

CO₂-neutral fliegen?

Prof. Dr. André Thess

**Direktor des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik
Professor für Energiespeicherung, Universität Stuttgart**

**Teil 1 – CO₂-Reduktion
Teil 2 – CO₂-Kompensation**

Wuppertal, 29. April 2021



Wissen für Morgen



Teil 1

CO₂-Reduktion

- Synthetisches Kerosin und Gasturbinen
- Wasserstoff und Brennstoffzellen
- Ökostrom und Batterien



Die Ökonomie des CO₂-neutralen Fliegens

Pyrozentrishes Energiesystem PE=Brennstoff

1 kWh
Antriebsenergie aus
Kerosin
5 Cent

4 MWh
200 €

1000 €

Elektrozentrishes Energiesystem PE=Strom

1 kWh
Antriebsenergie aus
Grünem Strom
10 Cent

4 MWh
400 €

1400 €

1 kWh
Antriebsenergie aus
Grünem Wasserstoff
20 Cent

4 MWh
800 €

2200 €

1 kWh
Antriebsenergie aus
Grünem Kerosin
30 Cent

4 MWh
1200 €

3000 €

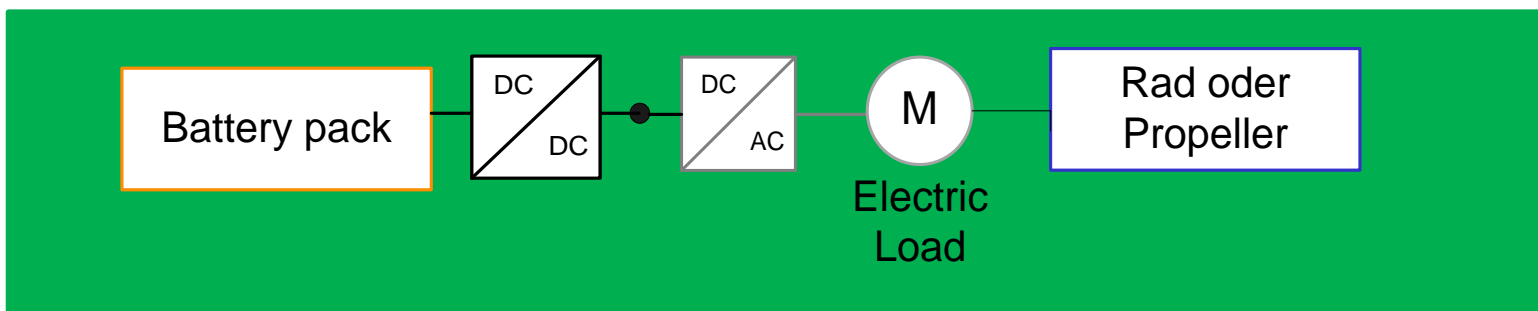
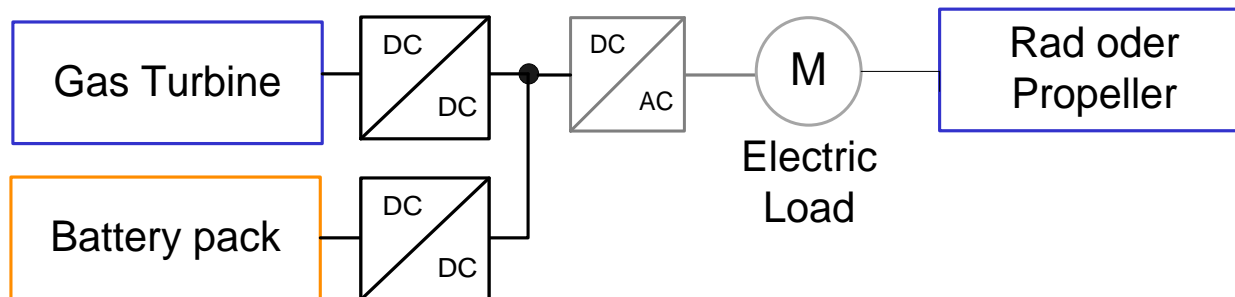
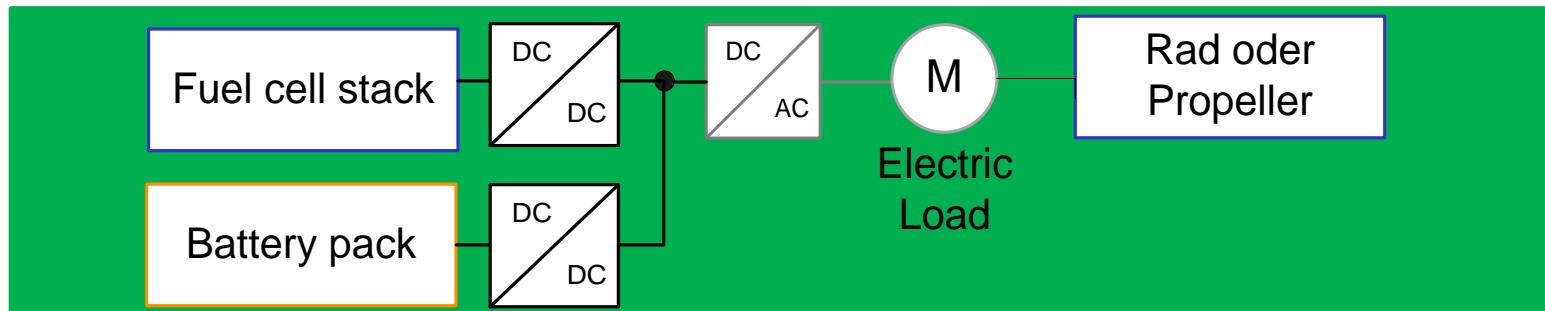


Warum elektrisches Fliegen?

Die Dekarbonisierung des Flugverkehrs ist ohne elektrisches Fliegen möglich, aber teuer. Durch elektrisches Fliegen könnte sie auf Kurz- und Mittelstrecken effizienter und billiger werden.



„Elektromobilität“ in der Luftfahrt



→ Alle Varianten gehören zur Elektromobilität aber nur  ist emissionsfrei.

Antares DLR-H2



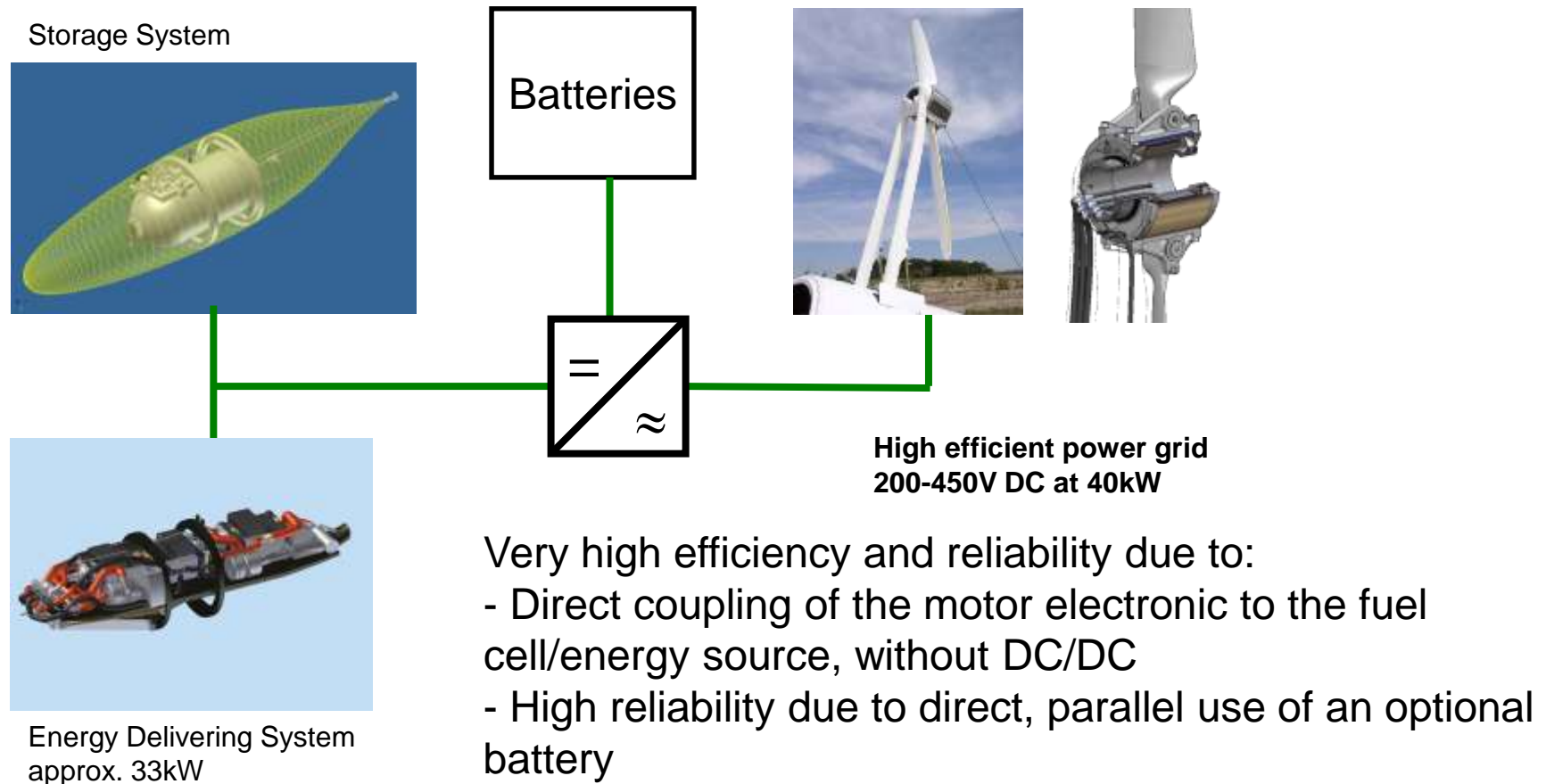
Geometry	
Wing Span	20 m / 65.6 ft
Wing Area	12.6 m ² / 135 ft ²
Aspect Ratio	31.7
Fuselage Length	7.40 m / 24.3 ft
Fuselage Height	1.64 m / 5.4 ft
Weight	
Empty Weight	460 kg / 1014 lb
Maximum Weight	660 kg / 1455 lb
Waterballast	100 l / 26.4 USgal
Min. Wing Loading *	42 kg/m ² / 8.6 lb/ft ²
Max. Wing Loading	52.4 kg/m ² / 10.7 lb/ft ²
Glide Performance	
Best Glide Ratio	56
Min. Sink Rate at weight	0.49 m/s / 96 ft/min 530 kg / 1168 lb
Stall Speed at weight	73 km/h / 39.4 kt 530 kg / 1146 lb



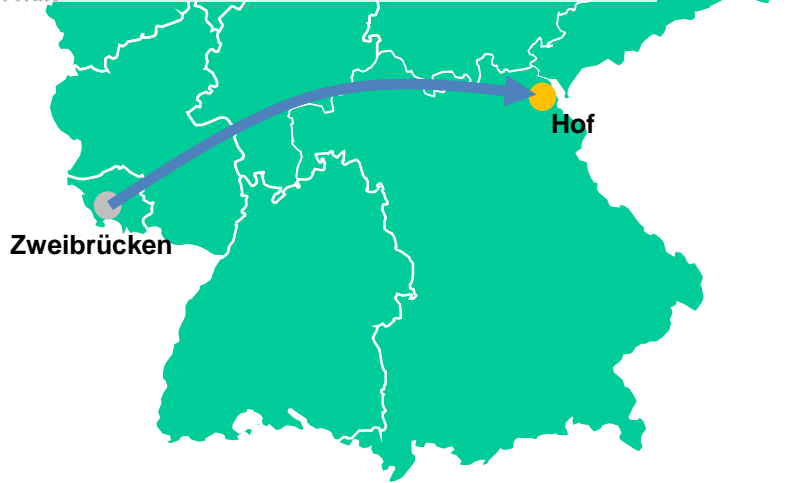
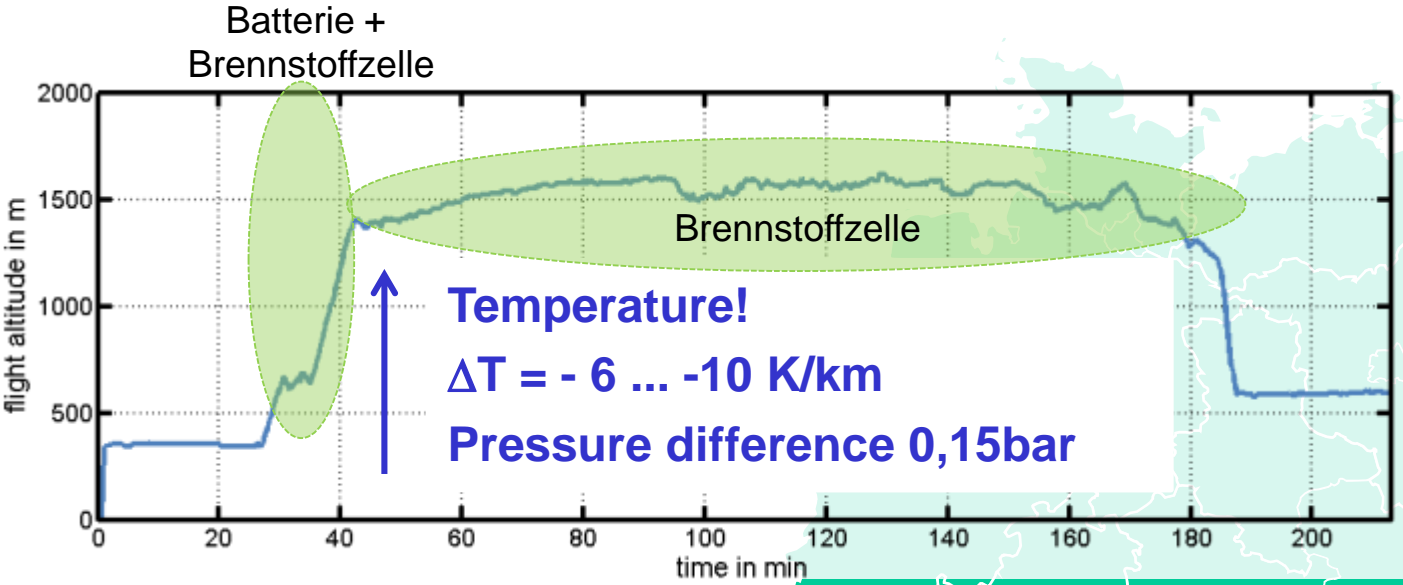
Antares DLR H2 – LT PEM Fuel Cell Technology Gen 2

Optimized electrical network - direct hybrid

> 40% overall efficiency (from chemical energy to movement)



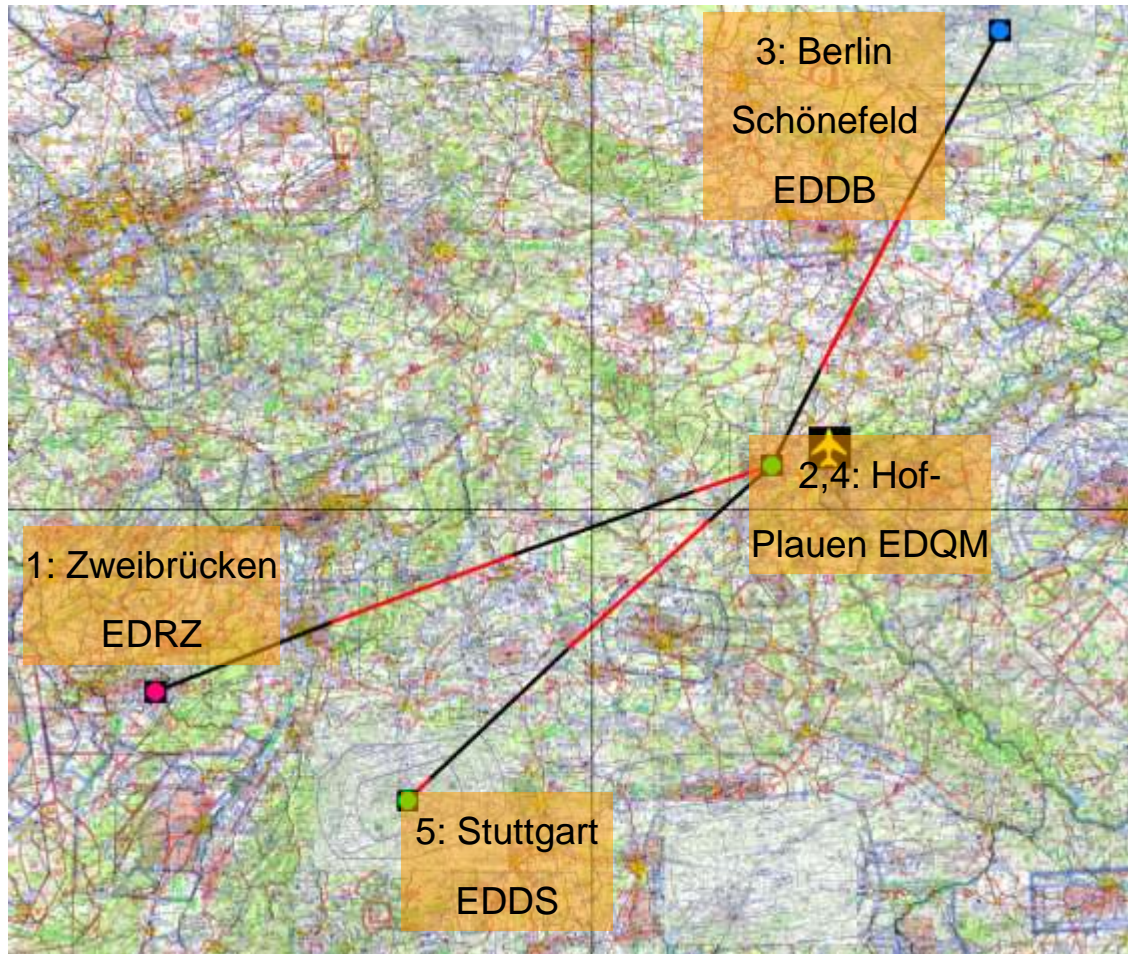
Aircraft application: Flight profile Antares DLR H2



→ Hybridsystem optimal



Fuel cell „Germany Tour“ – Antares DLR H2



Hof - Stuttgart

2 hours 18 minutes

295,5 km

ca. 2,2kg hydrogen



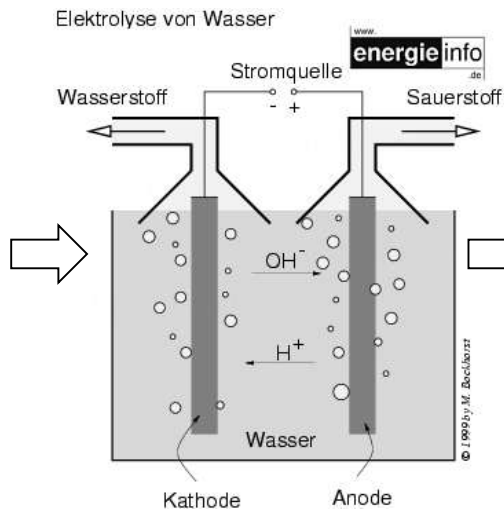
Total flight time during tour: 11:42 [hh:mm], 1483,9 km



Energiebereitstellung für die Antares DLR H2 Emissionsfreie Wasserstoffproduktion



Regenerative
Energiequellen



Elektrolyse
Wasserstoffproduktion



Speicher



Anwender
DLR H2

→ ca. 160kWh (570MJ) (tank to movement) BER → STR



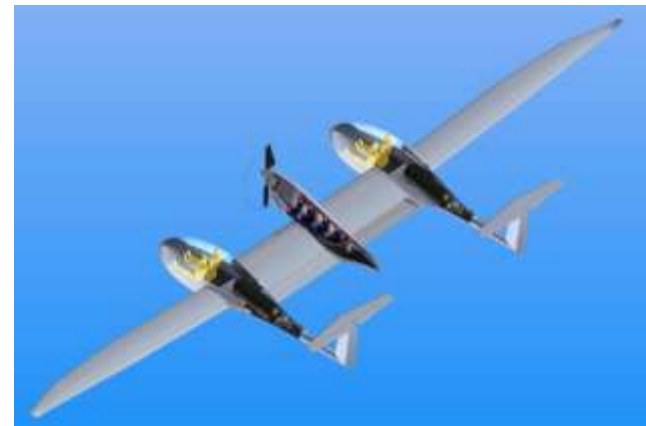
Forschungsplattform HY4

Flugzeugplattform vorhanden –
2012 als batteriebetriebener elektrischer
Antrieb aufgebaut

- Aufbau Pipistrel - NASA/CAFE Gewinner 2012
- 480kg Batterie, hocheffiziente Plattform

**HY4 – 2015 Brennstoffzellen-Hybrid
Antrieb**

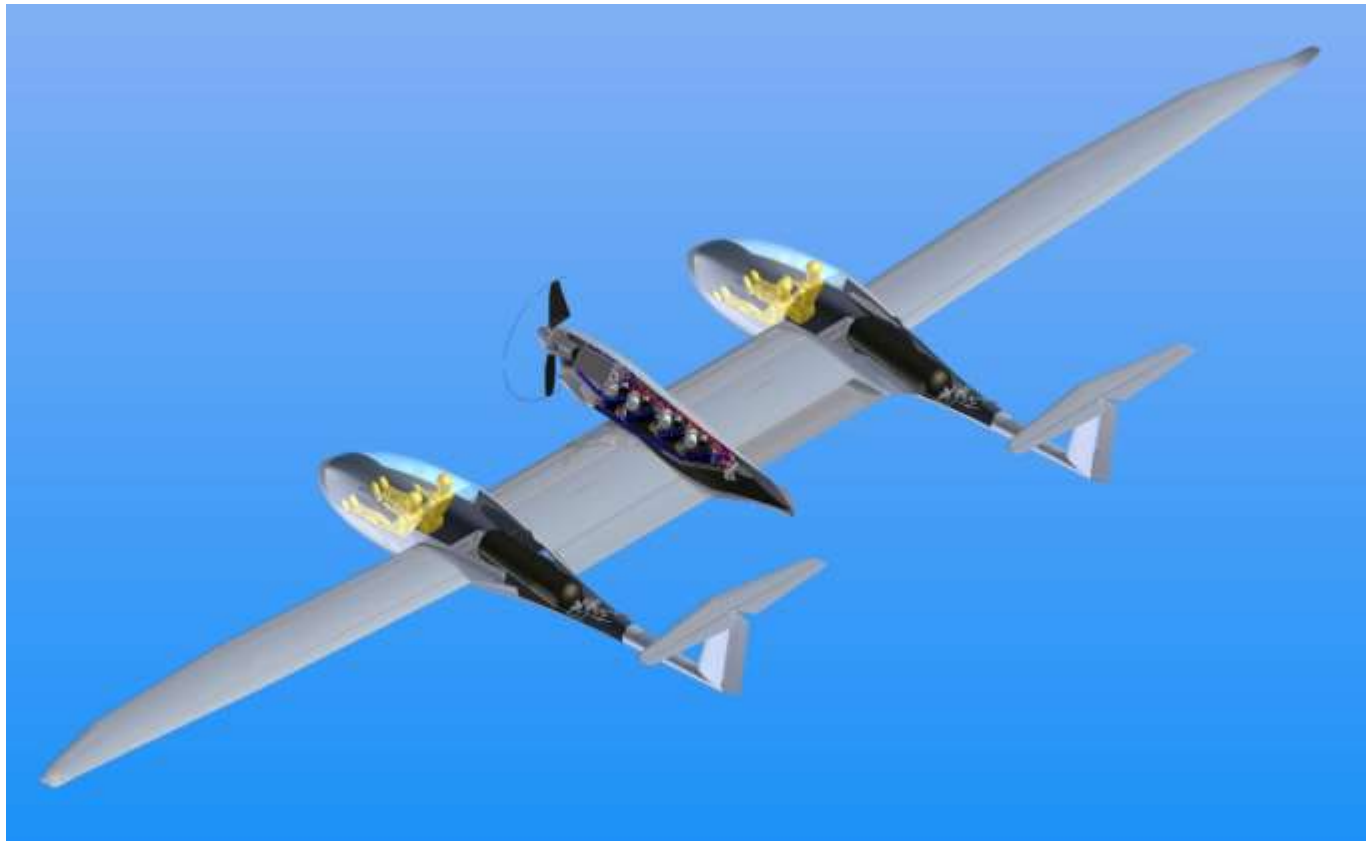
- 45kW Wasserstoffbrennstoffzellen System
- 80kW Hybridsystem
- Bis zu 4 Passagiere
- Bis zu 1800km Reichweite



HY4



Übersicht HY4 – Passagierflugzeug mit BZ-Antrieb



Energiequelle:
NT-PEM 45kW
Li-Ion 45kW

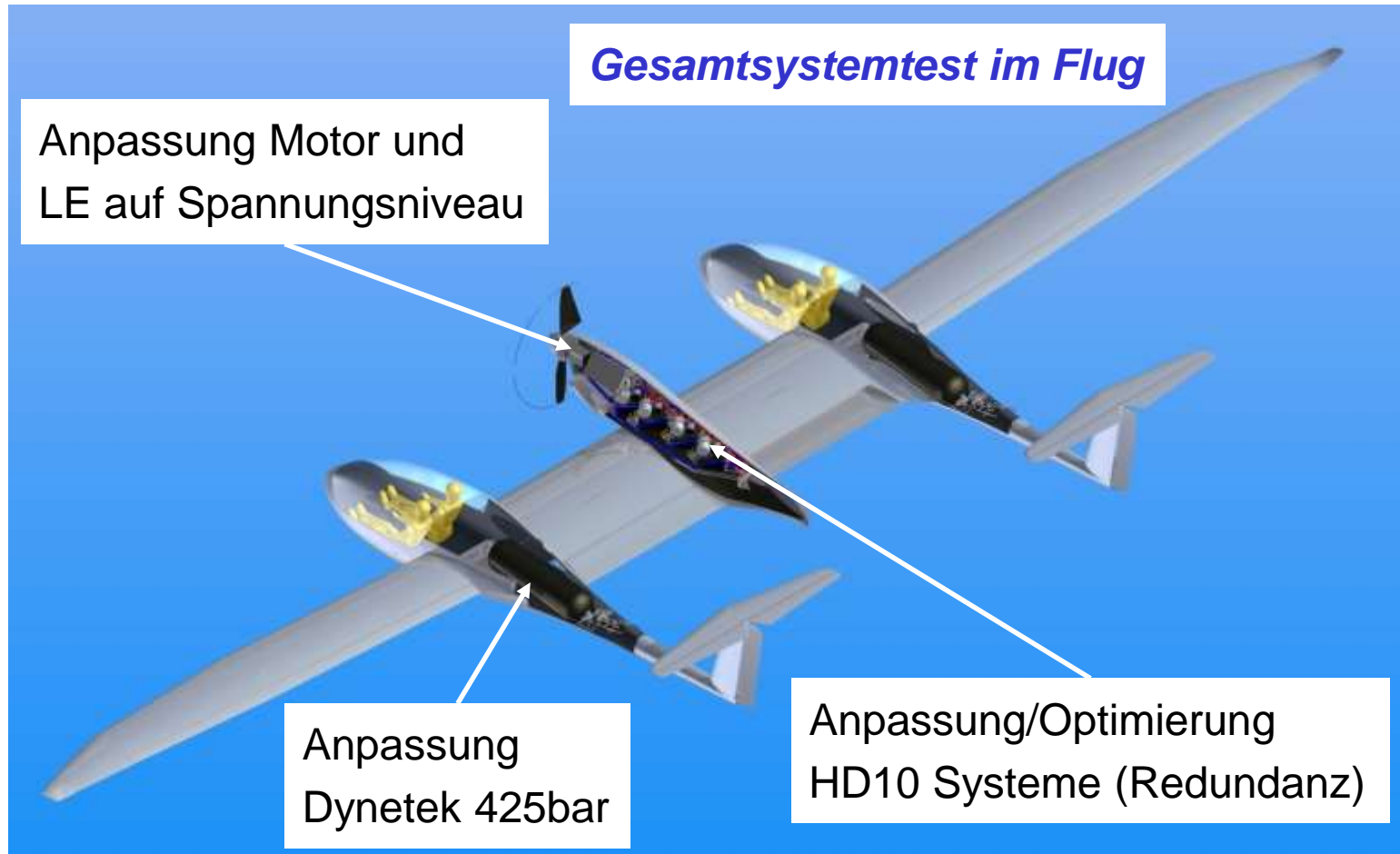
Antrieb:
Emrax Umrichter
Siemens 60kW
Watts'up Motor

H2 Speicher
W205 Dynatek
Bei 425 bar 12kgH2

Reichweite:
750 -1500km



Übersicht HY4 – Passagierflugzeug mit BZ-Antrieb



Go4H2 – Projektübersicht, Wasserstoffspeicher

- **Projektziele:**

Integration Antriebsstrang in HY4

BZ – 45 kW - Low Pressure

Batterie 80kW (max. , 45 kW cont)

Thermal 45 kW ca. 8-10kg

(4Pa – ab 120km/h)

Wasserstoffspeicher:

Gasförmig unter Druck

Qualifikation für 425 bar

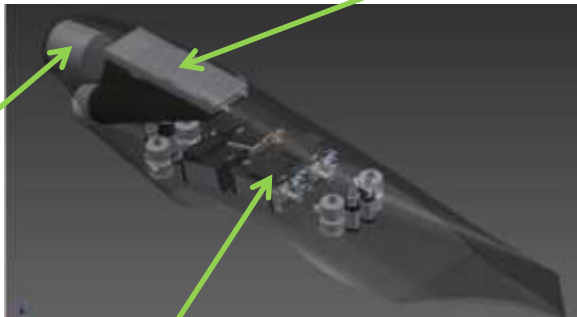
7 - 16kg H2

Integration

Brennstoffzellensystem

Kühlung

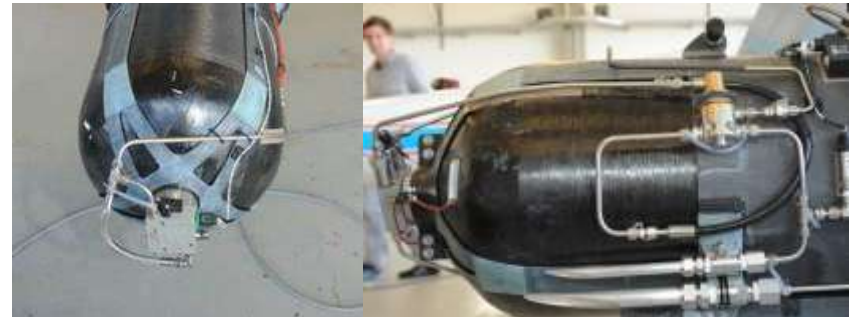
Motor



Brennstoffzellen

Integration

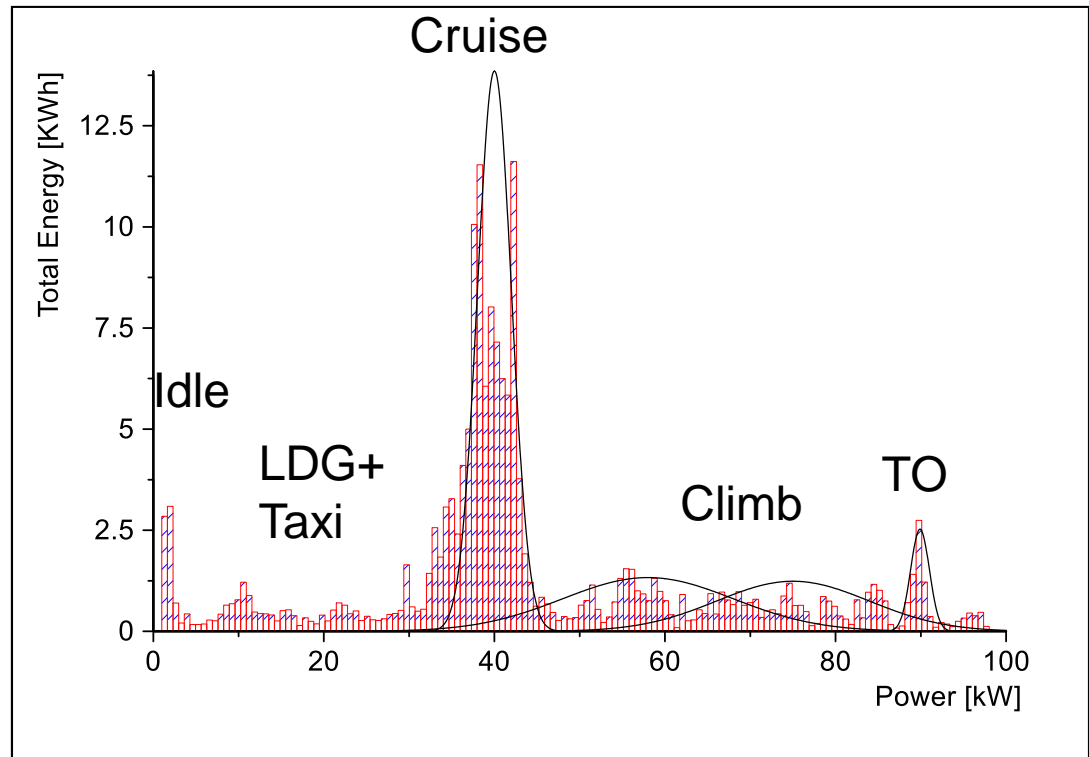
H2- Speicher



HY4 – Power behaviour during flight profile

Histogram

- Data taken from 10 flights
- Measured mean values
 - 88kW TO
 - 75kW steep climb
 - 58kW climb
 - 37kW cruise



Fuel Cell – Battery - Hybrid architecture beneficial



Systemauslegung sechs sitzige Flugzeug

Hydrogen Energy density **33kWh/kg**

Energy density in pressurized gas storage system (350 bar) **1,65kWh/kg**

Electrical fuel cell system efficiency **50%**

Fuel cell system to hydrogen system weight ratio **1:3**

Overall energy density (H2 storage and fuel cell) max **600Wh/kg**



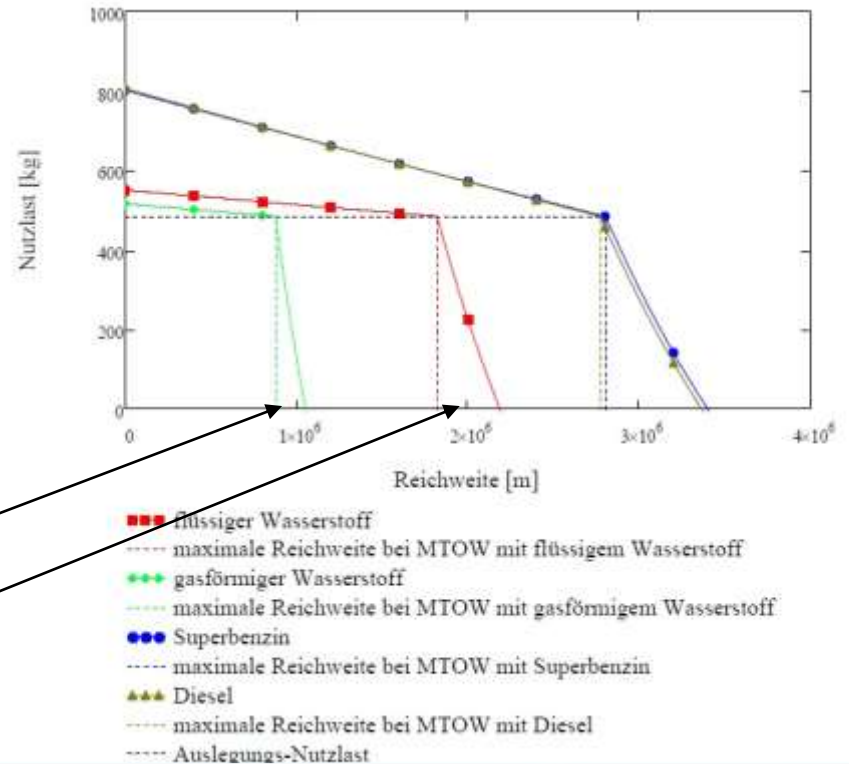
6 seater, fuel cell driven aircraft



Felix Frey, Josef Kallo 2014



6 seater, fuel cell driven aircraft



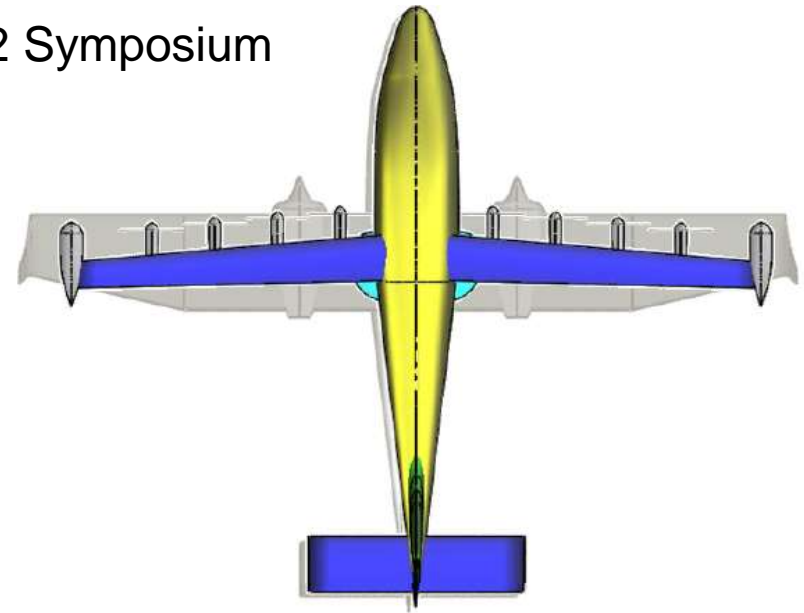
1000km range with pressurized,
2000km range with liquid hydrogen

Felix Frey, Josef Kallo, 2014



Integration Elektrische Antriebe

Konzept Verteilte Antriebe: NASA M.Moore, E2 Symposium



Vorteile:

- Maximierung der Propellerfläche bei geringem Durchmesser
- Redundanzkonzepte verkleinern die Entwicklungs- und Zulassungskosten
- Herausforderung: Steuerung, Regelung der Antriebsleistung im Fehlerfall



Vision elektrisches, emissionsfreies Fliegen als Passagierflugzeug (bis zu 40 Sitze)

Martin Hepperle, 2015



- 40 Sitzler Regionalflugzeug
- > 2 MW – kombinierte Antriebsleistung
- Energiedichte Tank + Antrieb > 1000Wh/kg



Teil 2

CO₂-Kompensation



Doch grau, teurer Freund ist alle Theorie
und grün des Lebens goldner Baum!



CO₂-Kompensation: Klimarettung oder Geldveschwendung?

André Thess

29. April 2021

(Folien ausgeblendet)

Guten Flug!

