Klimawirkung des Luftverkehrs



U. SchumannDLR, Institut für Physik der Atmosphäre

(Foto: Schumann, DLR, 2000)

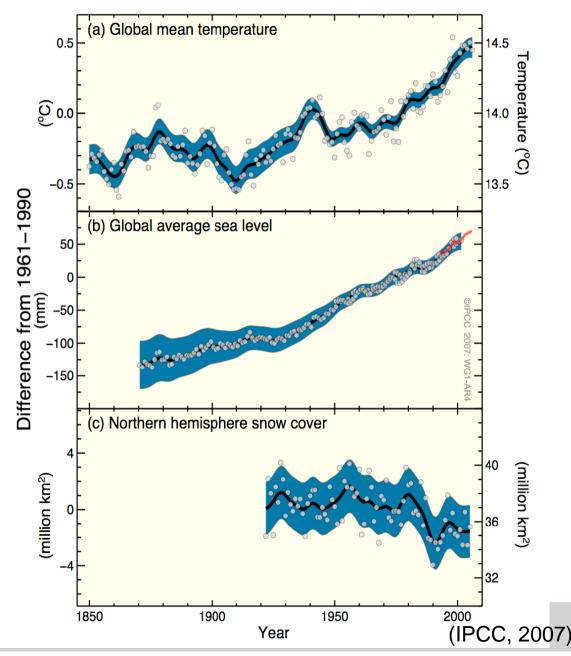
Changes in Temperature , Sea Level and Northern Hemisphere Snow Cover

Stand der Klimaforschung IPCC, 2007:

Beobachtungen und Messungen lassen keinen Zweifel, dass das Klima sich ändert.

Die globale Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg hat sich beschleunigt, ebenso das Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen.

In den letzten 100 Jahren hat sich die Erde im Mittel um 0,74°C erwärmt.





Der Klimawandel ist sehr wahrscheinlich durch anthropogene Emissionen verursacht

Bild zeigt:

Beobachtungen

und

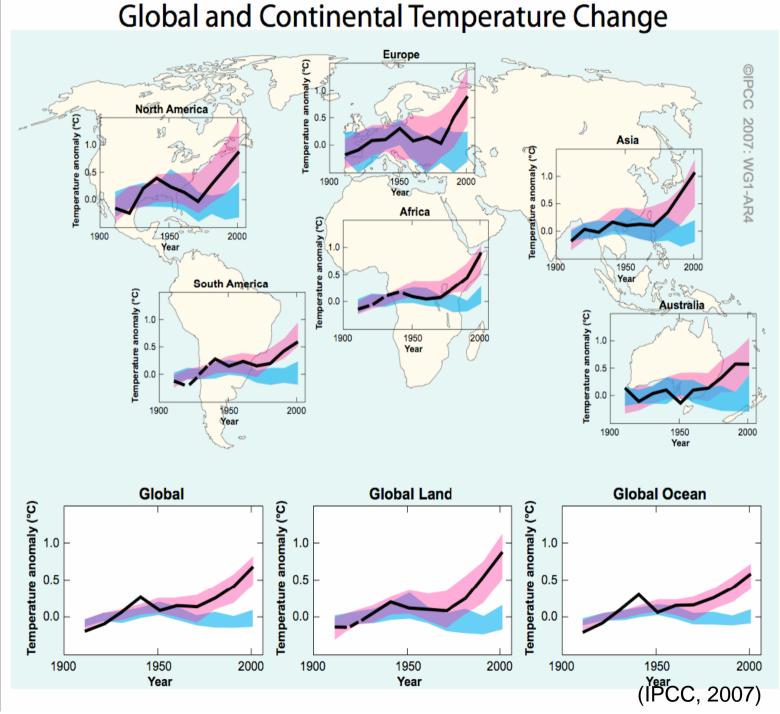
Modell-Ergebnisse

mit

ohne

anthropogene Emissionen

> Deutsches Z für Luft- und in der Helmholt



Klimawirkung des Luftverkehrs

Der globale Luftverkehr trägt zum Klimawandel durch Emission von Kohlendioxid (CO₂), Stickoxiden (NOx), Kondensstreifen und Veränderungen der Bewölkung bei.

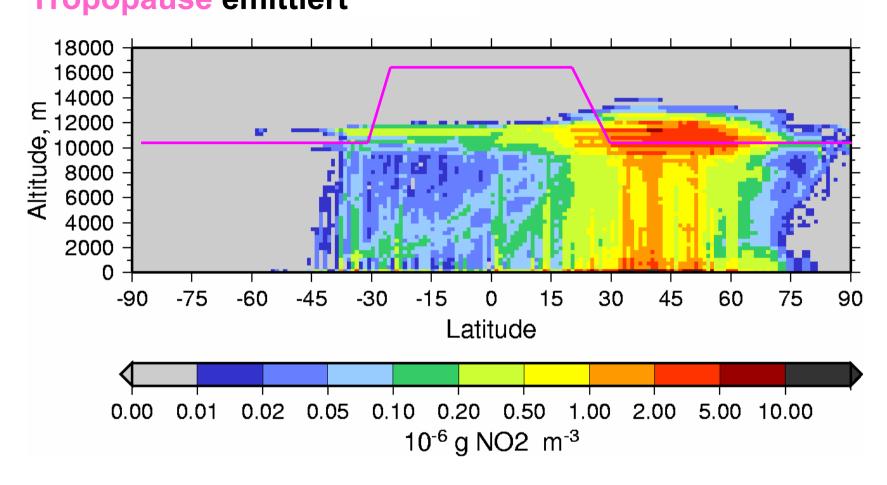
Emissionen von NOx und Wasserdampf (H2O) im Reiseflug verursachen Ozon und Kondensstreifen und erhöhen dadurch den Klimaantrieb stärker als gleiche Emissionen am Boden.

Emissionen von CO₂ im Reiseflug erwärmen das Klima ebenso stark wie Emissionen am Boden.

Der globale Luftverkehr emittiert derzeit ca. 2.2 % aller anthropogenen CO₂-Emissionen.

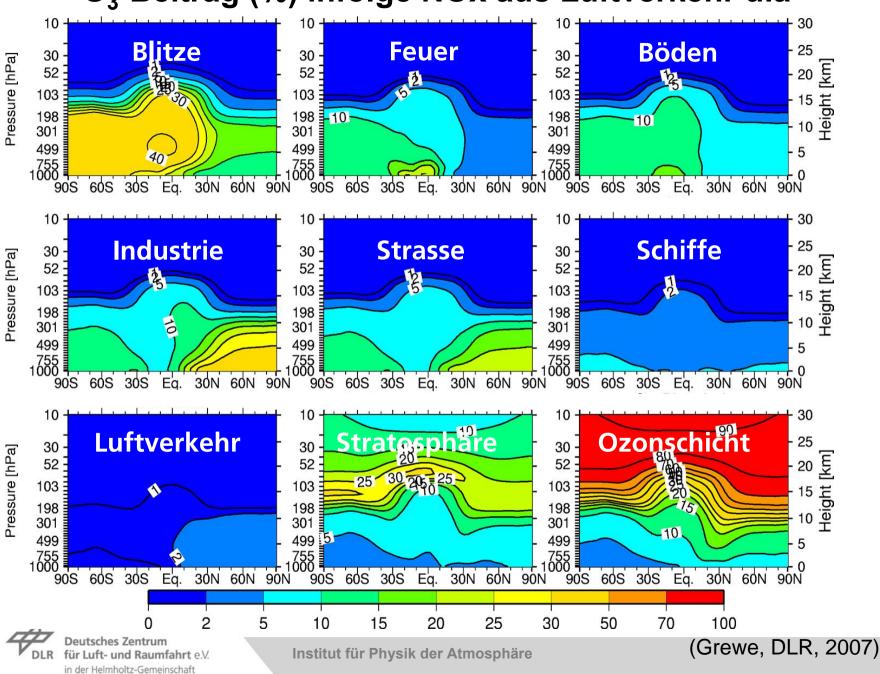
		<u> </u>		
Spezies	Emissions-index, g/kg (Bereich)	Emissions-rate (2004) in Tg/Jahr	Vergleichbare Emissions-rate, Tg/Jahr	Vergleichbare Emissions-quelle
Kerosin		200	3600 280 1320	Gesamte Erdölproduktion Globaler Schiffsverkehr Globaler Straßenverkehr
CO ₂	3160	630	26500	Gesamte anthropogene CO ₂ Emissionen
			800	Anthropogene CO ₂ Emissionen in Deutschland
H ₂ O	1230	246	45	Methan Oxidation in der Stratosphäre
			525000	Verdampfung von H₂O an der Erdoberfläche
NO _x	13	2.6	0.7-2, 17±10 170±20	Stratosphärische Quellen Blitzquelle Gesamte atmosphärische anthropogene Quelle
Ruß	0.025 (0.01-0.05)	0.004 (AERO2K)	12	Verbrennung von fossilen Treibstoffen und Biomasse
SO ₂	0.8 (0.6-1.0)	0.16	130	Gesamte Quelle aus Verbrennung fossiler Treibstoffe
			20-100	Natürliche Quellen
			5.4, 8.0	Nicht-eruptive, eruptive Vulkane
СО	3 (2-4)	0.507	2800	Gesamte anthropogene Quellen
НС	0.4 (0.1-1.0)	0.063	90	Gesamte anthropogene Quellen

Etwa die Hälfte der Emissionen wird oberhalb der Tropopause emittiert

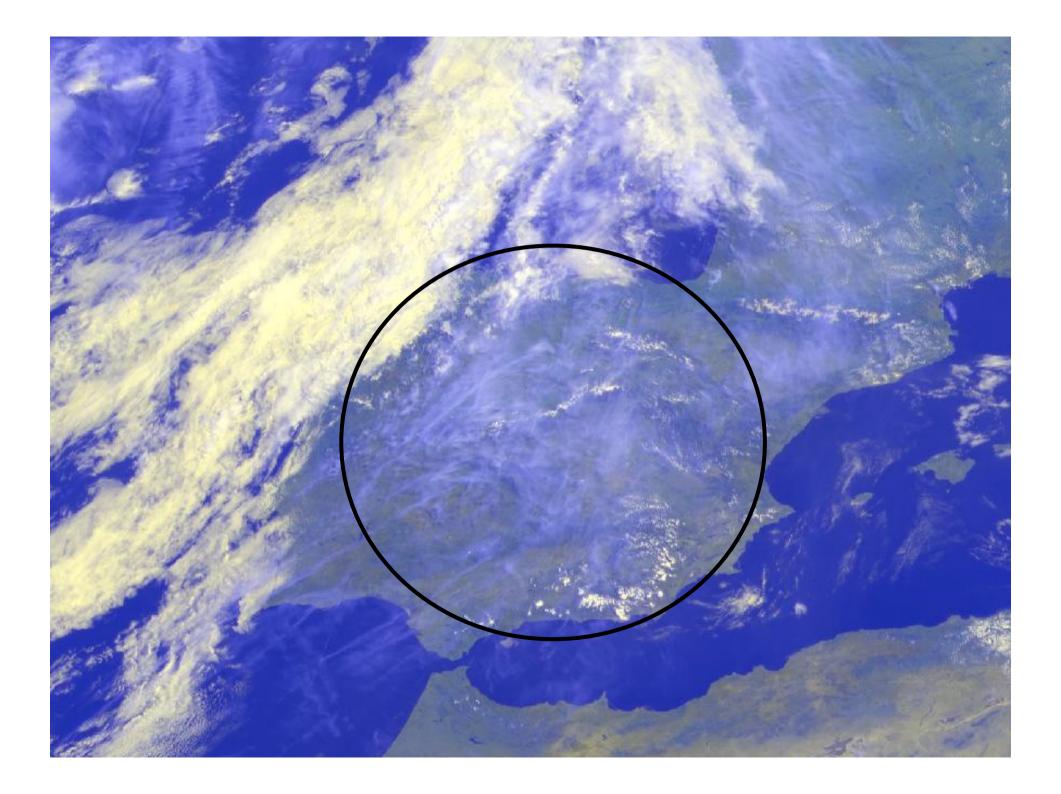




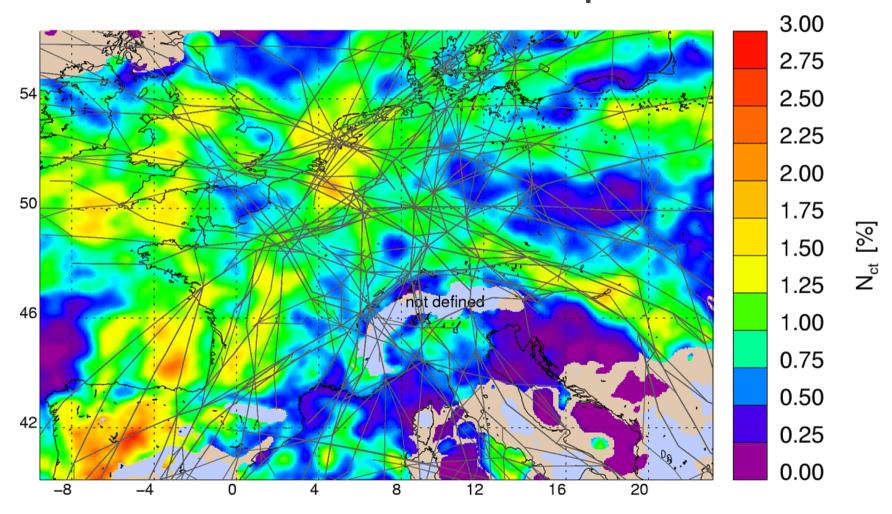
O₃-Beitrag (%) infolge NOx aus Luftverkehr u.a







Bedeckung durch linienförmige Kondensstreifen im 6-Jahres-Mittel über Europa: 0.5 %





Strahlungsantrieb

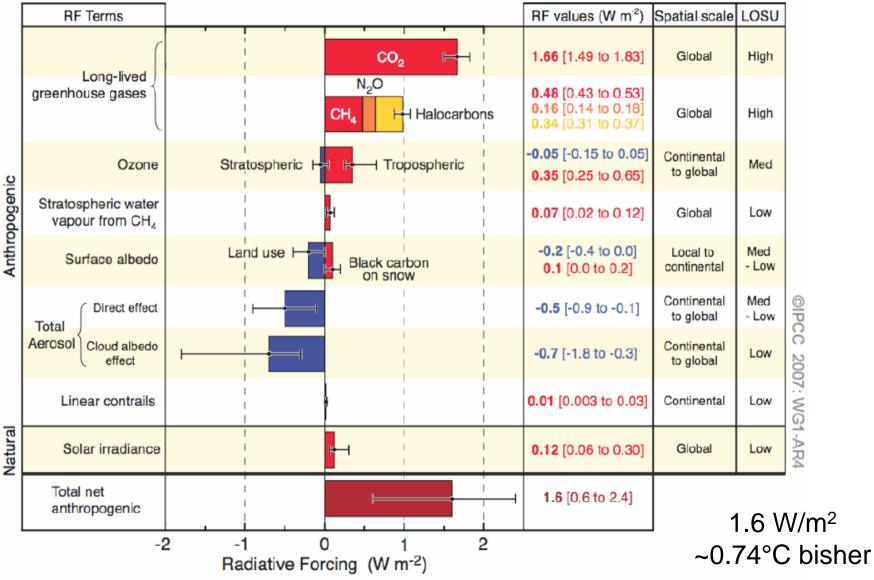
Ein Maß für die Klimawirkung ist der "Strahlungsantrieb" (Radiative Forcing, RF).

Der Strahlungsantrieb misst die Erwärmungsrate infolge einer vom Menschen verursachten Änderung in Watt je Quadratmeter (W/m²).

Stark vereinfacht:

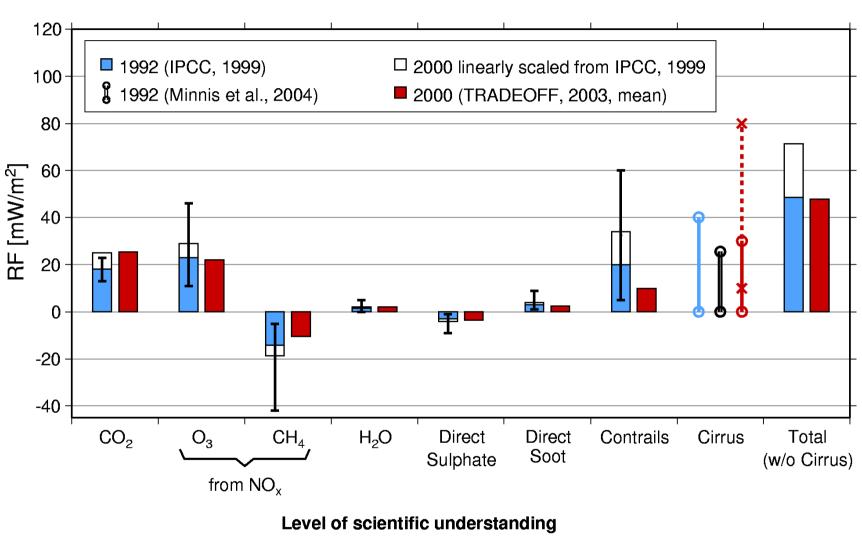
1 W/m² -> 0.4 - 0.8 °C globaler mittlerer Temperaturanstieg auf der Erdoberfläche

Strahlungsantrieb global, größter Beitrag: CO₂





Strahlungsantrieb infolge Luftfahrt: CO₂, NOx (O₃, CH₄) und Kondensstreifen/Zirrusänderungen 2000



Fair Fair Fair Fair Poor



Institut für Physik der Atmosphäre

(Sausen, DLR, et al., 2005)

Strahlungsantrieb und Temperaturänderung durch Luftverkehr

- Der globale Luftverkehr hat zum Strahlungsantrieb bisher ca. 0.05 W/m² beigetragen.
- Das sind 3 % des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs von etwa 1.6 W/m².
- Der globale Luftverkehr hat zur globalen Erwärmung der Erdoberfläche von ca. 0.7°C ca. 0.02°C beigetragen (ca. 3 %).
- Unter Einbezug der bekannten Unsicherheiten kann der bisherige Luftfahrt-Anteil am gesamten Strahlungsantrieb auch zwischen 2 und 8 % betragen.

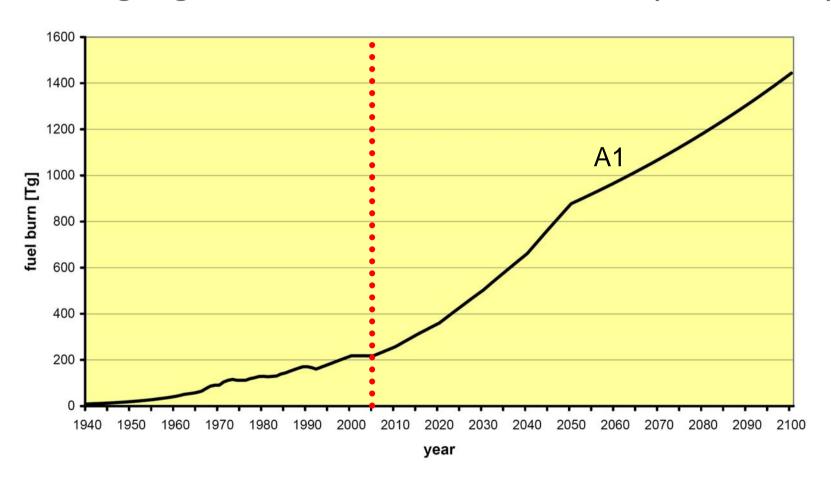
Klimawirkung (RF, ΔT) Gesamt/CO₂: Kein konstanter Faktor 3

Das Verhältnis der Erwärmung durch CO₂, Ozon und Kondensstreifen im Vergleich zur Erwärmung durch CO₂ allein hängt vom betrachteten Zeitraum (1 oder 100 Jahre) ab.

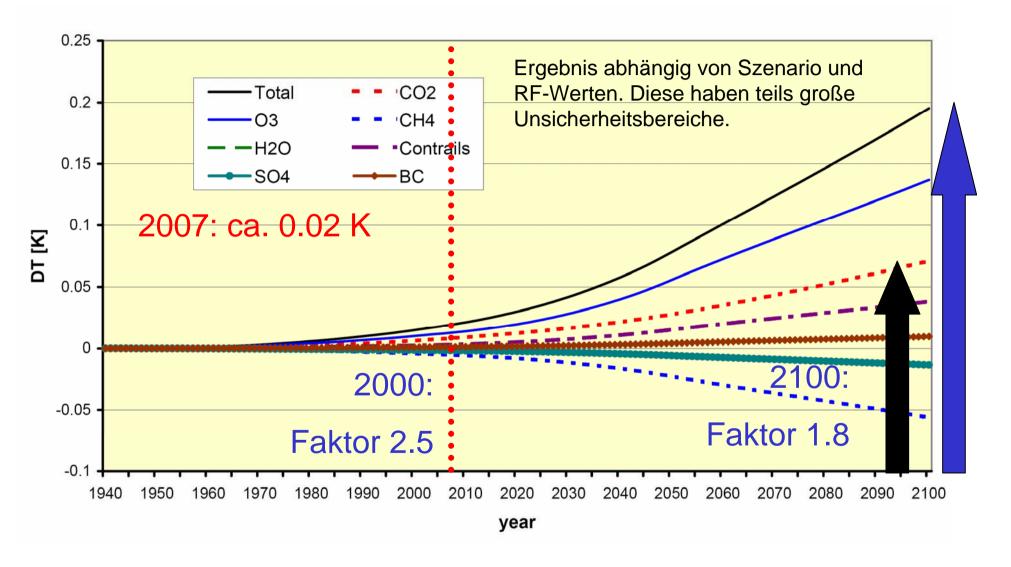
Langfristig ist die Erwärmung durch CO₂ am größten.

Kurz- und mittelfristig ist die Erwärmung durch NOx und Kondensstreifen größer als die durch CO₂.

Treibstoffverbrauch der globalen Luftfahrt. Vergangenheit und Zukunfts-Szenario (IPCC, 1999)

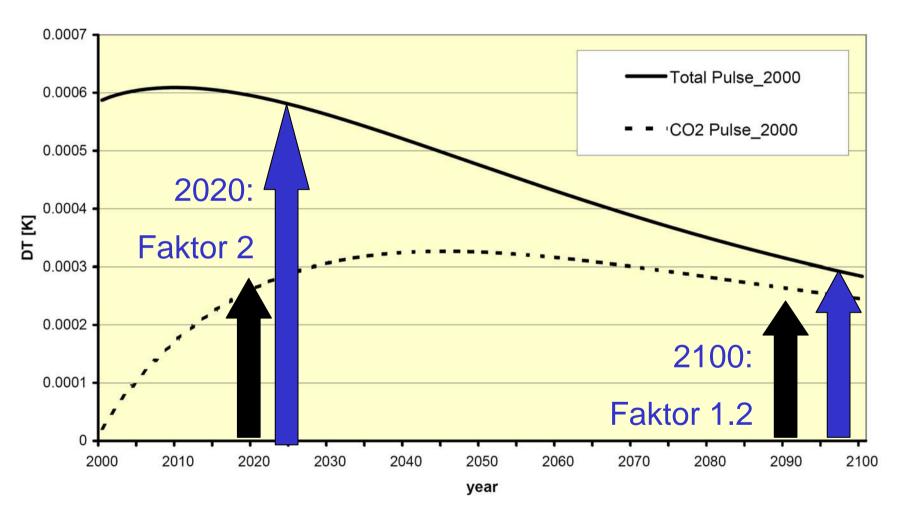


Temperaturanstieg infolge Luftverkehr bei Szenario A1



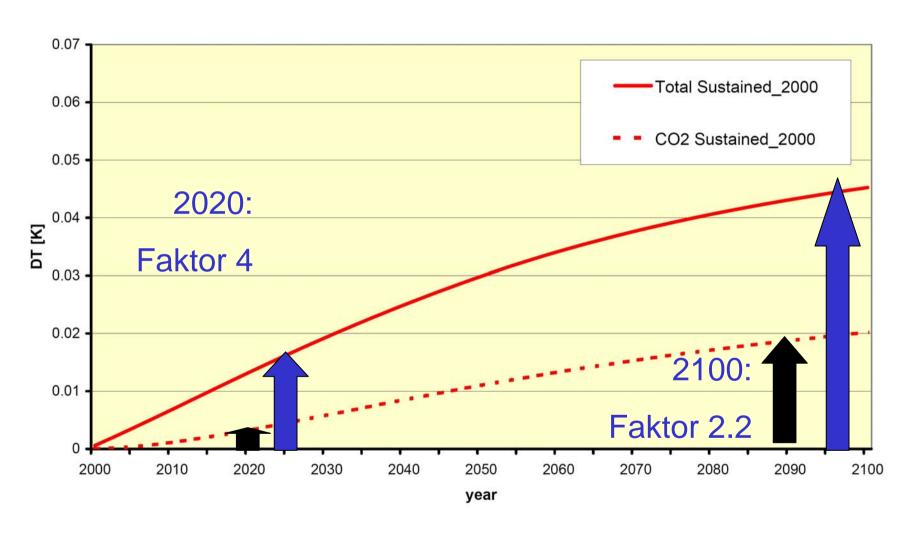


Temperatur-Änderung für ein Jahr Luftverkehr-Emissionen Stand 2000

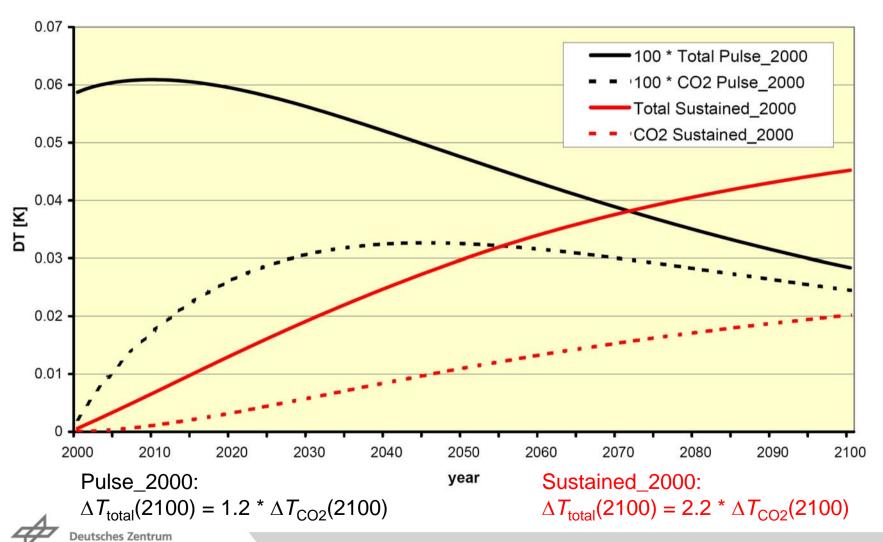




Temperatur-Änderung für 100 Jahre konstante Luftverkehr-Emissionen



Temperatur Änderung bei pulsförmiger und konstanter Emission wie im Jahr 2000



Institut für Physik der Atmosphäre

für Luft- und Raumfahrt e.V.

in der Helmholtz-Gemeinschaft

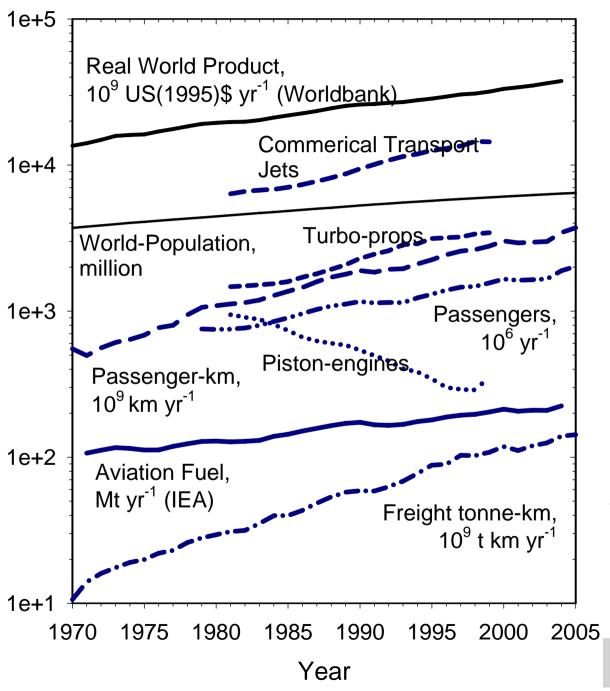
(Sausen et al., DLR, in prep.)

Trends

Der Treibstoffverbrauch (die CO₂-Emissionen) im globalen Luftverkehr wuchs von 1990 – 2004 um 2 bis 3 %/Jahr. Die Stickoxid-Emissionen stiegen um 4 bis 5 %/Jahr.

Die globale Erwärmung und der Beitrag des Luftverkehrs nehmen weiter zu.

Bei einer Fernflugreise werden ca. 1.6 bis 2 Tonnen CO₂. emittiert. Die mittlere CO2-Emission pro Einwohner in Deutschland beträgt ca. 10 Tonnen.



Trends

1991-2004:

Passagier-km: 4.6 %/a

Fracht-km: 6.4 %/a

Treibstoff: 2.1 %/a

Vergleichsdaten:

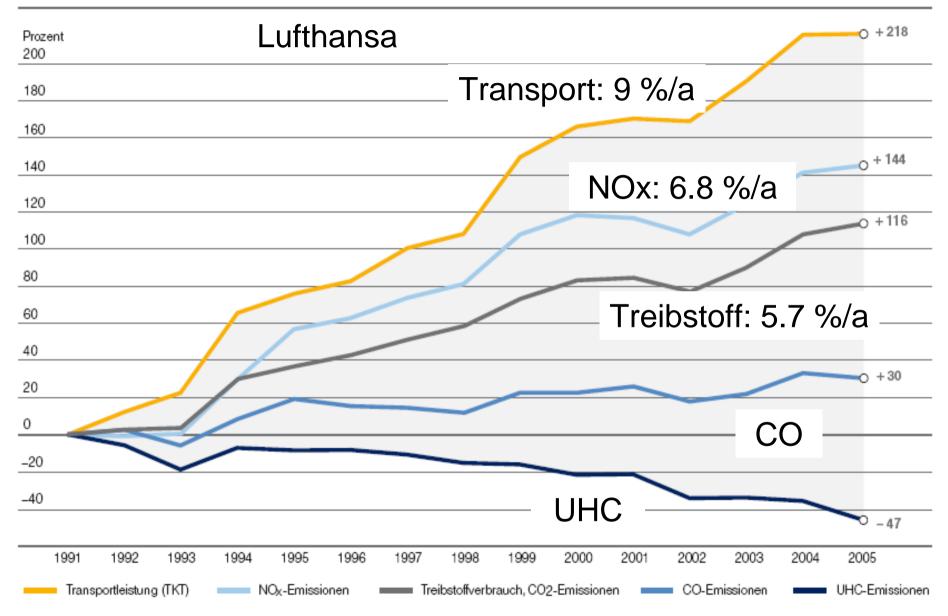
ΔCO2 insgesamt: 1.9 %/a

Weltwirtschaft: 2.6 %/a

(Schumann, DLR, 2007)

Entkopplung von Transportleistung und Umweltbelastung

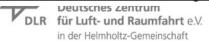
Veränderung gegenüber 1991 in Prozent, Angaben für die Flotte des Lufthansa-Konzerns



Lufthansa, Das Wichtigste zum Thema Nachhaltigkeit bei Lufthansa, Ausgabe 2006, p. 51.

Orig-Dest	Direktverbindung	Distanz [km]	Flugzeugmuster	Kerosin, spez. ¹⁾ [Liter/100pkm]	Kerosin, abs. ¹⁾ [Liter/Passagier]	CO ₂ pax, spez. ¹⁾ [kg/100 pkm]	CO ₂ , abs. ¹⁾ [kg/Passagier]
Kurzstrecke							
TXL-CGN	Berlin-Köln	463	A320-200 DLH	5,39	25,0	13,6	63
TXL-STR	Berlin-Stuttgart	517	A320-200 DLH	5,39	27,9	13,6	70
MUC-HAM	München-Hamburg	601	A321-200 DLH	4,55	27,3	11,5	69
MUC-CDG	München-Paris	680	A319-100 DLH	5,97	40,6	15,1	102
FRA-KTW	Frankfurt-Kattowitz	747	A321-200 DLH	4,55	34,0	11,5	86
Mittelstrecke							
FRA-MAD	Frankfurt-Madrid	1.421	A321-200 DLH	4,55	64,7	11,5	163
MUC-SVO	München-Moskau	1.925	A320-200 DLH	5,39	103,8	13,6	262
FRA-CMN	Frankfurt-Casablanca	2.275	A320-200 DLH	5,39	122,7	13,6	310
FRA-SVX	Frankfurt-Jekatarinburg	3.449	A320-200 DLH	5,39	186,0	13,6	469
MUC-DXB	München-Dubai	4.456	B747-400 DLH	4,31	192,2	10,9	485
Sonderfall "Ber	lin-Palma de Mallorca" mit Zwisc	henstopp					
TXL-PMI	Berlin-Palma de Mallorca	1.685					203
via TXL-FRA	Berlin-Frankfurt	434	A320-200 DLH	5,39	23,4	13,6	59
und FRA-PMI	Frankfurt-Palma de Mallorca	1.251	A321-200 DLH	4,55	56,9	11,5	144
Langstrecke							
FRA-JFK	Frankfurt-New York	6.177	A330-300 DLH	4,03	248,7	10,2	627
FRA-PEK	Frankfurt-Peking	7.772	A340-600 DLH	3,99	309,9	10,1	782
FRA-BKK	Frankfurt-Bangkok	8.978	B747-400 DLH	4,31	387,1	10,9	977
FRA-CPT	Frankfurt-Kapstadt	9.400	B747-400 DLH	4,31	405,3	10,9	1.023
MUC-GRU	München-Sao Paulo	9.850	A340-600 DLH	3,99	392,8	10,1	991

¹⁾ Durchschnittswerte der DLH-Flugzeugmuster in 2006 bei realer Auslastung inkl. Warteschleifen und Taxiing am Boden
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Physik der Atmosphäre



Treibstoffverbrauch pro Passagier und Entfernung auf verschiedenen Strecken (Deutsche Lufthansa, 2007; M. Schaefer, DLR-Institut für Antriebstechnik, 2007).

Streckentyp	Strecke	Treibstoffverbrauch, L/Passagier	Treibstoffverbrauch in Liter pro Passagier und 100 km
Kurzstrecke	Berlin-Köln, A320-200	25	5.4
Mittelstrecke	Frankfurt-Madrid, A321-200	65	4.6
Langstrecke	Frankfurt-Peking, A340-600	310	4.0

Luftverkehr der Zukunft

Klimaschutz erfordert Reduktion der Emission von Treibhausgasen

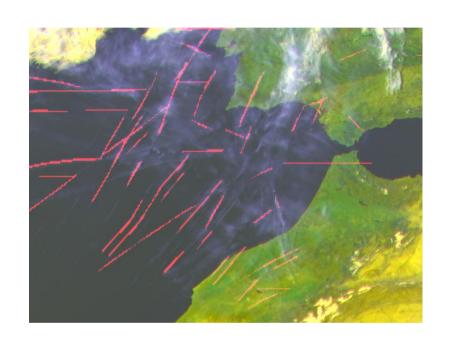
Eine weitere Reduktion des spezifischen Treibstoffverbrauchs schützt Klima und Erdölvorräte

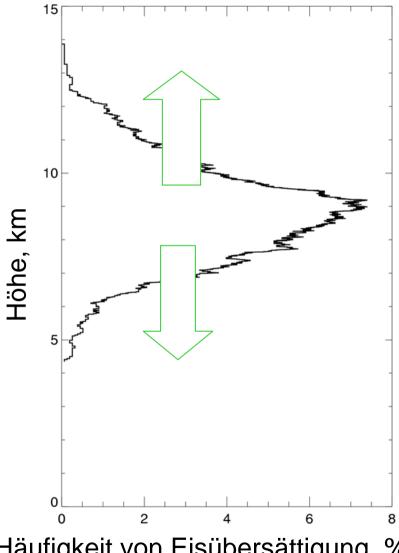
Falls sich bestätigt, dass Kondensstreifen und Partikel aus dem Luftverkehr Wolken so verändern, dass sie wesentlich zur Erwärmung beitragen, könnte man die besonders kalten und feuchten Regionen, in denen sich "Contrail-Cirrus" bilden, umfliegen.

Möglicherweise genügen dafür kleine Änderungen in der Flugroute und in der Flughöhe (z.B. 300 m höher oder tiefer).



Höher oder tiefer fliegen?

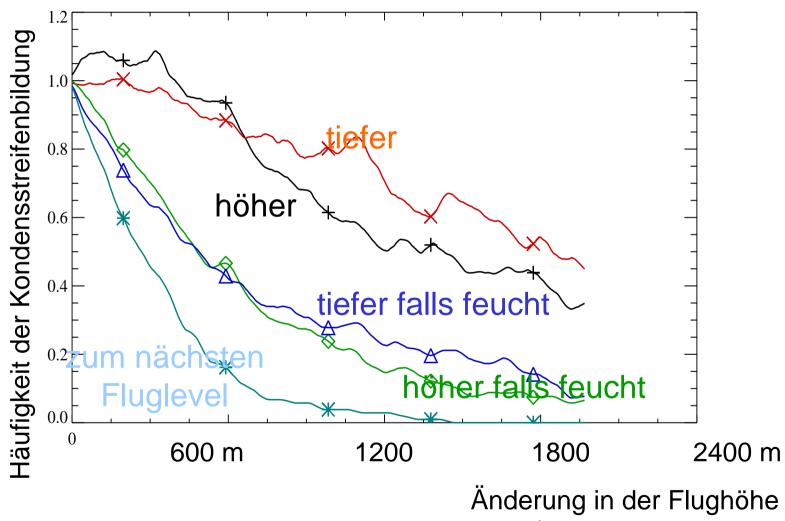








Contrails können durch kleine Änderungen in der Flughöhe (höher oder tiefer) vermieden werden





Option: Wasserstoff-Antrieb

