

## Neue Forschungsergebnisse zu Flugverkehr und Klima

Dietrich Brockhagen<sup>1</sup>, Germanwatch

Neue wissenschaftliche Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass der Flugverkehr in seiner Klimawirkung bisher deutlich unterschätzt wurde. Der offizielle Bericht des zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung setzte 1999 den Beitrag des Flugverkehrs zur globalen Erwärmung im Jahr 1992 noch mit 3,5% an (IPCC 1999). Neue Forschungsergebnisse (TRADEOFF 2004) schätzen dagegen, dass der Flugverkehr heute aufgrund des Flugverkehrswachstums, vor allem aber wegen der von Flugzeugen gebildeten Bewölkung mehr als doppelt soviel zum Treibhauseffekt beiträgt: fast 9% (siehe Tabelle Seite 2). Demnach war der Flugverkehr bereits im Jahr 2000 so klimaschädlich, wie er bei anhaltend raschem Wachstum im alten Bericht erst für das Jahr 2020 projiziert worden war.

Kondensstreifen und hohe Schleierwolken (Zirruswolken), vom Flugverkehr verursacht, sind der wesentliche Grund für die Neueinschätzung. Sie entstehen, wenn feuchte Luft an Partikeln aus Flugzeugtriebwerken kondensiert und sich durch den Wind über weite Gebiete ausbreitet. Ihre Wirkung auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre entspricht vereinfacht gesagt derjenigen des Glases eines Treibhauses. Während Kondensstreifen im globalen Mittel den Himmel nur im Promillebereich bedecken (Marquart 2003), können es regional (z.B. über dem Nordosten der USA) mehrere Prozent sein (Minnis *et al.* 2004). Ihr Einfluss auf das Klima hängt deshalb stark vom betrachteten Maßstab ab: Während die künstliche Flug-Bewölkung global gemittelt etwa 5% zum menschengemachten Klimawandel beiträgt, kann sie dort, wo sie auftritt, die Erde stärker erwärmen, als alle übrigen vom Menschen verursachten Klimagase zusammengenommen (siehe Tabelle Seite 2). Einige Forscher konnten sich für ihre Beobachtungen und Berechnungen den unberührten Luftraum über den USA während der Flugzwangspause nach den Anschlägen auf das WTC am 11. September 2001 zu nutze machen (Minnis *et al.* 2004). Wenn sich die neuen Ergebnisse als richtig erweisen, dann kann der Flugverkehr unmittelbar das lokale Klima verändern. Wolken gehören an sich schon zur Definition von Klima. Durch Flugverkehr veränderte Zirrusbewölkung bedeutet also eine Klimaänderung. Diese könnte den Tagesverlauf der Temperaturen am Boden beeinträchtigen und direkt in lokale Wind- und Niederschlagssysteme eingreifen. Dies bedeutet eine wesentlich schärfere Bewertung der Klimawirksamkeit des Flugverkehrs als bisher.

Die künstliche Bewölkung und andere Effekte wirken nach den neuen Ergebnissen beim Flugverkehr im globalen Mittel heute etwa 4,4 mal stärker erwärmend als seine reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei jeder Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen (vgl. TRADEOFF 2004). Bei Autos wurde dieses Verhältnis früher mit weniger als 1,1 abgeschätzt (Greenpeace 1996). Im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln mit fossilen Brennstoffen scheint der Flugverkehr daher pro verbrauchtem Liter Treibstoff die Erdatmosphäre heute etwa viermal stärker zu erwärmen. Das bedeutet, dass ein einzelner Passagier bei einem Flug von Frankfurt nach Los Angeles und zurück das Klima im globalen Mittel etwa so viel erwärmt, wie durch 5 Jahre Autofahren<sup>2</sup>.

Die neuen Ergebnisse zu den Zirruswolken haben nach über 10-jähriger intensiver Forschung eine der letzten großen Wissenslücken im Bereich Flugverkehr und Klima erstmals gefüllt. Die Forscherteams arbeiten häufig im internationalen Austausch und verwenden Satellitenaufnahmen, Messreihen am Boden und in der Luft sowie Computersimulationen. Die neuen Erkenntnisse müssen nun weiter überprüft und vertieft werden.

---

<sup>1</sup> Dietrich Brockhagen, 1996 Physik-Examensarbeit über Kondensstreifen beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Studien zum Flugverkehr im Auftrag von BMU, Greenpeace und VCD. 1999-2001 Mitglied der deutschen Regierungsdelegation bei den internationalen Klimakonferenzen, zuständig für den Flugverkehr. 2002-2003 Referent für Klimaschutz beim Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung globale Umweltveränderungen (WBGU).

<sup>2</sup> Annahmen Flug: Distanz Frankfurt FRA – Los Angeles LAX: 9372 Kilometer, Flugzeug: Airbus A340, 247 Sitze, 80% besetzt, berechneter Treibstoffverbrauch pro 100 Passagierkilometer: 5,2 Liter Kerosin → 2460 kg CO<sub>2</sub> pro Passagier auf der Flugreise hin- und zurück.  
Annahmen für ein Jahr Autofahren: 12000 Kilometer, Verbrauch: 8,5 Liter pro 100 Autokilometer (Flottendurchschnitt Deutschland), geteilt durch einen durchschnittlichen Besetzungsgrad von 1,3 Personen im Auto, folglich 6,5 Liter pro 100 Personenkilometer → 1980 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr und Person.

Tabelle: Erwärmungsantrieb des Flugverkehrs

Effekt	Erwärmungsantrieb absolut* [mW/m <sup>2</sup> ]	Prozent	Quellen
Globaler menschengemachter Treibhauseffekt (Jahr ~2000)	~ 1400	100%	IPCC 1995 und 2001
Treibhauseffekt des weltweiten Flugverkehrs (Jahr 2000)	~ 120	~9%	TRADEOFF 2004
Treibhauseffekt von Zirruswolken des Flugverkehrs, weltweit gemittelt	~ 70	~5%	TRADEOFF 2004
Treibhauseffekt von Zirruswolken, gemittelt über dem Nordosten der USA (Jahr 2001)	~ 200 (Größenordnung)		Minnis <i>et al.</i> 2004
Lokaler Treibhauseffekt von Zirruswolken in den USA (Jahr 2001)	~ 5000 (Größenordnung)		Minnis <i>et al.</i> 2004

\* Der Erwärmungsantrieb ist hier als Strahlungsantrieb (radiative forcing) angegeben, in der Einheit Milliwatt pro Quadratmeter. Dies ist die üblicherweise in der Klimawissenschaft verwendete Einheit (siehe IPCC 1995). Sie ist ein Maß für die Störung des Energieflusses durch die Atmosphäre durch Treibhausgase. Die in Zeile eins genannten netto 1400 Milliwatt pro Quadratmeter sind die treibende Kraft für die Erderwärmung um durchschnittlich 0,6°C seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts.

## Quellen

IPCC 1995: "Climate Change 1995: The Science of Climate Change", Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change  
JT Houghton, LG Meira Filho, BA Callender, N Harris, A Kattenberg and K Maskell (Eds)  
Cambridge University Press, UK.

IPCC 1999: "Aviation and the Global Atmosphere". A Special Report of IPCC Working Groups I and III in collaboration with the Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. J.E.Penner, D.H.Lister, D.J.Griggs, D.J.Dokken, M.McFarland (Eds.),  
Cambridge University Press, UK.

IPCC 2001: "Climate Change 2001: The Scientific Basis", Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.), Cambridge University Press, UK.

Greenpeace 1996 : "Klimaschädlichkeit des Flugverkehrs", Greenpeace Hintergrundinformation, Hamburg, Juni 1996.

Marquart, Susanne 2003: "Klimawirkung von Kondensstreifen : Untersuchungen mit einem globalen atmosphärischen Zirkulationsmodell", Dissertation der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Physik der Atmosphäre, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V., Oberpfaffenhofen.

Minnis Patrick, Duda David, Palikonda Rabindra, Doelling David R. 2004: "Simulation of Contrail Coverage over the USA Missed During the Air Traffic Shutdown", erschienen in "Proceedings of the AAC-Conference, June 30-July 3, 2003, Friedrichshafen, Germany, Editor: DLR, Oberpfaffenhofen, <http://www.pa.op.dlr.de/aac/proceedings.html>

TRADEOFF 2004: "Aircraft Emissions: Contributions of various climate compounds to changes in composition and radiative forcing – tradeoffs to reduce atmospheric impact", EU contract EVK2-CT-1999-0030, erstellt für die EU-Kommission von der Universität Oslo (UiO), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), University of Cambridge (UCAM), University of L'Aquila (ULAQ), Königliches Niederländisches Meteorologieinstitut (KNMI), Centre Nationale de la Recherche Scientifique (IPSL), Norwegisches Institute für Luftforschung (NILU), Center for Aerospace Technology (QinetiQ), Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ).