

# Praxis-Seminar Luftfahrt

Vortrag vom 08.04.99

Referent:

**Dipl.-Ing. H. Becker**

**DaimlerChrysler Aerospace Airbus, Bremen**

Thema:

**Entwicklung und Erprobung wirtschaftlicher Bauweisen für CFK-Flügel**

Dieses Dokument enthält ausgewählte Vortragsfolien

## FLÜGEL IN CFK - BAUWEISE

### Zielsetzung des Technologieprogrammes

- Erarbeitung der theoretischen und praktischen Voraussetzungen für die Entwicklung eines CFK - Flügels bis hin zu höchsten Strukturbelastungen (Regioliner bis Megaliner)
  - Dimensionierungsfähigkeit
  - Strukturdefinition
  - Erprobung der Prozesskette vom Entwurf bis zur Fertigung
- Entwicklung, Erprobung und Bereitstellung von Bauweisen, Werkstoffen und Fertigungstechnologien als Voraussetzung für wettbewerbsfähige Zielkosten
- Erarbeitung von Maßnahmen zur Beeinflussung des elastischen Verhaltens der Flügelstruktur (Aeroelastic Tailoring)
- Durchführung von statisch / dynamischen Versuchen unter Berücksichtigung der CFK - spezifischen Aspekte als wesentlicher Teil des Nachweis- und Zulassungskonzeptes für eine CFK - Flügel - Anwendung

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIEPROGRAMM

Verifikations - Box, Megaliner Delta

- **Zielsetzung Technologien und Fähigkeiten**

**-Dimensionierung** : Dimensionierungs - Fähigkeit auf der Basis von Lastniveaus und Auslegungskriterien eines 100 -Sitzer - Flugzeuges (einschließlich hochbelasteter Fahrwerksanschluss, Triebwerksanschluss, Flügel-Rumpf-Anschluss) und einer Megaliner - Außenflügel - Konfiguration

- ausnutzbares Dehnungsniveau
- Damage - Toleranz Bedingungen
- Optimierung der Laminatgestaltung als f (Bauteilbeanspruchung)
- Festigkeit, Steifigkeit, Stabilität, Kerbeinflüsse, Lasttransfer
- Design - Rules für Dicke Laminat incl. Bolzenverbindungen
- Design - Rules für Holme, Rippen
- Design - Rules für aeroelastisch getailorte Strukturen

**-Bauweisen/Werkstoffe:** Flügelstruktur in Differential - Bauweise

- Stringer-, Rippen-, Holmbauweisen
- Fertigungs- und Vorrichtungskonzepte
- Blitzschutzkonzept für CFK - Tank - Strukturen

Werkstoffe (CFK,  $\beta$ -geschmiedetes Titan)

- Anwendbarkeit für Flügel (Tank-) Strukturen
- mechanische Kennwerte
- Verarbeitbarkeit / Bearbeitungsparameter

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIEPROGRAMM

Verifikations - Box, Megaliner Delta

- Konstruktive Auslegung:** Konstruktiv Auslegung von anforderungsgerechten Flügeln auf Basis 100-Sitzer - bzw. Megaliner - Konfiguration
  - Realisierung Differentialbauweise
  - Definition der Flügelsysteme (Kraftstoff, Steuerung)
  - Trennstellen Definition für Flügel/Rumpf Verbindung
  - Dichtigkeits - Konzept
  - Strukturkonzepte für einen Megaliner Außenflügel (Trennstelle Innenflügel/Außenflügel, Rippen -, Holm -, Stringer - Konzepte, versteifte Ober -/Unterschalen, Mannlochkonzepte,...)
- Fertigungstechnologien:** Einsatz modernster Fertigungsverfahren für Faserverbundbauteile
  - 5-Achsen Tapelegen
  - Naßtechnologien (RTM, DP-RTM, Ri, C-RTM / Preforms)
  - Fertigprofile in Prepreg bzw. C-RTM
  - Krafteinleitungsbeschläge in CFK ( Ti - Ersatz )
  - Montagetechnologien
- Beeinflussung des Aeroelast. Verhaltens:** Ausnutzung der Anisotropie des CFK - Werkstoffes für eine gezielte Biege - Torsions - Kopplung der gebauten Struktur
  - Optimierung des Verwindungsverhaltens
  - Verbesserung der Querruderwirksamkeit
  - Verbesserung des Flatterverhaltens

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIEPROGRAMM

Verifikations - Box, Megaliner Delta

## - Nachweisführung

Nachweis der CFK - spezifischen Aspekte einer Flügelstruktur

→ Untersuchung kritischer Komponenten anhand von Coupons, Strukturelementen, Strukturkomponenten wie Fahrwerks-Box, Tank-Blitz-Box, Brandsicherheit und Restfestigkeitsverhalten

→ stat./dyn. Versuch, Limit-/Ultimate - Load, Restfestigkeit  
Versagenskriterien an einer Verifikations-Box

→ Stand - Schwingungsversuch (instationäre Aeroelastik)

→ Blitzbelastung (Zone 2A)

**Zielsetzung:** keine weitere Fatigue - Komponente für Neuentwicklungen von CFK - Flügel - Strukturen, fehlende Teilnachweise werden nur noch über Bauteilversuche verifiziert und nachgewiesen.

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIEPROGRAMM

## Projektübersicht

**Phase I : Kritische Komponenten**

Flügeldefinition, Strukturtechnologien, Kennwerte, Design Rules, Design-Konzepte, Versuchskomponenten (Schalen, Blitz-Box, MLG-Box,...)  
Strukturversuche

**Laufzeit:** 09.93 bis 04.97

**Phase II : Auslegung, Entwicklung, Verifikation eines CFK-Flügels**

Konstruktion, Dimensionierung, Fertigungs- und Femi-Konzepte  
Femikonstruktion und -fertigung, Bauteilfertigung, Fertigungsversuche  
Montage Flügel-Box / CW-Box / Verifikation-Box  
Planung und Durchführung der Versuche      Standschwingungsversuch  
stat./dyn. Versuch  
Reifenimpactversuch

**Laufzeit:** 01.96 bis 12.99

**Phase III : Megaliner-Außenflügel, Delta-Programm**

Strukturkonzepte, Strukturdimensionierung/Design Rules  
Strukturtechnologie-Anpassung, Aeroelastisches Verhalten/Strukturoptimierung

**Laufzeit:** 09.97 bis 06.99

**Partner :** DLR-BS/S/G\_, IMA, DEBIS; INGERSOLL, HEXCEL, FhG Halle, CRC-ACS, IMI-MARSTON  
Hochschulen: BS, S, DA, KL

# FLÜGEL IN CFK - BAUWEISE, STATUS 06/97

statisch/dynamische Versuche V - Box

- **Standschwingungsversuch (DA - DLR/G\_)**

Messen : Eigenfrequenzen, Eigenformen, generalisierte Massen, modale Dämpfungen

Ermitteln : Indikatorfunktion, Orthogonalität, Linearität

Konfiguration : Box mit Triebwerks- und Pylon - Dummy, Tank voll bzw. leer  
Box ohne Dummy, Tank leer

- **Verifikationsversuch**

Limit - Lastversuch (j = 1,0)

Betriebsfestigkeitsversuch (1 Leben, 60.000 Flüge, Lastfaktor 1,15)

Ultimate Lastversuch (j = 1,5)

Damage - Tolerance Versuch (1/2 Leben, 30 000 Flüge, Lastfaktor 1,15)

Restfestigkeitsversuch bis zum Bruch

## **FLÜGEL IN CFK - BAUWEISE, STATUS**

Nutzen / Vorteile CFK vs. Al - Flügel (1)

- **Ergebnisse aus laufenden CFK-Baugruppen und Technologieprogrammen**
  - Gewichtsreduzierung 15-20-30 % → Widerstandsreduzierung → Reduzierung DOC
  - kein Fatigue Probleme, kein Rißfortschritt
  - keine Korrosion der CFK - Struktur
  - Verbesserung der Feuerbeständigkeit
  - Vergrößerung der Inspektionsintervalle → Reduzierung life cycle cost
  - Anisotropie des Werkstoffes ( Formulierung der Bauteileigenschaften )

## FLÜGEL IN CFK - BAUWEISE, STATUS 06/97

### Nutzen / Vorteile CFK vs. Al - Flügel (2)

- **Spezifischer Nutzen für Megaliner Außenflügel**
  - Gewichtsreduzierung: 17 bis 30 % abhängig von der Trennstellenlage
  - Verbesserung der Torsionssteifigkeit
    - Verbesserung der Querruderwirksamkeit (Rollsteuerung, Rollrate, Laststeuerung)
    - Verringerung der Lastverwindung (Widerstandsreduzierung)
    - Verschiebung des Flatterpunktes zu höheren Geschwindigkeiten
  - Weitere Verbesserung der Torsionssteifigkeit durch zusätzliches Aeroelastic Tailoring
    - weitere Verbesserung der Querruderwirksamkeit
    - zusätzlich positiver Effekt auf die Flattergeschwindigkeit (Reduzierung des Entwicklungsrisikos)
    - weitere Verringerung der Lastverwindung
    - Korrekturmöglichkeit der Lastverwindung (Flugstrak) ohne Änderung des Vorrichtungsstrakes

## **FLÜGEL IN CFK - BAUWEISE, STATUS 06/97**

Aufgabenstellung Phase III / Partner

### **Erarbeitung von Lösungen für die spezifischen Anforderungen des Megaliners an einen CFK - Außenflügel zur Abminderung des Entwicklungsrisikos**

- Entwicklung von Konzepten zur Definition, Auslegung, Herstellung und Montage eines CFK - Außenflügels
- Ergänzung der Dimensionierungsfähigkeit für hochbelastete Strukturen anhand von Belastungsversuchen an Probekörpern und Subkomponenten; begleitende Simulationsrechnungen zum Laminat - Versagen
- Entwicklung von Maßnahmen zur Beeinflussung des stationären und instationären elastischen Verhaltens der Außenflügelstruktur (Aeroelastic Tailoring)
- Einsatz von leistungsfähigen Harz- / Faser - Systemen und angepaßten Fertigungstechnologien

**Partner des Vorhabens :** DLR/BS, DLR/G, FhG-IWM, IMA/DRS  
MPA/St, BAM/Berlin

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIE

Delta - Programm A3xx

- **Erarbeitung der Dimensionierungsfähigkeit**

- Erstellung eines FEM, A3xx - Definition
- Konstruktiver Entwurf für einen CFK - Außenflügel
- Konstruktiver Entwurf für eine Trennstelle CFK / Metall
- Dimensionierung von kritischen Komponenten
- Definition von Versuchskomponenten für Dimensionierungskennwerte
- Herstellung der Versuchsstücke und Durchführung der Tests

- **Werkstoffe und Technologien**

- Erprobung / Qualifikation von geeigneten, leistungsfähigen Werkstoffen für Naßtechnologien
- Anpassung der Fertigungstechnologien / Montagetechnologien an dicke Lamine
- Erprobung von Strukturtechnologien für unausgeglichene Lamine (Biege - Drill - Kopplung)
- Verbesserung Korrosionsschutz für Werkstoffpaarung Al / CFK

# CFK - FLÜGEL - TECHNOLOGIE

Delta - Programm A3xx

- **Aeroelastisches Verhalten, Aeroelastik Tailoring**
  - Ermittlung des stationären Verhaltens / Lastverwindung der Struktur
  - Ermittlung der Möglichkeiten der Beeinflussung von Biege- und Torsionssteifigkeiten (Lagenorganisation, Verlagerung Schubmittelpunkte)
  - Untersuchungen zur Strukturoptimierung unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten von
    - Gewicht (Strukturmechanik)
    - Dämpfung
    - Ruderwirksamkeit
    - Verwindung
  - Anwendung unterschiedlicher Rechenverfahren zur Absicherung der Vorgehensweise