



Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken in den Entwurf von Passagierflugzeugen

Oliver Wischhusen

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Martin Wagner

Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing. André Anger

**Durchgeführt in Kooperation mit
Airbus Deutschland GmbH**



AIRBUS

AN EADS COMPANY



Inhaltsübersicht

- **Problembeschreibung**
- **Elektrisches Antriebssystem als Alternative**
- **Konzeptstudie (Hybridlösungen)**
- **Zusammenfassung**
- **Fazit & Ausblick**

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau



„Eine wirklich gute Idee erkennt man daran, dass ihre Verwirklichung von vornherein ausgeschlossen erschien“

Albert Einstein

Problembeschreibung

Aspekt I

- **ACARE Ziele 2020**
 - **CO₂-Emissionen -50 % (20 % triebwerksseitig)**
 - **NO_x-Emissionen -80 %**
 - **wahrgenommener Lärm -50 %**
- **Erweiterte Umweltziele (z.B. „Zero Emissions Future“)**



Das ACARE Ziel, einer triebwerksseitigen 20 % CO₂ Reduzierung, kann allein durch die Weiterentwicklung von konventionellen Triebwerken nicht erreicht werden

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

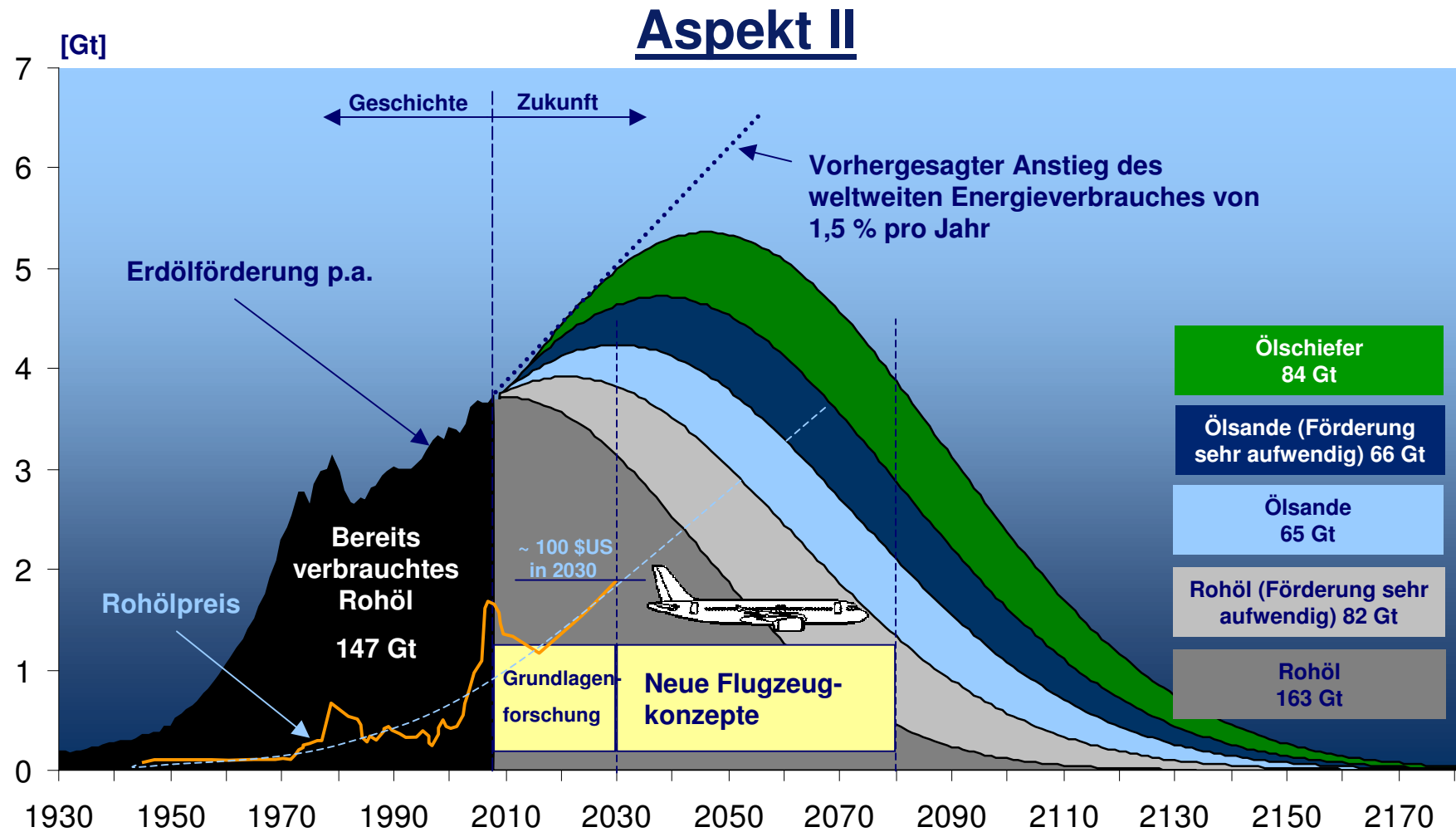
Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau



Problembeschreibung

Ein alternatives Antriebssystem...

1. sollte unabhängig vom Rohstoff Erdöl sein
2. sollte geringe bis keine Emissionen im Flugfall verursachen



Durch den Einsatz von alternativen Energieträgern (GTL, CTL, BTL, etc...) in Kombination mit konventionellen Triebwerken können beide Punkte weitestgehend nicht erfüllt werden.



Elektrisches Antriebssystem

Elektromotoren als Alternative ???

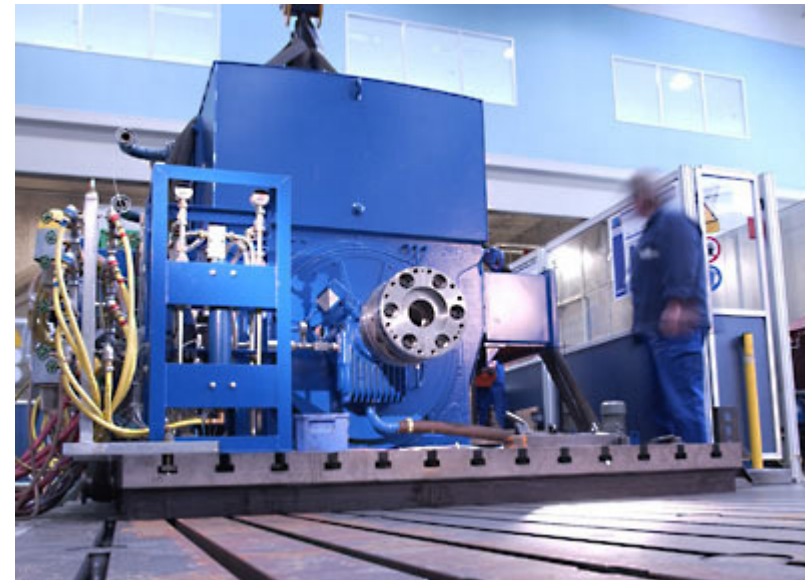
4 MW Motor
Drehzahl: ~120 RPM
Gewicht: ~ 36 tons

Erforderliches Leitungsniveau

- 30 MW beim Start und Steigflug (A320)
- 10 MW im Reiseflug (A320)

Fragestellung:

Welche Massen und Volumina weisen äquivalente Elektromotoren auf?



Elektrisches Antriebssystem

- Ein Hochskalieren mit Leistungsgewichten von E-Motoren mit einer Leistung bis mehrere KW nicht möglich
- Gewicht stark abhängig von:
 - Wicklungsmaterial
 - Kühlung
 - Drehzahl & Drehmoment
- Durch Kühlung auf kryogene Temperaturen (unter -100 °C), dem Heraufsetzen der Drehzahl und neuen Materialien können Leistungsdichten von 10 kW/kg und größer erreicht werden



LEM-130 Model



LEM-170 Model

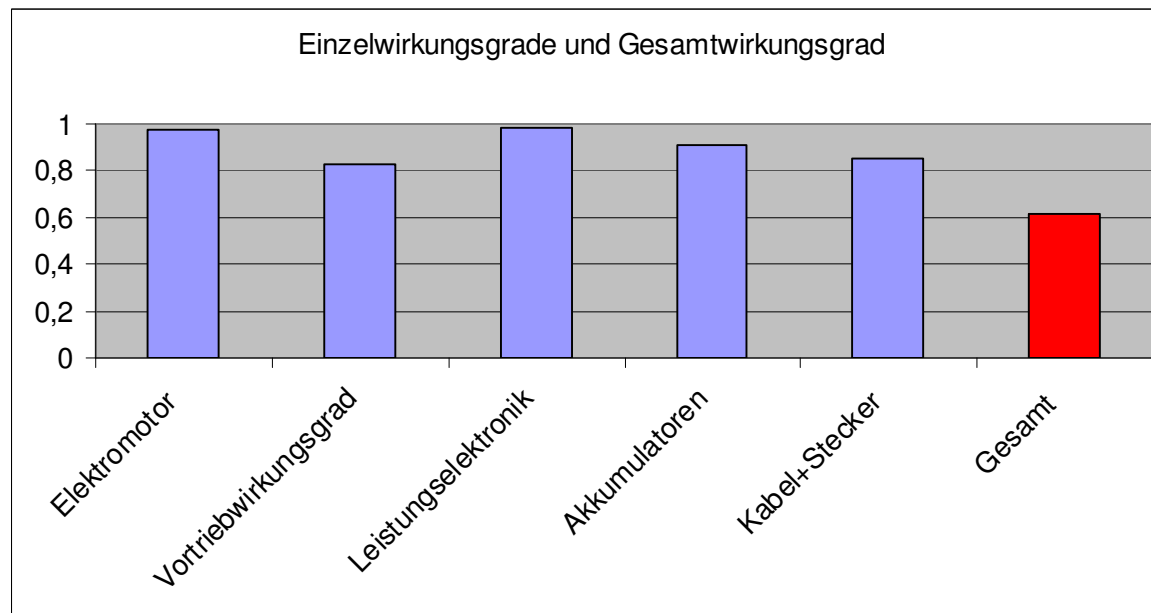


LEM - 200 Model



1 MW Motor (gekühlt); Drehzahl: $\sim 6000\text{ RPM}$
Gewicht: $\sim 100\text{ kg}$; Umfang: 0.4 Meter ; Länge: 0.4 Meter

Elektrisches Antriebssystem



Vorteile u.a.:

- Keine Emissionen im Flug, wenn rein elektrisch
- Höherer Gesamtwirkungsgrad des elektrischen Antriebssystems von 61 % gegenüber 40 % von konventionellen Triebwerken

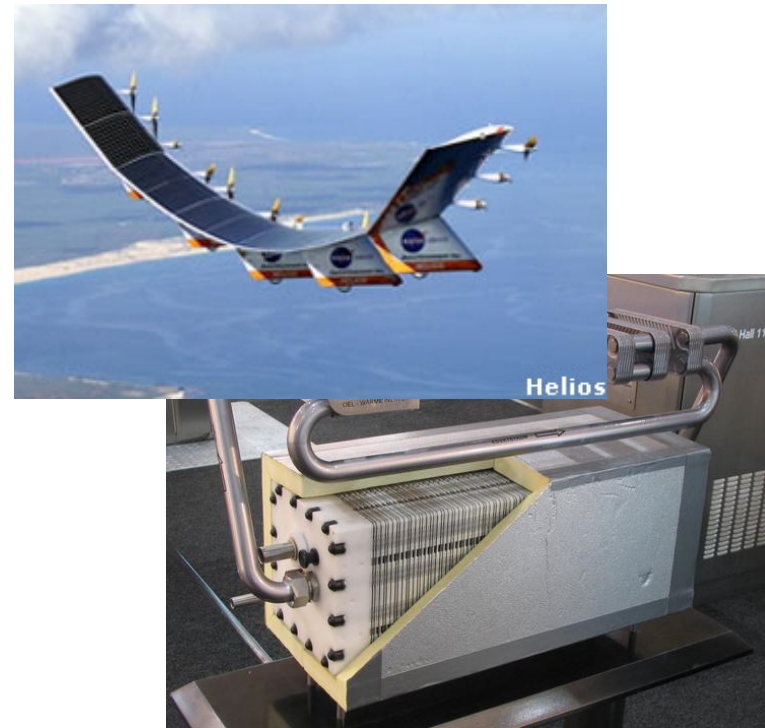
Nachteile:

- Leistungselektronik benötigt (Gewicht)
- Kühlung unabdingbar (Gewicht)

Elektrisches Antriebssystem

Energiequellen für elektrisches Antriebssystem

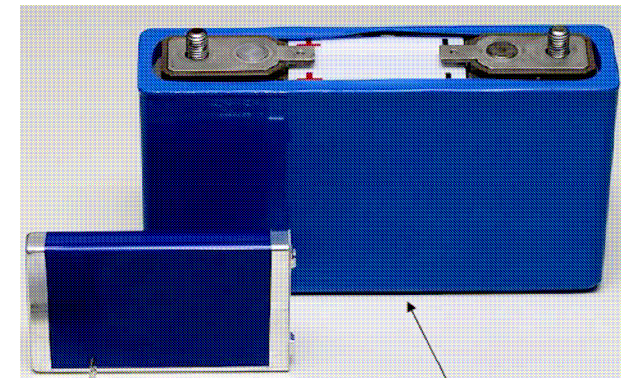
- **Externe Energiequellen**
 - Photovoltaik
 - Sonstige externe Quellen
- **On-Board Stromerzeugung**
 - Gasgeneratoren
 - Brennstoffzellen
- **Elektrische Energiespeicher**
 - Akkumulatoren
 - Superkondensatoren



Elektrisches Antriebssystem

Akkumulatoren

- Aktuelle Energiedichte liegt bei 350 Wh/kg
- Weitere Anforderungen der Luftfahrt:
 - Lebensdauer
 - Akzeptable Ladezeiten
 - Betriebstemperatur



Aktuelle Entwicklungen und Tendenzen stimmen jedoch optimistisch, dass Akkumulatoren in der Zukunft die Anforderungen erfüllen und Energiedichten um die 1100 Wh/kg erreichen

Konzeptstudie - Hybridlösungen

Referenzflugzeug: A320

Vorgaben:

- **Nutzlast, und Fluggeschwindigkeit unverändert**
- **Reichweite variabel**

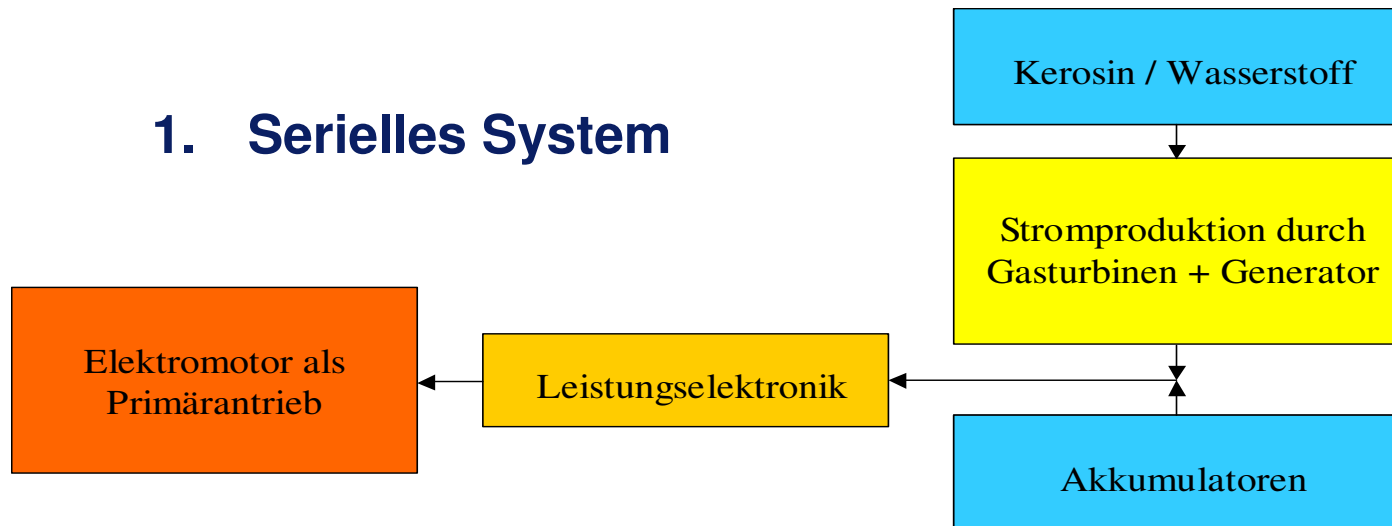
Annahmen:

- **Hybrideantriebe als „machbar“ angesehen**
- **Akkumulatoren mit einer Energiedichte von 1100 Wh/kg bei gleichzeitiger Erfüllung aller Anforderungen**

Konzeptstudie - Hybridlösungen

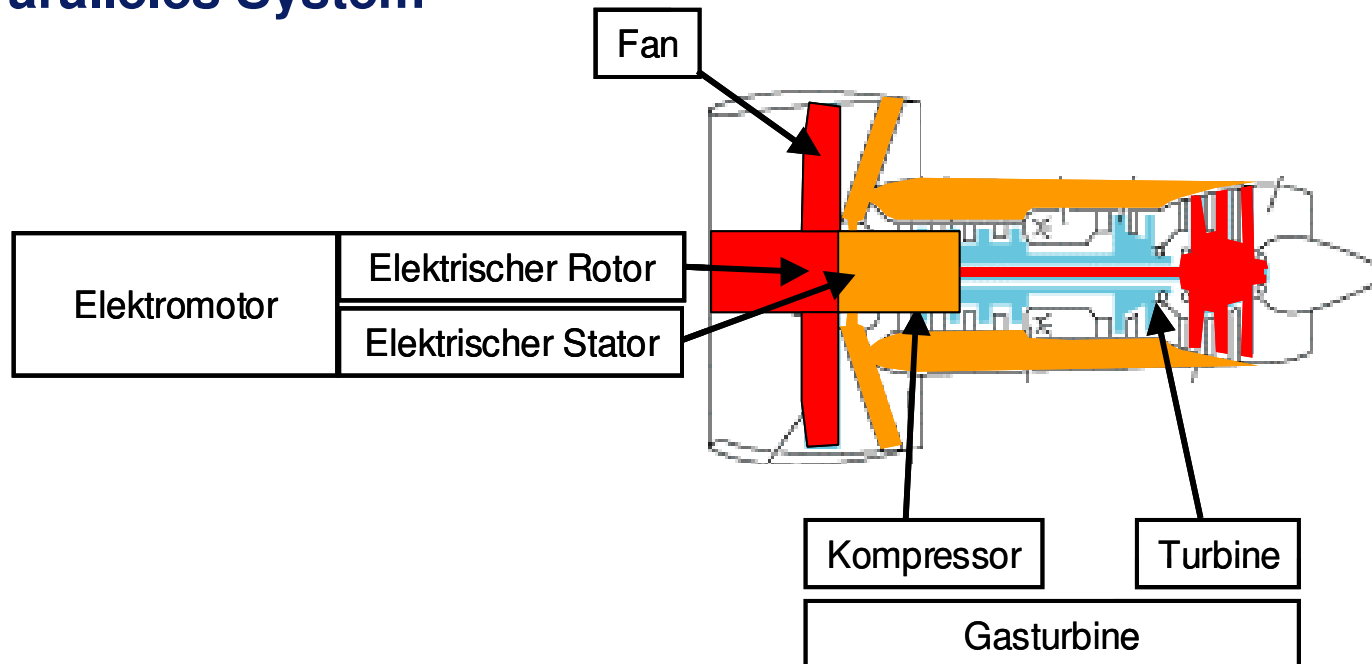
Hybridsysteme unterscheiden sich in zwei Arten:

1. Serielles System

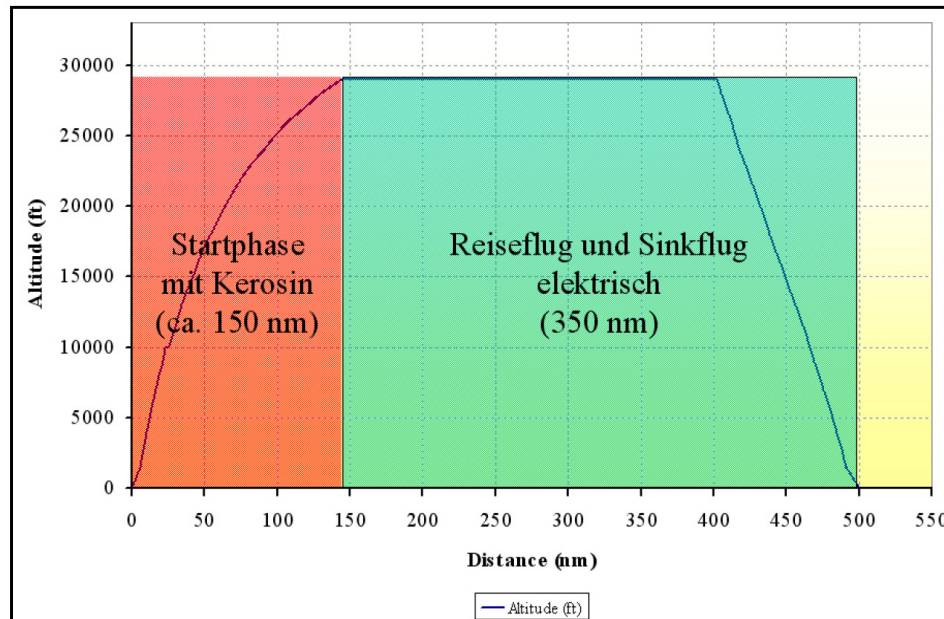


Konzeptstudie - Hybridlösungen

2. Paralleles System



Konzeptstudie - Paralleles Hybridsystem



Annahmen für Gewichtsabschätzung:

- Elektromotoren mit 10 kW/kg berechnet
- Leistungselektronik mit 11 kW/kg berechnet
- Kühlanlage mit 1 t angenommen.
- Benötigte Kabel mit 500 kg angenommen

Ergebnis:

MTOW: ca. 90 t

Akkumulatoren: 14 t

Kerosin: 6 t

Reichweite: 500 nm

Konzeptstudie - Paralleles Hybridsystem

Vorteile:

- „Zero Emissions“ im Reise- und Sinkflug
- Die Reservenforderungen werden durch Kerosin abgedeckt
=> keine im Vergleich schweren Akkumulatoren dafür nötig

Nachteile:

- Durch die Installation des hybriden Antriebes entsteht ein Mehrgewicht von 6 t exkl. der Strukturanpassungen
- Verringerte Reichweite von 500 nm wirtschaftlich nicht attraktiv

Außerdem:

- Hohe Unsicherheiten in den Gewichtsannahmen => weitere Penalties möglich

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

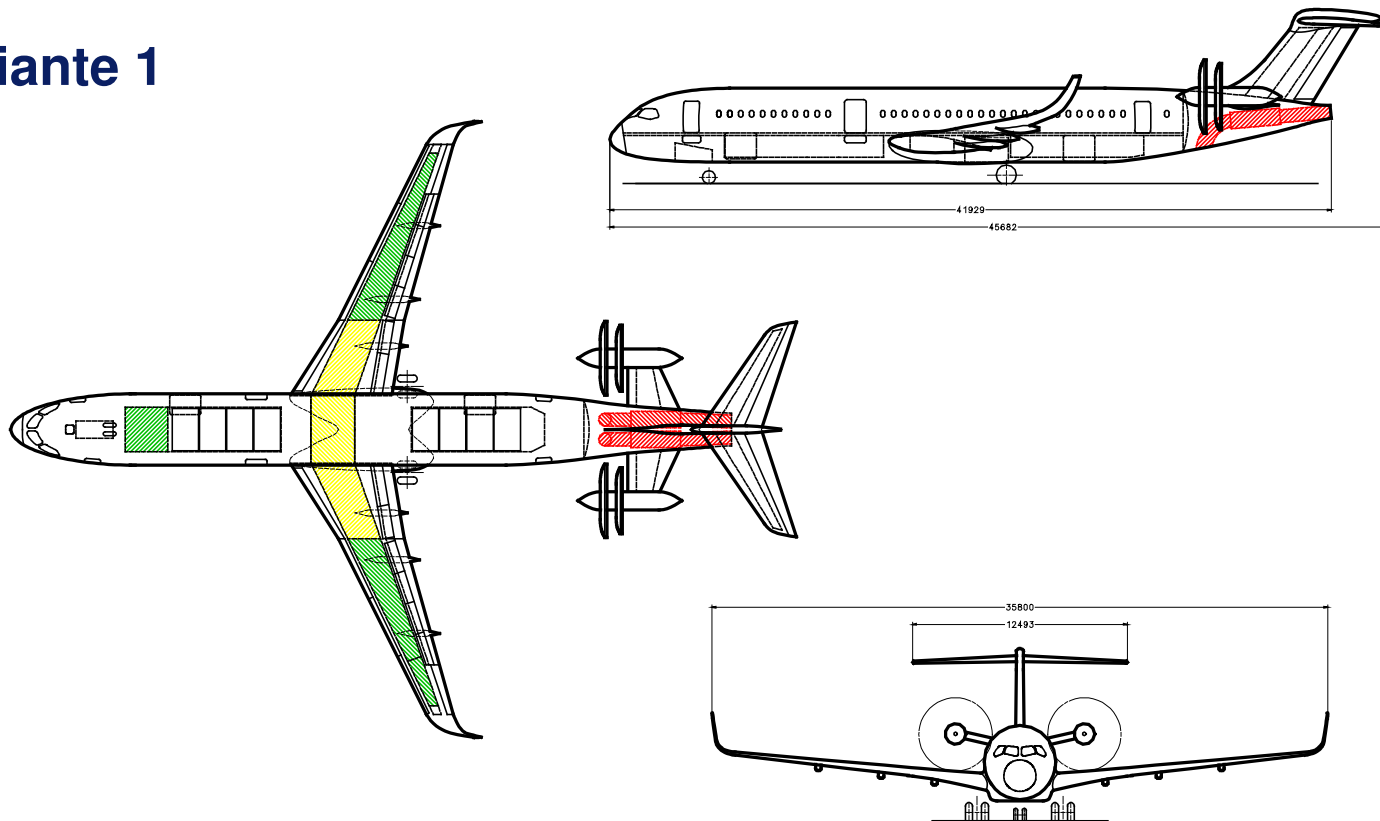
Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Konzeptstudie - Serielles Hybridsystem

Variante 1



Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen

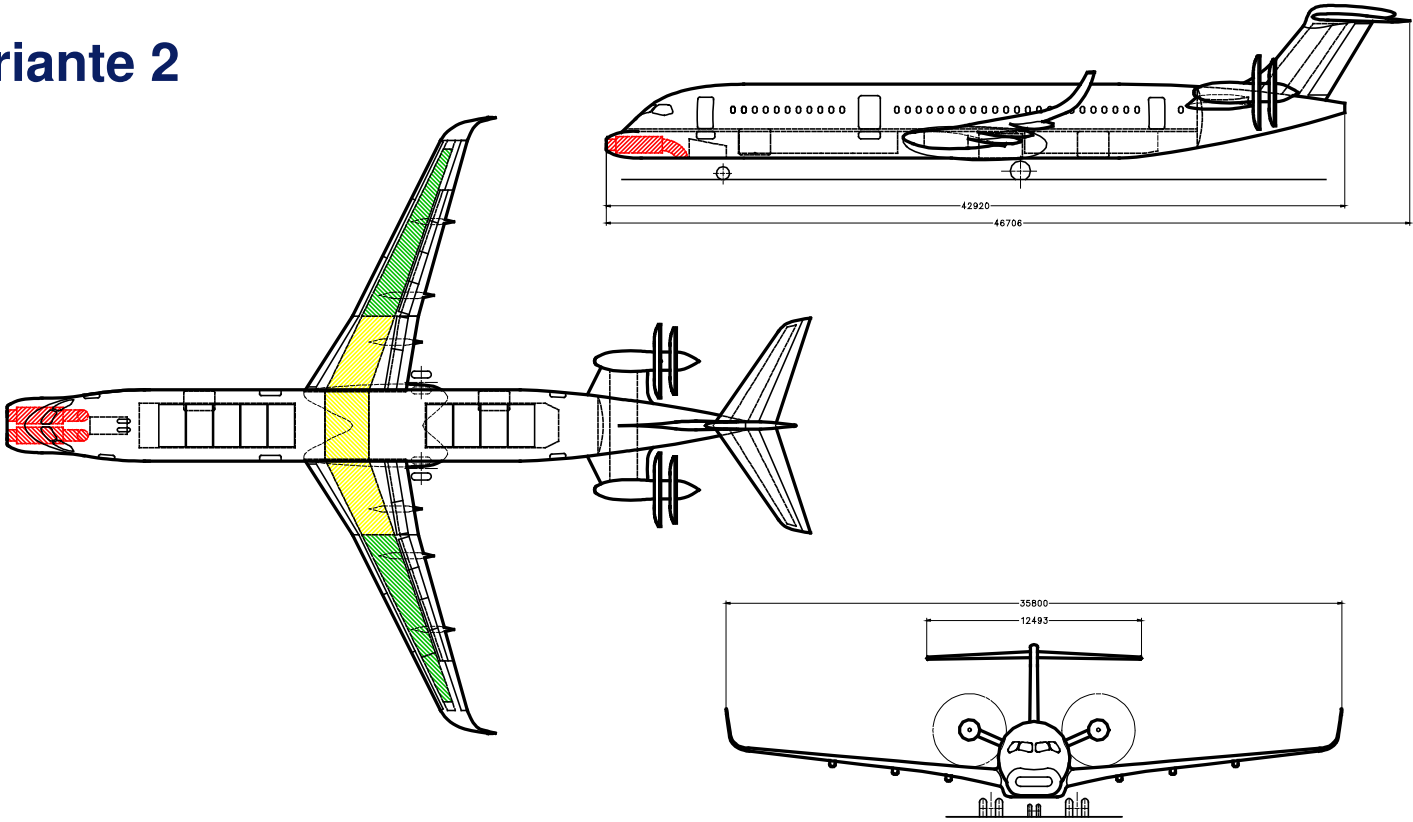


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Konzeptstudie - Serielles Hybridsystem

Variante 2



Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen

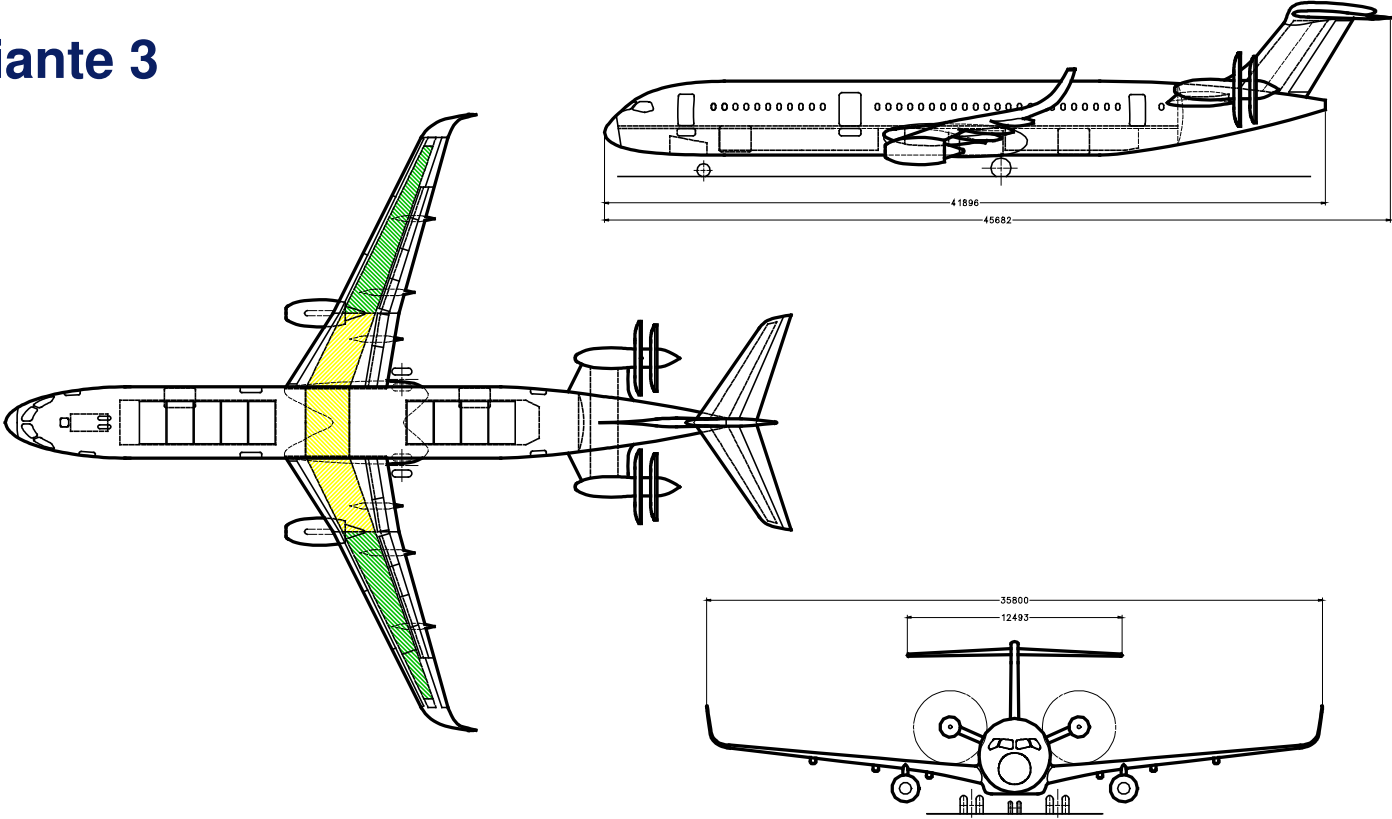


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Konzeptstudie - Serielles Hybridsystem

Variante 3



Konzeptstudie - Serielle Hybridsysteme

Ergebnis:

- **Probleme und Nachteile überwiegen**
- **Gewicht eines seriellen Systems größer als das eines Parallelen**
 - **Mehr Antriebskomponenten benötigt**
 - **Elektromotoren müssen eine höhere Leistung aufweisen**

Zusammenfassung

- **Ein Einsatz von Elektromotoren in der Luftfahrt scheint möglich**
- **Parallele Hybridlösungen stellen eine Möglichkeit dar, die (CO₂) Emissionen zu reduzieren, wenn auch nur auf kurzen Flugstrecken bis 500 nm, sofern die Technologien wie angenommen vorhanden sind**
- **Jedoch sind Hybridlösungen nach heutigen Gegebenheiten auf Grund der geringen erreichbaren Reichweiten wirtschaftlich nicht sehr attraktiv**

Fazit & Ausblick

- **Als nächster Schritt ist die detaillierte Auslegung und Entwicklung eines elektrisches Antriebsystems, inkl. der Kühlungsanlage, Leistungselektronik und der Kabel, dringend zu empfehlen**
- **Es besteht die weltweite Herausforderung, Strom effizient produzieren zu können**

Hybridlösungen (Elektromotoren) sollten weiterverfolgt werden, da sie den Weg ebnen könnten für ein revolutionäres Antriebssystem nach dem Jahr 2020

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau



“Die ZUKUNFT kann nicht hervorgesagt werden, sondern SIE möchte, bzw. muss entwickelt werden”

Amerikanisches Sprichwort

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen

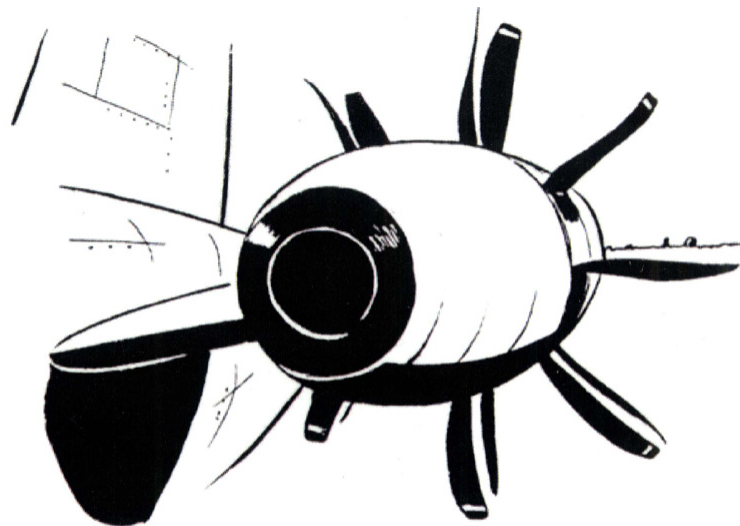


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

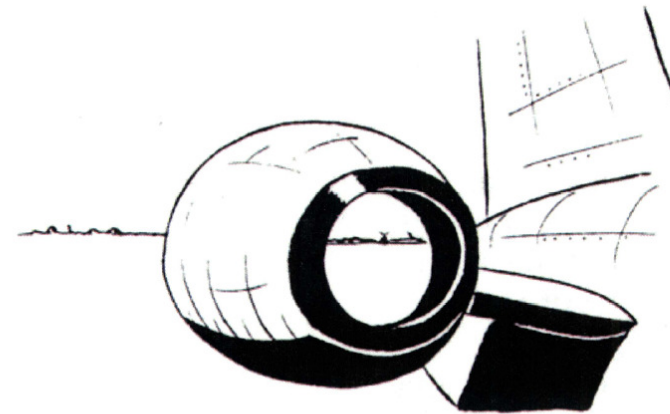
Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Haben Sie noch Fragen?



NEW.... UDF (UNDUCTED FAN)
WHICH SAVES 40% FUEL



COMING.... UFD (UNFANNED DUCT)
WHICH SAVES THE OTHER 60%

Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

	Wert	Formel
Gewicht [kg]	90000,00	
Gleitzahl	17,00	
erforderlicher Reiseschub [kN]	51,94	D.1
Reisegeschwindigkeit [Mach]	0,78	
Reisegeschwindigkeit [m/s]	230,10	D.2
erforderliche Leistung für Reiseflug [MW]	11,95	D.3
Wirkungsgrad der Elektromotoren	0,98	
Vortriebwirkungsgrad	0,83	
erforderliche Reiseleistung [MW]	14,77	D.4
Wirkungsgrad der Leistungselektronik	0,98	
Wirkungsgrad der Akkumulatoren	0,91	
Wirkungsgrad der Kabel + Stecker	0,85	
Gesamtwirkungsgrad	0,61	D.5
Reisestrecke [nm]	350,00	
Start- und Steigflugstrecke [nm]	0,00	
Reiseflugstrecke [nm]	350,00	
Reiseflugzeit [h]	0,78	D.6
benötigte Energiekapazität Reiseflug [MWh]	15,31	D.7
Energiedichte [Wh/kg]	1100,00	
Volumendichte [Wh/l]	1200,00	
Akkumulatorenge­wicht für Reiseflug [t]	13,91	D.8
Akkumulatorenvolumen für Reiseflug [m3]	12,75	D.9
Akkumulatorenge­wicht für Start- und Steigflug [t]	0,00	aus Tabelle D.1
Akkumulatorenvolumen für Start- und Steigflug [m3]	0,00	aus Tabelle D.1
Akkumulatorenge­wicht Gesamt [t]	13,9	
Akkumulatorenvolumen Gesamt [m3]	12,8	