



## **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

# Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

Oliver Wischhusen



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

*Hamburg University of Applied Sciences*

**Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau**

## 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**
  - **CO<sub>2</sub>-Emissionen -50 % (20 % triebwerksseitig)**
  - **NO<sub>x</sub>-Emissionen -80 %**
  - **wahrgenommener Lärm -50 %**
- **Erweiterte Umweltziele (z.B. „Zero Emissions Future“)**



**Das ACARE Ziel, einer triebwerksseitigen 20 % CO<sub>2</sub> Reduzierung, kann allein durch die Weiterentwicklung von konventionellen Triebwerken nicht erreicht werden**

# Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

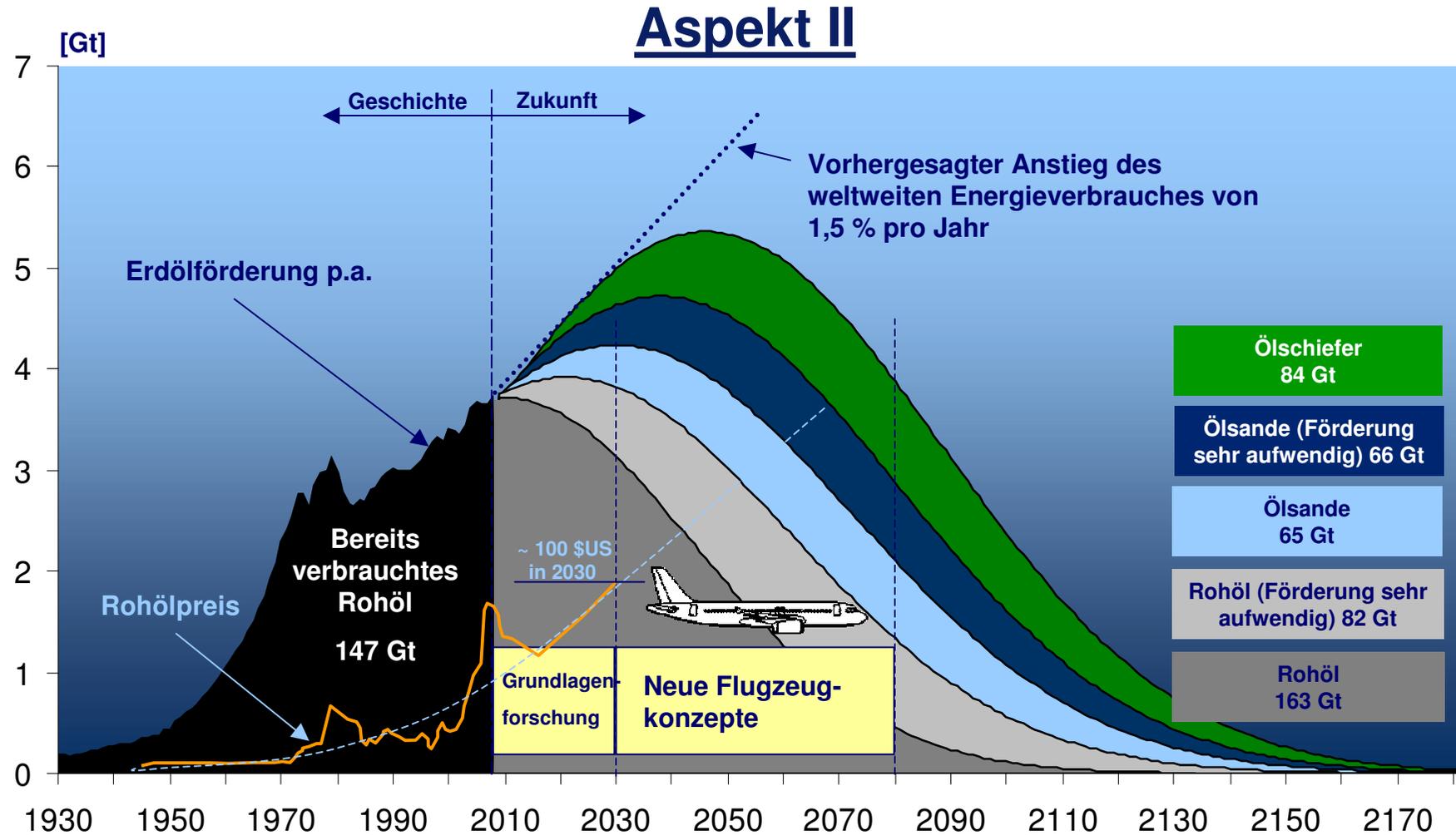
Oliver Wischhusen



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.



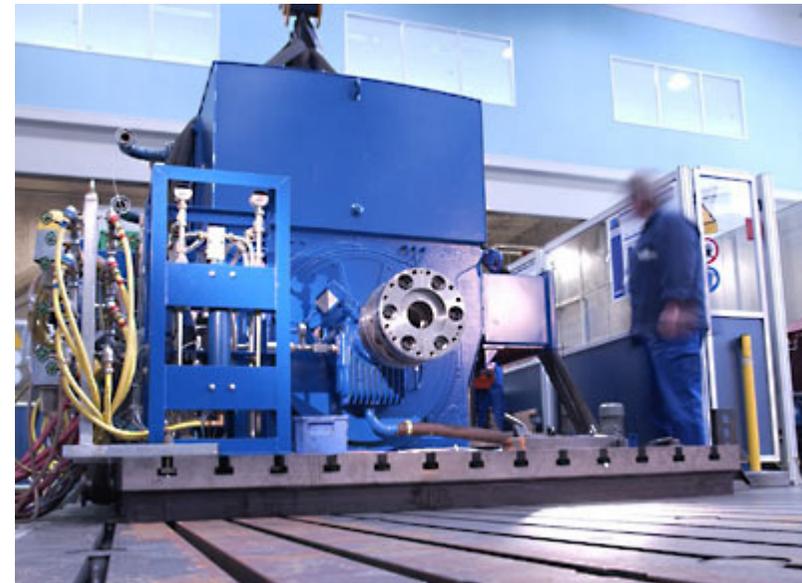
## Elektrisches Antriebssystem

### 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  $-100\text{ °C}$ ), dem Heraufsetzen der Drehzahl und neuen Materialien können Leistungsdichten von  $10\text{ kW/kg}$  und größer erreicht werden



LEM-130 Model



LEM-170 Model

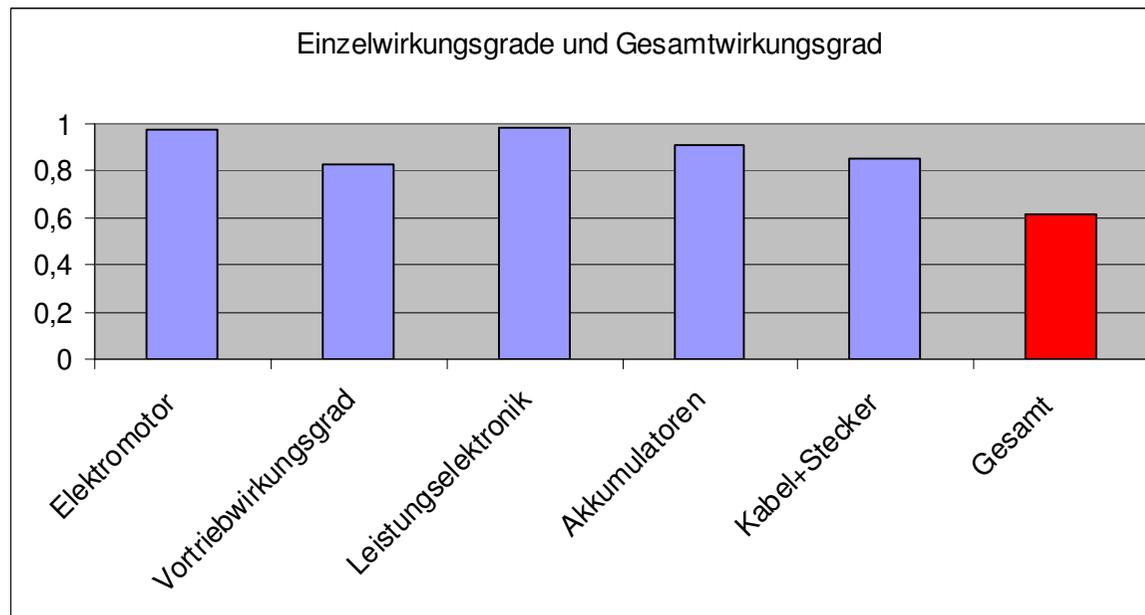


LEM - 200 Model



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

## Elektrisches Antriebssystem



### Vorteile u.a.:

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

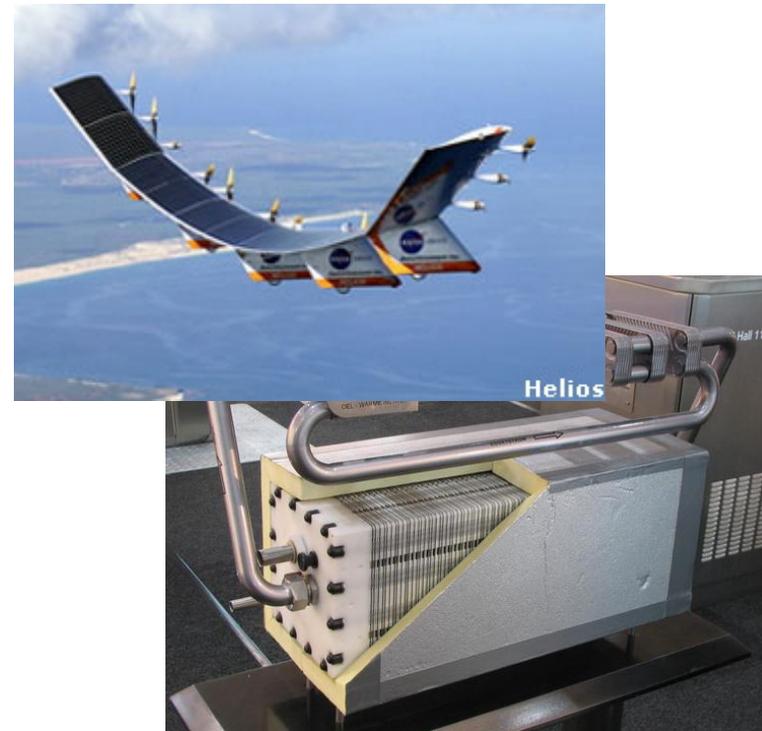
### Nachteile:

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

## Elektrisches Antriebssystem

### Energiequellen für elektrisches Antriebssystem

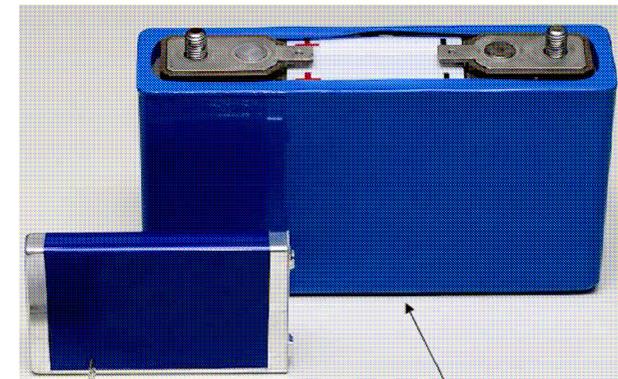
- **Externe Energiequellen**
  - Photovoltaik
  - Sonstige externe Quellen
- **On-Board Stromerzeugung**
  - Gasgeneratoren
  - Brennstoffzellen
- **Elektrische Energiespeicher**
  - Akkumulatoren
  - Superkondensatoren



## 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**

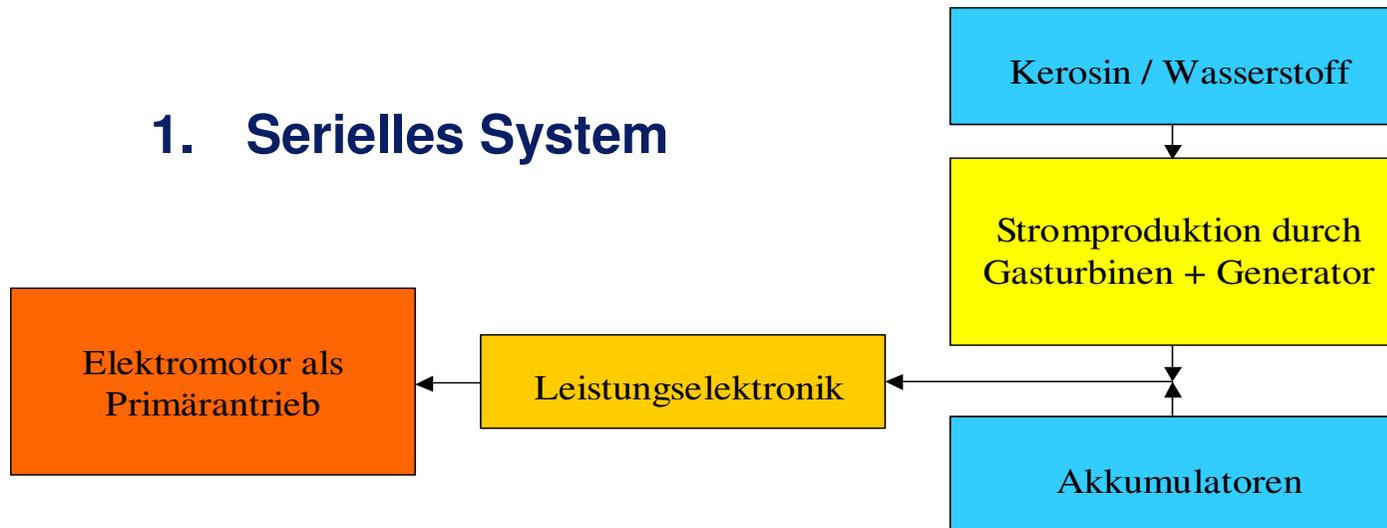
**Annahmen:**

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

## Konzeptstudie - Hybridlösungen

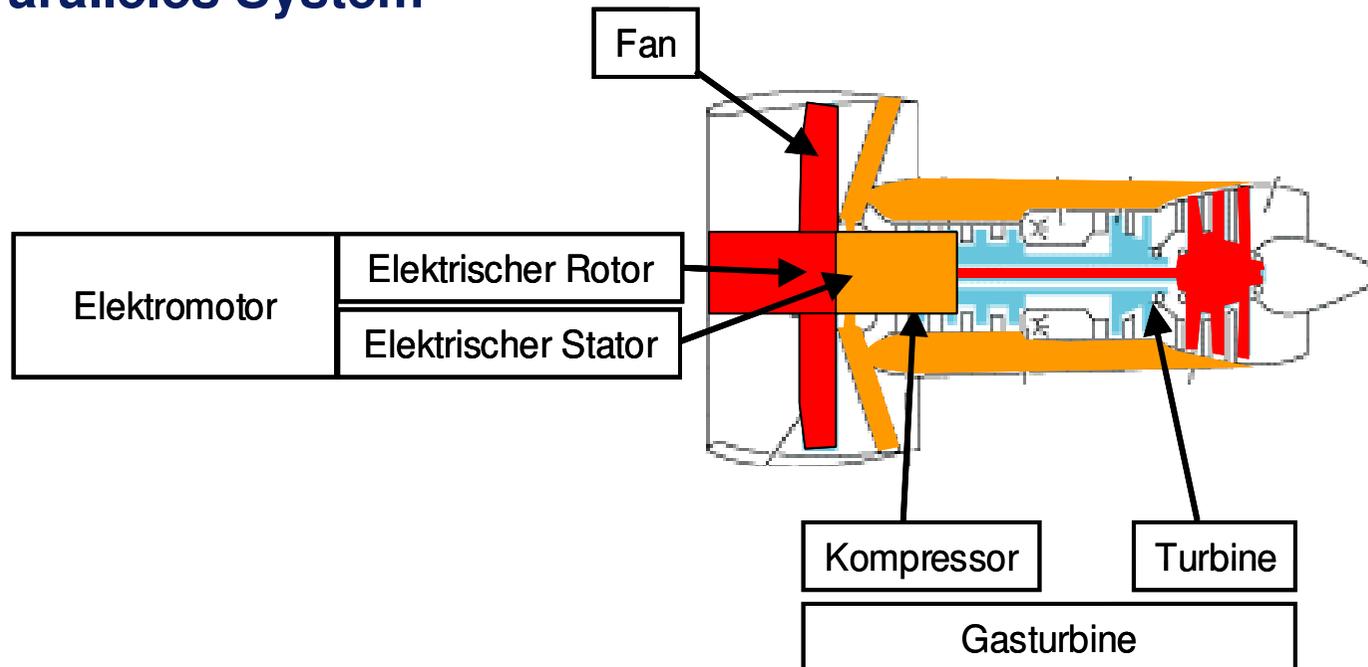
Hybridsysteme unterscheiden sich in zwei Arten:

### 1. Serielles System

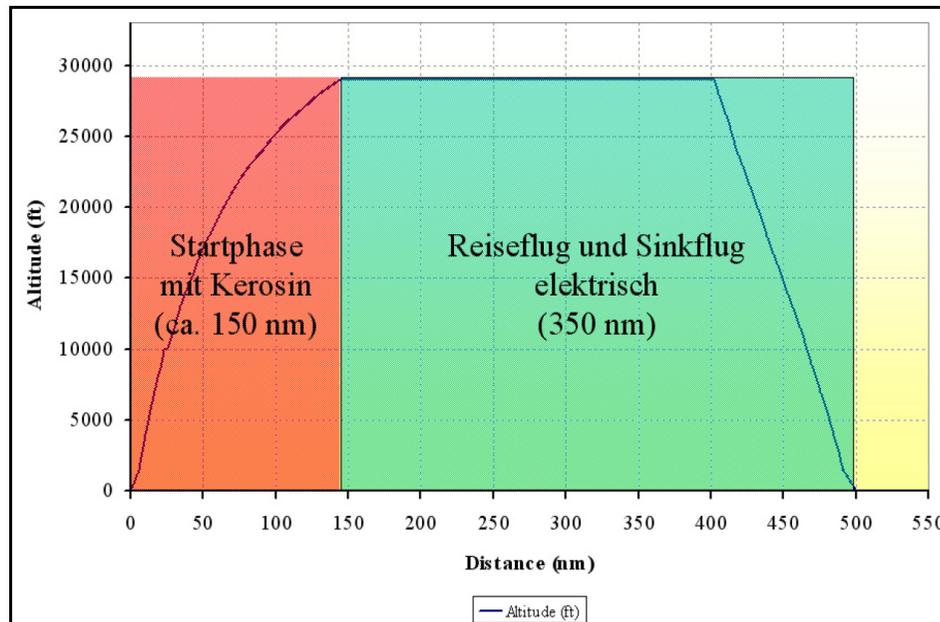


## Konzeptstudie - Hybridlösungen

### 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

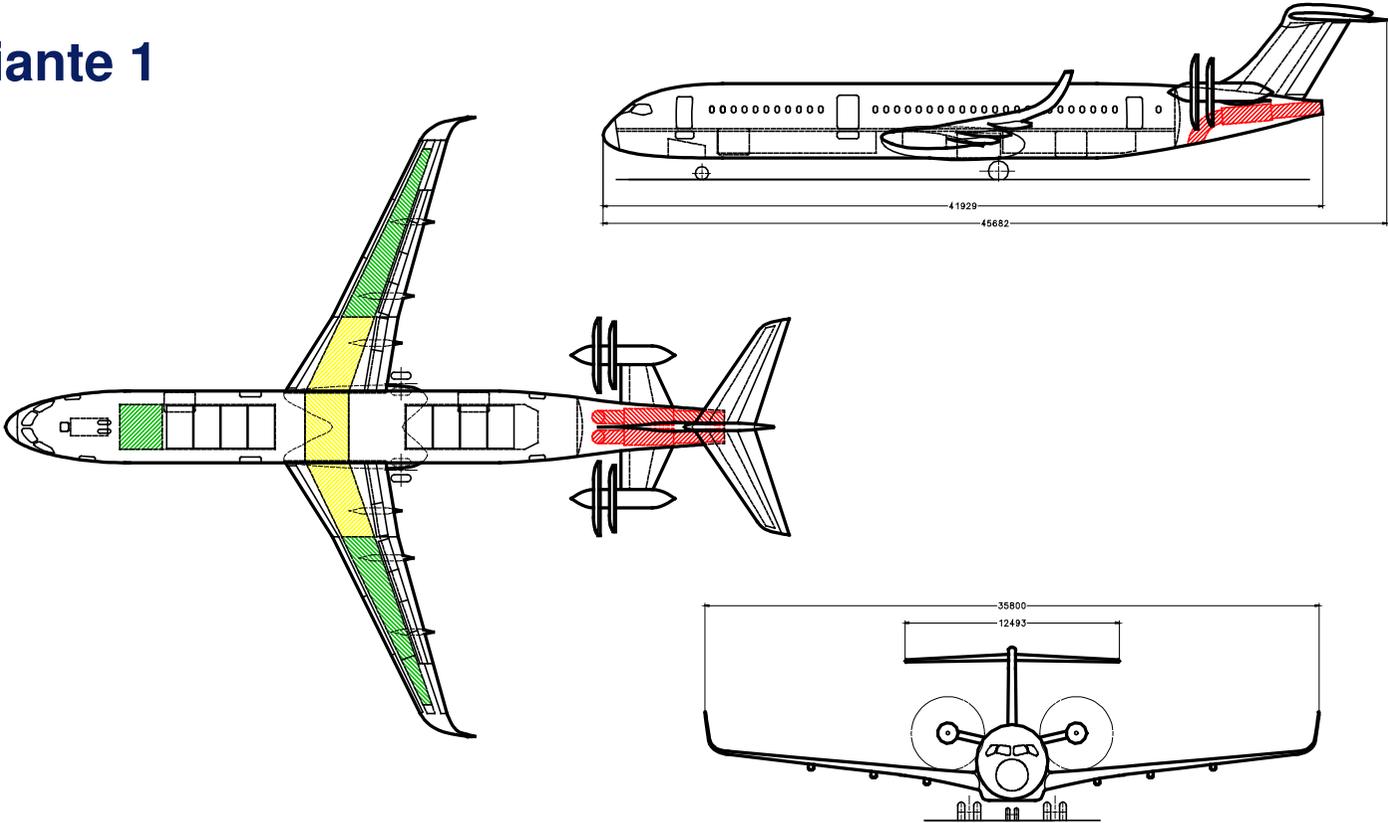


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

## Konzeptstudie - Serielles Hybridsystem

### Variante 1



# Analyse, Auswahl und Integration von alternativen Antriebstechniken

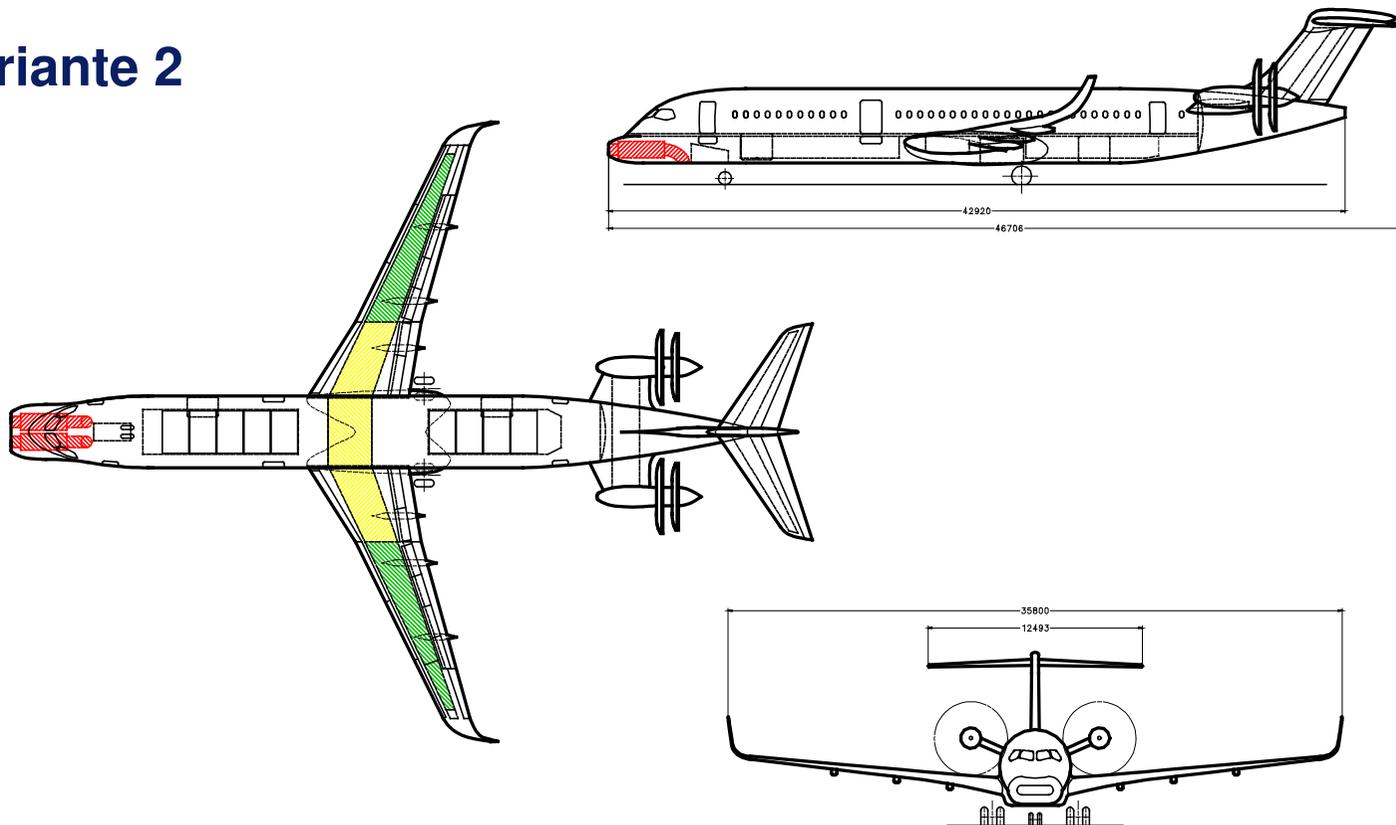
Oliver Wischhusen



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

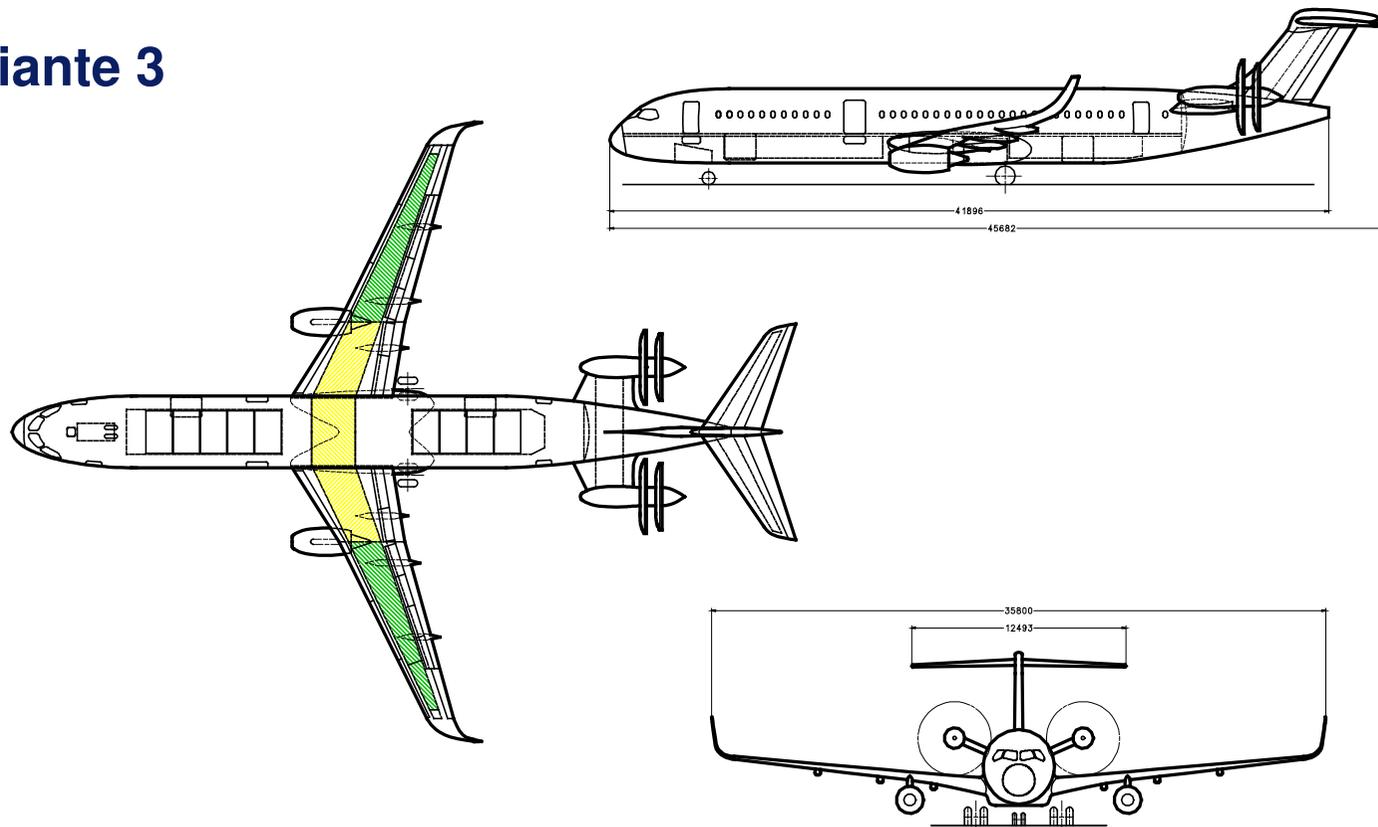
## Konzeptstudie - Serielles Hybridsystem

### Variante 2



## 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 (CO<sub>2</sub>) 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

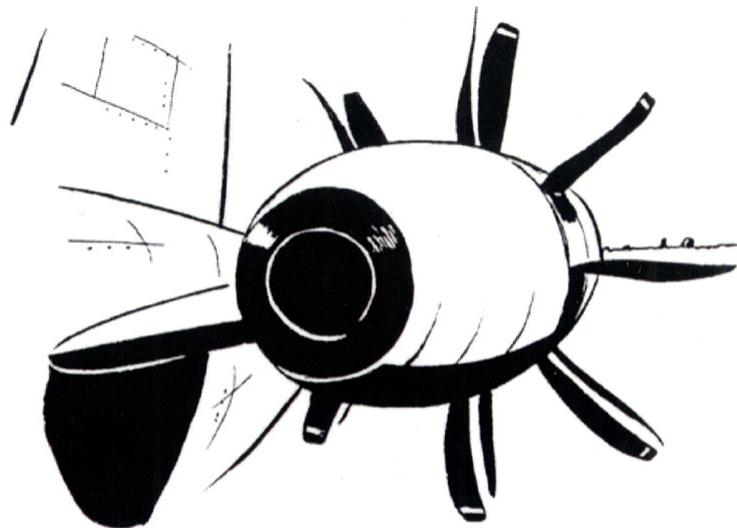


Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

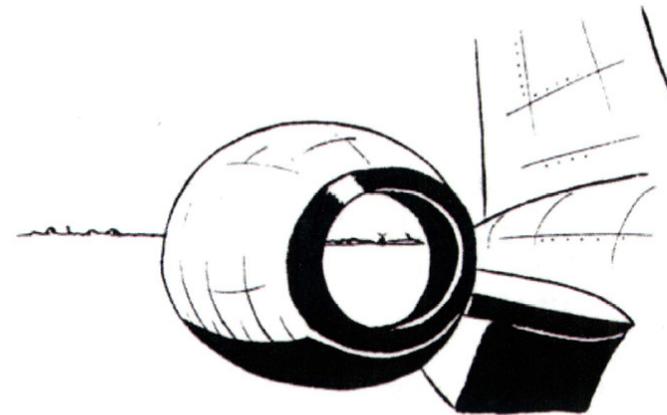
Hamburg University of Applied Sciences

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	
<b>Akkumulatorenge­wicht für Reiseflug [t]</b>	<b>13,91</b>	D.8
<b>Akkumulatorenvolumen für Reiseflug [m3]</b>	<b>12,75</b>	D.9
<b>Akkumulatorenge­wicht für Start- und Steigflug [t]</b>	<b>0,00</b>	aus Tabelle D.1
<b>Akkumulatorenvolumen für Start- und Steigflug [m3]</b>	<b>0,00</b>	aus Tabelle D.1
<b>Akkumulatorenge­wicht Gesamt [t]</b>	<b>13,9</b>	
<b>Akkumulatorenvolumen Gesamt [m3]</b>	<b>12,8</b>	