

AIRCRAFT DESIGN AND SYSTEMS GROUP (AERO)

Klimaoptimierte Dienstreise mit dem Flugzeug – Wie geht das?

Dieter Scholz

Hamburg University of Applied Sciences

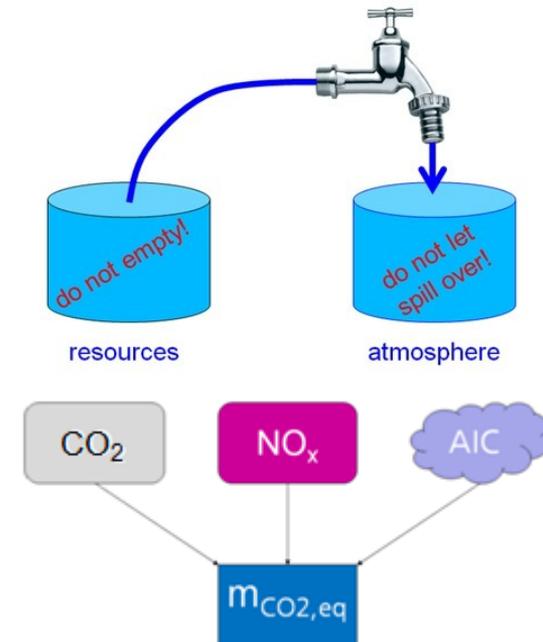
"Mittagsgespräch" im BMZ

Online, 17.03.2022, 12:00 – 13:00

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6376178>



Bundesministerium für
wirtschaftliche Zusammenarbeit
und Entwicklung



"Mittagsgespräch" im BMZ

Kurzreferat / Abstract

Zweck – Darstellung der Hintergründe und der konkreten Möglichkeiten zur Minimierung der Umweltwirkung bei einer Dienstreise mit dem Flugzeug.

Methodik – Zusammenfassung eigener Forschungsergebnisse und weiterer Informationen.

Ergebnisse – Die Umweltwirkung durch die zivile Luftfahrt ist erheblich und extrem ungleich verteilt. Sie wird fast vollständig verursacht von wohlhabenden Bevölkerungsschichten in reichen Staaten. Hier sind insbesondere die Vielflieger zu nennen. Urban Air Mobility ist für die Eliten, bietet keine Vorteile für die Umwelt und ändert nichts an den Staus in der Stadt. Kurzstrecken sollten mit der Bahn zurückgelegt werden. Für Mittelstrecken zwischen Megacities bieten Hochgeschwindigkeitszüge viele Vorteile. Wir haben in der Luftfahrt weniger ein CO₂-Problem als mehr ein Problem der Erderwärmung durch Wolkenbildung aufgrund von Kondensstreifen (Aviation-Induced Cloudiness, AIC). Das größte Umweltthema ist aber wohl das der Trinkwasserversorgung, die jedoch mit der Erderwärmung und der Abnahme der fossilen Energieressourcen verbunden ist. Das Trinkwasserproblem wird daher durch die Luftfahrt verstärkt. Die Wahl des Verkehrsmittels kann man bereits nach den physikalischen Grundprinzipien vornehmen. Das System Rad-Schiene hat hier einen klaren Vorteil. Der Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen ist nicht normiert. Eine Berechnungsformel wird vorgeschlagen und dargestellt, mit welchen einfachen öffentlichen Angaben der Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen abgeschätzt werden kann. Die Umweltwirkung ist von der Flugstrecke abhängig und von der Flughöhe. Durch niedrigeres Fliegen könnte die Umweltwirkung stark verringert werden. Vorgestellt werden die Parameter, mit denen jeder Flugreisende seine Umweltwirkung verringern kann. Verschiedene Bewertungstools für eine Flugreise stehen zur Verfügung. Das "Ecolabel for Aircraft" bewertet ein Flugzeug. Eine Flugreise sollte, so weit möglich, als Direktflug gewählt werden. Verschiedene Buchungstools stehen im Internet zur Verfügung, die auch den CO₂-Ausstoß angeben. Wenn ein Flug nicht vermieden werden kann, dann können die nach der Optimierung verbleibenden äquivalenten CO₂ kompensiert werden.

Soziale Bedeutung – Kenntnisse über die Umweltwirkung der Luftfahrt können helfen, eine Flugreise zu optimieren oder auf einen anderen Verkehrsträger zu verlagern, unabhängig von den (Werbe-)Aussagen einzelner Anbieter.

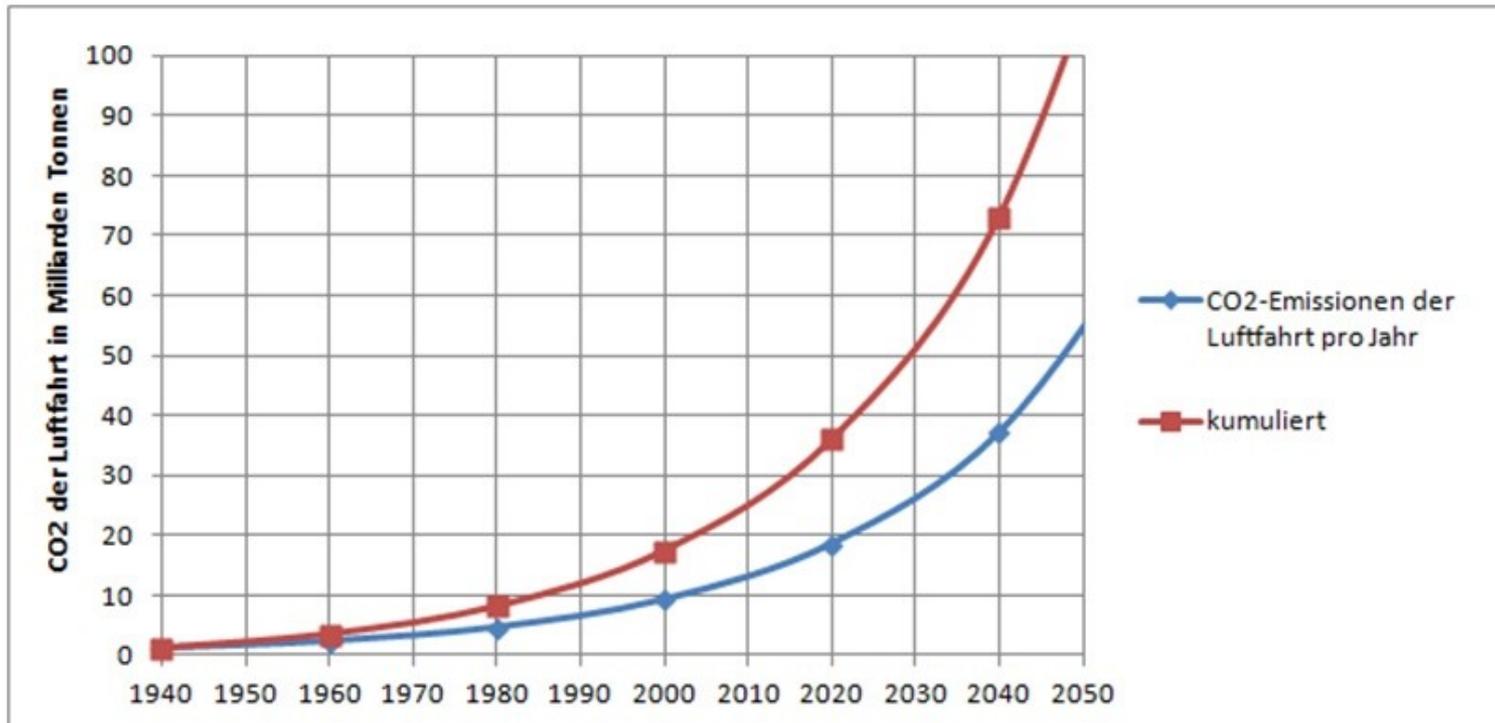
"Mittagsgespräch" im BMZ

Inhalt

- **Einleitung**
- **Warum Sie gar nicht fliegen wollen!**
 - Corona und Fliegen
 - Kontaminierte Kabinenluft
- **Grundlagen**
 - Allgemeine Grundlagen
 - Urban Aviation / Lufttaxis
 - Kurzstrecke
 - Mittelstrecke
- **Was kann ich tun?**
 - Übersicht der vielen Möglichkeiten
 - Weniger Fliegen! Mit der Bahn fahren! Direktflug!
 - Low Cost Airline! Touristenklasse! Effizientes Flugzeug! ("Ecolabel for Aircraft")
 - Weniger Gepäck?
 - Kompensieren?
- **Zusammenfassung / Ausblick**

Einleitung

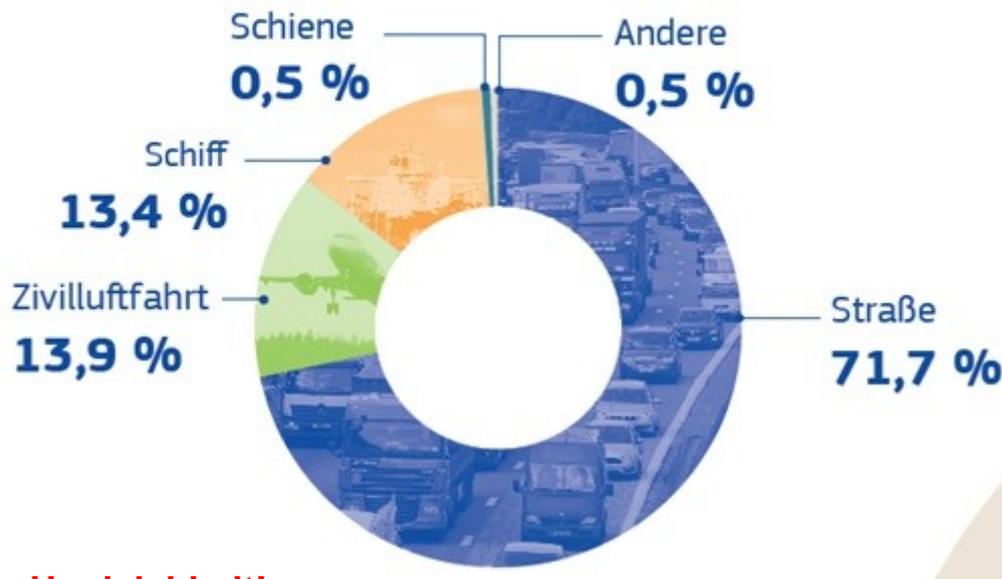
Wie steigen die Emissionen des Luftverkehrs?



Einfache Darstellung des exponentiellen CO₂-Wachstums der Luftfahrt bis 2019 fortgeschrieben bis 2050 unter der Annahme von einem weiteren Wachstum des Luftverkehrs von 5 % pro Jahr und Einsparungen im Kraftstoffverbrauch pro Kopf und Kilometer von 1,5 % pro Jahr. Dies führt zu einer Verdoppelung der CO₂-Emissionen alle 20 Jahre.

Wie hoch sind die Emissionen der Luftfahrt?

Anteil der Treibhausgasemissionen
je Verkehrsträger (2017)



Statistiken, so dass es schön klingt:

"CO₂-Emissionen der Luftfahrt machen nur 2,4 % an allen menschen-gemachten CO₂-Emissionen aus."

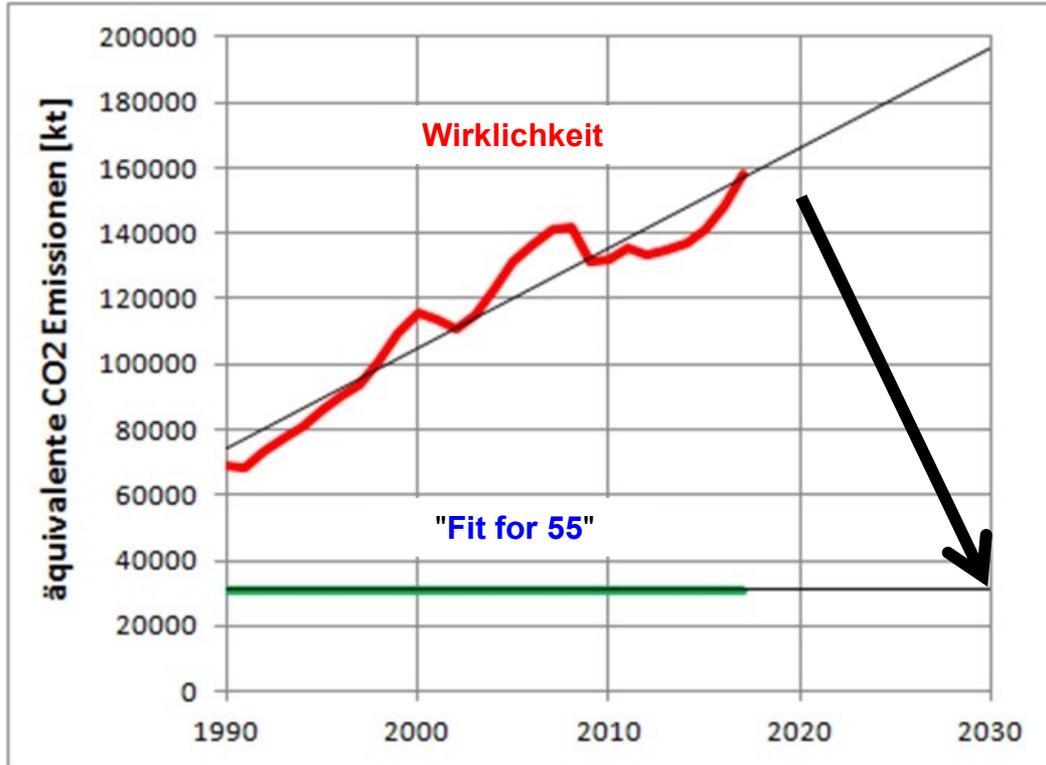
"Der zivile Luftverkehr ist nur mit 3,5 % an der menschengemachten Erderwärmung beteiligt." (Unter Berücksichtigung der Nicht-CO₂-Emissionen)

Ja, aber wie setzen sich die 100 % zusammen? Industrie, Landwirtschaft, ... Es fehlt bei den geringen Prozenten der Bezug. Daher: Prozenten auf den Verkehrssektor beziehen.

Ungleichheit!

- Im Durchschnitt macht jede Person auf Erden einen halben Flug pro Jahr.
- 80 % der Menschen auf der Erde sind noch nie geflogen. Nach dem allgemeinen Pareto-Prinzip (80/20-Regel) müssten 20 % der Weltbevölkerung für 80 % der Emissionen verantwortlich sein. In der Luftfahrt sind aber 20 % der Weltbevölkerung für 100 % der Emissionen verantwortlich.
- 1 % der Weltbevölkerung verursacht 50 % der CO₂-Emissionen der Zivilluftfahrt.

Welche Klimaziele hat die EU für die Luftfahrt?

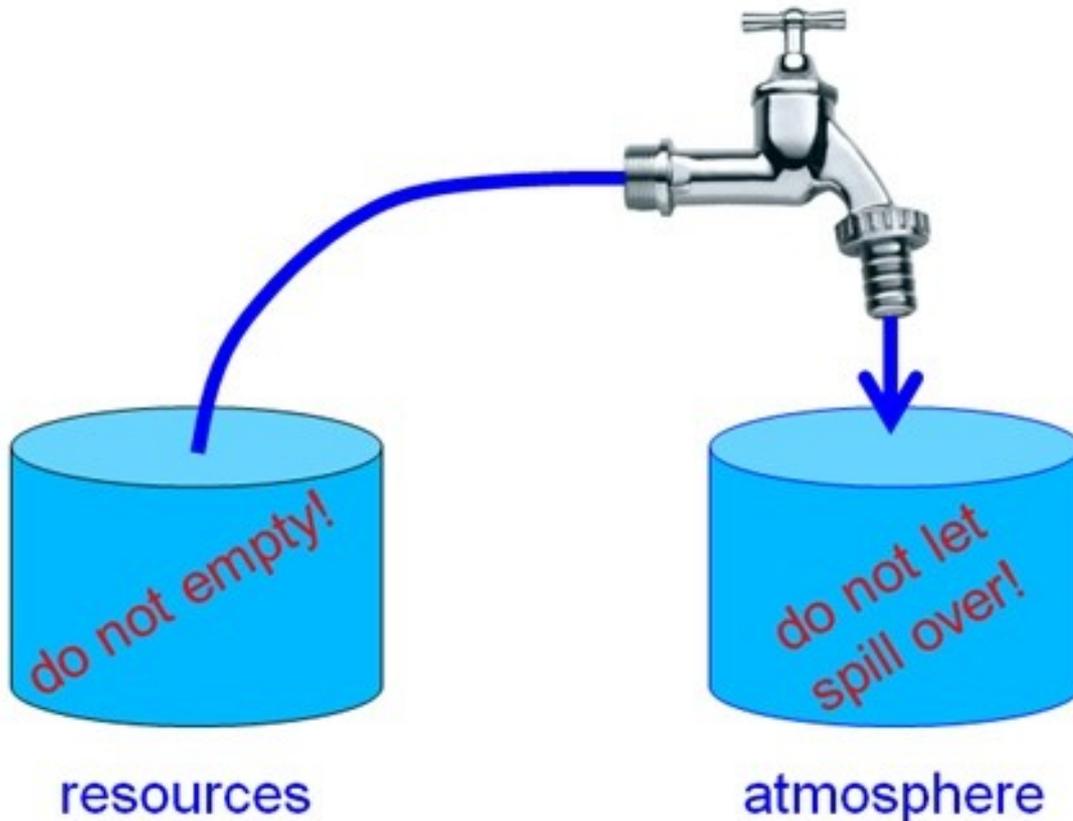


1.) 2019: Der "**Green Deal**" der EU: "Im Jahr 2050 sollen keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden".

2.) 2020: Die Europäischen Klimaziele für 2030 wurden definiert unter dem Motto "**Fit for 55**". Das ist das Zwischenziel zum Green Deal: **Treibhausgasemissionen sollen im Vergleich zu 1990 um 55 % reduziert werden** – d.h. nur noch 45% des Wertes von 1990 betragen. Dieser Wert soll bis 2030 erreicht werden.

Die 55 % Reduktion im Vergleich zu 1990 bedeutet für die Luftfahrt eine Reduktion von mehr als 80 % bis 2030 also um etwa 9 % pro Jahr. Der Kraftstoffverbrauch konnte bisher jährlich um 1,5 % gesenkt werden durch operative Maßnahmen und Technologie. **Der Luftverkehr müsste daher um 7,5 % pro Jahr dauerhaft schrumpfen** (unabhängig vom kurzen Einfluss der Pandemie).

Worum geht es – Kraftstoffverbrauch oder Emissionen?



Die Luftverkehrswirtschaft wollte bis 2020 "Carbon Neutral Growth" (CNG) erreichen. Wachstum bei immer gleichen CO₂ Emissionen jedes Jahr.

Mit CNG wird der Hahn weit offen gelassen.

Könnte die Zeit gekommen sein, den Hahn langsam zu schließen?

Ja, mit dem "Green Deal" der EU und mit "Fit for 55"!

Trinkwasser?

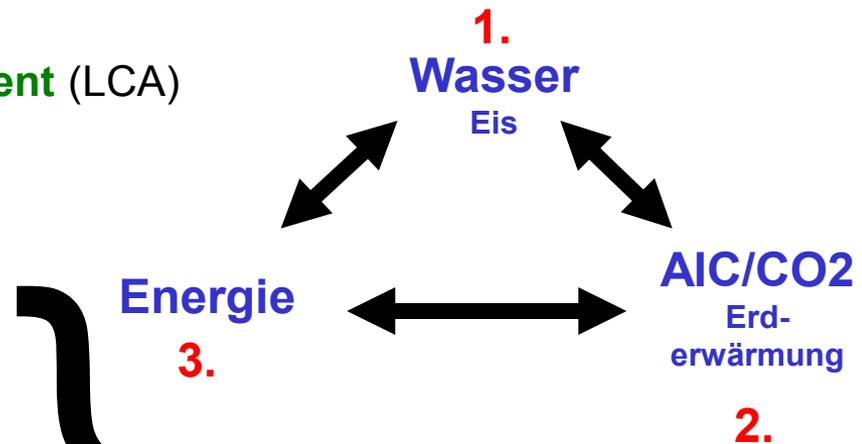
Derzeit im Fokus: CO2 und Energie, aber:

1. Es geht i.d.R. nicht um CO2 und Energy, sondern **um sauberes Trinkwasser!**
2. Es geht um die Erderwärmung und damit in der Luftfahrt nicht primär um CO2, sondern **um Aviation Induced Cloudiness (AIC)**.

Notwendig: Betrachtung mit **Life Cycle Assessment (LCA)**

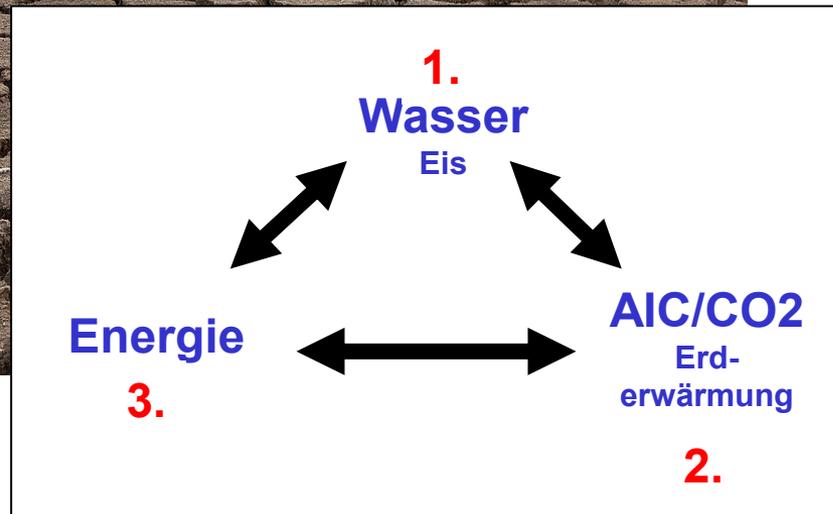
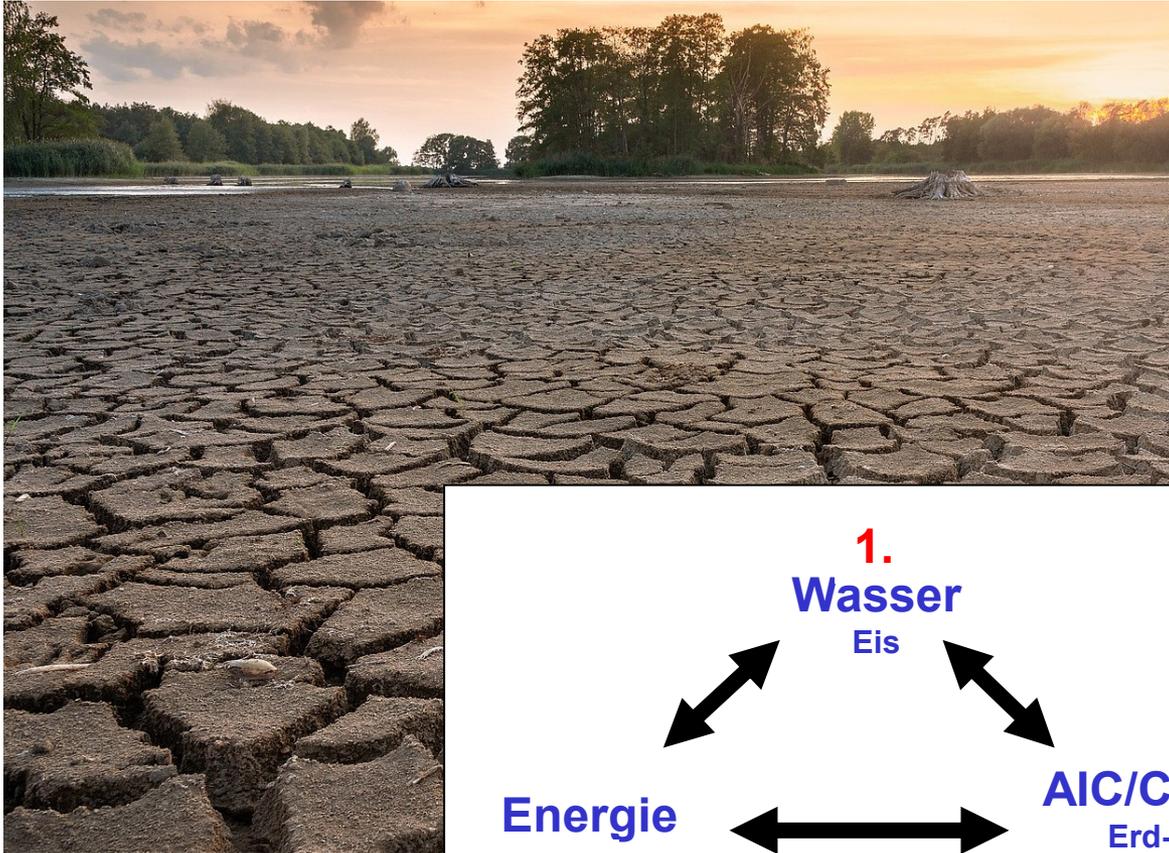
In der Dreiecksbeziehung: Alles ist verbunden:

- 1=>2: **Eis taut => Erderwärmung**
- 2=>1: **Erderwärmung => Eis taut**
- 3=>2: **Fossile Energie genutzt => Erderwärmung**
- 2=>3: **Erderwärmung => weniger Energie zum Heizen**
- 3=>1: **Energie zur Meerwasserentsalzung => Wasser**
- 1=>3: **Wasser => Kraftstoff Gewinnung (H2, SAF)**

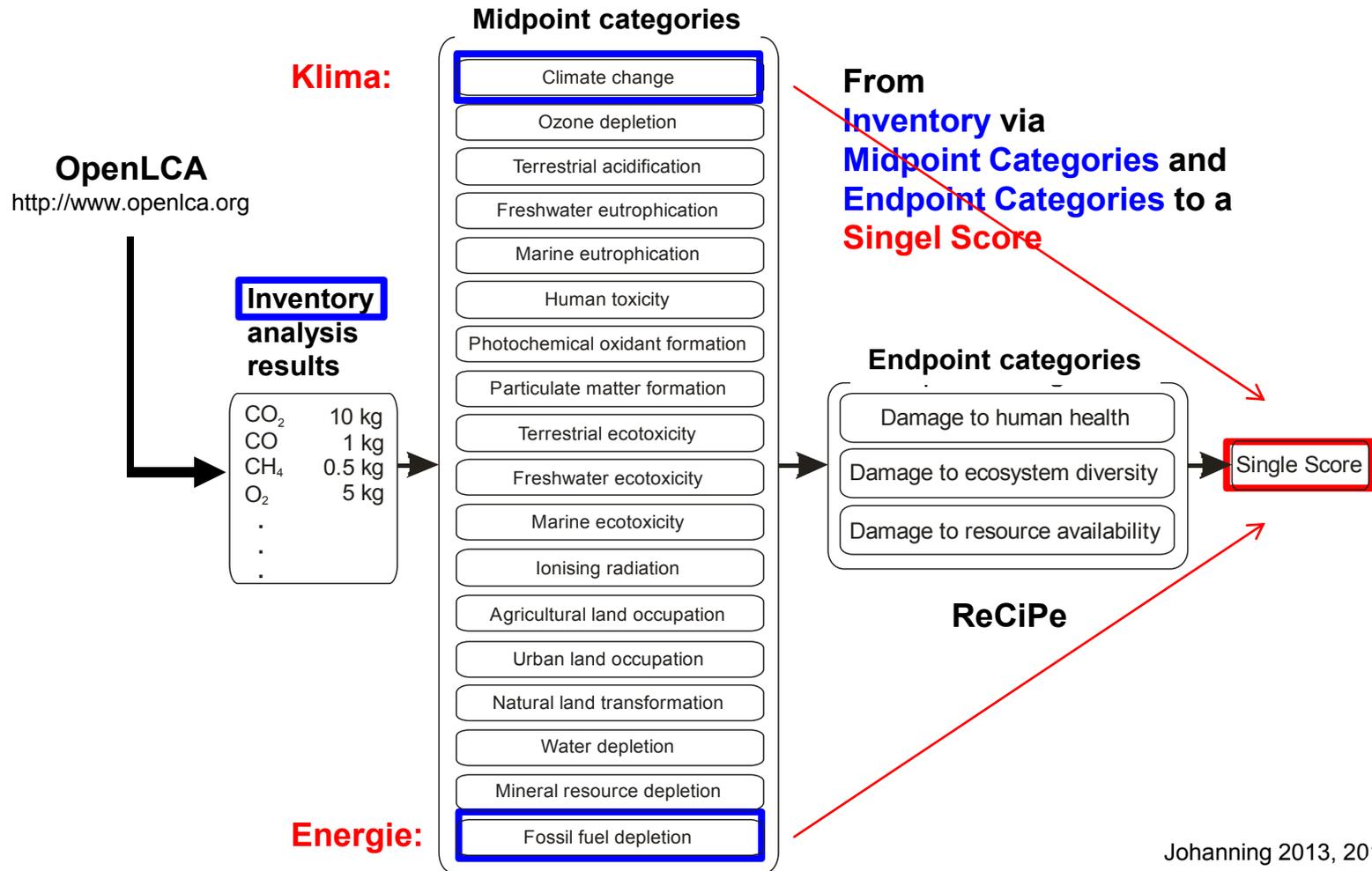


Siehe auch:
 SCHOLZ, Dieter, 2012. *Eco-Efficiency in Aviation – Flying Off Course?* German Aerospace Congress 2012 (DLRK2012), Berlin, Germany, 10.-12.09.2012.
 Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4067014>

Am wichtigsten: Sauberes Trinkwasser (nicht das Thema des Vortrags)



Ökobilanz = Life Cycle Assessment (LCA)



Johanning 2013, 2014, 2016, 2017

ReCiPe Method: https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf

Warum Sie gar nicht fliegen wollen!

Corona und Fliegen

<http://Corona.ProfScholz.de>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Airbus' Cabin Air Explanations during the Corona Pandemic – Presented, Analyzed, and Criticized*. Available from: <https://purl.org/corona/M2020-06-19> (PDF)

Luftfahrtindustrie lügt beim Thema "Kabinenbelüftung" während der Corona-Pandemie



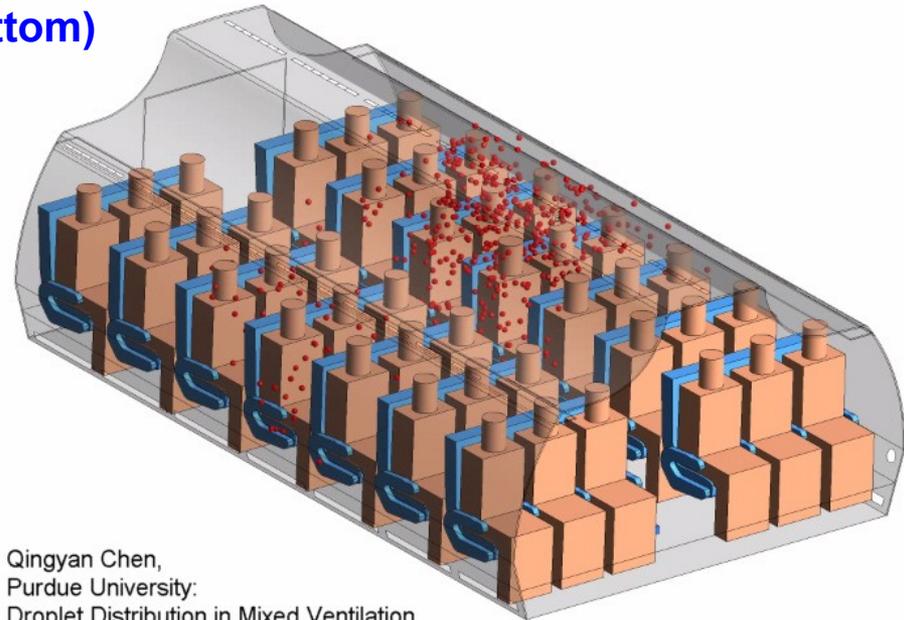
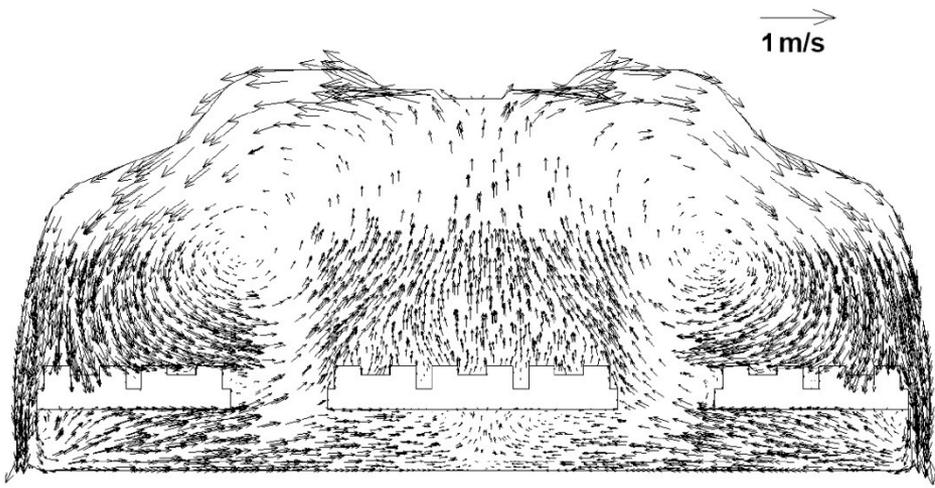
What?	false statement (lie) of the aviation industry	Short form of the lie (in German)
air in the plane	"as clean as in an operating room" (through HEPA filter)	Operationssaal
air exchange	"COMPLETE in 2 to 3 minutes"	Frischluftquote *
air flow in the aircraft cabin	"only from top to bottom" or "no horizontal flows"	Klimavorhang *

* A. Scheuer, BMVI, <https://youtu.be/tGXNK9Y40AQ>

Luftfahrtindustrie lügt beim Thema "Kabinenbelüftung" während der Corona-Pandemie

"Klimavorhang" (flow only from top to bottom)

The air conditioning system forms **circulation patterns** of the air and helps to distribute droplets among **several rows** in the aircraft cabin!

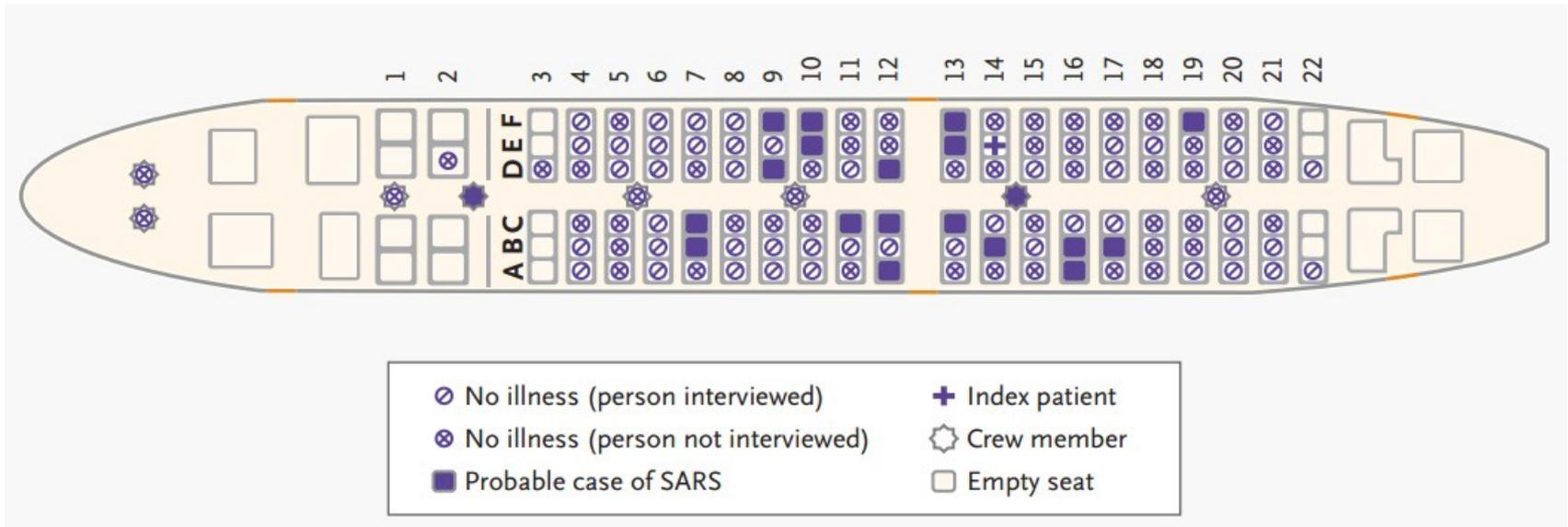


Qingyan Chen,
Purdue University:
Droplet Distribution in Mixed Ventilation

Aerosols are further distributed along the **length of the cabin** by turbulence, diffusion, and movement of persons in the cabin!

<http://purl.org/corona/N2020-06-17>

Ansteckung ist in der ganzen Kabine möglich



Boeing 737-300 auf dem Flug von Hong Kong nach Peking über 3 Stunden.
 "Index patient" ist die erkrankte Person auf Sitz 14E.

<https://doi.org/10.1056/NEJMoa031349>

Hohes Risiko der Ansteckung:

Viele Menschen zusammen
Menschen **dicht** zusammen
Über **lange Zeit** zusammen
Geringe **Belüftung** des Raumes

im Flugzeug?

ja

ja

ja

nein,

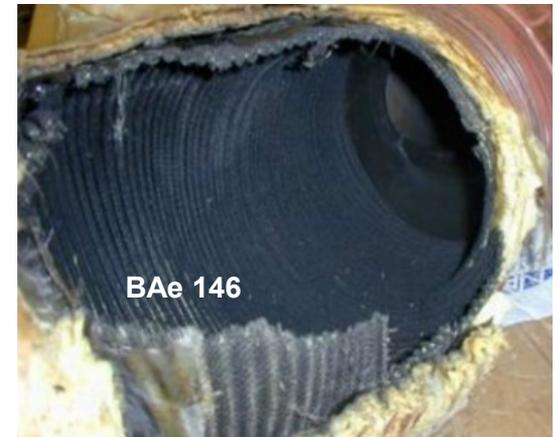
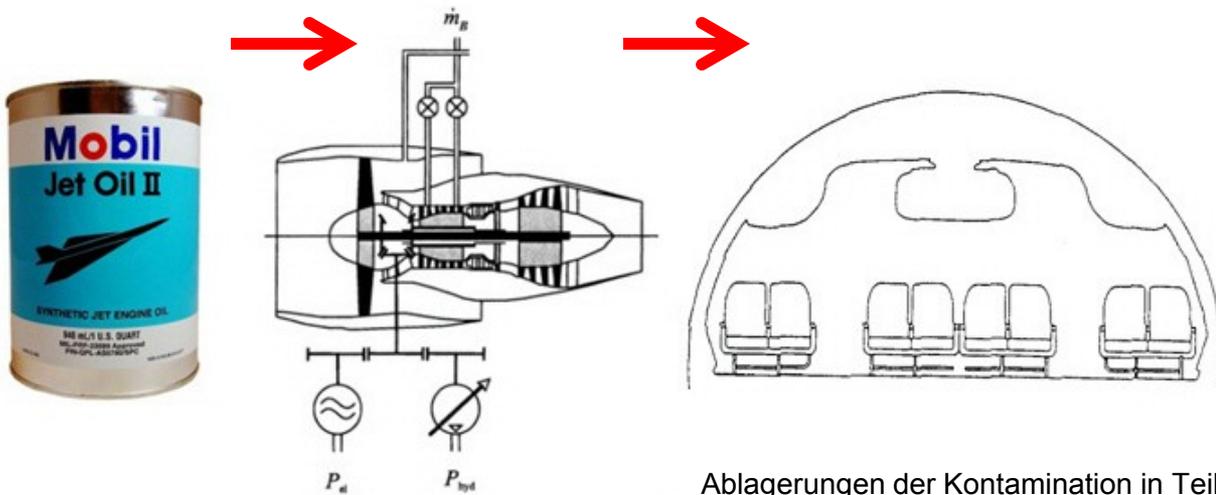
aber Situation ist problematisch

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Sommer 2020, COVID-19, Fliegen: ja oder nein? Vorsicht: Gesundheitsrisiko und unklare Rechtslage!* Pressemitteilung.
Available from: <http://purl.org/corona/PR2020-06-05>

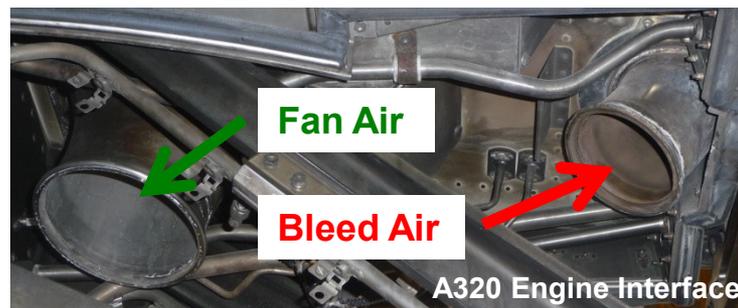
Kontaminierte Kabinenluft

<http://CabinAir.ProfScholz.de>

SCHOLZ, Dieter, 2022. Routes of Aircraft Cabin Air Contamination from Engine Oil, Hydraulic and Deicing Fluid. In: *INCAS Bulletin*, 14(1), pp.153-170. Available from: <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2022.14.1.13>



Ablagerungen der Kontamination in Teilen der Klima- und Zapfluftanlage an Bord.



warning:

contains **TCP**
tricresylphosphate.

Swallowing this product
 can cause nervous
 system disorders,
 including paralysis.

Prolonged breathing of oil
 mist, or prolonged or
 repeated skin contact can
 cause nervous system
 effects.



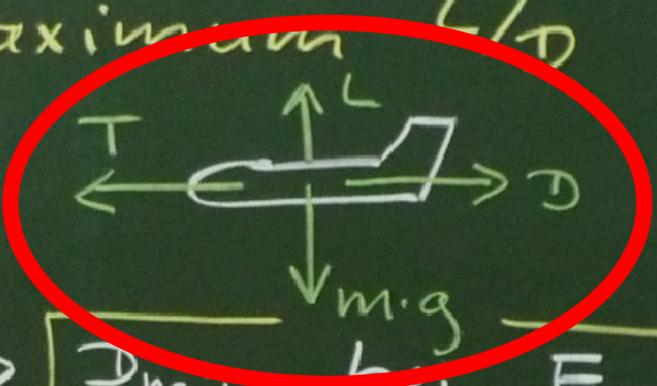
(Cannon 2016)

Grundlagen

Allgemeine Grundlagen

Aus der Vorlesung

Drag D_{min} and der
 Gleitzahl maximum L/D E_{max}
 Horizontalflug

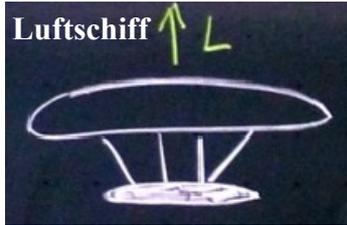


$D = \frac{L}{E} = \frac{m \cdot g}{E} \Rightarrow \boxed{D_{min} \text{ bei } E_{max}}$

$\frac{C_L}{C_D}$ also: $E = f(C_L)$

Kraftaufwand, um ein Fahrzeug während der Fahrt hoch zu halten, D_i

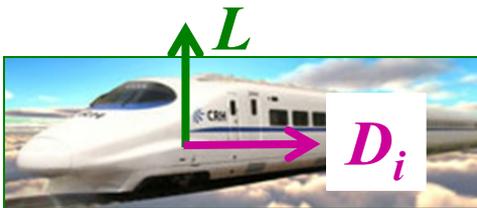
Fahrzeug ist widerstandsärmer



$$D_i = L / \infty = 0$$

$$D = D_0 + D_i$$

↑ Kraft, um Fahrzeug durch die Luft zu schieben

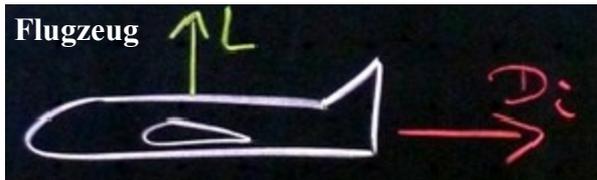


$$D_i = L / 700$$



$D_i = L / 70$: Auto auf Asphalt

$D_i = L / 20$: Auto auf Sand



$$D_i = L / 40$$



Hubschrauber

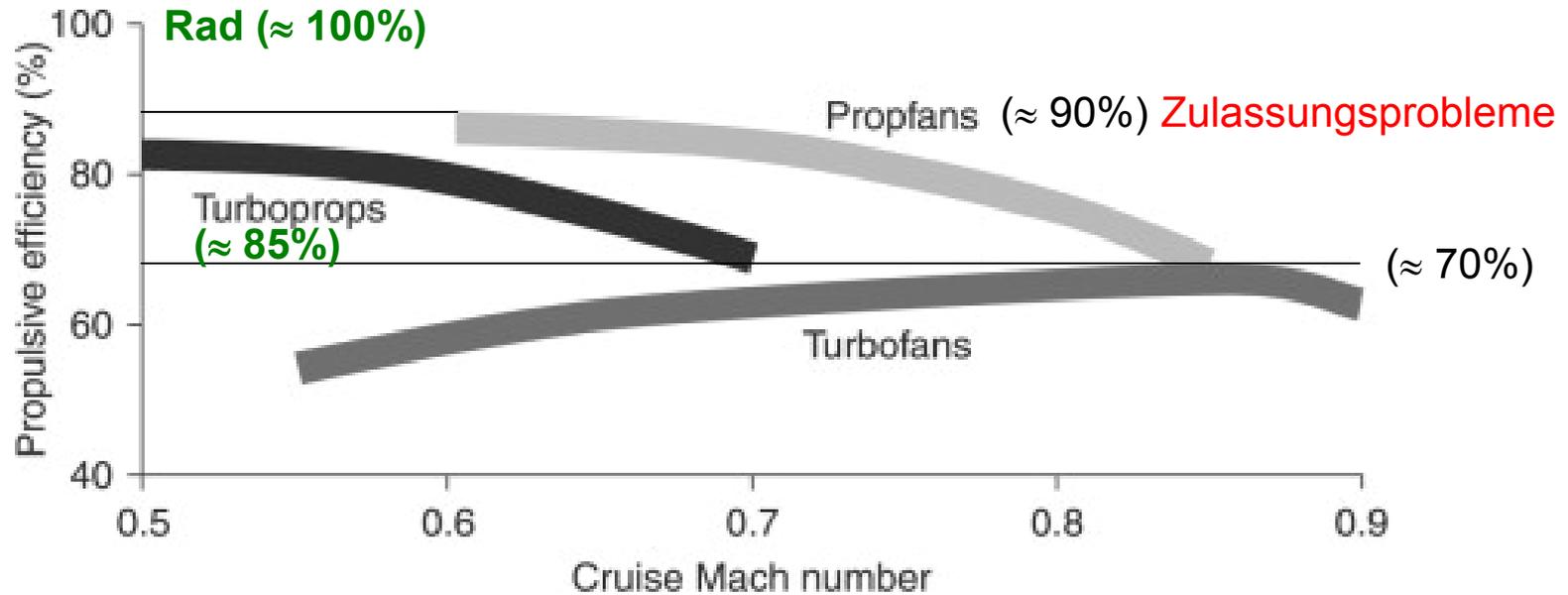
$$D_i = T = L / 1$$

D_i = induzierter Widerstand (Drag)

L = Auftrieb (Lift) = Gewicht

T = Schub (Thrust)

Vortriebswirkungsgrad des Antriebes



<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/propulsive-efficiency>

Objektiv über Kraftstoffverbrauch reden!

Forderung:
**Der Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen
muss definiert und angegeben werden!**

Ansonsten bleiben die Bürger uninformiert darüber,
was "alte Stinker"* (T. Jarzombek) sind und
warum für ein "Abwrackprogramm"** bzw. eine Flottenerneuerung
1 Mrd. Euro ausgegeben werden.

* <https://youtu.be/jzl2zpoCuz0>

** <https://perma.cc/AV2V-P7Q2>

Notwendigkeit einer Definition zum Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen

Table 1: Summary of candidate metrics

Full Mission Metrics					
Single parameter metric	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Range}}$				
Two-parameter metric	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Payload} \cdot \text{Range}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Useful Load} \cdot R}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{MTOW} \cdot \text{Range}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Floor Area} \cdot R}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Av. Seats} \cdot R}$
Three-parameter metric	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Payload} \cdot R \cdot \text{Speed}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Useful Load} \cdot R \cdot \text{Speed}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{MTOW} \cdot R \cdot \text{Speed}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Floor Area} \cdot R \cdot \text{Speed}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Av. Seats} \cdot R \cdot \text{Speed}}$
	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Payload} \cdot R / \text{Time}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Useful Load} \cdot R / \text{Time}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{MTOW} \cdot R / \text{Time}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Floor Area} \cdot R / \text{Time}}$	$\frac{\text{Block Fuel}}{\text{Av. Seats} \cdot R / \text{Time}}$
Instantaneous Performance Metrics					
Single parameter metric	$\frac{1}{\text{Specific Air Range}} = \frac{1}{\text{SAR}}$				
Two-parameter metric	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Payload}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Useful Load}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{MTOW}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Floor Area}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Av. Seats}}$
Three-parameter metric	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Payload} \cdot \text{Speed}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Useful Load} \cdot \text{Speed}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{MTOW} \cdot \text{Speed}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Floor Area} \cdot \text{Speed}}$	$\frac{1}{\text{SAR} \cdot \text{Av. Seats} \cdot \text{Speed}}$

Note: R = Range

<http://partner.mit.edu/projects/metrics-aviation-co2-standard>



Selecting a Fuel Metric:

$$1/(\text{SAR} \cdot n_{\text{seat}})$$

$$\text{SAR} = \frac{V \cdot L/D}{\text{SFC} \cdot m \cdot g}; \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Specific Air Range; 1/SAR=fuel consumption can be **measured** in flight **or calculated** from basic aircraft parameters:

- aircraft mass, m
- aerodynamic efficiency, L/D
- specific fuel consumption, SFC
- aircraft speed, V

or extracted from published Payload Range Diagrams

Berechnung des Kraftstoffverbrauchs von Flugzeugen durch Jedermann

Siehe auch: <https://bit.ly/3mWHo6c>
Frage 7 aus "Umweltschutz in der Luftfahrt"

- Der Kraftstoffverbrauch von Passagierflugzeugen ist nicht definiert und nicht öffentlich angegeben und entzieht sich damit dann auch einer öffentlichen Diskussion.
- Es ist aber möglich, den Kraftstoffverbrauch aus den öffentlich verfügbaren Herstellerangaben zu errechnen. Für diejenigen, die sich weiter mit dem Thema beschäftigen möchten, hier eine einfache Abschätzung:
- Es werden vier Zahlen benötigt, die i.d.R. zu finden sind und nicht der Geheimhaltung unterliegen: die maximale Abflugmassen (Maximum Take-Off Weight, **MTOW**), die Masse des voll beladenen Flugzeugs ohne Kraftstoff (Maximum Zero Fuel Weight, **MZFW**), die maximale Reichweite (**R**) bei voller Beladung (also bei MZFW) und die Anzahl der Sitzplätze (**SP**).
- Damit ist dann der Verbrauch in kg / 100 km und Sitzplatz:

$$m_F = (\text{MTOW} - \text{MZFW}) / (\text{R} \cdot \text{SP}) \cdot 100$$

Beispiel Airbus A320neo:

$$2,2 \text{ kg} / 100 \text{ km und Sitzplatz ergibt sich aus: } (73500 \text{ kg} - 62800 \text{ kg}) / (3180 \text{ km} \cdot 150) \cdot 100$$

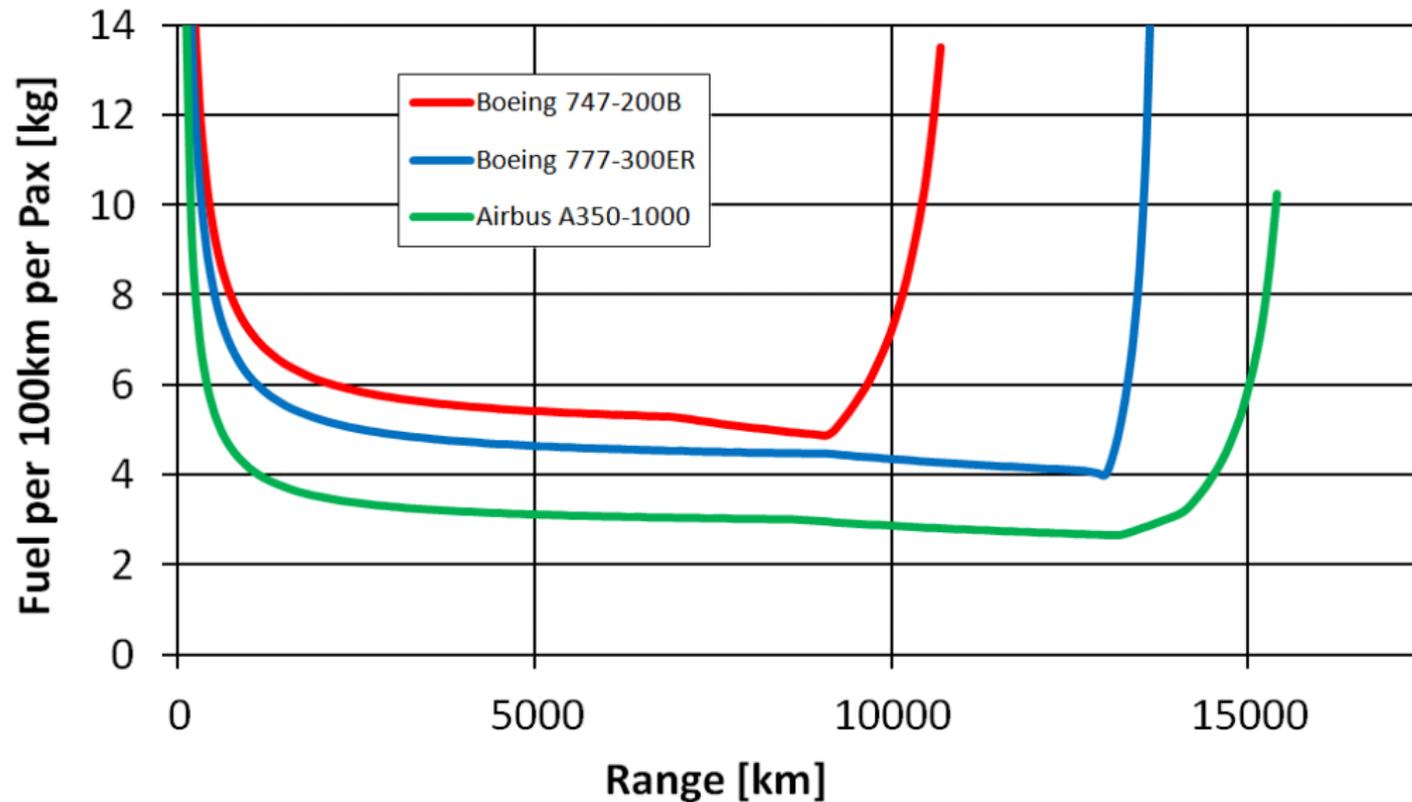
- Soll der Verbrauch in Litern / 100 km und Sitzplatz angegeben werden, dann muss durch 0,8 geteilt werden (Dichte von Kerosin).
- Der so einfach errechnete Verbrauch fällt etwas zu hoch aus. Multipliziert mit der Entfernung (Luftlinie, Großkreisentfernung) zwischen zwei Orten kommt aber ein ganz passender Kraftstoffverbrauch für die Flugstrecke heraus. Der Vergleich zwischen zwei Flugzeugen ist ebenfalls gut möglich.

Der Kraftstoffverbrauch pro 100 km und Person hängt von der Flugdistanz ab!

- Eine genauere Berechnung (Scholz 2021) wird auf der nächsten Seite gezeigt. Es fällt auf, dass der Kraftstoffverbrauch von Passagierflugzeugen stark von der Flugstrecke abhängt.
- Über einen weiten Einsatzbereich (bei mittlerer Flugstrecke) ist der Kraftstoffverbrauch vergleichsweise konstant.
- Der Kraftstoffverbrauch pro Sitzplatz steigt stark an, wenn sehr kurze oder für das Flugzeug sehr lange Strecken geflogen werden:
- **Extreme Reichweiten** kann ein Flugzeug nur schaffen, wenn es mit reduzierter Nutzlast (mit **weniger Passagieren**) und damit leichter betrieben wird. Dadurch steigt der Verbrauch pro Person.
- Kraftstoff wird verbraucht für **Start und Landung** sowie für den Höhengewinn beim **Steigen**, der beim Sinken nicht vollständig genutzt werden kann. Das **führt auf kurzen Strecken zum Anstieg des Verbrauchs pro Kilometer**.

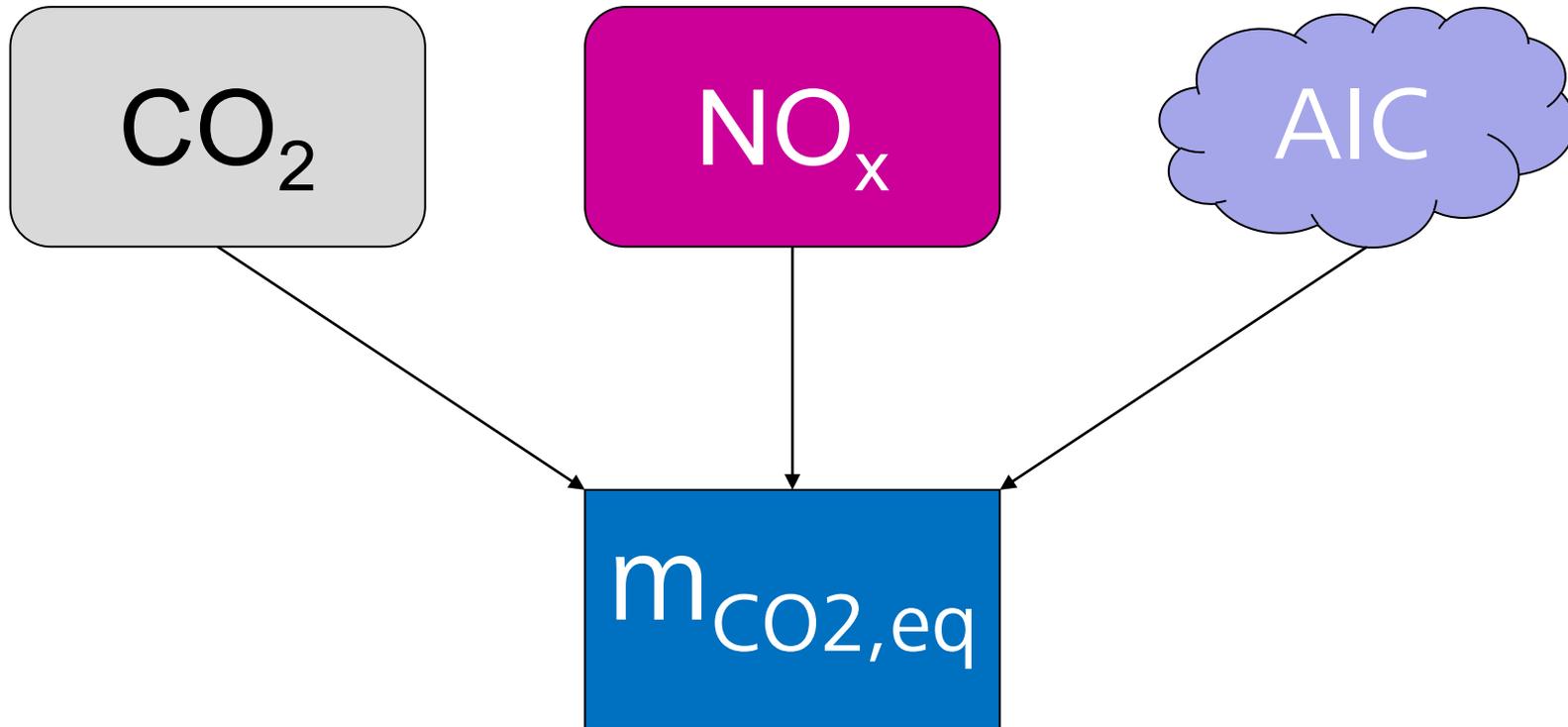
SCHOLZ, Dieter, 2021. *Aircraft Fuel Consumption – Estimation and Visualization*. Data Sheet with Airbus A350.
Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7910/DVN/2HMEHB>

Der Kraftstoffverbrauch pro 100 km und Person hängt von der Flugdistanz ab!



BURZLAFF, Marcus, 2017. *Aircraft Fuel Consumption - Estimation and Visualization*. Project. Hamburg University of Applied Sciences, Aircraft Design and Systems Group (AERO). Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2017-12-13.019>

CO₂ – Äquivalente

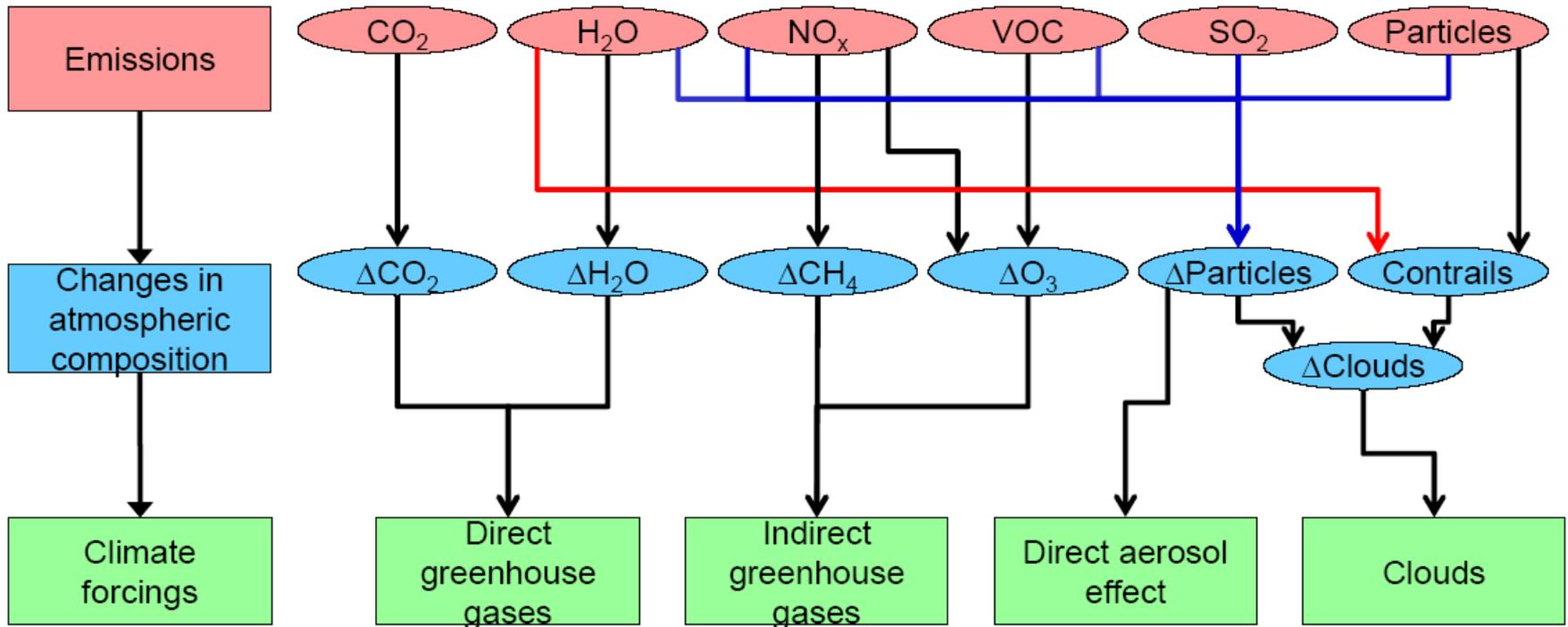


CAERS, Brecht, SCHOLZ, Dieter, 2020. *Conditions for Passenger Aircraft Minimum Fuel Consumption, Direct Operating Costs and Environmental Impact*. German Aerospace Congress 2020 (DLRK 2020), Online, 01.-03.09.2020.
 Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4068135>

Aviation-Induced Cloudiness (AIC): Kondenssstreifen und Federwolken



Luftfahrt Emissionen und der Klimawandel



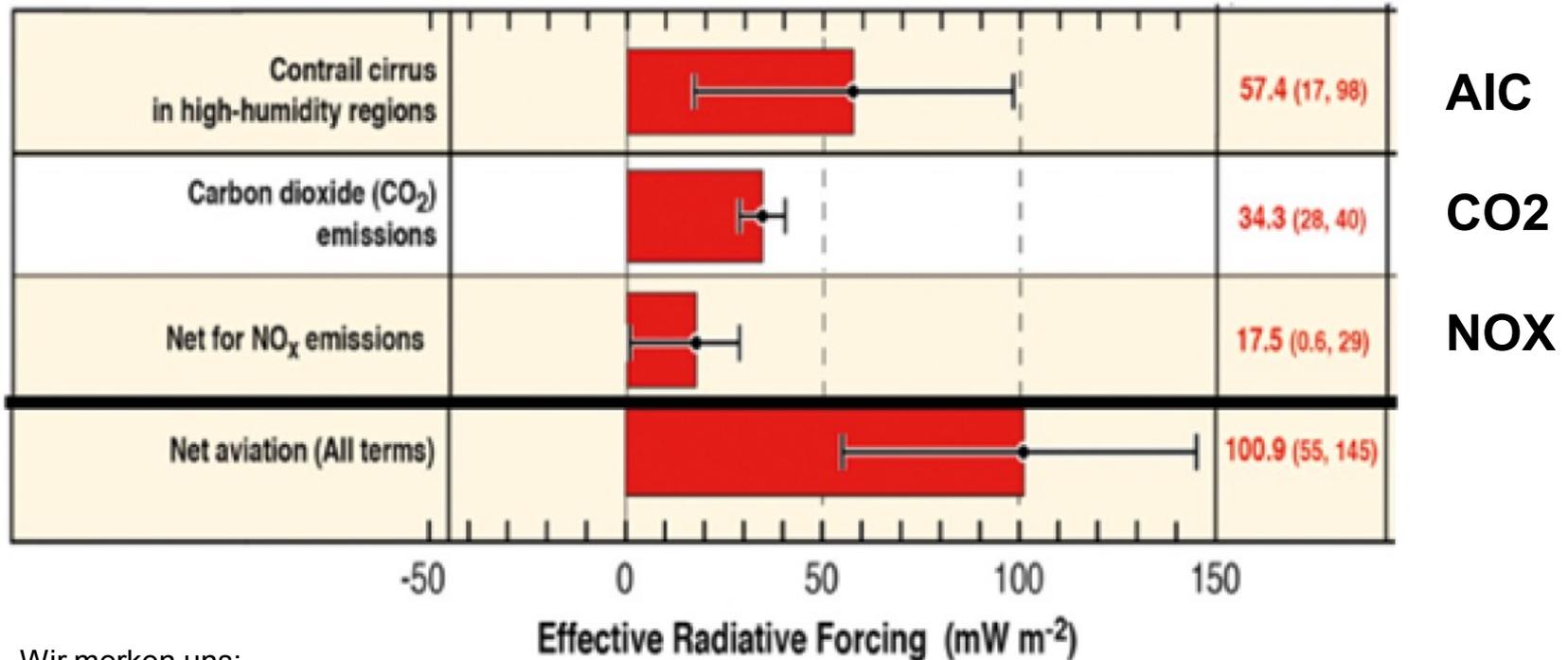
1 kg Kraftstoff => 3.15 kg CO2

CO₂: Long term influence

Non-CO₂: Short term influence (immediate mitigation is possible)

RAPP, Markus, 2019. Perspektive: Wasserstoff & Hybride. Meeting: "Emissionsfreies Fliegen-wie weit ist der Weg?", Berlin, 13.11.2019

Relativer Beitrag zur Erderwärmung

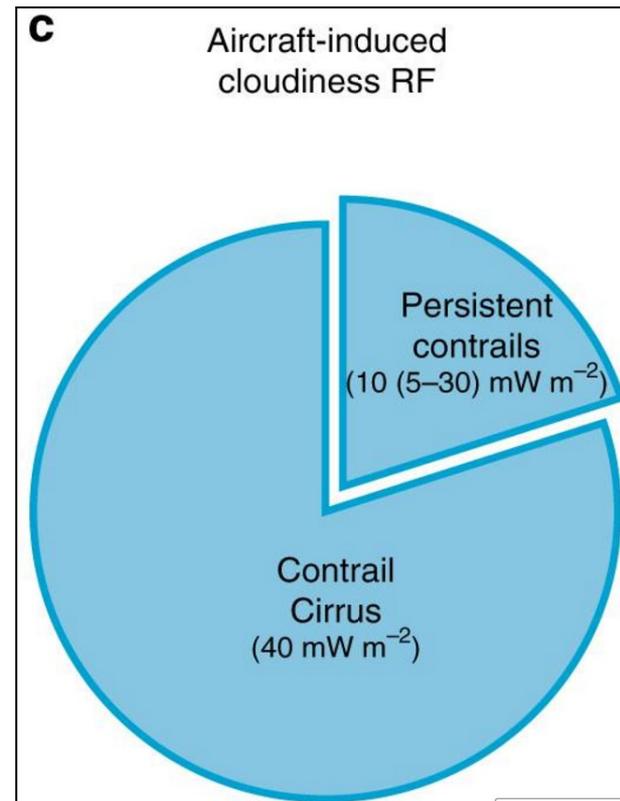
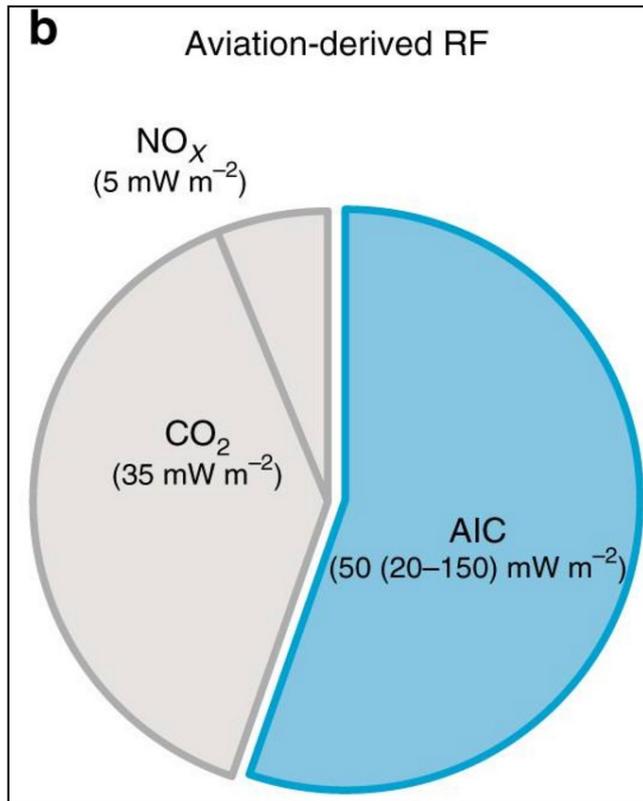


Wir merken uns:

- **50 % AIC** (oder 1/2)
- **33 % CO₂** (oder 1/3)
- **17 % NO_x** (oder 1/6)

LEE, D.S., et al., 2021. The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing for 2000 to 2018. In: Atmospheric Environment vol. 244, no. 1, paper 117834. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>

Aviation-Induced Cloudiness: Contrail Cirrus & Persistent Contrails



Cirrus/Contrails = 4.0

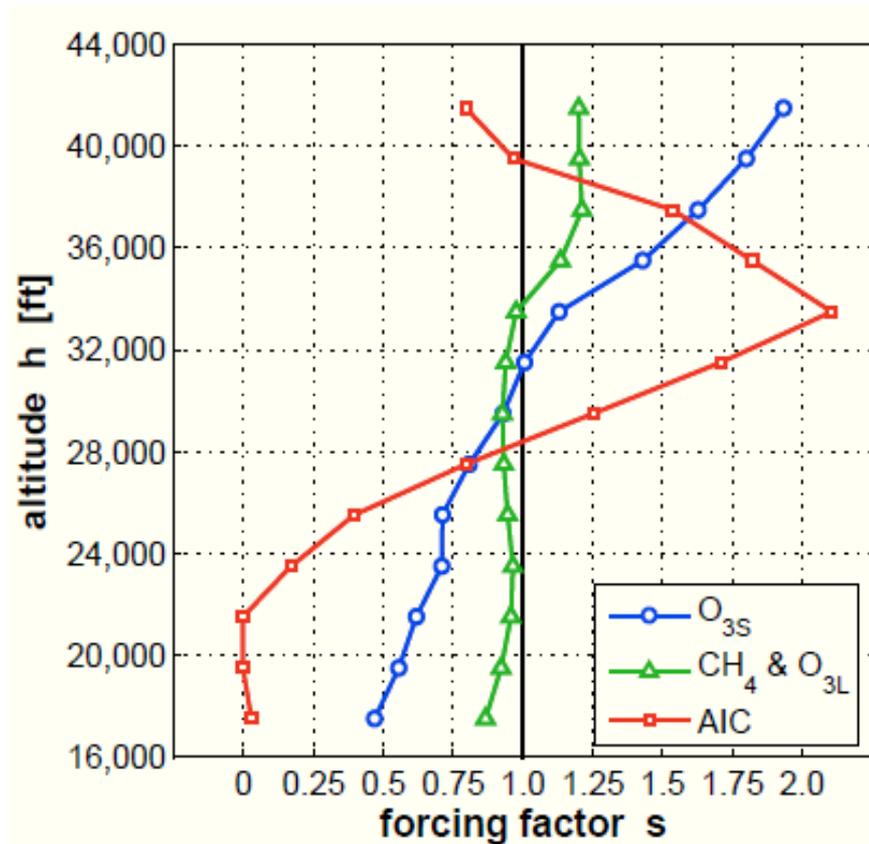
Cirrus: Federwolken
Contrail: Kondensstreifen

- (b) Aviation forcing components, of which aviation-induced cloudiness (AIC) account for more than half.
(c) Breakdown of AIC radiative forcing into contrail cirrus and persistent contrails.

KÄRCHER, Bernd, 2018. Formation and Radiative Forcing of Contrail Cirrus. In: *Nature Communications*, Vol. 9, Article Number: 1824. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04068-0>

Höhenabhängigkeit der Äquivalenten CO2 Masse

Forcing Factor $s = f(h)$

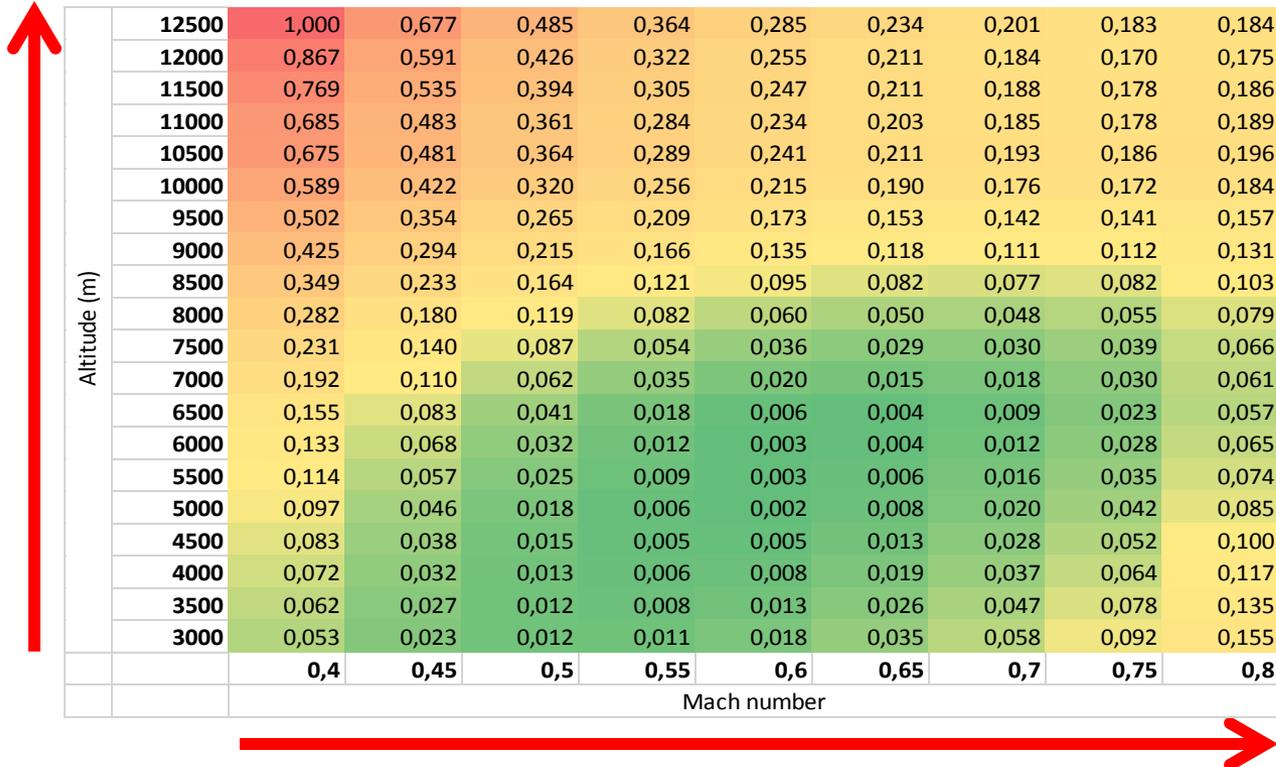


NOX verursacht:

- O_{3S}
- CH_4 & O_{3L}

Schwartz 2009 and 2011

Positive Umweltwirkung: Tiefer fliegen!



Altitude (m)	12500	1,000	0,677	0,485	0,364	0,285	0,234	0,201	0,183	0,184
	12000	0,867	0,591	0,426	0,322	0,255	0,211	0,184	0,170	0,175
	11500	0,769	0,535	0,394	0,305	0,247	0,211	0,188	0,178	0,186
	11000	0,685	0,483	0,361	0,284	0,234	0,203	0,185	0,178	0,189
	10500	0,675	0,481	0,364	0,289	0,241	0,211	0,193	0,186	0,196
	10000	0,589	0,422	0,320	0,256	0,215	0,190	0,176	0,172	0,184
	9500	0,502	0,354	0,265	0,209	0,173	0,153	0,142	0,141	0,157
	9000	0,425	0,294	0,215	0,166	0,135	0,118	0,111	0,112	0,131
	8500	0,349	0,233	0,164	0,121	0,095	0,082	0,077	0,082	0,103
	8000	0,282	0,180	0,119	0,082	0,060	0,050	0,048	0,055	0,079
	7500	0,231	0,140	0,087	0,054	0,036	0,029	0,030	0,039	0,066
	7000	0,192	0,110	0,062	0,035	0,020	0,015	0,018	0,030	0,061
	6500	0,155	0,083	0,041	0,018	0,006	0,004	0,009	0,023	0,057
	6000	0,133	0,068	0,032	0,012	0,003	0,004	0,012	0,028	0,065
	5500	0,114	0,057	0,025	0,009	0,003	0,006	0,016	0,035	0,074
	5000	0,097	0,046	0,018	0,006	0,002	0,008	0,020	0,042	0,085
	4500	0,083	0,038	0,015	0,005	0,005	0,013	0,028	0,052	0,100
4000	0,072	0,032	0,013	0,006	0,008	0,019	0,037	0,064	0,117	
3500	0,062	0,027	0,012	0,008	0,013	0,026	0,047	0,078	0,135	
3000	0,053	0,023	0,012	0,011	0,018	0,035	0,058	0,092	0,155	
		0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
		Mach number								

"Neutrale Mischung" aus 50 % Ressourcenverbrauch und 50 % äquivalenten CO₂.

Deutliche Höhenbegrenzung des grünen Bereichs aus der Wirkung der AIC.

Diagonaler grüner Bereich (unten links nach oben rechts) aus der Aerodynamik.

"Fly low and slow !"

Das sehr tiefe Fliegen scheitert an der SFC-Charakteristik der Triebwerke.

Einheiten: Normiert auf Werte zwischen 0 und 1

CAERS, Brecht, SCHOLZ, Dieter, 2020. *Conditions for Passenger Aircraft Minimum Fuel Consumption, Direct Operating Costs and Environmental Impact*. German Aerospace Congress 2020 (DLRK 2020), Online, 01.-03.09.2020.
Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4068135>

Positive Umweltwirkung: Tiefer fliegen! – Ökonomie & Philosophie

Die **Änderung der regulären Reiseflughöhe** eines Airbus A320-200 von etwa **11500 m** auf eine Höhe von **6500 m** bei konstanter Machzahl 0,78 würde Folgendes bewirken:

- **Reduktion der äquivalenten CO₂ um 78 %** und
- **Anstieg des Kraftstoffverbrauchs um 5,6 %**.

Der Anstieg des Kraftstoffverbrauchs wird hauptsächlich beeinflusst durch

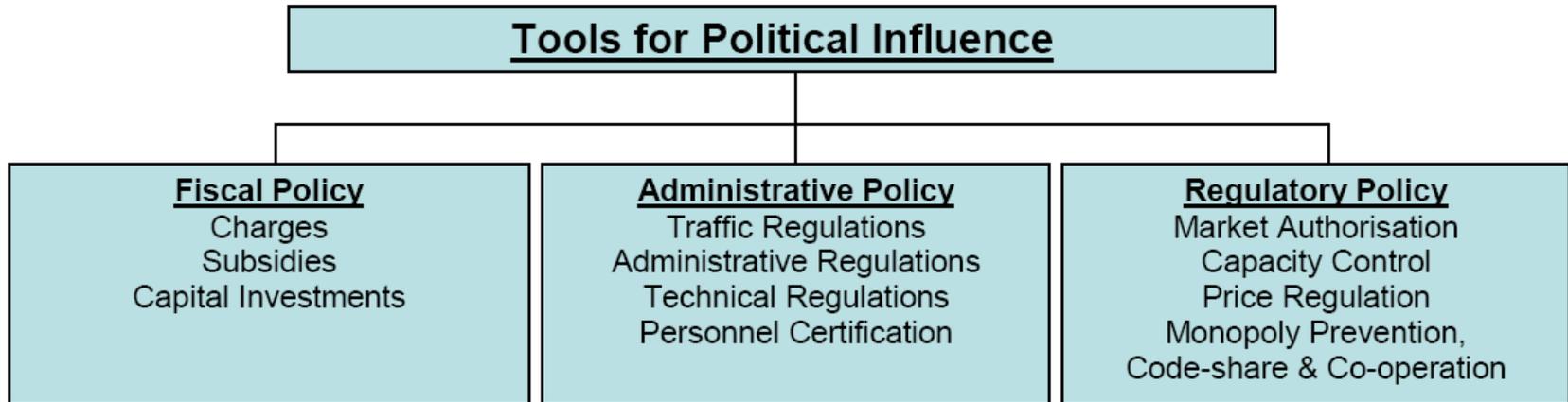
- einen Anstieg des spezifischen Kraftstoffverbrauchs (TSFC) um 6,0 % und
- eine Abnahme der Aerodynamischen Effizienz um 5,4 %.

Wenn äquivalente CO₂ und Ressourcenverbrauch (Kraftstoffverbrauch) kombiniert werden, dann gilt: Die **Umweltwirkung sinkt um 70 %**.

Die Machzahl wurde konstant gehalten. Daher werden die direkten Betriebskosten, DOC nur beeinflusst durch den höheren Kraftstoffverbrauch. Die **DOC steigen um nur 0,6 %**.

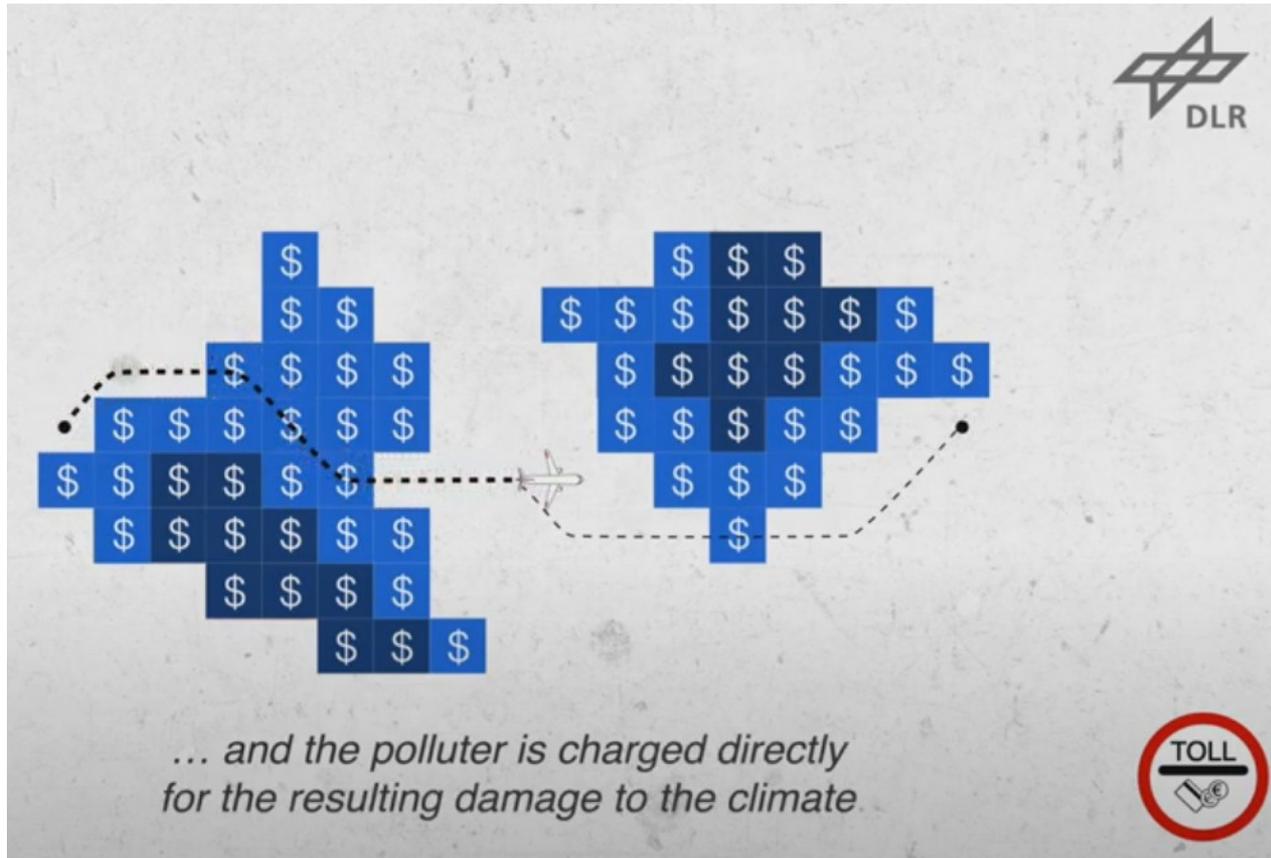
Für die Atmosphäre bedeutet das einen Austausch von **viel weniger kurzfristig wirkender Nicht-CO₂ Erderwärmung** gegenüber **etwas langfristig wirkender Erderwärmung durch CO₂**. Dieser Tausch kann kritisch hinterfragt werden, weil er etwas zu Lasten der zukünftigen Generationen geht.

Positive Umweltwirkung: Tiefer fliegen! – Politische Umsetzung



MENSEN, H., 2003. *Handbuch der Luftfahrt*. Springer. Berlin.

Flüge umleiten: Klimasperrgebiete und Klimamautgebiete



Die Konzepte der **Klimasperrgebiete** (regulativer Ansatz) bzw. der **Klimamautgebiete** (preisbasierter Ansatz) werden entwickelt. Es können durchschnittlich mehr als 90% des maximal durch klimaoptimales Fliegen möglichen Mitigationspotenzials erzielt werden. Der beim klimafreundlichen Fliegen bestehende Zielkonflikt zwischen **Ökologie** und **Ökonomie** wird aufgelöst. Ein **klimafreundliches Verhalten** wird wirtschaftlich attraktiv.

Climate Charged Airspaces, <https://youtu.be/BZbOANbAG-A>

NIKLAß, Malte, 2019. *Ein systemanalytischer Ansatz zur Internalisierung der Klimawirkung der Luftfahrt*. Dissertation. Available from: <https://elib.dlr.de/126415>

Urban Aviation / Lufttaxis

Flugtaxi ist keine Lösung für die Umwelt

nach Caldwell 2018

“Flying Taxi”?

.....or “Flying Sports Car”?

Aircraft (Ryanair):

CO₂ = 69 g/km/person



Ehang184

Carbon fibre monocoque
360kg
106kW
= **0.29 kW/kg**



Lamborghini LP700

Carbon fibre monocoque
1575kg
515kW peak
= **0.33 kW/kg**

1 kg fuel => 3.15 kg CO₂



VW Golf TDI

4.2 l/100 km
1440 kg
118 kW
= **0.082 kW/kg**

CO₂: CO₂=1000g/km (in Dubai)

CO₂=370g/km

CO₂ = 106 g/km



Lufttaxi: 200 \$ für 24 km (10 €/km) – Taxi Hamburg: 1,80 €/km

GLOBAL TRAVELER

Uber's \$200 helicopter taxi: Manhattan to JFK airport in 8 minutes flat

NEW YORK
HELICOPTER 



Durch Einsatz von Batterien und Elektromotor wird es nicht preiswerter!

Flugtaxi für Eliten



City Airbus, 4 Passagiere, max: **15 min.**
Keine technische Lösung!

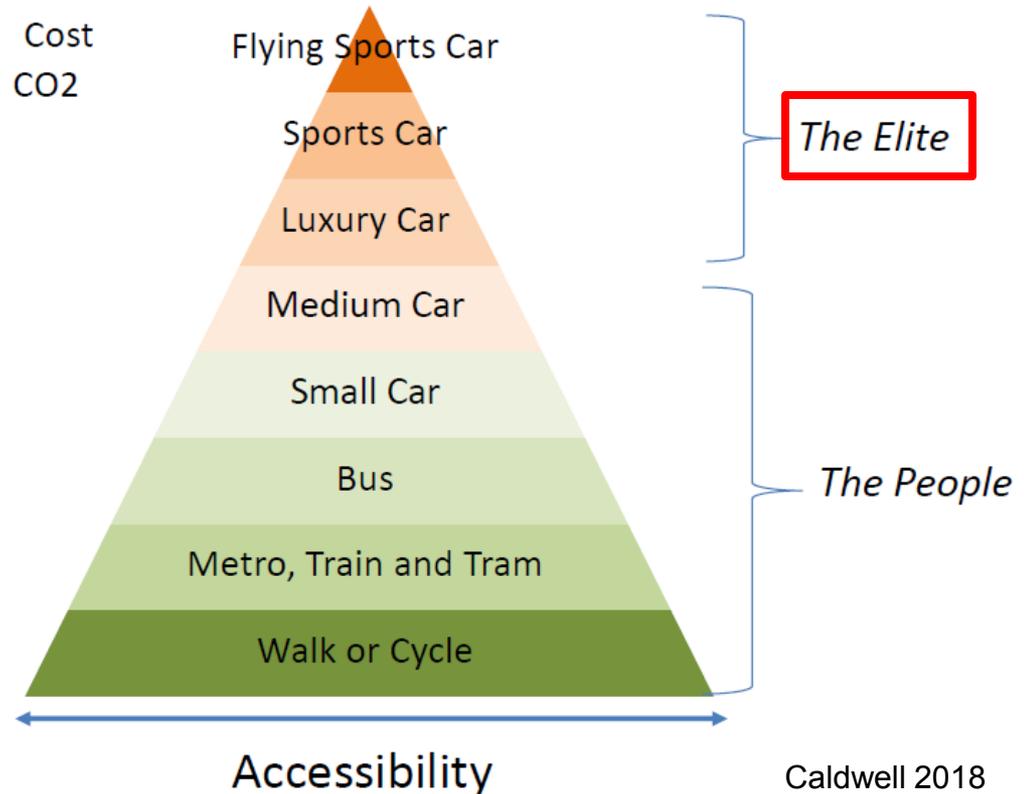


Max Pixel, CC0

Waiting for the City Airbus?
Keine Lösung der Verkehrsprobleme!



Speed
Comfort
Convenience
Style
Cost
CO2



Kurzstrecke

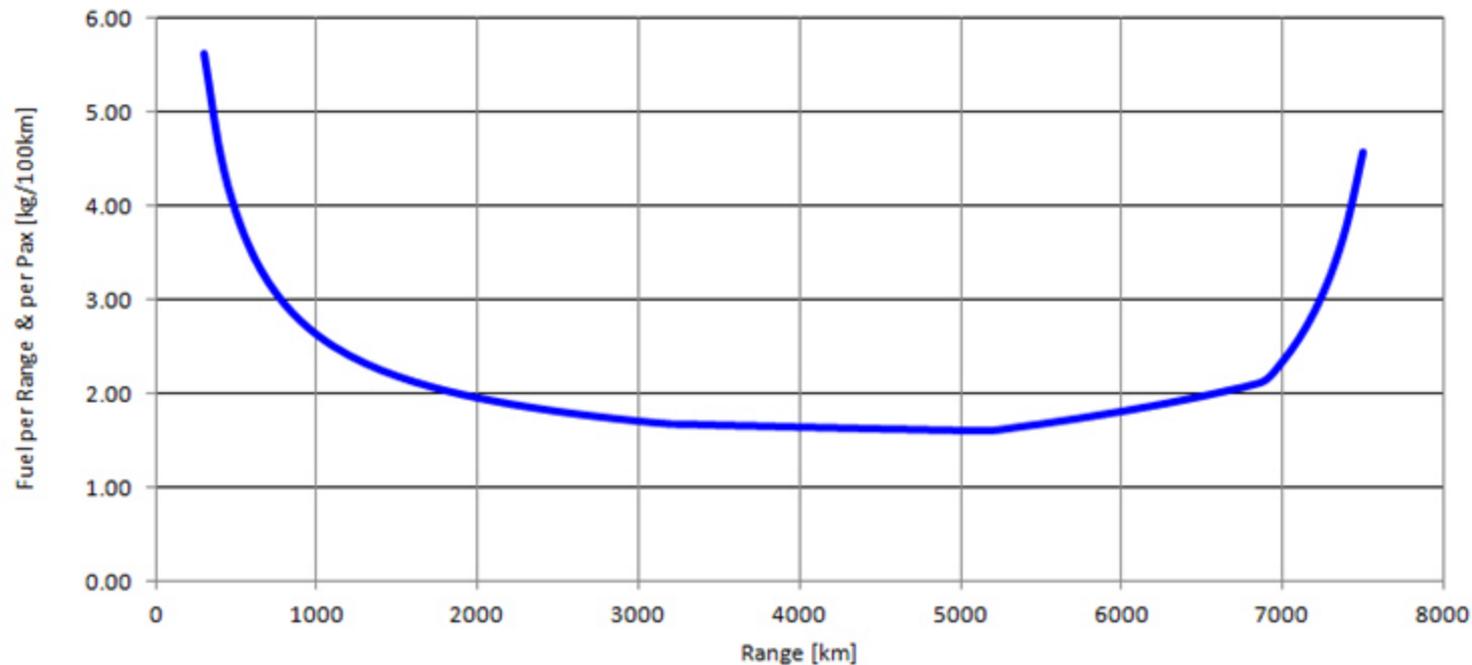
Auf der Kurzstrecke nehmen wir die Bahn!

Elektromobilität, die am Netz betrieben wird gibt es bereits erfolgreich auf der Schiene!



- Flugzeug: *Induzierter Widerstand* ist Widerstand durch Auftrieb = Gewicht.
- Zug: *Rollreibung* ist ebenso durch das Gewicht verursacht.
- Flugzeug: Für minimalen Widerstand: *Induzierter Widerstand* ist 50 % vom Gesamtwiderstand.
- Für das gleiche Gewicht: **Rollreibung** vom Zug ist **5 % vom induzierten Widerstand** des Flugzeugs!
- Das bedeutet: Für das gleiche Gewicht: **Widerstand des Flugzeugs wird reduziert um $\approx 47,5$ %, auf der Schiene!**

Hoher Kraftstoffverbrauch eines Flugzeugs auf Kurzstrecke



Beispiel:
Airbus A320neo

- Der Kraftstoffverbrauch pro Sitzplatz steigt stark an, wenn sehr kurze oder für das Flugzeug sehr lange Strecken geflogen werden.
- Kraftstoff wird verbraucht für Start und Landung sowie für den Höhengewinn beim Steigen, der beim Sinken nicht vollständig genutzt werden kann. Das führt **auf kurzen Strecken zum Anstieg des Verbrauchs** pro Kilometer.
- Im Beispiel ist der Verbrauch bei 500 km **doppelt so hoch** wie der minimale Verbrauch des Flugzeugs.
- **Passagierflugzeuge** sind also allein aufgrund der Flugphysik **für die extreme Kurzstrecke nicht geeignet**.

Vergleich der Verkehrssysteme auf Kurzstrecke: Flugzeug – PKW

- Für einen **Vergleich mit dem PKW** könnte man für das Flugzeug von typischen 3 kg pro Sitzplatz und 100 km ausgehen (BDL 2013). Wir gehen hier aber von dem geringeren Verbrauch eines modernen Kurz- Mittelstreckenflugzeugs aus. Nach Bild 11a sind das 1,7 kg pro Sitzplatz und 100 km, wenn das Flugzeug in seinem optimalen Flugstreckenbereich betrieben wird. Mit der Dichte von Kerosin sind das etwa 2,1 Liter pro Sitzplatz und 100 km, aber 2,7 Liter pro Person und 100 km, wenn das Flugzeug nur zu 80 % belegt ist. Ein voll besetzter PKW verbraucht deutlich weniger pro Person als ein voll besetztes Flugzeug. Wenn man im PKW jedoch allein unterwegs ist, dann wäre das Flugzeug günstiger hinsichtlich des Energieverbrauchs. Beim Flugzeug müssen aber bei den Emissionen die Nicht-CO₂-Effekte mit einem Faktor von 3 berücksichtigt werden. **Für das Klima wäre dann der PKW besser, selbst wenn dieser nur von einer Person genutzt wird.**

Vergleich der Verkehrssysteme auf Kurzstrecke: Flugzeug – Zug

- **Der Energieverbrauch eines Zuges** ist auf Strecke gering. Energie für das Beschleunigen, die beim Bremsen nicht oder nur teilweise zurückgewonnen werden kann ist entscheidend. Wichtig wird daher der Abstand zwischen den Stationen und die Geschwindigkeit, die dazwischen erreicht werden soll. Im Tunnel steigt der Verbrauch stark an. Der Verbrauch der Bahn kann damit eigentlich nur für einen Zug zusammen mit der befahrenen Strecke angegeben werden. Trotz dieser prinzipiellen Schwierigkeiten soll hier ein mittlerer Verbrauch von 60 Wh pro Sitzplatz und km angenommen werden. Unberücksichtigt bleibt beim Vergleich, dass Reisende im Zug mehr Platz haben. Ein Vergleich mit dem Flugzeug wird erst möglich, wenn die für die elektrische Energie des Zuges aufgebrauchte Primärenergie berechnet wird. Das ist die Energiemenge (z. B. an Diesel), die für die Erzeugung der elektrischen Energie im Kraftwerk erforderlich wird. Hier spielt der **Strommix** eine Rolle. Es ist demnach so: Für den Zug machen sich die Umwandlungsverluste im Kraftwerk negativ bemerkbar. Das Flugzeug kämpft mit diesen Umwandlungsverlusten im eigenen Triebwerk. Für das Flugzeug werden typische 3 kg pro Sitzplatz und 100 km angenommen. **Der Primärenergieverbrauch des Flugzeugs ist auf Kurzstrecke dann 2,8-mal so hoch wie der vom Zug.**
- Als Nächstes werden die CO₂ Emissionen verglichen. Wenn der Zug mit dem allgemeinen Strommix betrieben wird, so fährt dieser bereits heute mit einem geringeren fossilen Anteil und das **Flugzeug hat somit 6,1-mal höhere CO₂-Emissionen**. Die **äquivalenten CO₂ in Reiseflughöhe sind beim Flugzeug das dreifache**. In diesem Beispiel hat das Flugzeug damit die **18,3-fache Umweltwirkung**. Wenn das Flugzeug dann den Vergleich noch auf extrem kurzen Strecken mit der Bahn antritt, dann ist der Verbrauch des Flugzeuges evtl. höher als 3 kg pro Sitzplatz und 100 km und der Vergleich würde für das Flugzeug noch ungünstiger ausfallen. Hilfreich wäre für das Flugzeug in diesem Fall, dass die normale Reiseflughöhe auf der Kurzstrecke nicht erreicht wird und sich der Faktor 3 zur Berechnung der äquivalenten CO₂ etwas verringert (etwa auf 2). Dann käme man immer noch auf die 12,2-fache Umweltwirkung.

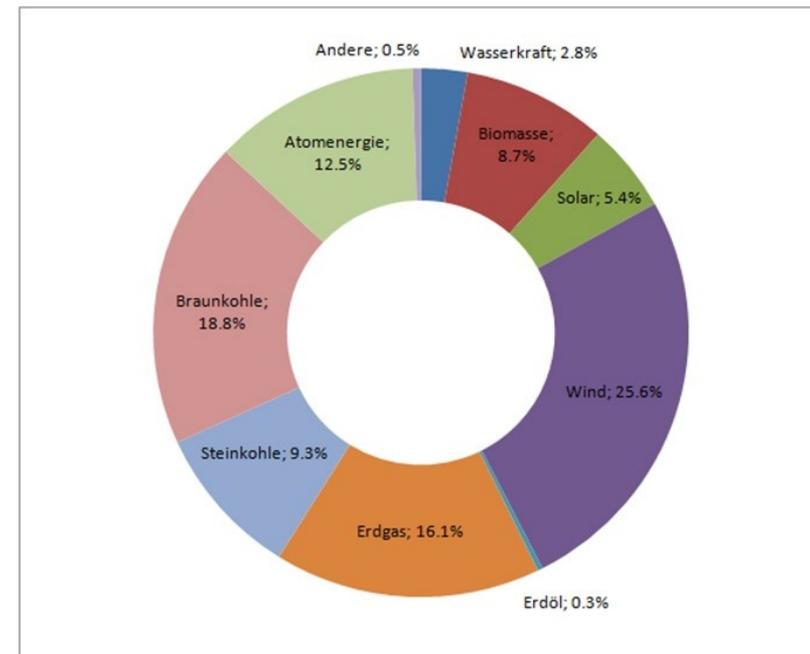
Zusammenfassung: Flugzeug – Zug

Das Flugzeug ist auf Kurzstrecke nicht effizient. **Wähle den Zug!**

- Der Zug ist etwa 3-mal besser in der **Energieeffizienz** (sicherlich auf der Kurzstrecke)
- Der Zug nutzt bis zu 50% **Ökostrom (Faktor 2)**
- **Flugzeug Faktor 3***, wegen der zusätzlichen **Nicht-CO2-Effekte von:**
 - NOX und
 - H2O (AIC)
- **3*2*3: Das Flugzeug verursacht 18-mal mehr Erderwärmung!**

* auch möglich: Faktor 2 wegen geringer Flughöhe. Das würde auf $3*2*2 = 12$ führen im Endergebnis.

Strommix in Deutschland (I/2021)
42,5 % erneuerbare Energien



Fraunhofer 2021

Mittelstrecke

Auf der Mittelstrecke zwischen Megacities nehmen wir die Bahn!

Verbindung von benachbarten Megacities – Beijing & Shanghai – Vergleich Flugzeug und Zug

Time	Location	Mode
08:20	Beijing Capital Times Square	Walk
08:30	Xidan	
08:40		Metro Line 4
08:50		
09:00	Xuanwumen	Metro Line 2
09:10		
09:30		Metro Airport Line
09:40	Dongzhimen	
09:50		Metro Airport Line
10:00	Beijing Capital International Airport	
10:10		Aircraft
...	...	
11:20		Aircraft
11:30	Beijing Capital International Airport	
11:40		Aircraft
11:50		
...	...	Aircraft
13:20		
13:30		Aircraft
13:40	Shanghai Hongqiao	
13:50	Pick-up luggage	

(a) Travel mode: metro + aircraft

Time	Location	Mode
08:20	Beijing Capital Times Square	Walk
08:30	Xidan	
08:40	Beijing South Railway Station	Metro Line 4
08:50		
09:00	Beijing South Railway Station	Train
09:10		
09:20		Train
09:30		
09:40		Train
09:50		
10:00		Train
...	...	
11:20		Train
11:30		
11:40		Train
11:50		
13:10		Train
13:20		
13:30		Train
13:40		
13:50	new: 13:28 Shanghai Hongqiao	

(b) Travel mode: metro + high-speed rail

China High Speed Rail (CHR)

Beijing nach Shanghai:

- 1200 Passagiere pro Zug
 - **1200 km Entfernung**
 - 350 km/h
 - ≈ alle 20 min. (ein A380 alle 10 min.)
 - normalerweise ausgebucht
 - 88000 Passagiere pro Tag (beide Richtungen)
- Beispiel: Zug Nummer G1

Sun 2017

- Vergleich **Lufttransport** gegenüber **High-Speed Rail** für eine Fahrt von **Beijing** Capital Times Square nach **Shanghai** Hongqiao in China.
- Trotz der großen Entfernung von mehr als **1200 km**, **kommen Passagiere fast zu gleichen Zeit an**. **Wahrscheinlichkeit von Verspätungen ist im Zug geringer**.

Was kann ich tun?

Übersicht: Was können wir selbst konkret tun?

Das ist konkret möglich:

- **weniger fliegen** (z. B. Ersatz des Fluges durch eine Videokonferenzen; Urlaub in der Nähe des Wohnortes),
- in der **Touristenklasse** fliegen (wenig Kabinenfläche in Anspruch nehmen),
- die Notwendigkeit insbesondere von **Langstreckenflügen hinterfragen**,
- **Direktflüge** wählen statt Umwege und Zwischenstopps,
- Flugzeuge meiden, die das letzte an Reichweite herausquetschen und dafür mit deutlich verminderter Anzahl an Sitzen unterwegs sind (Verbrauch pro Sitz ist hoch),
- **Kurzstreckenflüge meiden** (Verbrauch pro km ist hoch),
- **Rail&Fly** nutzen (Anreise zum internationalen Flughafen mit der Bahn),
- **neue effiziente Flugzeuge wählen** (aber: die alten Flugzeuge fliegen irgendwo anders),
- **Low Cost Airlines wählen** (hohe Effizienz durch enge Bestuhlung und hohe Auslastung),
- **unnötiges Gepäck vermeiden** (ein leichteres Flugzeug verbraucht weniger, jedes Kilogramm zählt, es bringt aber prozentual nur wenig),
- Angebote der **Bahn auch bei längeren Strecken** prüfen (Nachtzug?),
- **mit Airlines ins Gespräch kommen** hinsichtlich der Vermeidung von Aviation-Induced Cloudiness (AIC) durch etwas **tieferes und langsames Fliegen** (die Klimawirkung der Flüge jetzt reduzieren bevor das Klima kippt).

Weniger Fliegen! Mit der Bahn fahren! Direktflug!



Aeronautics: "The ecological transition requires a profound transformation of our industry"

Google translation
of French webpage.

Technical progress will not be enough to reduce greenhouse gas emissions from airplanes, essential against global warming, say more than 700 students from the aeronautics sector in a forum at the "World", who plead in favor of industrial conversions and a reduction in air traffic.

Posted May 29, 2020 at 7:30 a.m. - Updated June 25, 2020 at 2:56 p.m. | ⌚ 5 min read

https://www.lemonde.fr/idees/article/2020/05/29/aeronautique-la-transition-ecologique-impose-une-profonde-transformation-de-notre-industrie_6041127_3232.html

Archived at: <https://perma.cc/5L84-G4QN>

Größte Reduktion der Emissionen in der Luftfahrtgeschichte durch die Corona-Pandemie



Ikreis, CC BY-SA, <https://bit.ly/2Jn11T0>



Traffic reduction is
more efficient than
technology



<https://stay-grounded.org>

It's about more than just CO2

Aviation must reduce its total impact on climate

Mit der Bahn fahren!

Interessant ist das Ergebnis der Emissionsberechnung für einen Flug von Hamburg nach München
Der Kompensierer Atmosfair (www.atmosfair.de) **bietet keine Kompensation an!**
Stattdessen wird auf die Bahn verwiesen.

Ergebnisse Emissionsberechnung

1 Hin- und Rückflug für 1 Person

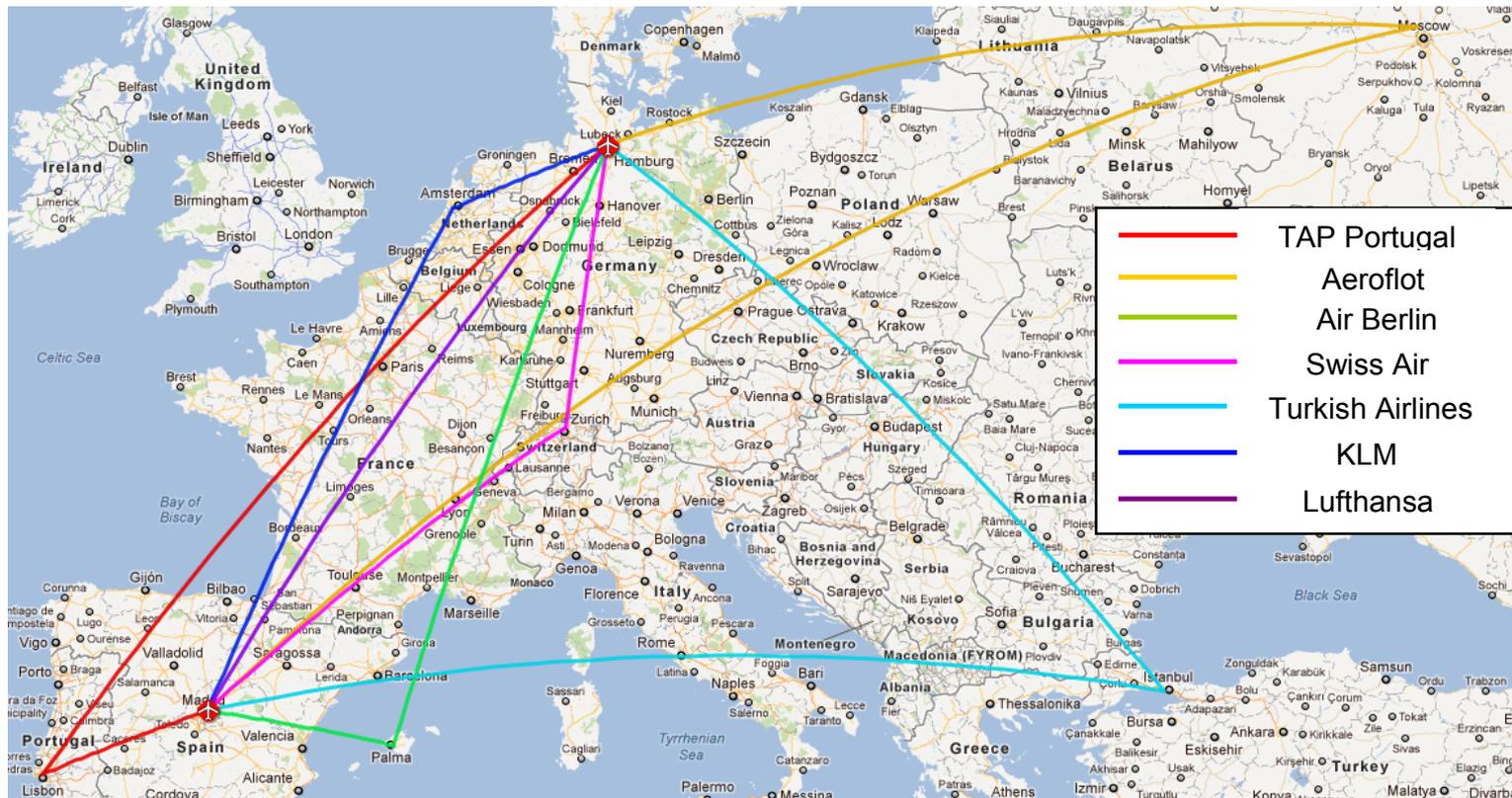
von	- nach	Sitzklasse	Flugart	Flugzeugtyp
Hamburg Fuhlsbüttel (HAM)	- München (MUC)	Economy	Linie	
				Bearbeiten

Für den von Ihnen gewünschten Flug gibt es alternativ eine Bahnverbindung mit deutlich besserem CO₂-Fußabdruck. Nach dem Klimaschutzgrundsatz "Vermeiden und Reduzieren vor Kompensieren" bieten wir daher die CO₂-Kompensation für diesen Flug nicht an.

Verbindungen bei der Deutschen Bahn anzeigen:  **BAHN**



Viele Umsteigeverbindungen für einen Flug Hamburg – Madrid



Ohne, dass eine Berechnung erforderlich wird: **Der Direktflug hat die geringste Umweltwirkung.**
 Kurze Strecke und nur einfache lokale Luft- und Lärmbelastung.

MacDONALD, Allan, 2012. *A General View on Fuel Efficiency in Commercial Aviation*. Master Thesis. HAW Hamburg.

Low Cost Airline!
Touristenklasse!
Effizientes Flugzeug!
"Ecolabel for Aircraft"

Billigflieger Pro & Contra – Wer hat Recht?



RYANAIR MONTHLY
CO₂ EMISSIONS REPORT

March

69g

Ryanair reported an average of 69g
CO₂ per passenger /km in March 2020.

ASA Ruling on Ryanair Ltd t/a
Ryanair Ltd Advertising Standards Authority, UK

 Upheld | National press | 05 February 2020

Ryanair Ltd sagt die Berechnungsmethode für die CO₂-Emissionen:
Gramm CO₂ pro Passagier-Kilometer. 5 Treiber der Effizienz:
Flugzeugmuster, **Sitzdichte**, **Auslastung**, Frachtanteil und Entfernung.

<https://www.asa.org.uk/rulings/ryanair-ltd-cas-571089-p1w6b2.html> (archived: <https://perma.cc/8QJA-Y7S5>)

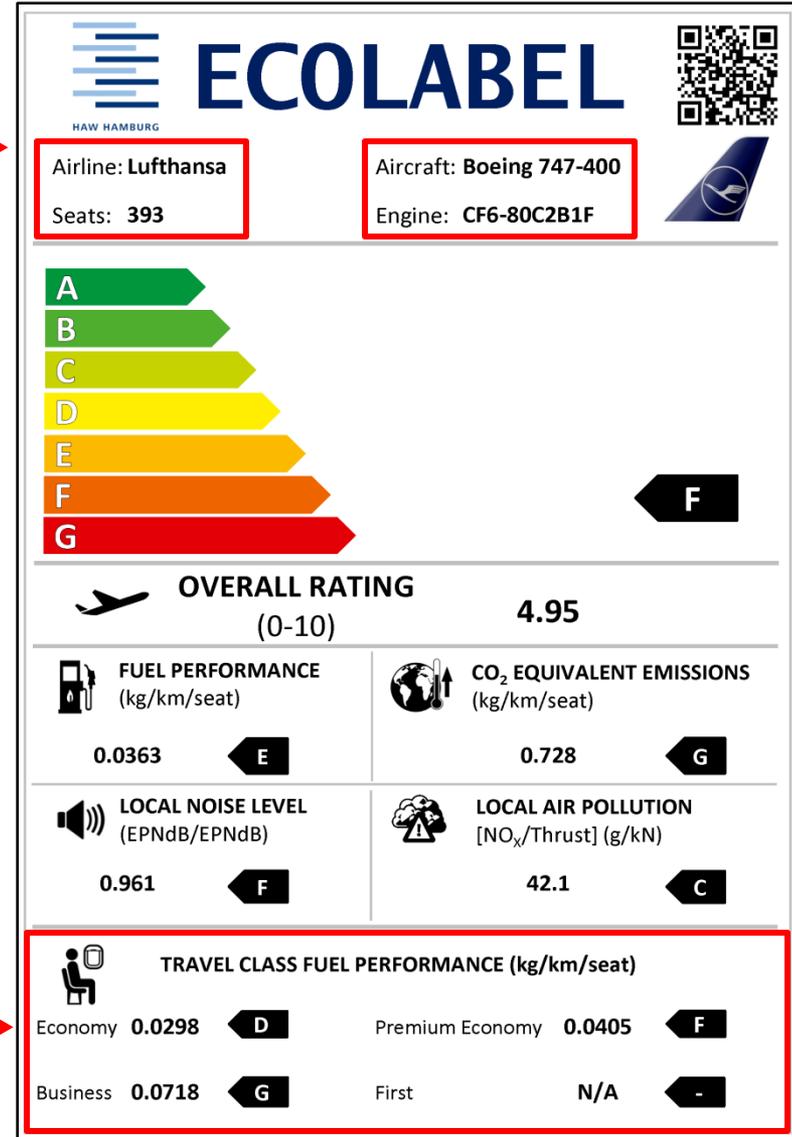
Ökolabel für Flugzeuge

Bewertung eines Flugzeugs und einer Flugesellschaft für einen Direktflug

Vergleich aller Passagierflugzeuge untereinander (A bis G)

<http://ecolabel.ProfScholz.de>

Diese Parameter gehen u.a. in die Berechnung des "Ecolabel for Aircraft" ein: Parameter des Flugzeugs und des Triebwerks, Anzahl der Sitze, Sitzklasse. Die Auslastung der Flugzeuge einer Airline geht nicht in das Ecolabel ein.



Trip Emission Ökolabel

Bewertung einer Umsteigeverbindung im Vergleich zu einem definierten Standardflug

<http://ecolabel.ProfScholz.de>



ECOLABEL



HAMBURG-FRANKFURT
 Distance: **413 km**
 Aircraft: **Airbus A320neo** Seats: **166** Engine: **PW1127G-JM**
 Airline: **Lufthansa**

HAMBURG-FRANKFURT
 Distance: **1959 km**
 Aircraft: **Airbus A321** Seats: **192** Engine: **V2533-A5**
 Airline: **Lufthansa**

 **ENVIRONMENTAL RATING** **1.38**

 FUEL PERFORMANCE 49.0 kg/seat (0.74)*	 CO₂ EQUIVALENT EMISSIONS 736 kg/seat (0.81)*
 LOCAL NOISE LEVEL 1.86 EPNdB/EPNdB (1.95)*	 LOCAL AIR POLLUTION 129.1 g/seat (2.59)*

 **TRAVEL CLASS FUEL PERFORMANCE**

Economy	45.8	kg/seat	Premium Economy	N/A	kg/seat
Business	68.6	kg/seat	First	N/A	kg/seat

* Compared to the emissions of one reference flight of 2400 km, performed by a Boeing 737-800

Air Travel Evaluator: Preis, Flugzeit und Umweltwirkung

Eine Bewertung basierend auf relativem Preis, relativer Zeit und relativer Umweltwirkung.

Erklärt am Beispiel eines Fluges von Hamburg (HAM) nach Madrid (MAD):

Airline	Stage 1 A/C	Via	Airport Code	Stage 2 A/C	GCR Distance, <i>D</i> (km)	Price, <i>P</i> (€)	<i>m_F</i> (kg)
TAP Portugal	A319	Lisbon	LIS	A319	2709	303	68.79
Aeroflot	A320	Moscow	SVO	A320	5181	453	143.09
Swiss Air	A319	Zurich	ZRH	A319	1931	516	47.62
Air Berlin	A320	Palma	PMI	A321	2203	517	53.81
Turkish Airlines	B737-800	Istanbul	IST	A321	4697	528	122.05
KLM	B737-800	Amsterdam	AMS	B737-800	1837	682	47.97
Lufthansa	B737-300	Direct	n/a	n/a	1778	717	47.17

Die **Großkreisentfernung**, *D* (Great Circle Route, GCR) wird mit dem Great Circle Mapper (<http://www.gcmap.com/dist>) bestimmt. Die **Flugzeit**, *t* ist aus dem Buchungssystem bekannt, oder wird parallel mit einer typischen Geschwindigkeit (800 km/h) und einer typischen Umsteigezeit von 1 Std. berechnet. Die **Kraftstoffmasse**, *m_F* wird aus dem Ecolabel entnommen oder berechnet nach $m_F = D \cdot (MTOW - MZFW) / (R \cdot Seats)$. Die **Masse CO₂**: $m_{CO_2} = 3,15 \cdot m_F$ oder die Umweltwirkung als **äquivalenten CO₂**, $m_{CO_2,eq}$ mit dem **Emissionsfaktor**, $EF = 3$: $m_{CO_2} = EF \cdot m_{CO_2}$. Die **relativen Größen** sind dann:

$$X_p = 1 - \frac{P_x - P_{Min}}{P_{Max} - P_{Min}} \quad X_t = 1 - \frac{t_x - t_{Min}}{t_{Max} - t_{Min}} \quad X_{m_F} = 1 - \frac{m_{F,x} - m_{F,Min}}{m_{F,Max} - m_{F,Min}} \quad \dots$$

Air Travel Evaluator: Preis, Flugzeit und Umweltwirkung

Die relativen Größen für die Flugangebote sind für Preis (X_p), Zeit (X_t), Kraftstoffmasse (X_{mf}):

	X_p	
TAP Portugal	100	A
Aeroflot	64	D
Swiss Air	49	F
Air Berlin	48	F
Turkish Airlines	46	F
KLM	8	G
Lufthansa	0	G

	X_t	
TAP Portugal	59	E
Aeroflot	0	G
Swiss Air	77	C
Air Berlin	71	C
Turkish Airlines	12	G
KLM	80	B
Lufthansa	100	A

	X_{mf}	
TAP Portugal	77	B
Aeroflot	0	G
Swiss Air	100	A
Air Berlin	93	A
Turkish Airlines	22	G
KLM	99	A
Lufthansa	100	A

Die Flugzeit wurde dabei aus der Flugstrecke berechnet.

Classes						
A	B	C	D	E	F	G
ab 90%	ab 80%	ab 70%	ab 60%	ab 50%	ab 30%	unter 30%

Angelehnt an "Condensation efficiency class", nach https://en.wikipedia.org/wiki/European_Union_energy_label

Air Travel Evaluator: Preis, Flugzeit und Umweltwirkung

Das vollständig anpassbare Flug-Bewertungs-Tool berechnet EINEN Endparameter: **Der effektive Ticketpreis** (P_{eff}). Eingegeben wird der **Stundenlohn** (L), *Labor Rate* oder *Value of Time*. Eingegeben wird weiterhin der **CO2-Preis** (C). Konkrets Beispiel: $L = 20$ EUR/h. $C = 25$ EUR/t CO2. (1 t = 1000 kg)

$$P_{eff} = P + L (t_x - t_{Min}) + 3,15 C (m_{F, Pax, x} - m_{F, Pax, Min}) \quad X_{P_{eff}} = 1 - \frac{P_{eff, x} - P_{eff, Min}}{P_{eff, Max} - P_{eff, Min}}$$

	Ranking	
TAP Portugal	100	A
Aeroflot	37	F
Swiss Air	48	F
Air Berlin	46	F
Turkish Airlines	21	G
KLM	4	G
Lufthansa	0	G

Beobachtungen:

- Bei den gewählten Zahlenwerten für L und C **dominiert der Ticketpreis das Endergebnis**.
- Der höchste Betrag (Aeroflot) zum Ausgleich der zusätzlichen äquivalenten CO2 beträgt hier (nur) 23 EUR.
- Der höchste Betrag (Aeroflot) für eine zusätzliche Flugzeit von 5,3 Stunden beträgt hier 106 EUR.
- Bei den gewählten (plausiblen) Zahlenwerten für L und C wird man aus wirtschaftlichen Gründen wohl eher die Umweltwirkung kompensieren als diese durch einen Direktflug vermeiden. Das ist nicht im Sinne der Umwelt.

MacDONALD, Allan, 2012. *A General View on Fuel Efficiency in Commercial Aviation*. Master Thesis. HAW Hamburg.

routeRANK: Flüge, Zugfahrten und Busverbindungen

(Weiterleitung zur Buchung)

Beste Werte aller Transportmöglichkeiten



routeRANK

Währung: EUR | Ihr Wohnsitz: Deutschland | Sprache: Deutsch

Hamburg → München

Preis	Dauer	CO ₂	Nutzbare Zeit	Umstiege	Beste
€ 30,98	4h37	35kg	6h01	0	

FLUGHAFENTRANSFER

Transfer Hamburg: ÖV Nicht-ÖV

Transfer München: ÖV Nicht-ÖV

ABONNEMENTE FÜR DEN ÖV

Übersicht

Modus	Dauer	Preis	Modus	Dauer	Preis	Modus	Dauer	Preis	Modus	Dauer	Preis
	9h10	€ 146		5h45	€ 160		4h37	€ 192		5h56	€ 122
	Hamburg ZOB										
	12h10	€ 30,98									

• Kursiv gedruckte Werte sind Schätzungen.

(unbekannt) gewichteter bester Gesamtwert

<https://routerank.com>

Hier folgt im Tool die Auflistung aller Transportoptionen sortiert nach Preis, Dauer, CO₂, ...

Es handelt sich um eine öffentliche Demo für ein kommerzielles Tool, welches individuell an die Bedürfnisse der Kunden angepasst wird.
 Es sind keine Details oder wissenschaftlichen Hintergründe der Berechnung verfügbar (auch nicht auf Nachfrage).

Fly Green: Zugfahrten und Flüge – Buchung, CO2-kompensiert

(Weiterleitung zur Buchung)

<https://flygrn.com>



interessanter Faktor, aber ???

CO2-Angabe, ohne Details

teilweise kostenlose CO2-Kompensation

Alternative route via train available to MUC - Save up to 90% of CO₂-emissions View train alternatives >

Best Train Tickets

Train - most sustainable choice

04:54
Ham

7u 40m
1 stops

12:34
Kuf

1 offer from

€99.90

View train ticket >

Environmental Info

✈️ 681 km ☁️ 18 kg CO₂

13 times less carbon emissions than flying!

Train - most sustainable choice

07:01
Ham

7u 33m
1 stops

14:34
Kuf

1 offer from

€79.90

View train ticket >

Environmental Info

✈️ 681 km ☁️ 18 kg CO₂

13 times less carbon emissions than flying!

Rather want to fly? We found the following flights

100% CO₂ Offsettable

21:05
HAM

1u 15m
direct

22:20
MUC

4 offers from

\$223.79

View Flight >

Environmental Info

✈️ 600 km ☁️ 153 kg CO₂

We'll offset for you free:

100% = 153 kg CO₂

Dieter Scholz:
Klimaoptimierte Dienstreise

"Mittagsgespräch" im BMZ
17.03.2022

Aircraft Design and Systems Group (AERO)

Seite 68

Eco Passenger: Zugfahrten im allg. Vergleich mit Auto und Flugzeug

(keine Buchung)

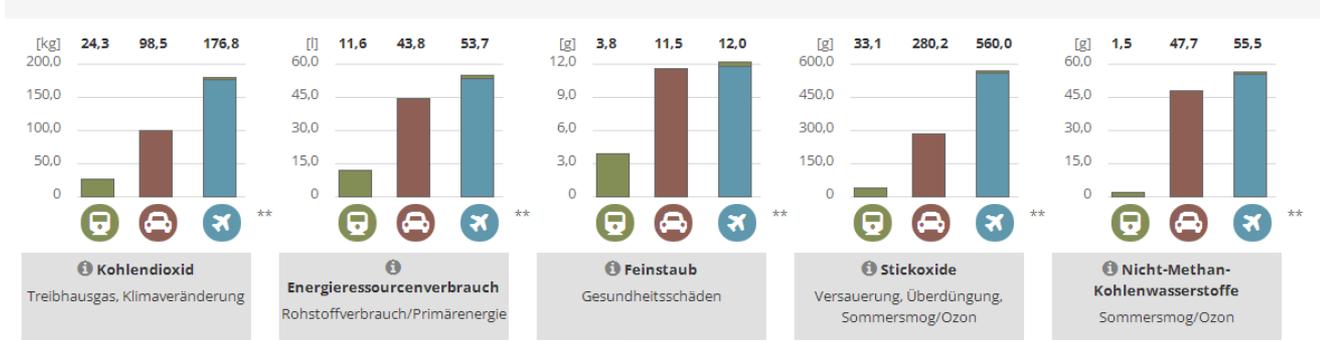
START/ZIEL	DETAILS	DAUER	PRODUKTE
HAMBURG HBF (Germany) [DE] MUENCHEN HBF (Germany) [DE]	von So, 20.03.22, 09:24 bis So, 20.03.22, 15:09 über KASSEL-WILHELMSHOEHE (Germany) DETAILS GOOGLE EARTH FRÜHER SPÄTER	5:45	ICE 575, ICE 1223
HAMBURG-HARBURG(S) (Germany) [DE] MUENCHEN HBF (Germany) [DE]	Mittelklasse; Diesel EURO 4;	6:52	PKW
HAMBURG (Germany) [DE] Muenchen City (Germany) [DE]	Flug von Hamburg Airport nach Franz Josef Strauss Airport, Munich.	3:22	Flugzeug, Bahn

<http://ecopassenger.hafas.de>

IHRE EINSTELLUNGEN [EINSTELLUNGEN ÄNDERN](#)

- durchschnittlicher Auslastungsfaktor (mittlere Auslastung)
- 1.5 Personen (europäische durchschnittliche Auslastung)
- Mittelwert typischer Flugzeugtypen für Flüge innerhalb Europas mit durchschnittlicher Auslastung; inkl. An- und Abreise sowie Rollverkehre auf dem Flughafen. CO2-Ausstoß mit Klimafaktor
Bei der Berechnung der Flugroute wurden keine konkreten An- und Abflugszeiten berücksichtigt.

Berechnungsvarianten wählen →



FlySAS Emissions Calculator



<https://www.flysas.com/en/sustainability/emission-calculator>

Detaillierte Angaben →

Keine integrierte Buchung oder Kompensation

RIDAO VELASCO, Alejandro, 2020. *Environmental Information for Aviation Passengers*. Bachelor Thesis. HAW Hamburg. Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2020-08-05.014>

FLIGHT EMISSIONS

Helmut Schmidt **HAM** – Franz Josef Strauss **MUC** 49.2 kg CO₂ ✕

1 traveler | A320-200NEO ▾
A320-200NEO
 ATR72-600
 737-800W
 A321-200
 A320-200
 A319-100

TOTAL **49.2 KG CO₂**

[Detailed result](#) ^

nur SAS-Flugzeuge

EMISSIONS

CO ₂ – carbon dioxide	49.2 kg
NO _x – nitrogen oxides	123 g
CO – carbon monoxide	80.8 g
HC – hydrocarbons	1.41 g
H ₂ O – water vapor	19.3 kg
SO ₂ – sulfur dioxide	15.6 g

FLIGHT	DISTANCE	CABIN FACTOR
HAM – MUC	600 km	75%

Weniger Gepäck?

Weniger Gepäck?

- Die International Air Transport Association (IATA) hat dazu eine **Kampagne** mit der Seite <https://www.flyaware.com/your-journey> (archived: bit.ly/3CR7JIE) im Internet erstellt. Hinweis: "**Pack lighter**"
- Richtig ist natürlich, dass jedes Kilogramm hilft. Aber das Argument "just a kilo less, once multiplied across every passenger and every flight, can make a huge difference to CO2 emissions" ist banal. Natürlich wird jeder kleine Effekt größer, wenn man ihn multipliziert.
- Diese Betrachtung hilft stattdessen weiter: Schon bei enger Bestuhlung **kommen** zwischen 300 kg und 1000 kg der Abflugmasse des Flugzeugs **auf jeden Passagier**. Statistisch sind das **im Durchschnitt etwa 500 kg**. Der Wert hängt von der Reichweite und der Technik des Flugzeugs ab. **Mit einem Kilogramm weniger an Gepäck kann man daher grob 0,2 % (=1/500) der persönlich zu verantwortenden Emissionen einsparen. Es bringt also vergleichsweise wenig.**



Kompensieren?

Kompensieren?

- Zu unterscheiden sind **verschiedene Ansätze beim Kompensieren**:
 - Kompensieren **international durch Airlines**: CORSIA (ICAO) entfaltet noch keine Wirkung (s.u.).
 - Kompensieren **in der EU durch Airlines**: EU-Emissionshandelssystem (EU ETS). Durch "Stop-the-Clock" und kostenlose Emissionszertifikate für den Luftverkehr bisher fast ohne Wirkung. 2017 machten die Kosten für EU-Zertifikate 0,3 % der Betriebskosten aus bei den Airlines (EASA 2019).
 - Freiwilliges Kompensieren von Flügen **durch Passagiere** wird kaum genutzt. Beispiel: Weniger als 1 % der Passagiere (privat und geschäftlich) kompensieren bei Lufthansa (Hegmann 2021).
 - Freiwilliges regelmäßiges **Kompensieren der Flüge von Mitarbeitern** durch Firmen und öffentliche Organisationen.
- Die Luftverkehrswirtschaft kämpft gegen "**Flugscham**" (HAGAGY 2019).
- Die International Air Transport Association (IATA) hat daher eine Kampagne mit der Seite <https://www.flyaware.com/your-journey> (archived: bit.ly/3CR7JIE) im Internet erstellt. Erster Hinweis an die Passagiere: "**Kompensieren**"!
- **Bedenklich** an der IATA-Kampagne ist: **Die Verantwortung für das Kompensieren** (wenn es denn sein soll) **wird auf die Passagiere geschoben**. Die Airlines kompensieren nicht.
- Scott Kirby, CEO von United Airlines beschreibt es so: "And what I hate about traditional carbon offset programmes is ... they are a fig leaf for a CEO to write a check, check a box, pretend that they've done the right thing for sustainability when they haven't made one wit of difference in the real world." (CAPA 2021)

ICAO: CORSIA: "Die Basis für klimaneutrales Wachstum ab 2020"

CORSIA: Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation

Kompensieren durch die Airline



Mehrere Phasen

1. 2019-2020: Monitoring zur Bestimmung der Emissionsbaseline
2. Nach Corona-Pandemie: Neue Entscheidung: Emissionsbaseline ist 2019
3. 2021-2023: Pilotphase (freiwillige Beteiligung der Länder)
4. 2024-2026: Phase 1 (freiwillige Beteiligung der Länder)
5. **2027-2035: Phase 2 (verpflichtende Teilnahme für alle Länder und deren Luftfahrzeugbetreiber mit mehr als 0,5 % des globalen Luftverkehrs im Jahr 2018, um sicherzustellen, dass 90 % des globalen Luftverkehrs abgedeckt werden).**
 - Allein der **Start der Pilotphase dauerte 5 Jahre** und ließ CORSIA erst 2021 starten.
 - Die Aussage „Basis für CO₂-neutrales Wachstum ab 2020“ bedeutet vor dem Hintergrund der Regularien: **CO₂-neutrales Wachstum wird möglicherweise niemals erreicht werden** (es ist nur die Basis) und es **kommt später als 2020** („ab“).
 - Emissionsbaseline 2019: **Kompensation erst bei Überschreiten der Vor-Corona-Zahlen!**

ICAO: CORSIA: "die Basis für klimaneutrales Wachstum ab 2020"

Kritik

- CORSIA-Implementierungsprozess **zu langsam** und lässt "business as usual" zu.
- Offsetting lenkt **Fokus auf den Handel mit Emissionen** statt Reduzierung.
- CORSIA **führt nicht zu "CO2-neutralem Wachstum"**, denn es gilt nur 8 Jahre (2027-2035).
- **"CO2-neutrales Wachstum" ist zu wenig**. Heute gefordert: **"Klimaneutralität"**.
- **CORSIA hat keine Obergrenze für die flugverkehrsbedingten Emissionen** angegeben, die von einer Fluggesellschaft oder einem Land eingehalten werden müssen.
- CORSIA führt wahrscheinlich zu **massiver Nachfrage nach Biokraftstoffen**, die höchstwahrscheinlich unter Verwendung von Palmöl hergestellt werden, aber Palmöl ...
 - ist eine der Hauptursachen für **Entwaldung**,
 - führt zu **Menschenrechtsverletzungen**,
 - **führt zu mehr Emissionen als die fossilen Brennstoffe, die sie ersetzen!!!**
- **Forest carbon offsets** werden wahrscheinlich überwiegen. **Forest carbon offsets** werden jedoch als unwirksam abgelehnt (siehe nächste Seite).

ICAO: CORSIA: "die Basis für klimaneutrales Wachstum ab 2020"

- CO₂-Kompensationen durch Wälder erfüllt die Mehrheit der CORSIA-Kriterien durchweg **nicht**.
- Nicht nachhaltig: Das gebundene CO₂ darf **ab dem Jahr 2037 wieder frei setzen werden**.
- **Waldklima-Kompensationsprojekte werden von großen internationalen Fluggesellschaften genutzt werden**, obwohl sie fast alle CORSIA-Kriterien nicht erfüllen.
- Wenn es der ICAO überhaupt ernst damit ist, sicherzustellen, dass ihre eigenen Kriterien erfüllt werden, muss die ICAO die **Forest Carbon Offsets** aus dem CORSIA-Mechanismus **ausschließen**.



Archived at: <https://perma.cc/84ML-FXJD>

Freiwilliges Kompensieren von Flügen durch Passagiere

Verschiedene **Kompensierer** bieten ihren Service im Internet an:

nachdenken • klimabewusst reisen



- **Atmosfair:** <https://atmosfair.de>
<https://www.atmosfair.de/de/kompensieren/flug/> (detailliert)
- **Green Tripper:** <https://GreenTripper.org>
- **Myclimate:** <https://www.myclimate.org>
- **Klima-Kollekte:** <https://klima-kollekte.de>
- **Prima Klima:** <https://www.primaklima.org>
https://primaklima.co2-rechner.de/de_DE/mobility-flight-calculator (detailliert)



- Vergleich der Anbieter durch **Stiftung Warentest** (<https://perma.cc/C3XP-V3XS>):

- Atmosfair: sehr gut (0,6)
- Klima-Kollekte: sehr gut (1,1)
- Primaklima: sehr gut (1,5)
- Myclimate: gut (2,2)
- Green Tripper: nicht im Test



UMWELTBUNDEAMT: *Freiwillige CO2-Kompensation durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. Available from:
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/freiwillige-co2-kompensation-durch>

Beispiel: Atmosfair

Kompensieren durch Passagier oder seine Organisation

<https://www.atmosfair.de>

- Berechnet äquivalente CO₂ mit einfachen Faktoren abhängig von Flugstrecke* aus der CO₂-Masse.
- Berücksichtigt: Sitzklasse, Flugart, Flugzeugtyp
- Flugart: "Charter" oder "Line"
- Fraglich, ob der bezahlte Betrag und die Klimaschutzprojekte den Schaden wirklich ausgleichen können.

* Der atmosfair Emissionsrechner multipliziert alle CO₂-Emissionen, die in Höhen von über 9 Kilometern erfolgen, mit einem Faktor von 3, um die Klimawirkung des Fluges in CO₂ wiederzugeben. CO₂-Emissionen, die in Flughöhen unter 9 Kilometern emittiert werden, erhalten dagegen keinen solchen Aufschlagsfaktor, sondern gehen unmittelbar in die Klimabilanz des Fluges ein.

<https://www.atmosfair.de/wp-content/uploads/flug-emissionsrechner-dokumentation-berechnungsmethode-1.pdf>

CO₂-Fußabdruck meines Flugs berechnen

Ein Flug verursacht CO₂. Finden Sie heraus, wieviel Sie mit Ihrem Flug verursacht haben. Dieses CO₂ spart atmosfair in mehr als 20 Klimaschutzprojekten ein und entlastet damit das Klima. Bitte helfen Sie uns dabei.

Sie erhalten von atmosfair ein persönliches Zertifikat und eine Spendenbescheinigung. Ihr Klimaschutzbeitrag ist steuerlich absetzbar.

Hin- und Rückflug Nur Hinflug

Startflughafen * Sitzklasse Flugart Flugzeugtyp

Optional ▼

Optional ▼

Optional ▼

+ Zwischenstopp entfernen/hinzufügen

Zielflughafen *

Anz. Flüge *
1

Anz. Personen *
1

1 Hin- und Rückflug für 1 Person

[Zurücksetzen](#)

Berechnen

Flexible Bezahlarten




Bankeinzug | Kreditkarte | Rechnung | Überweisung | PayPal | Sofortüberweisung

Zusammenfassung / Ausblick

Zusammenfassung / Ausblick

- Vermeiden

vor Effizienzsteigerung

vor Kompensieren



VERMEIDEN



REDUZIEREN



KOMPENSIEREN

- Unser "Ecolabel for Aircraft" bewertet das Flugzeug mit Triebwerk und Sitzlayout. Die Auswahl einer Airline für einen Direktflug kann mit dem Ecolabel erfolgen. Der beste Direktflug ist der, mit dem besten Flugzeug.
 - Umsteige Flüge werden mit unserem "Trip Emission Ecolabel" bewertet.
 - Der "Air Travel Evaluator" gewichtet Preis, Reisezeit, Umweltwirkung und sortiert die Ergebnisse.
- Alternativ: Zu <https://atmosfair.de> gehen und die äquivalenten CO₂ für den (Umsteige-)Flug ausrechnen lassen.
 - Es gibt verschiedene Buchungssysteme, die CO₂ ausweisen. **Alle könnten verbessert werden.**
 - **Wunsch:** Eine Datenbank, welche die Umweltwirkung für eine multimodale Reise von Haus zu Haus ausgibt und ein Buchungssystem sowie eine CO₂-Kompensation angebunden hat. Dies zusammen mit einer Auflistung der Reiseoptionen sortiert wahlweise nach einem gewichteten Endwert (Gewichtung individuell einstellbar) und zusätzlich nach diesen Kriterien:
 - Kosten (mit und ohne Kompensation)
 - Zeit (sowohl Gesamtzeit als auch verlorene Zeit)
 - Umweltwirkung (wissenschaftl. fundiert, detaillierte Auflistung, evtl. einstellbare Parameter – mit oder ohne AIC, ...)

Wenn wir die Welt retten wollen, ... dann müssen wir in unserem Kopf anfangen: Video "The Bill"

Das kurze Video (4:21) lässt uns darüber [nachdenken](#),
wie wir leben und was ([wie viel Fliegen](#)) [wir wirklich brauchen](#).

- <https://youtu.be/EmirohM3hac> (Deutsch)
- <https://youtu.be/rWfb0VMCQHE> (englische Untertitel)



"Mittagsgespräch" im BMZ

Kontakt

info@ProfScholz.de

<http://www.ProfScholz.de>

<http://AERO.ProfScholz.de>

So kann das Dokument zitiert werden:

SCHOLZ, Dieter, 2022. *Klimaoptimierte Dienstreise mit dem Flugzeug. Wie geht das?*. "Mittagsgespräch" im BMZ, Online, 17.03.2022. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6376178>

© Copyright by Author, CC BY-NC-SA, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



"Mittagsgespräch" im BMZ

Bibliographie / Literaturhinweise

Life Cycle Analysis (LCA): Dissertation, Paper

JOHANNING, Andreas, 2017. *Methodik zur Ökobilanzierung im Flugzeugvorentwurf*. München: Verlag Dr. Hut. Dissertation. ISBN 978-3-8439-3179-3. Available from: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

JOHANNING, Andreas, 2016: *Life Cycle Assessment in Conceptual Aircraft Design – Excel Tool LCA-AD*. Available from: <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1531.0485>

JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2015. Comparison of the Potential Environmental Impact Improvements of Future Aircraft Concepts Using Life Cycle Assessment. In: CEAS: *5th CEAS Air&Space Conference: Proceedings* (CEAS2015, Delft, 07.-11.09.2015). DocumentID: 80. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2014. *Adapting Life Cycle Impact Assessment Methods for Application in Aircraft Design*. German Aerospace Congress 2014 (DLRK 2014), Augsburg, 16.-18.09.2014. Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201507202456>. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

JOHANNING, Andreas; SCHOLZ, Dieter, 2014. Conceptual Aircraft Design Based on Lifecycle Assessment. In: *ICAS 2014 - 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences* (St. Petersburg, 07.-12.09.2014). Paper: ICAS2014-9.10.1. Available from: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2013. *A First Step Towards the Integration of Life Cycle Assessment into Conceptual Aircraft Design*. German Aerospace Congress 2013 (DLRK 2013), Stuttgart, 10.-12.09.2013. Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201407183813>. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

Ecolabel for Aircraft (<http://ecolabel.ProfScholz.de>)

HURTECANT, Daan, 2021. *Launch of an Ecolabel for Passenger Aircraft*. Master Thesis. Hamburg University of Applied Sciences, Aircraft Design and Systems Group (AERO). Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2021-05-26.013>

Short video introduction to the "Ecolabel for Aircraft": <https://youtu.be/XSwfkI9dduA>

One-page explanation of the "Ecolabel for Aircraft" : <https://purl.org/ecolabel/info> (PDF)

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Ecolabel for Aircraft – Definition and Application* (Hamburg Aerospace Lecture Series, Hamburg/Online, 04.06.2020). Presentation. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4462458>

Environmental Impact

SCHWARTZ, Emily, KROO, Ilan M., 2009. *Aircraft Design: Trading Cost and Climate Impact*. 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 05.01.-08.01.2009, Orlando, Florida, AIAA 2009, No.1261. Available from: <https://doi.org/10.2514/6.2009-1261>

SCHWARTZ DALLARA, Emily, 2011. *Aircraft Design for Reduced Climate Impact*. Dissertation. Stanford University. Available from: <http://purl.stanford.edu/yf499mg3300> – Forcing Factor s(h) based on: KÖHLER 2008 and RÄDEL 2008.

KÖHLER, Marcus O., RÄDEL, Gaby, DESSENS, Olivier, SHINE, Keith P., ROGERS, Helen L., WILD, Oliver, PYLE, John A., 2008. Impact of Perturbations to Nitrogen Oxide Emissions From Global Aviation. In: *Journal of Geophysical Research*, 113. Available from: <https://doi.org/10.1029/2007JD009140>

RÄDEL, Gaby, SHINE, Keith P., 2008. Radiative Forcing by Persistent Contrails and Its Dependence on Cruise Altitudes. In: *Journal of Geophysical Research*, 113. Available from: <https://doi.org/10.1029/2007JD009117>

SCHOLZ, Dieter, 2021. *Aircraft Fuel Consumption – Estimation and Visualization*. Data Sheet with Airbus A350. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.7910/DVN/2HMEHB>

CAERS, Brecht, SCHOLZ, Dieter, 2020. *Conditions for Passenger Aircraft Minimum Fuel Consumption, Direct Operating Costs and Environmental Impact*. German Aerospace Congress 2020 (DLRK 2020), Online, 01.-03.09.2020. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4068135>

RIDAO VELASCO, Alejandro, 2020. *Environmental Information for Aviation Passengers*. Bachelor Thesis. HAW Hamburg. Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2020-08-05.014>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Calculation of the Emission Characteristics of Aircraft Kerosene and Hydrogen Propulsion*. Excel table. Available from: <https://doi.org/10.7910/DVN/DLJUUK>

BURZLAFF, Marcus, 2017. *Aircraft Fuel Consumption – Estimation and Visualization*. Project. Hamburg University of Applied Sciences, Aircraft Design and Systems Group (AERO). Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18302-aero2017-12-13.019>

MacDONALD, Allan, 2012. *A General View on Fuel Efficiency in Commercial Aviation*. Master Thesis. HAW Hamburg.

Green / Healthy Aviation and Aviation Ethics

SCHOLZ, Dieter, 2022. Routes of Aircraft Cabin Air Contamination from Engine Oil, Hydraulic and Deicing Fluid. In: *INCAS Bulletin*, 14(1), pp.153-170. Available from: <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2022.14.1.13>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Airbus' Cabin Air Explanations during the Corona Pandemic – Presented, Analyzed, and Criticized*. Available from: <https://purl.org/corona/M2020-06-19> (PDF)

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Sommer 2020, COVID-19, Fliegen: ja oder nein? Vorsicht: Gesundheitsrisiko und unklare Rechtslage!* Pressemitteilung. Available from: <http://purl.org/corona/PR2020-06-05>

SCHOLZ, Dieter, 2021. *Zero Emission – The New Credo in Civil Aviation*. German Aerospace Congress 2021, Online, 30.08. – 02.09.2021. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5919013>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Review of CO2 Reduction Promises and Visions for 2020 in Aviation*. German Aerospace Congress 2020 (DLRK 2020), Online, 01.-03.09.2020. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4066959>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Aviation Ethics – Growth, Gain, Greed, and Guilt*. German Aerospace Congress 2020 (DLRK 2020), Online, 01.-03.09.2020. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4068009>

SCHOLZ, Dieter, 2012. *Eco-Efficiency in Aviation – Flying Off Course?* German Aerospace Congress 2012 (DLRK2012), Berlin, Germany, 10.-12.09.2012. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4067014>

Weitere Referenzen aus dem Text

CALDWELL, Niall, 2018. Digital Displacement: Hydraulic Power for the Digital Age. In: UKIP Media & Events: *Conference Proceedings : Electric & Hybrid Aerospace Symposium 2018* (Cologne, 08-09 November 2018).

CANNON, Frank, 2016: Aircraft Cabin Air Contamination and Aerotoxic Syndrome – A review of the Evidence. In: *Collegium Basilea: Nanotechnology Perceptions*, Vol. 12 (2016), pp. 73-99. Available from: <http://doi.org/10.4024/N08CA16A.ntp.12.02>. Available from: <http://skybrary.aero/bookshelf/books/3594.pdf>

CAPA, 2021. United's Kirby: Carbon Offsets "A Fig Leaf for a CEO to Write a Check". 2021-03-21. Available from: <https://bit.ly/3ehrDle>. Archived at: <https://perma.cc/WX7A-PMKE>

EASA, 2019: European Aviation Environmental Report – The EU Emissions Trading System. Archived at: <https://perma.cc/P5BK-DXBS>

FRAUNHOFER ISE, 2021. *Energy-Charts: Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland*. Available from: https://energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm

HAGAGY, Ahmed, 2019. *Aviation Industry to Counter Flight Shaming Movement: IATA Chief*. Reuters. 2019-11-05. Available from: <https://reut.rs/2ULFhWK>. Archived at: <https://perma.cc/F2HY-4XN2?type=image>

HEGMANN, Gerhard, 2021-08-08: Passagiere der Lufthansa zeigen an CO2-Kompensation kein Interesse. In: WELT. Available from: <https://perma.cc/ZKJ7-Z6YA>

SUN, X.; ZHANG, Y.; WANDEL, S., 2017. Air Transport versus High-Speed Rail – An Overview and Research Agenda. In: *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2017, Article ID 8426926. Available from: <https://doi.org/10.1155/2017/8426926>

Links zu Organisationen und Initiativen

<https://influencemap.org> (Data-Driven Analysis)

<https://transportandenergy.com>

<https://safe-landing.org>

<https://flightfree.co.uk>

<https://www.wearepossible.org/actions-blog/the-frequent-flight-levy-the-way-to-make-fewer-flights-fair-for-everyone>

<https://gcaqe.org> (Cabin Air)

<https://theicct.org> (Clean Transportation)

<https://stay-grounded.org>

<https://www.climateperks.com> (paid 'journey days' to staff)