

## AIRCRAFT DESIGN AND SYSTEMS GROUP (AERO)

### Luftverkehr: Energie, Klima, Technik

- Urban Aviation / Kurz- / Mittel- / Langstrecke
- Neue Energien, Antriebe und Flugzeuge

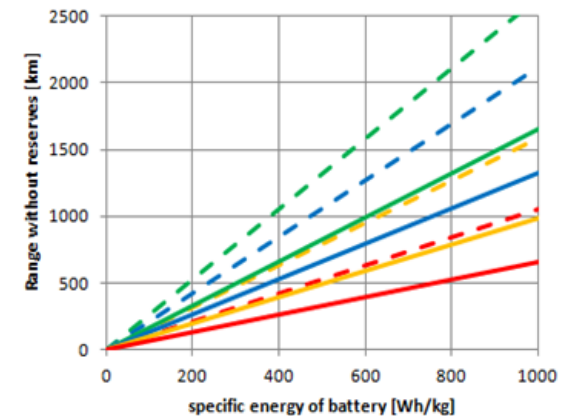
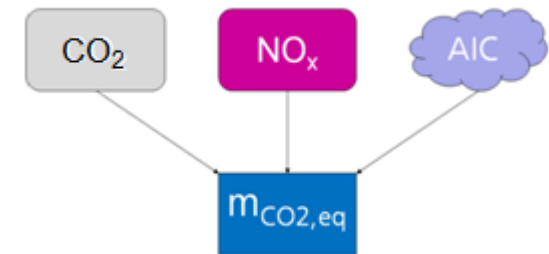
Dieter Scholz

Hamburg University of Applied Sciences

### Grüner Fachworkshop zum Thema Luftverkehr

Online, 05.12.2020, 13:00 – 17:00

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4312988>



## **Abstract / Kurzreferat (Seite 1 von 2)**

**Zweck** – Basierend auf wissenschaftlichen Grundlagen liefert der Vortrag einen Überblick hinsichtlich einsetzbarer Energien und deren Klimawirkung abhängig von der Technik heutiger und zukünftiger Fluggeräte und deren Antriebssysteme. Dabei werden die Einsatzgebiete der Fluggeräte unterschieden in Urban Aviation, Kurz-, Mittel- und Langstrecke. Ein Vergleich mit anderen Verkehrsträgern wird angedeutet.

**Methodik** – Der Vortrag basiert auf den Forschungsergebnissen und Literaturstudien des Autors in den letzten mehr als 15 Jahren.

**Ergebnisse** – Urban Air Mobility ist für die Reichen, 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. Ansonst könnten neu entworfene Propellerflugzeuge in intelligenter Auslegung, evtl. mit Wasserstoff, deutliche Vorteile bringen hinsichtlich Ökonomie und Ökologie – insbesondere wenn diese auslegungsbedingt tiefer und evtl. auch langsamer fliegen. Wir haben in der Luftfahrt weniger ein CO<sub>2</sub>-Problem als mehr ein Wasserproblem (Aviation-Induced Cloudiness, AIC). Letzteres kann durch tieferes Fliegen vermieden werden. Jedoch: CO<sub>2</sub> setzt sich auf lange Zeiten durch. Auf der Langstrecke bieten sich Drop-In-Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien (PtL-Kraftstoffe) an, weil LH<sub>2</sub>-basierte Flugzeuge mit zunehmender Reichweite weniger effizient werden aufgrund der großen Kraftstofftanks. Drop-In-Kraftstoffe können für existierende Flugzeug eingesetzt werden und gehen das Klimaproblem daher Jahrzehnte früher an als LH<sub>2</sub>-Lösungen. Aber: PtL-Kraftstoffe erfordern einen ca. 2,7-fach höheren Primärenergieeinsatz. Wichtig ist es daher, PtL und LH<sub>2</sub> parallel einzuführen. Batterie-elektrisches Fliegen geht nur auf Kurzstrecke, wo es nicht benötigt wird. Hybrid-elektrisches Fliegen hat keine technischen Vorteile für Passagierflugzeuge. Die höhere Effizienz der sogenannten Billigfluggesellschaften hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Umweltwirkung pro Passagierkilometer ist anzuerkennen. Wenn geringerer Verbrauch zu günstigeren Tickets führt, kann sich der freie Wettbewerb sogar positiv auf umweltfreundlicheres Fliegen auswirken. Da es durch den Rebound-Effekt aber zu einer Verbrauchssteigerung kommt, muss objektiv über die Umweltwirkung der Luftfahrt informiert und gegengesteuert werden. Graswurzelbewegung (Flugscham, Stay Grounded) sind ausdrücklich zu unterstützen. Die Luftfahrt wie sie heute (2019) existiert(e) kann mit regenerativen Energien nicht versorgt werden. *(Fortsetzung auf nächster Seite)*

## **Abstract / Kurzreferat (Seite 2 von 2)**

Daher kann eine grundlegende Problemlösung nur gelingen, wenn weniger geflogen wird. Hier kann auf den Tatsachen aufgebaut werden, die durch COVID-19 geschaffen wurden. Beim Umbau der Luftverkehrswirtschaft müssen die Arbeitnehmer mitgenommen werden. Genauso wie es zu einer Verlagerung der Verkehrsströme auf umweltfreundlichere Verkehrsträger kommt, kann auch ein Wechsel der Arbeitsplätze beobachtet werden. Wir haben in Zukunft nicht weniger Aufgaben, sondern andere Aufgaben. Finanzielle Begünstigungen des Luftverkehrs gegenüber anderen Verkehrsträgern müssen abgebaut werden. In der Luftfahrtforschung sollte nur noch das gefördert werden, was vorab über eine Ökobilanz seine Sinnfälligkeit gezeigt hat. Darüber hinaus sollte der gesellschaftliche und ökonomische Nutzen sichtbar werden (Socio-Eco-Efficiency). Statt Milliarden Euros an Runden Tischen bei unklaren Kriterien ("alte Stinker") zu verschieben, brauchen wir einen öffentlichen Diskurs über schwergewichtige Entscheidungen im Luftverkehr. Nur ein solches transparentes Vorgehen wird dem Anspruch an unsere Demokratie gerecht. Dazu müssen Parameter der Luftfahrt und der Flugzeuge offen gelegt werden. So ein Vorgehen beginnt bei einer abgestimmten Definition zum Kraftstoffverbrauch von Flugzeugen und könnte z. B. auf ein Ökolabel für Flugzeuge ausgedehnt werden. Die Industrie sollte verpflichtet werden, entsprechende Basisangaben zu machen. Die didaktische Aufarbeitung kann durch die Wissenschaft erfolgen (notfalls auch ohne Hilfe durch die Industrie). Die Digitalisierung ist in der Luftfahrt genauso wichtig wie in anderen Bereichen, stellt aber in der Luftfahrt keine Besonderheit dar.

**Soziale Bedeutung** – Bei den Themen "Kabinenbelüftung und SARS-CoV-2" sowie "Zero Emission" konnte eine ethisch unhaltbare Art der Beeinflussung der Bevölkerung durch die Luftverkehrswirtschaft bei gleichzeitiger Unterstützung durch die Regierung beobachtet werden. Die Verbreitung von unwahren Behauptungen steht in Deutschland nicht unter Strafe, sollte aber nicht von der Regierung praktiziert werden und nicht durch finanzielle Zuwendungen belohnt werden. Hier bedarf es dringend einer Kehrtwende. Ein Beispiel dazu: Die Ausbildung durch die Hochschule von Ingenieur\*innen im Flugzeugbau für die Industrie wird schwierig, wenn sich die Hochschullehre von den "alternativen Fakten" der Industrie unterscheidet.

## Inhalt

- **Einleitung: Corona und Fliegen / Kontaminierte Kabinenluft**
- **Urban Aviation / Kurz- / Mittel- / Langstrecke**
- **Neue Energien, Antriebe und Flugzeuge**
- **Digitalisierung in der Luftfahrt**
- **Zusammenfassung**
- Kontakt / Zitieren
- Bibliographie / Literaturhinweise
- Backup / Ergänzungen



# Einleitung

# Corona und Fliegen

<http://Corona.ProfScholz.de>

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



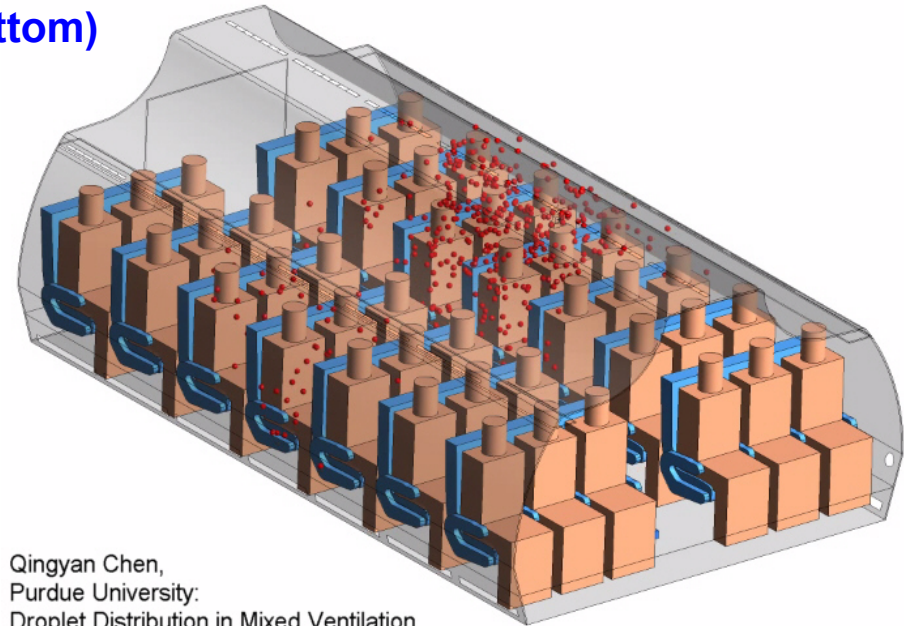
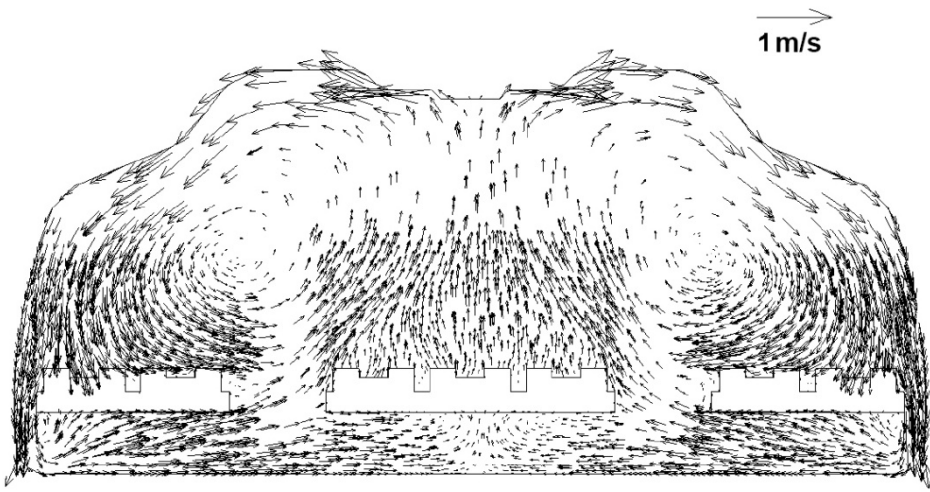
What?	false statement (lie) of the aviation industry	Short form of the lie (in German)
air in the plane	"as clean as in an operating room" (through HEPA filter)	Operationssaal
air exchange	"COMPLETE in 2 to 3 minutes"	Frischluftquote *
air flow in the aircraft cabin	"only from top to bottom" or "no horizontal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

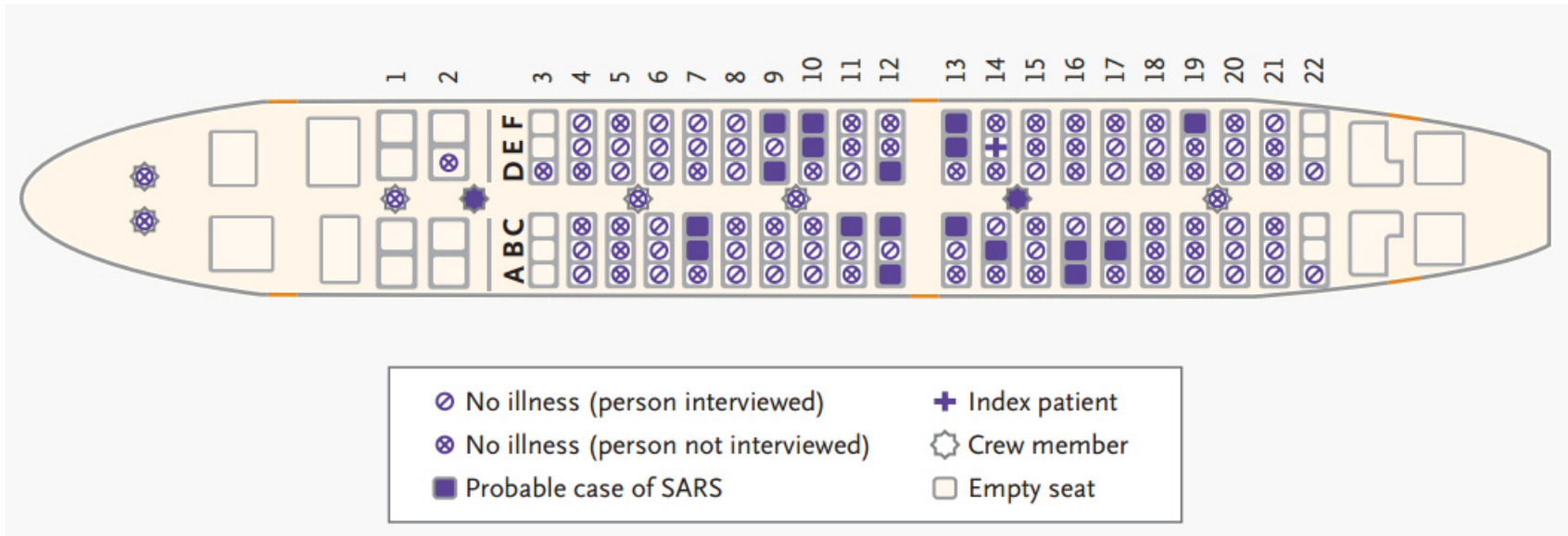


Qingyan Chen,  
Purdue University:  
Droplet Distribution in Mixed Ventilation

**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,

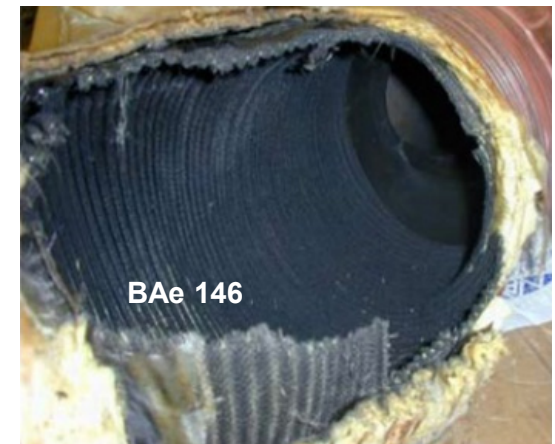
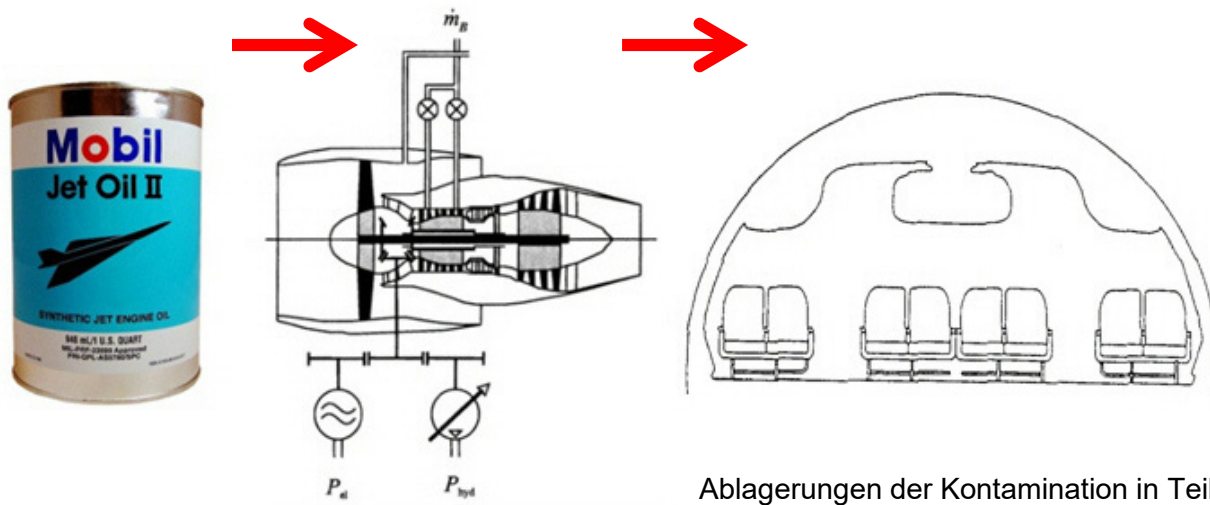
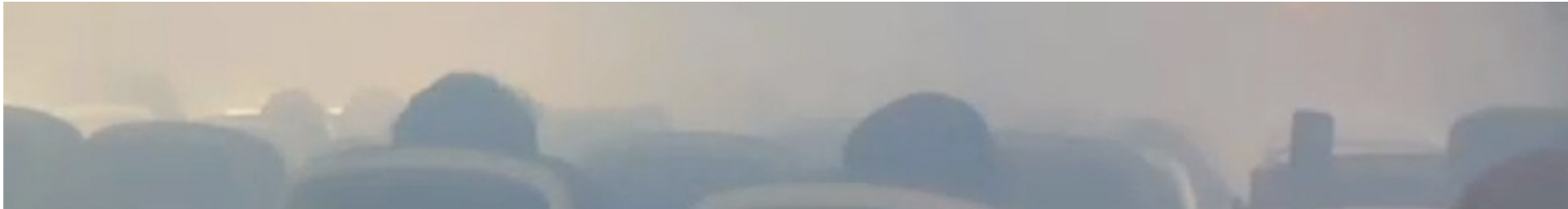
aber Situation ist problematisch

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>

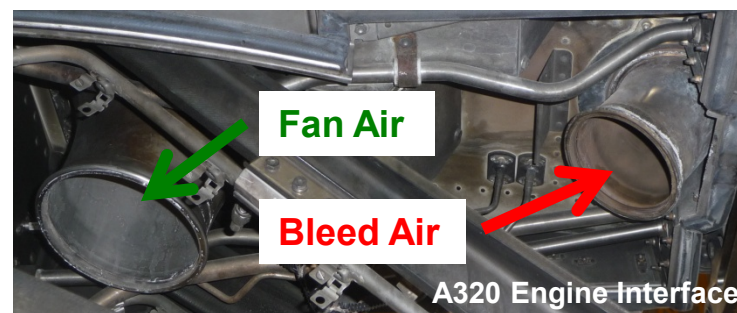
# Kontaminierte Kabinenluft

<http://CabinAir.ProfScholz.de>





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)

# **Urban Aviation**

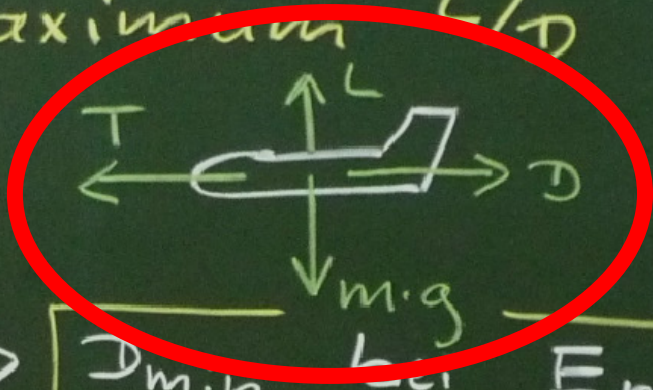
## **Kurz- / Mittel- / Langstrecke**

# Grundlagen

## Aus der Vorlesung

drag  $D_{min}$  und der  
Gleitzahl  $L/D$  maximum  $E_{max}$

Horizontalflug

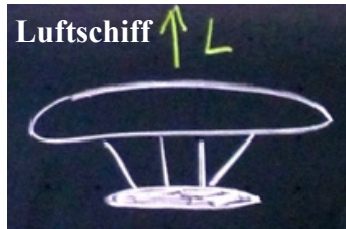


$$D = \frac{L}{E} = \frac{m \cdot g}{E} \Rightarrow \boxed{D_{min} \text{ bei } E_{max}}$$

$\frac{C_L}{C_D + C_L^2}$  also:  $E = f(C_L)$

## Kraftaufwand, um ein Fahrzeug während Fahrt bzw. Flug hoch zu halten, $D_i$

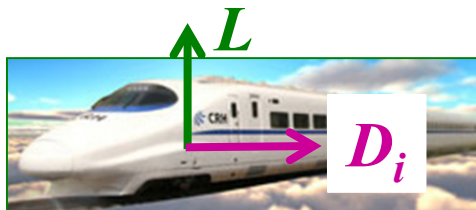
Fahrzeug ist widerstandsärmer



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

$$D = D_0 + D_i$$

↑ Kraft, um Fahrzeug durch die Luft zu schieben

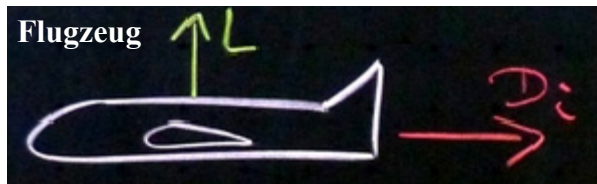


$$D_i = L / 700$$



$D_i = L / 70$ : Auto auf Asphalt

$D_i = L / 20$ : Auto auf Sand



$$D_i = L / 40$$



Hubschrauber

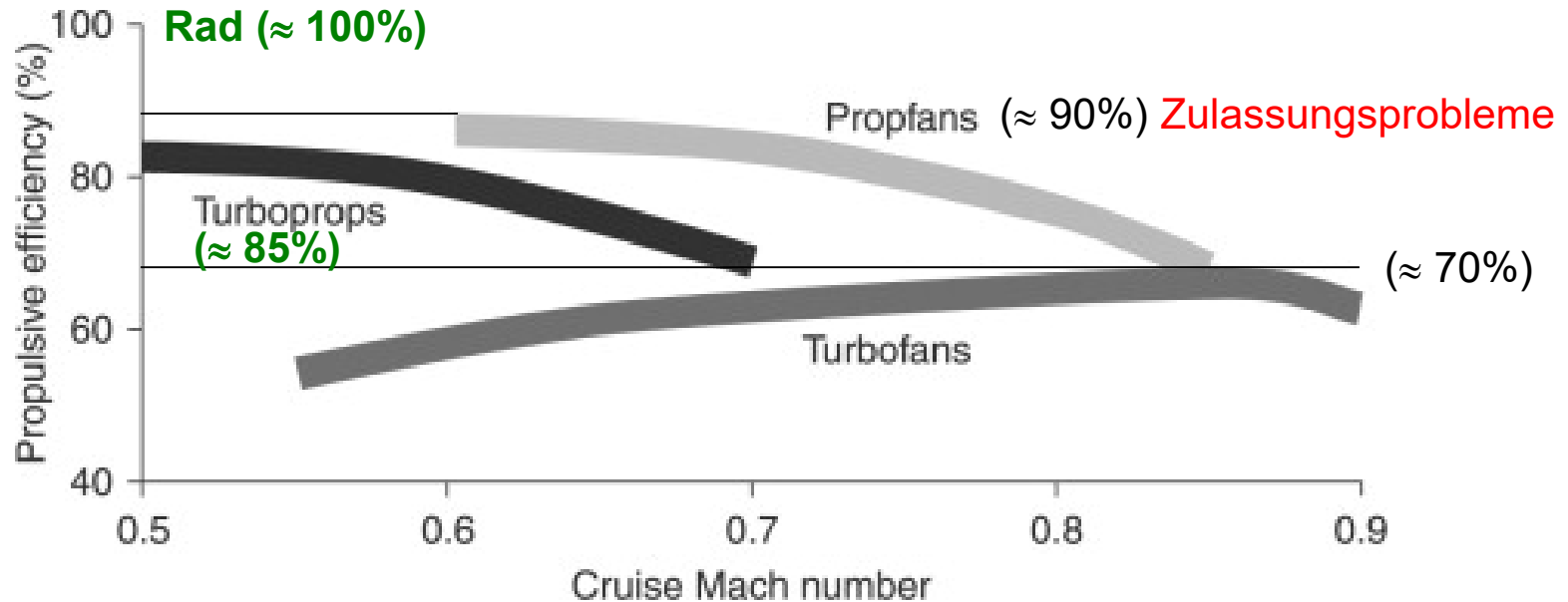
$$D_i = T = L / 1$$

$D_i$  = induzierter Widerstand (Drag)

$L$  = Auftrieb (Lift) = Gewicht

$T$  = Schub (Thrust)

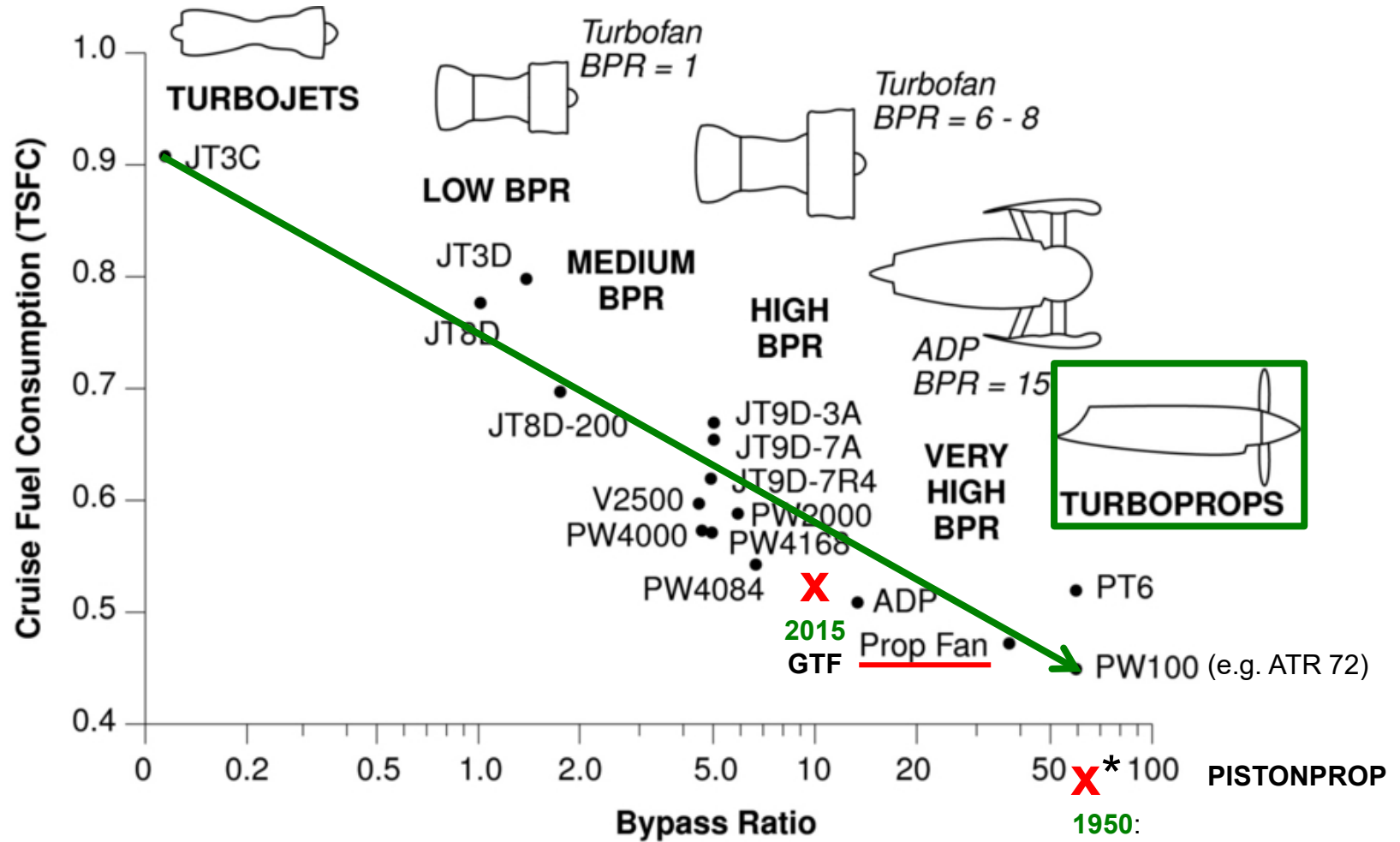
## Vortriebswirkungsgrad des Antriebes



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



## Spezifischer Kraftstoffverbrauch



<https://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node84.html>

1950:  
Wright R-3350  
(Super Constellation)  
\* Bypass Ratio not defined

# Urban Aviation



## Flugtaxi ist keine Lösung für die Umwelt

based on Caldwell 2018

“Flying Taxi”?

.....or “Flying Sports Car”?

Aircraft (Ryanair):

**CO<sub>2</sub>** = 69 g/km/person

**1 kg fuel = 3.15 kg CO<sub>2</sub>**



### Ehang184

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



### Lamborghini LP700

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



### VW Golf TDI

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

**CO<sub>2</sub>:** CO<sub>2</sub>=1000g/km (in Dubai)

CO<sub>2</sub>=370g/km

CO<sub>2</sub> = 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.**

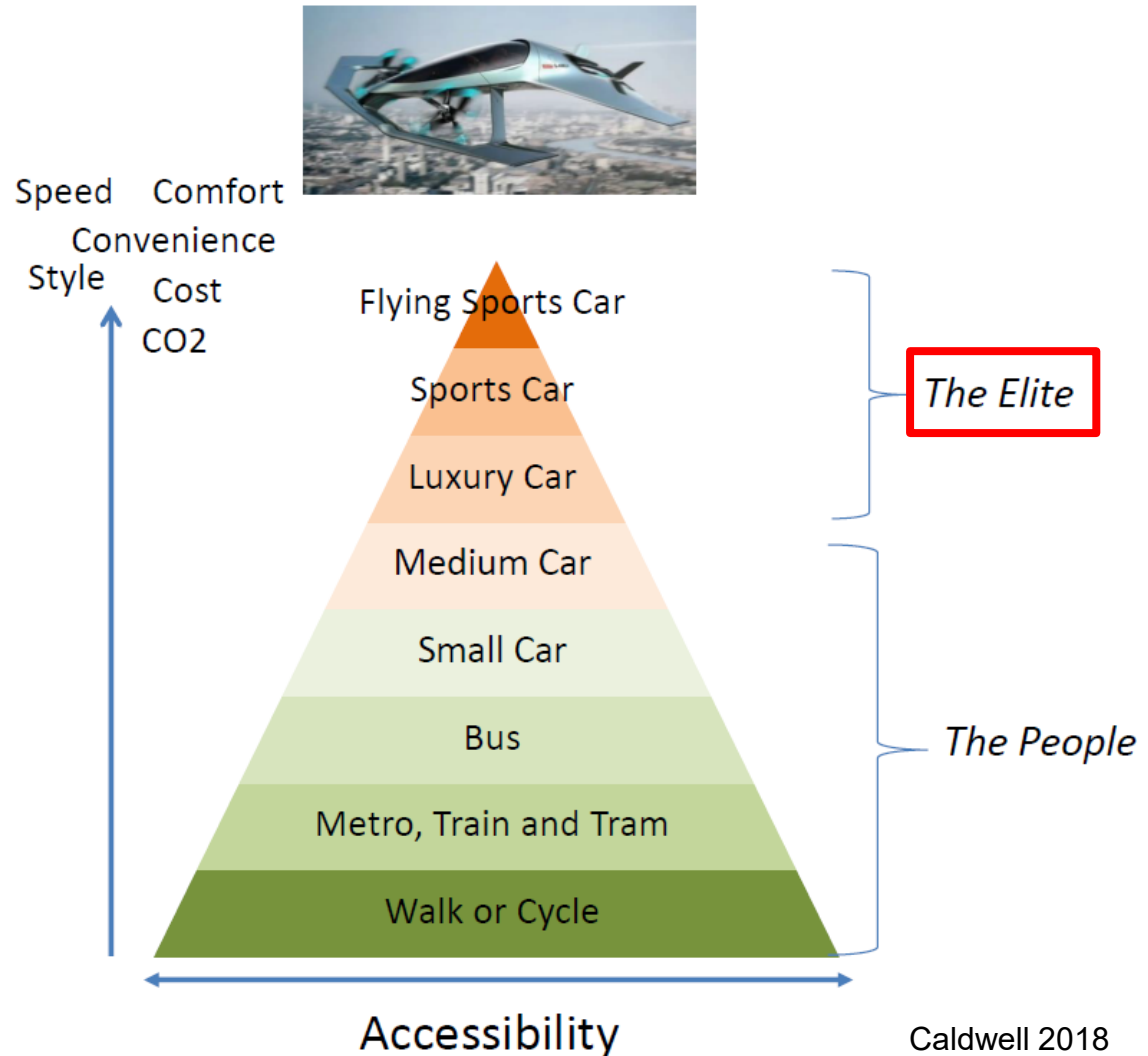
**Keine technische Lösung!**



Max Pixel, CC0

Waiting for the City Airbus?

**Keine Lösung der Verkehrsprobleme!**



# Kurzstrecke



## Auf der Kurzstrecke nehmen wir die Bahn!

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





- Aircraft: *Induced drag* is drag due to Lift = Weight. Train: *Rolling Friction* is also drag due to Weight.
- Aircraft: For minimum drag, *induced drag* is 50% of total drag.
- For the same weight, **rolling friction** of a train is **5% of the induced drag** of an aircraft!
- This means: For the same weight, **drag of an aircraft is reduced by  $\approx 47.5\%$  if put on rails!**

# 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			
...	...		
11:20			
11:30	Beijing Capital International Airport		
11:40			
11:50	<div>Aircraft</div>	Air China 1557	
...			
13:20			
13:30			
13:40	Shanghai Hongqiao	Pick-up luggage	
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	<div><div>China High Speed Train</div><div>Beijing to Shanghai</div><ul style="list-style-type: none"><li>• 1200 passengers</li><li>• 1200 km distance</li><li>• 350 km/h</li><li>• ≈ every 20 minutes</li><li>• usually fully loaded</li><li>• 88000 passengers</li></ul>Example: Train G1</div>
09:10		
09:20		
09:30		
09:40		
09:50		
10:00		
...		
11:20		
11:30		
11:40		
11:50		
13:10		
13:20		
13:30		
13:40		
13:50	new: 13:28 Shanghai Hongqiao	Sun 2017

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

#### China High Speed Rail (CHR)

##### Beijing to Shanghai:

- 1200 passengers per train
  - **1200 km distance**
  - 350 km/h
  - ≈ every 20 min. (an A380 every 10 min.)
  - usually fully booked
  - 88000 passengers per day (both directions)
- Example: Train number G1

- Comparison **air transportation** versus **high-speed rail** for a trip from **Beijing** Capital Times Square to **Shanghai** Hongqiao in China.
- Despite the large spatial distance of more than **1200 km**, **passengers** using either mode **arrive** approximately **at the same time**. **Probability of delays is less on the train.**

## Ein Propellerflugzeug für 180 Passagiere mit zwei Triebwerken der A400M ?

... spart erheblich Kraftstoff !



Airbus A400M



ATR 72



Q400

	m	MTO	M	CR	P <sub>eq</sub>	Pax
A320		78 t		0,76	xxx	180
A400M		141 t		0,70	4 x 8250 kW	xxx
ATR 72		23 t		0,46	2 x 1950 kW	72
Q400		29 t		0,60	2 x 3780 kW	78
Smart TP		56 t		0,51	2 x 5000 kW	180

"Smart Turboprop", Entwurf auf Seite 26 bis 28!



## Ein größerer Propellerflug wird seit 10 Jahren diskutiert!

### FLIGHT INTERNATIONAL

PROPULSION JOHN CROFT WASHINGTON DC

05/2011:

## 90-seat turboprop beckons to P&WC

Engine manufacturer to begin assembling next-generation powerplant to prepare for possible creation of bigger airframes

AIRFRAMES MAVIS TOH SINGAPORE

01/2013:

## ATR keen to satisfy 90-seat audience

Turboprop manufacturer yet to convince shareholders despite Asian regional carriers' interest in potential larger aircraft

ANALYSIS MURDO MORRISON LONDON

01/2013:

## ATR ascends as Bombardier suffers

Growing demand from lessors helps Franco-Italian airframer beat Canadian rival in turboprop orders and deliveries race

01/2013:

### WHO WILL LAUNCH AN ALL-NEW 90-SEAT TURBOPROP?

The chances are, nobody will – but pressure from airline customers might conjure up a 2013 launch of a product that regional aircraft makers agree will eventually be a necessity.

01/2011:

DEVELOPMENT DAVID KAMINSKI-MORROW TOULOUSE

## Demand for big turboprops will grow, says ATR

Airframer seeks 'convergent' solution with engine manufacturers to develop future 90-seat models

**"I'm insisting on one point. The priority is cost-effectiveness, not spending money on speed"**

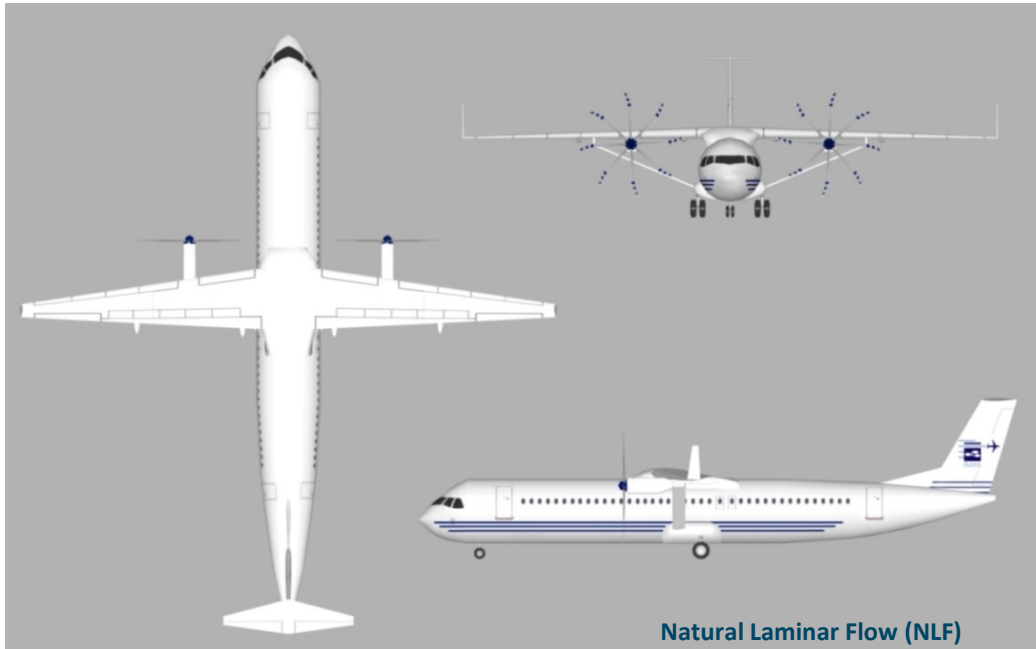
**FILIPPO BAGNATO**  
Chief executive, ATR

## "Smart Turboprop": Große Propeller, abgestrebter Flügel, teilweise Laminarströmung

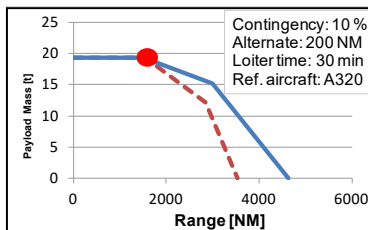
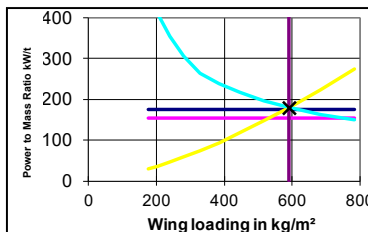


<http://Airport2030.ProfScholz.de>

# "Smart Turboprop": Langsamer und tiefer fliegen bedeutet erheblich umweltfreundlicher fliegen !



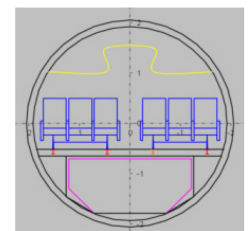
Parameter	Value	Deviation from A320*
<b>Requirements</b>		
$m_{MPL}$	19256 kg	0 %
$R_{MPL}$	1510 NM	0 %
$M_{CR}$	0.51	- 33 %
$\max(s_{TOFL}, s_{LFL})$	1770 m	0 %
$n_{PAX}$ (1-cl HD)	180	0 %
$m_{PAX}$	93 kg	0 %
$SP$	29 in	0 %



Parameter	Value	Deviation from A320*
<b>Main aircraft parameters</b>		
$m_{MTO}$	56000 kg	- 24 %
$m_{OE}$	28400 kg	- 31 %
$m_F$	8400 kg	- 36 %
$S_W$	95 m²	- 23 %
$b_{W,geo}$	36.0 m	+ 6 %
$A_{W,eff}$	14.9	+ 57 %
$E_{max}$	18.8	$\approx + 7 \%$
$P_{eq,ssl}$	5000 kW	-----
$d_{prop}$	7.0 m	-----
$\eta_{prop}$	89 %	-----
$PSFC$	5.86E-8 kg/W/s	-----
$h_{ICA}$	23000 ft	- 40 %
$s_{TOFL}$	1770 m	0 %
$s_{LFL}$	1300 m	- 10 %
$t_{TA}$	32 min	0 %

36 % weniger Kraftstoff.

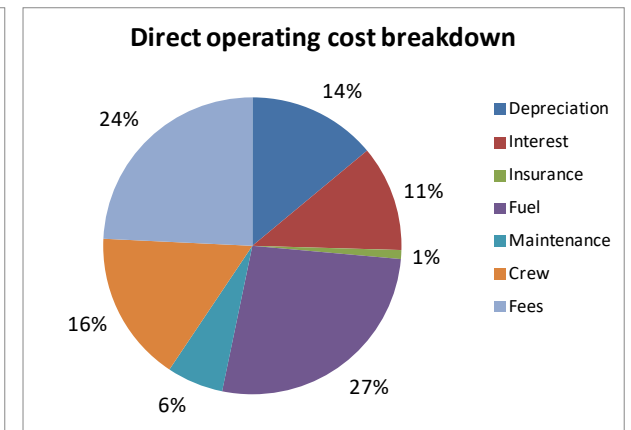
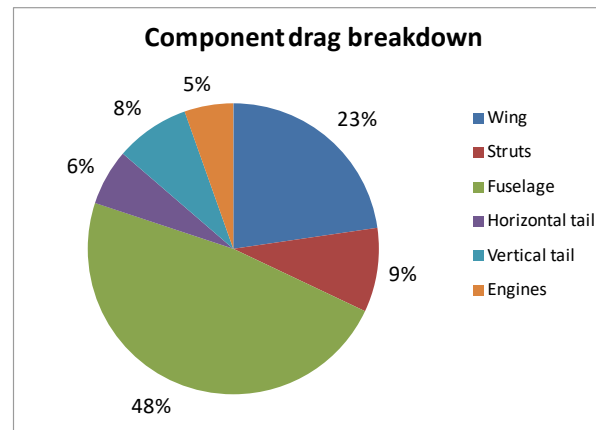
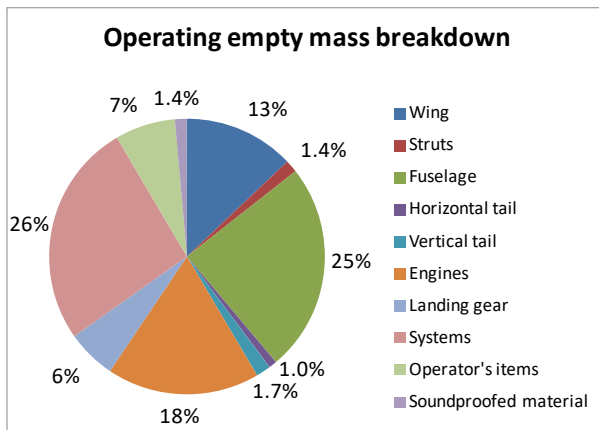
In 23000 ft Flughöhe: kein Strahlungsantrieb durch Aviation Induced Cloudiness (AIC)



## "Smart Turboprop": 17 % weniger Betriebskosten !



Parameter	Value	Deviation from A320*
<b>DOC mission requirements</b>		
$R_{DOC}$	755 NM	0 %
$m_{PL,DOC}$	19256 kg	0 %
EIS	2030	-----
$c_{fuel}$	1.44 USD/kg	0 %
<b>Results</b>		
$m_{F,trip}$	3700 kg	- 36 %
$U_{a,f}$	3600 h	+ 5 %
DOC (AEA)	83 %	- 17 %

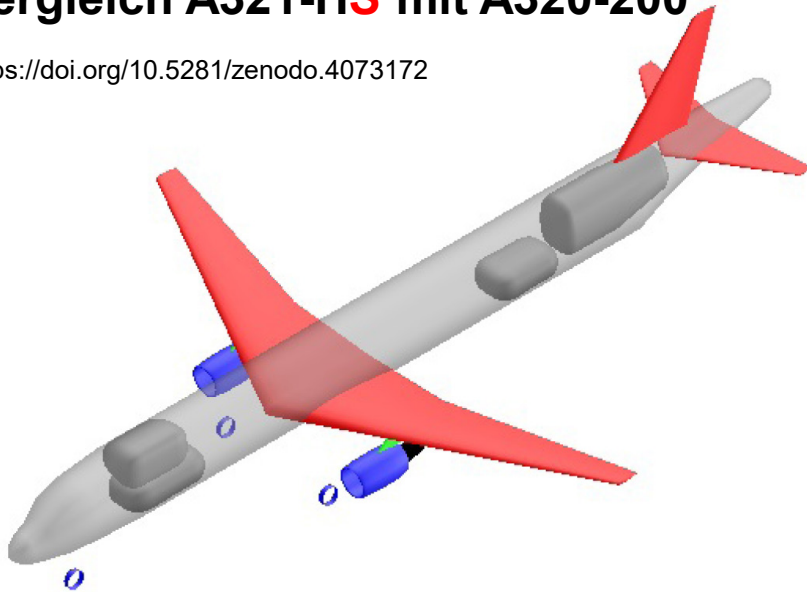




## A320 umgebaut für Wasserstoff

### Vergleich A321-HS mit A320-200

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4073172>



#### Details of the tanks for the A321-HS

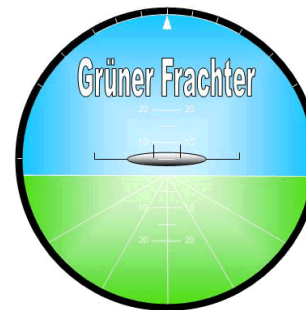
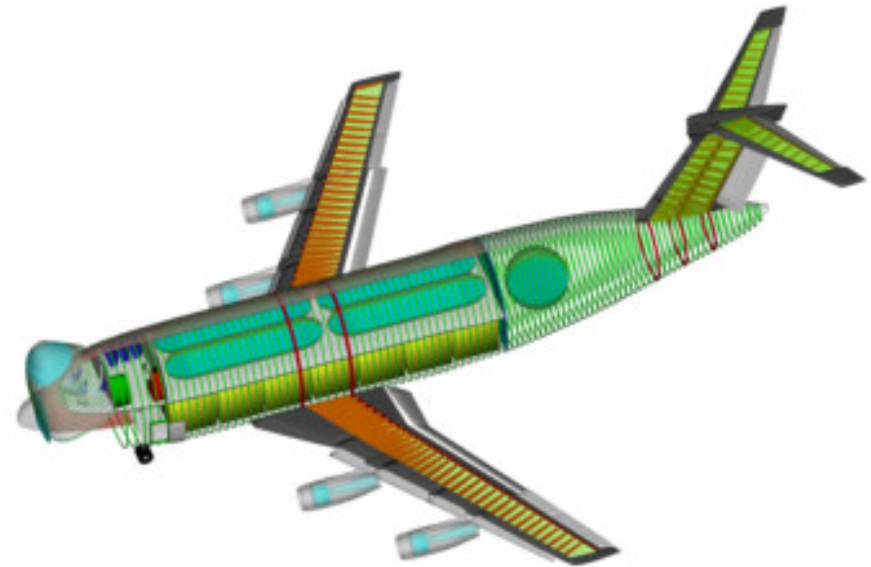
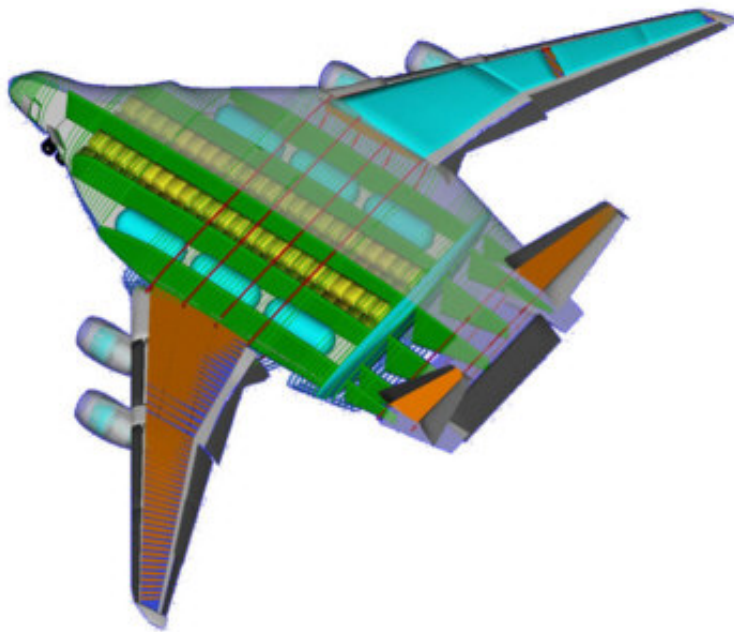
	Length [m]	Mass of tank [kg]	Mass of fuel [kg]
Rear upper tank	4.14	581.6	1600
Rear lower tank	5.24	315.4	1225
Back upper tank	6.92	1385	2874.4
Back lower tank	4.16	249.3	967.8
<b>Total [kg]</b>		<b>2531.3</b>	<b>6667.2</b>

Parameter	A321-HS	Variation (A320)
$m_{MTO}$ [kg]	73578	+1.8
$m_{OE}$ [kg]	47658	+18.6
$m_F$ [kg]	6664	-48.0 <b>energy up 46 %</b>
$DOC$ (AEA) [€/NM/t]	1.68	+26.7
$DOC$ (TUB) [€/NM/t]	1.49	+29.3
$l_F$ [m]	49.4	+28.8 <b>A321: <math>l_F = 44.5</math> m</b>
$S_W$ [m <sup>2</sup> ]	131.1	+9.0 <b>Delta fuselage length: 4.9 m.</b>
$b_{W,geo}$ [m]	35.3	+4.4 <b>Further stretch or A319 cabin required.</b>
$A_{W,eff}$	9.5	0
$\phi_{25}$ [°]	25	0
$\lambda$	0.21	0
$E_{max}$	17.6	+0.4
$T_{TO}$ [kN]	103.9	-5.0
$BPR$	6	0
$SFC$ [kg/N/s]	5.79E-06	-65.0
$h_{CR}$ [ft]	37706	-3.0
$m_{MTO}/S_W$ [kg/m <sup>2</sup> ]	560.7	-6.6

To do:  
**"Smart Turboprop"**  
 with LH2 to  
 combine best of  
 both solutions.

# Langstrecke

## Frachtflugzeug für die Langstrecke mit Wasserstoff (LH2) aus dem Projekt "Grüner Frachter"



HEINZE, TU Braunschweig, 2009  
siehe <http://GF.ProfScholz.de>

# Großes Passagierflugzeug für LH2 und extreme Langstrecke

## Lockheed 1976

**DESIGN GROSS WT - 266.429 KG**

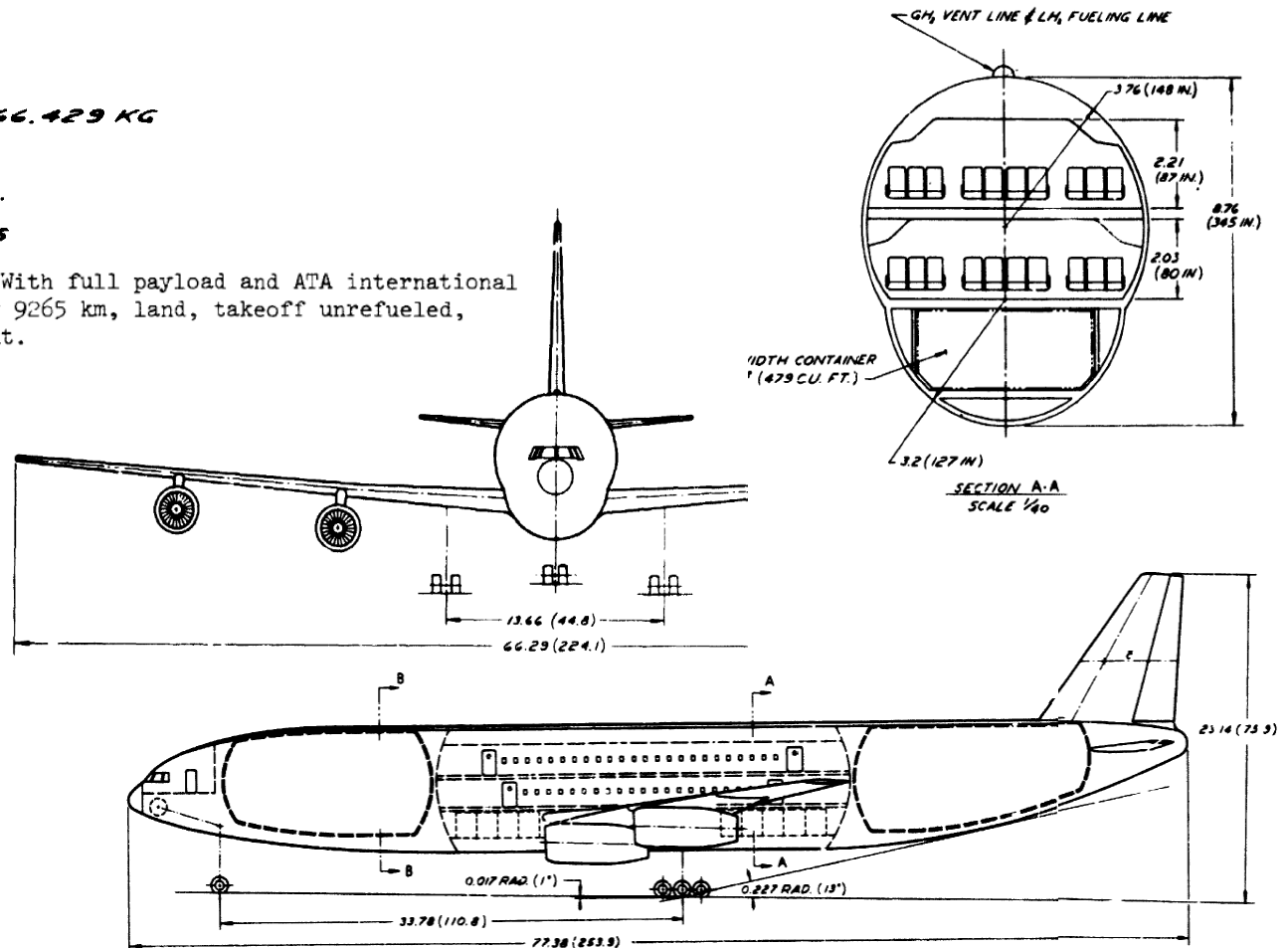
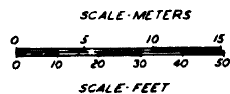
**PASSENGERS - 400**

**FUEL (LH<sub>2</sub>) - 68.424 KG.**

**RANGE - 9.265 KM RADIUS**

9265 km (5000 n.mi.) radius. With full payload and ATA international reserves for each segment, fly 9265 km, land, takeoff unrefueled, and fly another 9265 km segment.

Range: 18530 km = 10000 NM



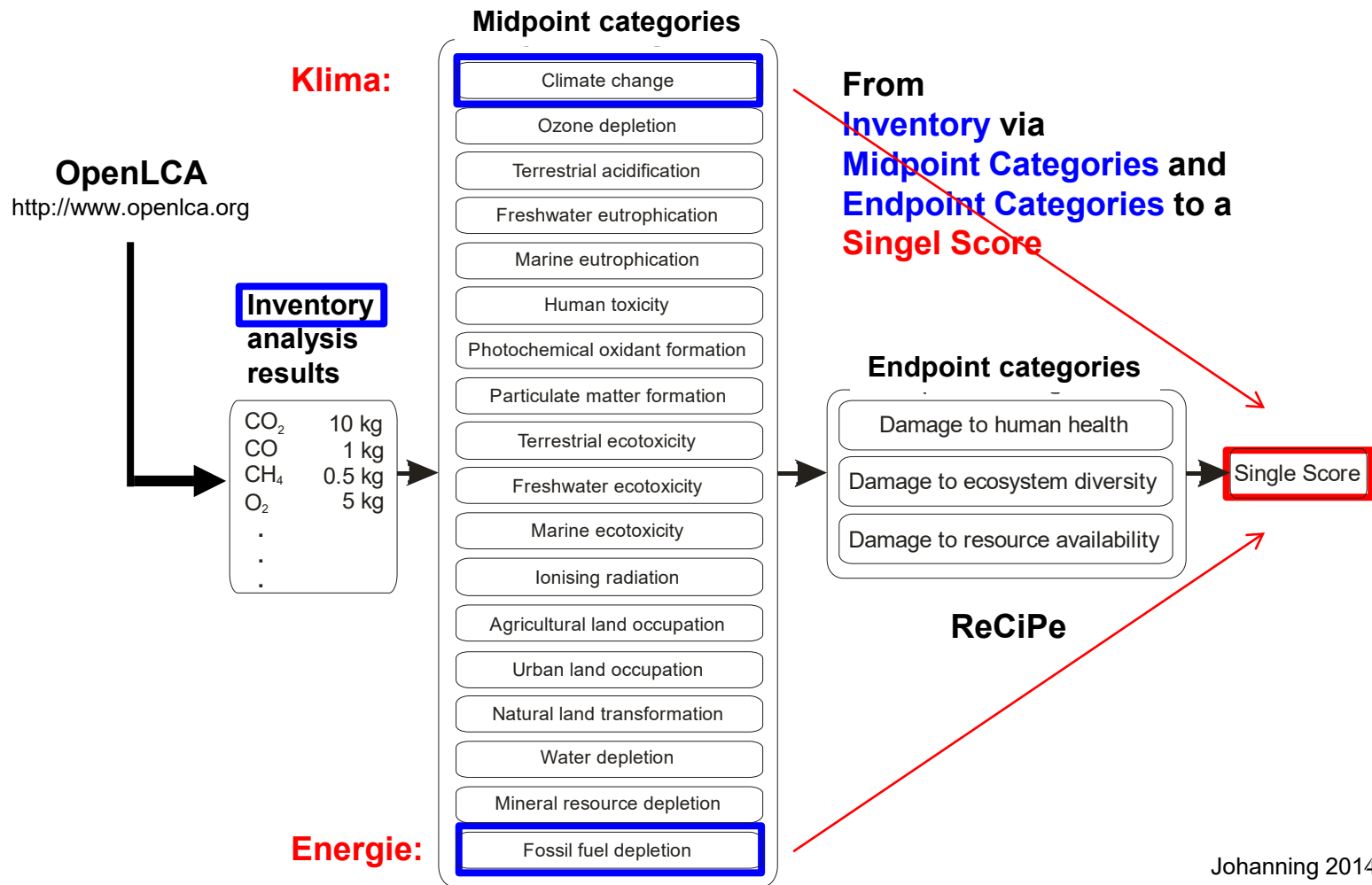
BREWER, G.D., MORRIS, R.E., 1976. *Study of LH<sub>2</sub> Fueled Subsonic Passenger Transport Aircraft*. Lockheed, NASA CR-144935.  
Available from: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19760012056>



# Neue Energien, Antriebe und Flugzeuge

# Grundlagen

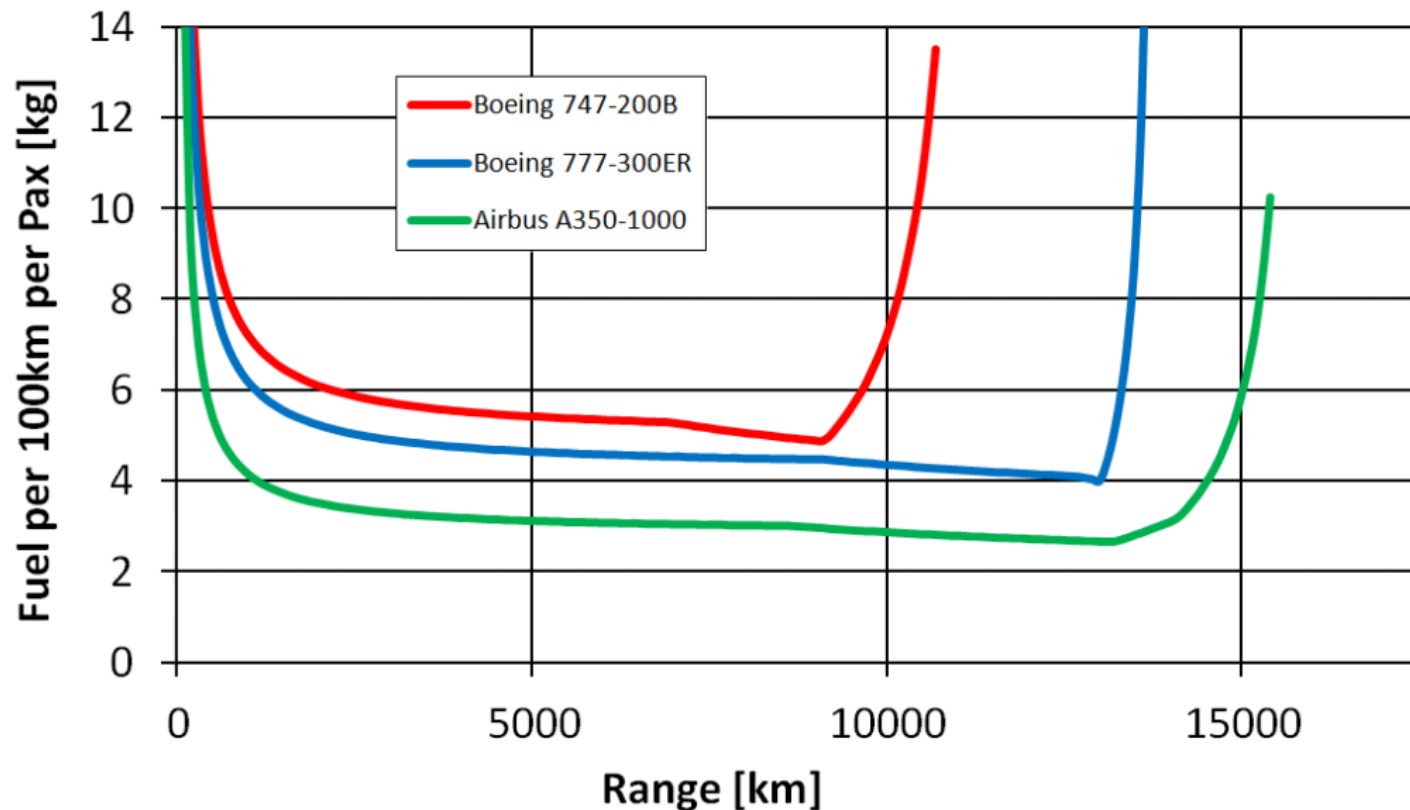
# Ökobilanz = Life Cycle Assessment (LCA)



Johanning 2014, 2016, 2017

ReCiPe Method: [https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe\\_characterisation.pdf](https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf)

## 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>

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.

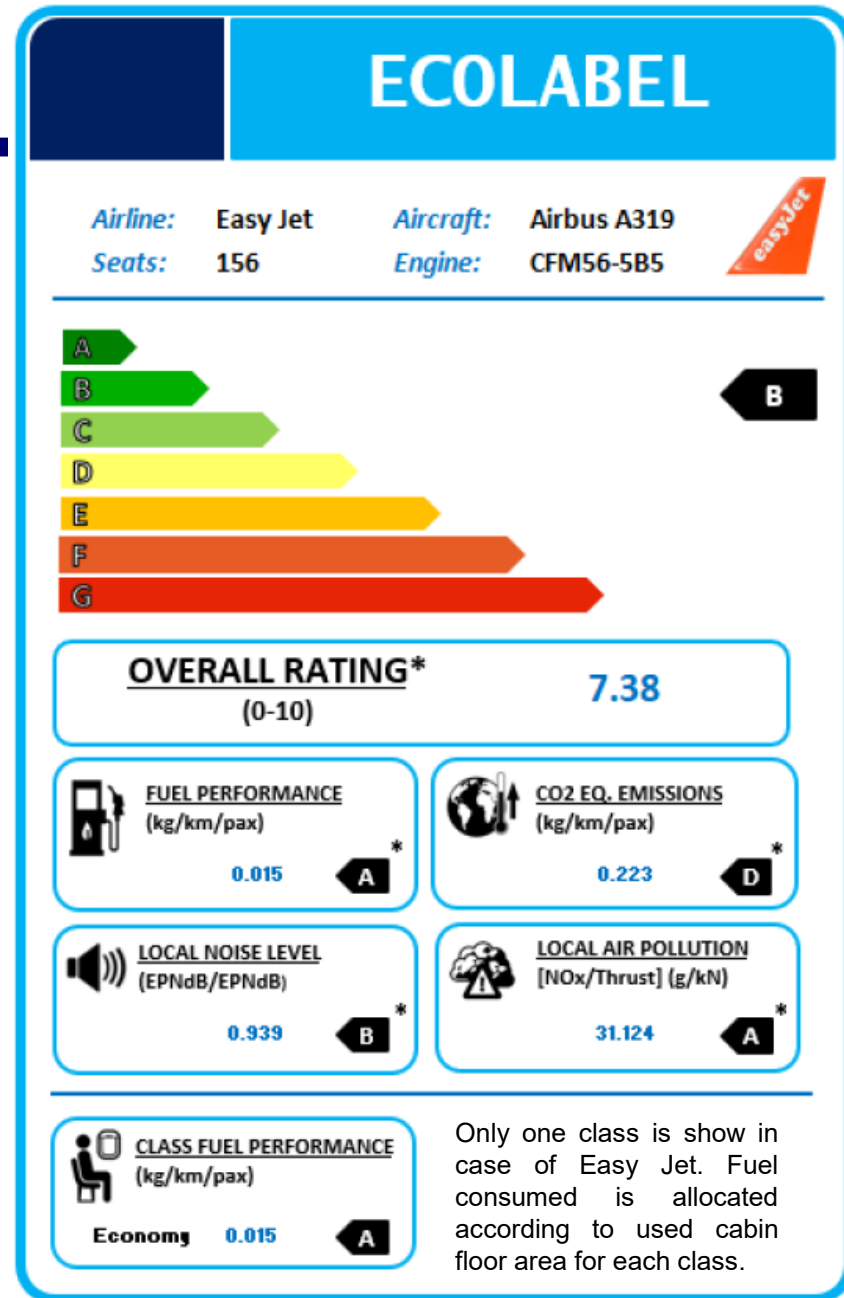
<https://youtu.be/jzl2zpoCuz0>

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

## Von der Ökobilanz zum Ökolabel

# Jedes Flugzeug einer Flugesellschaft erhält ein Ökolabel

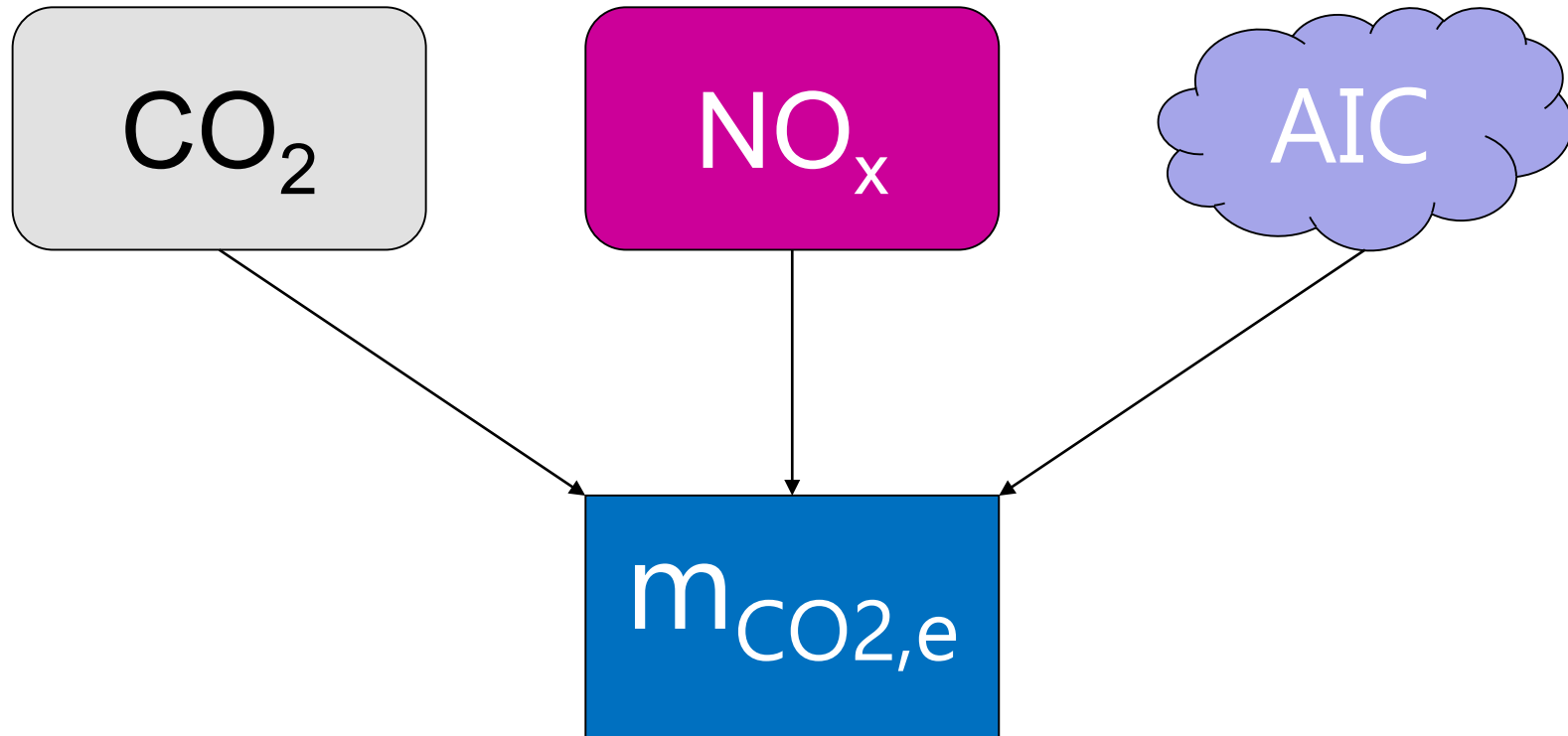
Vergleich  
aller Passagierflugzeuge  
untereinander (A bis G)



SCHOLZ, Dieter, 2017. *An Ecolabel for Aircraft*. German Aerospace Congress 2017 (DLRK 2017), Munich, Germany, 05.-07.09.2017. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4072826>

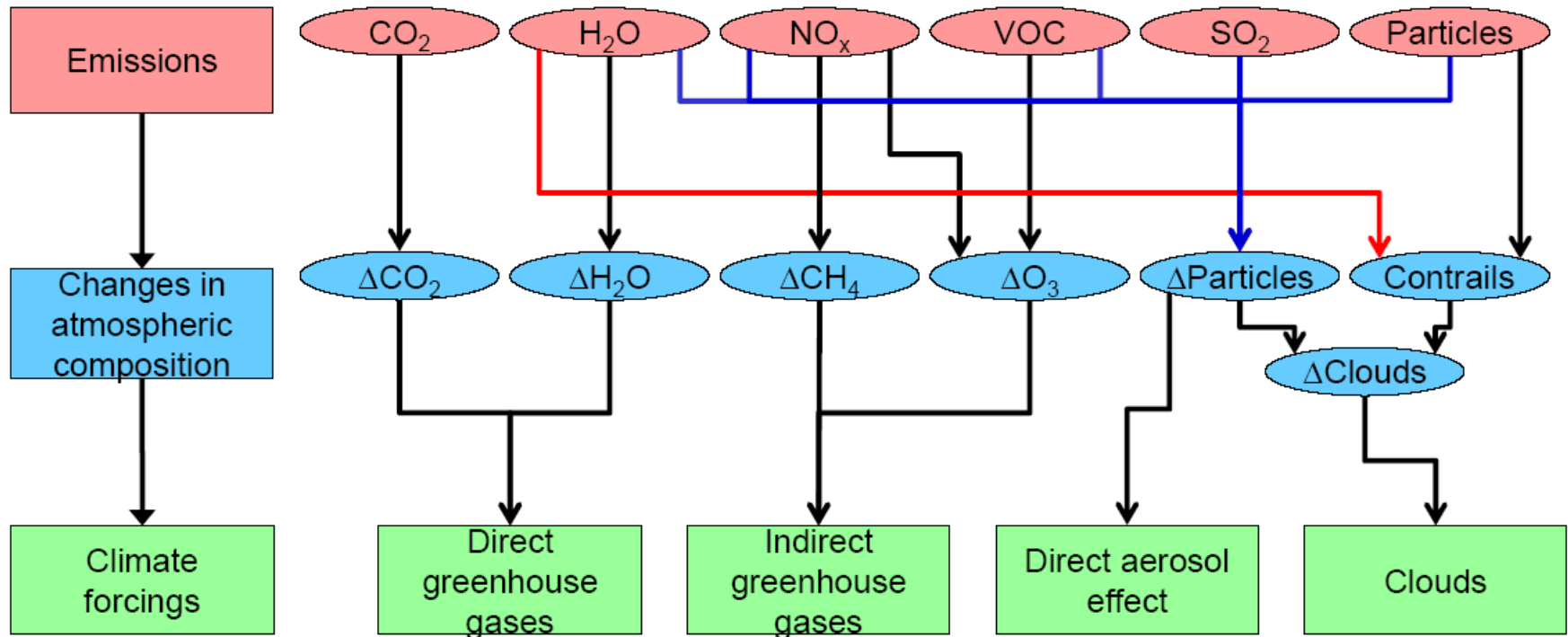


## CO<sub>2</sub> – Äquivalente



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>

## Luftfahrt Emissionen und der Klimawandel



CO<sub>2</sub>: Long term influence

Non-CO<sub>2</sub>: 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

## Billigflieger Pro & Contra – Wer hat Recht?



RYANAIR MONTHLY  
CO<sub>2</sub> EMISSIONS REPORT


March

69g

Ryanair reported an average of 69g  
CO<sub>2</sub> per passenger /km in March 2020.

## ASA Ruling on Ryanair Ltd t/a Ryanair Ltd

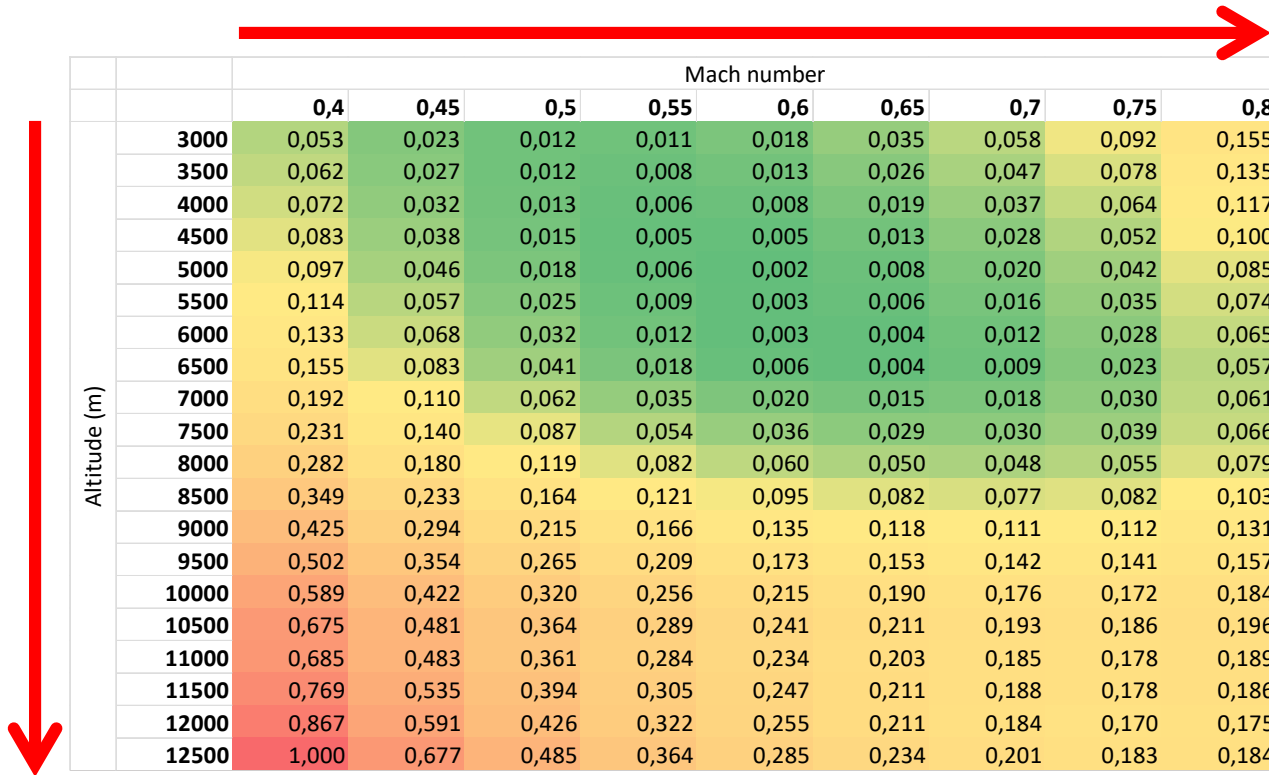
Advertising Standards Authority, UK

 Upheld | National press | 05 February 2020

**Ryanair Ltd said** the metric they used to measure CO<sub>2</sub> emissions was grams of CO<sub>2</sub> per passenger-kilometre. Five key efficiency drivers: aircraft model, **seating density**, **load factor**, freight share and distance.

<https://www.asa.org.uk/rulings/ryanair-ltd-cas-571089-p1w6b2.html>

## Positive Umweltwirkung: Tiefer fliegen!



“Neutral” mix of 50 – 50  
resource depletion and  
engine emissions

Clear altitude boundary  
from  $m_{CO2,eq}$  visible

Fuel consumption  
shape visible

Fly low and slow

Units: normalized value between 0 and 1

## Positive Umweltwirkung: Tiefer fliegen!

Changing the regular cruise altitude of an Airbus A320-200 of about 11500 m to an altitude of 6500 m at a constant Mach 0.78 would result in:

- a decrease of equivalent CO<sub>2</sub> mass of 78 % and
- an increase of fuel consumption of 5.6 %.

The increase of fuel consumption is mostly influenced by

- an increase of TSFC of 6.0 % and
- a decrease of the aerodynamic efficiency of 5.4 %.

Combining equivalent CO<sub>2</sub> mass and resource depletion (fuel consumption) into the environmental impact would result in a decrease of 70 % in environmental impact.

As the Mach number is kept constant, DOC are only effected by fuel consumption and increase by only 0.6%.

However, for the atmosphere this is an exchange of considerable less short term non-CO<sub>2</sub> warming potential versus a little more CO<sub>2</sub> long term warming potential. This exchange can be questioned, because it is not good for future generations.

# Wasserstoff (LH2)



## Airbus: "Zero-Emission" Hybrid – Wasserstoff Passagierflugzeug



"At Airbus, we have the **ambition** to develop the world's **first zero-emission commercial aircraft** by **2035**."

Statement from 2020-09-21.

**Beware! "Zero-emission" is never possible; not for aircraft, not for animals/humans (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).**

For details: SCHOLZ, Dieter, 2020. *Design of Hydrogen Passenger Aircraft – How much 'Zero-Emission' is Possible?*

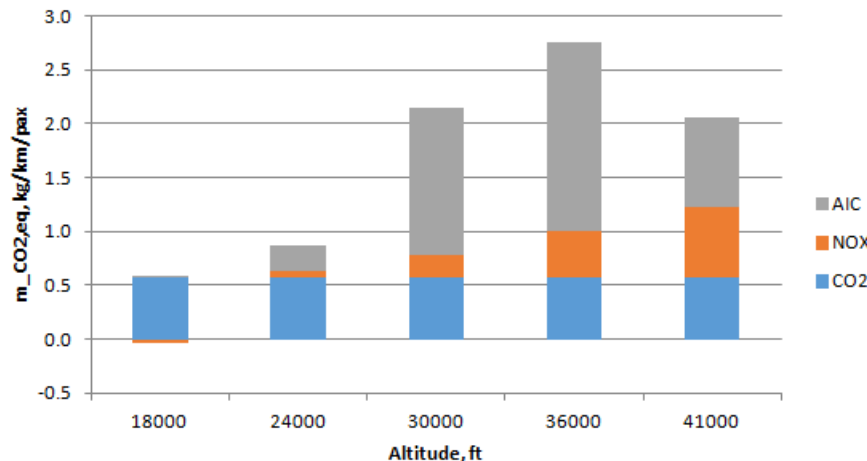
## Berechnung der Emission von Kerosin- und Wasserstoffflugzeugen – Ein Vergleich

Here **secondary effects** are applied on top of the primary effect for **contrails** due to larger ice crystals (factor 0.77) and for visible contrails (factor 0.77 assumed) leading all together to a **reduction factor** of  $0.77^2 = 0.6$ . The **same factor is assumed** for cirrus clouds. For **NOx** a factor of 0.35 is assumed due to lean combustion and low flame temperature. With that **equivalent CO2 mass is now in the order of that for kerosene propulsion**. See Excel table: <https://doi.org/10.7910/DVN/DLJUUK>

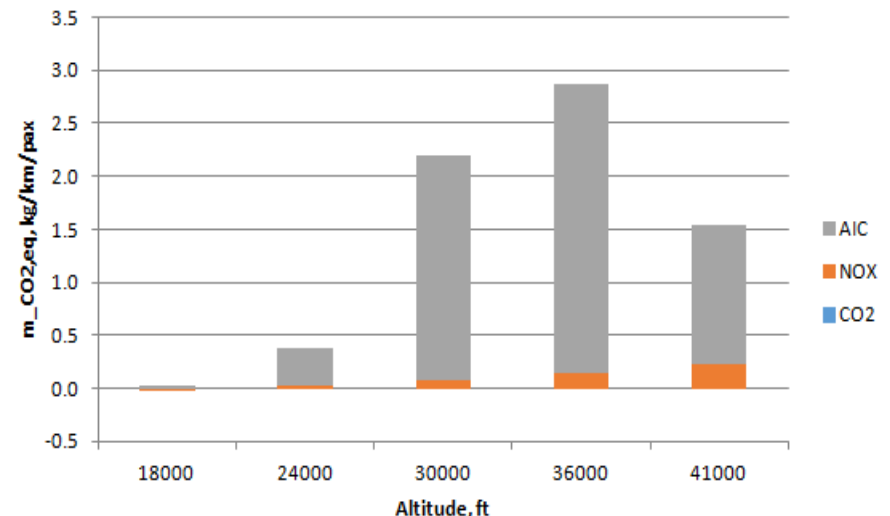
**LH2 versus kerosene aircraft** as function of altitude. **LH2 aircraft benefit at high or low altitudes** compared to kerosene aircraft.

Altitude [ft]	rel. to kero
18000	4%
24000	44%
30000	102%
36000	104%
41000	74%

**Kerosene Emissions**



**LH2 Emissions**  
primary and secondary effects assumed



## EU-Study, May 2020



<https://doi.org/10.2843/471510>  
 Archived at: <https://perma.cc/BJJ6-5L74>

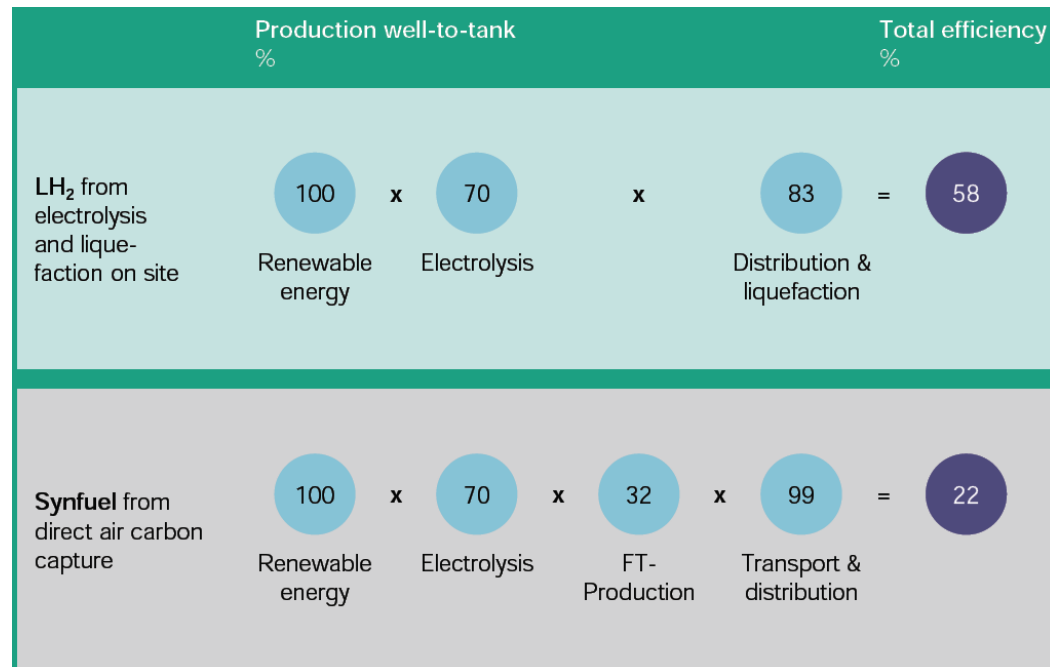
**AIRBUS** and many others

### Emissions

Average values	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Water vapor	Contrails	Total
<b>Kerosene</b>	100%	100%	10%	100%	<b>310%</b>
<b>Synfuel</b>	0%	100%	10%	75%	<b>185%</b>
<b>H<sub>2</sub> turbine</b>	0%	35%	25%	60%	<b>120%</b>
<b>H<sub>2</sub> fuel cell</b>	0%	0%	25%	30%	<b>55%</b>



### Energy / Primary Energy



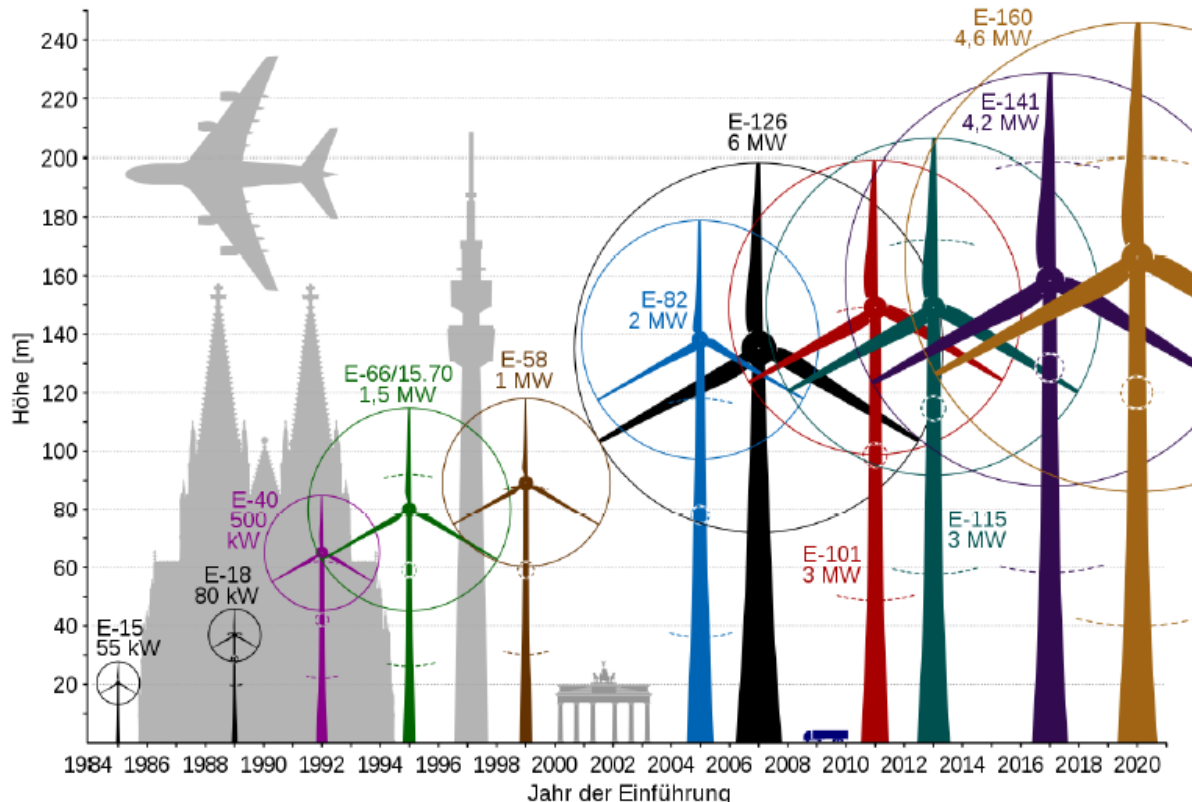
energy factor  
compared  
to **electricity**  
and **kerosene**

**1.7**  
**3.4 !!!**

**4.6**  
**9.2 !!!**

PtL:  
2.7 times  
more  
than LH<sub>2</sub>!

## Betankung eines A350 einmal pro Tag kann mit 52 großen Windrädern (je 4.6 MW) erreicht werden



### Airbus A350-900:

Kraftstoffkapazität: 138.000 L

**1x Vollarbeiten pro Tag**

entspricht

**52x E-160 4,6 MW**

(Annahmen:  $CF=50\%$ ,  $\eta_{PIL} = 0.45\%$ )

# Elektrisches Fliegen ?

## Berechnung der maximalen Reichweite beim batterie – elektrischen Fliegen

$$e_{bat} = \frac{E_{bat}}{m_{bat}} \quad L = W = m_{MTO} g \quad E = \frac{L}{D} \quad D = \frac{m_{MTO} g}{E}$$


$$P_D = DV = \frac{m_{MTO} g}{E} V = P_T = P_{bat} \eta_{prop} \eta_{elec} \quad V = \frac{R}{t}$$

$$P_{bat} = \frac{E_{bat}}{t} = m_{bat} e_{bat} \frac{V}{R}$$

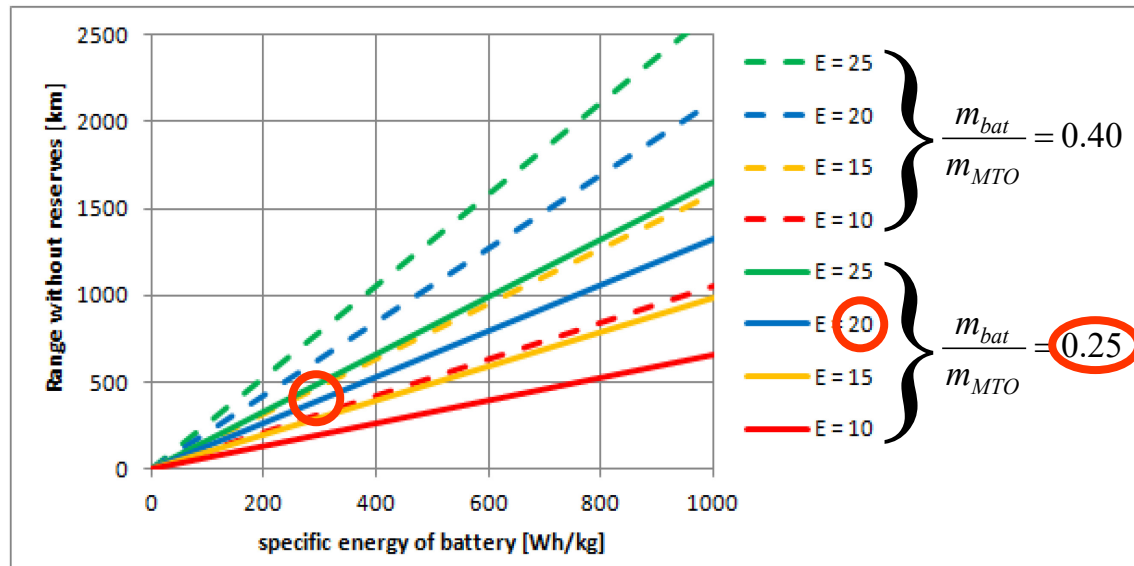
$$m_{bat} e_{bat} \frac{V}{R} \eta_{elec} \eta_{prop} = \frac{m_{MTO} g}{E} V$$

$$R = \frac{m_{bat}}{m_{MTO}} \frac{1}{g} e_{bat} \eta_{elec} \eta_{prop} E$$

$$\eta_{elec} = 0.9; \quad \eta_{prop} = 0.8$$

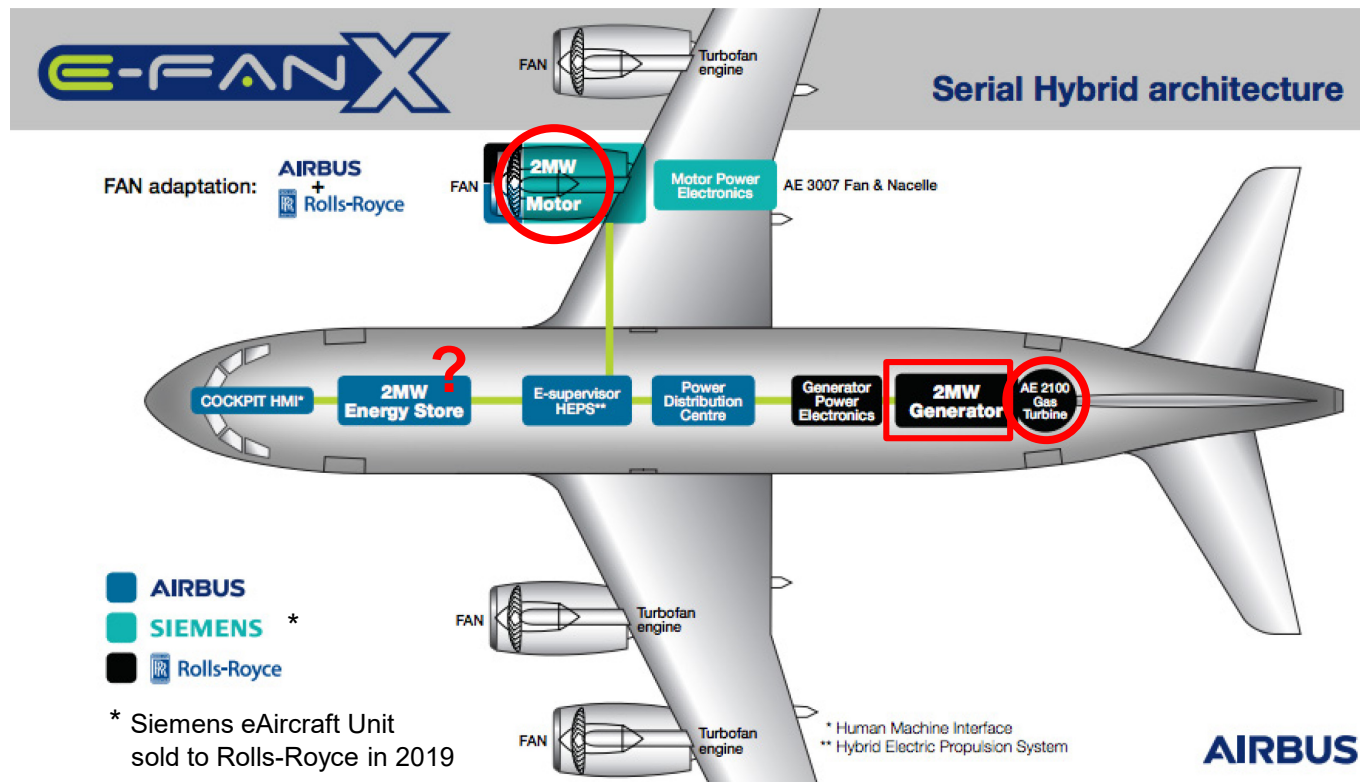
 : realistic parameters

$e_{bat}$  : specific energy  
 $E_{bat}$  : energy in battery  
 $E$  : glide ratio (aerodynamic efficiency)  
 $L$  : lift  
 $D$  : drag  
 $W$  : weight  
 $V$  : flight speed  
 $R$  : range  
 $t$  : time  
 $g$  : earth acceleration  
 $P$  : power  
 $\eta$  : efficiency (prop : propeller)





## Airbus / Rolls-Royce: E-Fan X: hybrid – elektrisches Fliegen



- Electric engines have at best the same mass as an aviation gas turbine.
- The new propulsion system (gas turbine, generator, electric motor) has **at least 3 times the mass of the original propulsion system**, which could do with only the gas turbine.

ROLLCE-ROYCE, 2017. We've Teamed up with Airbus and Siemens to Fly a Hybrid-Electric Aircraft by 2020. Twitter, 2017-11-28. Available from: <https://twitter.com/RollsRoyce/status/9354443638137622528>  
Archived at: <https://perma.cc/C26X-PLCR>

## Airbus / Rolls-Royce: E-Fan X: hybrid – elektrisches Fliegen



<https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/electric-flight.html>

Archived at: <https://perma.cc/9ZPP-ULRS>

<https://www.airbus.com/newsroom/stories/our-decarbonisation-journey-continues.html>

Archived at: <https://perma.cc/CPS5-RB94>

**For more on hybrid-electric flight see Bibliography:**

SCHOLZ 2018, <https://doi.org/10.15488/3986>

SCHOLZ 2019, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3265212>

SCHOLZ 2019, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4072283>

# Weniger Fliegen !

## 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](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

# Digitalisierung



## Digitalisierung

- **Automatischer Flug:** Autopilot & Flight Management System
- **Schutzfunktionen:** Flight Envelope Protection
- **Autonomer Flug:** VFR => IFR => Autonomous Flight Rules (AFR)
- **Flugzeugsysteme / Avionik:** Integrated Modular Avionics (IMA)
- **Wartung:** Health and Usage Monitoring Systems (HUMS),  
Predictive Maintenance
- **Airlines:** Big Data (Flugzeug- und Passagierdaten),  
Flight Performance Optimization, Multimodaler Verkehr
- **Flugzeugentwurf:** MDO, FEM, CFD, Virtual Reality (VR), ...
- **Flugzeugbau:** Industrie 4.0, Vernetzte Lieferketten,
- Automatisierung in der **Fertigung**, kollaborierender Roboter
- **Weiterbildung:** Digitales Lernen

## Zusammenfassung

- **Urban Air Mobility** ist für die Reichen. Kein Umweltvorteil, Staus bleiben.
- Kurzstrecke auf die Bahn.
- Mittelstrecke zwischen Megacities auf die Bahn.
- Für die Mittelstrecke ansonst **Propellerflugzeuge in intelligenter Auslegung**, evtl. mit **Wasserstoff**.
- Langstrecke: **Drop-In Kraftstoffe** aus erneuerbaren Energien (SAF, E-Fuel), aber: **hoher Primärenergieverbrauch**.
- Wir brauchen eine **Verbrauchsangabe** für Flugzeuge und eine Beachtung vorhandener **Ökolabel**.
- Beurteilung von Vorschlägen anhand von Ökobilanzen.
- Wir haben **in der Luftfahrt** weniger ein CO<sub>2</sub>-Problem als mehr ein **Wasserproblem** (AIC).
- Jedoch: **CO<sub>2</sub>** setzt sich **auf lange Zeiten** durch.
- **Tiefer fliegen** bringt deutliche Vorteile.
- **Batterie-elektrisches Fliegen** geht nur auf Kurzstrecke, wo es nicht benötigt wird.
- **Hybrid-elektrisches Fliegen** hat keine technischen Vorteile für Passagierflugzeuge.
- **Wasserstoff** hat den gleichen Strahlungsantrieb, **vermeidet** aber **die Ansammlung von CO<sub>2</sub>**.
- Die Luftfahrt wie sie heute (2019) existiert(e) kann mit regenerativen Energien nicht versorgt werden: **Weniger fliegen**.
- Die **Digitalisierung** ist in der Luftfahrt genauso wichtig wie in anderen Bereichen.

## Grüner Fachworkshop zum Thema Luftverkehr

### Kontakt

info@ProfScholz.de

<http://www.ProfScholz.de>  
<http://AERO.ProfScholz.de>

#### So kann das Dokument zitiert werden:

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Luftverkehr: Energie, Klima, Technik*. Grüner Fachworkshop zum Thema Luftverkehr, Online, 05.12.2020. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4312988>

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



## Grüner Fachworkshop zum Thema Luftverkehr

# Bibliographie / Literaturhinweise

### Cryoplane: Reports, Licentiate, Paper

WESTENBERGER, Andreas, 2003: *Liquid Hydrogen Fuelled Aircraft – System Analysis, CRYOPLANE*. Final Technical Report. Available from: <http://purl.org/AeroLectures/2004-02-26> (PDF)

SCHOLZ, Dieter; SEECKT, Kolja, 2010: *Schlussbericht - FH3-Projekt "Grüner Frachter"*. HAW Hamburg, Department F&F, AERO. Berichts-Nr.: GF\_WT0.1\_AB. Download: <http://GF.ProfScholz.de>

EU, 2020. *Hydrogen-Powered Aviation*. Available from: <https://doi.org/10.2843/471510>. Archived at: <https://perma.cc/BJJ6-5L74>

SEECKT, Kolja, 2010. *Conceptual Design and Investigation of Hydrogen-Fueled Regional Freighter Aircraft*. Stockholm, KTH, Licentiate Thesis in Cooperation with HAW Hamburg. Download: <http://GF.ProfScholz.de>

SEECKT, Kolja, HEINZE, Wolfgang, SCHOLZ, Dieter, 2008. The Green Freighter Project – Objectives and First Results. In: *CD Proceedings: ICAS 2008 - 26th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences including the 8th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference* (Anchorage, Alaska, USA, 14.-19.09.2008). Edinburgh, UK: Optimage Ltd. Paper: ICAS 2008-4.10.3. Download: <http://GF.ProfScholz.de>

SEECKT, Kolja, SCHOLZ, Dieter, 2009. Jet versus Prop, Hydrogen versus Kerosene for a Regional Freighter Aircraft. In: DGLR: *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2009 : Tagungsband - Ausgewählte Manuskripte* (DLRK, Aachen, 08.-10.09.2009). Download: <http://GF.ProfScholz.de>

HEINZE, W., HANSEN, L.-U., WERNER-SPATZ, C., HORST, P., 2009. *Gesamtentwurfsuntersuchungen zu BWB-Frachtflygezeugen mit alternativen Treibstoffen* (Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Aachen, 08.-10.09.2009). Download: <http://GF.ProfScholz.de>

SEECKT, Kolja, SCHOLZ, Dieter, 2010. Application of the Aircraft Preliminary Sizing Tool PreSTo to Kerosene and Liquid Hydrogen Fueled Regional Freighter Aircraft. In: DGLR: *Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2010: Tagungsband - Ausgewählte Manuskripte* (DLRK, Hamburg, 31.08.-02.09.2010). Download: <http://GF.ProfScholz.de>

SCHOLZ, Dieter, DIB, Leon, 2015. *Hydrogen as Future Fuel Used in Minimum Change Derivatives of the Airbus A321*. German Aerospace Congress 2015 (DLRK 2015), Rostock, Germany, 22.-24.09.2015. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4073172>

DIB, Leon, 2015. *The Aviation Fuel and the Passenger Aircraft for the Future – Hydrogen*. Master Thesis. HAW Hamburg. Available from: <http://Library.ProfScholz.de>

SCHOLZ, Dieter, 2020. *Design of Hydrogen Passenger Aircraft – How much 'Zero-Emission' is Possible?* Hamburg Aerospace Lecture Series, HAW Hamburg (online), 19.11.2020. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4301104>

### **Green Aviation and Aviation Ethics**

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

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

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>

### **Evaluation of Aircraft Configurations**

SCHOLZ, Dieter, 2006. *Die Blended Wing Body Flugzeugkonfiguration*. Hamburg Aerospace Lecture Series, 2006-09-28. Available from: <https://bit.ly/3leyyMr> (PDF)

JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2012. *Novel Low-Flying Propeller-Driven Aircraft Concept For Reduced Direct Operating Costs And Emissions*. In: *CD Proceedings: ICAS 2012 - 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences* (ICAS, Brisbane, 23.-28.09.2012). Edinburgh, UK: Optimage Ltd, 2012. Paper: ICAS2012-1.10.5. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

SCHOLZ, Dieter, JOHANNING, Andreas, 2014. *Smart Turboprop – A Possible A320 Successor*. 4th Symposium on Collaboration in Aircraft Design (25.-27.11.2014, Toulouse, France). Presentation. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2014. *Airport2030, AP4.1: Evolutionäre Flugzeugkonfigurationen - Schlussbericht*. HAW Hamburg, Department F&F, AERO. Berichts-Nr.: Airport2030\_AB\_Schlussbericht. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

### Hybrid-Electric Aircraft

SCHOLZ, Dieter, 2018. Evaluating Aircraft with Electric and Hybrid Propulsion. In: *UKIP Media & Events: Conference Proceedings : Electric & Hybrid Aerospace Symposium 2018* (Cologne, 08.-09.11.2018). Available from: <https://doi.org/10.15488/3986>. Available from: <http://EHA2018.ProfScholz.de> (PDF)

SCHOLZ, Dieter, 2019. *Electric and Hybrid Aviation – From Media Hype to Flight Physics*. Hamburg Aerospace Lecture Series, 2019-04-25. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3265212>

SCHOLZ, Dieter, 2019. *Limits to Principles of Electric Flight*. German Aerospace Congress 2019 (DLRK 2019), Darmstadt, 30.09.-02.10.2019. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4072283>

### 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. Download: <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, 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>

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. 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, 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>

## 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>

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>

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>



## Aircraft Design

SCHOLZ, Dieter, 2015: *Aircraft Design*, 2015. Lecture notes and more as part of "Hamburg Open Online University (HOOU)". Webpage: <http://HOOU.ProfScholz.de>

## DOC

SCHOLZ, Dieter, THORBECK, Jürgen, 2013. *TU Berlin DOC Method*. 3rd SCAD - Symposium on Collaboration in Aircraft Design, (Linköping University, 19.-20.09.2013). Hamburg: AERO, 2013. – Download: <http://reports-at-aero.ProfScholz.de>, [http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Aero/TU-Berlin\\_DOC-Method\\_with\\_remarks\\_13-09-19.pdf](http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Aero/TU-Berlin_DOC-Method_with_remarks_13-09-19.pdf)

## Further References

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: <https://doi.org/10.4024/N08CA16A.ntp.12.02>. Download: URL: <http://skybrary.aero/bookshelf/books/3594.pdf>

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

# Backup / Ergänzungen

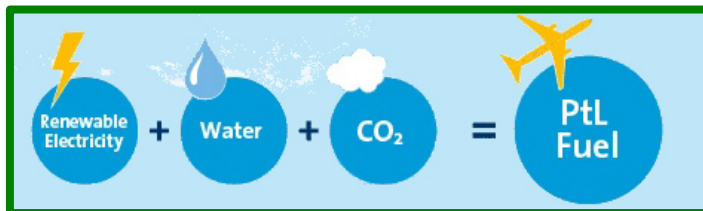
## Many Possible Energy Paths for Aviation

1. fossile fuel	=> jet engine		no future solution
2. bio fuel (algae, ...)	=> jet engine		not sustainable
3. regenerative electricity	=> aerial contact line	=> electric engine	not for aviation => <b>train!</b>
4. regenerative electricity	=> battery	=> electric engine	<b>electric</b> : very short range
5. regenerative electricity	=> LH2	=> jet engine	new infrastructure & planes but <b>2.7 times better efficiency than PtL</b>
6. regenerative electricity	=> LH2 => fuel cell	=> electric engine	see 5.; heavy
7. regenerative electricity	=> <b>PtL</b> (drop in fuel)	=> jet engine	same infrastructure & planes
8. regenerative electricity	=> PtL => GT/Gen.	=> electric engine	<b>hybrid electric</b> , heavy
9. regenerative electricity	=> PtL => GT/Pump	=> hydraulic motor	hybrid hydraulic , heavy

**PtL**: Power to Liquid

**GT**: Gasturbine;

**Gen.:** Generator

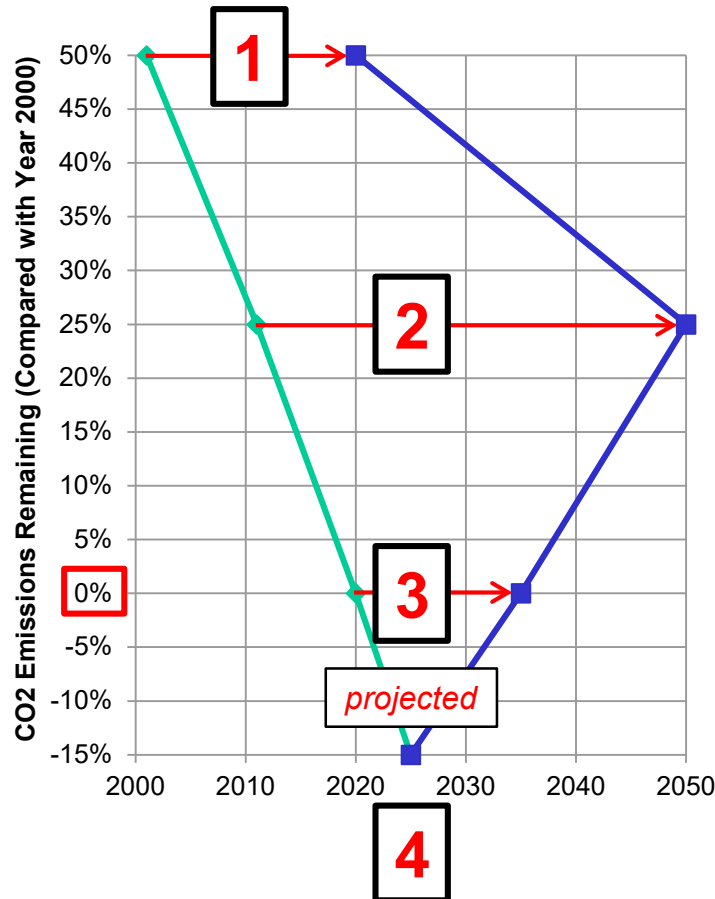


Additional conversions & major aircraft parts: **Solutions 6** (one more component) **and 8/9** (two more comp.)

## Validation of Transport Options – Are We Doing the Right Thing?

- **Physics favor trains** over aircraft (*low drag due to weight*) => less energy, less CO<sub>2</sub>. Regenerative energy via aerial contact line efficiently fed into vehicle.
- **PtL for jet/prop engines**: Regenerative energy into aircraft NOW! But: Much primary energy needed!
- **LH<sub>2</sub> for jet/prop engines**: Less efficient aircraft (40% more consumption), new or modified aircraft needed. New infrastructure needed. Not as much primary energy needed for fuel production (2.7 times less than for PtL).
- **Hybrid-electric propulsion has NO advantages for passenger aircraft.**
- **Unpredictable political environment for short range flights** => high risk investment .
- **Aircraft** are the only means of transportation **over oceans long range**.  
*Ships are too slow and hence no regular service, bridges and tunnels are limited in length.*
- **Trains** beat aircraft on **short range** (*less access time to station, less waiting time in station, ...*).
- **Trains** beat aircraft to connect **adjacent megacities over land** up to **medium range** with high volume.  
*A380 is too small and unfit, because designed for long range.*
- **Aircraft over land, if ...**
  - **long range**,
  - **short range** and no train available due to **low volume traffic**
    - aircraft need less investment into infrastructure than (high speed) trains.  
*Construction costs for high speed trains: 5 M€/km to 70 M€/km (2005, Campos 2009)*
    - alternative: **rail replacement bus service**
    - over **remote areas**, if no train is available (mountains, desserts, polar regions).

## History of "Zero Emission" – The Logic of Political Goal Setting



- 1: ACARE: Vision 2020
- 2: ACARE: Flightpath 2050
- 3: Airbus, DLR\*, ...: Zero Emission
- 4: Hypothetical, if political trend continues

\* DLR, BDLI, 2020-11-14: Zero Emission Aviation.  
 Archived at: <https://perma.cc/M5VN-HG3Z>

—●— Announced  
 —■— Achieved

### Goal setting is linked to asking for public money:

- If money came for goal #n, a goal #n+1 has to be proclaimed as the base for a new requests for more money.
- Goal #n+1 needs to surpass goal #n in terms of reduction percentage and in an ever shorter time frame for its achievement.
- Goal #n+1 is proclaimed before goal#n has been reached.



### Further reading:

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>

## EU-Study, May 2020: **Aviation's Energy Demand – Too Much**

The full global demand for LH<sub>2</sub> in aviation would require as much as 500 or 1,500 gigawatts of renewable energy capacity, depending on the scenario assumed, or about 20 or 60 percent of the total capacity of renewable energy available today.<sup>38</sup> Scaling up to this capacity would obviously raise significant planning challenges. That being said, if an energy-equivalent amount of synfuel from direct air capture were produced, it would require about three times the amount of renewable energy and one and a half times the amount of electrolysis. This is a significant drawback for synfuel, as the global energy system will already be challenged to scale up enough renewable energy to make the overall energy transition a success(as illustrated in the box on the next page.)

<https://doi.org/10.2843/471510>, Archived at: <https://perma.cc/BJJ6-5L74>

Footnote 38: Total generation capacity of renewable energy: 2351 GW (2018)

*Globally, total renewable energy generation capacity reached 2,351 GW at the end of last year – about a third of total installed electricity capacity. **Hydropower** accounts for the largest share with an installed capacity of **1,172 GW** – about half of the total. **Wind** and **solar** energy account for most of the remainder, with capacities of **564 GW** and **480 GW**, respectively. Other renewables included 121 GW of bioenergy, 13 GW of geothermal energy and 500 MW of marine energy (tide, wave and ocean energy).*

<https://www.hydroreview.com/2019/04/03/irena-reports-renewable-energy-now-accounts-for-a-third-of-global-power-capacity>  
Archived at: <https://perma.cc/YLY4-CG2R>

**Aviation's energy demand today is too high:** Minium needed all wind or solar energy available today!  
**First we need to reduce the amount of air travel.**

Then we may have a chance to power aviation with renewable energy.

## Desperately Needed: A Definition of the Aircraft's Fuel Consumption

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,  $\text{SFC}$
- aircraft speed,  $V$

**or extracted from** published **Payload Range Diagrams**



## From Energy to Approximate Emission Comparison

Type of Comparison	Kerosene	Electricity / Battery
Energy (wrong)	$E = m_F H_L$	$E = E_{bat} / \eta_{charge}$
Max. Exergy (not good)	$B_{max} = \eta_C H_L m_F$	$B_{max} = E$
Exergy (ok)	$B = \eta_{GT} H_L m_F$	$B = \eta_{EM} E$
Primary Energy (better)	$E_{prim} = 1.1 H_L m_F$	$E_{prim} = k_{PEF} E$
CO2 (without altitude effect)	$m_{CO2} = 3.15 \cdot 1.1 m_F$	$m_{CO2} = 3.15 x_{ff} E_{prim} / H_L$
Equivalent CO2 (good, simple)	$m_{CO2,eq} = m_{CO2} (k_{RFI} + 0.1)$	$m_{CO2,eq} = m_{CO2}$

$$H_L = 43 \text{ MJ/kg} \quad \eta_{charge} = 0.9$$

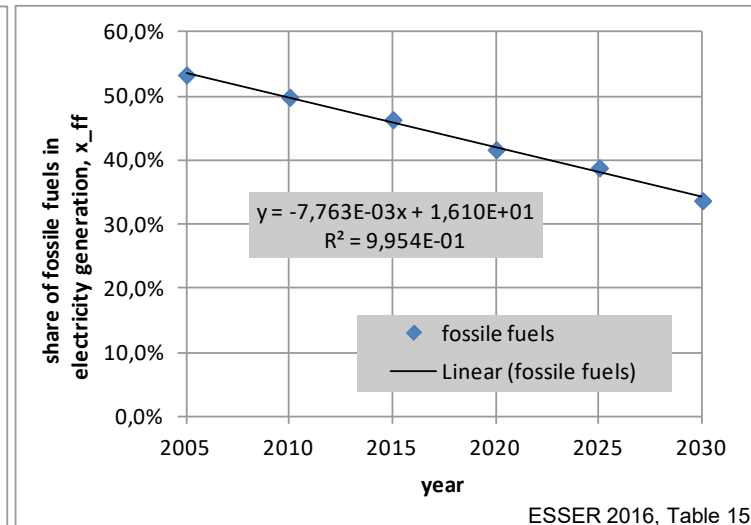
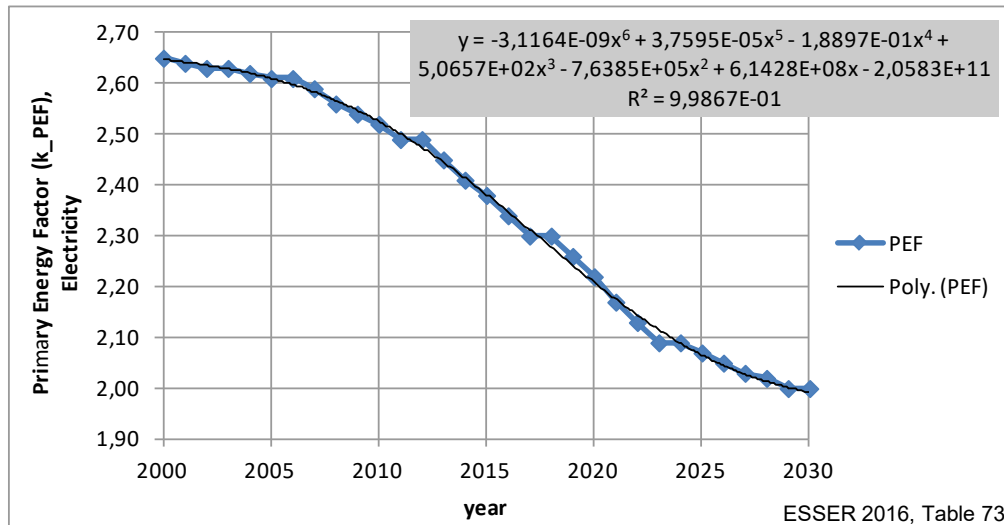
Carnot Efficiency:

$$\eta_C = 1 - T/(h) / T_{TET} = 1 - 216.65 / 1440 = 0.85$$

$$\eta_{GT} = 0.35 \quad \eta_{EM} = 0.9$$

Radiative Forcing Index :

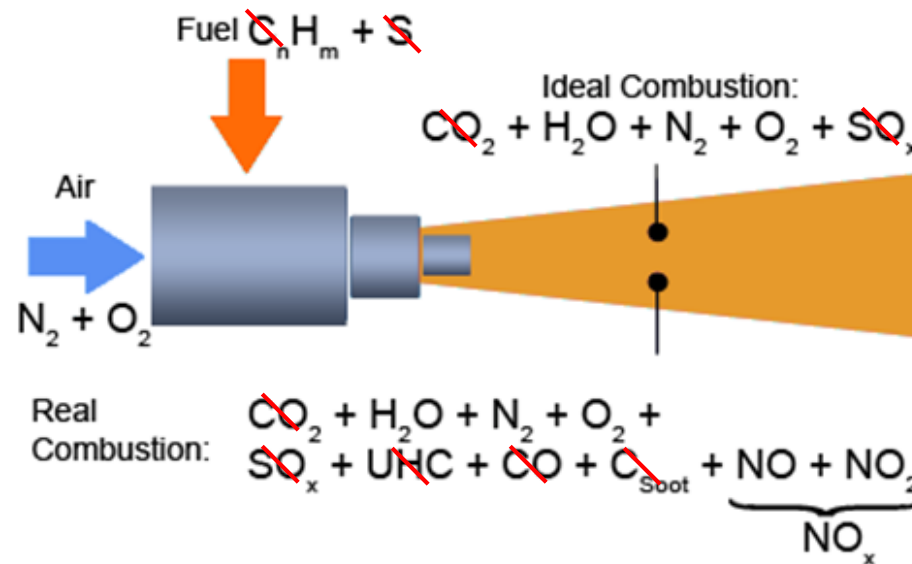
$$k_{RFI} = 2.7 \quad (1.9 \dots 4.7)$$




ESSER, Anke, SENSFUSS, Frank, 2016. *Evaluation of Primary Energy Factor Calculation Options for Electricity*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Available from: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final\\_report\\_pef\\_eed.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/final_report_pef_eed.pdf)

Archived at: <https://perma.cc/WMY7-QER4>

## Kerosene and LH2 Combustion



 not included in  
LH2 combustion

$EI_{NOx}$

**EMEP/EEA Guidebook**  
<https://www.eea.europa.eu>

$m_F$

**Own Fuel Calculation**

## Altitude-Dependent Equivalent CO2 Mass

$$m_{CO2,eq} = \frac{EI_{CO2} \cdot f_{NM}}{n_{seat}} \cdot 1 + \frac{EI_{NOx} \cdot f_{NM}}{n_{seat}} \cdot CF_{midpoint,NOx} + \frac{R_{NM}}{R_{NM} \cdot n_{seat}} \cdot CF_{midpoint,AIC}$$

### Sustained Global Temperature Potential, SGTP (similar to GWP):

$$CF_{midpoint,NOx}(h) = \frac{SGTP_{O3s,100}}{SGTP_{CO2,100}} \cdot s_{O3,S}(h) + \frac{SGTP_{O3L,100}}{SGTP_{CO2,100}} \cdot s_{O3,L}(h) + \frac{SGTP_{CH4,100}}{SGTP_{CO2,100}} \cdot s_{CH4}(h)$$

$$CF_{midpoint,cloudiness}(h) = \frac{SGTP_{contrails,100}}{SGTP_{CO2,100}} \cdot s_{contrails}(h) + \frac{SGTP_{cirrus,100}}{SGTP_{CO2,100}} \cdot s_{cirrus}(h)$$

Species	Emission Index, EI (kg/kg fuel)
CO <sub>2</sub>	3,15
H <sub>2</sub> O	1,23
SO <sub>2</sub>	2,00 · 10 <sup>-4</sup>
Soot	4,00 · 10 <sup>-5</sup>

Species	SGTP <sub>i,100</sub>
CO <sub>2</sub> (K/kg CO <sub>2</sub> )	3,58 · 10 <sup>-14</sup>
Short O <sub>3</sub> (K/kg NO <sub>x</sub> )	7,97 · 10 <sup>-12</sup>
Long O <sub>3</sub> (K/NO <sub>x</sub> )	-9,14 · 10 <sup>-13</sup>
CH <sub>4</sub> (K/kg NO <sub>x</sub> )	-3,90 · 10 <sup>-12</sup>
Contrails (K/NM)	2,54 · 10 <sup>-13</sup>
Contrails (K/km)	1,37 · 10 <sup>-13</sup>
Cirrus (K/NM)	7,63 · 10 <sup>-13</sup>
Cirrus (K/km)	4,12 · 10 <sup>-13</sup>

*EI* emission index  
*f<sub>NM</sub>* fuel consumption per NM or km  
*R<sub>NM</sub>* range in NM or km  
*CF* characterization factor

**Cirrus/Contrails = 3.0**

water vapor not considered

AIC aviation-induced cloudiness

$$s_{O3,L}(h) = s_{CH4}(h)$$

$$s_{contrails}(h) = s_{cirrus}(h) = s_{AIC}(h)$$

## Altitude-Dependent Equivalent CO2 Mass

$$m_{CO2,eq} = \frac{EI_{CO2} \cdot f_{NM}}{n_{seat}} \cdot 1 + \frac{EI_{NOx} \cdot f_{NM}}{n_{seat}} \cdot CF_{midpoint,NOx} + \frac{R_{NM}}{R_{NM} \cdot n_{seat}} \cdot CF_{midpoint,AIC}$$

↓ units only

$$\frac{kg\ CO2}{NM \cdot n_{seat}} =$$

$$\frac{kg\ CO2/kg\ fuel \cdot kg\ fuel/NM}{n_{seat}} \cdot 1 + \frac{kg\ NOx/kg\ fuel \cdot kg\ fuel/NM}{n_{seat}} \cdot \frac{kg\ CO2}{kg\ NOx} + \frac{NM}{NM \cdot n_{seat}} \cdot \frac{kg\ CO2}{NM}$$

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>

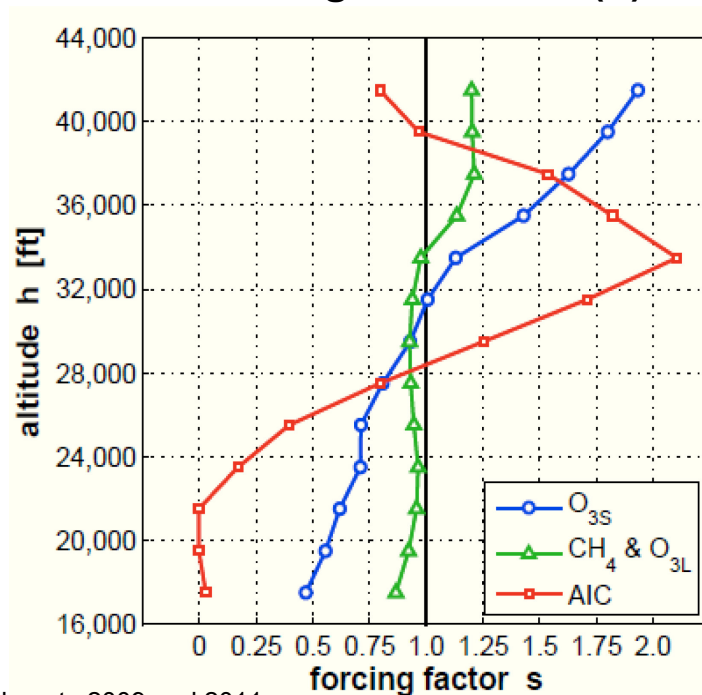
JOHANNING, Andreas, SCHOLZ, Dieter, 2014. *Adapting Life Cycle Impact Assessment Methods for Application in Aircraft Design*.  
German Aerospace Congress 2014 (DLRK 2014), Augsburg, 16.-18.09.2014.  
Available from: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-201507202456>. Download: <http://Airport2030.ProfScholz.de>

## Altitude-Dependent Equivalent CO2 Mass

E.g.: 
$$CF_{midpoint, cloudiness}(h) = \frac{SGTP_{contrails, 100}}{SGTP_{CO_2, 100}} \cdot s_{contrails}(h) + \frac{SGTP_{cirrus, 100}}{SGTP_{CO_2, 100}} \cdot s_{cirrus}(h)$$

$$s_{contrails}(h) = s_{cirrus}(h) = s_{AIC}(h)$$

### Forcing Factor $s = f(h)$



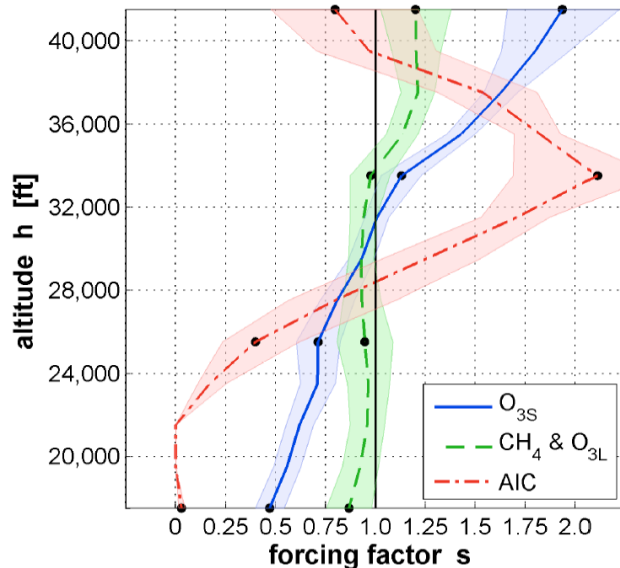
Schwartz 2009 and 2011

- The curves go along with the ICAO Standard Atmosphere (ISA) [applicable for average latitudes](#). With a first approximation, the curves could be adapted to other latitudes by stretching and shrinking them proportionally to the altitude of the tropopause.
- The curves from SVENSSON 2004 (Fig. 1) show similar shapes. However, the importance of AIC is not yet as distinct.

SVENSSON, Fredrik, HASSELROT, Anders, MOLDANOVA, Jana, 2004. Reduced Environmental Impact by Lowered Cruise Altitude for Liquid Hydrogen-Fuelled Aircraft. In: *Aerospace Science and Technology*, Vol. 8 (2004), Nr. 4, pp. 307–320. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2004.02.004>

## Altitude-Dependent Equivalent CO2 Mass

### Forcing Factor $s = f(h)$



Forcing factors (lines) with **66% likelihood ranges** (shaded areas). Altitudes with forcing factors based on radiative forcing data with independent probability distributions. (SCHWARTZ 2011)

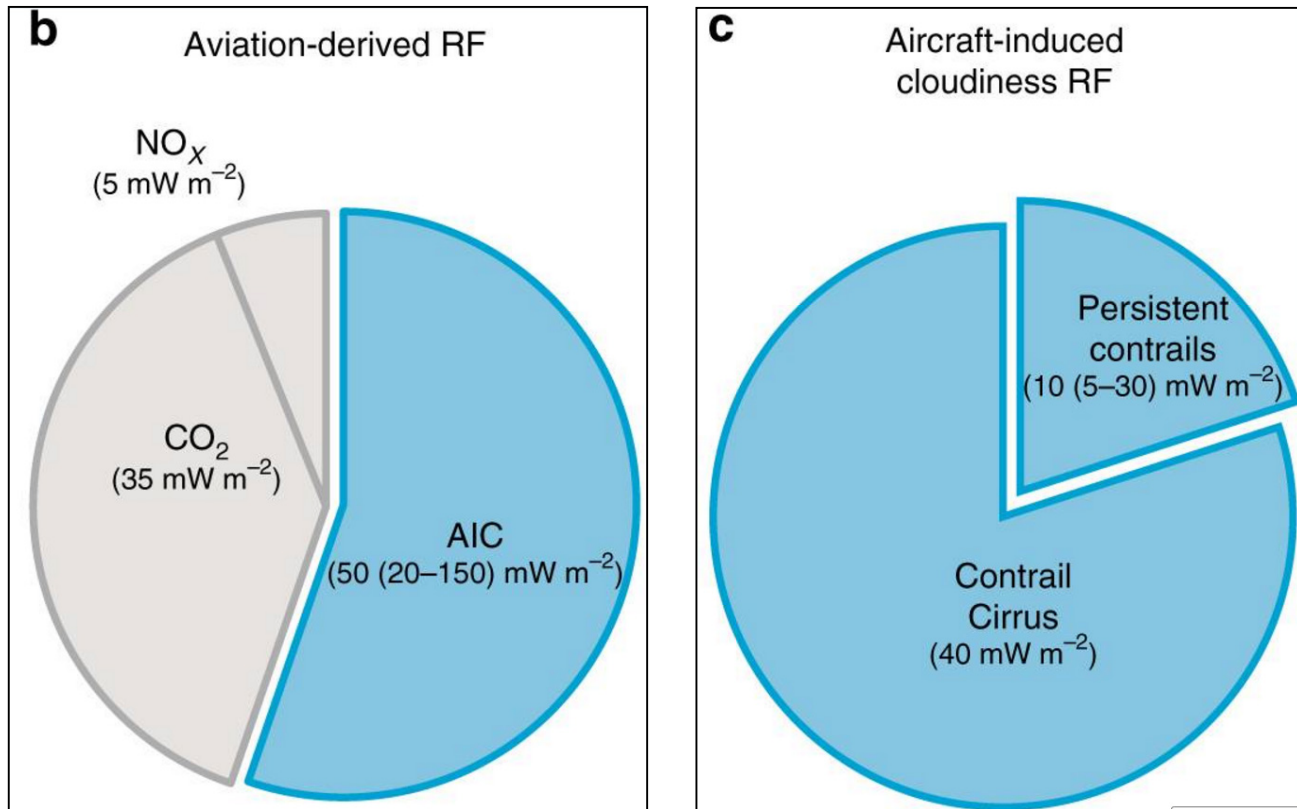
Based on KÖHLER 2008 and RÄDEL 2008.

SCHWARTZ DALLARA, Emily, 2011. *Aircraft Design for Reduced Climate Impact*. Dissertation. Stanford University. Available from: <http://purl.stanford.edu/yf499mg3300>

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>

## Aviation-Induced Cloudiness: Contrail Cirrus & Persistent Contrails



**Cirrus/Contrails = 4.0**

- (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>



## **Saving the World Starts in Our Mind: Video "The Bill"**

Watch "The Bill", a short video (4:21).

The video may make you think about how we live and what (how much flying) we really need.

<https://youtu.be/EmirohM3hac> (German)

<https://youtu.be/rWfb0VMCQHE> (English Subtitles)

