

# ELFLYG

*Ett omvälvande teknikskifte!*



**Mauritz Andersson**  
Uppsala universitet  
Elektricitetslära

KSAK, 24 mars 2019

# ELISE

## Elektrisk Luftransport i Sverige



# ELISE – mål

Vad? Eldrivet regionalflyg.

Varför? Hållbara transporter.

Hur? Samverkan och kompetens.

Flyg kan vara energi- och resurseffektivt!



**1** INGEN  
FATTIGDOM



**2** INGEN  
HUNGER



**3** GOD HÄLSA OCH  
VÄLBEFINNANDE



**4** GOD UTBILDNING  
FÖR ALLA



**5** JÄMSTÄLLDHET



**6** RENT VATTEN OCH  
SANITET FÖR ALLA



**7** HÅLLBAR ENERGI  
FÖR ALLA



**8** ANSTÄNDIGA  
ARBETSVILLKOR  
OCH EKONOMISK  
TILLVÄXT



**9** HÅLLBAR INDUSTRI,  
INNOVATIONER OCH  
INFRASTRUKTUR



**10** MINSKAD  
DJÄMLIKHET



**11** HÅLLbara STÄDER  
OCH SAMHÄLLEN



**12** HÅLLBAR  
KONSUMTION OCH  
PRODUKTION



**13** BEKÄMPA KLIMAT-  
FÖRÄNDRINGARNA



**14** HAV OCH MARINA  
RESURSER



**15** EKOSystem OCH  
BIOLOGISK  
MÅNGFAID



**16** FREDLIGA OCH  
INKLUDERANDE  
SAMHÄLLEN



**17** GENOMFÖRANDE  
OCH GLOBALT  
PARTERSKAP



  
**GLOBALA MÅLEN**  
för hållbar utveckling

**13** BEKÄMPA KLIMAT-  
FÖRÄNDRINGARNA



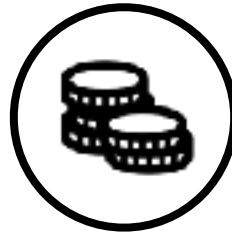
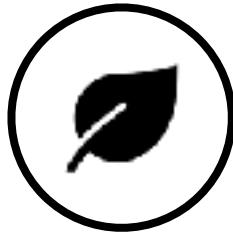
**9** HÅLLBAR INDUSTRI,  
INNOVATIONER OCH  
INFRASTRUKTUR



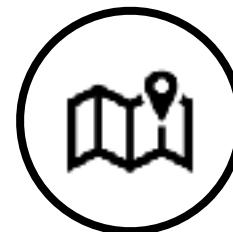
**11** HÅLLBARA STÄDER  
OCH SAMHÄLLEN



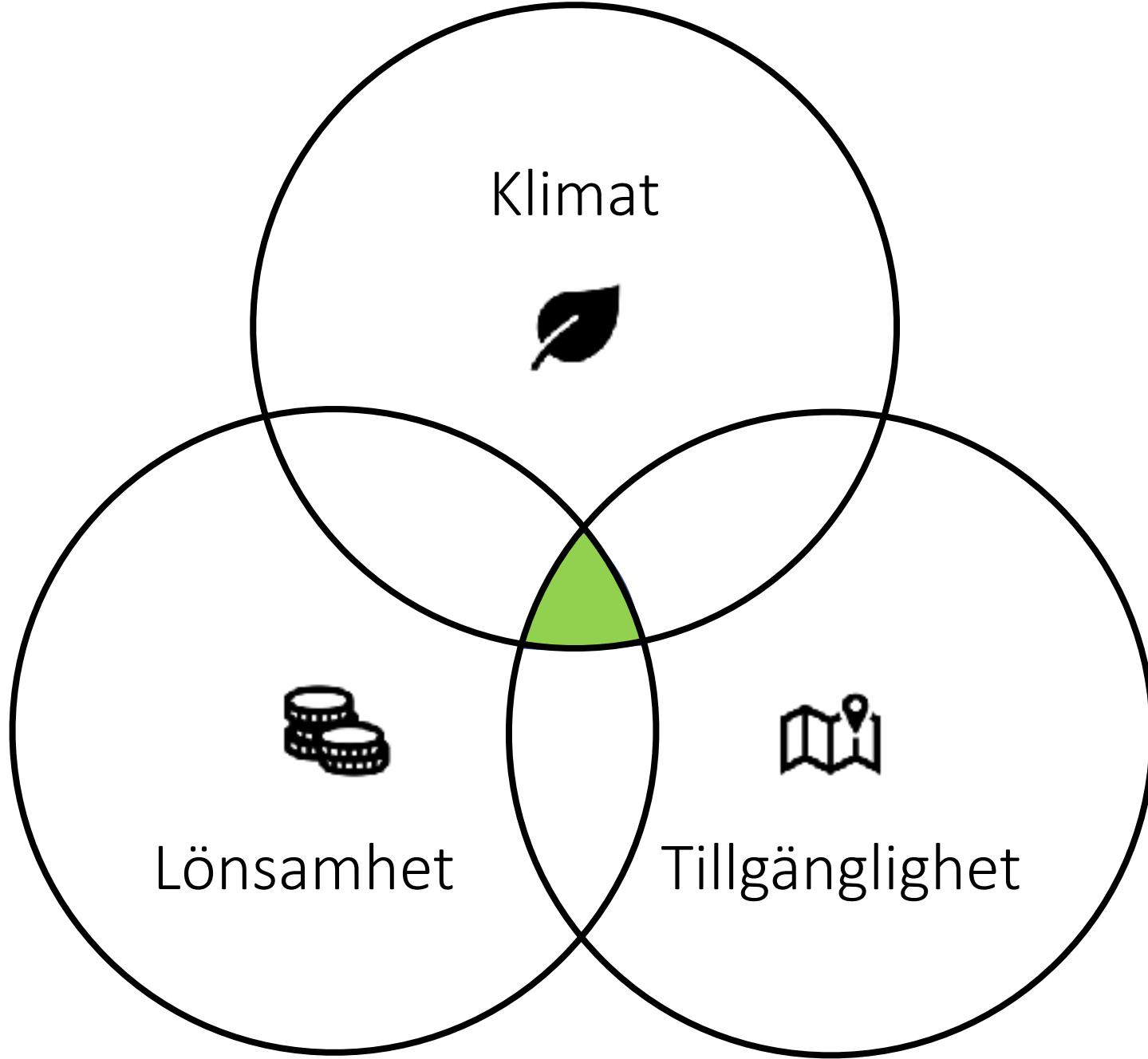
Klimat



Lönsamhet



Tillgänglighet



## Jämställdhet och mångfald

- Nya aktörer och ny teknologi bryter gamla strukturer.
- Drivs av en vision om ett bättre samhälle.
- Ny generation av flygintresserade!





# Elise steg 1 - 2018



Partners





Elise summit  
6 december 2018

# Anders Forslund



# Heart Aerospace

# Elise steg 2: 2019-2021



HEART

## Industriella partners

**elitkomposit**  
Heavy Ideas. Light Solutions.

**ICARUS**



## Akademiska partners

**LiU** LINKÖPING  
UNIVERSITY



**RISE**

## Advisory board



**SAAB**



**Swedavia**  
Airports



**Svenska Flygbranschen**  
Ett förbund inom **TRANSPORTFÖRETAGEN**



**Kristina Wärmeijord**  
Projektsamordnare



**CHALMERS**



**Mauritz Andersson**  
Akademisk koordinator



**UPPSALA  
UNIVERSITET**



**Anders Forslund**  
Industriell koordinator

**HEART**



# Mauritz Andersson

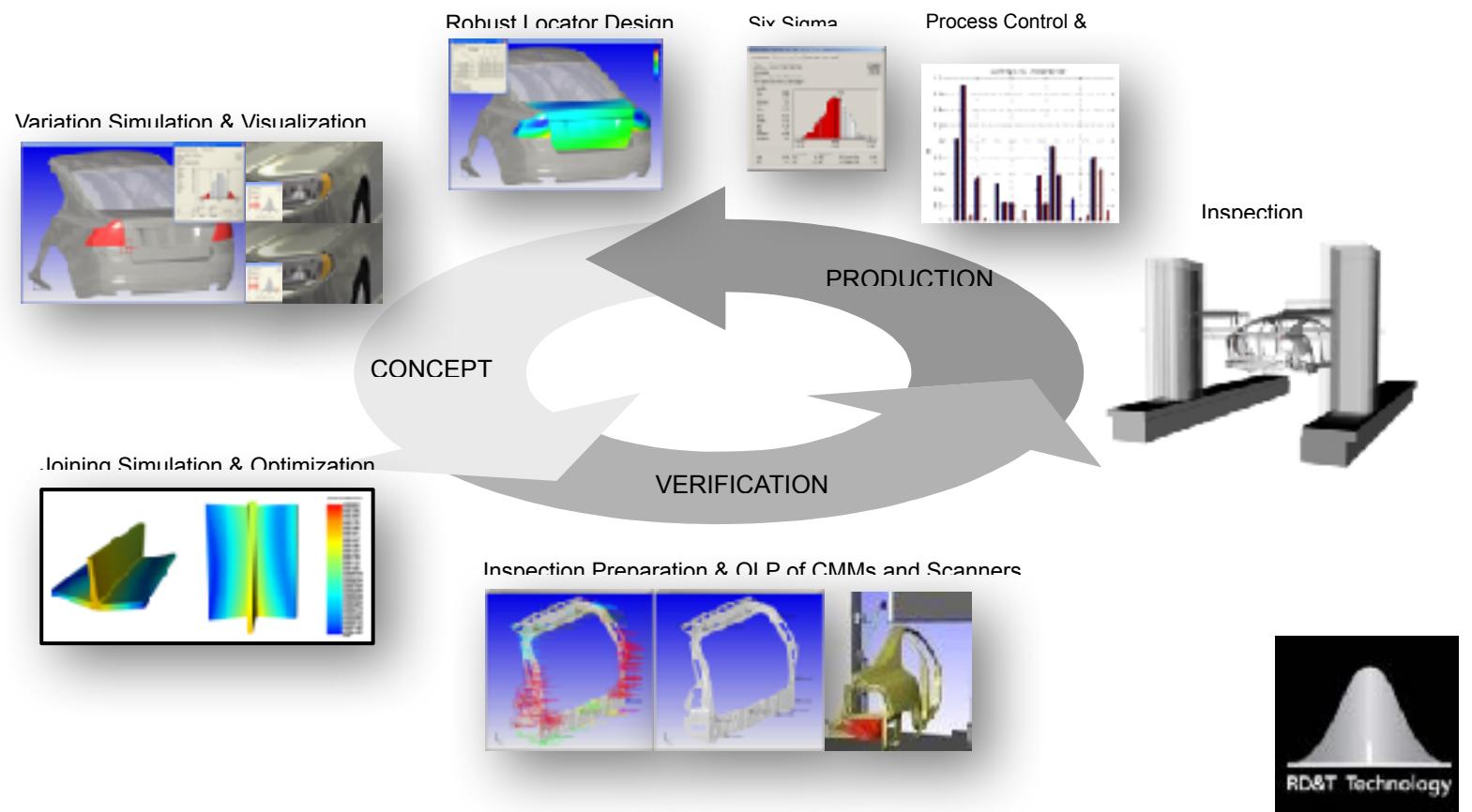
Forskning: Elflyg och elmotorer  
(Oktober 2014 - Energimyndigheten)

Industri: Optiska LiDAR-sensorer för  
autonoma fordon





# Kristina Wärmefjord

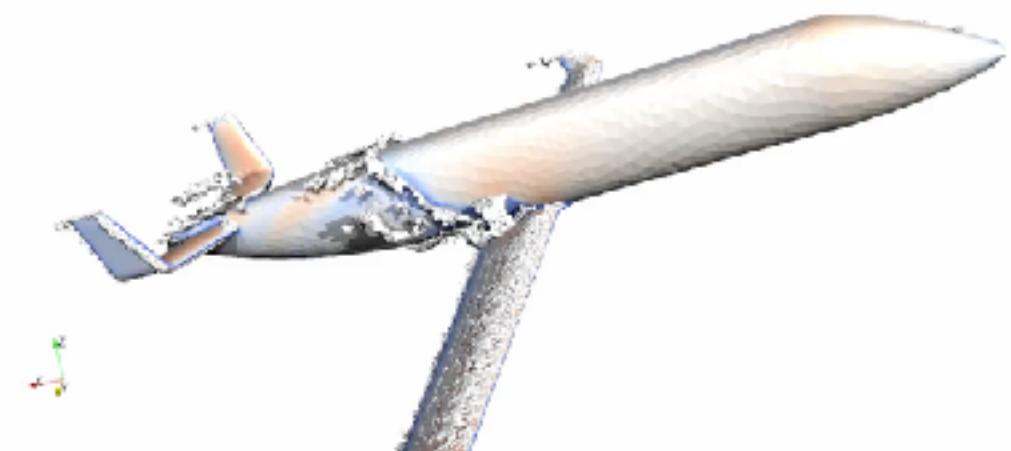
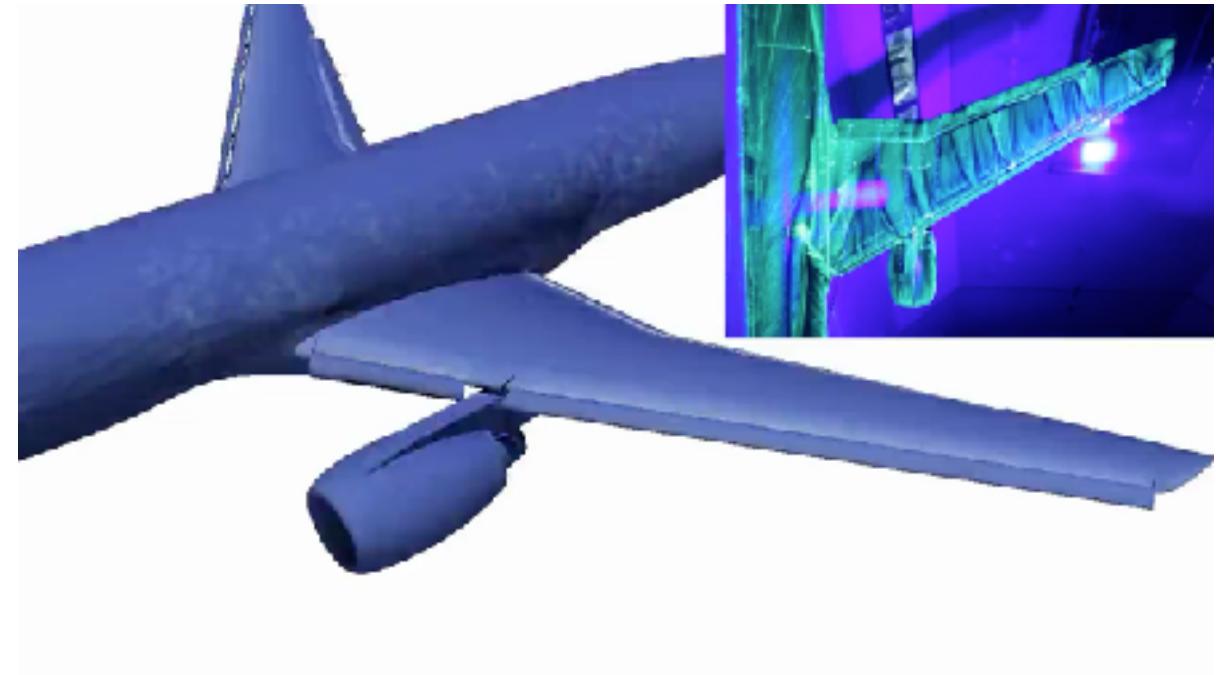


Geometry Assurance & Robust Design

# Johan Jansson KTH och Icarus



- Spetsen av aerodynamisk forskning och beräkningsindustri.
- Interaktiv aerodynamisk design.
- Gör innovation lättillgänglig. Stödjer det framväxande dynamiska ekosystemet kring elektriskt flyg.
- Tekniken och det matematiska ramverket Digital Math lärs ut i den digitala kursen MOOC-HPFEM
- Planerar att göra en ELISE-version.



- Flygtester och validering i modellskala.
- Möjliggör snabbare utvecklingscykler.



## LTU activities towards the future of ELISE

C. Kanellakis and G. Nikolakopoulos  
[chrkan{geonik}@ltu.se](mailto:chrkan@geonik.ltu.se)



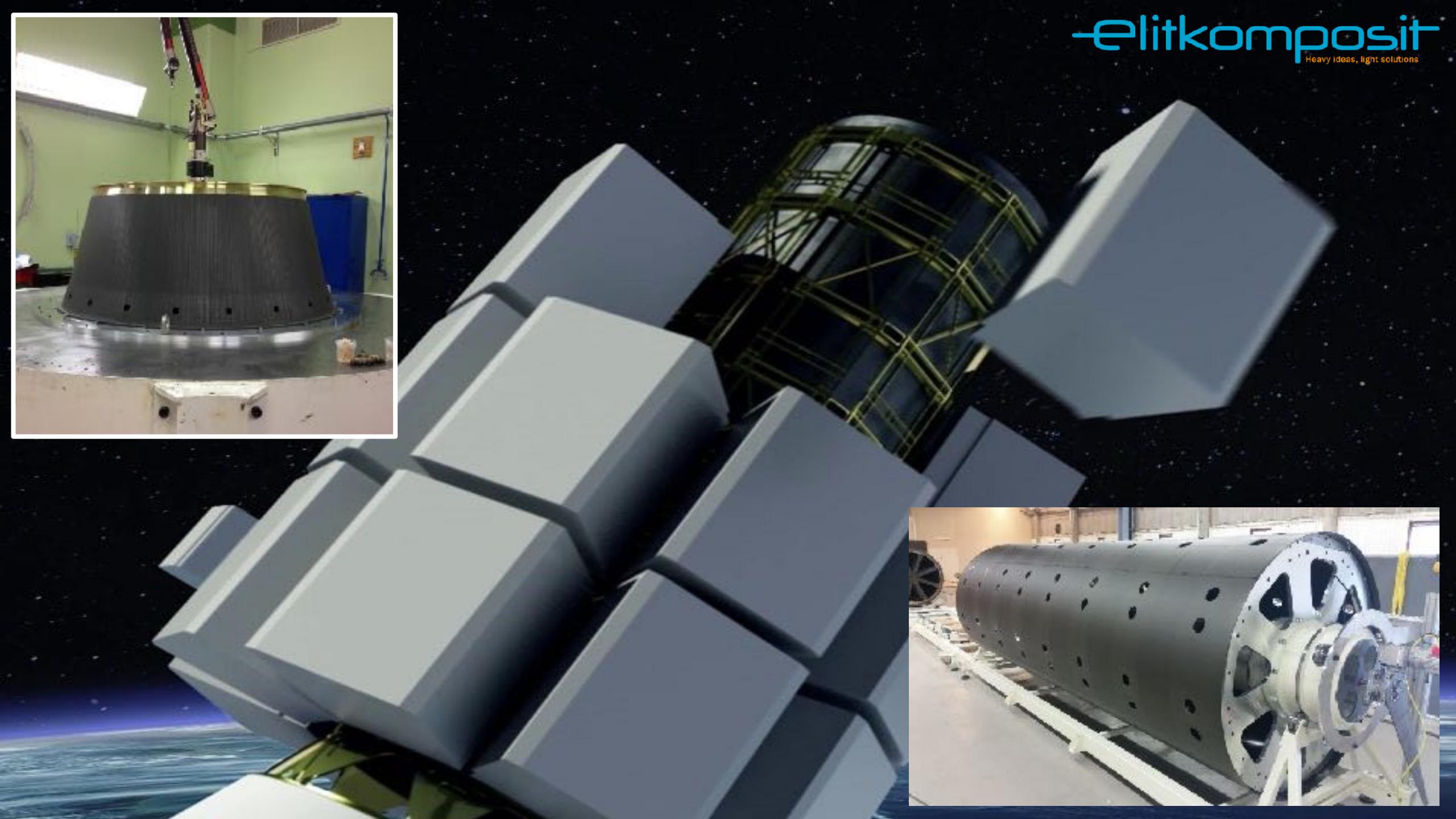


Thanh Bui

- Marknad och affärsmodeller
- Systemstudier

**-elitkomposit**

Heavy ideas, light solutions





# Heart Aerospace



# Heart finansieras av Y combinator

- Y Combinator investerade \$150,000 USD för 7% av Heart
- Inskriven i winter 2019 batch
- Kända alumni: Airbnb, Dropbox, Stripe, Reddit, Wright Electric, Boom Supersonic
- Demo day: 18 mars 2019
- Unikt nätverk av Silicon Valley-investerare





# Heart ES-19

- 19 passagerare (EASA CS-23)
- 400 km räckvidd
- 500 km/h hastighet
- 20-40 min laddtid
- 750m landingsbana
- Range extender
- Certifierat 2025





# VÄLKOMMEN TILL ELISE-DAGEN!

28 MAJ 2019 I LINKÖPING

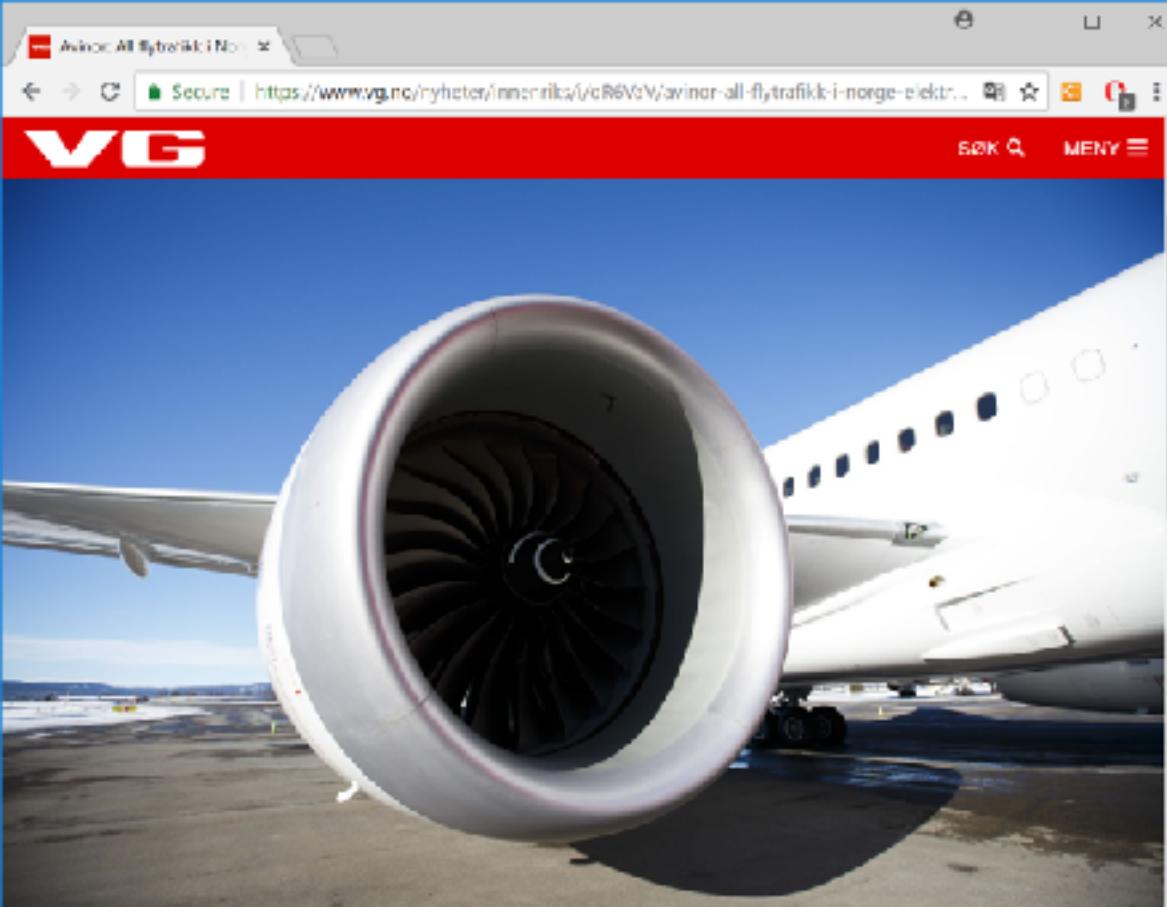
Elise vill bjuda in dig till en heldag fyllt med spännande föreläsningar och workshops om elflygets framtid i Sverige!

Fullständigt program kommer att publiceras inom kort.

TILL ANMÄLAN

Avinor: All flytrafikk i Norge elektrisk innen 2040

Innen 2040 skal motorer som denne byttes ut med elmotorer på fly i Norge, ifølge Avinor-sjefen. Illustrasjonsfoto: He...



Secure | https://www.vg.no/nyheter/inne/avinor-all-flytrafikk-i-norge-elektrisk-innen-2040/

SØK Q MENY ☰

VG

# NORGE! Skandinavien?





**KLIMAT** Flygbranschen kan vara på väg mot eldrivet

## Inrikes elflyg inom några år

**SENASTE NYTT** Pompeo tror på Nordkoreaframsteg

07.26



Morgan  
studion



KLIMAT

Så ser nya regeringen på utsläppen

## Resor i fokus i klimatdebatten

MISSA INTE 8.21 TV- och streamingtips med Linus Fremin

07.40

Morgon  
studion

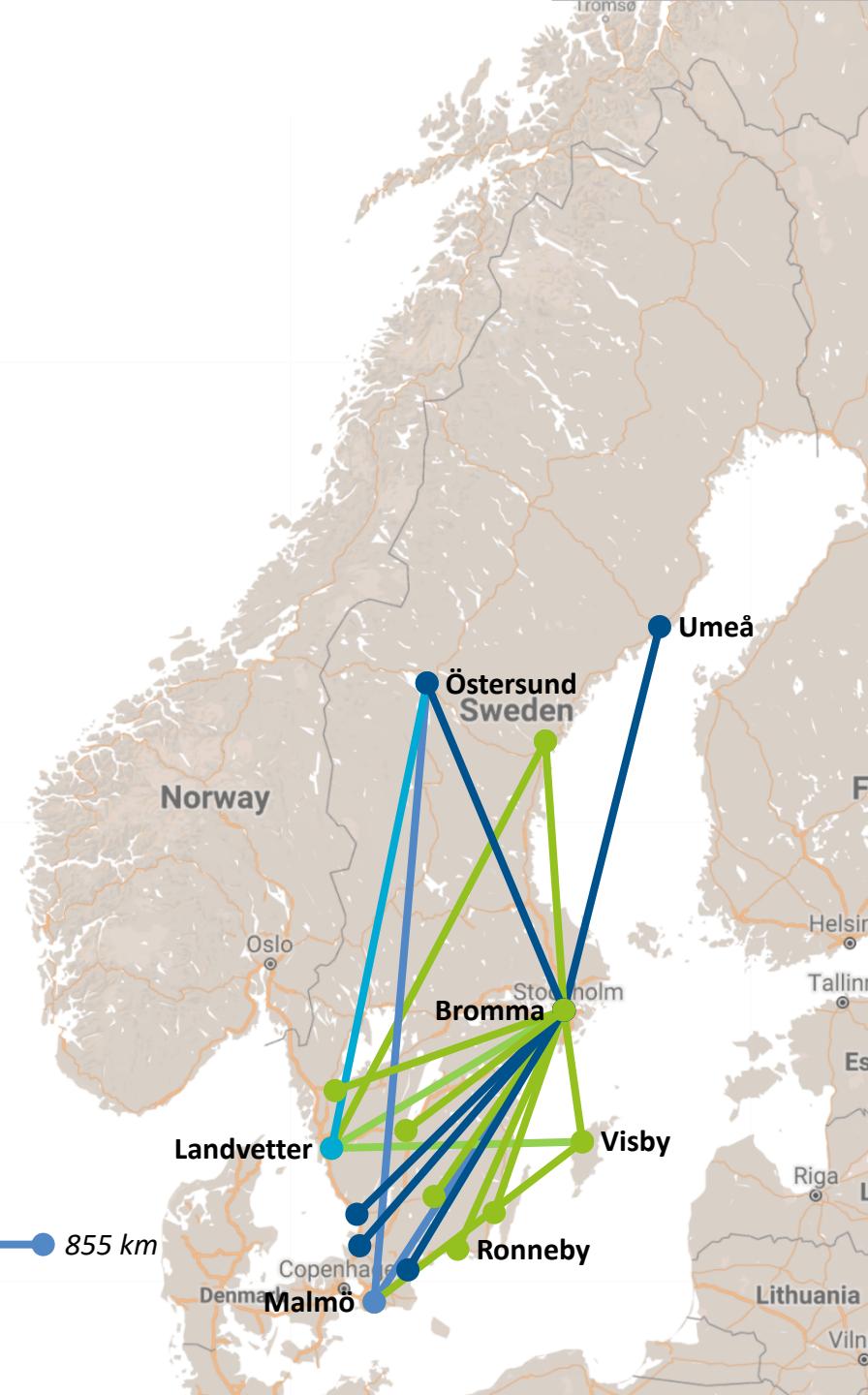
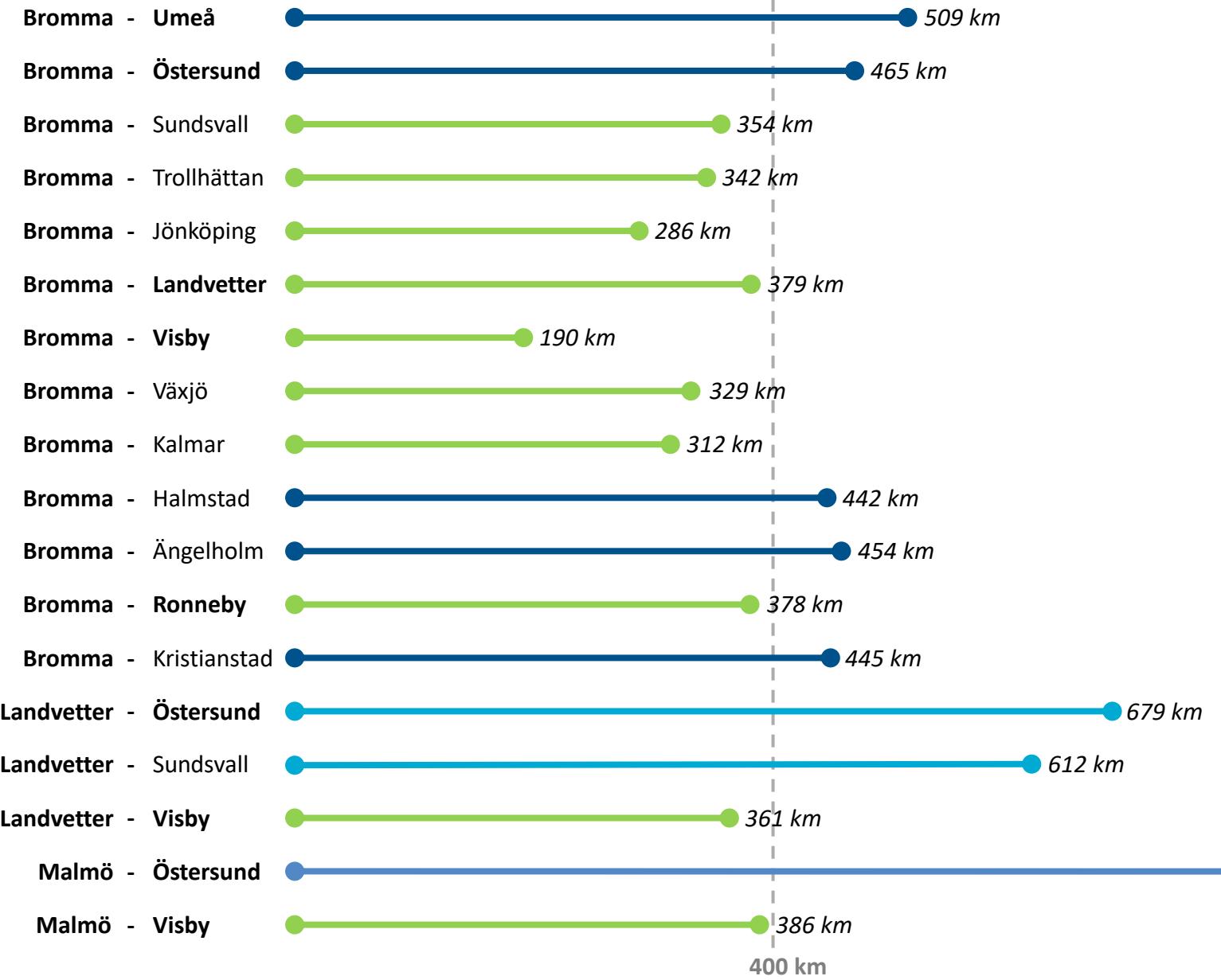
Vad säger flygbolagen?

# BRA

Anna Soltorp, hållbarhetschef på BRA, ser möjligheter:

"Vi är övertygade om att inrikesflyget kommer att behövas även i framtiden. Med korta flygsträckor, regionala behov av tätatidtabeller och enkel logistik är det här som reguljärt elflyg kan bli verklighet först."

# Potentiella elflygsrutter



# SAS

“SAS har en ambitiös hållbarhetsagenda som inkluderar användandet av elflyg på korta rutter i framtiden. Vi flyger idag ett antal rutter som är kortare än 400 km och som potentiellt kan ersättas med elflygplan av lämplig storlek. Därför är det här ett intressant projekt som vi självklart stöttar” säger Lars Andersen Resare, hållbarhetschef på SAS.

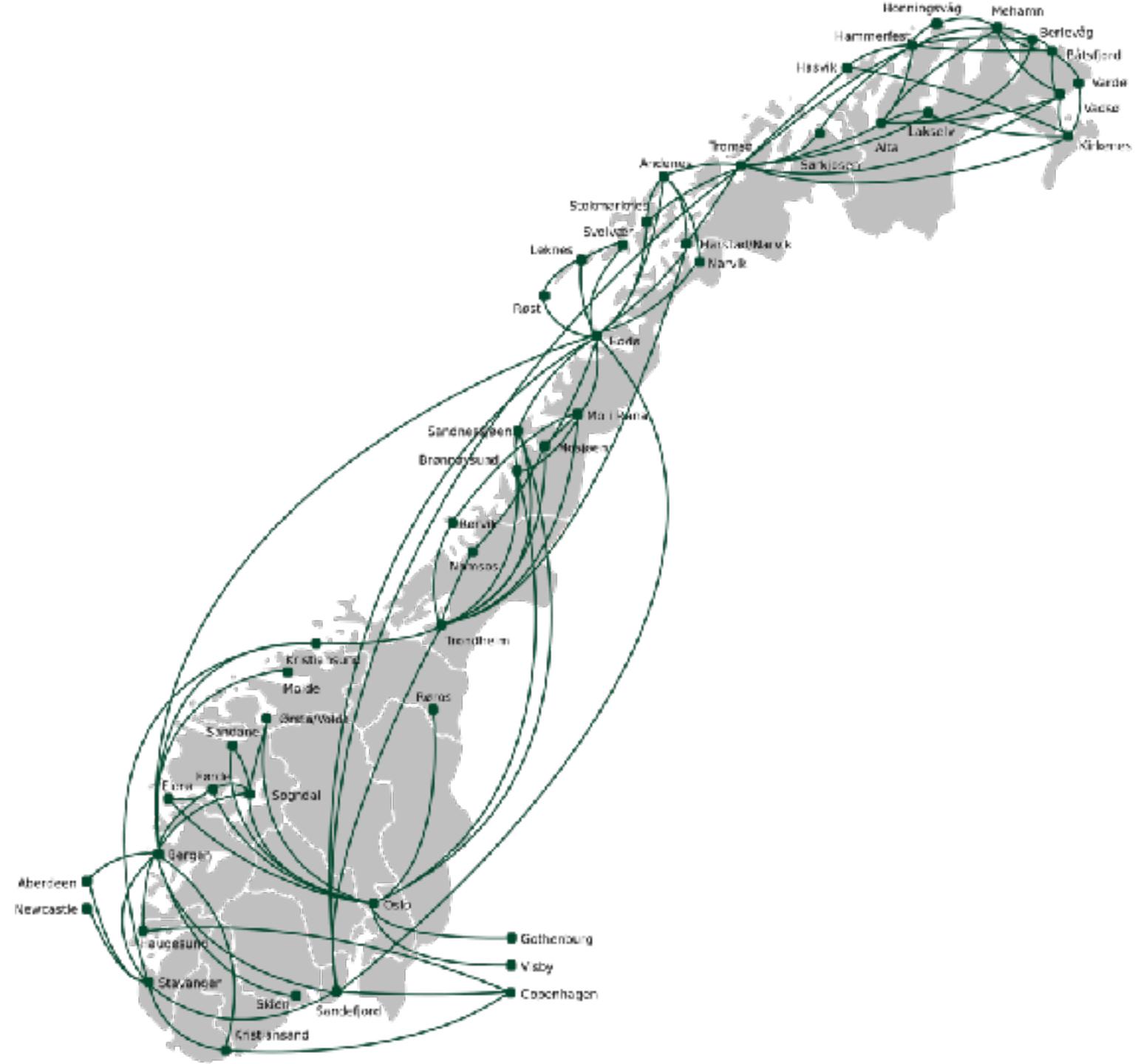
# Tjugosex SAS-rutter kortare än 400 km

Köpenhamn - Århus	148 km
Stavanger - Bergen	159 km
Tromsö - Alta	174 km
Köpenhamn - Göteborg	229 km
Köpenhamn - Ålborg	238 km
Bergen - Ålesund	257 km
Stockholm - Turku	259 km
Trondheim - Ålesund	262 km
Oslo - Kristiansand	280 km
Oslo - Göteborg	289 km
Bergen - Sandefjord	308 km
Stockholm - Sundsvall	321 km
Oslo - Bergen	325 km
Bodö - Tromsö	326 km
Oslo - Stavanger	341 km
Oslo - Haugesund	343 km
Stockholm - Kalmar	343 km
Oslo - Molde	349 km
Oslo - Trondheim	363 km
Stockholm - Tampere	367 km
Oslo - Kristiansund	368 km
Oslo - Ålesund	374 km
Stockholm - Oslo	385 km
Stockholm - Göteborg	394 km
Stockholm - Helsinki	399 km
Köpenhamn - Kristiansand	399 km

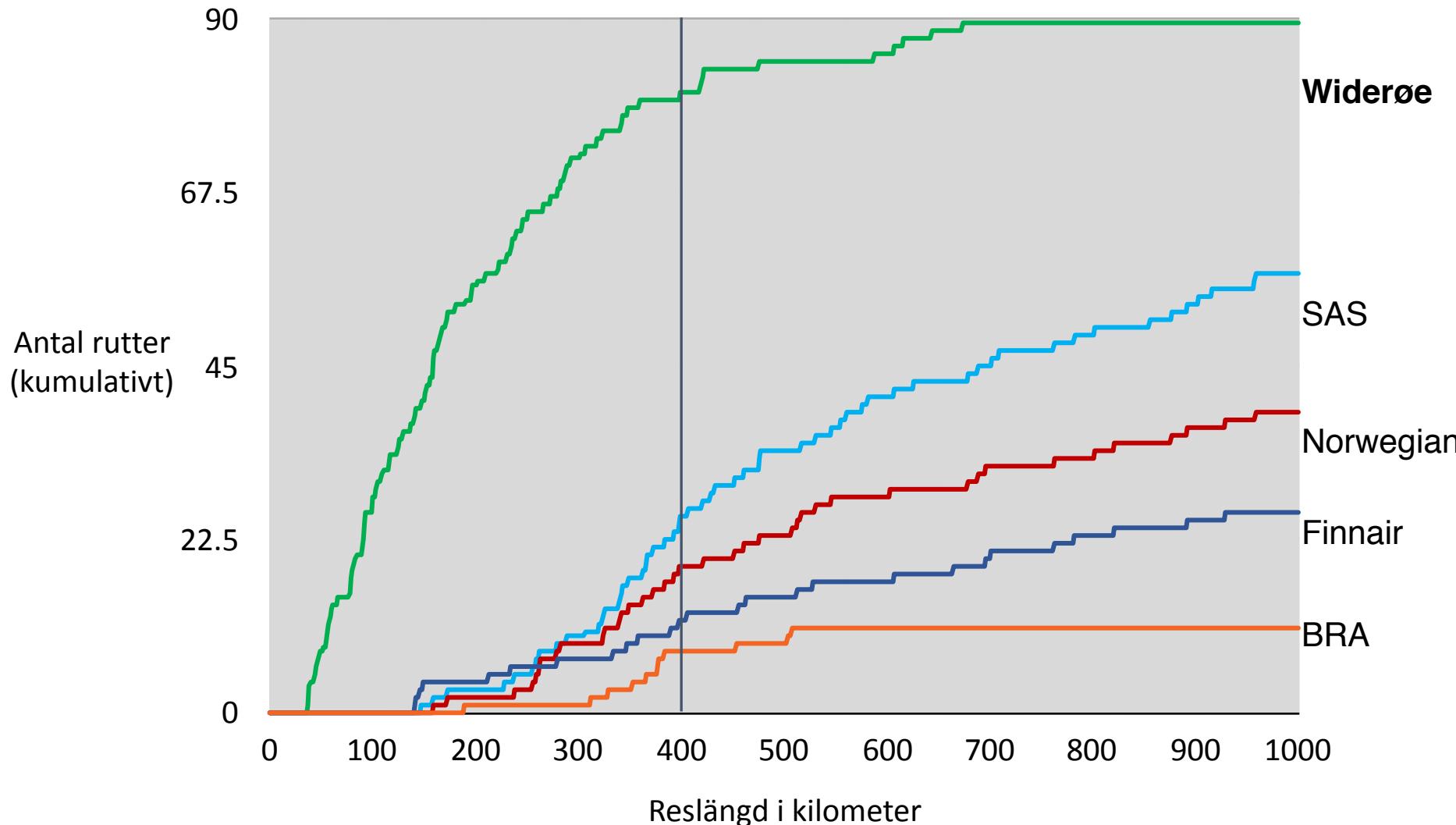


# Widerøe

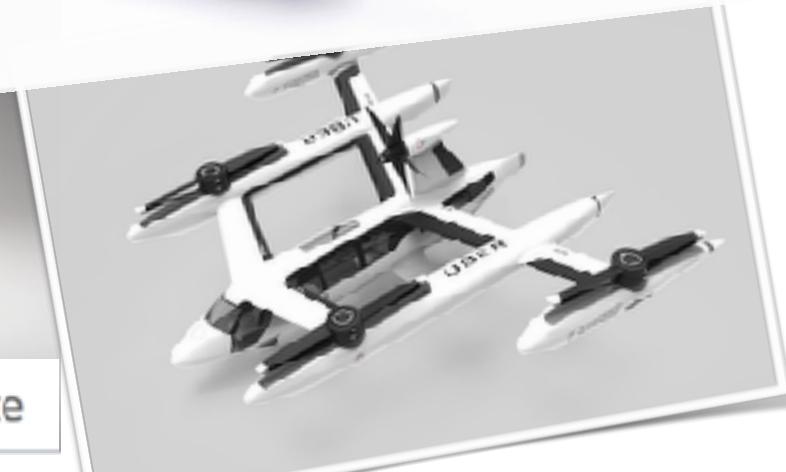
“Den nya tekniken kommer att vara särskilt väl lämpad för att serva våra kortdistansrutter på den norska landsbygden. Widerøe vill vara tidig med den nya teknologin som en del av bolagets långsiktiga strategi att vara utsläppsfree”, säger strategidirektör Terje Skram på Widerøe.



# Vilket nordiskt flygbolag flyger mest korta rutter?



*Fantasier?*







**Elflyg  
finns idag!**  
*Pipistrel Alpha*





*Pipistrel Alpha, BROMMA Juni 2018*

# PC-Aero Elektra One Solar - 1000 km räckvidd



MTOW	300 kg
Empty weight	100 kg
Battery weight	100 kg
Payload	100 kg
Wing span	11 m
Wing surface	8,2 m <sup>2</sup>
Solar power	~1 kW

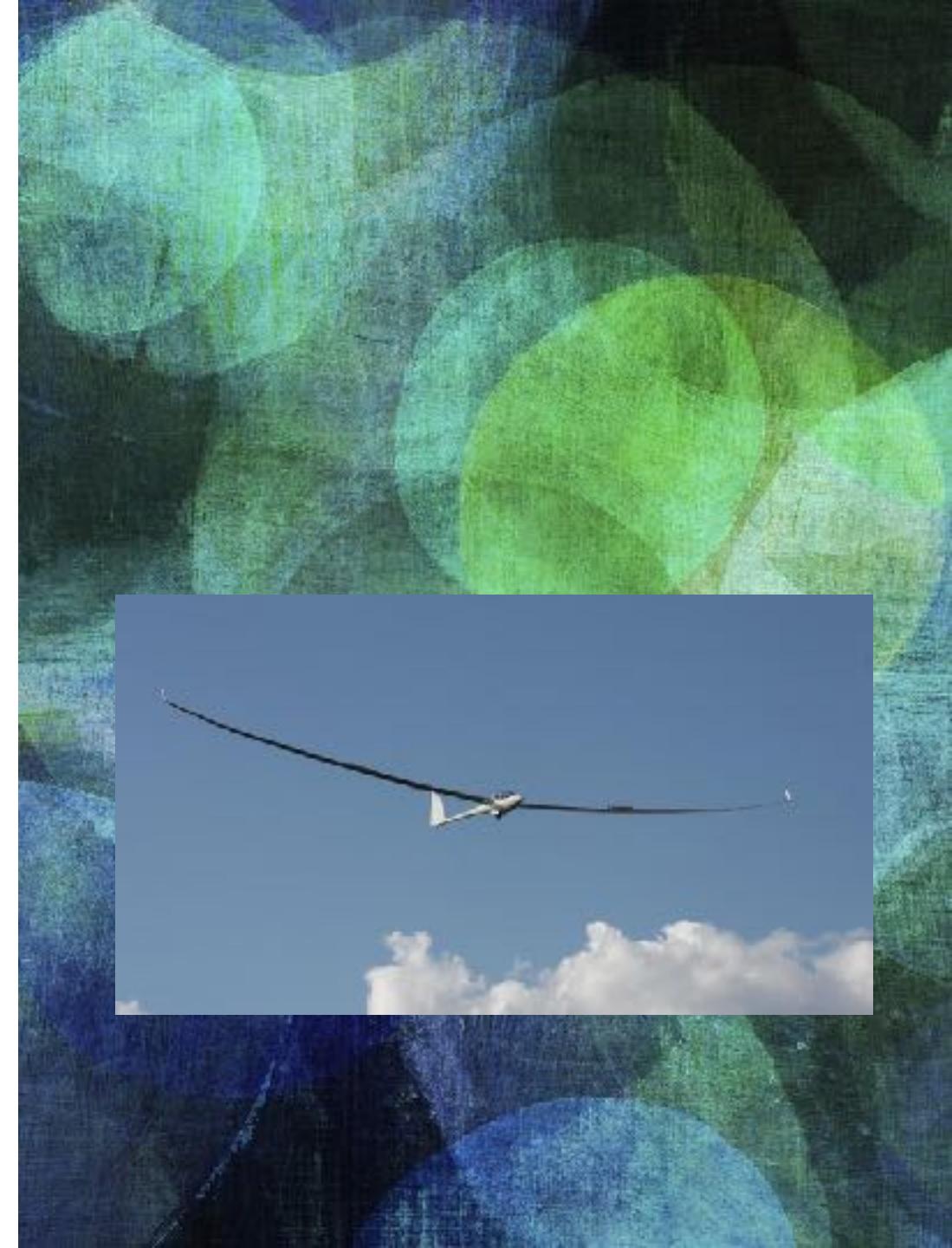
Max. engine power	16 kW
Max. range	up to 1,000 km
Max. endurance	more than 8 hours
Cruise	140 km/h
Aspect ratio	14,7
Best glide ratio	30
Flight power	2.5 - 5 kW







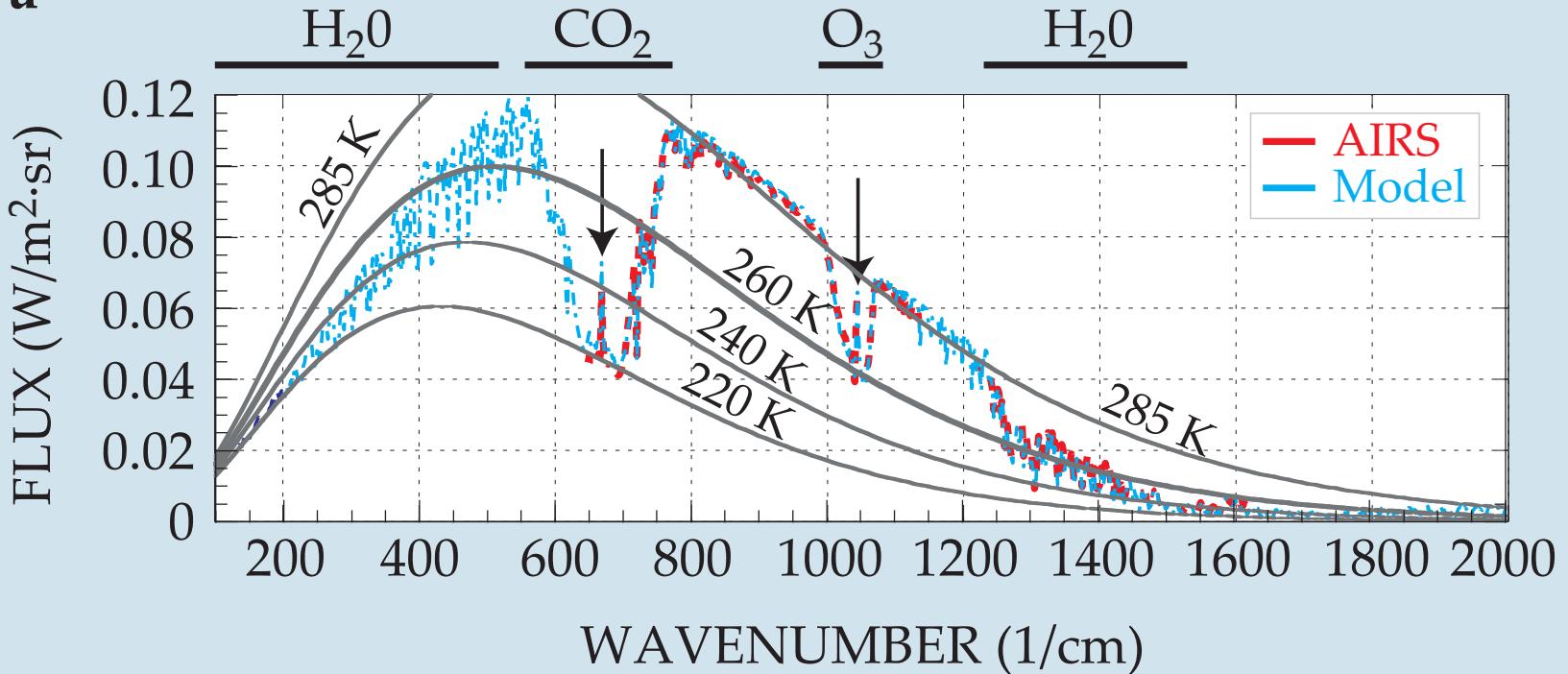
**Det är effektivt att flyga!**



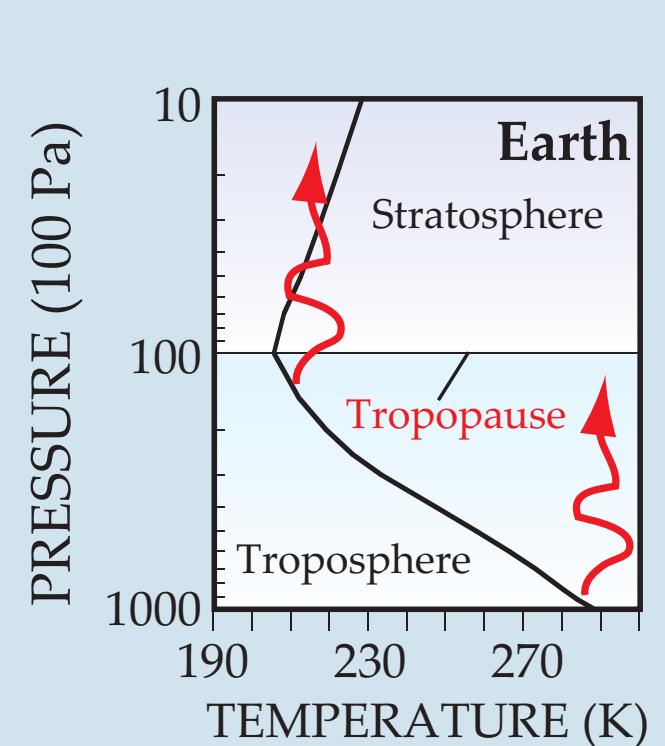


# Jordens strålningsbalans

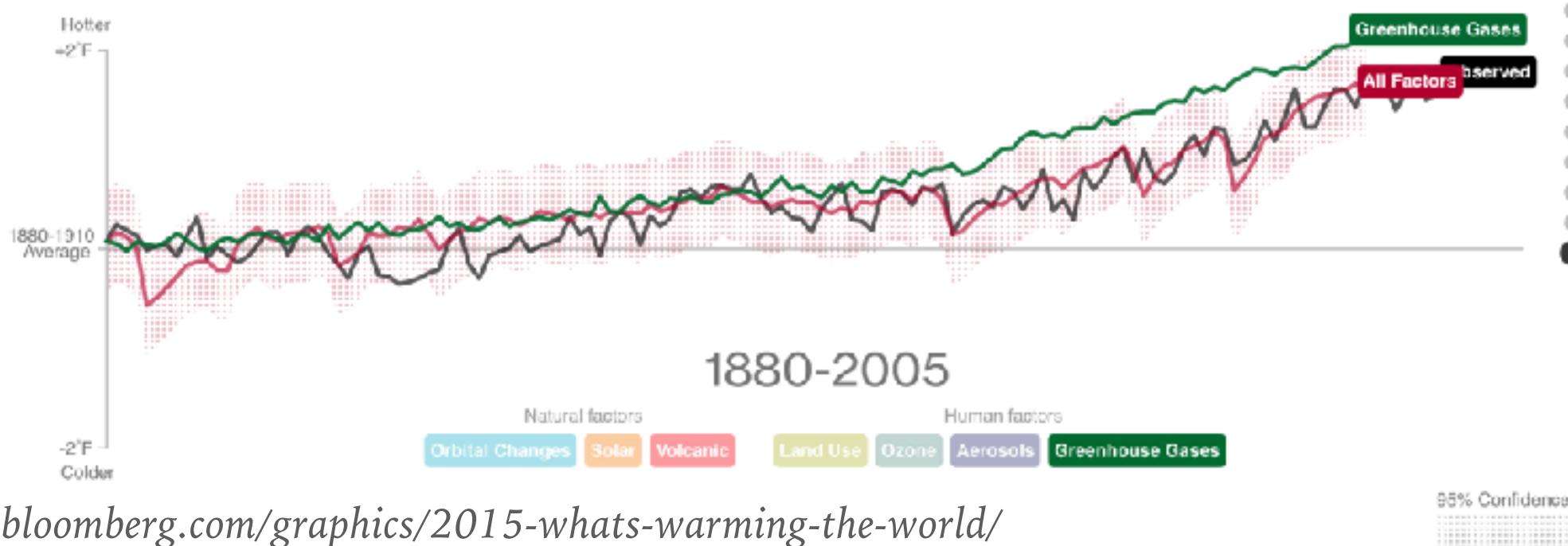
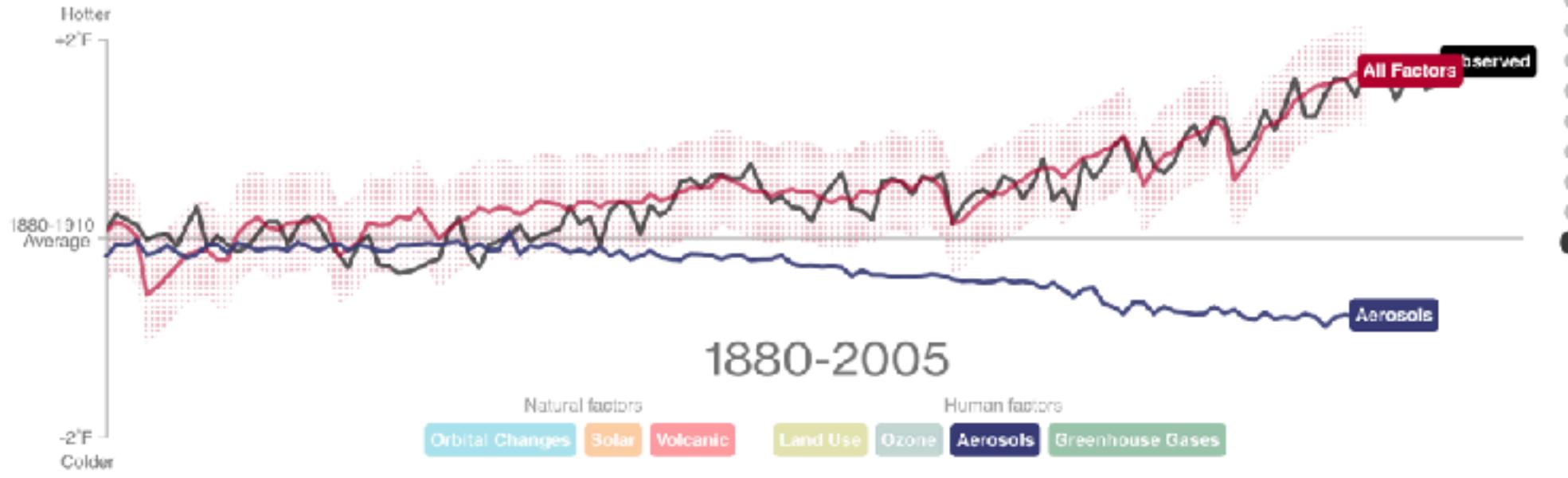
a



b



Raymond T. Pierrehumbert  
*Infrared radiation and planetary temperature*, Physics Today, January 2011





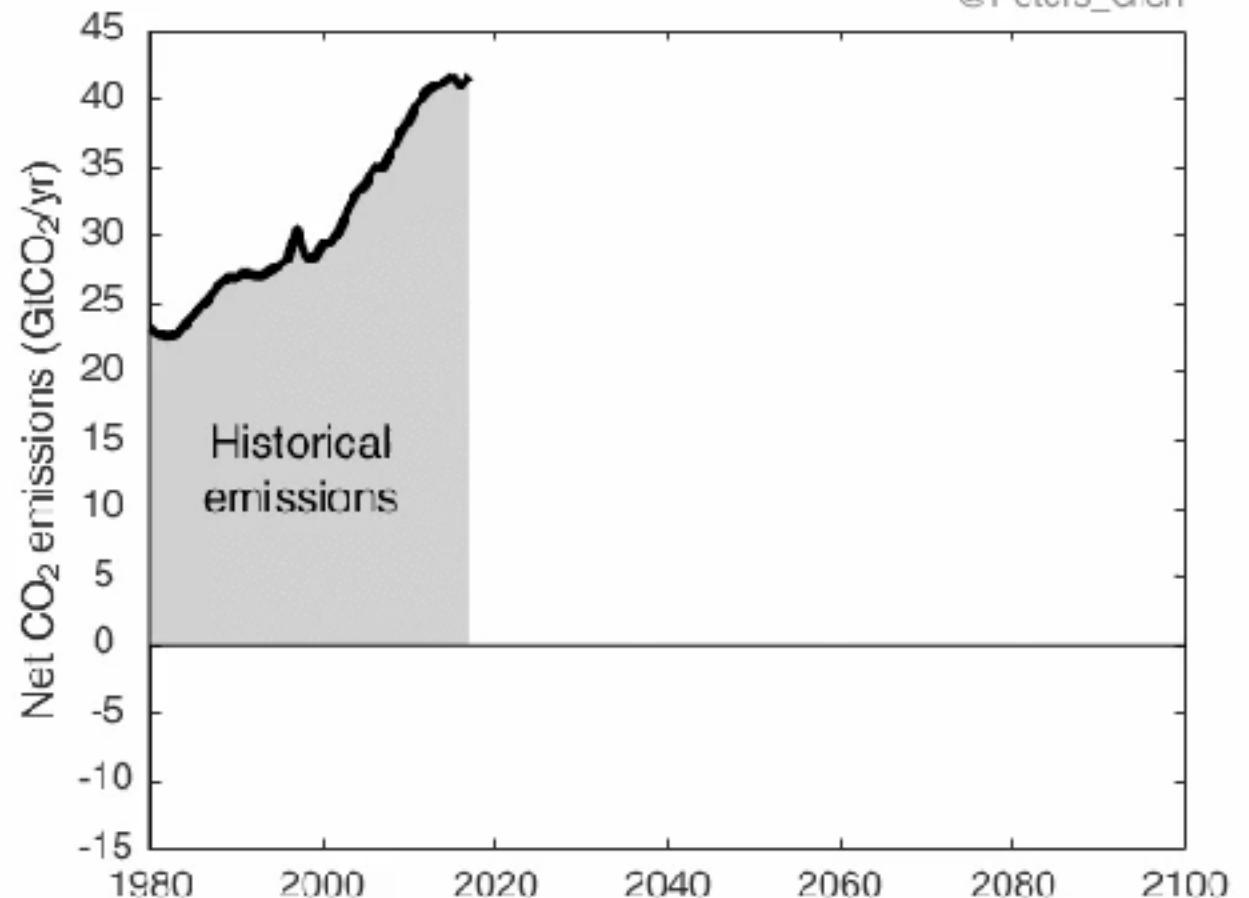
2017-09-20 22:00:36 JFC





# Utmaningen: Radikalt minskade utsläpp!

@Peters\_Glen

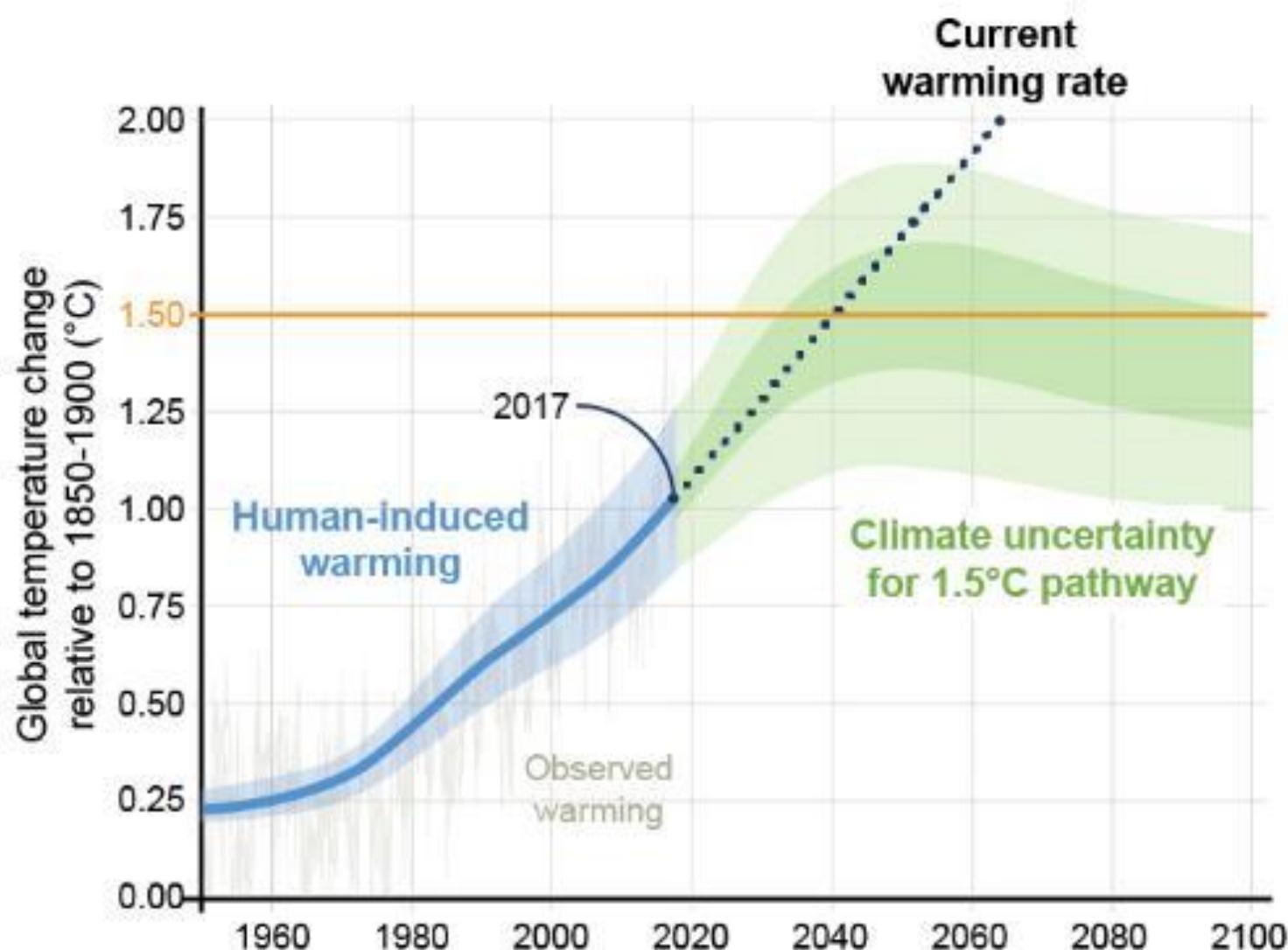


Glen Peters - Klimatforskare CICERO

# Framtiden?

## FAQ1.2: How close are we to 1.5°C?

Human-induced warming reached approximately 1°C above pre-industrial levels in 2017



”

*“Change is coming whether you like it or not”*

*– Greta Thunberg @ COP24*

99

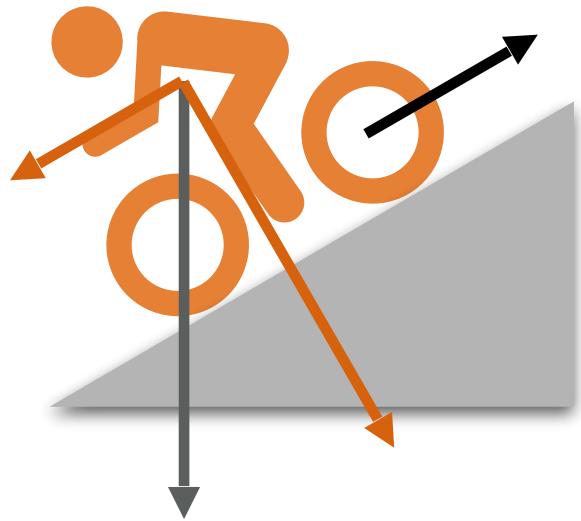
*I have no hope that these changes can be reversed. We are inevitably sending our children to live on an unfamiliar planet. But the opposite of hope is not despair. It is grief. Even while resolving to limit the damage, we can mourn. And here, the sheer scale of the problem provides a perverse comfort: we are in this together. The swiftness of the change, its scale and inevitability, binds us into one, broken hearts trapped together under a warming atmosphere.*



## **We need courage, not hope.**

**Courage is the resolve to do well without the assurance of a happy ending.**

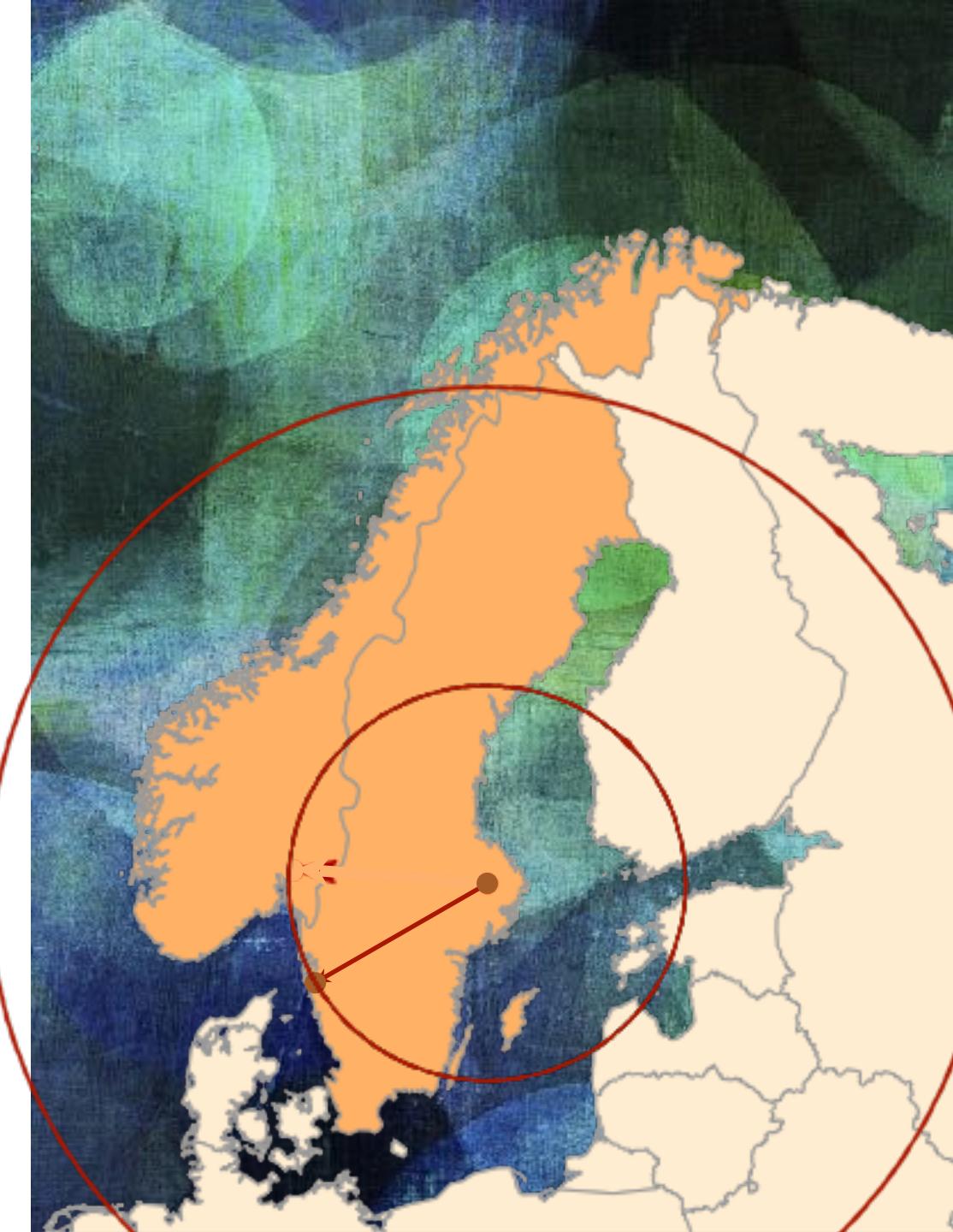
*– Kate Marvel, climate scientist*



[Energi per sträcka] = [Kraft]

# Fysik

*Vad är möjligt?*



# CONCORDIA GLIDER



I:70



## Glidtal - Elbilar

**Vikt**  $\sim 22\ 000\ N$  ( 2200 kg )

### Luftmotstånd

$$F = 400\ N @ 120\text{km/h}$$

$$C_D = 0.24, \text{ Effektiv area } 0.6\ m^2$$

### Rullande friktion

$$F = 400\ N$$

$$\text{Typisk friktionstal} = 1/50$$

### Totalt motstånd

$$F = 800\ N = 220\ Wh/km$$

**Effektivt glidtal  $\sim 25$**



## **Glidtal - Jetflyg**

**Aerodynamiskt glidtal ~ 18**

Turbin- och fläkteffektivitet ~ 30 - 40%

**Effektivt glidtal ~ 7**

GLIDTAL	Farkost
Cykel	35
Fossilbil	8
Elbil	25
Jetplan	7
Elflyg	30

GLIDTAL	Farkost	Person
Cykel	35	30
Fossilbil	8	2
Elbil	25	6
Jetplan	7	2
Elflyg	30	7



# Flyga med dagens batterier!

$$s = \frac{L}{D} \frac{m_b}{m} h_e$$

$$h_e = e / g$$

$$e = 270 \text{ Wh/kg} \Rightarrow h_e = 100 \text{ km}$$



Specifik altitud

Glidtal L/D = 45

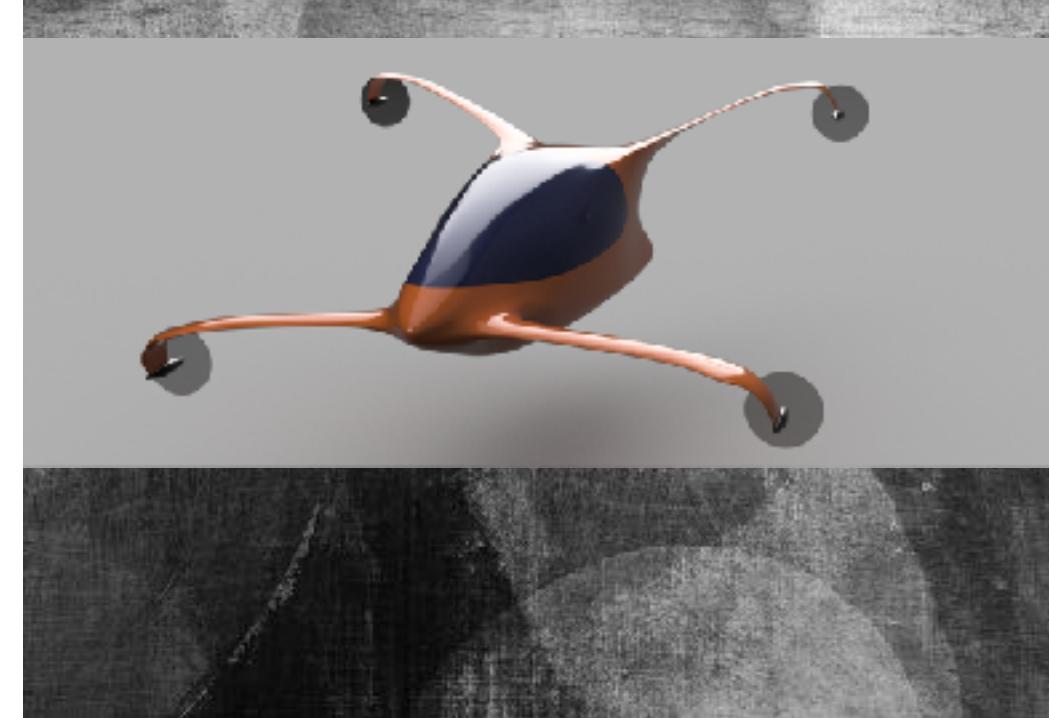
25% batterier

Räckvidd ~ 1000 km



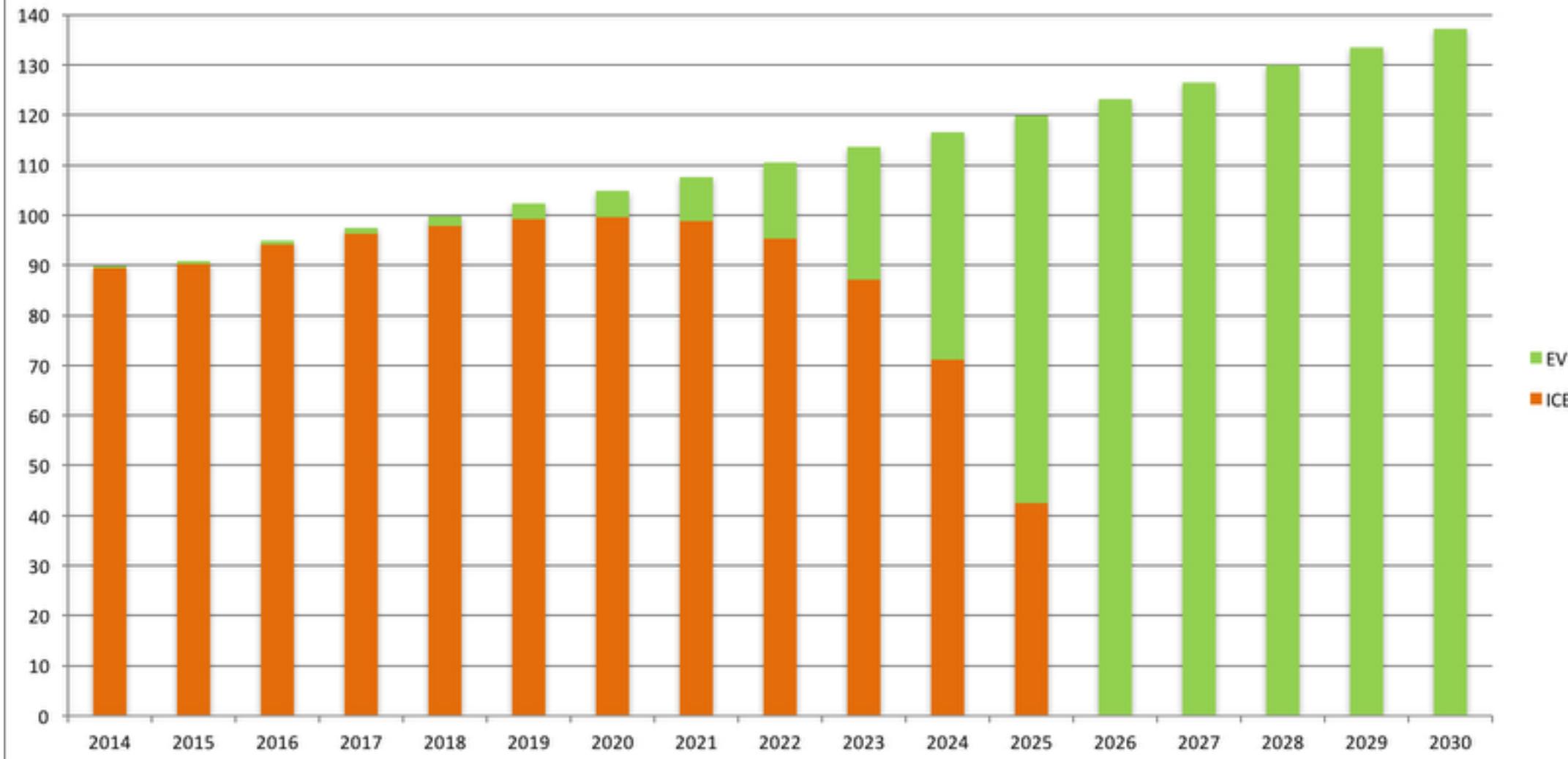
*Nya typer av flygfarkoster  
Nya aktörer utmanar  
Nya affärsmodeller  
Vad driver **innovation**?*

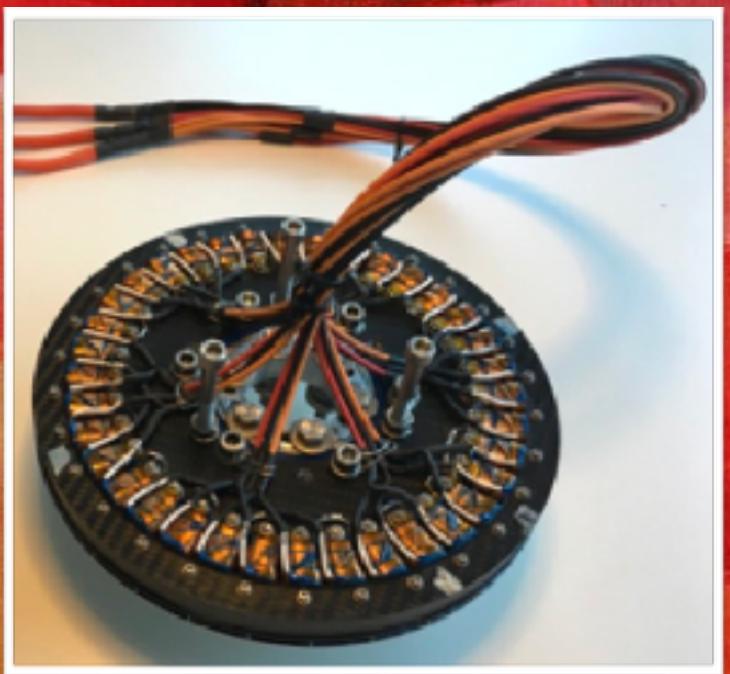
# Disruptivt Teknikskifte



## Transition to EVs - global vehicle annual sales actual to 2016 and predicted to 2030

Car data OICA; EV data 2014-2016 @InsideEVs & @IEA Chart & forecast @FSS\_Au @ProfRayWills 7Sep17





## Elektrisk motor - Direktdrift

Massa  $\sim$  2 kg

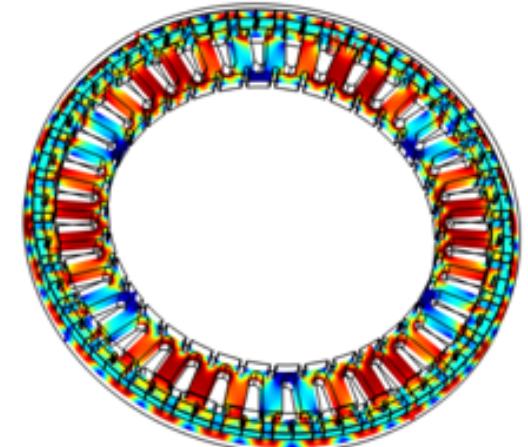
Storlek  $\sim$  22 cm x 2 cm

Effekt  $\sim$  10 kW @ 2000 rpm

Vridmoment  $\sim$  50 Nm

Verkningsgrad  $\sim$  95%

Lyfter  $\sim$  70 kg med 1.4 m propeller

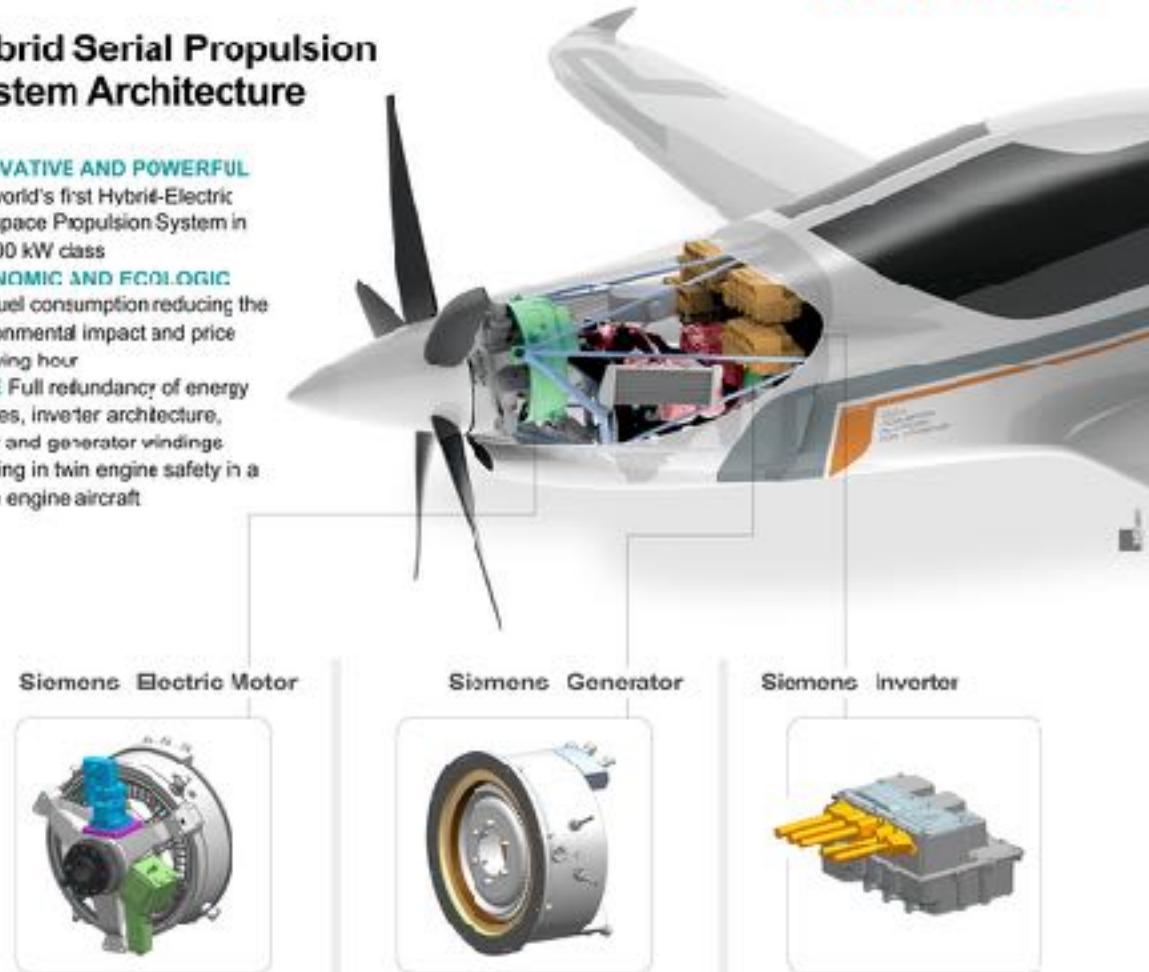


# Hypstair Demonstrator

Pipistrel Panthera  
Siemens elmotor och generator

## Hybrid Serial Propulsion System Architecture

- + **INNOVATIVE AND POWERFUL**  
The world's first Hybrid-Electric Aerospace Propulsion System in the 200 kW class
- + **ECONOMIC AND ECOLOGIC**  
Low fuel consumption reducing the environmental impact and price per flying hour
- + **SAFE**  
Full redundancy of energy sources, inverter architecture, motor and generator windings resulting in twin engine safety in a single engine aircraft



# Volocopter



# Lilium Aviation



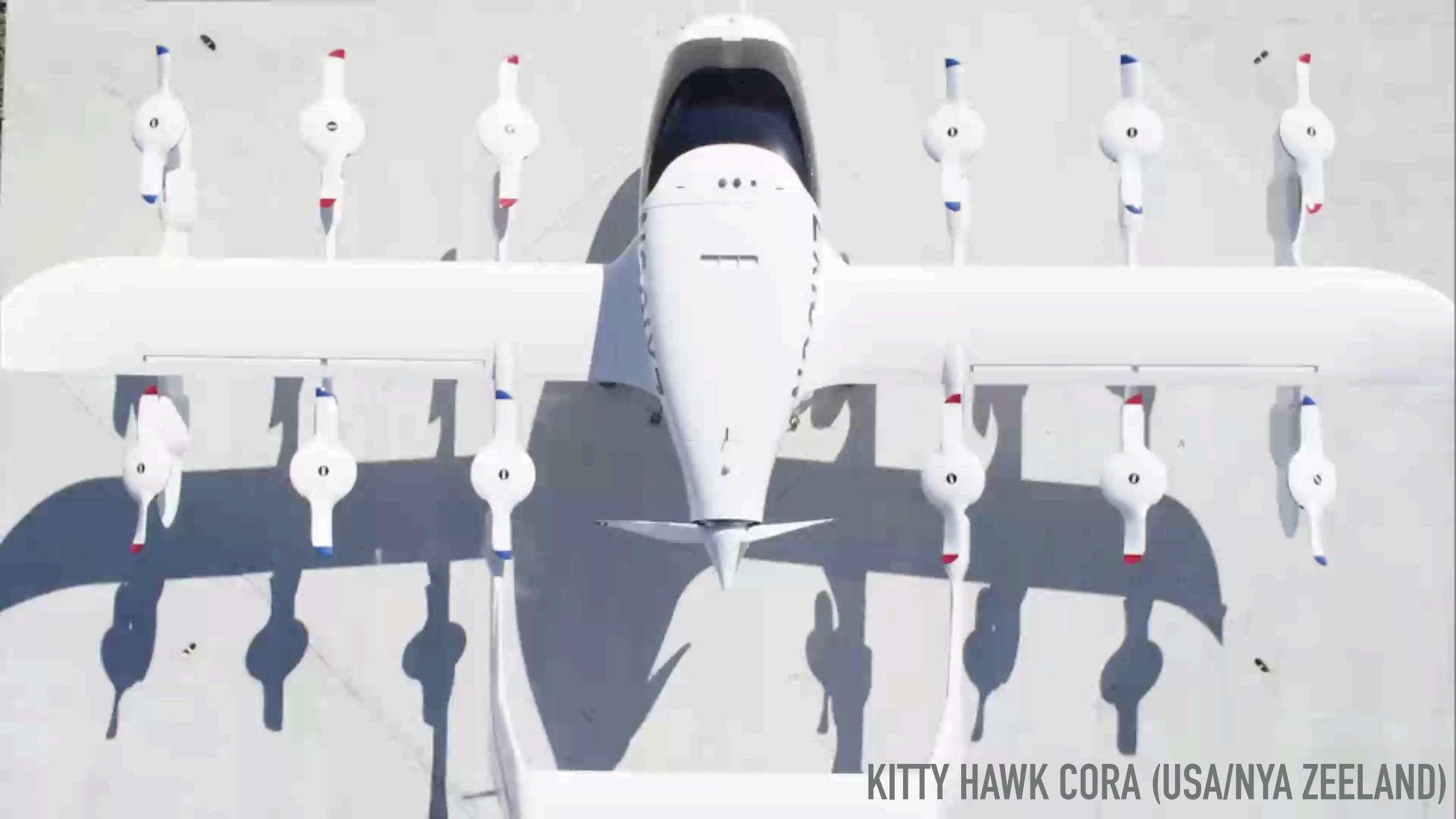
Investment 100 million EUR

# UBER ELEVATE



uberAIR: Dallas, Los Angeles: demo flight 2020, first commercial ops 2023.

[www.uber.com/elevate/](http://www.uber.com/elevate/)

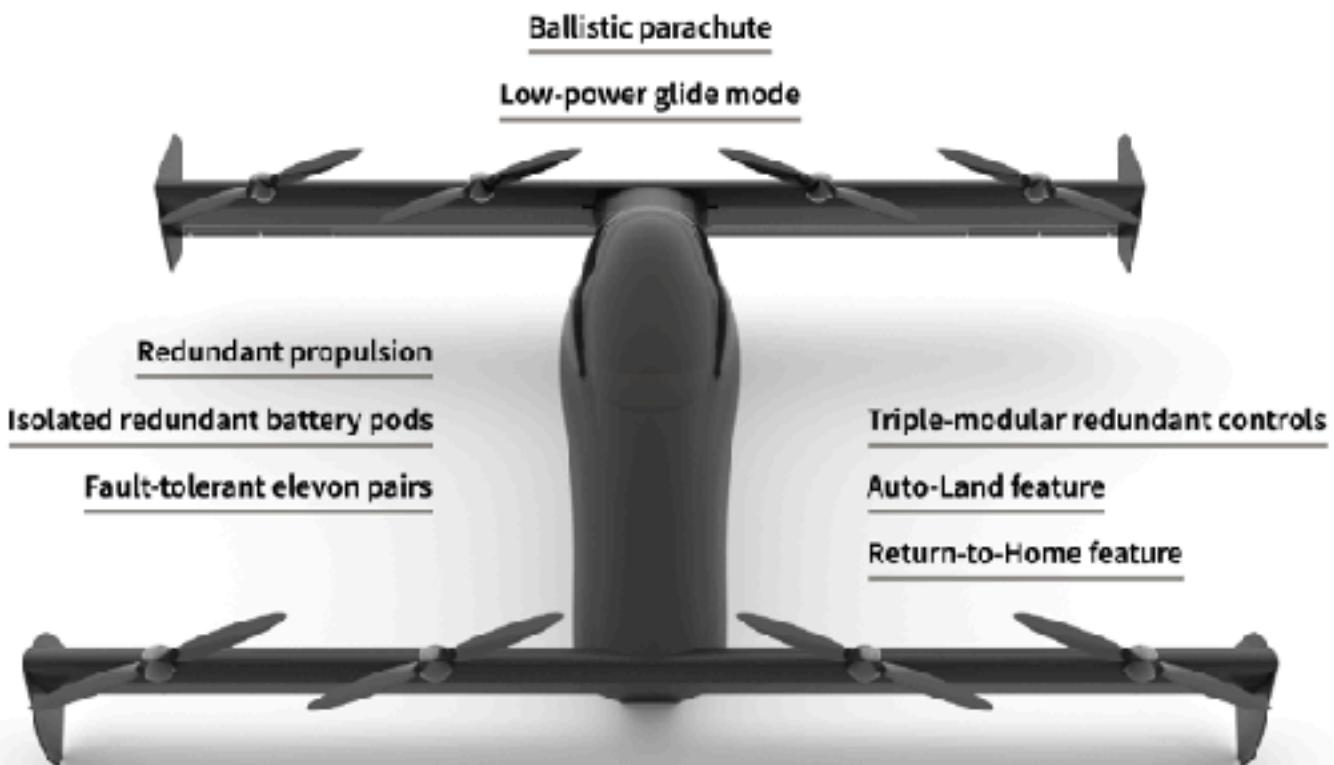


KITTY HAWK CORA (USA/NYA ZEELAND)

## Safety first

At Opener, we designed a new aircraft with safety as our highest priority. Fitted with triple-modular redundant flight systems, control surfaces, and sensors, our aircraft provides a new way to confidently take to the skies.

- + Tried and tested
- + Fault-tolerant design
- + Ease of operation
- + Simple user interface
- + Backup landing systems



FLYER

JOIN US

PRESS

Flyer

BY KITTYHAWK

PRESS

media@kittyhawk.aero



# THE PERIODIC TABLE OF VTOLs

Early  
Challengers

<b>Kittyhawk</b>	First Flight: July-17 Country: New Zealand Funding: \$101m
<b>Ehang</b>	First Flight: Jan-18 Country: France Mkt Cap: \$79.42bn
<b>Aurora (Boeing)</b>	Funding: \$52m
<b>Lilium</b>	First Flight: 2020 E.U.S: 2023 Country: Germany Funding: \$101.4m
<b>Joby</b>	First Flight: Country: USA Funding: \$131m
<b>Bell (Textron)</b>	First Flight: Country: USA E.U.S: 2023 Mkt Cap: \$17.02bn
<b>XTI</b>	First flight: Country: Slovakia Funding: Eu0m
<b>Embraer</b>	Rest Flight: <b>Sabrewing</b> First Flight: Country: Brazil Funding: \$21m
<b>Workhorse</b>	First flight: Country: USA E.U.S: 2023 Mkt Cap
<b>Pipistrel</b>	First Flight: Country: Slovenia E.U.S: 2023 Mkt Cap
<b>Volocopter</b>	First Flight: Nov-13 Country: Germany Funding: Eu81.2m
<b>Opener</b>	First Flight: Country: USA Mkt Cap
<b>Rolls-Royce</b>	First Flight: Country: UK Mkt Cap
<b>Haldesign (Audi)</b>	First flight: Country: Italy Funding:

Legacy

<b>Airbus</b>
<b>Fang</b>
<b>Aurora (Boeing)</b>

Fixed-wing electrics

Aeromobil	AIRIS	ASX	Deorean	DIGI Robotics	Dufour Aerospace	EVA	Flex-craft	FlyAstro	Bartini	Carter Aviation
First Flight: 2013 Country: Slovakia	First Flight: Country: Bermuda	First Flight: Country: USA	First Flight: Country: USA	First Flight: Country: UAE	First Flight: Country: Switzerland	First Flight: Country: France	First Flight: Country: Portugal	First Flight: Country: USA	First Flight: Country: Russia	First Flight: Country: USA
<b>Embraer</b>	<b>Sabrewing</b>	<b>HopFlyt</b>	<b>Hoversurf</b>	<b>Jetoptera</b>	<b>Napoleon aero</b>	<b>Pterodynamics</b>	<b>Ray Research Civil</b>	<b>TAXA</b>	<b>EAC Whisper</b>	<b>Karem Aircraft</b>
<b>Workhorse</b>	<b>Pipistrel</b>	<b>Skypod Aircraft</b>	<b>Skypod</b>	<b>Samed Aerospace</b>	<b>Pegasus</b>	<b>Terrafugia</b>	<b>Veredego Aero</b>	<b>Vimana</b>	<b>Autonomous Flight</b>	<b>Jetpack</b>
<b>Pipistrel</b>	<b>Skypod Aircraft</b>	<b>Skypod</b>	<b>Samed Aerospace</b>	<b>Pegasus</b>	<b>Terrafugia</b>	<b>Veredego Aero</b>	<b>Vimana</b>	<b>Autonomous Flight</b>	<b>Jetpack</b>	<b>Skypod</b>
<b>Zenith Altitude</b>	<b>VRICO</b>	<b>Cartivator</b>								
<b>Aston Martin</b>	First Flight: Country: Canada	First Flight: Country: UK	First Flight: Country: JPN Funding: Crowd!							
<b>Opener</b>										
<b>Rolls-Royce</b>										
<b>Haldesign (Audi)</b>										



Multicopter

Urban Aeronautics

First Flight: 2021-2022

Country: Israel

Funding: Venture

TranscendAir

First Flight:

Country: USA

Moller

First Flight: 2018

Country: USA

Pal-V Liberty

First Flight:

Country: UK

Sum of investment: X \$Billion

**”Vanliga” flygplan?**

# Zunum Aero – Hybrid: elfläkt - turbin



 ZUNUM Aero

# EVIATION Alice – Eldriven batteri



Räckvidd 1000 km

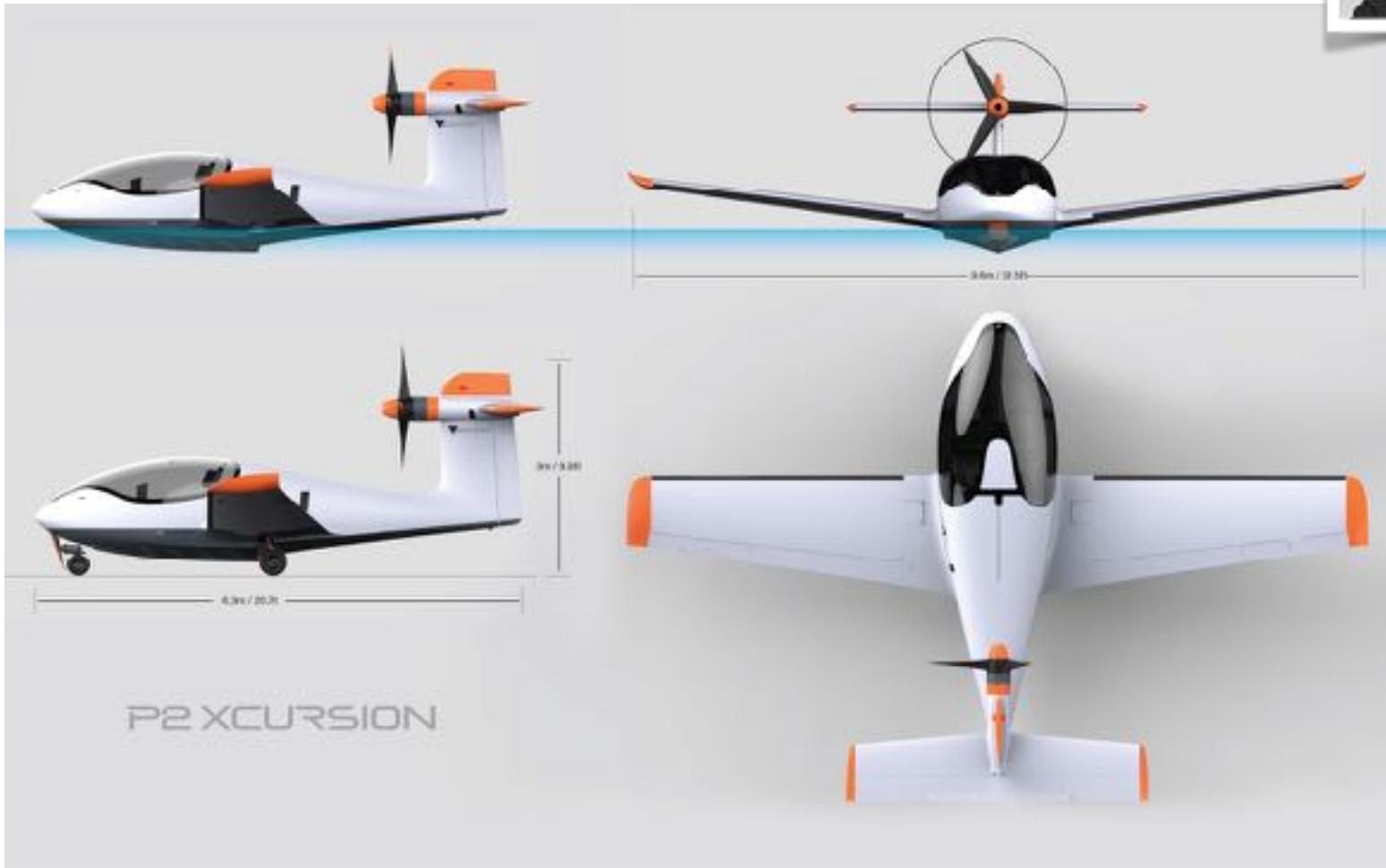
Fart 440 km/h

Glidtal ~ 27

Batteri 900 kWh

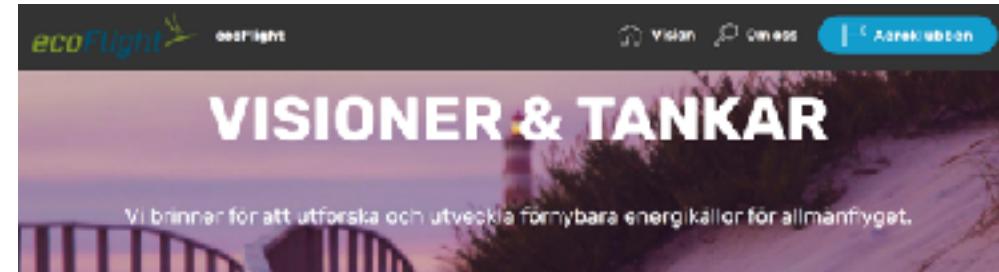
*"Designed to take 9 passengers up to 650 miles at a cruise speed of 240 knots. Alice will redefine regional transportation as an all-electric aircraft."*

# Equator Aircraft



## Några svenska exempel

- EcoFlight - Pipistrel Alpha  
Säve flygklubb - Klimatkivet
- Blackwing AB
- Katla Aero



Omfamna utmaningen!

Driv på omställningen!

Var modiga, det blir bättre!

**Klimatbovar eller hjältar?**

# Allmänflygets roll!

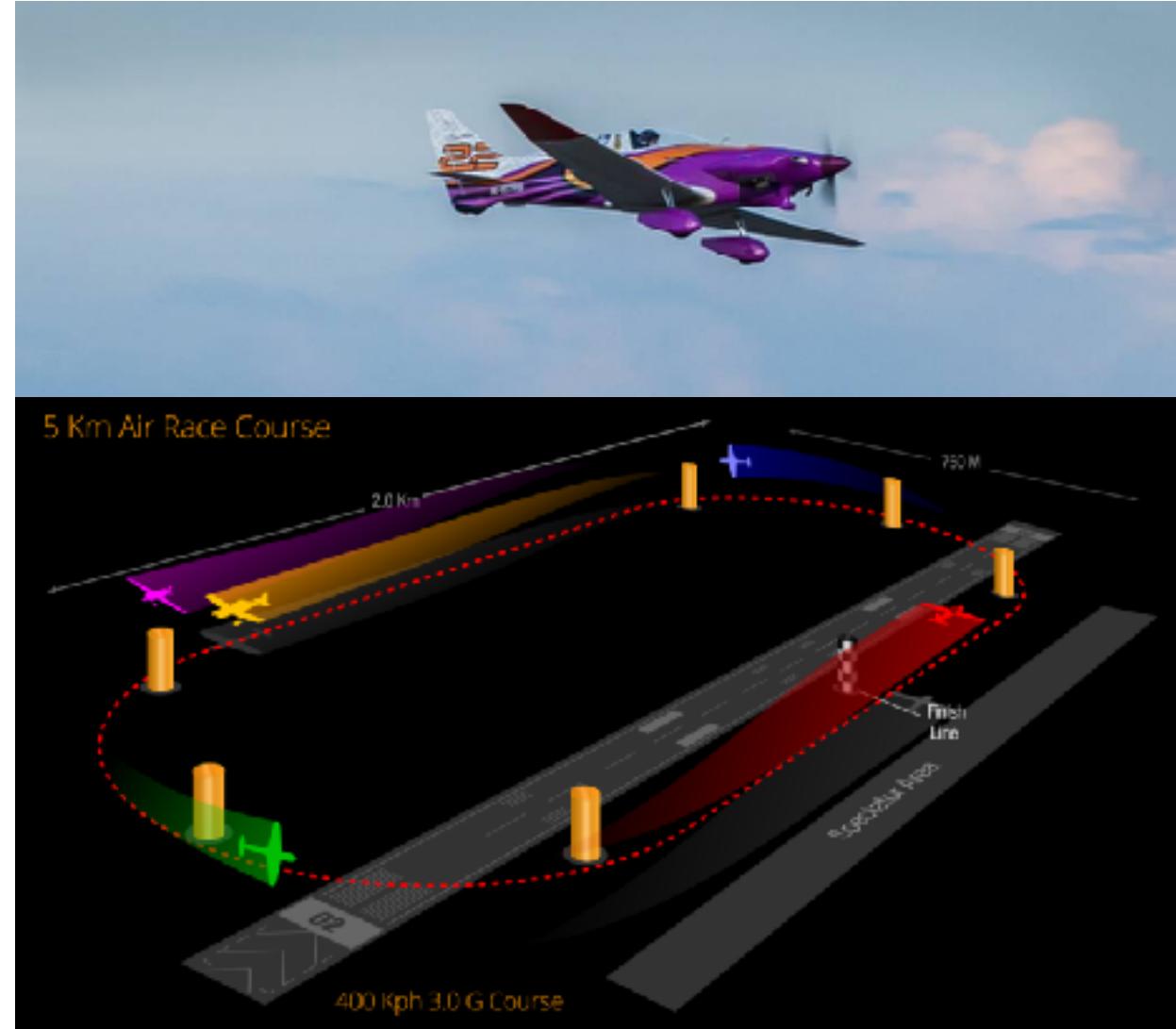
- Early adopters
  - Pionjärandan!
  - Provflygningar
  - Allmänbildning
- Ny renässans för flyget
  - Billigare!
  - Tystare!
  - Roligare!



# AIRRACE E

AIR RACE E

- Air Race Formula One kommer som ny tävlingsklass!
  - [www.airracee.com](http://www.airracee.com)
  - Motor 150 kW
  - Vinge  $6 \text{ m}^2$
- Designtävling under 2019!
  - Modellera i X-Plane
  - Deadline Sept 2019



”

*Eldrivet flyg ger nya möjligheter till hållbara flygupplevelser!*

*Låt oss vara modiga!*



*www.elise.aero*