

# 1 MW Demonstrator eines vollständig supraleitenden Propulsion-Motors

Funded by the  
European Commission  
Grant No 723119

Thomas Reis, Oswald Elektromotoren GmbH, vorgetragen von Mathias Noe, KIT

06.03.2020

**OSWALD**

Rolls-Royce

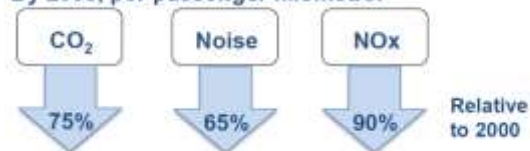


DEMACO

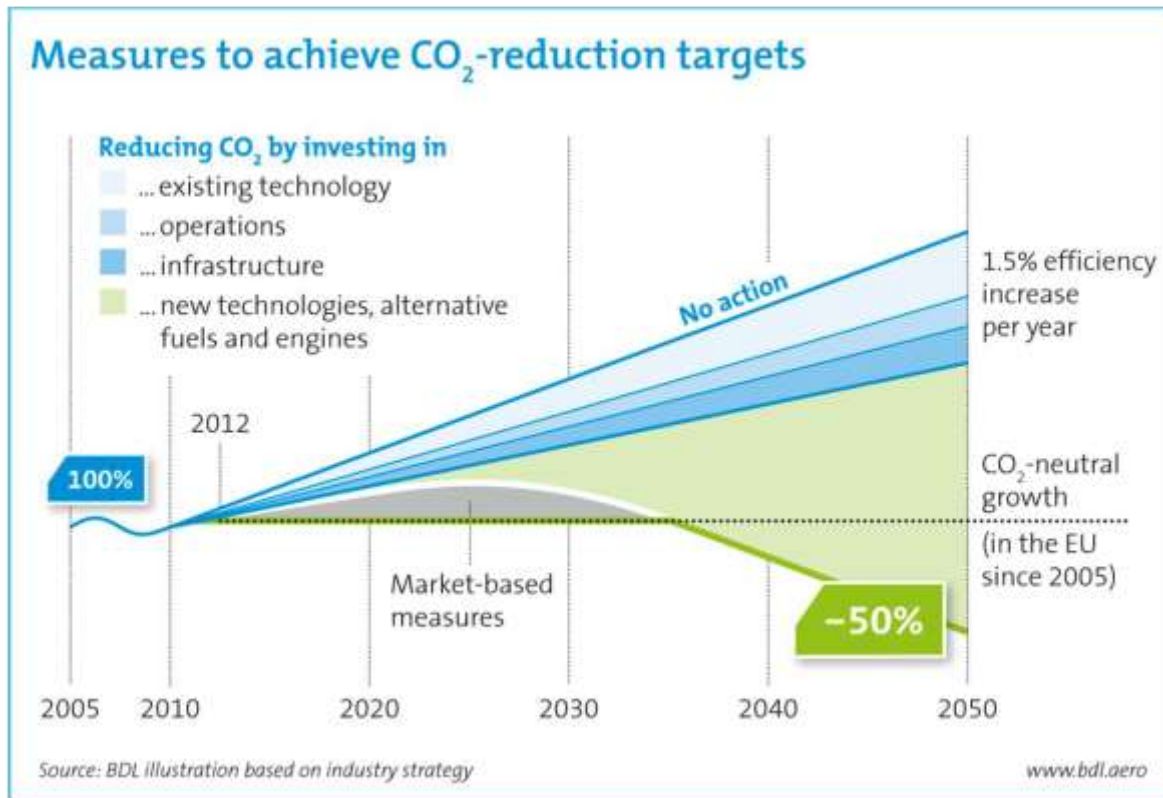
hochschule aschaffenburg  
university of applied sciences

## ACARE's Flightpath 2050:

By 2050, per passenger kilometre:

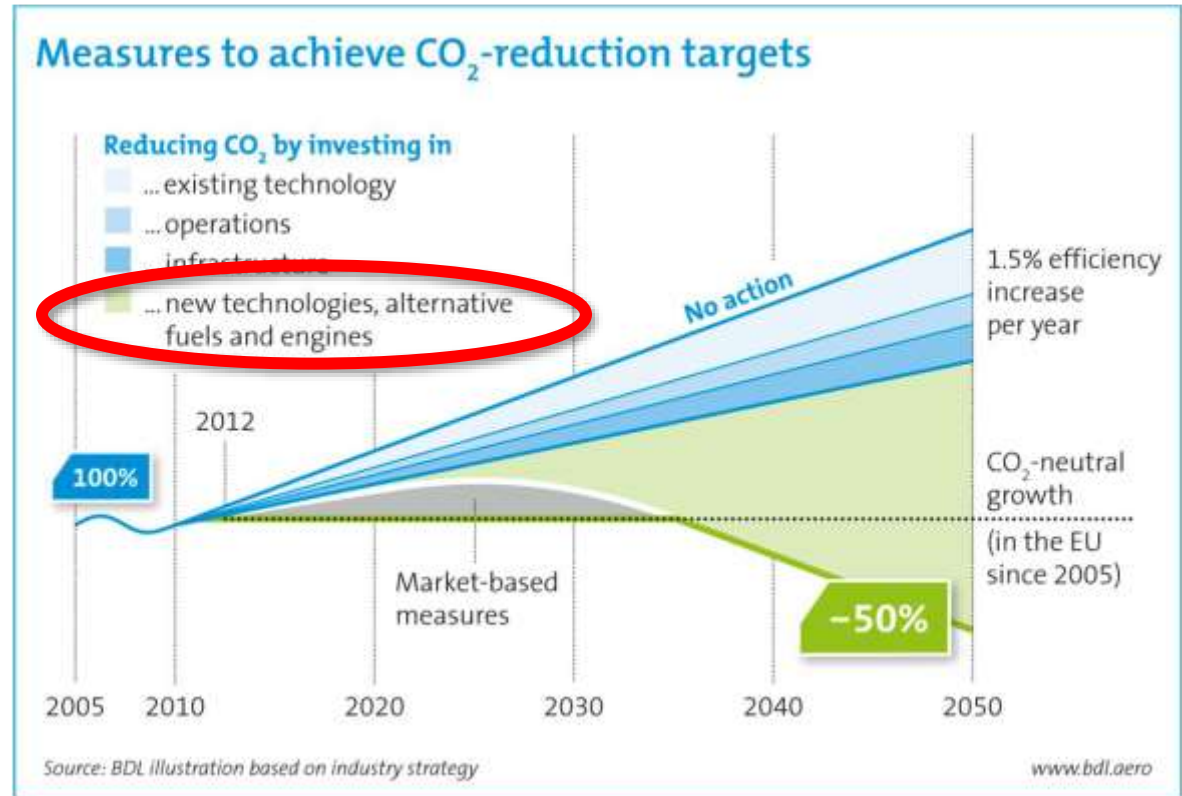


Optimise air operations and traffic management  
Improve airport noise and air quality  
Provide affordable and sustainable alternative fuels  
Atmospheric Research



Welche sind diese

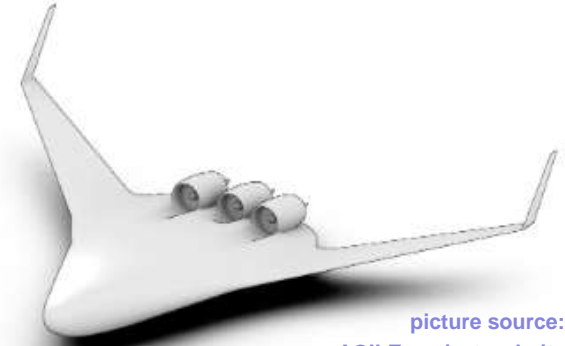
- new technologies,
- alternative fuels,
- new engines



Welche sind diese

- new technologies,
- alternative fuels,
- new engines

- BWB (blended wing body)
- BLI (boundary layer ingestion)
- drag reduction
- Verteilte Antriebe



picture source:  
AGILE project website

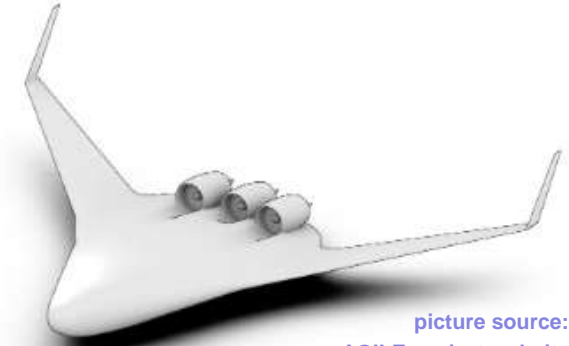


Welche sind diese

- new technologies,
- alternative fuels,
- new engines



- BWB (blended wing body)
- BLI (boundary layer ingestion)
- drag reduction
- Verteilte Antriebe



picture source:  
AGILE project website

- Kryogene Treibstoffe
- Nachhaltige Treibstoffe
- Einführung der Supraleitung

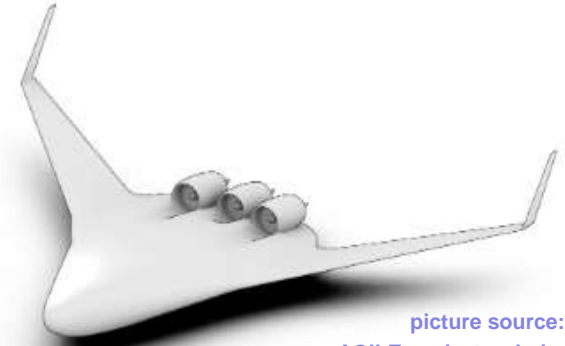
$\text{H}_2$



Welche sind diese

- new technologies,
- alternative fuels,
- new engines

- BWB (blended wing body)
- BLI (boundary layer ingestion)
- drag reduction
- Verteilte Antriebe



picture source:  
AGILE project website



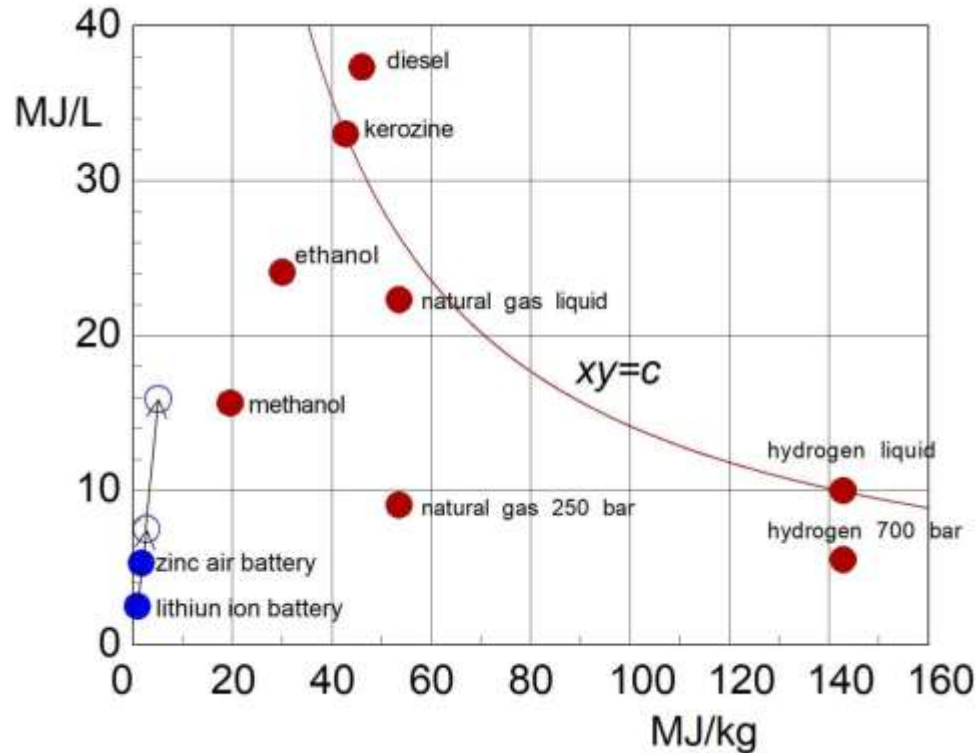
- Kryogene Treibstoffe
- Nachhaltige Treibstoffe
- Einführung der Supraleitung

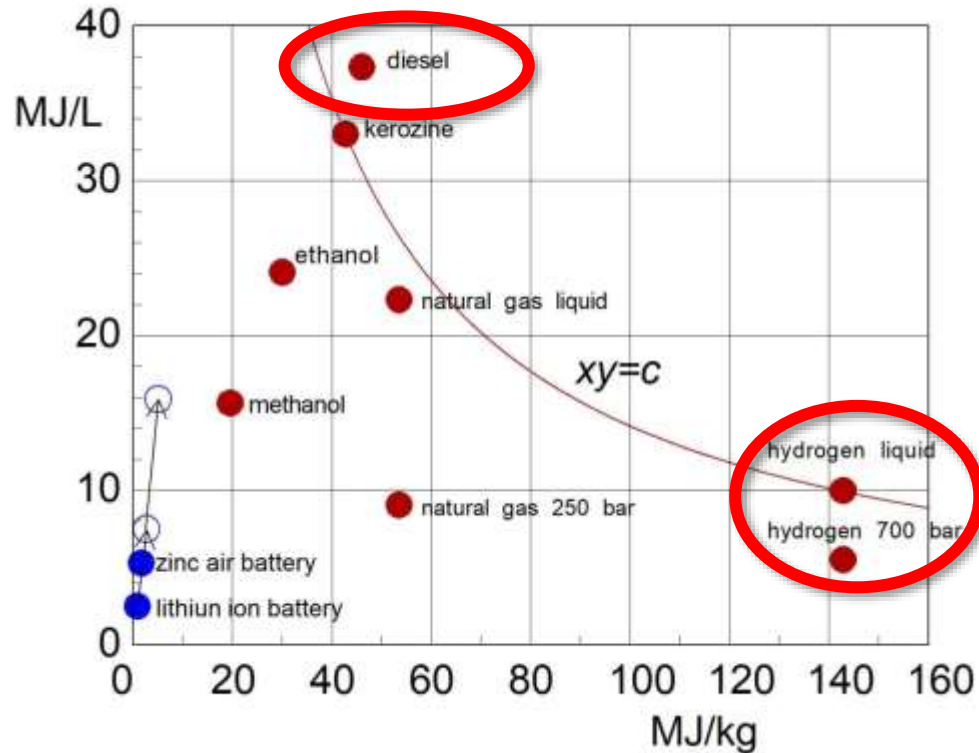
$\text{H}_2$



HTS (kryogene) elektrische Antriebssysteme sind die Schlüsseltechnologie

**H<sub>2</sub>** ... im Vergleich

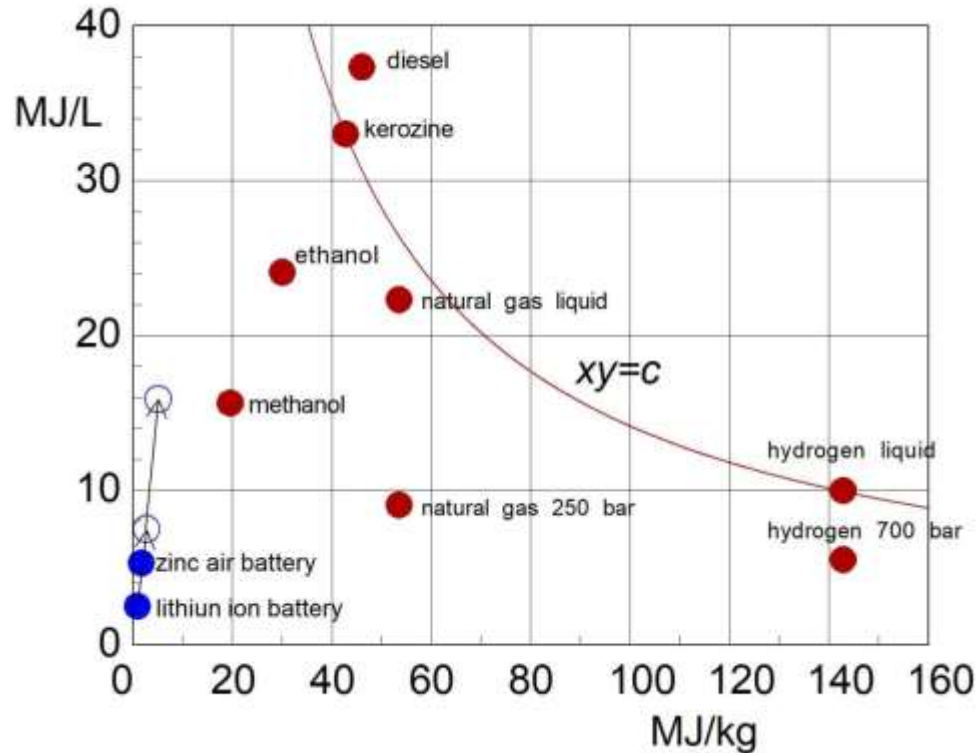




## H<sub>2</sub> ... im Vergleich

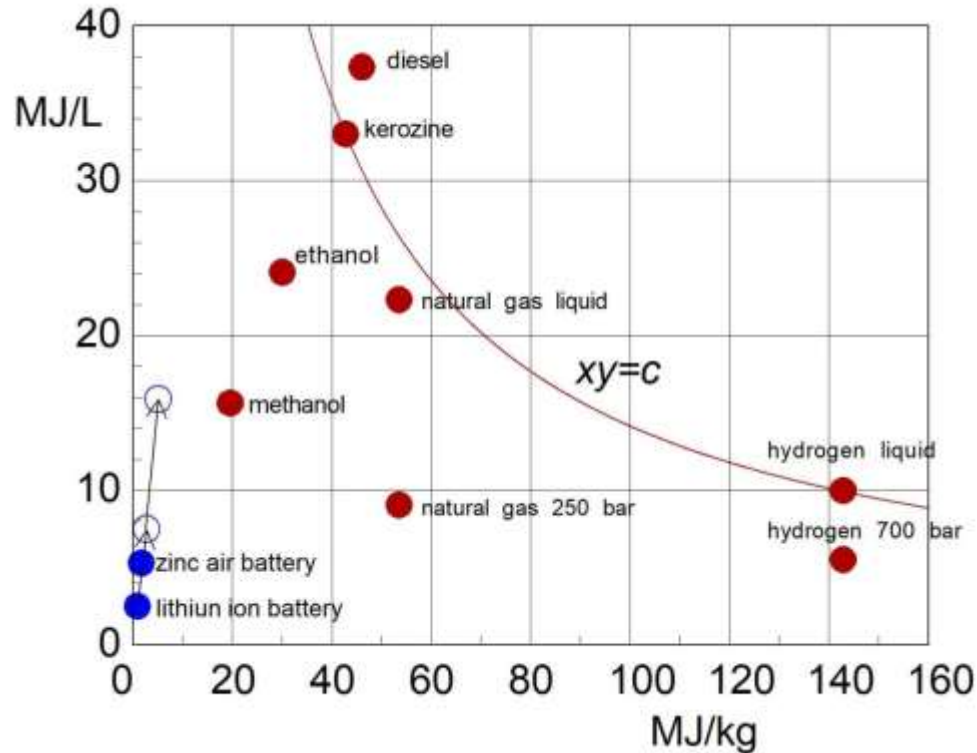
- Hohe spezifische Energie
- Niedrige Energiedichte





## H<sub>2</sub> ... im Vergleich

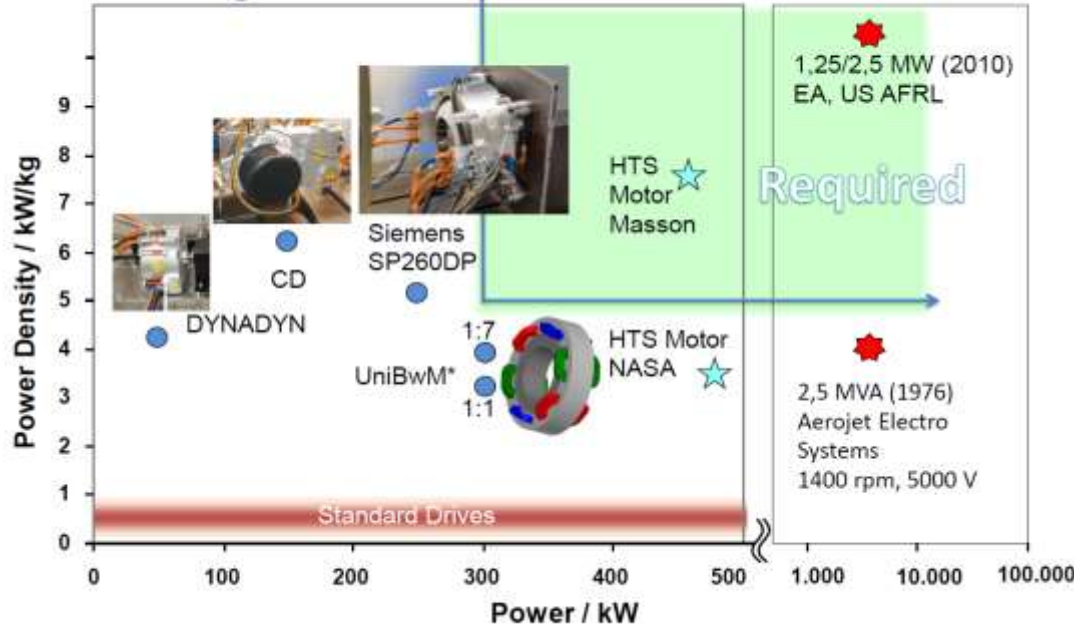
- Hohe spezifische Energie  
Niedrige Energiedichte
- Kann in Brennstoffzellen oder  
als Treibstoff für Verbrennung  
genutzt werden



## H<sub>2</sub> ... im Vergleich

- Hohe spezifische Energie  
Niedrige Energiedichte
- Kann in Brennstoffzellen oder als Treibstoff für Verbrennung genutzt werden
- Kryogenes Kühlmittel für HTS Materialien (33K)
- Keine NO<sub>x</sub> oder CO<sub>2</sub> Emissionen

## Are Electrical Machines Suitable for Electrical Flight?

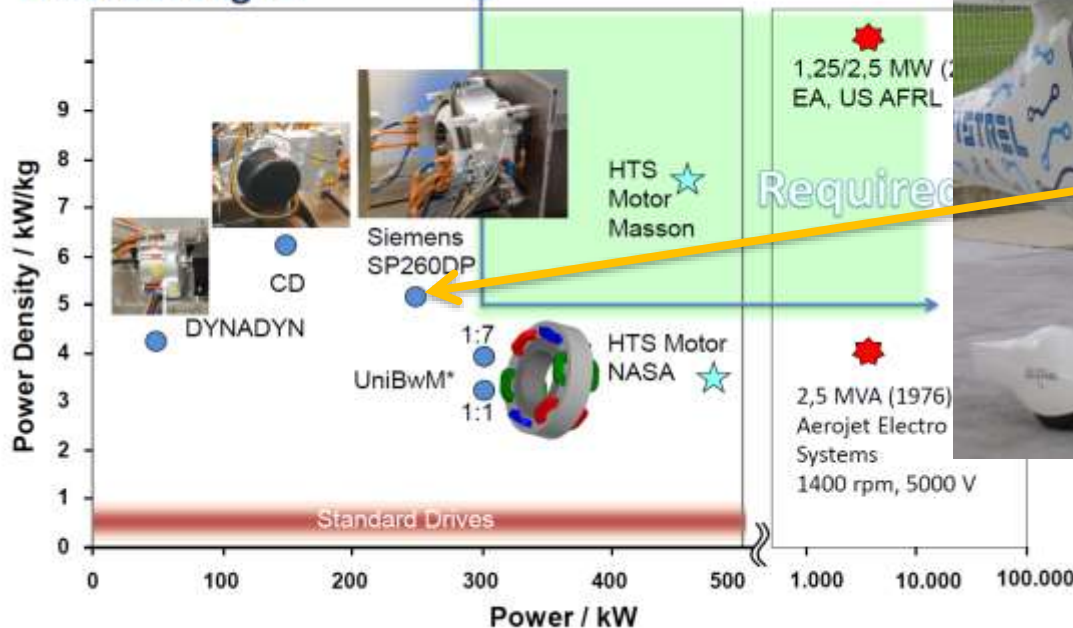


source: Airbus, P. Jaenker  
(2015 electric hybrid aerospace)

● PowerLab    ☆ HTS Concept    ★ Generator    ..

# Elektrische Antriebe

## Are Electrical Machines Suitable for Electrical Flight?



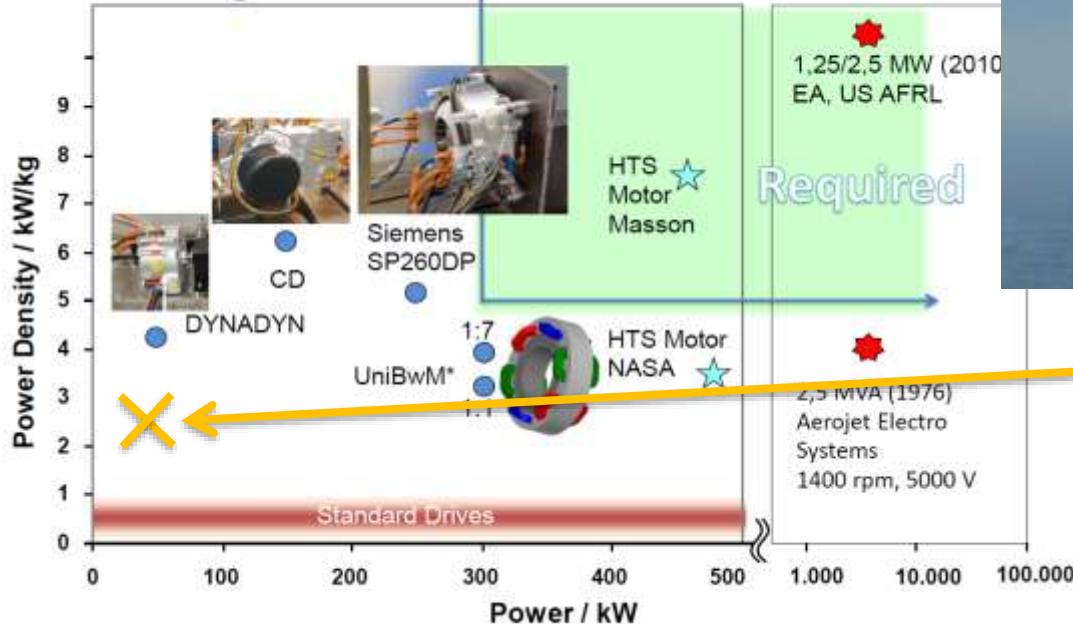
source: Siemens

Originalgröße  
Öl – Direktkühlung

source: Airbus, P. Jaenker  
(2015 electric hybrid aerospace)

● PowerLab    ☆ HTS Concept    ★ Generator

## Are Electrical Machines Suitable for Electrical Flight?



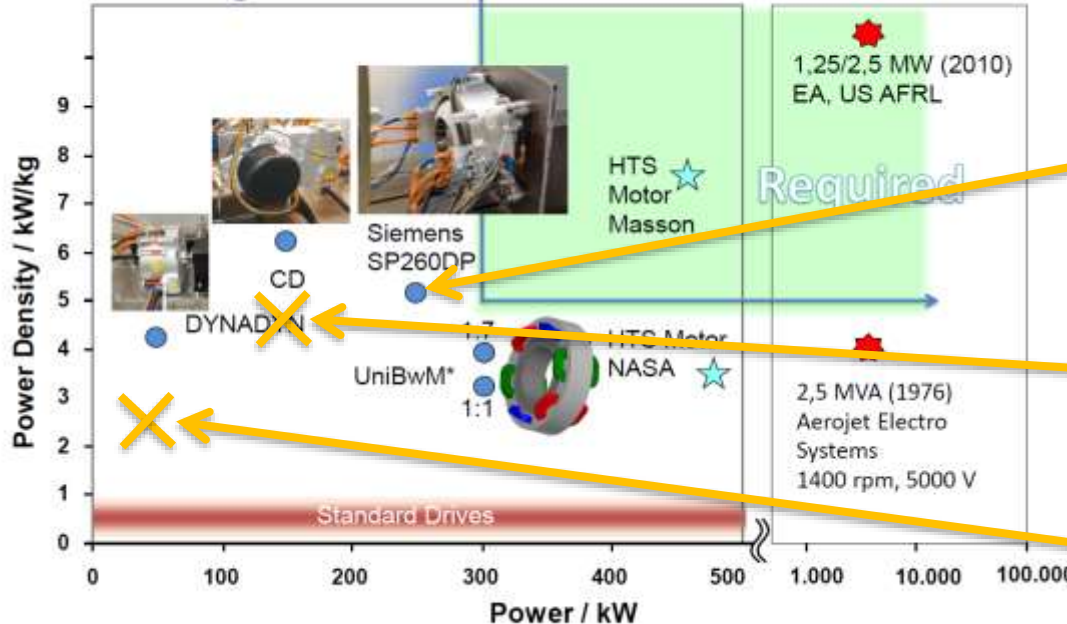
32 kW  
120 Nm  
2.500 rpm  
2,5 kW/kg

passive Luftkühlung

source: Airbus, P. Jaenker  
(2015 electric hybrid aerospace)

● PowerLab    ★ HTS Concept    ★ Generator

## Are Electrical Machines Suitable for Electrical Flight?



Originalgröße

Öl - Direktkühlung

red. Größe

Wasserkühlung



Originalgröße

passive Luftkühlung

source: Airbus, P. Jaenker  
(2015 electric hybrid aerospace)

● PowerLab    ★ HTS Concept    ★ Generator

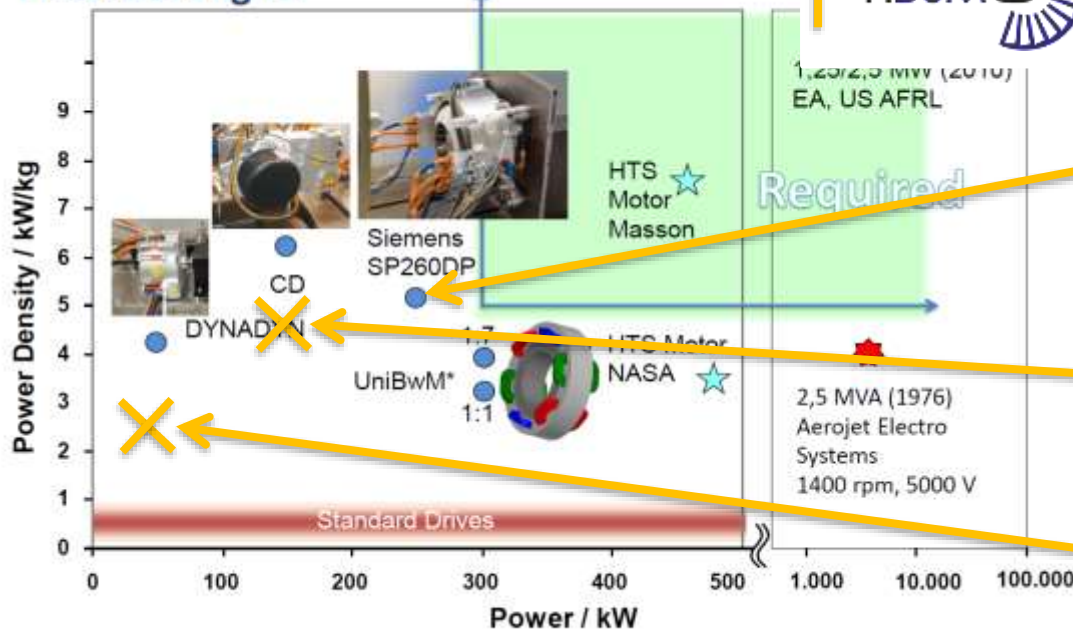
# Elektrische Antriebe

## Are Electrical Machines Suitable for Electrical Flight?



1 MW, 20 kW/kg

IH2 Kühlung (supraleitend)



Originalgröße

Öl - Dirketkühlung



red. Größe

Wasserkühlung

Originalgröße

passive Luftkühlung

source: Airbus, P. Jaenker (2015 electric hybrid aerospace)

● PowerLab    ★ HTS Concept    ★ Generator



## Antriebsstrang A320 neo

Spez. Leistung	7,7 kW/kg
% MTOW	6 %





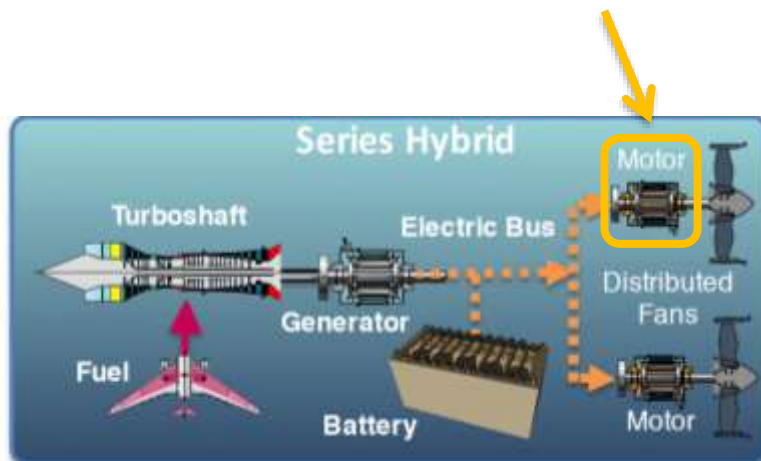
## Antriebsstrang A320 neo

Spez. Leistung	7,7 kW/kg
% MTOW	6 %

## Hybridantrieb, konventionell

Spez. Leistung	< 2 kW/kg
% MTOW	> 23 %

**ASuMED:  
Motor Demonstrator  
1MW  
20 kW/kg**



## Antriebsstrang A320 neo

Spez. Leistung	7,7 kW/kg
% MTOW	6 %

## Hybridantrieb, konventionell

Spez. Leistung	< 2 kW/kg
% MTOW	> 23 %

## Hybridantrieb, SL

Spez. Leistung	~ 6-7 kW/kg
% MTOW	? %

## ■ Partner

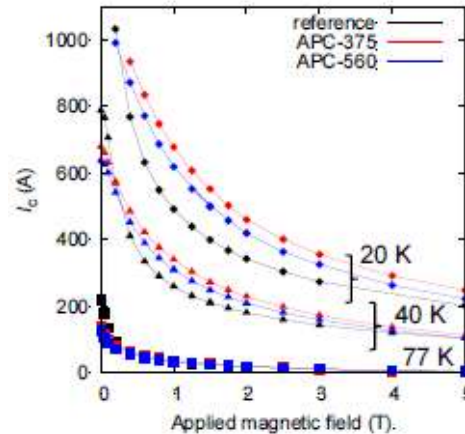
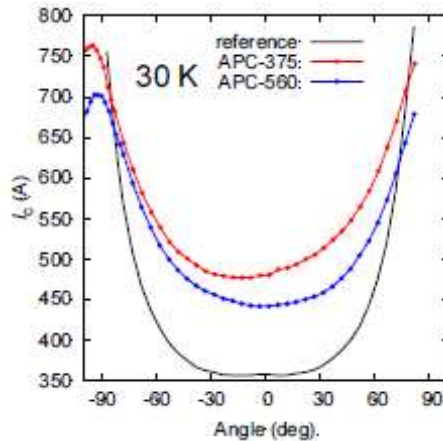


## ■ Ziel: Entwicklung eines 1 MW, 6000 rpm vollsupraleitenden Motordemonstrators

- Hohe Drehzahl
- Vollsupraleitend, Rotor passiv mit HTS Stacks
- LH<sub>2</sub> Kühlung

## Simulations- und Design – Werkzeuge:

### ▪ Charakterisierung des SL-Materials in Motor-Umgebung



- 2km Gesamtlänge YBCO Band im Stator
- Bis zu 1000A in 4mm x 1µm SL-Schicht (250.000 A/mm<sup>2</sup>)
- PI Isolation für PWM Umrichter-Betrieb

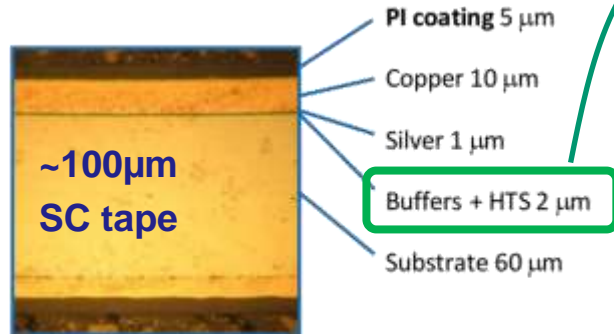
## Simulations- und Design – Werkzeuge:

- Charakterisierung des SL-Materials in Motor-Umgebung
- Multi-dimensionale Modellierung zur Integration des mikroskopischen SL in einen makroskopischen Motor
  - MEMEP
  - A/H formulation

UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE



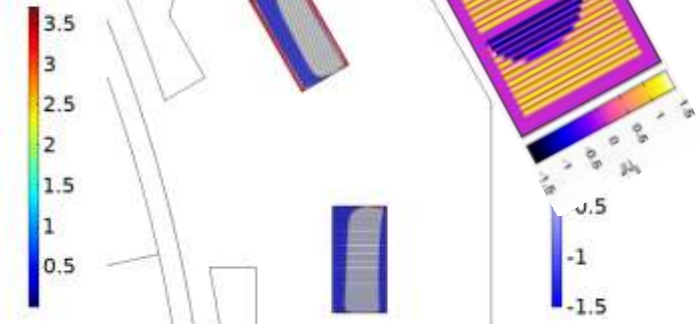
SuperOx



Magnetic flux density (T)



Current densit.



## Motor-Topologie (vollst. supraleitend):

- **Erster passiver supraleitender Rotor**
  - Keine externe Leistungsversorgung für die Rotor-Erregung
  - Stator-Drehfeldwicklung wird zur Magnetisierung der Rotor-Stacks verwendet
  - Modellierung und Simulation der Magnetisierung und des Verhaltens im Betrieb



## Motor-Topologie (vollst. supraleitend):

- Erster passiver supraleitender Rotor
- SL Stator-Wicklungssystem in AC Anwendung
  - integriertes kryogenes Kühlungssystem (<10% Wicklungsfläche)
  - Erstes verteiltes SL AC-Wicklungssystem mit red. Oberwellenanteilen
  - AC Verluste <1500W (Wirkungsgrad 99,8%)
  - Nutzung des Wicklungssystems für DC Magnetisierung des Rotor

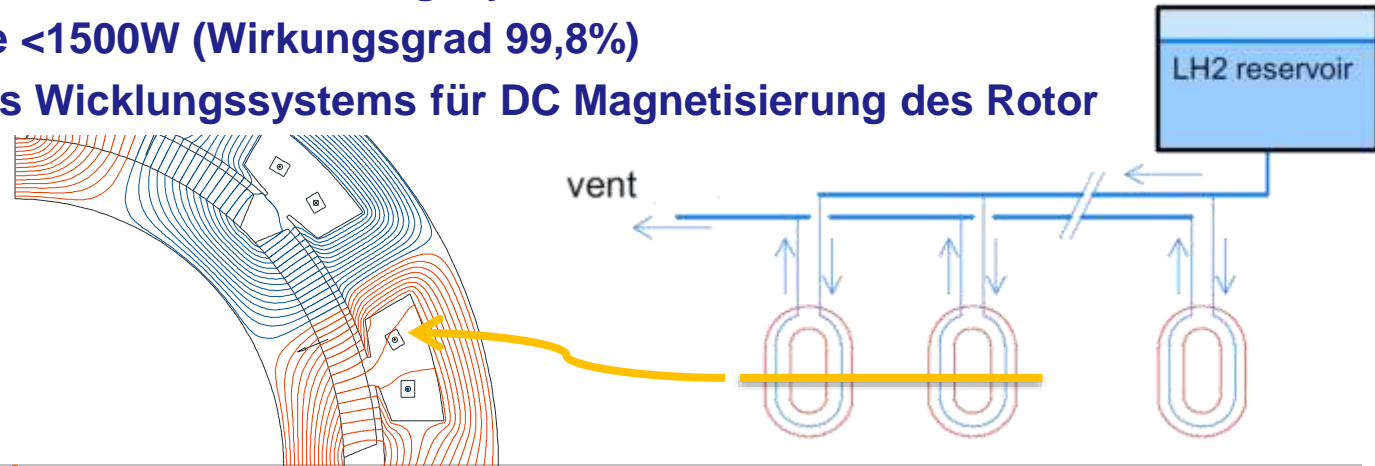
**OSWALD**

UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE

DEMACO



hochschule aschaffenburg  
university of applied sciences



## Motor-Topologie (vollst. supraleitend):

- Erster passiver supraleitender Rotor
- SL Stator-Wicklungssystem in AC Anwendung
- 6-phasiger dualer 2-level Umrichter
  - Hoher Redundanz
  - SL Wicklungsüberwachung
  - integrierter Leistungstransfer
  - Leistungsversorgung für Magnetisierung des Rotor

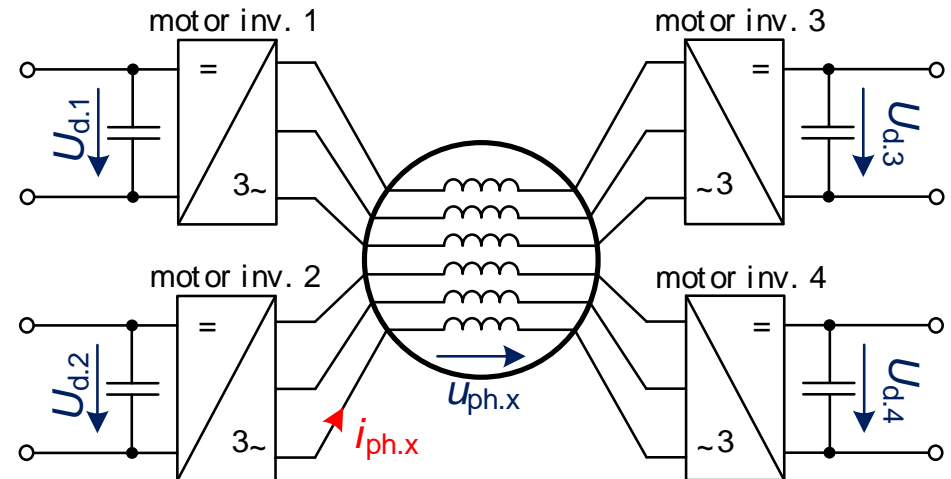
**OSWALD**

UNIVERSITY OF  
CAMBRIDGE

DEMACO



hochschule aschaffenburg  
university of applied sciences





## Motor-Topologie (vollst. supraleitend):

- Erster passiver supraleitender Rotor
  - SL Stator-Wicklungssystem in AC Anwendung
  - 6-phasiger dualer 2-level Umrichter
- 
- 1MW Leistung für den Antrieb
  - Demonstrator @ Originalgröße für verteilte Antriebssysteme

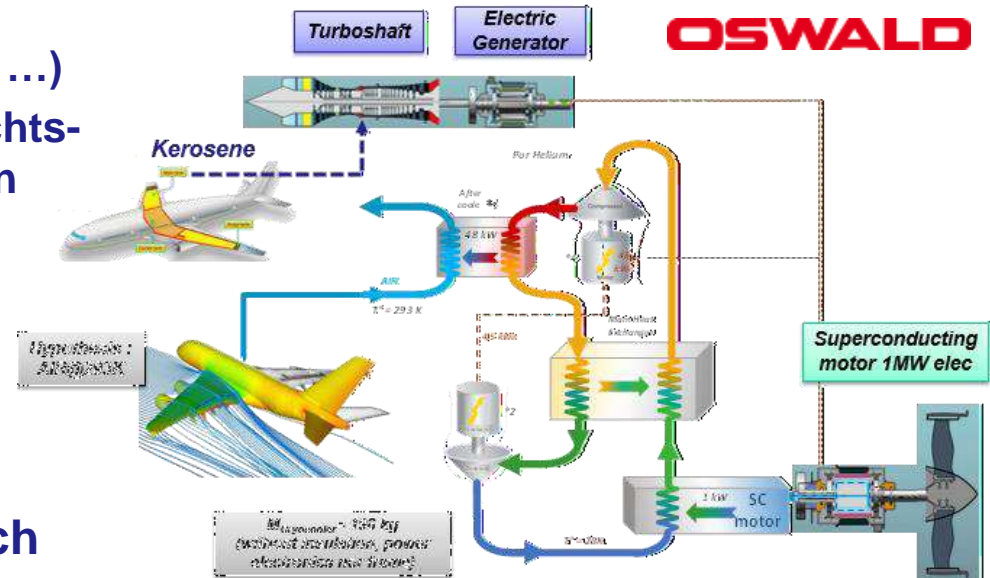


## Zukünftige Entwicklungen:

### ▪ Optionen für die kryogene und Leistungsversorgung

- Kombination verschiedener Brennstoffe (Kerosin,  $\text{IH}_2$ ,  $\text{ICH}_4$ , ...)
- Integration effizienter und gewichtsoptimierter aktiver Komponenten
- Betrachtung verschiedener Rückkühl-Temperaturniveaus

➤ - 40% Reduktion des Volumens für das kryogene System möglich



## Zukünftige Entwicklungen:

- Optionen für die kryogene und Leistungsversorgung
- Definition der Schnittstellen und Integration in den Antriebsstrang
- Nachweis der Einhaltung der Anforderungen für den Flugbetrieb
- ...



Rolls-Royce

**OSWALD**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Funded by the  
European Commission  
Grant No 723119



**Acknowledgements to our team  
Johannes Oswald, Bernhard Oswald, A.T.A.M. deWaele, Eva Berberich,  
Christian Schneider, Simon Wolfstädter, Marcel Riewe, Robin Hitzfeld, Sara Pinho  
and all colleagues of Oswald Elektromotoren GmbH  
and all partners of ASuMED project**