



Flyget, miljön och tekniken

Tomas Grönstedt, 2020-12-03



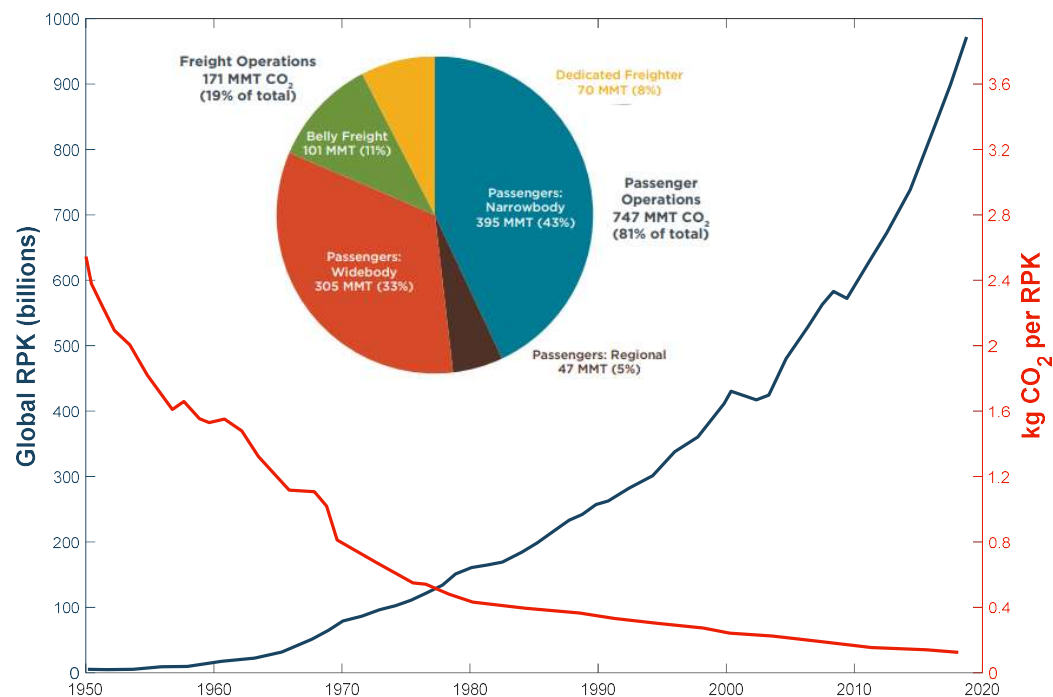
S A R C

Miljöbelastning

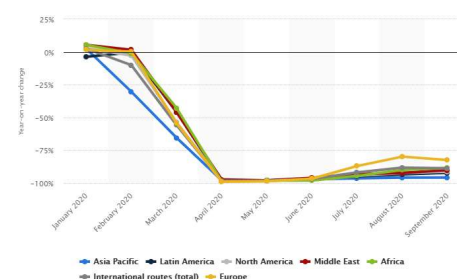
- CO₂ utsläpp från flygande uppgick 2018 till ca 918 miljoner ton.
 - <https://theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>
- Detta motsvara ca 2.4% av de totala utsläppen
- Flygets miljöpåverkan är större pga andra växthusgaser
- Utsläppen (kg CO₂ / RPK) har minskat med en faktor 20 sen 1950, en faktor 11 sen 1960
- Snittutsläppen är 0.125 kg CO₂ / RPK men kan nå så lågt som 0.05 kg CO₂ / RPK

Tidsperiod	Passagerarkilometrar	CO ₂ -genering flyg
1971-1979	11.0%	1.18%
1980-1989	5.6%	3.84%
1990-1999	4.4%	2.67%
2000-2009	4.0%	1.12%
1971-2011	6.2%	2.26%

ISSN 1653-0942
978-91-86673-57-4
Riksdagstryckeriet, Stockholm, 2014



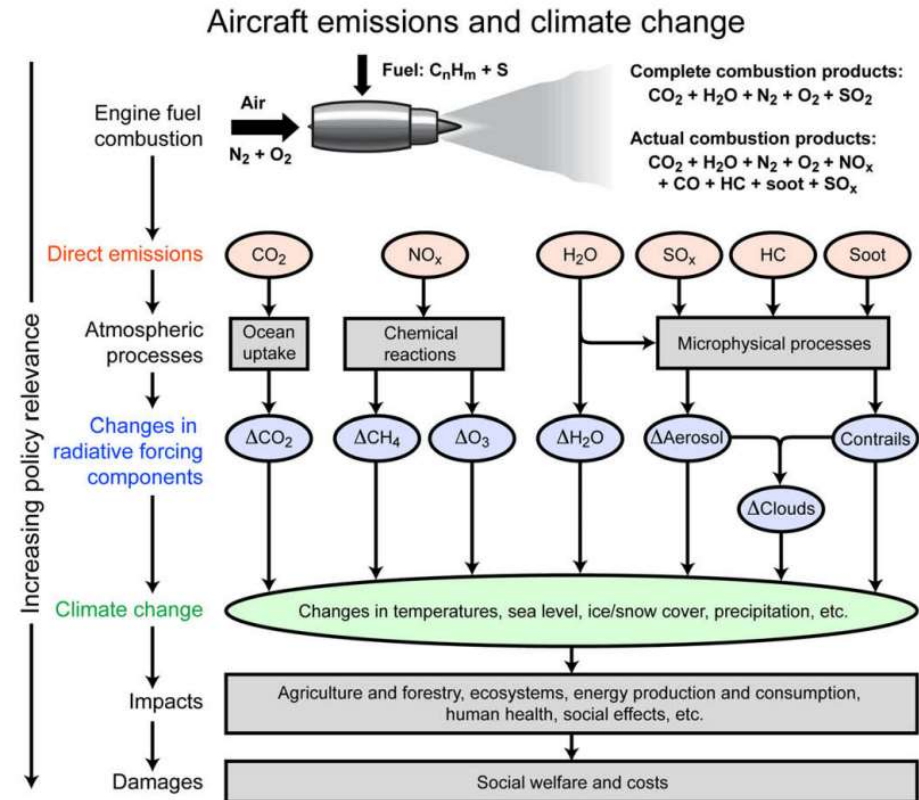
Lee et al, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>



2020-12-03

Inte bara CO₂

- Förutom CO₂ dominerar effekter av vatten genom kondensationsstrimmor och molnbildning



Lee et al, 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>

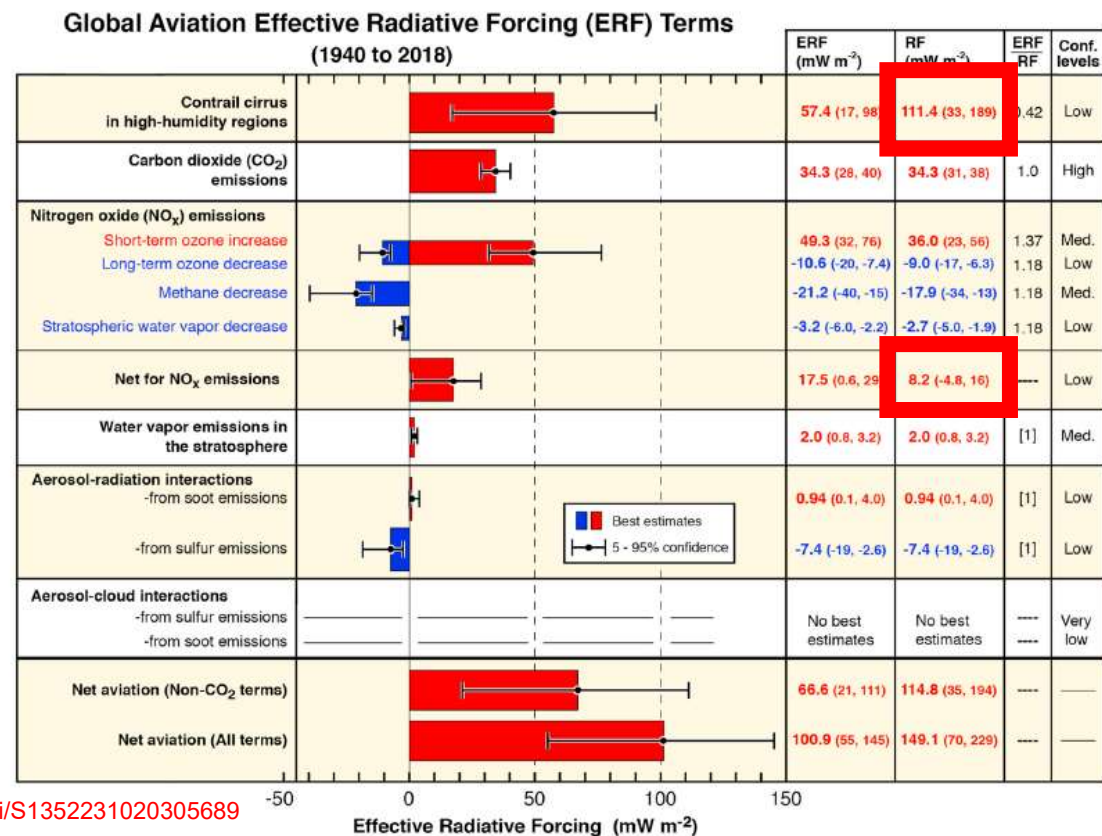
Vad blir det för utsläpp



- Förutom CO₂ har vi:

- NO_x
- Contrail cirrus

- ERF = Effective radiative forcing



Lee et al, 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>

Våra barnbarn är bara intresserade av koldioxiden

- Tittar man på vilken temperaturökning ett flyg i dag orsakar om hundra år blir det totala bidraget bara cirka 10 procent högre än om man bara beaktar koldioxid.

DN Debatt

DN Debatt. *”Koldioxiden är flygets stora klimatpåverkande faktor”*



PUBLICERAD 2014-06-30

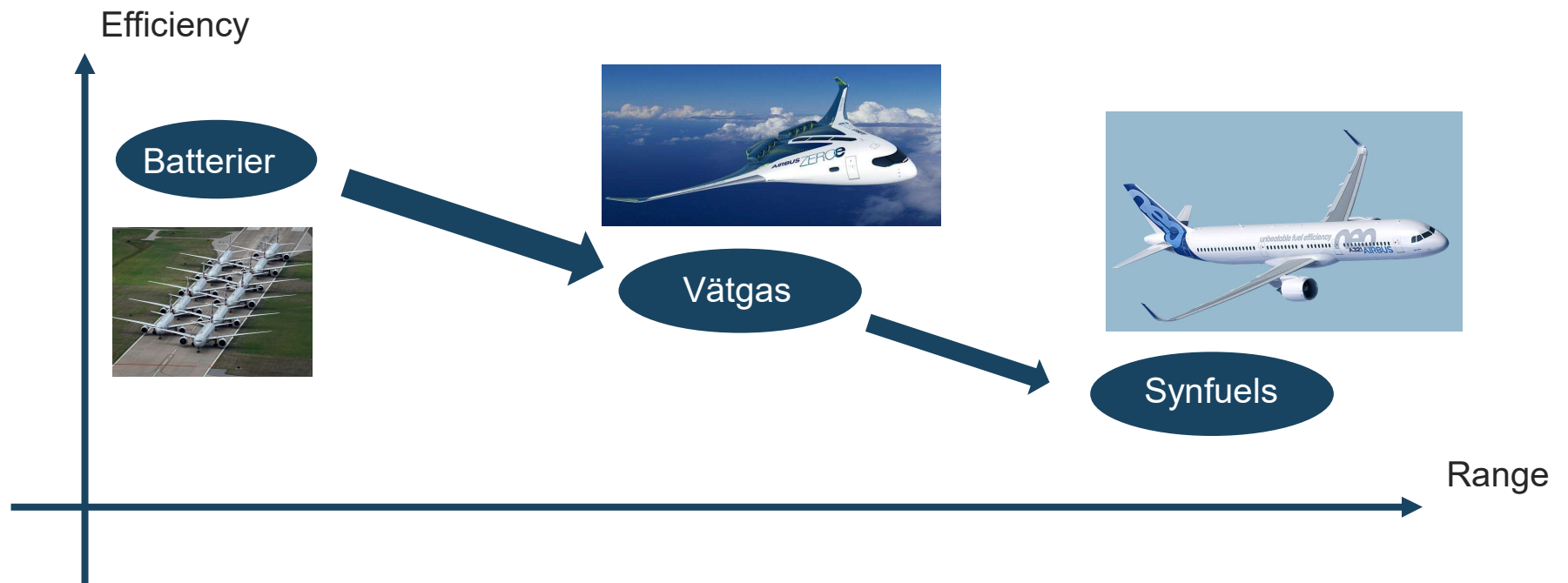
Det är inte korrekt att påstå att andra faktorer än koldioxid står för flygets stora klimatpåverkan. Långsiktigt är det koldioxiden som dominerar. Om flyget gick på biobränslen skulle alltså flyget radikalt minska sin klimatpåverkan, skriver professor Christian Azar och docent Daniel Johansson.



Läs senare



Får vi ett bränslebyte?



Batterier

- Round-trip-efficiencies för batterier är höga
- Underhållskostnader för elflyg borde bli avsevärt lägre än för konventionell turboprop
- Inte troligt att man får räckvidder mer än några 10-tals mil fram till 2030 i alla fall
- Borde gå att köra på ca 500 kWh/kg
- Kanske möjligt med en ATR-72 till 2050
- Svårt med marknad:
 - Upphandling kräver ett trovärdigt nätverk

ES19,
Heart
Aerospace

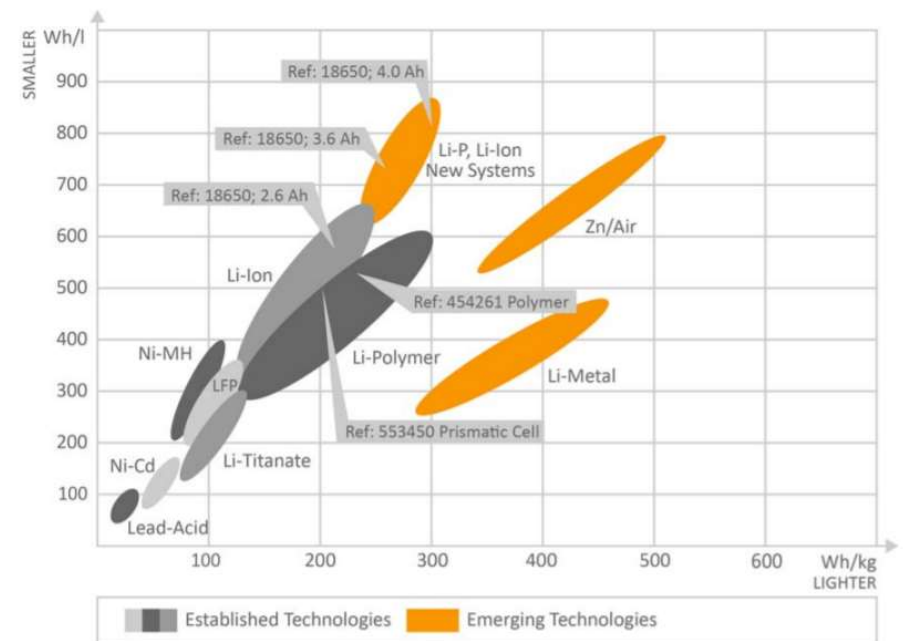


Abbildung 3: Vergleich der volumetrischen und gravimetrischen Energiedichten etablierter (grau) als auch künftiger (orange) Materialsysteme mit Referenzzellen verschiedener Bauformen (18650 = Rundzelle mit 18 mm Durchmesser und 65 mm Höhe)²²

Vem ska utveckla batterierna?

Table 1. - Battery requirements for future Battery Electric Vehicle (BEV) applications

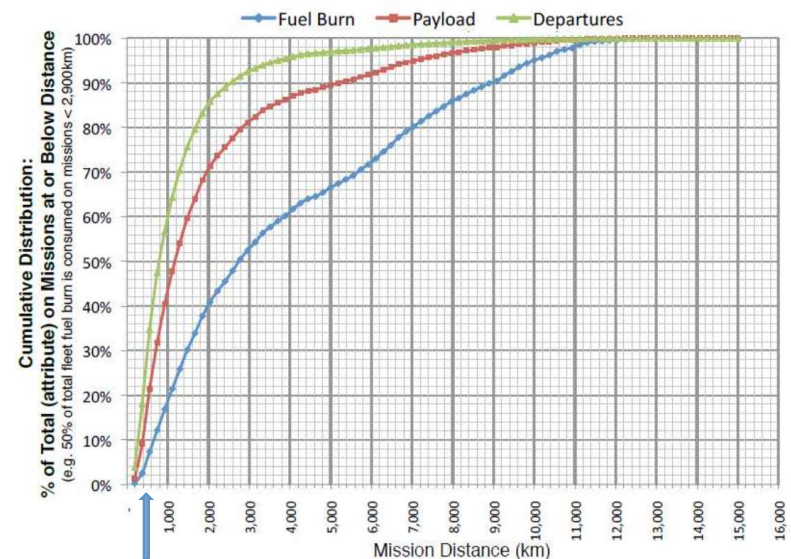
BEV - Parameter at CELL level	Unit	Condition	State of the art 2019 (approximate average values)	Target 2030 Mass market PC low range ~400km	Target 2030 Mass Market PC high range >600km	Target 2030 Mass market Commercial HDV
Specific energy	Wh/kg	@ 1/3C charge and discharge at 25°C (charging with CC and CV step)	~250	450	450	450
Energy density	Wh/l	@ 1/3C charge and discharge at 25°C (charging with CC and CV step)	~500	1000	1000	1000
Continuous specific power - discharge	W/kg	180s, SOC100%-10%, 25°C	750	1000	1000	1000
Continuous power density - discharge	W/l	180s, SOC100%-10%, 25°C	1500	2200	2200	2200
Peak specific power PC - discharge	W/kg	10s, SOC50%, 25°C / -25°C (PC)	1500/500	1800 / 600	1800 / 600	1350 / - due to performance
Peak specific power CV - discharge		60s, SOC50%, 25°C / -25°C (HDV)				
Peak power density PC - discharge	W/l	10s, SOC50%, 25°C / -25°C	3000/1000	4000 / 1300	4000 / 1300	3000 / -
Peak power density CV - discharge		60s, SOC50%, 25°C / -25°C				
Charging rate	C (1/h)	SOC 0%-80%	3	3.5	3.5	3
Self discharge	%	SOC100%, 25°C, 30 days	1	1	1	1
Cycle lifetime WLTP for cars	Energy throughput MWh	25°C, DOD90% until SOH80%	~20	22 to 24	22 to 24	N/A
Cycle lifetime for truck / bus						
Hazard level	EUCAR safety levels		<=4	<=4	<=4	<=4
Cost	€ / kWh		220	70	70	70

Elflygets framväxt kan inte i huvudsak drivas av miljöhänsyn



- En liten del av flygets utsläpp kommer från korta distanser
- Elflyget kan utvecklas från t.ex. air-taxi & en successiv förbättring av batteriteknologi

Yutko, Hansman



Hybrider

- Luftmotstånd från flygplan beror av densiteter
- Dragkraften samvarierar
- Motorn arbetar vid hög verkningsgrad under nästan hela flygningen
 - Över 50% termisk verkningsgrad
 - Medelverkningsgrad för förbränningsmotorer i personbil är kanske 20%, pga bla mer varierad körcykel

JOURNAL OF PROPULSION AND POWER
Vol. 35, No. 3, May–June 2019

Considerations for Reducing Aviation's CO₂ with Aircraft Electric Propulsion

Alan H. Epstein* and Steven M. O'Flarity[†]
Pratt & Whitney, East Hartford, Connecticut 06118

DOI: 10.2514/1.B37015

The reduction of aviation's CO₂ emissions is a major objective of the aviation industry. About 98% of the world's aviation CO₂ is produced by aircraft with gross takeoff mass above 25 metric tonnes, referred to herein as airliners. Propulsion of such aircraft can require power and energy levels of tens of megawatts and hundreds of thousands of kilowatt hours per flight. The challenges to electrically powering these airliners are examined in the context of CO₂ reduction. Additional possible benefits such as noise and cost reduction are explored. All electric (battery), hybrid, and turboelectric approaches are considered. Technical issues including weight, efficiency, and heat rejection are examined. In addition, economic and policy implications of an industry conversion to electric propulsion are discussed. The conclusion of this study is that electric propulsion is not a promising path to significant reduction of aviation's CO₂ in the first half of the 21st century.

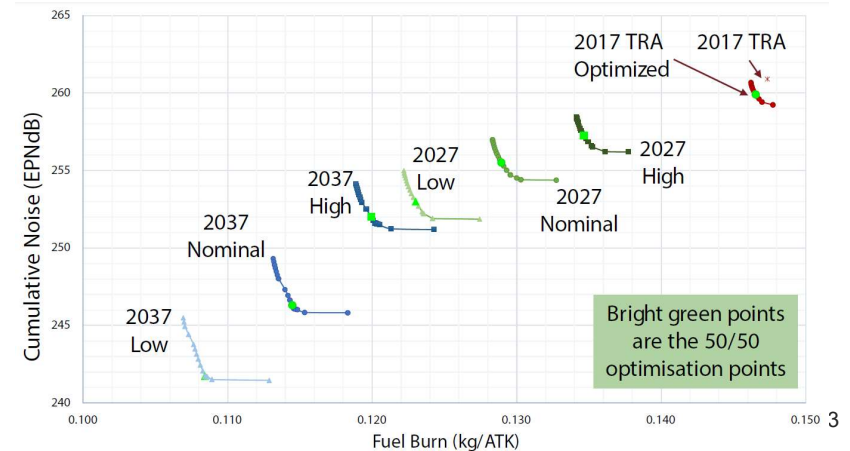
Aviation and the Environment: Outlook

By Prof. Nick Cumpsty (Imperial College, London), Prof. Dimitri Mavris (Georgia Tech University) and Dr. Michelle Kirby (Georgia Tech University)

The authors would like to acknowledge the invaluable contribution of the Independent Expert Panel: Juan Alonso (ICSA), Fernando Catalano (Brazil), Nick Cumpsty (UK) Co-chair, Chris Evers (EC), Marius Goutines (France), Tomas Grönstedt (Sweden), Jim Hileman (USA), Alain Joselzon (France), Iurii Khaletskii (Russia), Dimitri Mavris (USA) Co-chair, Frank Ogilvie (UK), Malcolm Ralph (UK), Jayant Sabnis (USA), Richard Wahls (USA), David Zingg (Canada).

- Nytt medeldistansflygplan 2028 (N1)
- Nästa generation kanske 2037 (N2)
 - Både lång och medeldistans
- Svårt att se att det går att klämma ur fler än två generationer flygplan med turbofläkt och "tube-and-wing"

Single aisle



ICAO report

- Det är väldigt ineffektivt att flyga långa sträckor
- Korta ned design range =>
 - FB/ATK -34%
 - Seata tätt!
- Vad tror ni händer med ett bränsle som har låg energitäthet?

Twin aisle aircraft	Design ranges	Fuel burn / ATK
Design range	8100 nm	0.190
Reduced design range	5900 nm	0.126



Tomas Grönstedt

Professor at Chalmers University of Technology

2mo

...

Kompletterande perspektiv om flyget, miljön och AB Sverige på debattplats i DN i morse.

<https://lnkd.in/e6c7ZK3>



"Mellanlandning kan halvera utsläppen från Thailandsresa" - DN.SE
dn.se

Möjliga bränslescenarier

Generationer	Vätgas	Electrofuel
2028 (N1)	Vätgasdemonstrator + ny single aisle	Vätgasdemonstrator + ny single aisle
2035 (N2)	Nytt vätgasdrivet medeldistansflygplan + konventionell twin aisle	Ny single aisle + twin aisle
2045 (N3)	Ny förbättrat vätgasteknik + bättre flygplan	Ny radikal teknik.

- Tror man försöker pressa räckvidderna uppåt
- Minst 350 mil men troligen mer.



Medeldistansflygplan



Exhibit 9 Medium-range aircraft powered by H₂ turbines Evolutionary aircraft

Design mission: 250 PAX, 7,000 km range, cruise speed Mach 0.82

- 2 LH₂ tanks in front and back of PAX cabin - added weight: 29 tons
- H₂ turbines generating propulsion power



Energy demand ¹	 +22%
CO ₂ reduction	 100%
Climate impact reduction	 50-60%
Additional cost	 30-40% CASK ²
Entry into service	 20 years
Propulsion power	 H ₂ turbine
MTOW ³	 +12%

- Ger väldigt stor miljönytta
- Turboprop (lägre fart & kortare räckvidd) är ett alternativ om teknikutvecklingen går dåligt. 700 mil för vätgas är väldigt långt.
- Contrail avoidance krävs

1. Major assumptions: 37% gravimetric index of LH₂ tank, 92% useable LH₂ fuel, 47% H₂ turbine cruise efficiency, 80% fan efficiency
2. Cost per available seat kilometer
3. Maximum take off weight

³² The gravimetric index of a tank is calculated by dividing the mass of the stored hydrogen by the sum of the mass of the stored hydrogen and the empty tank weight. A gravimetric index of 50 percent means that the empty tank is as heavy as the stored hydrogen.

³³ Guynn et al. (2004), Marino et al. (2015)

Vad behövs för vätgasen



Här visades bild 32 ifrån presentationen:

Latest developments in the Emerging Hydrogen Economy:

<https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/108370/Tim%20Lindsey%20The%20Emerging%20Hydrogen%20Economy%20September%2010%2C%202020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY