



## **CONCEPTUAL DESIGN OF A HYBRID-ELECTRIC AIRCRAFT BASED ON A DORNIER 328 DEMONSTRATOR**

---

Annika Scheunemann, Andreas Bardenhagen  
Florian Troeltsch, Ingmar Geiß

# LuFo VI-1: 328eHY-TECH



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
BERLIN



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# D328 Alpha Demonstrator Flugzeug

## Ziele der D328 Alpha:

- Modulares Flug Test Bed auf Basis der D328-100
- **Ausgereifte elektrische Antriebs- und Energietechnik im Kontext von CS25**



## Konfiguration D328 Alpha mit elektrischen Motoren am Außenflügel bieten:

- Vereinfachte Flugzulassung durch Abtrennung des konventionellen Antriebs und der Systeme
- Optimale Kabinenvolumennutzung der D328 für die Komponenten des neuartigen Antriebs (z.B. Batterie Systeme, Fuel Cell Systeme)
- Maximierte Nutzlast auf kurzen Distanzen: Außenflügeltanks bleiben leer und werden teilweise durch die Massen des elektrischen Motors ersetzt

PW119 Gas Turbines

Electric Motors

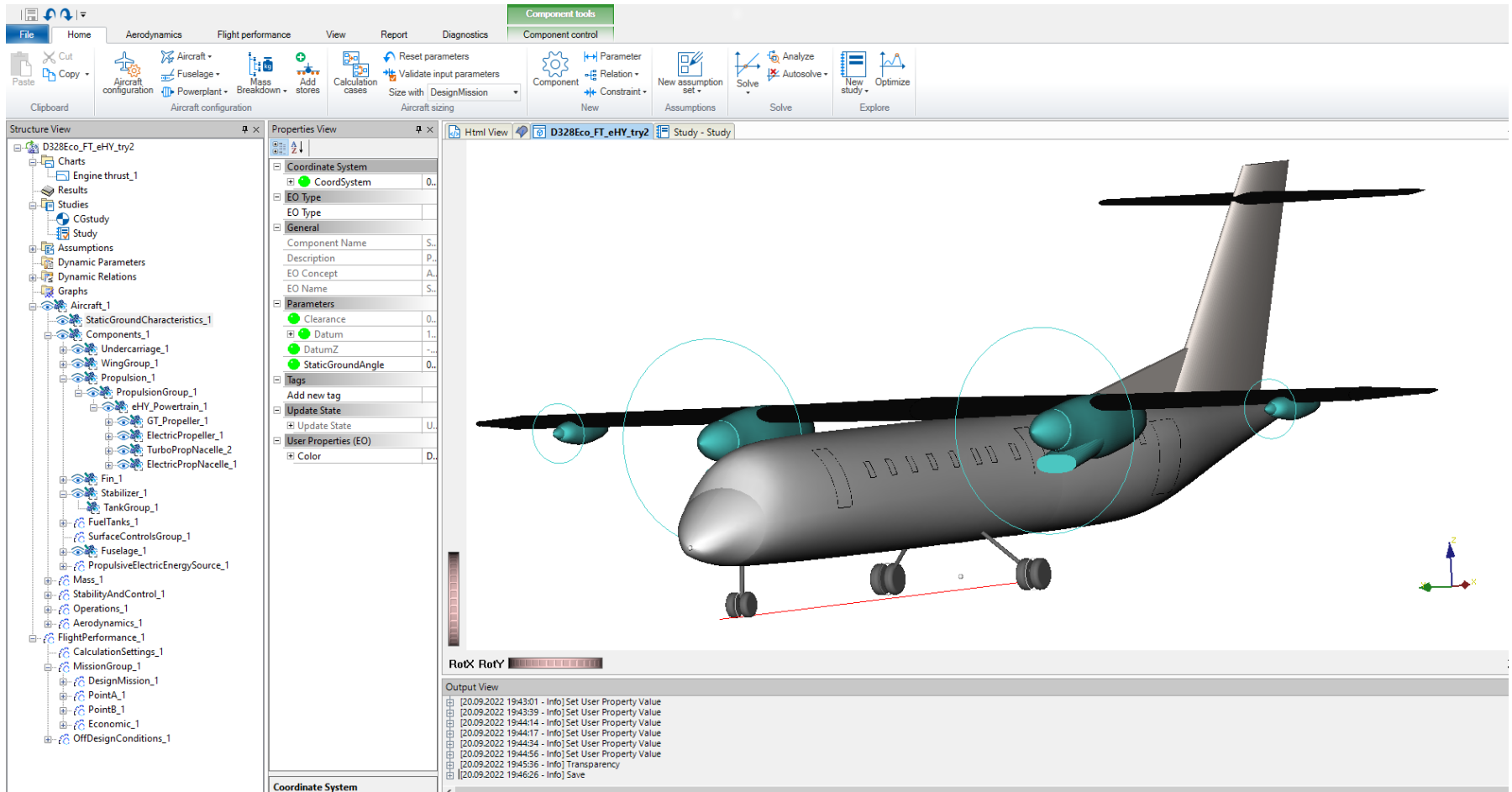
Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

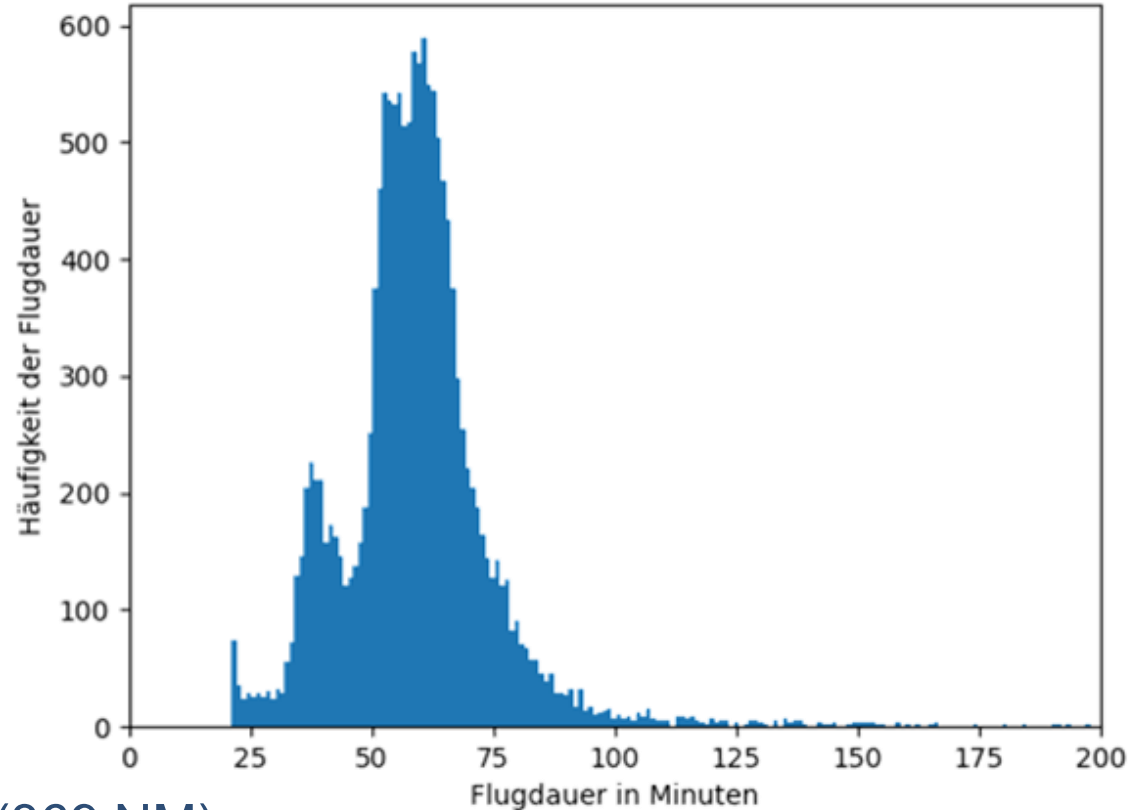
## Pacelab APD – Aircraft Preliminary Design



The screenshot displays the Pacelab APD software interface. The main window shows a 3D model of a hybrid-electric aircraft (D328Eco\_FT\_eHY\_try2) with cyan-colored propellers and engines. The interface includes a menu bar (File, Home, Aerodynamics, Flight performance, View, Report, Diagnostics), a toolbar with various tools like 'Cut', 'Copy', 'Paste', 'Aircraft configuration', 'Reset parameters', 'Validate input parameters', 'Component', 'Relation', 'Constraint', 'New assumption set', 'Solve', 'Analyze', 'Autosolve', 'New study', and 'Optimize'. The left sidebar shows a hierarchical tree view of the aircraft's structure, including 'Charts', 'Results', 'Studies', 'Assumptions', 'Dynamic Parameters', 'Dynamic Relations', 'Graphs', 'Aircraft\_1', 'Components\_1', 'Undercarriage\_1', 'WingGroup\_1', 'Propulsion\_1', 'Fin\_1', 'Stabilizer\_1', 'FuelTanks\_1', 'SurfaceControlsGroup\_1', 'Fuselage\_1', 'Mass\_1', 'StabilityAndControl\_1', 'Operations\_1', 'Aerodynamics\_1', 'FlightPerformance\_1', 'CalculationSettings\_1', 'MissionGroup\_1', 'DesignMission\_1', 'PointA\_1', 'PointB\_1', 'Economic\_1', and 'OffDesignConditions\_1'. The Properties View on the right shows the 'Coordinate System' and 'Parameters' for the selected component, including 'Clearance', 'Datum', 'DatumZ', and 'StaticGroundAngle'. The Output View at the bottom shows a log of system events.

# Anforderungen an Regionalflugzeuge

- Beispiel Dornier 328-100
- Flightradar24 Daten
  - 250 Flüge detailliert
    - GPS
    - Flugdauer
    - Geschwindigkeit
  - 14.992 Flüge
    - 2018 – 2021
    - weltweit
    - 9 Airlines
- Ø 66min (319 NM)
- 90% kürzer als 76min (369 NM)



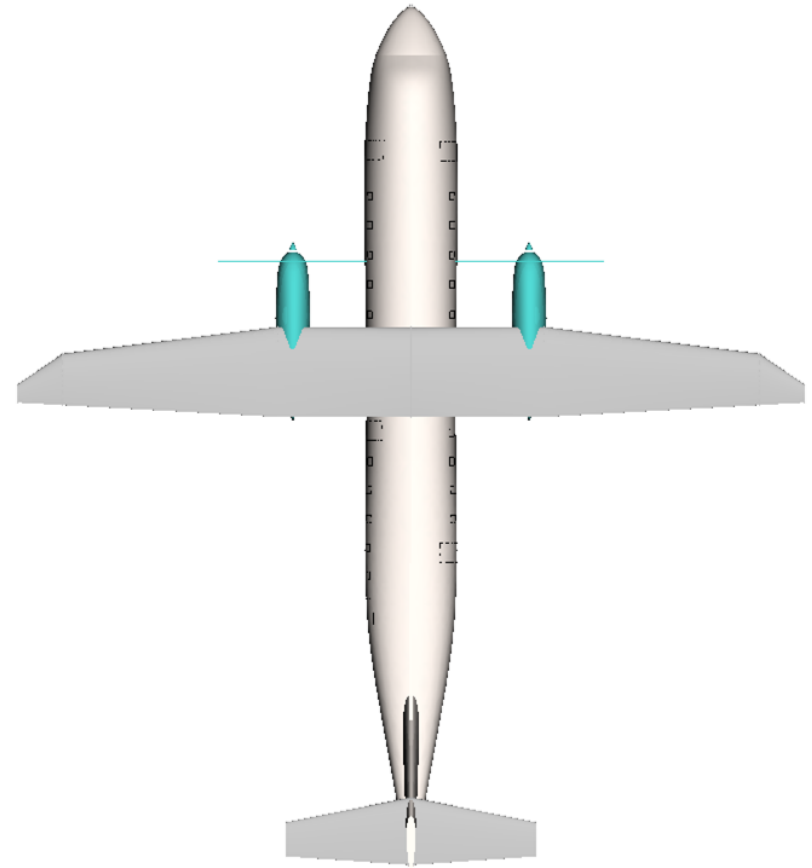
Anforderung: 400 NM Reichweite

# D328ECO



## Spezifikationen<sup>1</sup>:

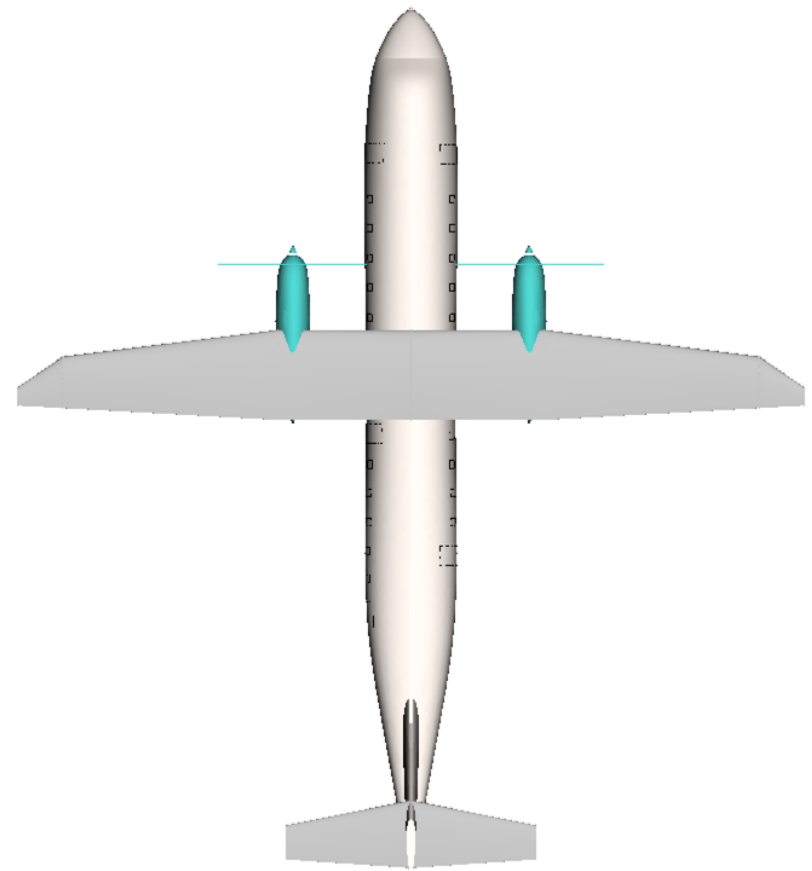
- MTOM: 15 660 kg
- OEM: 10 150 kg
- MLM: 15 160 kg
  
- Max. Nutzlast: 4 200 kg
- Max. PAX: 40
  
- Reiseflughöhe: 27 000 ft



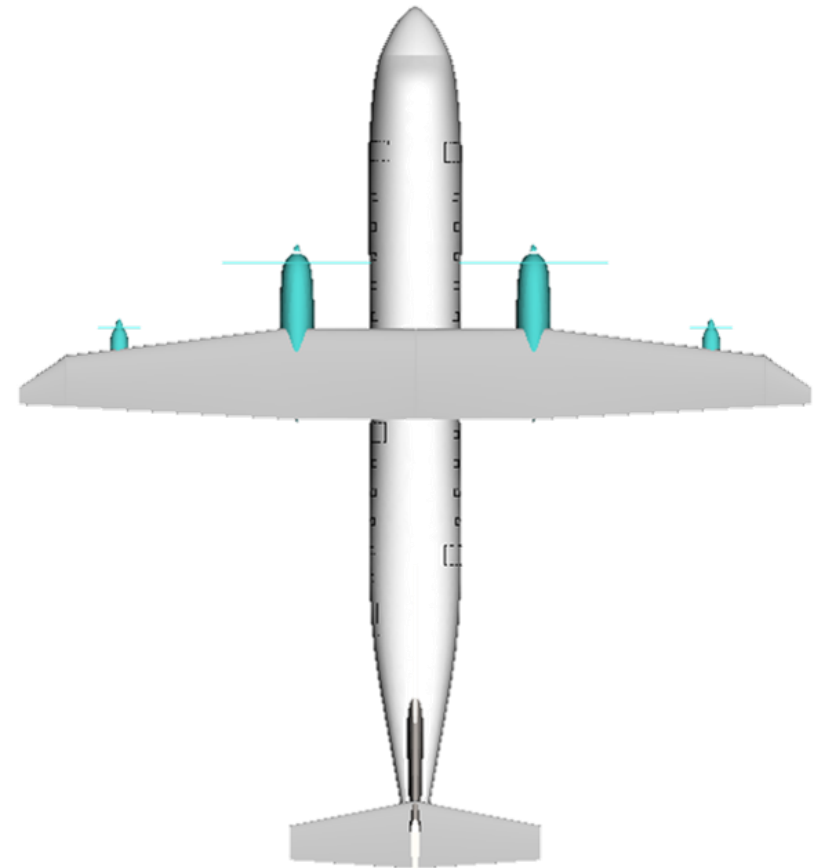
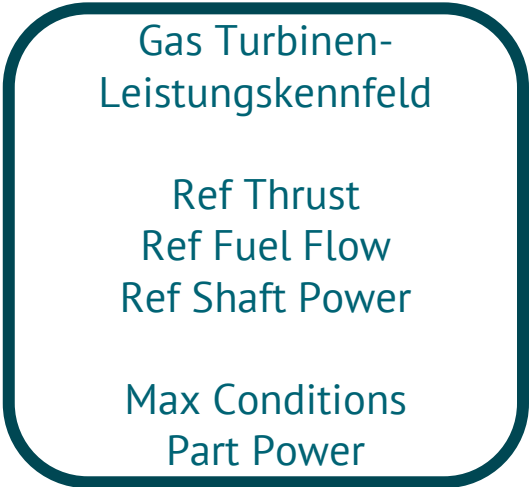
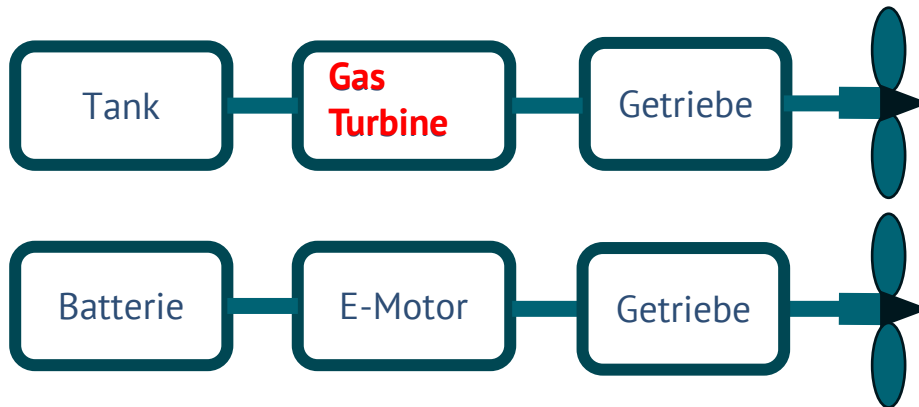
# Referenzmodell

Abflugmasse: 15660 kg  
Nutzlast: 3880 kg 40 PAX  
Reise Flughöhe: 27000 ft

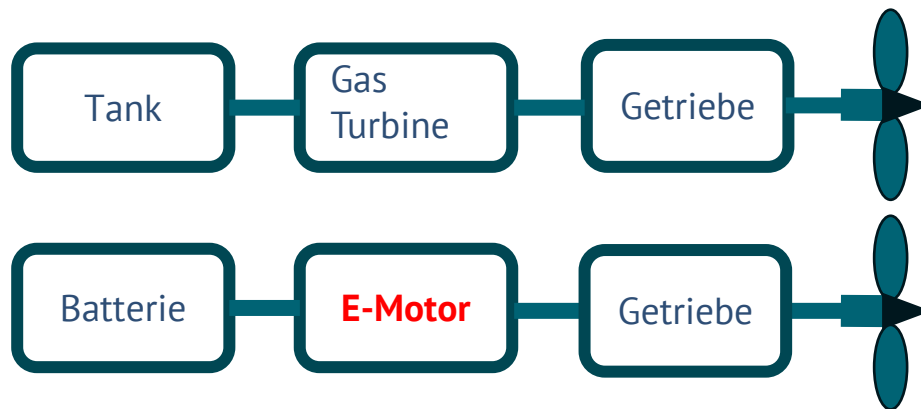
	D328ECO	Rechnung	$\Delta$
Reichw.	Block fuel	Block fuel	
200 NM	494 kg	500 kg	1,2%
300 NM	666 kg	670 kg	0,6%
500 NM	1015 kg	1014 kg	0,1%



# Parallel Hybrides Antriebsmodell

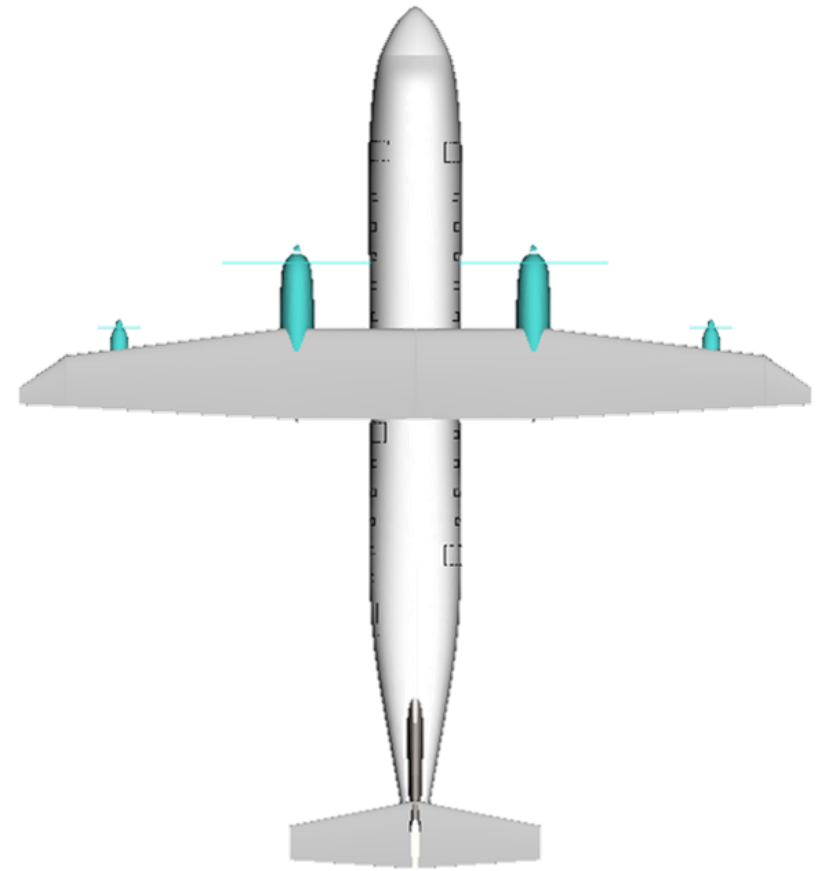


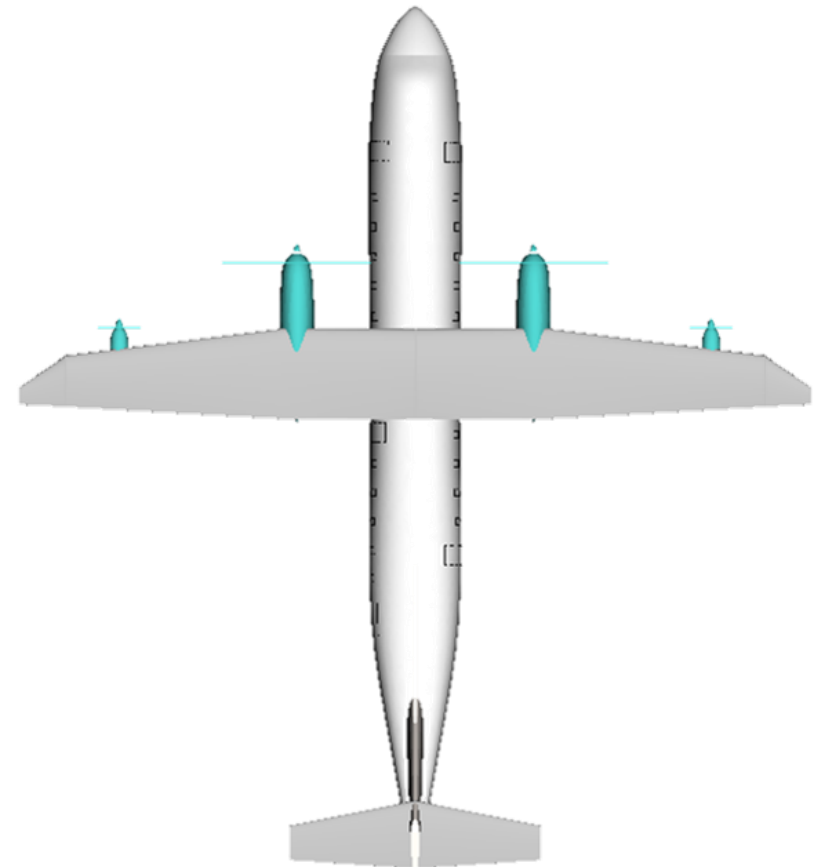
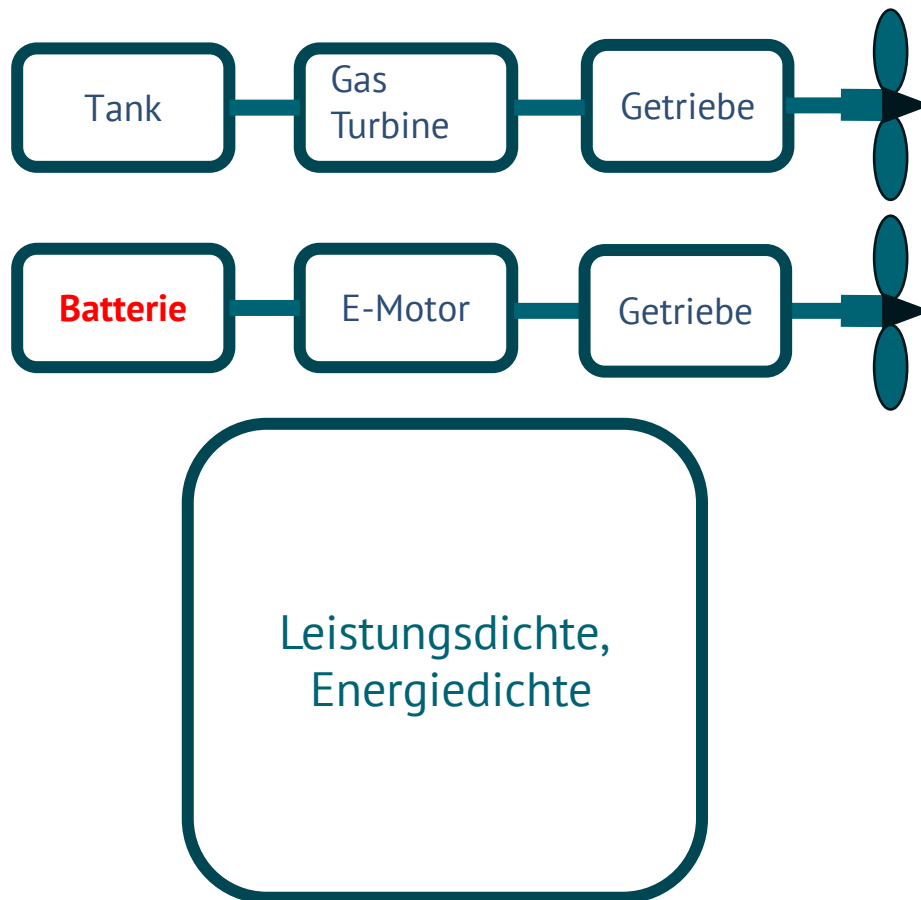


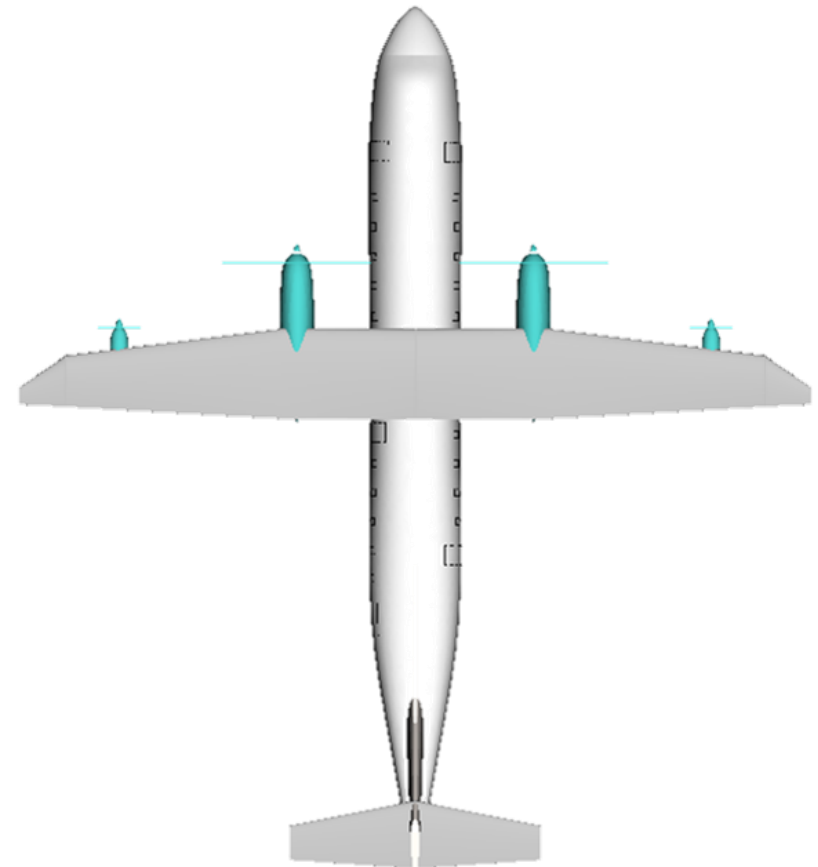
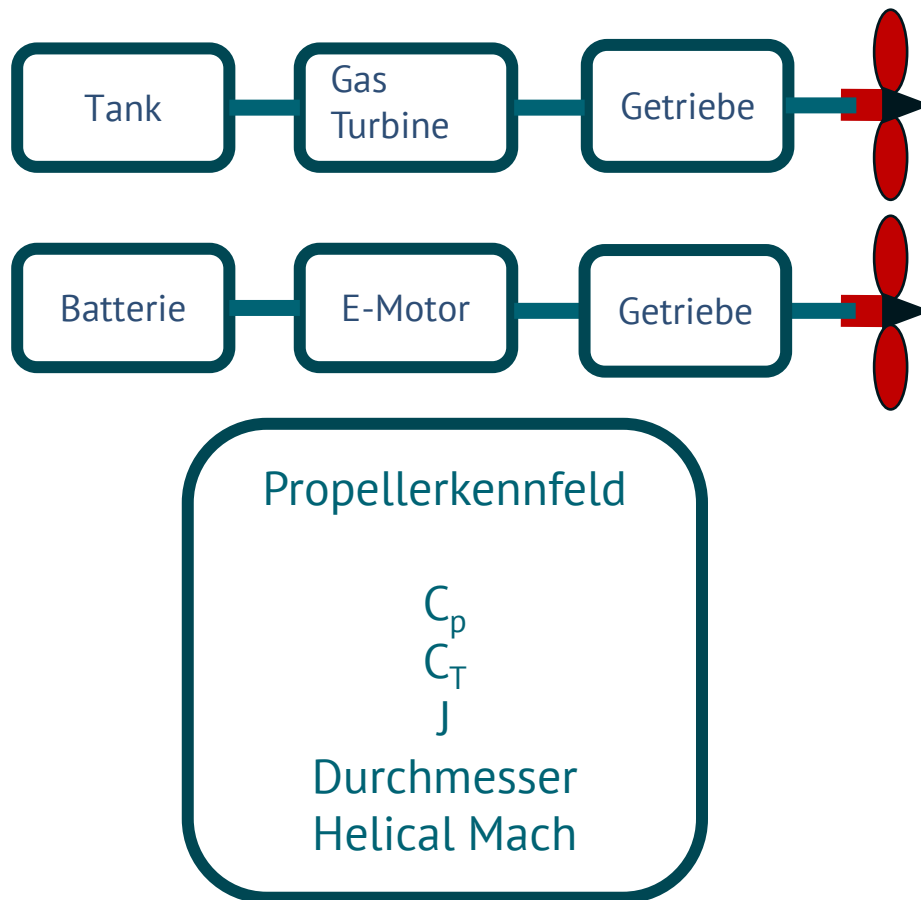


Leistungsdichte,  
konstante Effizienz

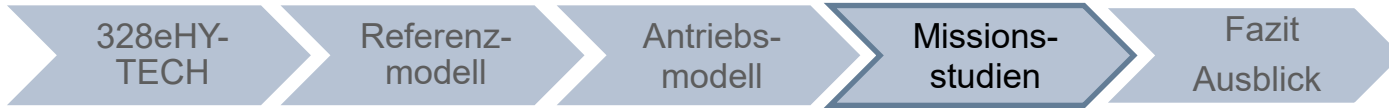
Max Conditions  
Part Power







# Missionsstudien



	<b>H17%</b>	<b>H34%</b>
Reichweitenvariation	$\Delta$ Block fuel	$\Delta$ Block fuel
-5% Block fuel	Eigenschaften des E-Antriebs	

- E-Motor in CI & Cr 100% Power
- TOC 17%/34% Powershare

## Spezifikationen<sup>1</sup>:

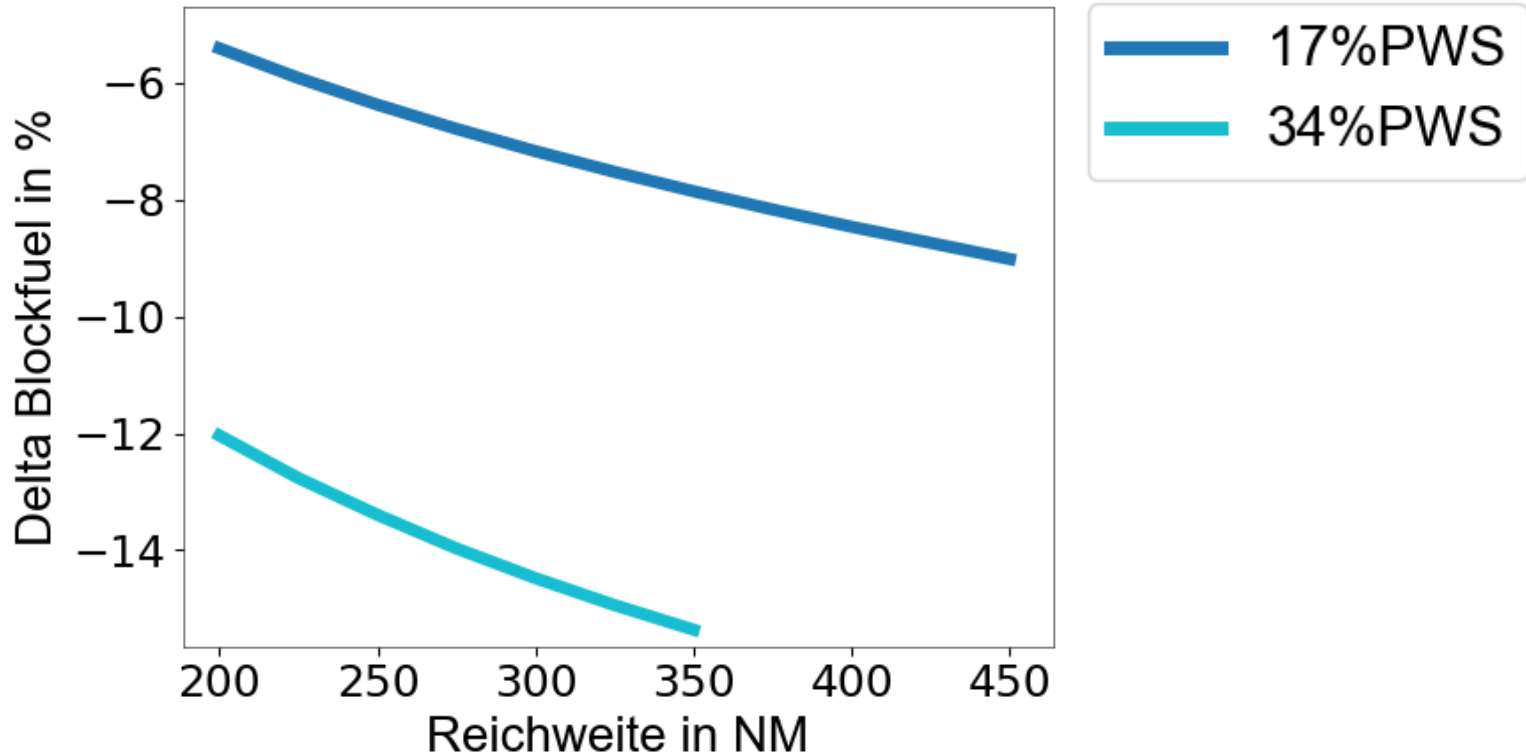
- MTOM: 15660 kg
- Reiseflughöhe: 27000 ft

## Batterie-Eigenschaften:

- Gravimetrische Energiedichte:  
 $250 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$

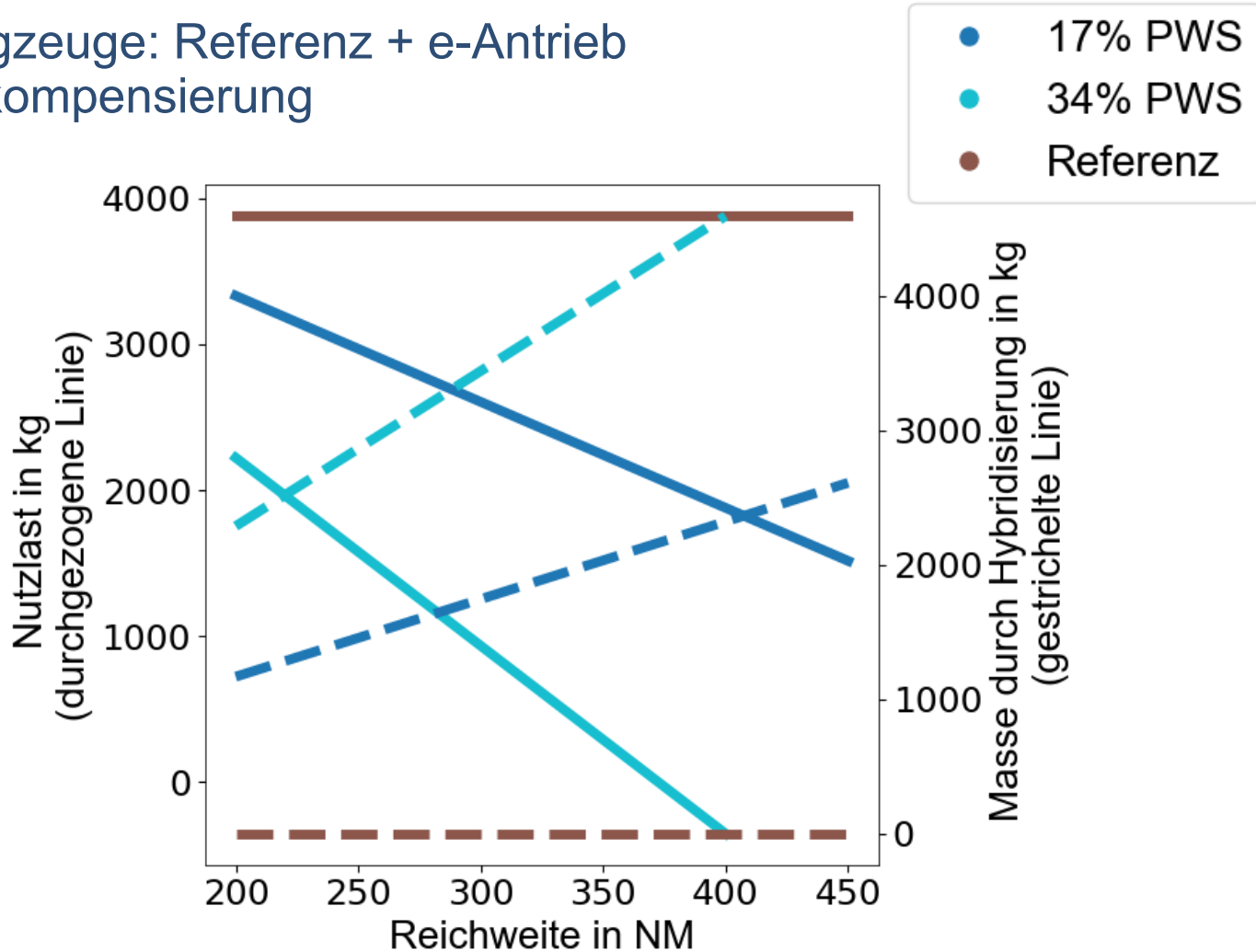
- Schub immer in Flugrichtung
- Batterie im Schwerpunkt OEM
  - Notwendiges Volumen vernachlässigt
- Kühlsystem vernachlässigt
  - Massen
  - Aerodyn. Widerstand
- Elektrische Systemmassen ohne Motor: 5kW/kg
- Propeller-Flügel Interaktionen vernachlässigt
- Elektrisches System bei konstant 95% Effizienz

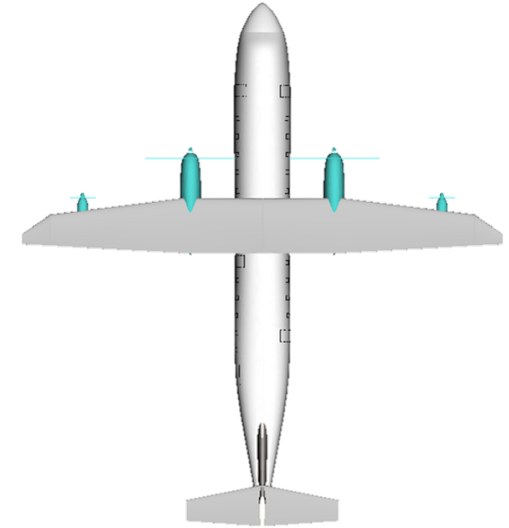
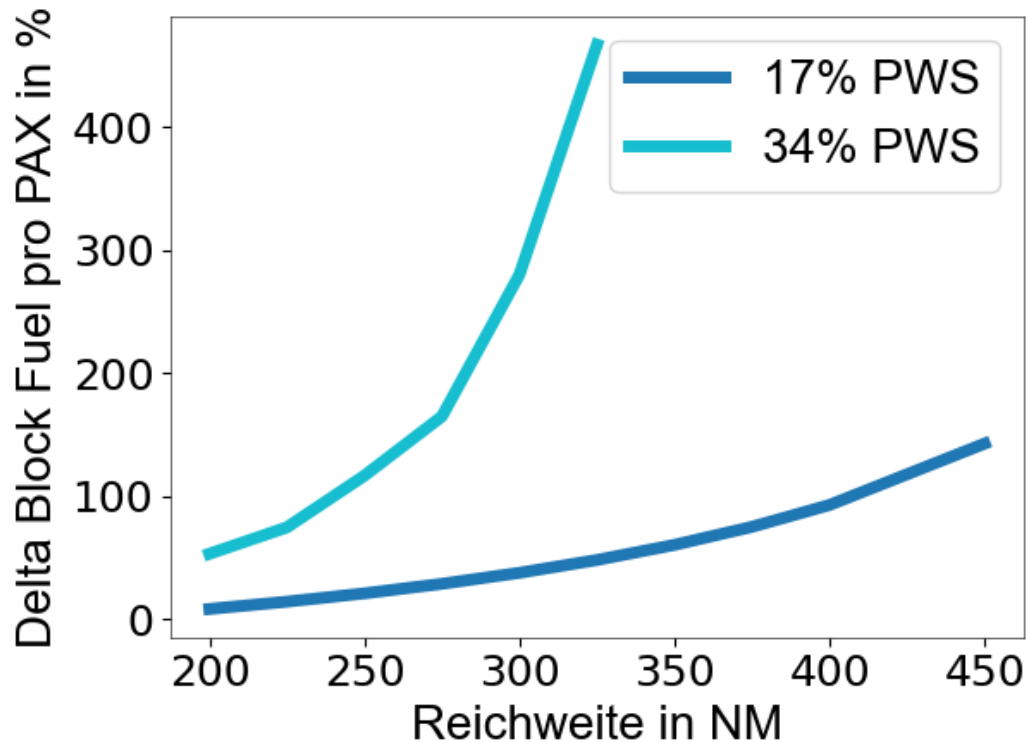
## Reduziertes Modell



PWS: Powersplit | in Steig- und Reiseflug: E-Motor 100%

Hybride Flugzeuge: Referenz + e-Antrieb  
→ Nutzlastkompensierung





Mit getroffenen Annahmen: keine Block Fuel Ersparnis pro Passagier möglich



# Missionsstudien 5% Block Fuel Einsparung

Ziel: 5% Blockfueleinsparung

Randbedingung:

- PAX = 40 = 3880 kg Nutzlast
- Take-Off mit MTOW
- Airframe Gewicht konstant
- Batterie in OEW CG platziert, keine Volumina betrachtet

Variiert:

Reichweite: 200NM bis 450 NM

Shaft Horse Power des E-Motors: 60 bis 320 kW

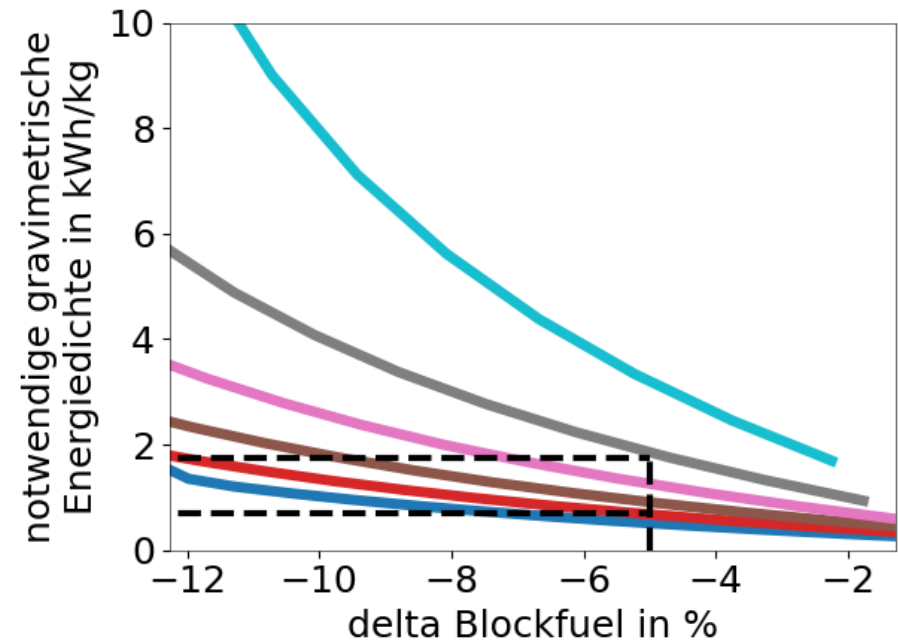
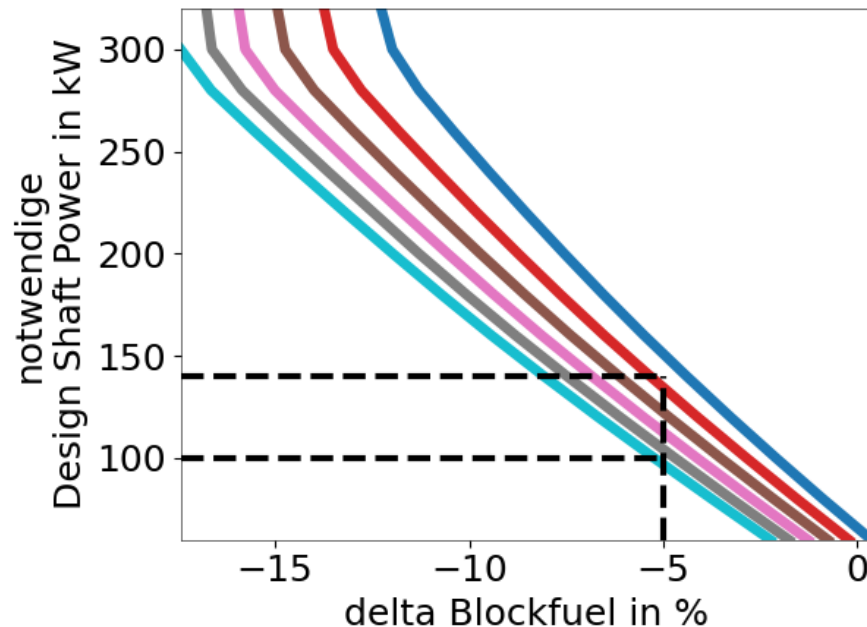
Ergebnis:

gravimetrische Energiedichte der Batterie

# Missionsstudien 5% Block Fuel Einsparung

## 5% Treibstoffersparnis:

- 250 NM: 134 kW SHP & 0,68 kWh/kg Energiedichte der Batterie
- 400 NM: 97 kW SHP & 1,85 kWh/kg Energiedichte der Batterie



D328 Alpha ermöglicht hybridelektrische technologiedemonstration im CS25 Zulassungs-Kontext

- Konfiguration maximiert Installationsvolumen und nutzlast für neuartige Antriebstechnologien

Anwendung des Simulationsmodelles auf äquivalente Konfiguration basierend auf D328Eco platform mit batterie hybrid-elektrischem Antrieb erfolgreich demonstriert

Notwendige Eigenschaften für  $BF/PAX = \text{const}$  ermittelt  
400NM: 97 kW SHP & 1,85 kWh/kg Energiedichte der Batterie

Zukünftig:

- Simulationsmodell erweiterung um:
  - Effekte von Propeller-Flügel interaction
  - Wasserstoff / Fuel Cell modell integration

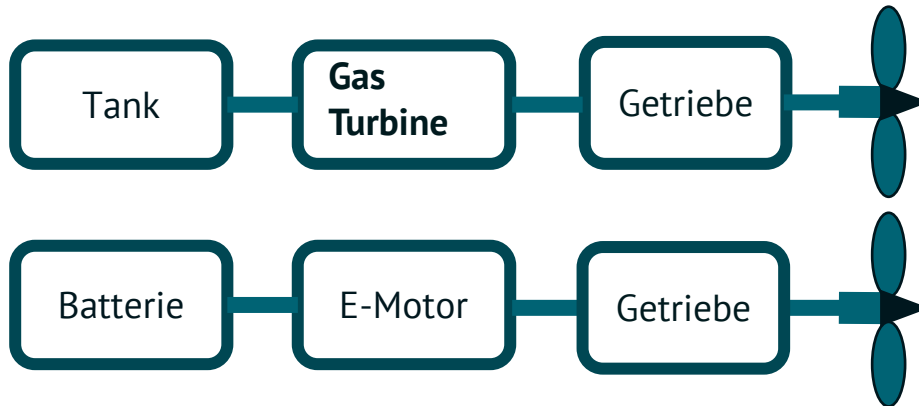
We look forward to meeting  
you at the TU Berlin!

**Thank you for your attention.**

# Quellen

- 1 <https://www.deutsheaircraft.com/>
- 2 Vratny P. C., *Conceptual Design Methods of Electric Power Architectures for Hybrid Energy Aircraft*, Dissertation, 2018

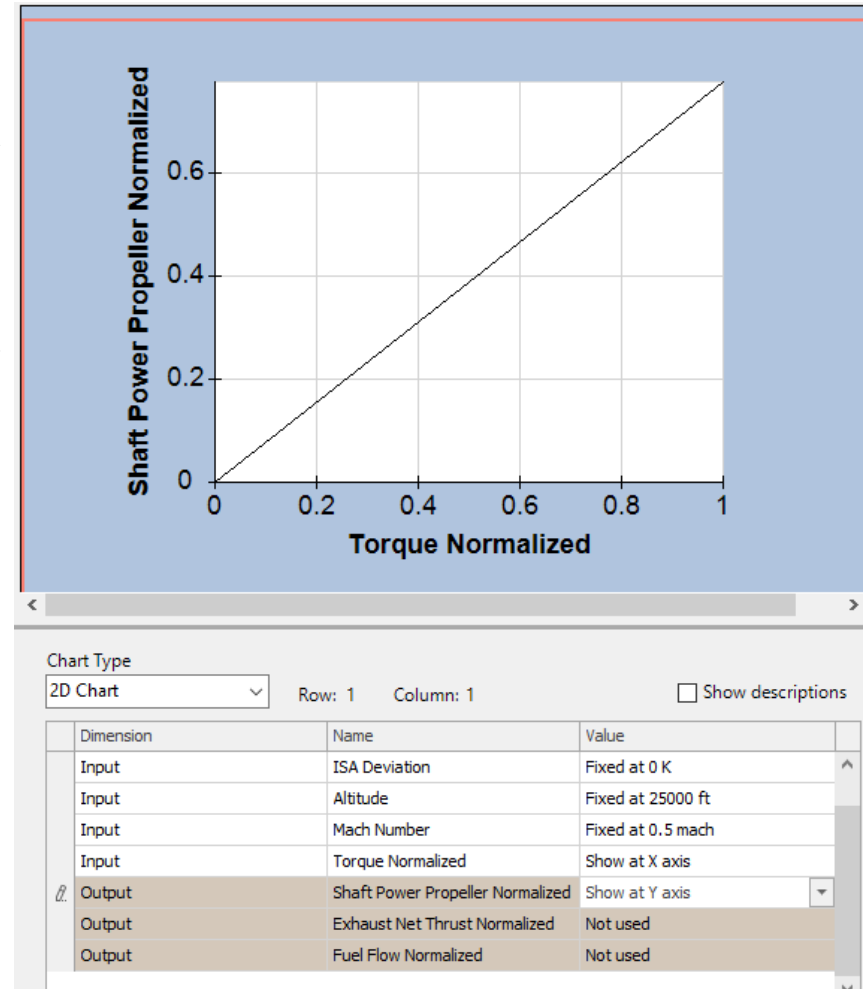
# Anhang: Antriebsmodell



Gas Turbinen-Leistungskennfeld

Ref Thrust  
Ref Fuel Flow  
Ref Shaft Power

Max Conditions  
Part Power



	<b>Referenz D328ECO</b>	<b>Hybrid 17%PWS</b>	<b>Hybrid 34%PWS</b>
Reichweite	Block fuel	$\Delta$ Block fuel	$\Delta$ Block fuel
200 NM	500 kg	-1,4%	-3,2%
300 NM	670 kg	0,7%	2,2%
400 NM	841 kg	3,4%	10%

PWS: Powersplit | in Climb and Cruise

## **Imprint:**

Technische Universität Berlin

Office for Communication, Events and Alumni

Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Phone: +49 (0)30/314 23922, Fax: +49 (0)30/314 23909

E-Mail: [pressestelle@tu-berlin.de](mailto:pressestelle@tu-berlin.de)

Internet: <http://www.tu-berlin.de>

Data as of: January 2020



# Batterietechnologien nach Felix Finger

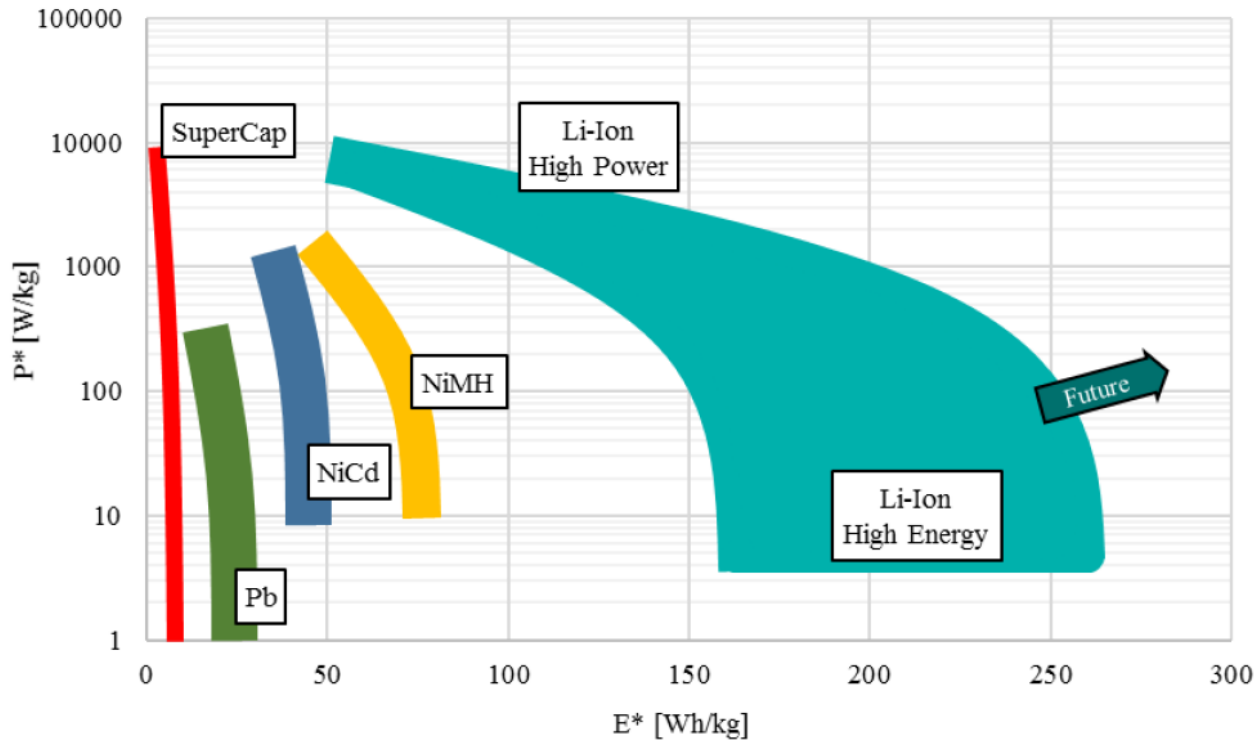


Fig. 2-13 Ragone plot of the most common battery technologies (cell level values)

# Referenzrechnungen



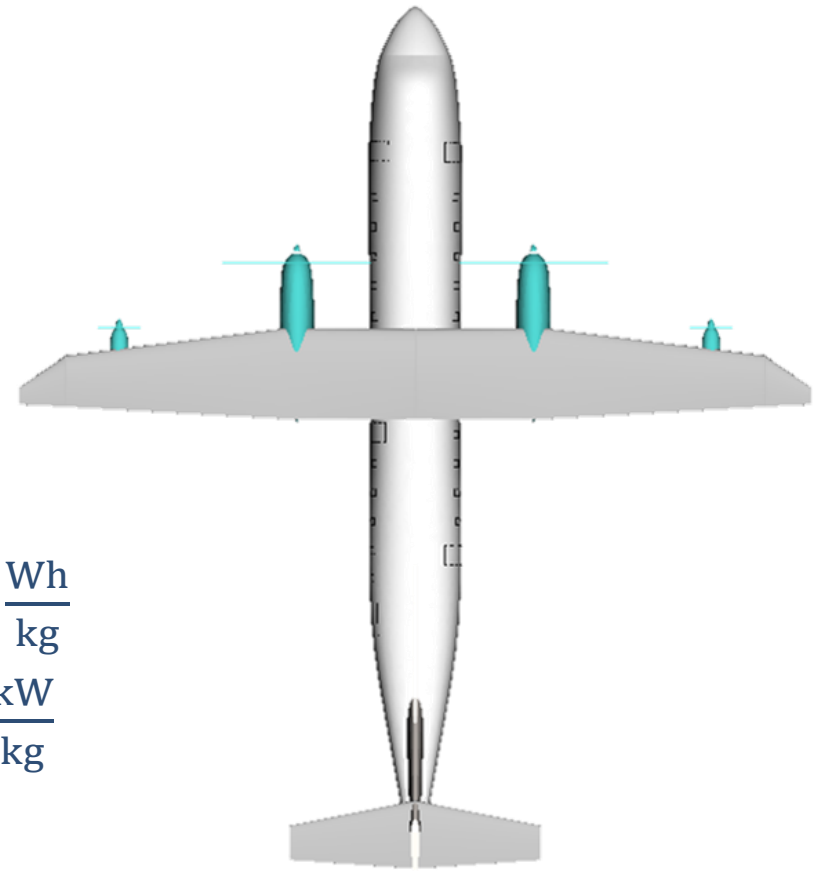
## Spezifikationen<sup>1</sup>:

MTOM: 15 660 kg  
Reiseflughöhe: 27 000 ft  
E-Motor in CI & Cr 100% Power  
TOC 10% Powershare

## Batterie-Eigenschaften:

- Gravimetrische Energiedichte:  $250 \frac{\text{Wh}}{\text{kg}}$
- Gravimetrische Leistungsdichte:  $1,5 \frac{\text{kW}}{\text{kg}}$

**Batteriemasse für 400NM: 2196 kg**



EO Name	DragPoint
<b>Parameters</b>	
AerodynamicCenter	22.24 %
Altitude	27000 ft
AngleOfAttack	4.02 deg
DivergenceMach	0.6363 mach
⊕ DragPointResult	(Local)
LiftToDrag	13.75
Mass	15000 kg
RelativeReynoldsNumber	5167657 m <sup>-1</sup>
WingTransition	18.21 %
<b>Parameters (Drag)</b>	
CD	0.04331
CD0	0.02379
CD0S	0.9753 m <sup>2</sup>
CD0Scanard	0 m <sup>2</sup>
CD0SFin	0.08303 m <sup>2</sup>
CD0SFuselage	0.3539 m <sup>2</sup>
CD0SLeakageAndProtuberan...	0.07314 m <sup>2</sup>
CD0SNacelles	0.09202 m <sup>2</sup>
CD0SPylon	0 m <sup>2</sup>
CD0SStabilizer	0.08132 m <sup>2</sup>
CD0SWing	0.2918 m <sup>2</sup>
CD0SWinglet	0 m <sup>2</sup>
CDInduced	0.00783
CDWave	0
TotalDragForce	10.7 kN
TrimDragValue	0.0006725
<b>Parameters (Lift)</b>	
CL	0.5954
LiftCurveSlope	6.016 rad <sup>-1</sup>
TotalLiftForce	147.1 kN
<b>Parameters (Speeds)</b>	

Objectives		Constraints	
Name	Parent		

Output View

[25.09.2022 17:53:18 - Info]  
 [25.09.2022 17:53:19 - War  
 [25.09.2022 17:53:28 - War  
 [25.09.2022 17:53:34 - War  
 [25.09.2022 17:53:39 - War  
 [25.09.2022 17:53:44 - War  
 [25.09.2022 17:53:48 - War  
 [25.09.2022 17:53:50 - Info  
 [25.09.2022 17:53:50 - War  
 [25.09.2022 17:53:50 - Info

