsflugzeugen, sowie Daten aus Satellitenmissionen. Weiterhin wird das ACACIA-Team untersuchen, wo noch Daten fehlen oder wo sie zu ungenau sind. Wir möchten diese Lücken schließen und die Prognosen der Klimamodelle weiter präzisieren.

## Wie können diese Erkenntnisse zu einer klimafreundlicheren Luftfahrt beitragen?

Wir müssen genauer verstehen, wie die Atmosphäre auf die unterschiedlichen Emissionen des Luftverkehrs reagiert – dann lassen sich für den Luftverkehr auch nachhaltige Strategien und optimale Maßnahmen für den Klimaschutz entwickeln. In ACACIA haben wir die Wechselwirkungen der verschiedenen Effekte im Blick. So können wir sicherstellen, dass eine Maßnahme, die den Klimaeffekt einer Emissionsart verringern soll, einen anderen Effekt nicht unbeabsichtigt verstärkt. Ebenso ist das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre am europäischen Forschungsprojekt ClimOP (Climate assessment of innovative mitigation strategies towards Operational improvements in aviation) beteiligt, das Anfang des Jahres gestartet ist. Hier gehen wir der Frage nach, welche technologischen und operationellen Maßnahmen geeignet sind, um die Klimawirkung des

# MELDUNGEN

## EFFEKTE DES LUFTVERKEHRS IM MODELL

Die Wechselwirkungen im System Erde sind äußerst komplex. Dementsprechend schwierig ist es, den Einfluss des Luftverkehrs auf die Atmosphäre zu berechnen oder zu ermitteln, wie die Luftfahrt klimafreundlicher werden kann. Simulationsmodelle helfen dabei, diese Prozesse zu beschreiben und zu verstehen. Mit Hilfe des Klima-Chemie-Modells EMAC studieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre beispielsweise die Effekte von Flugzeugemissionen oder untersuchen die Reaktion des Klimas auf Störungen, die durch den Menschen verursacht werden. Darüber hinaus hilft EMAC dabei, Flugrouten interaktiv zu optimieren – sowohl unter Bedingungen des heutigen als auch des zukünftigen Klimas. Dies ist inzwischen auf regionaler wie globaler Skala möglich. Aktuell arbeitet das Team des DLR daran, die Effekte der Aerosolemissionen auf Wolken, hervorgerufen durch den Luftverkehr, zu erforschen und im Modell abzubilden. Das in strikt modularer Form konzipierte Modellsystem EMAC wird im Rahmen eines internationalen Konsortiums der Forschung zur Verfügung gestellt und von führenden Höchstleistungsrechenzentren in Deutschland unterstützt.



Mit dem Klimamodell EMAC können Prozesse in der Atmosphäre, deren Wechselwirkungen mit Ozeanen und Landoberflächen sowie anthropogene Einflüsse dargestellt werden

## AUF GRÜNEN WEGEN

Neue Strategien für umweltfreundliche Flugrouten sind Gegenstand des Projekts Greener Air Traffic Operations (GreAT), das vom DLR-Institut für Flugführung koordiniert wird und im Januar 2020 gestartet ist. Ein internationales Team aus Wissenschaftlern erarbeitet darin neue Methoden einer umweltfreundlicheren Flugverkehrslenkung. Dazu testet das Forscherteam neue Algorithmen und Konzepte, die die Flugführung im Hinblick auf Umweltfreundlichkeit im Streckenflug, im An- und Abflug von Flughäfen sowie im Rollverkehr am Boden verbessern sollen. Hochfrequente Luft-räume und Flughäfen sollen dabei weiterhin effizient genutzt wer-

den können. Mittels Schnellzeit- und Echtzeit-Simulationen können die Forscher auch bestimmen, wo die Grenzen der neuen Konzepte für die Einsparungen von Treibstoff und Emissionen liegen. In GreAT arbeiten europäische und chinesische Partner zusammen, darunter Flugsicherungsorganisationen, Luftfahrtforschungsinstitute, Universitäten und Luftraumnutzer. Die Projektlaufzeit beträgt 3,5 Jahre.

## EIN GEMEINSAMER EUROPÄISCHER LUFTRAUM

Das Luftverkehrssystem in Europa befördert heutzutage über 1,6 Milliarden Passagiere mit jährlich rund zehn Millionen Flügen, Tendenz steigend. Ziel des Programms SESAR2020 ist es, neue Systeme zur Vereinheitlichung des europäischen Luftraums bis zur Marktreife zu entwickeln und dem wachsenden Luftverkehr so gerecht zu werden. Das DLR ist in SESAR an mehreren Projekten beteiligt. Unter anderem hat es eine Flugverkehrsmanagement-Lösung entwickelt, mit der Piloten über vorhergesagte Kondensstreifen informiert werden können. Aktuell entwickeln die Forscher ein Konzept, mit dem Flugrouten im Hinblick auf ihre Klimawirkung analysiert und entsprechend optimiert werden können. Hierfür arbeitet das DLR zusammen mit Industriepartnern daran, einen meteorologischen Dienst zur Verfügung zu stellen, der die Wirkung von Luftverkehrsemissionen auf das Klima quantifiziert.



In SESAR wird beispielsweise auch für Lotsen in der Remote-Tower-Anlage des DLR in Braunschweig an der Fernüberwachung von Flughäfen geforscht



Wie sich Kondensstreifen bilden und weiterentwickeln und wie Stickoxidemissionen wirken, wird unter anderem mit dem Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) untersucht

Luftverkehrs zu verringern. Dazu untersuchen wir bisher vorgeschlagene Maßnahmen und neue Ideen systematisch auf ihren Nutzen für das Klima und ihre Machbarkeit sowie die notwendigen Schritte, um entsprechende Maßnahmen einzuführen.

### Was muss bei der Entwicklung solcher Maßnahmen beachtet werden?

Sagen wir zum Beispiel, wir wollen die Bildung von Kondensstreifen vermeiden, weil diese im Mittel zu einer Erwärmung der Atmosphäre führen. Eine hohe Luftfeuchtigkeit fördert die Wolkenbildung und damit die Entstehung von Kondensstreifen. Es wäre aber nicht sinnvoll, deshalb nur noch Flugrouten durch trockenere und wärmere Regionen zu nutzen und dafür große Umwege und einen hohen Treibstoffverbrauch in Kauf zu nehmen. Doch auch bei Maßnahmen zur Senkung des Treibstoffverbrauchs muss man aufpassen: Erhöht man beispielsweise die Verbrennungstemperaturen im Triebwerk, steigt der Wirkungsgrad der Maschine und sie benötigt weniger Treibstoff. So weit, so gut. Gleichzeitig werden aber auch mehr Stickoxide produziert und entsprechend erhöhte Mengen davon in die Atmosphäre ausgestoßen. Das kann dann ebenfalls die gewünschte Wirkung verfehlen. Um die bestmöglichen Maßnahmen für den Klimaschutz zu entwickeln, müs-

sen wir die Szenarien in der Atmosphäre also einmal komplett „durchspielen“. Dazu benötigen wir möglichst detaillierte Kenntnisse der Atmosphärenprozesse.

### Ihr Forschungsthema macht an Grenzen nicht halt – wie wichtig ist das Thema Zusammenarbeit?

Um Wege für einen nachhaltigen Luftverkehr zu entwickeln, hat sich vor nun zehn Jahren rund um das DLR der europäische Forschungsverbund ECATS (Environmentally Compatible Air Transport System) formiert. Eine Arbeitsgruppe dort befasst sich mit dem Thema, wie der Luftverkehr auf das Klima wirkt und welche Minderungsstrategien es dazu gibt. Dank der komplementären Forschungsaktivitäten im Institut und in Kooperationen schaffen wir am DLR verstärkt Synergieeffekte. Während wir in ACACIA das Verständnis für die komplexen atmosphärischen Prozesse erweitern, können wir die Erkenntnisse gleichzeitig in Projekten wie ClimOP zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen nutzen. Im Sinne des Klimaschutzes und für einen nachhaltigen Luftverkehr werden wir den Hinweisen und Ratseln in der Atmosphäre somit weiter mit gemeinsamen Anstrengungen nachgehen.

**Bernadette Jung** ist Redakteurin am DLR-Standort Oberpfaffenhofen.

