

# Wehrtechnisches F&T Symposium

## Qualitätsgesicherte Fertigung von Faserverbundwerkstoffstrukturen

M. Kleineberg

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Wissen für Morgen



# Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

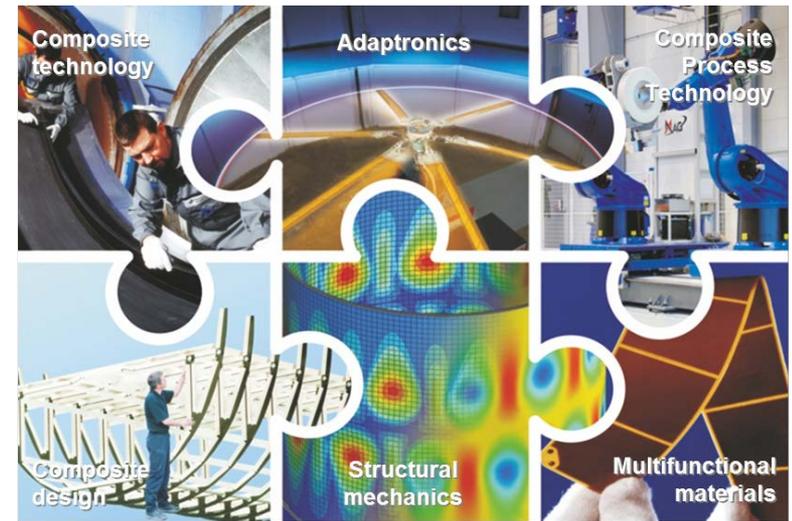
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Inhalt

## Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

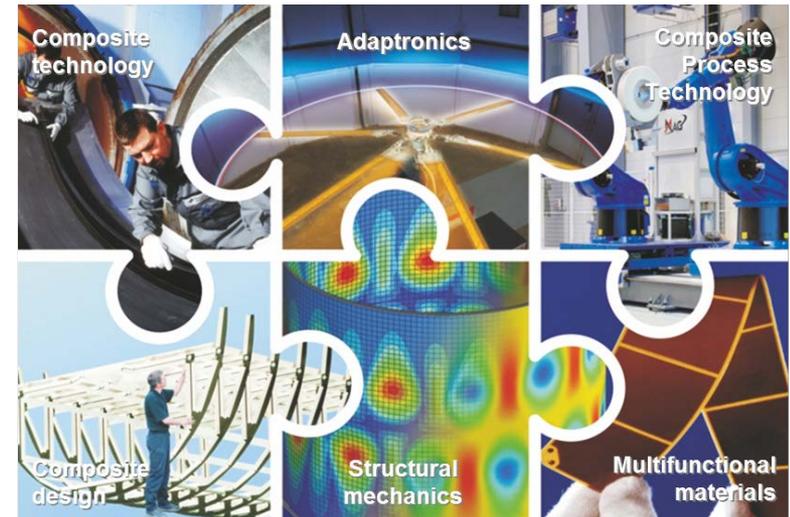
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Einleitung

## Besonderheiten von Faserverbundwerkstoffstrukturen

### Material:

- Skalierungseinfluss aus Mischung makroskopischer Bestandteile
- Faser, Matrix und Zusätze haben unterschiedliche Eigenschaften
- Nutzbare Lamineigenschaften primär in der Bauteilebene
- Faserausrichtung und –gradheit prägen Laminatleistungsfähigkeit

### Fertigung

- Konstruktionsmaterial entsteht erst während der Fertigung
- Prozessrandbedingungen beeinflussen Lamineigenschaften
- Zahlreiche Parameter (Druck, Temperatur, Reaktivität, FVG...)
- Komplexe Zusammenhänge zwischen Parametern und Endprodukt

**→ Material und Fertigung sind in hohem Maße toleranzbehaftet**



# Inhalt

Einleitung

**Qualitätsgesicherte Fertigung**

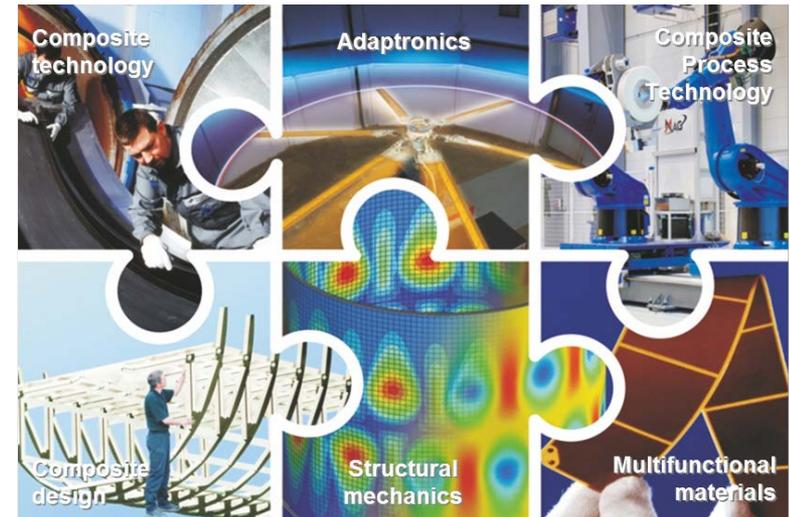
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

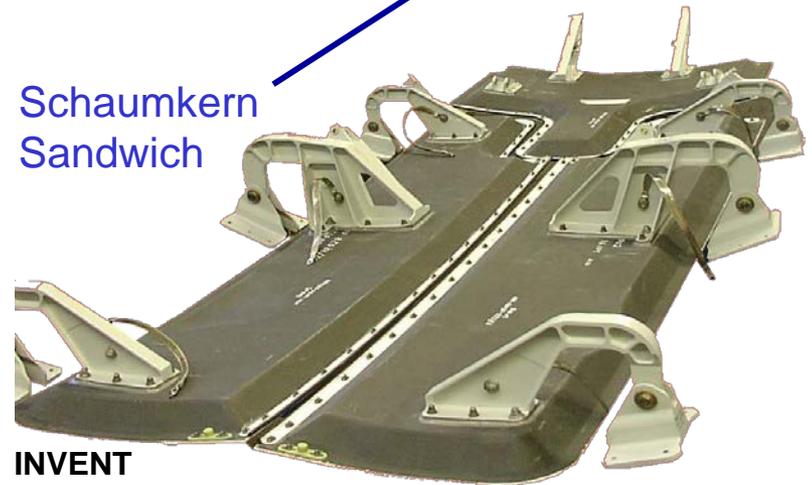


# Qualitätsgesicherte Fertigung

## Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728



Monolithisches  
Integralbauteil



Schaumkern  
Sandwich

**Pylon Fairings Fairchild 328Jet**

**NLG-Doors Fairchild 728**



# Qualitätsgesicherte Fertigung

## Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728

### Basis der Luftfahrtzulassung für Klasse 3 Harzinfusionsbauteile:

- Absicherung der Materialverfügbarkeit (Fasern, Matrix, Binder)
- Prozessspezifikation und -qualifikation (Prozessparameterdefinition)
- Materialspezifikation und -qualifikation (Coupon Testprogramm)
- Definition einer Erstmustersprüfung (First Article) und einer Prozess-QS
- Festlegung der Prozessdokumentation (Fertigungsanweisung, LDS)
- Herstellung und Prüfung des Erstmusters sowie der Prozessbegleitproben
- Serienanlauf mit NZP, Begleitproben ZP und Dokumentationskontrolle
- Gegebenenfalls schrittweise Reduktion des QS Aufwandes

### → Ansatz für Lufttüchtigkeit:

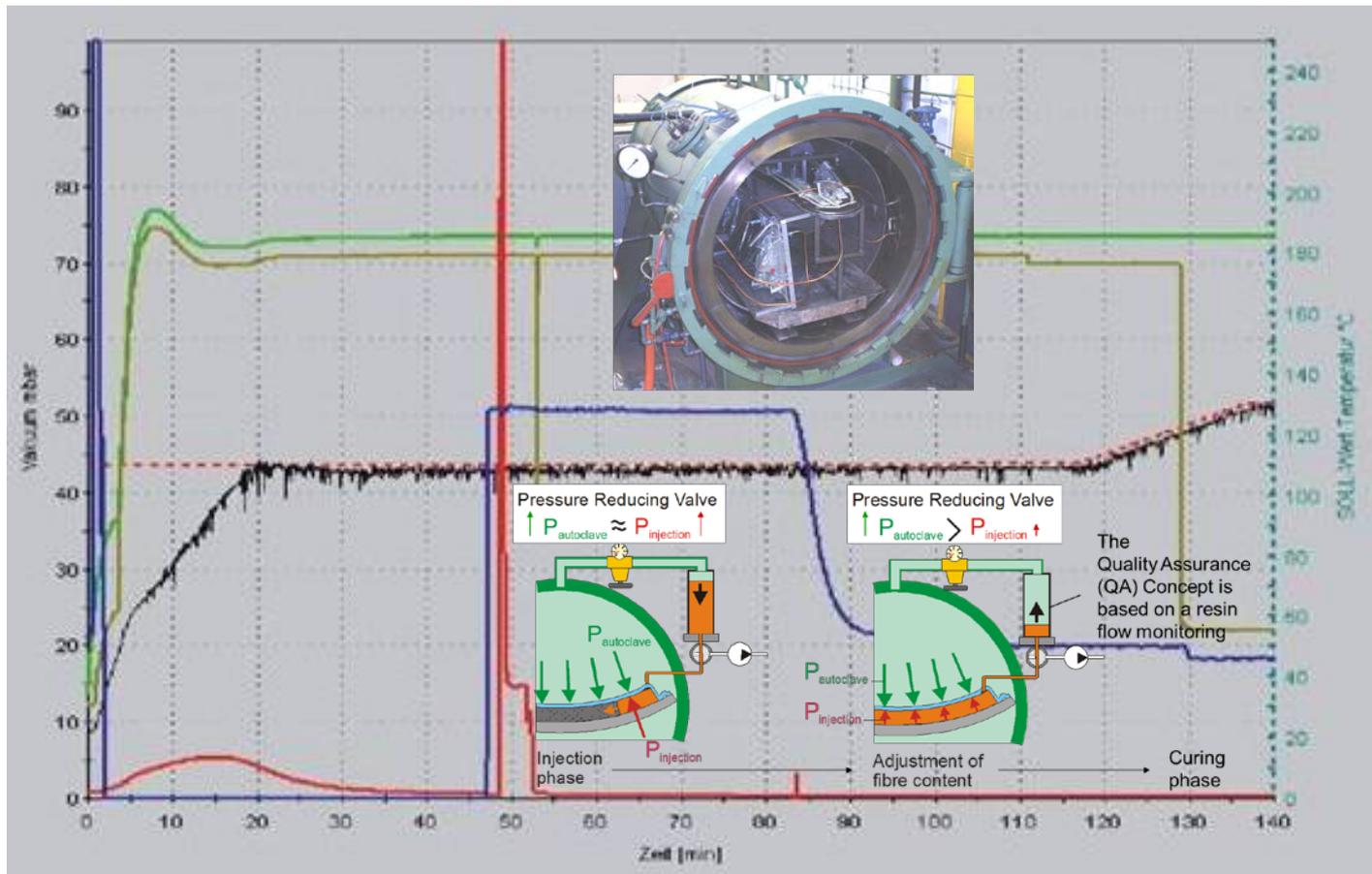
**Produktionsumgebung, Material, Fertigung, Formwerkzeuge, Hilfsstoffe etc. sind im Detail festgelegt und direkter Bestandteil der erfolgreichen Qualifikation**



# Qualitätsgesicherte Fertigung

## Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728

### Autoklavinfusion (Single Line Injection) Prozessdokumentation:



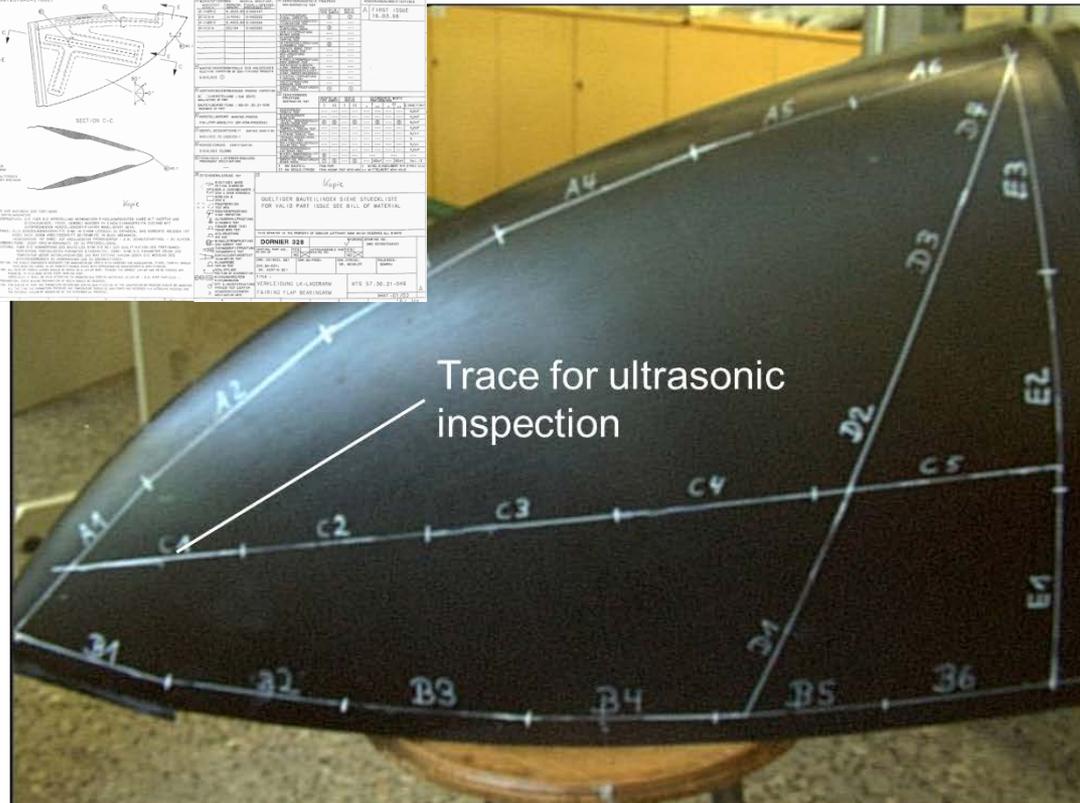
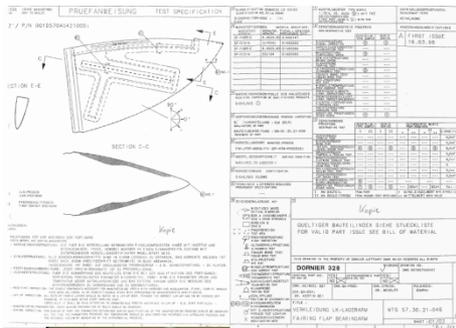
- Pressure
- Temperatur
- Harzmenge
- Vakuum I/II



# Qualitätsgesicherte Fertigung

## Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728

### First Article Inspection:



Type Sample

### Type Sample

NDT: OK  
DT ILS: OK  
DT Micrographs: OK  
DT Fiber Volume: OK  
Dimens. Check: OK

### Accomp. Test Specimen

ILS: OK  
Fiber Volume: OK

### Papers:

Certifications: OK  
LDS: OK

**First Article  
Inspection:  
Passed**



# Qualitätsgesicherte Fertigung

## Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728

### Problem:

- QS Maßnahmen zumeist auf Basis indirekter Messergebnisse (Zeit, Druck)
- Umgang mit Abweichungen die nicht in der Spezifikation erfasst sind
- Umgang mit Abweichungen die erfasst aber nicht qualitätsmindernd sind
- Einbindung von Verbesserungen in eine bestehende Qualifikation
- Basis für nachträgliche Einschätzung von Abweichungen unsicher

**→ Die Produktion wird auf sehr konservativem Niveau festgeschrieben, damit Unsicherheiten einkalkuliert sind**



# Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

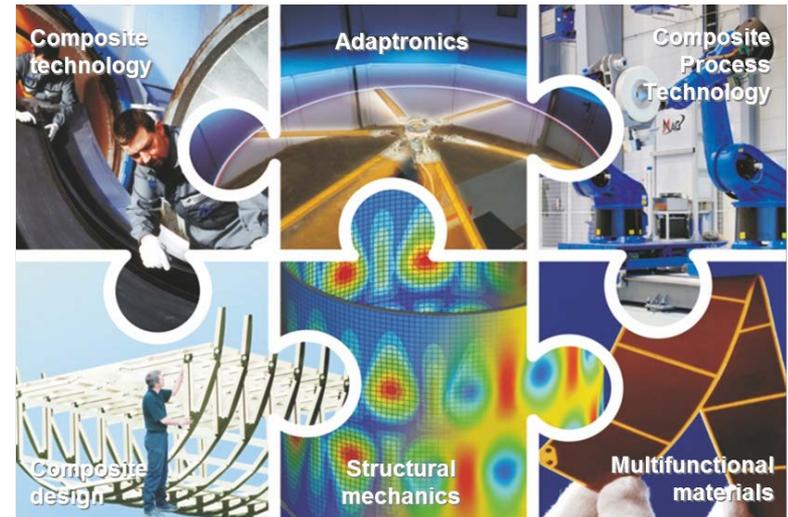
**Innovationsansätze**

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

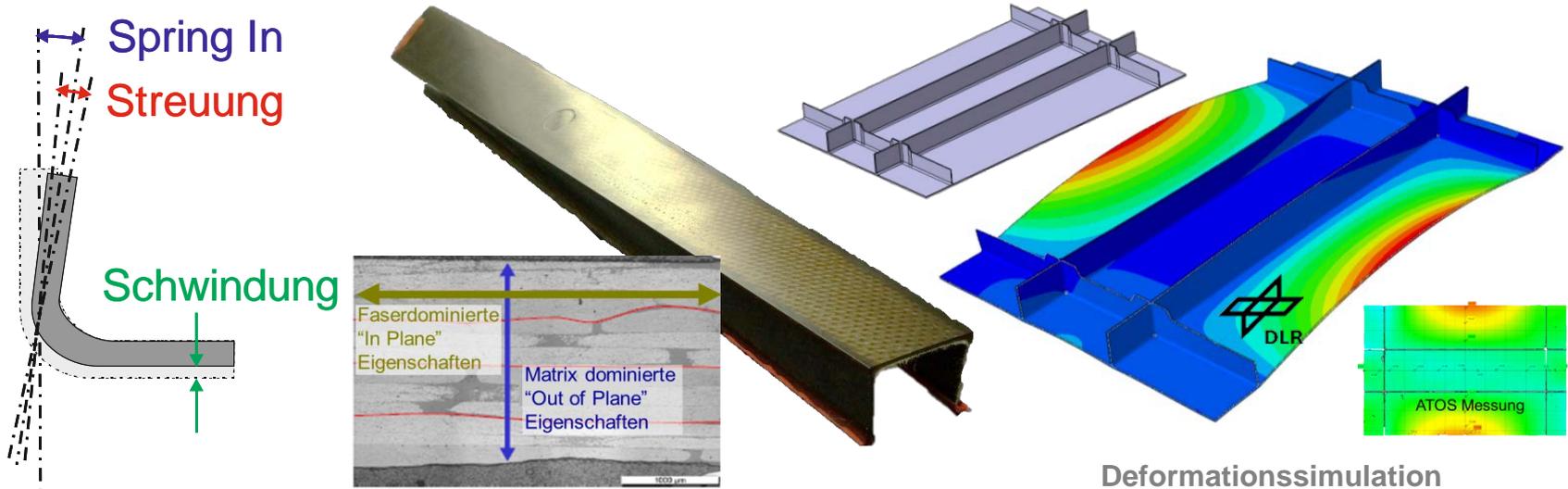
Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Innovationsansätze

## Einbeziehung von Fertigungsdeformationen



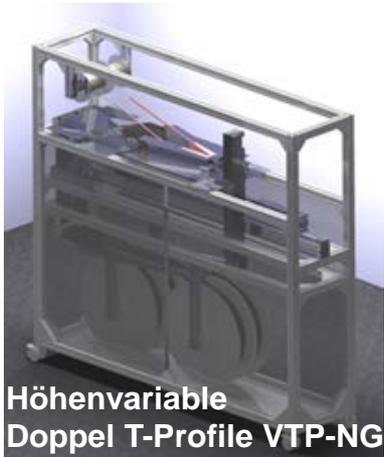
### Anisotropie- und matrixbedingte Deformationseffekte bei Faserverbunden

- Vernetzungsbedingte Schwindungseffekte (überwiegend unkritisch)
- „Warpage“ Effekte aus Bauteil-Werkzeug-Interaktion (überwiegend unkritisch)
- „Spring-In“ Effekte aus „In-Plane“-“Out of Plane“-Interaktion (teilweise kritisch)
- Fertigungsbedingte Streuung der Deformation (teilweise kritisch)
- Bauteiltorsion- und wölbung aus Symmetrieeffekten (kritisch)



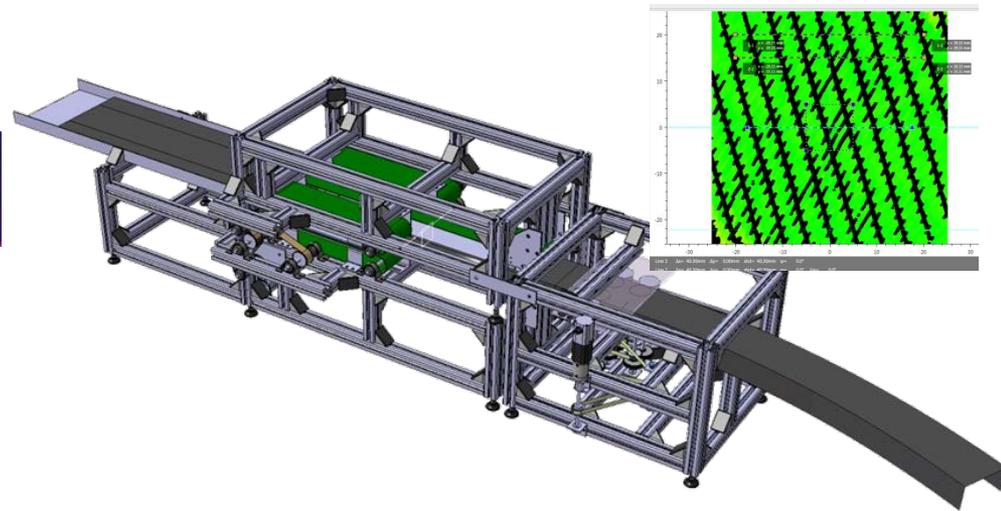
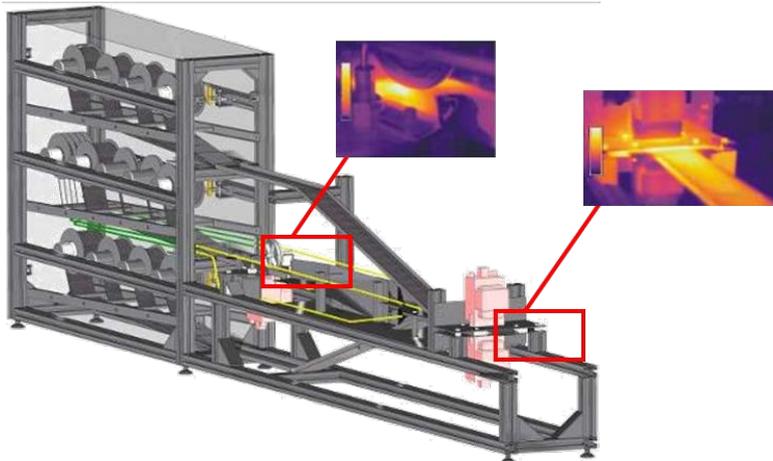
# Innovationsansätze

## Aktives Management von Halbzeugabweichungen



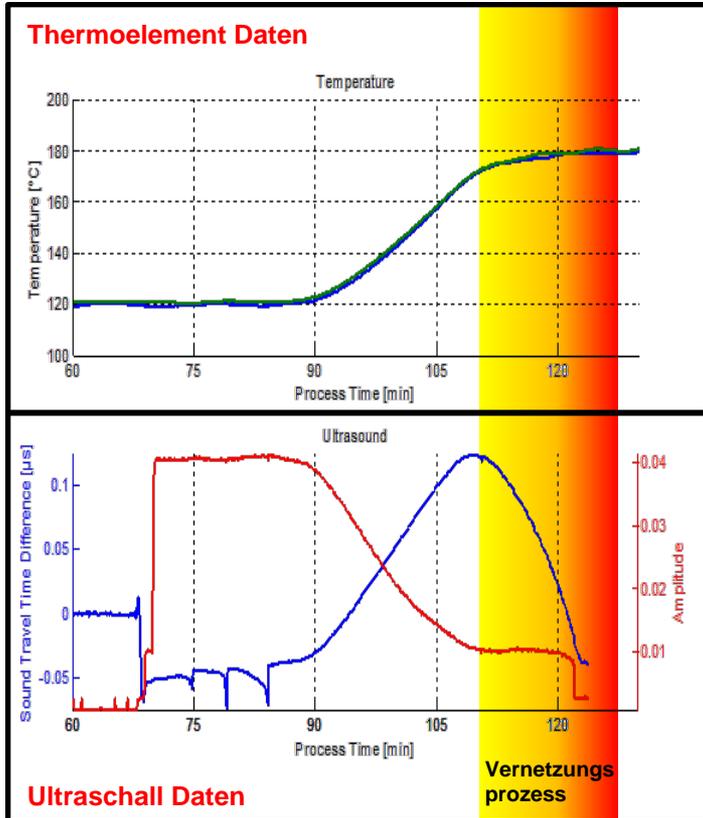
### Automatische Preformerstellung und -konsolidierung

- Variable Lagenumformung und -verscherung
- Zwickelintegration
- Faserwinkelkontrolle und -korrektur
- Binderaktivierung (Induktiv, Mikrowelle, Wärmeleitung)



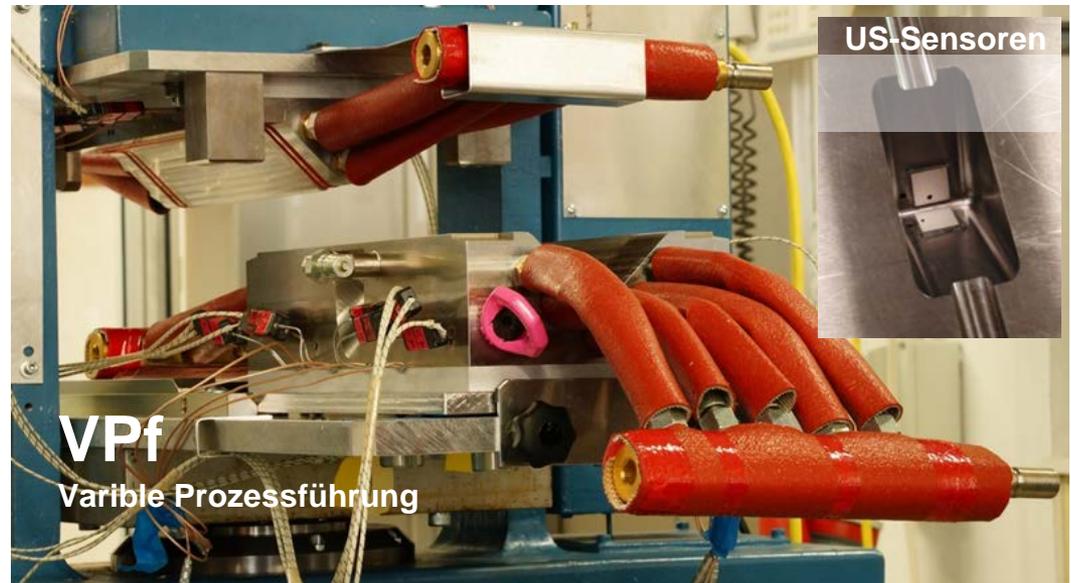
# Innovationsansätze

## Aktive Kontrolle des Vernetzungsvorganges



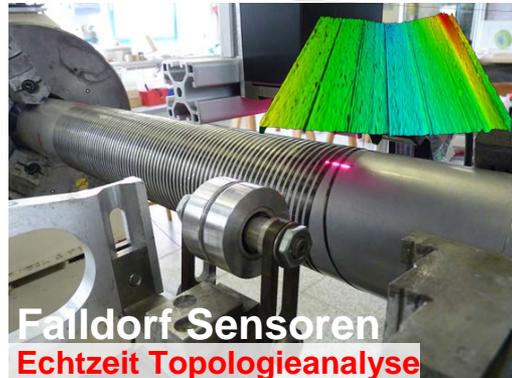
### Vernetzungsgesteuerte Bauteilprozessierung

- Variabel temperierbare Formwerkzeuge
- Werkzeugintegrierte Prozessanalyse



# Innovationsansätze

## Rekonfigurierbare Prozessumgebung



**Kombinierte Robotik (KRC) / Wickelanlage (CNC) zur Untersuchung sensorisch überwachter, aktiv nachgeführter Ablegetechniken**



# Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

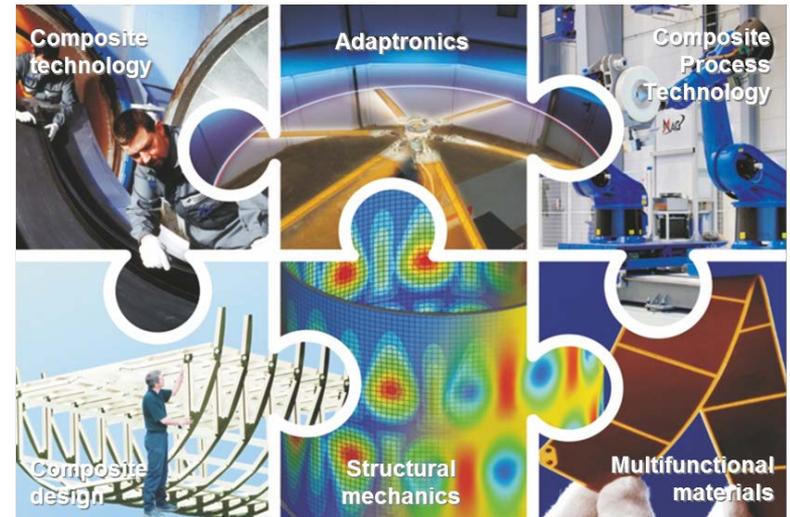
Innovationsansätze

**DLR Forschungsplattformen**

Herausforderungen

Resümee

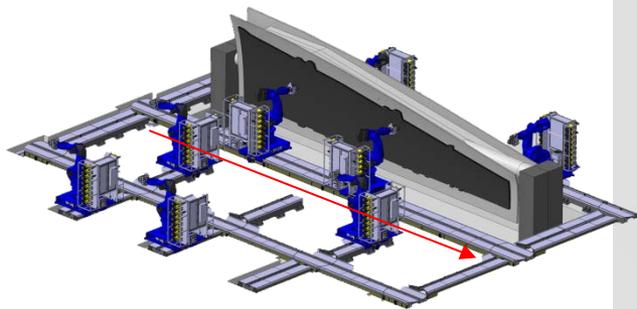
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Forschungsplattformen



## GroFi AFP/ATL Plattform (Koordinierte Roboter)



### GROFI Platform

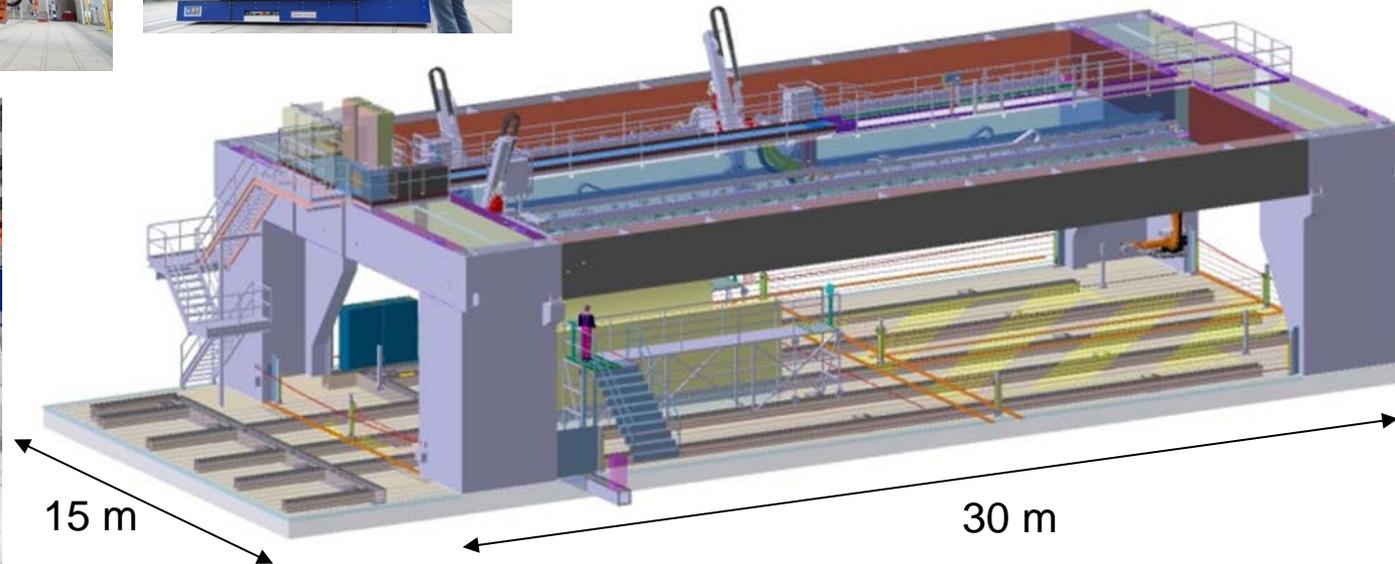
Combined Multi Robot AFP/ATL Production Centre  
Flexible Rearrangement of Lay-Up Units / Circular Production Flow  
Maintenance and Refill Parking Positions



# Forschungsplattformen



## MFZ Preformzentrum (Kooperierende Roboter)



### Flexible Multi Robot Production Cell

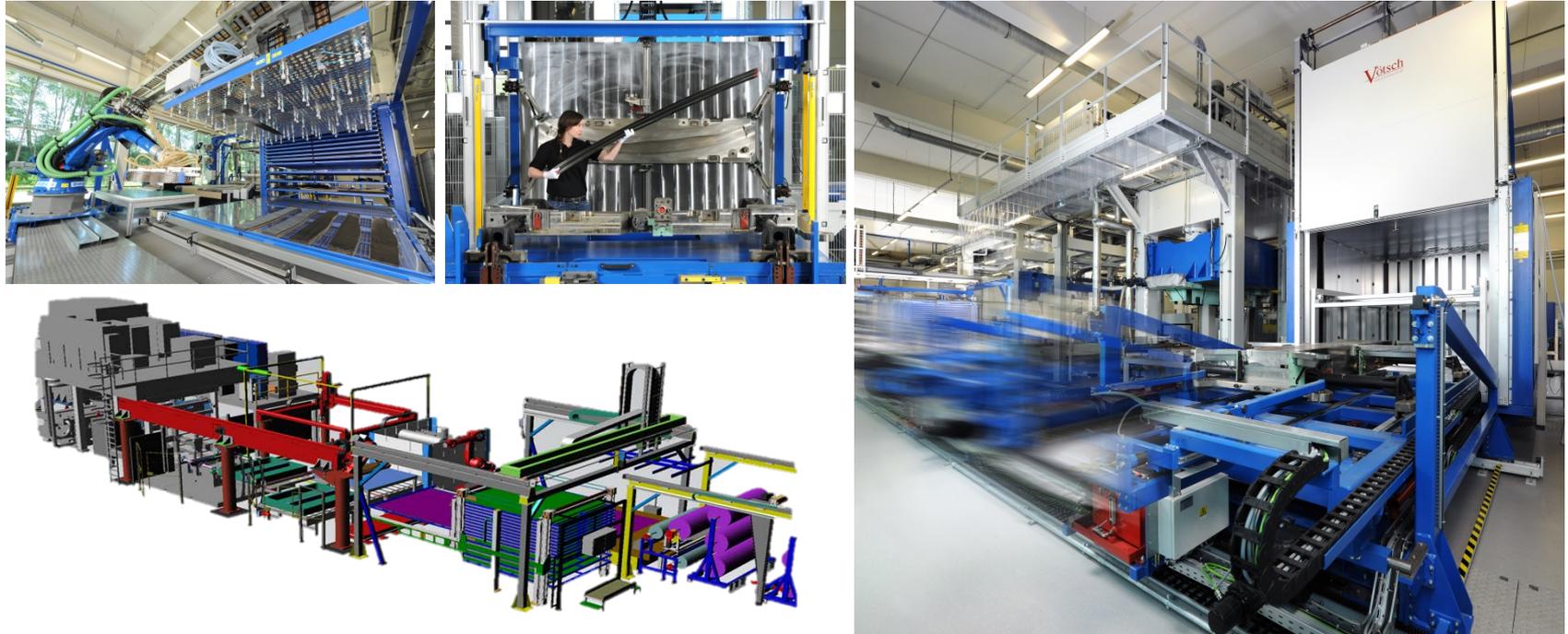
- Suitable for large A/C structures and validation of their production
- Cooperating hang-down robots for high accessibility and efficiency
- Flexible tooling opportunities (convex, concave)



# Forschungsplattformen



## RTM Produktionslinie (Duroplastische Matrix)



### EVO Platform

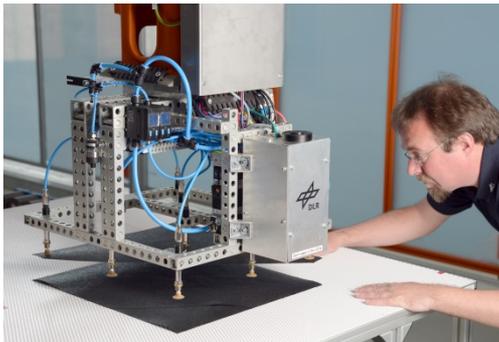
2D Ply Cutting / High Precision 3D Preform Trimming / High Speed Processing  
Automated Draping / Handling  
Automated Press Loading / Press Unloading / Post Cure



# Forschungsplattformen



## Pressentechnikzentrum (Thermoplastische Matrix)



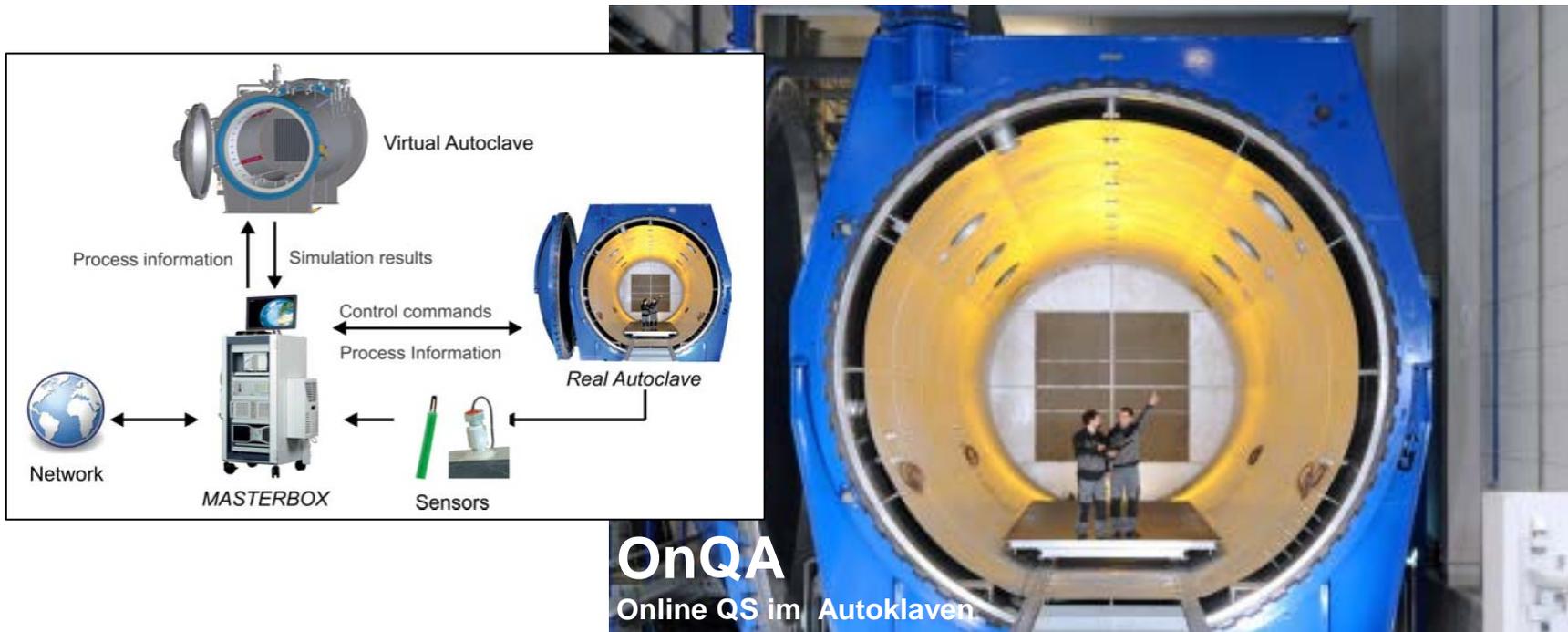
Automated Stacking  
Preforming and Preform handling  
Consolidation (Oven/Vacuum as well as Heated Press)



# Forschungsplattformen



## ONQA Autoklav-Plattform (Duroplast/Thermoplast)



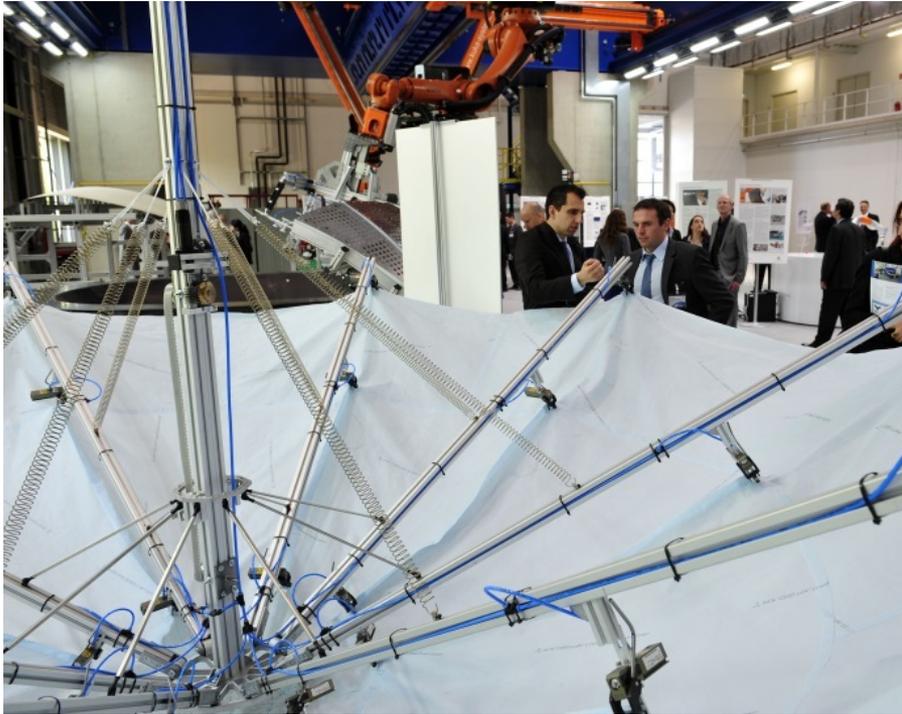
**Autoklav (20m x 5,8m) mit integrierter Prozessüberwachung (IR, Video) und parallel laufender "MASTERBOX" Prozesssimulation**



# Forschungsplattformen



## Ofen-Plattform (Duroplast/Thermoplast)



Vacuum Assisted Infusion (VAP/VARI)  
Suitable for large A/C structures  
Thermoset (180° ) and Thermoplastic (400° C) FRP



# Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

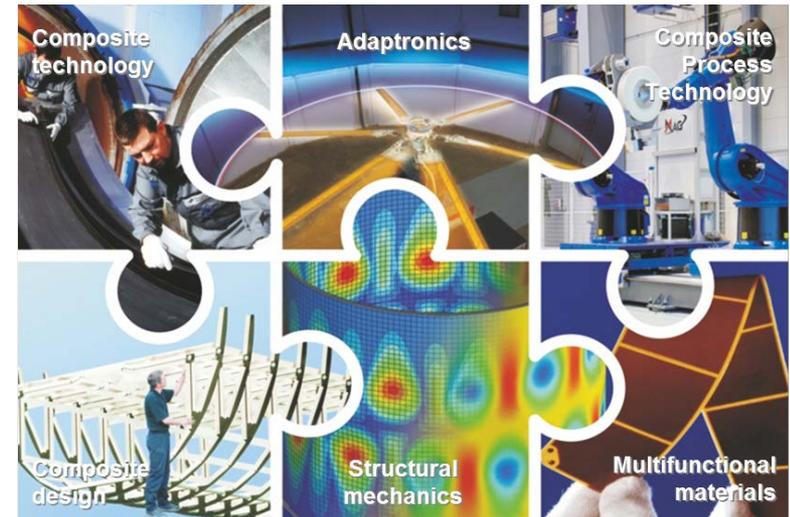
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

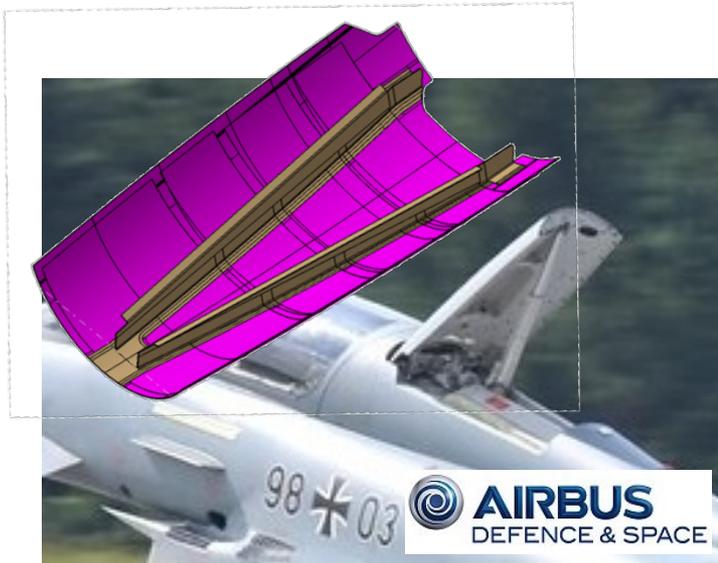
**Herausforderungen**

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Herausforderung: Geklebte Strukturen



## Airbrake Eurofighter

### Herausforderung:

Flugerprobung einer Airbrake mit geklebten Holmen

### Lösungsansatz:

- Spaltmaßkontrolle durch Präzisionsfertigung
- Oberflächenoptimierung (Plasma)

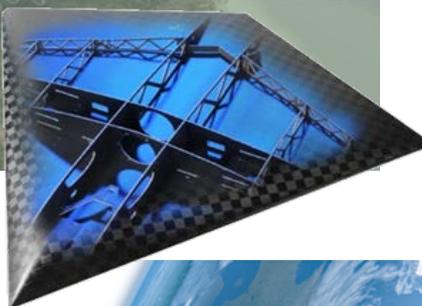
## SAGITTA Flughardware

### Herausforderung:

Extremleichtbau für SAGITTA Flugdemonstrator

### Lösungsansatz:

- Mikrosandwich C-Integralbauteile
- „LO“-kompatible Bauteilschnittstellen



# Herausforderung: Hochintegrierte Strukturen

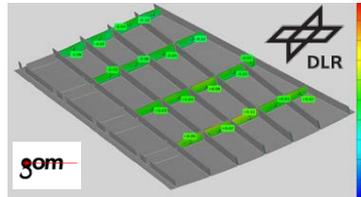
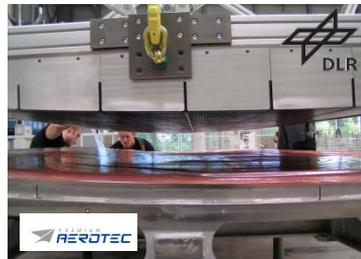
## Laminarkompatible Flügelschalen

### Herausforderung:

- Hochpräzise, spaltfreie Oberflächen
- Fertigungstaktzeit 6-8 Stunden
- „Shimless Assembly“ Montage
- QS Konzept für verzweigte Strukturen
- Schlagzähes Laminat

### Lösungsansatz: „Shoe Box“ Konzept

- Geregeltes, lufttemperiertes „Closed Mould“ Autoklav-Formwerkzeugkonzept
- Integrierte Stringer und „Rib Caps“
- Mehrkopfablage für Flügelhaut
- Formwerkzeug Toleranzmanagement
- Wireless Prozessdatenübertragung
- RFID Formwerkzeugmanagement



# Herausforderung: Hybridmaterial Strukturen



## Elastomer-Duromer-Hybridstrukturen

### Herausforderung:

- Identifikation von Prozessparametern für unterschiedliche Materialien
- Konstruktive Umsetzung des Multimaterialansatzes
- Sicherstellung eines reproduzierbaren Ergebnisses

### Lösungsansatz: Co-Processing

- Kombination des Vernetzungs- und des Vulkanisationsvorganges in einem Infusions-Autoklav-Prozess
- Abstimmung der Eigenschaften der Faserverstärkung



# Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

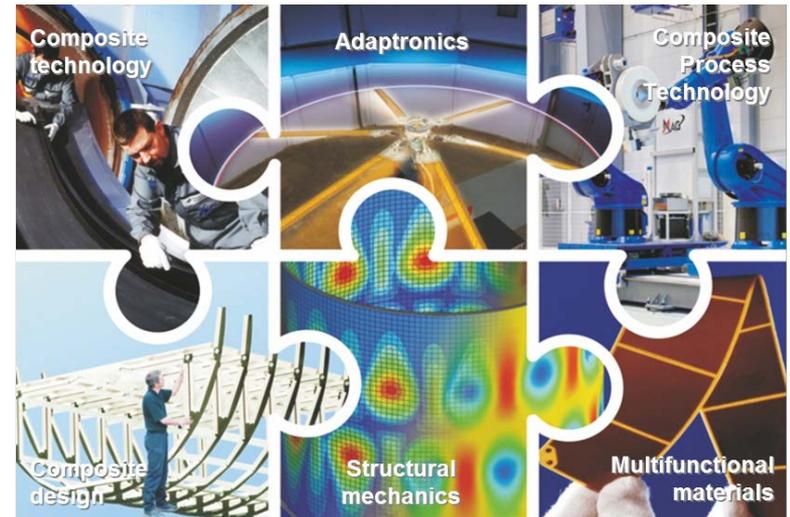
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



# Resümee

## Faserverbundgerechte Lösungen

Das **Design** und die **Fertigung** heutiger Faserverbundbauteile ist **konservativ** in Bezug auf Auslegung und Qualitätssicherung

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der **prozessintegrierten Produktionskontrolle** zielen auf eine direkte Beurteilung der späteren Bauteileigenschaften

Verkürzte **Prozesszeiten** und minimierte **Ausschussquoten** werden die Fertigungskosten drastisch reduzieren

Die Beherrschung der **Bauteilpräzision** wird in Kombination mit neuen **Konstruktionsansätzen** (geklebte und Integrale Strukturen) zu einer erheblich besseren Ausnutzung des **Leistungspotentials** von Faserverbundstrukturen führen

