

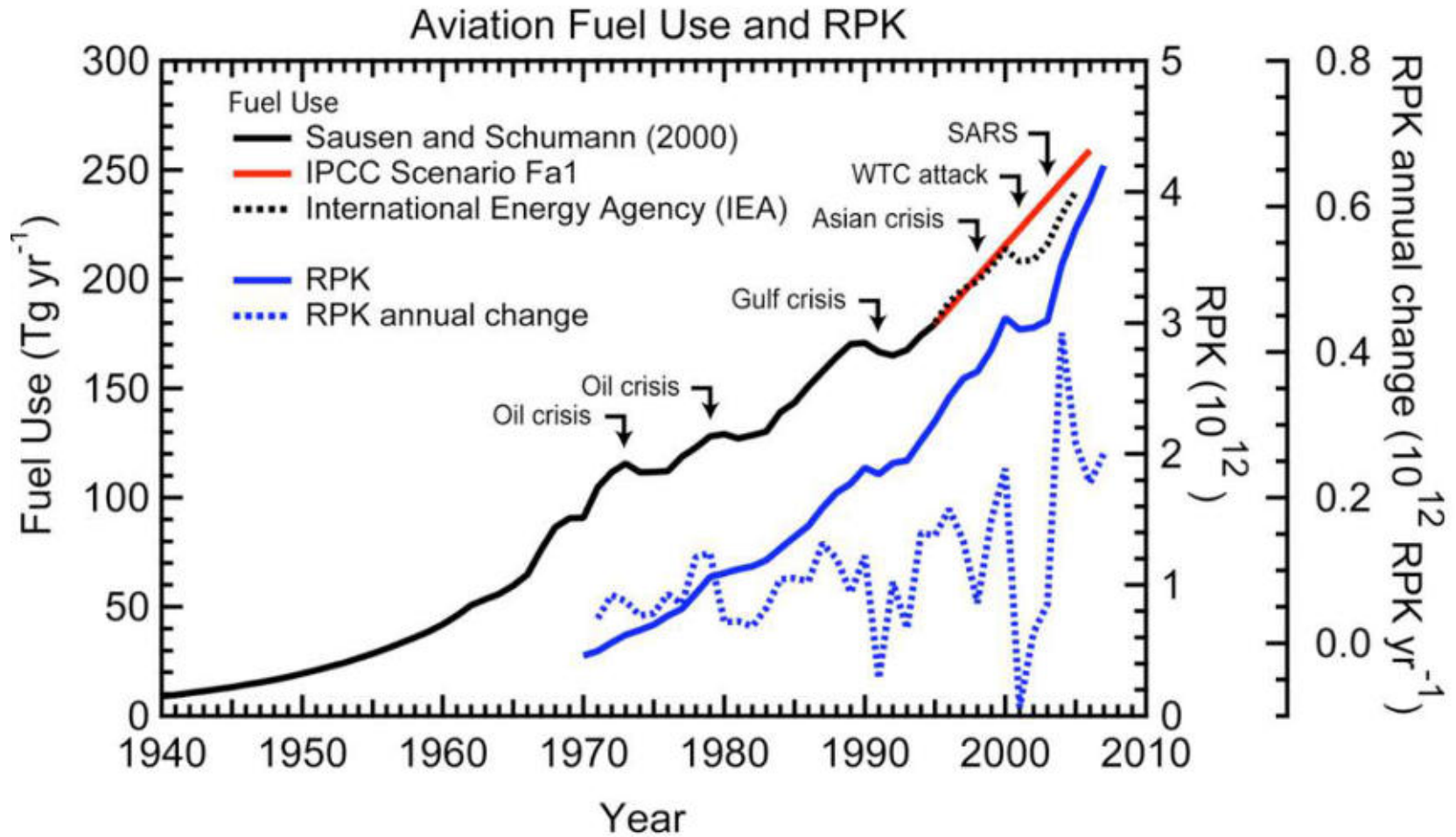
# Klimawirkung des Luftverkehrs

Volker Grewe

DLR-Institut für Physik der Atmosphäre



# Verkehrsaufkommen und Emission



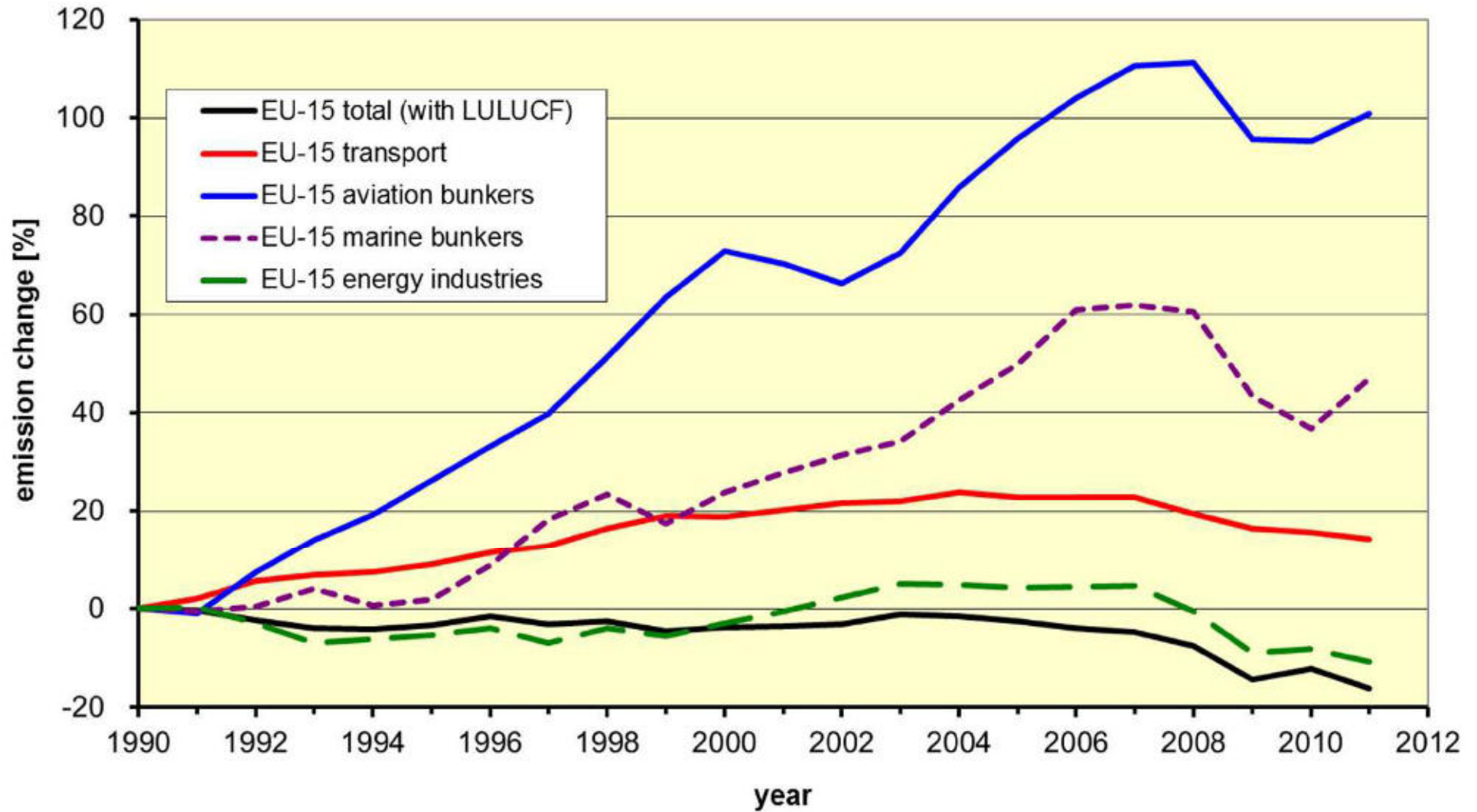
Lee et al. 2010



> Ratingen Klimabeirat > Dr. V. Grewe > 24.09.2014

# CO<sub>2</sub> äquivalente Emissionen der EU-15

## Änderungen seit 1990

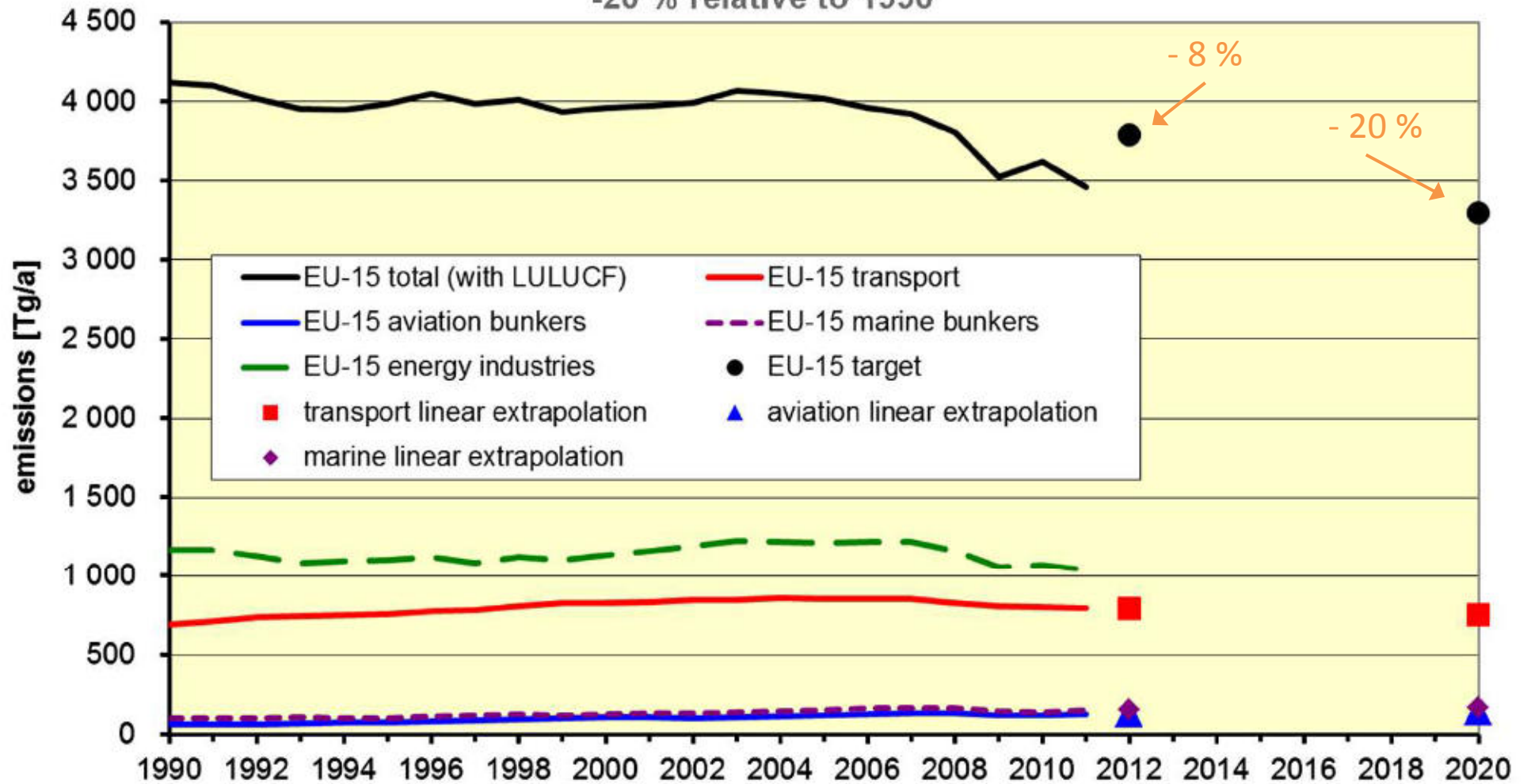


data: <http://unfccc.int/>



# EU-15 Emissionen von äquiv. CO<sub>2</sub> und 2020 Ziele

-20 % relative to 1990



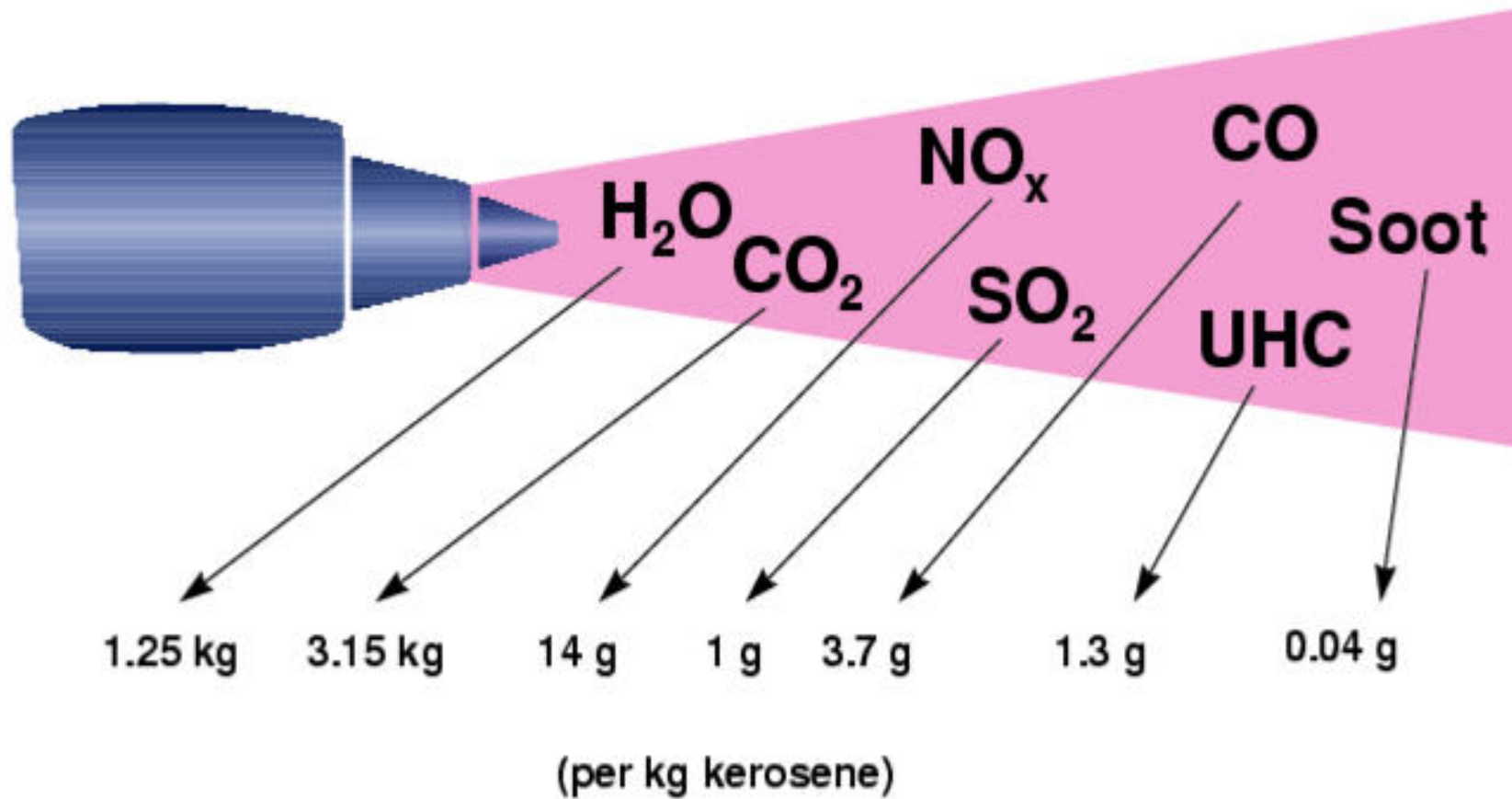
Verkehrsanteil (	1990	2005	2012	2020):
Bodenverkehr:	16.9 %	21.3 %	20.9 %	23.0 %
aviation bunkers:	1.6 %	3.2 %	3.5 %	4.5 %
marine bunkers:	2.6 %	4.3 %	4.1 %	5.3 %

data: <http://unfccc.int/>

linear trend (10 a) of transport emissions after 2011



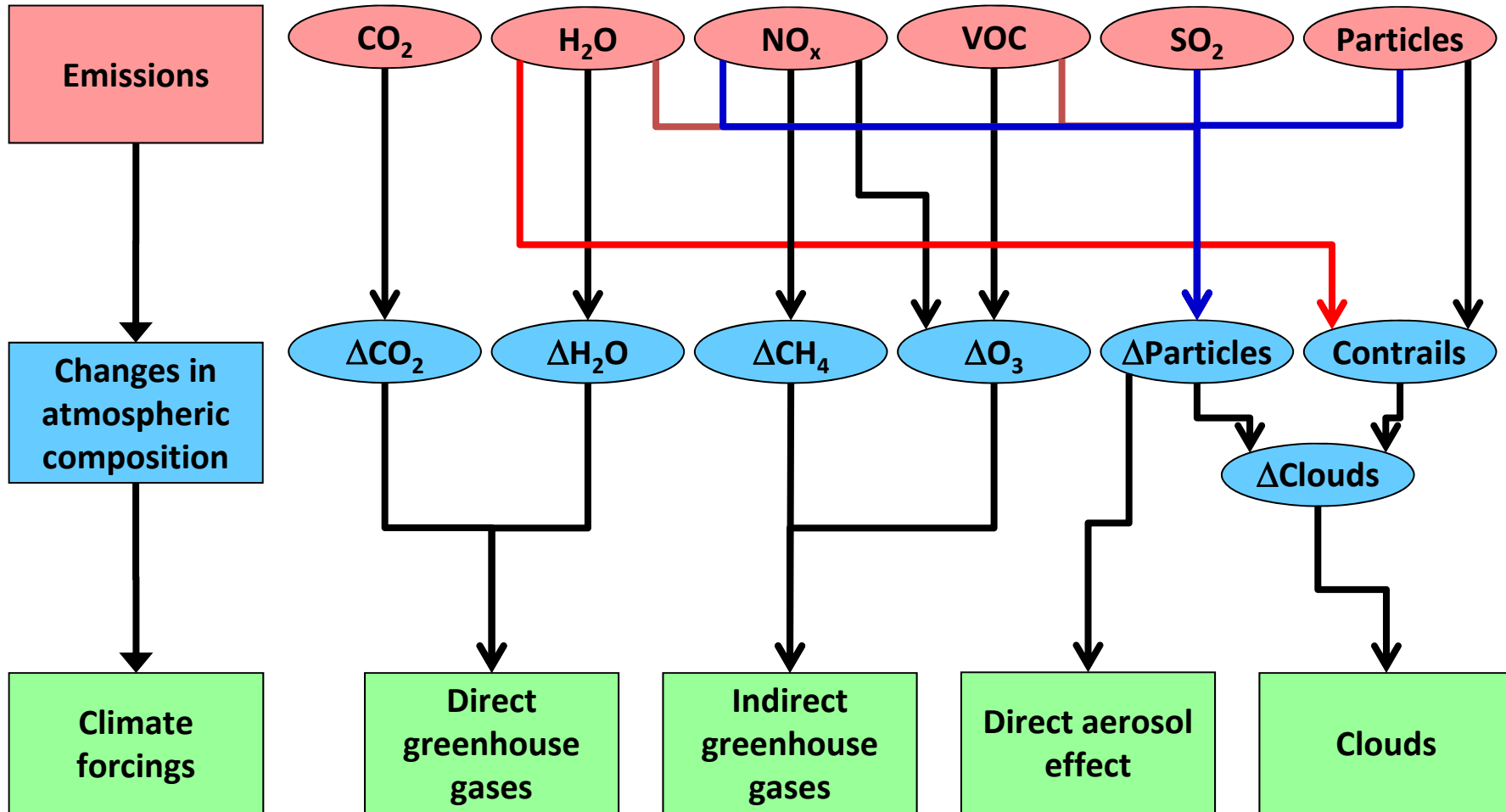
## Die Emissionen des Luftverkehrs



Abhängig auch von Betriebsbedingungen und Flughöhe



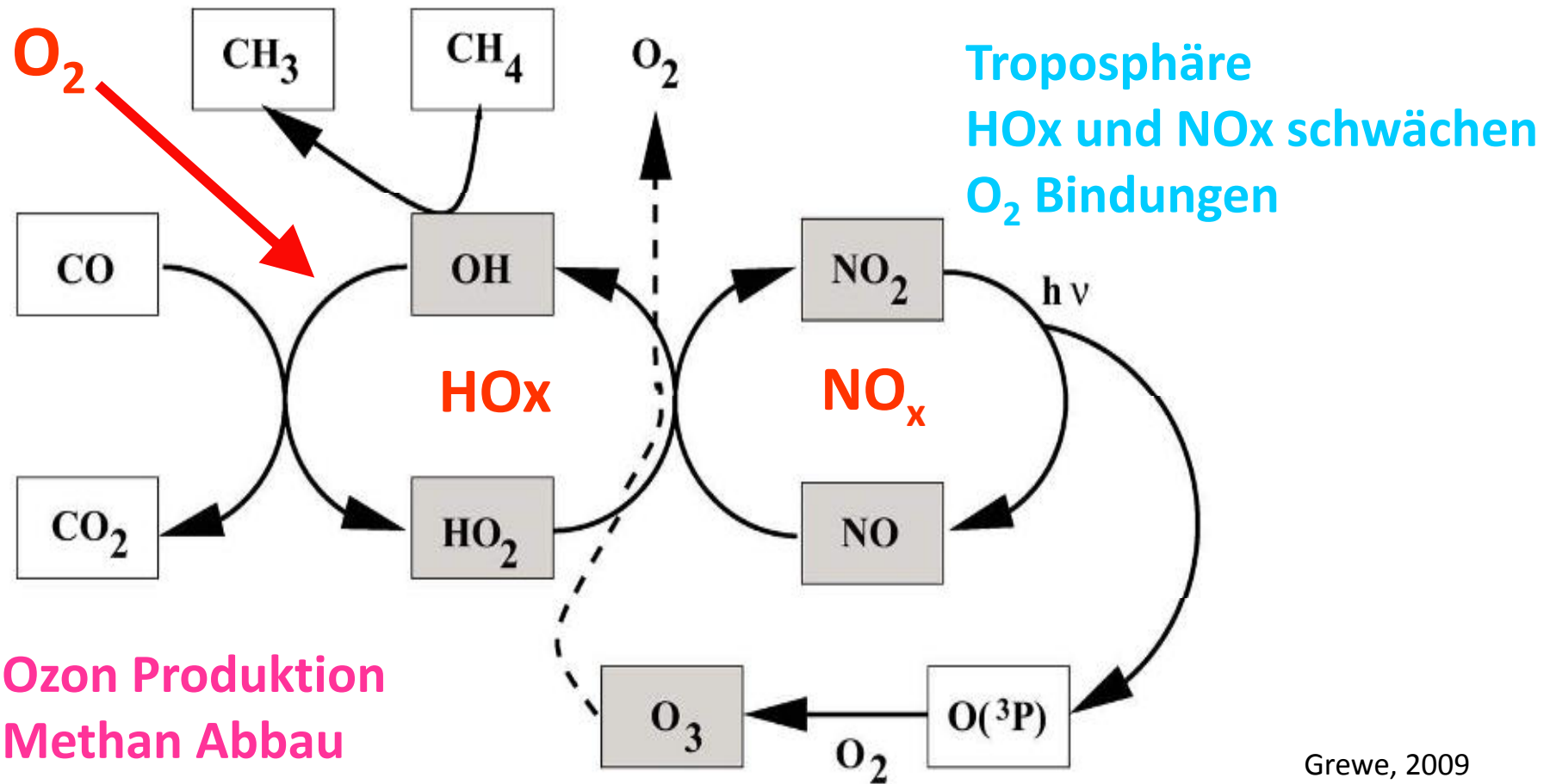
# Atmosphärische Effekte der Luftverkehrsemissionen



# Ozon-Chemie



Nur oberhalb der Ozonschicht möglich!

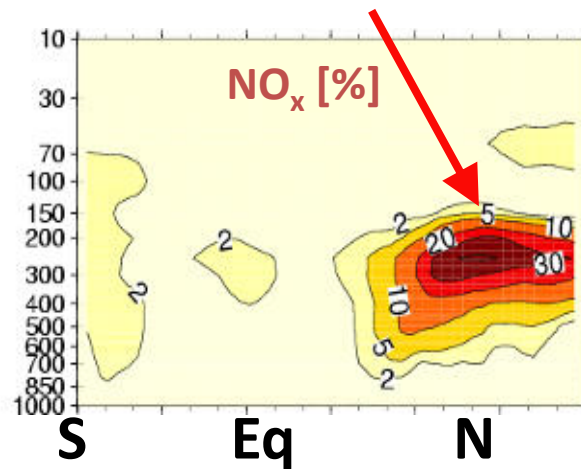


Grewe, 2009

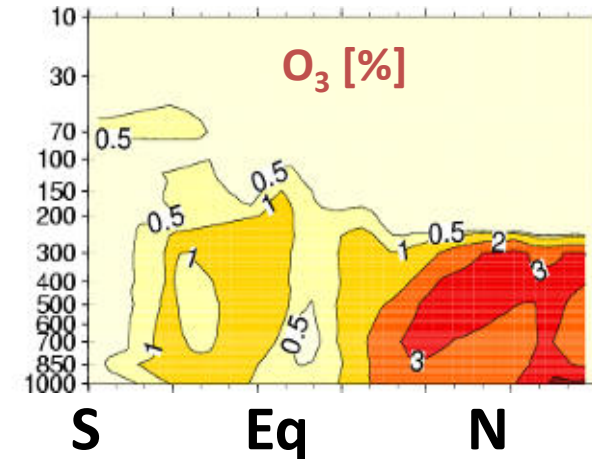
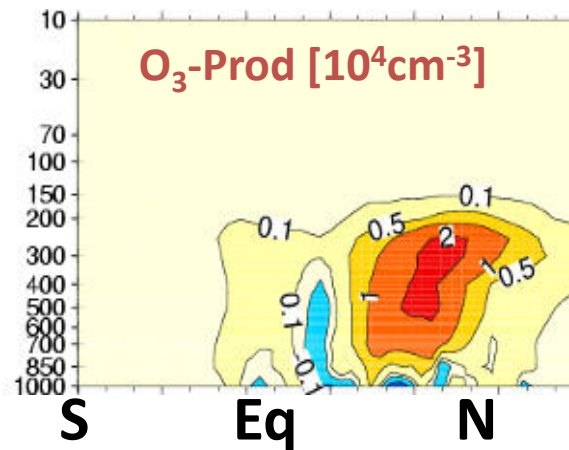


# Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre

## Flugkorridor



## Luftverkehr von 1990



- NO<sub>x</sub> Erhöhung ~30%
- Führt zu ~3% Ozonanstieg in der Nordhemisphäre
- 2010: ~5%

Grewe et al., 2002





## Linienförmige Kondensstreifen



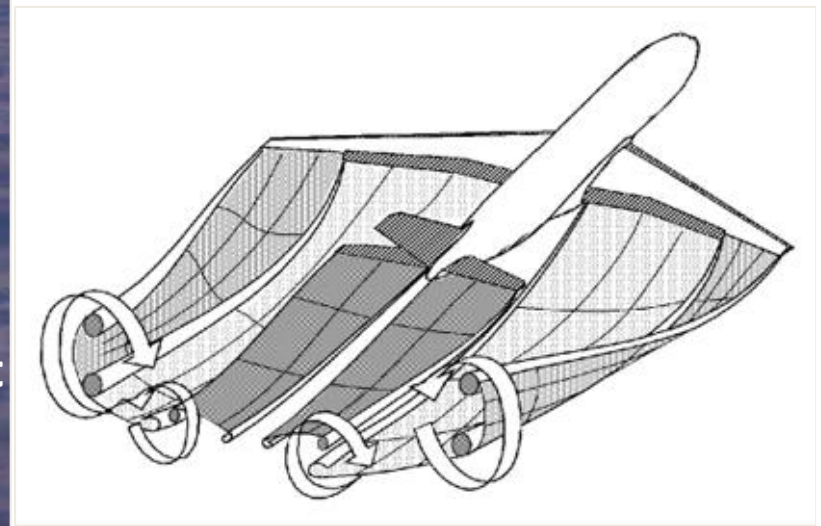
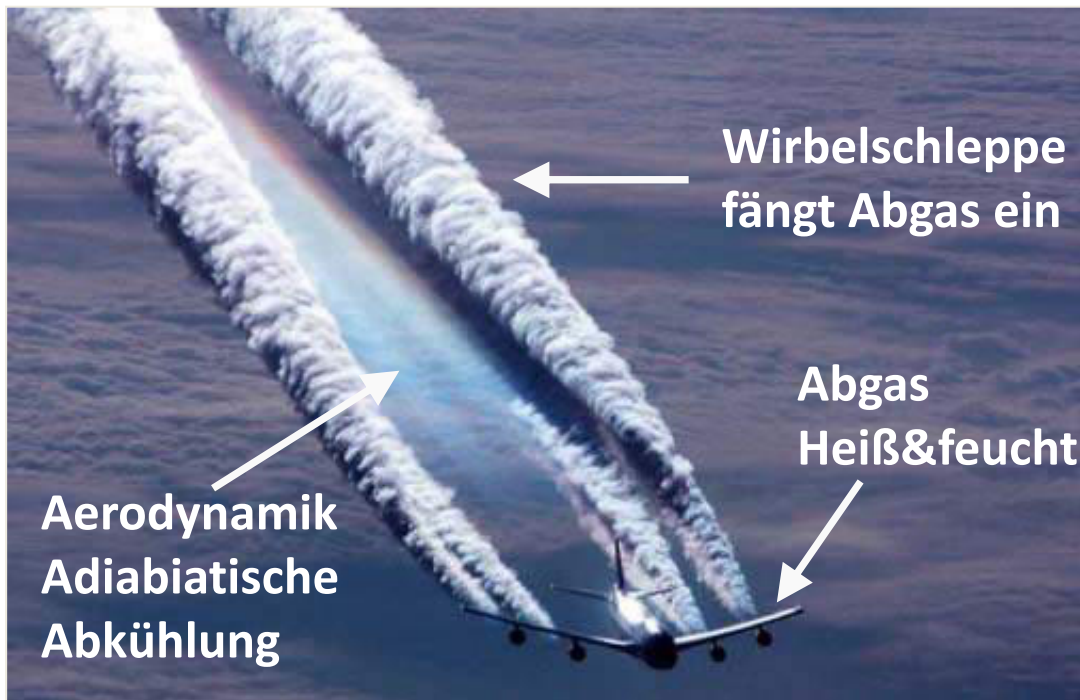
# Bildung und Lebenszeit von Kondensstreifen

## Bildung

- Heisser und feuchter Abgasstrahl durchmischt sich mit Umgebungsluft
- Dabei wird 100% Luftfeuchtigkeit erreicht  $\Rightarrow$  Töpfchenbildung
- Niedrige Temperaturen  $\Rightarrow$  Gefrieren und Bildung von Eiswolken

## Persistenz

- Nach Durchmischung noch übersättigt (Eis): Kondensstreifen bleibt bestehen
- Nach Durchmischung untersättigt (Eis): Kondensstreifen löst sich auf

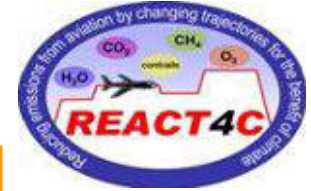


**... and daraus entstehende Zirren**

1. 26. 2001





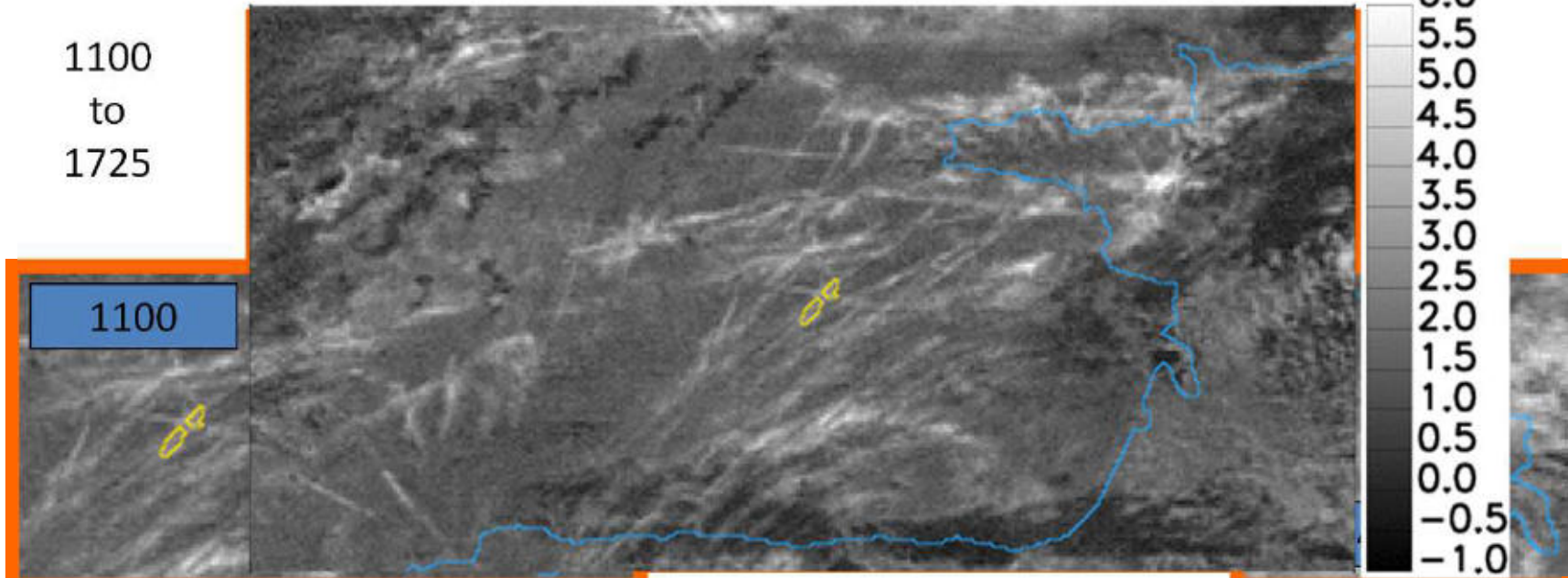


# Kondensstreifenzirren vom Satelliten aus gesehen

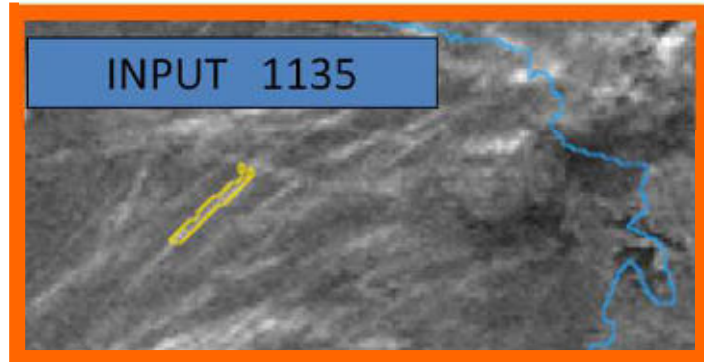
200904051100

SEVIRI

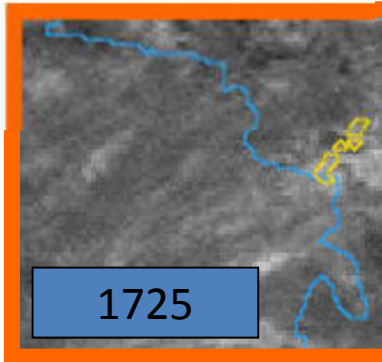
1100  
to  
1725



1100



Contrail-cirrus mask



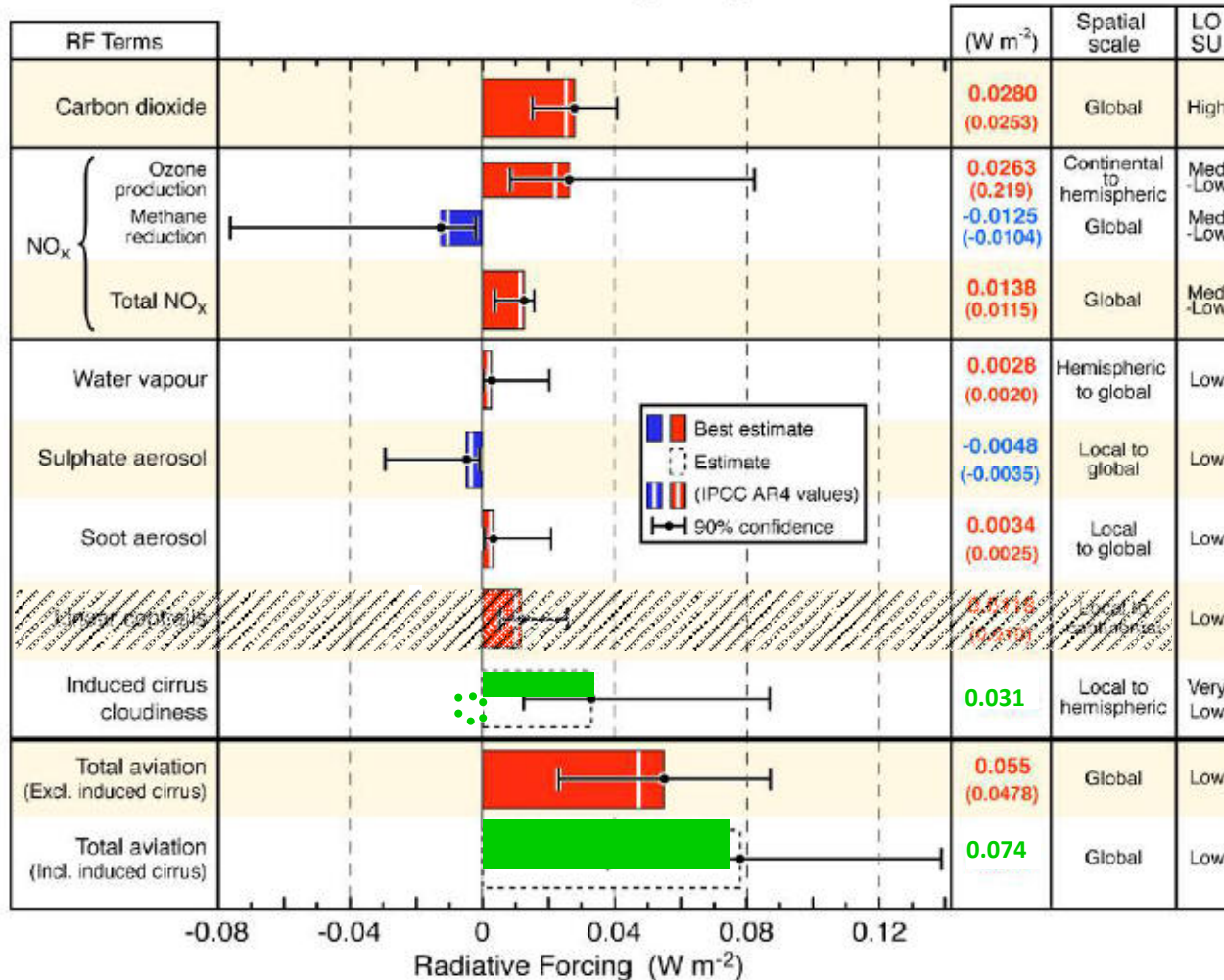
Mannstein et al. 2012  
Vasquez Navarro, 2011





# Klimaeinfluß des Luftverkehrs: Strahlungsänderung (2005)

Aviation Radiative Forcing Components in 2005



**Main contributors:**  
**Contrails**  
**CO<sub>2</sub>**  
**NO<sub>x</sub>**

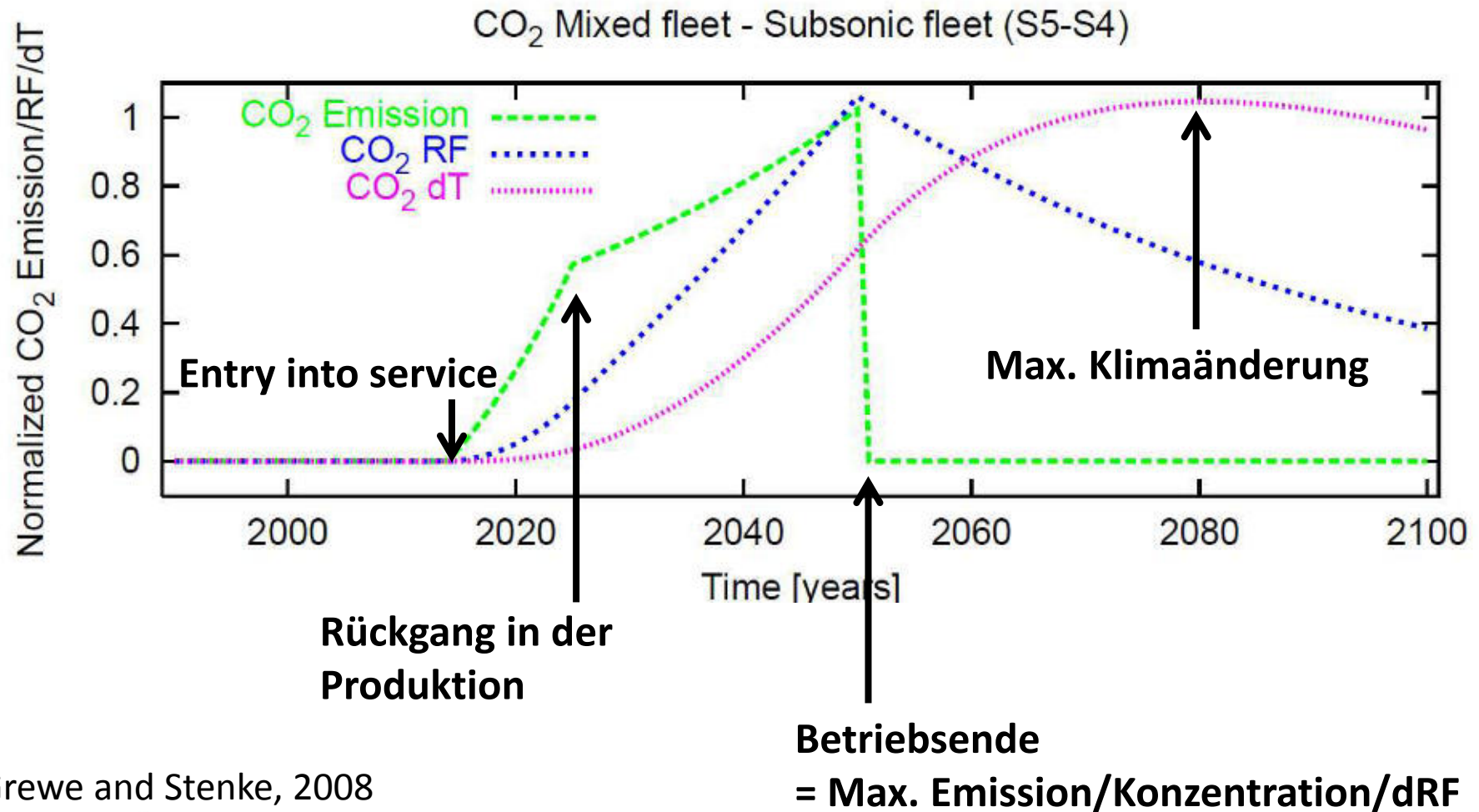
**3.5-5.0% of warming attributed to air traffic**

Lee et al., 2009, 2010

updated with Burkhardt&Kärcher, 2011



# Gedankenexperiment zum Zusammenspiel Emission – Strahlungswirkung – Klimawandel Die Emissionen einer neuen Flotte

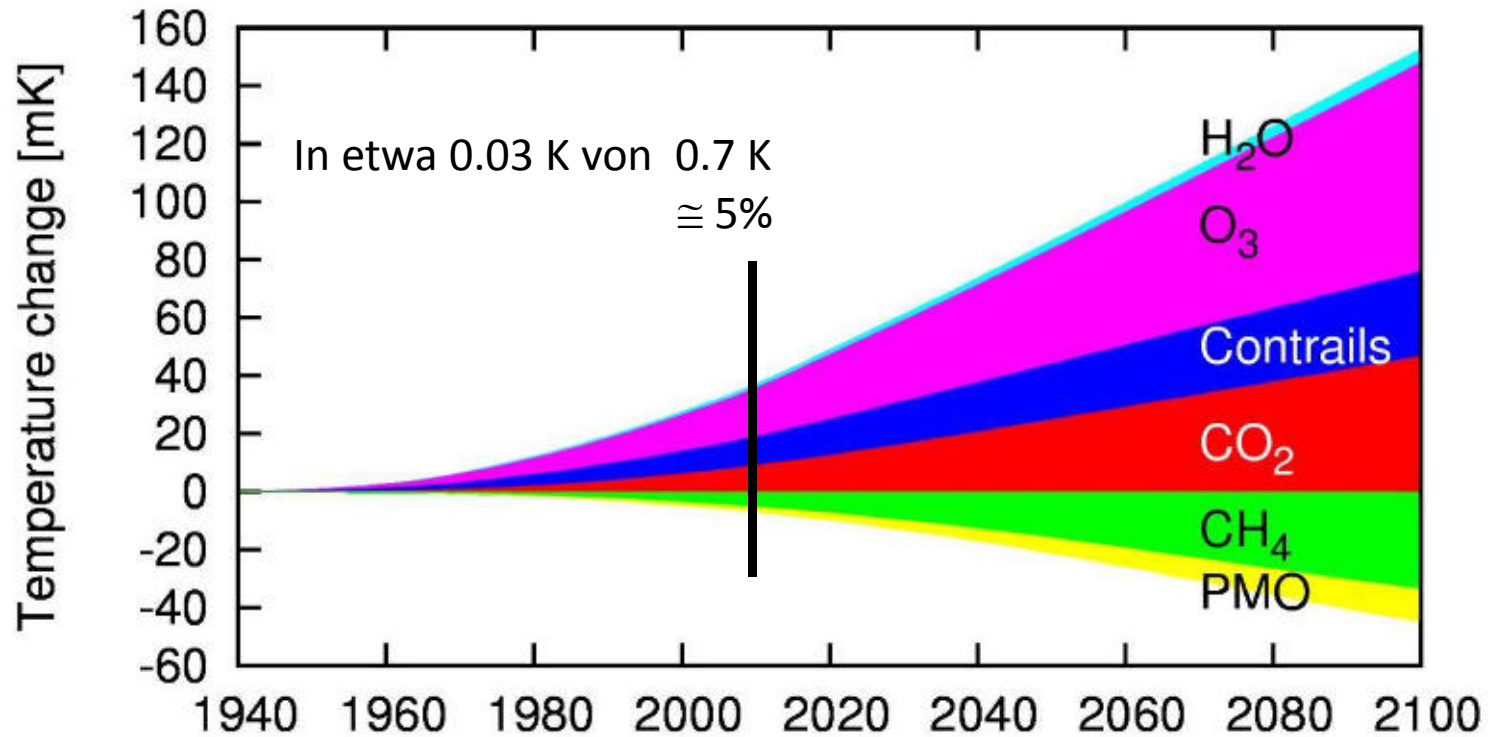


Grewe and Stenke, 2008





# Beitrag des Klimawandels zum Luftverkehr = 5% des anthropogenen Klimawandels

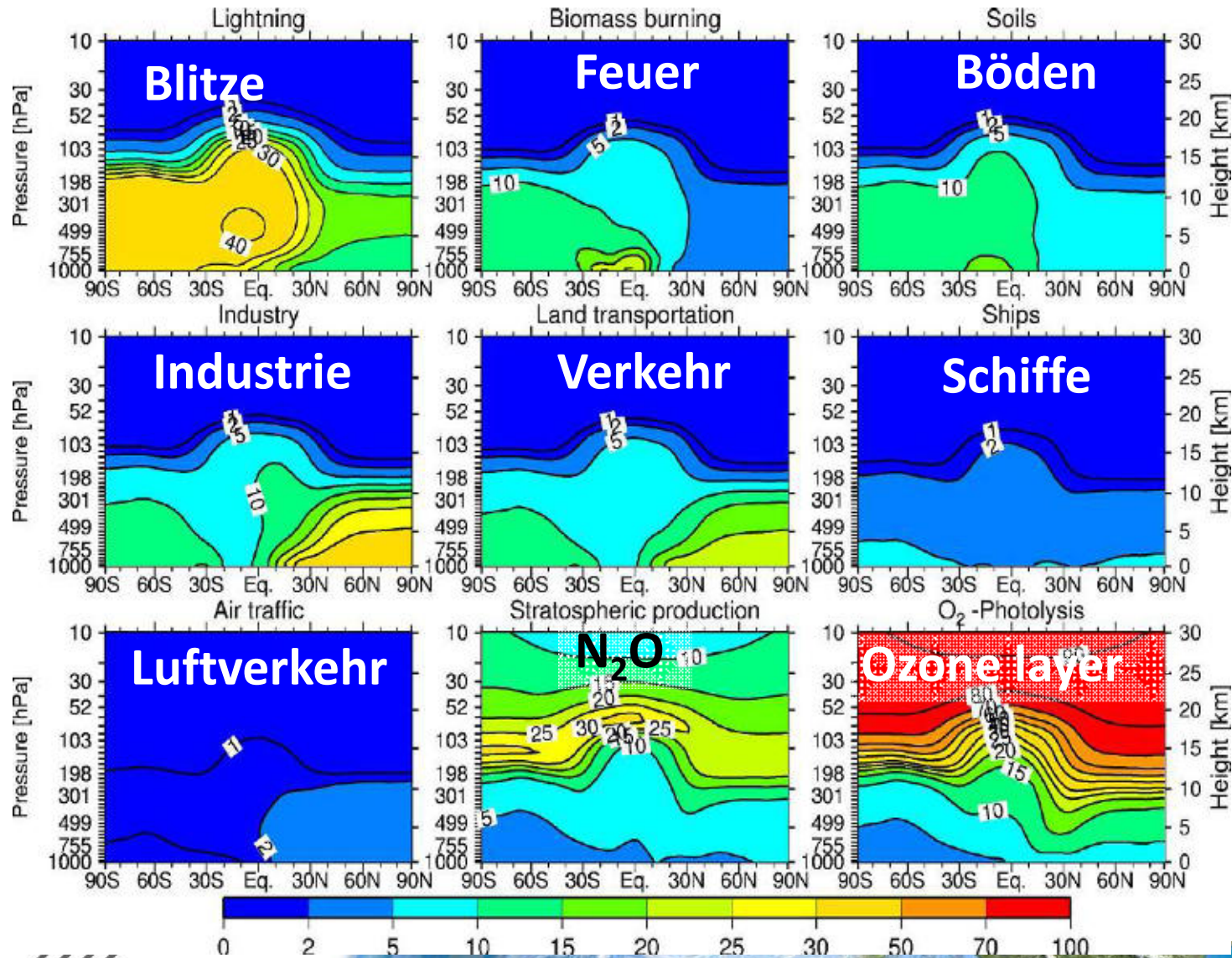


Beiträge durch: Kondensstreifen, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>





# Beitrag verschiedener NOx Quellen zu Ozon (90-99) [%]

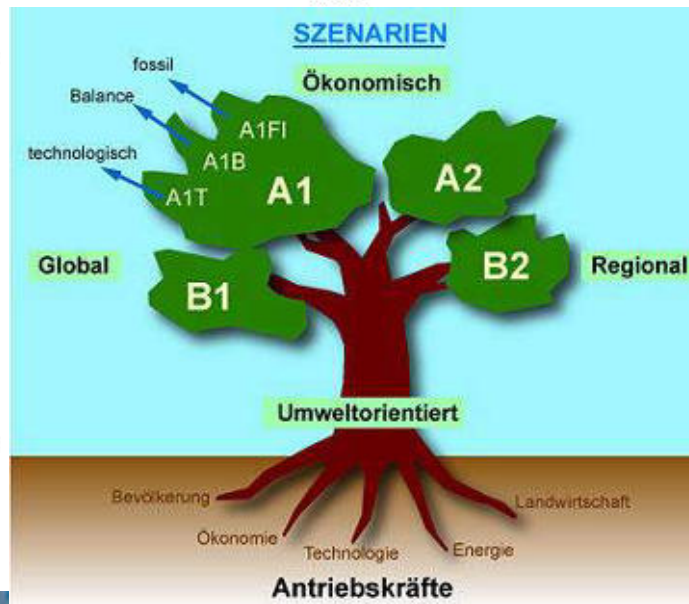
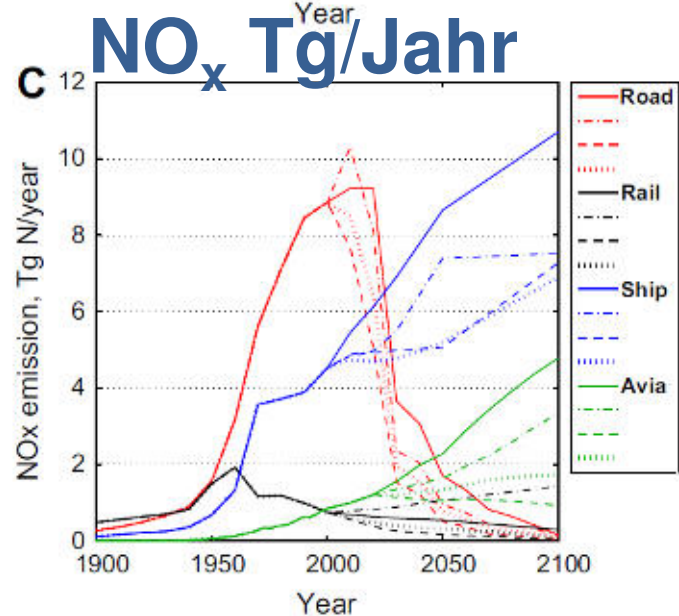
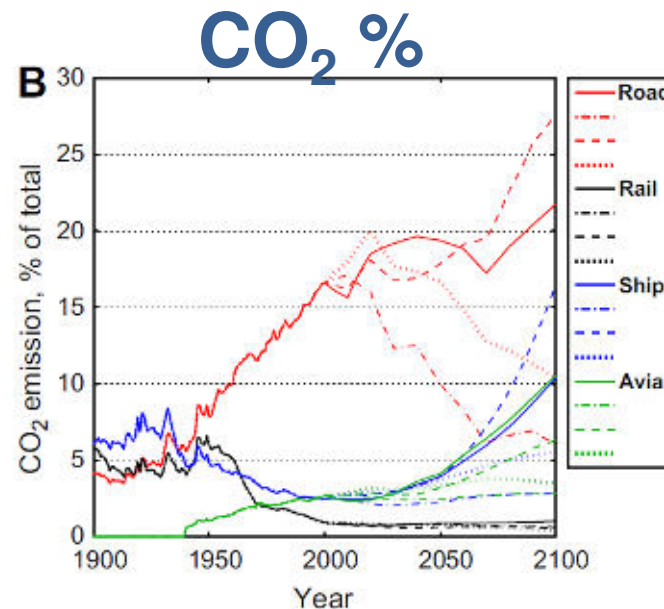
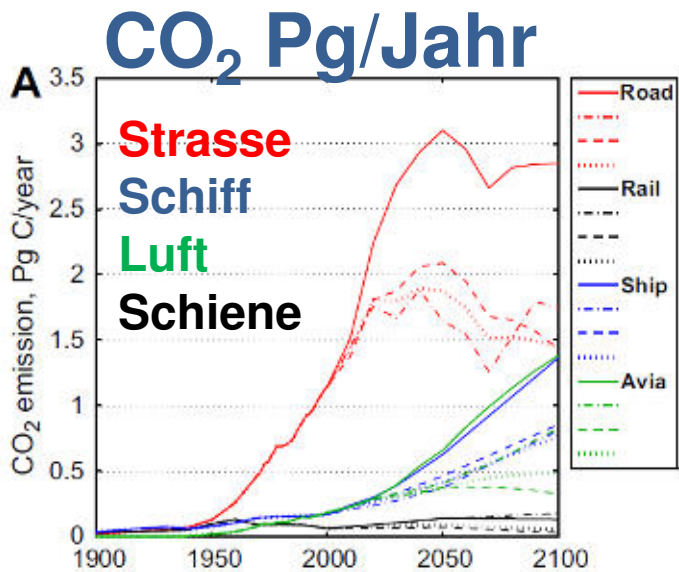


Grewe 2007





# Vergleich mit anderen Verkehrsträgern: Emissionen

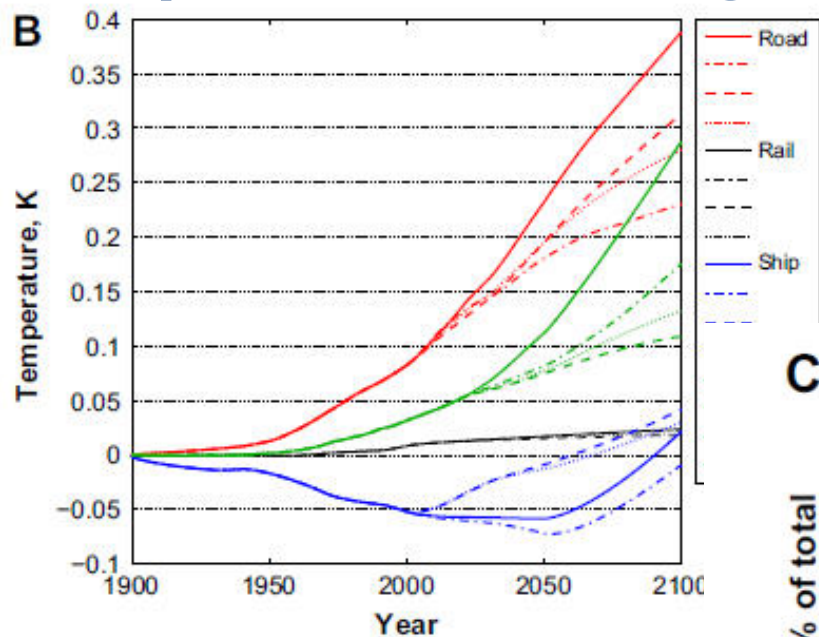


**2100 CO<sub>2</sub>**  
**Strasse: ~20%**  
**Schiff ~10%**  
**Luft ~5%**  
**Schiene ~1%**

Skeie et al., 2009  
 QUANTIFY



# Vergleich mit anderen Verkehrsträgern: Klimawirkung Temperaturänderung, °C



## 2100 Temperatur

**Strasse:** ~10%

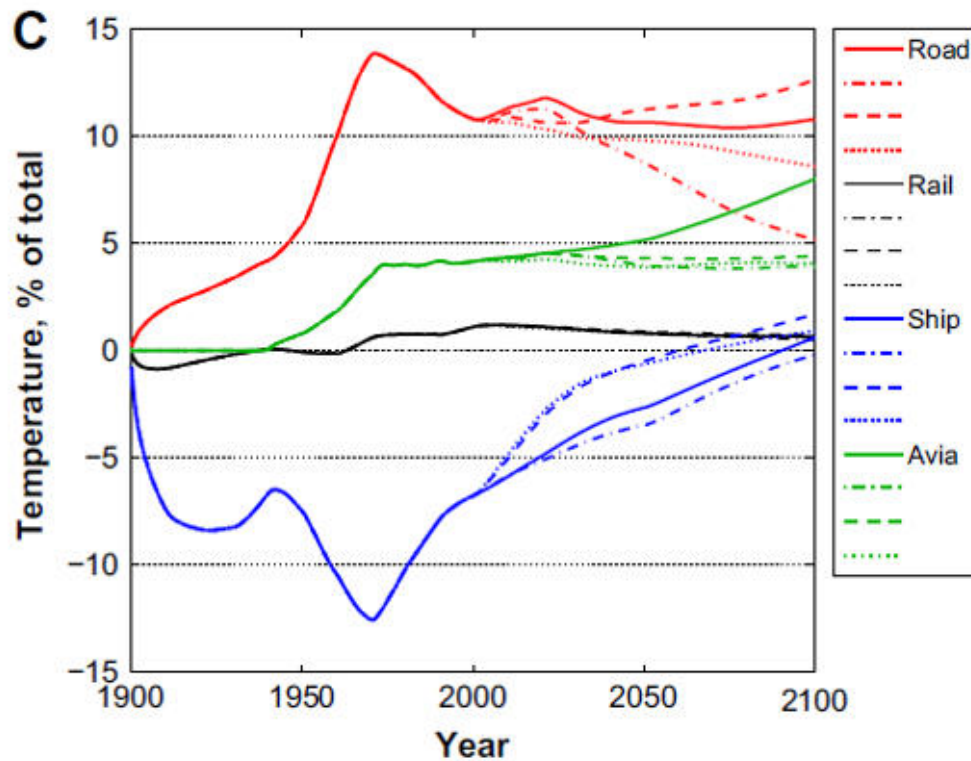
**Schiff** ~0%

**Luft** ~5%

**Schiene** ~0.5%

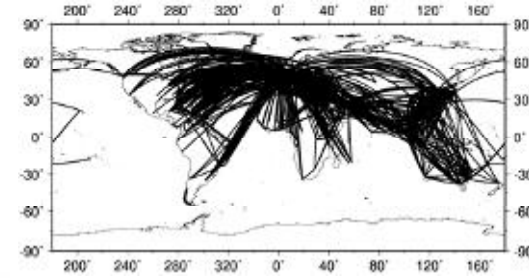
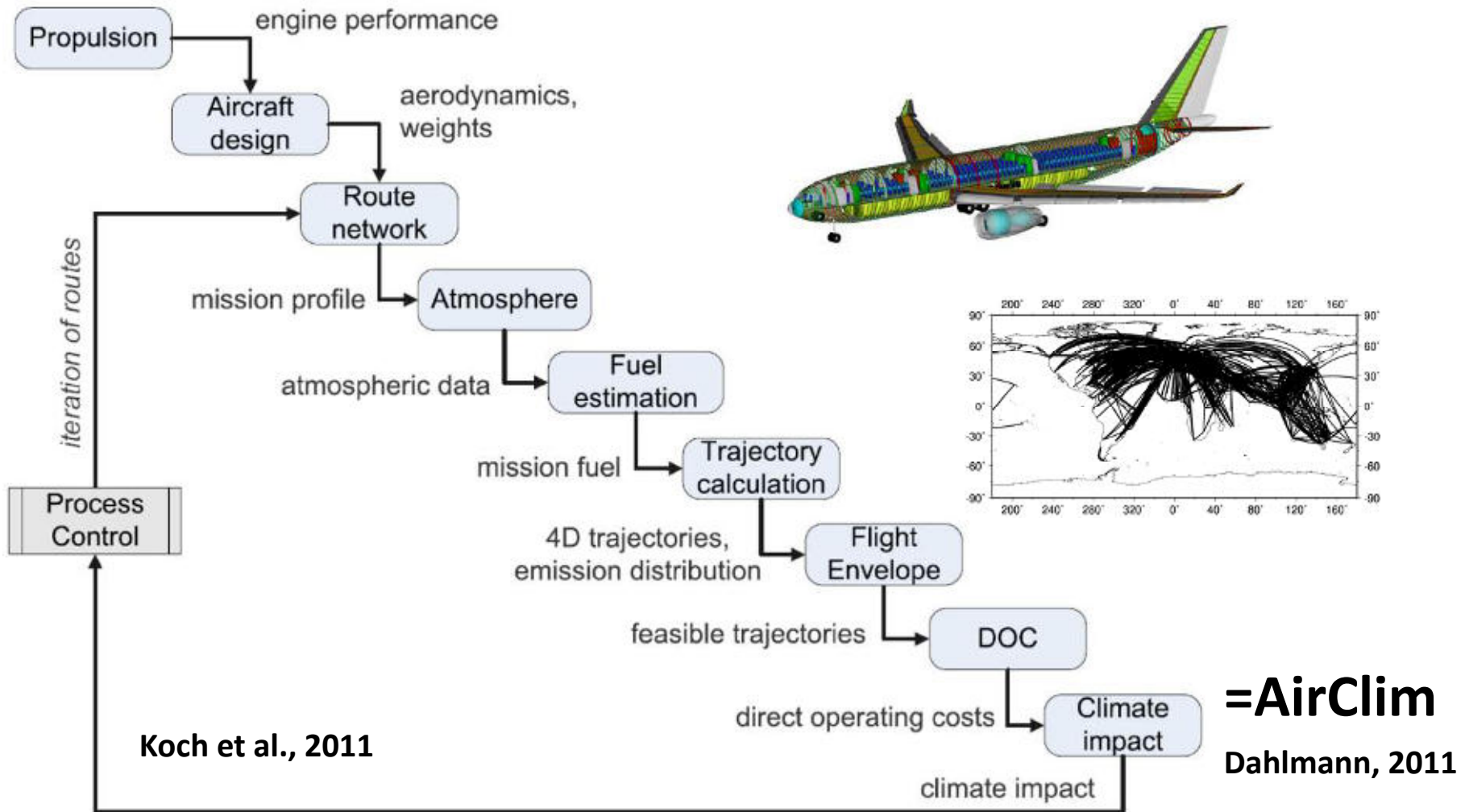
Skeie et al., 2009  
QUANTIFY

# Temperaturänderung, %



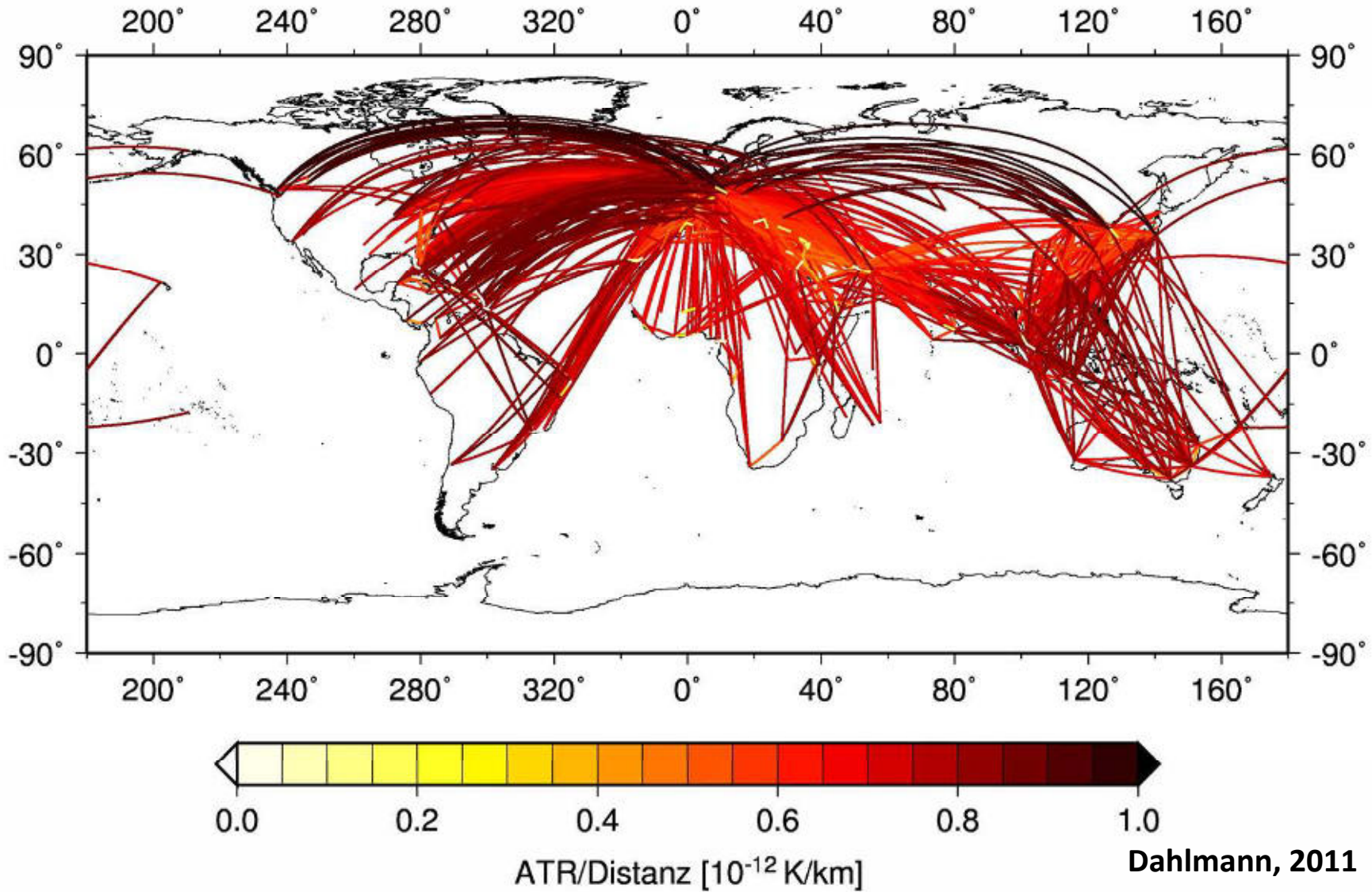
# DLR-Project CATS: Climate Compatible Air Transport System

## Untersuchungen zur Reduktion der Klimawirkung durch Routen-Änderungen





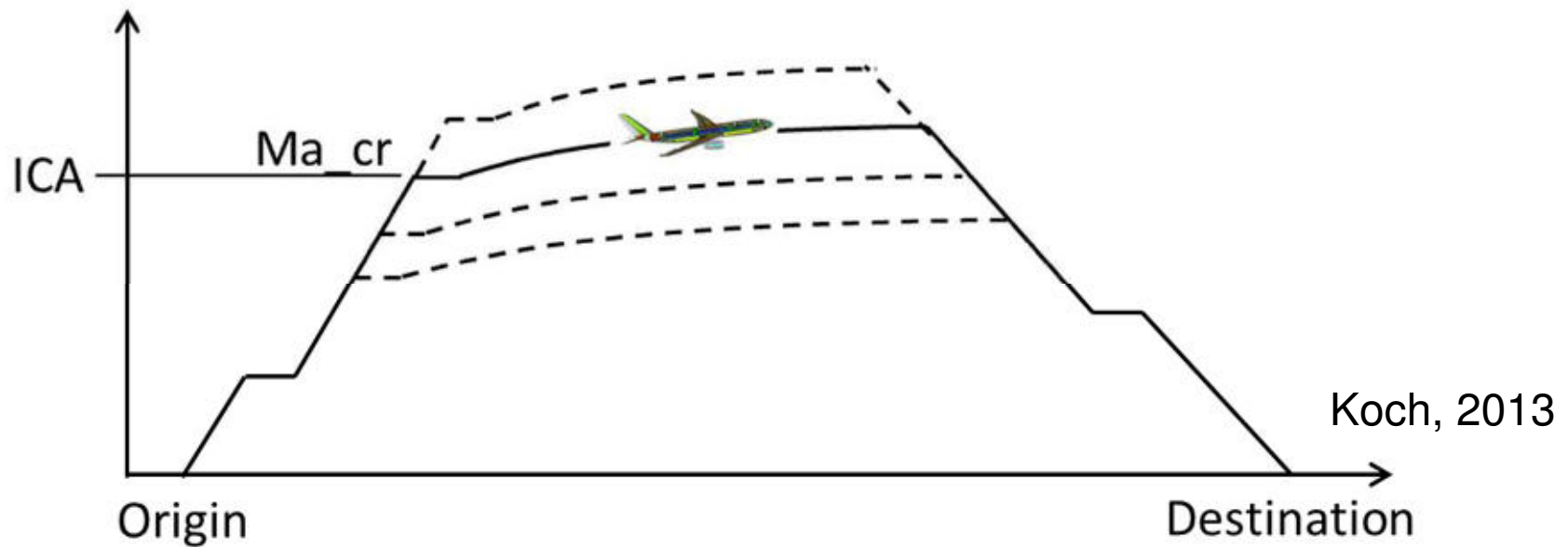
## Routennetzwerk und spezifisches "Global warming" [K/km] Durch ein Langstreckenflugzeug





# Optimierungsansatz

- Variation Reisefluggeschwindigkeit und der -höhe
- Analyse der optimalen Beziehung zwischen Kosten und Klima
- Anpassung des Flugzeugdesigns

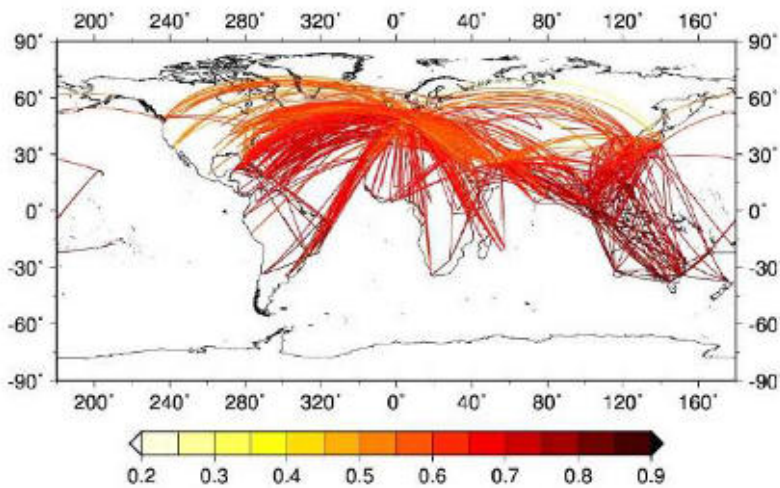


# A330: Potential of a climate change reduction: CATS-results

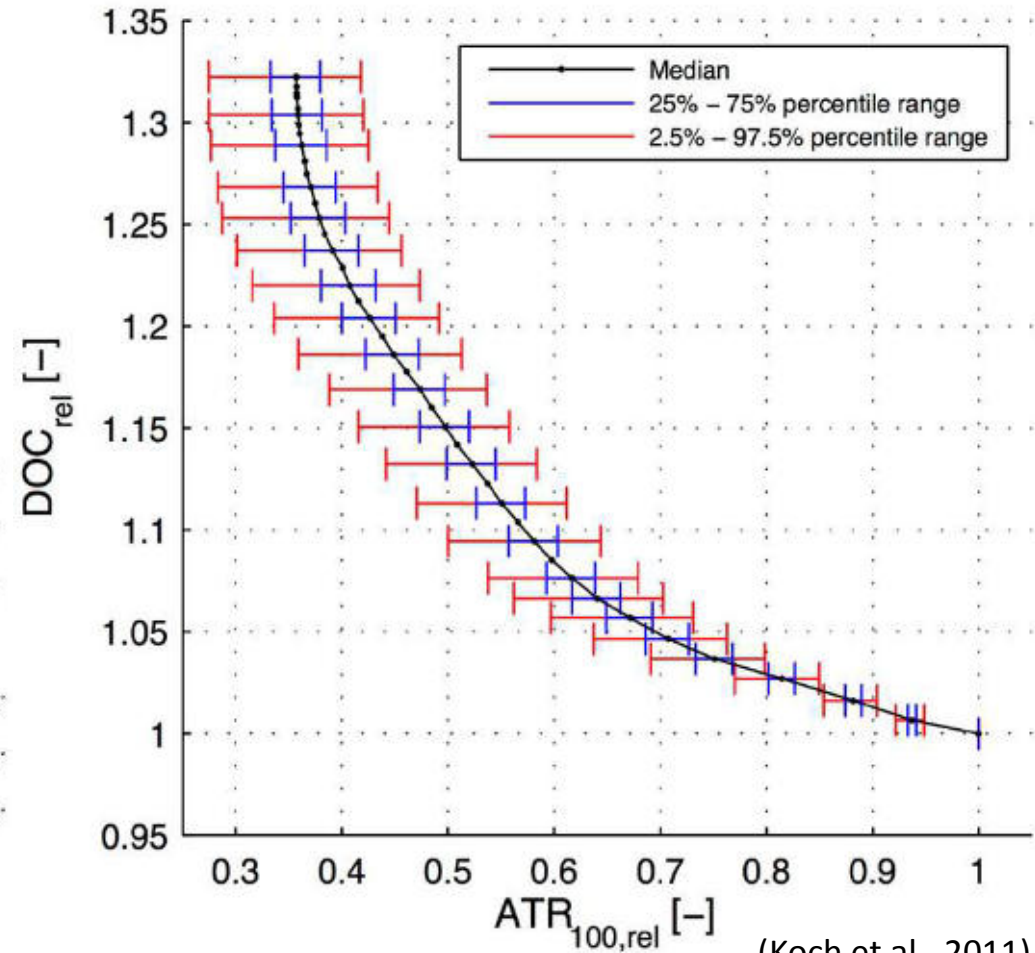
Variation in speed and cruise altitude

30% Reduction in climate change with 5% increase in costs

64% Reduction in climate change with 32% increase in costs (w/o adaptation of aircraft)



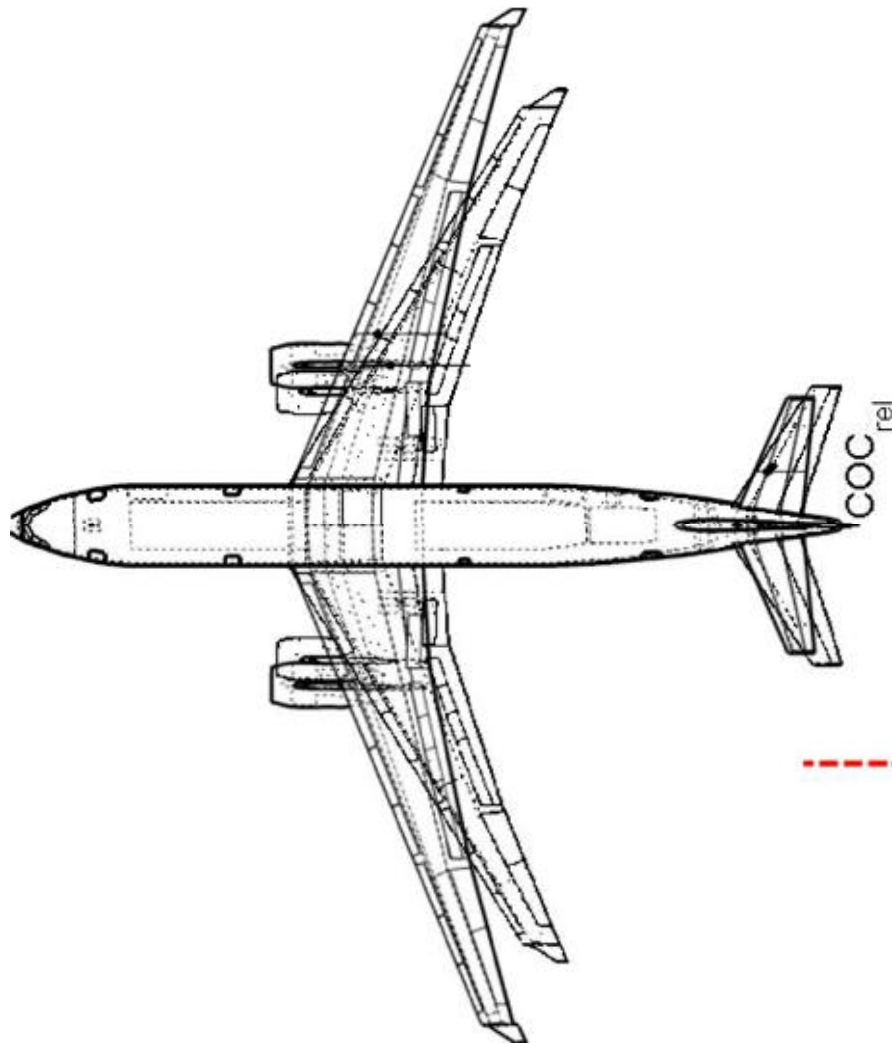
(Dahlmann, 2012)



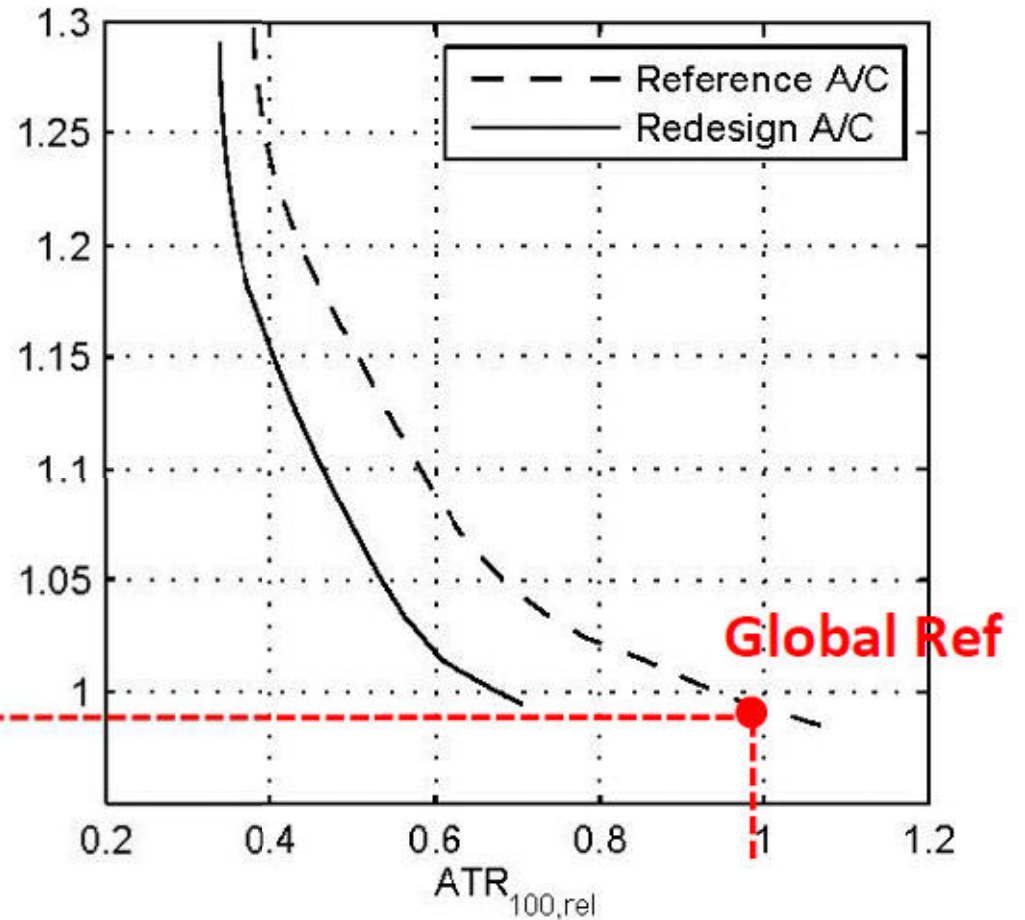
(Koch et al., 2011)



# Redesign des Flugzeuges für eine neue Resieflughöhe



Max Mach 0.775 / Max Altitude 10500m



Koch (2012)



# Zusammenfassung

## Der Luftverkehr

- ... **emittiert** CO<sub>2</sub>, Wasserdampf, Stickoxide, Partikel
- ... **verändert** die Zusammensetzung der **Atmosphäre**:  
CO<sub>2</sub>, Ozone, Methan, Wasserdampf, Stickoxide, Partikel
- ... trägt mit **~5% zur Klimaerwärmung** bei
- ... hat einen geringen Beitrag zum Klimawandel als der Straßenverkehr,  
kann diesen aber einholen, je nach Szenario

Es gibt Potential den Beitrag des Luftverkehrs zum Klimawandel zu reduzieren:

- Routenänderungen
- Biotreibstoffe
- technische Neuerungen







Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !