

Wehrtechnisches F&T Symposium

Qualitätsgesicherte Fertigung von Faserverbundwerkstoffstrukturen

M. Kleineberg

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

Wissen für Morgen



Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

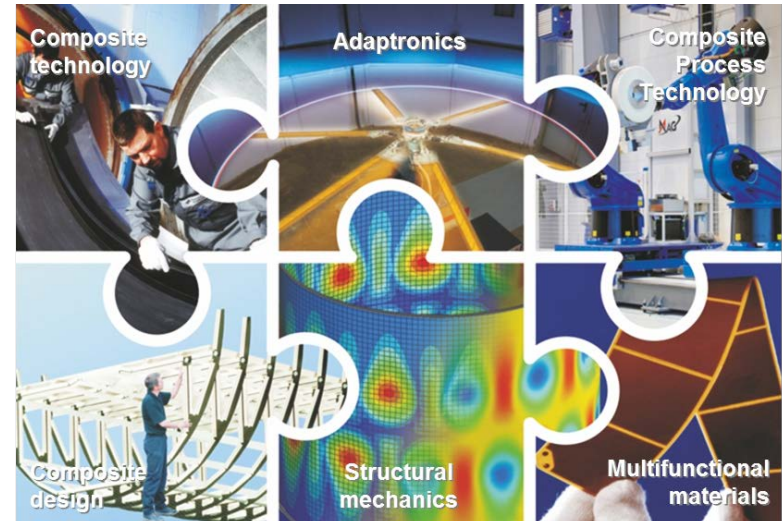
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

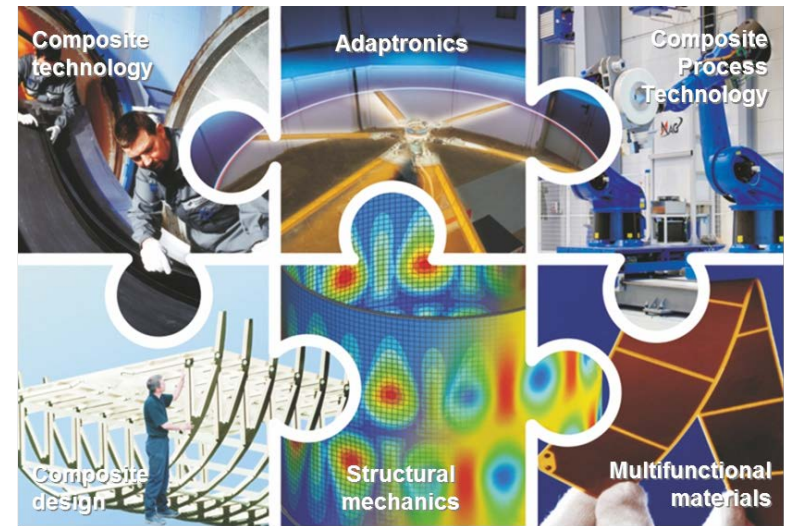
Innovationsansätze

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

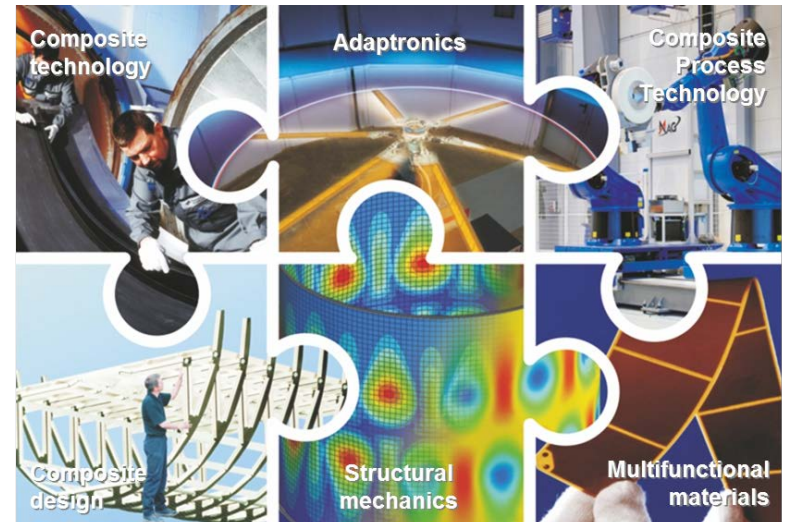
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

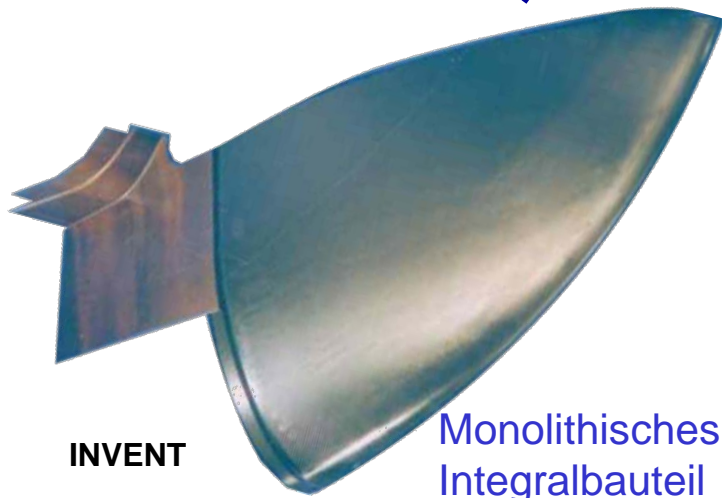
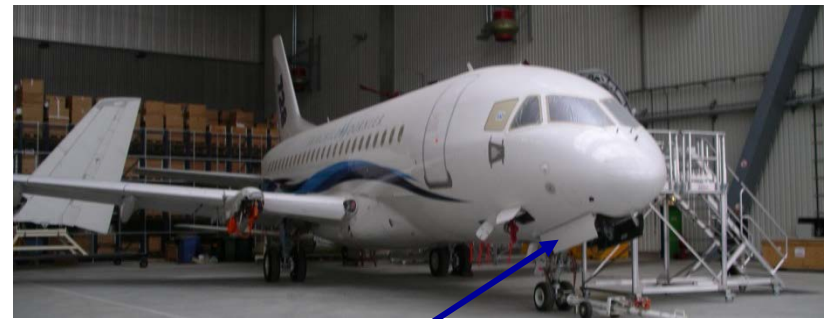
Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

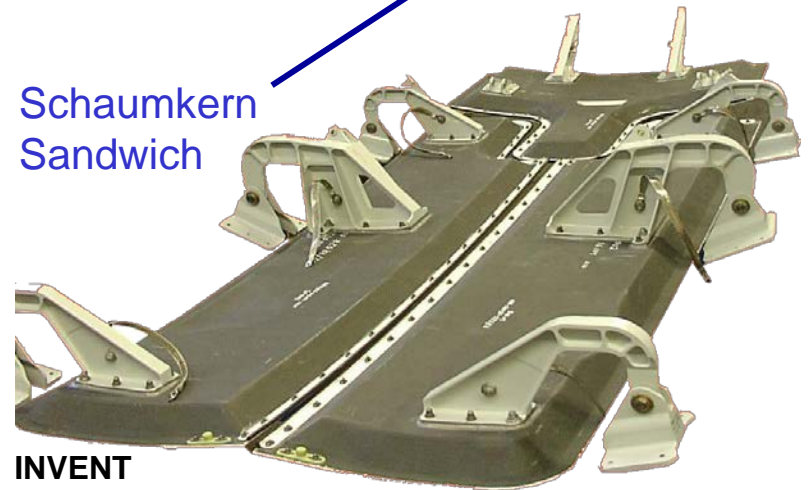


Qualitätsgesicherte Fertigung

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:

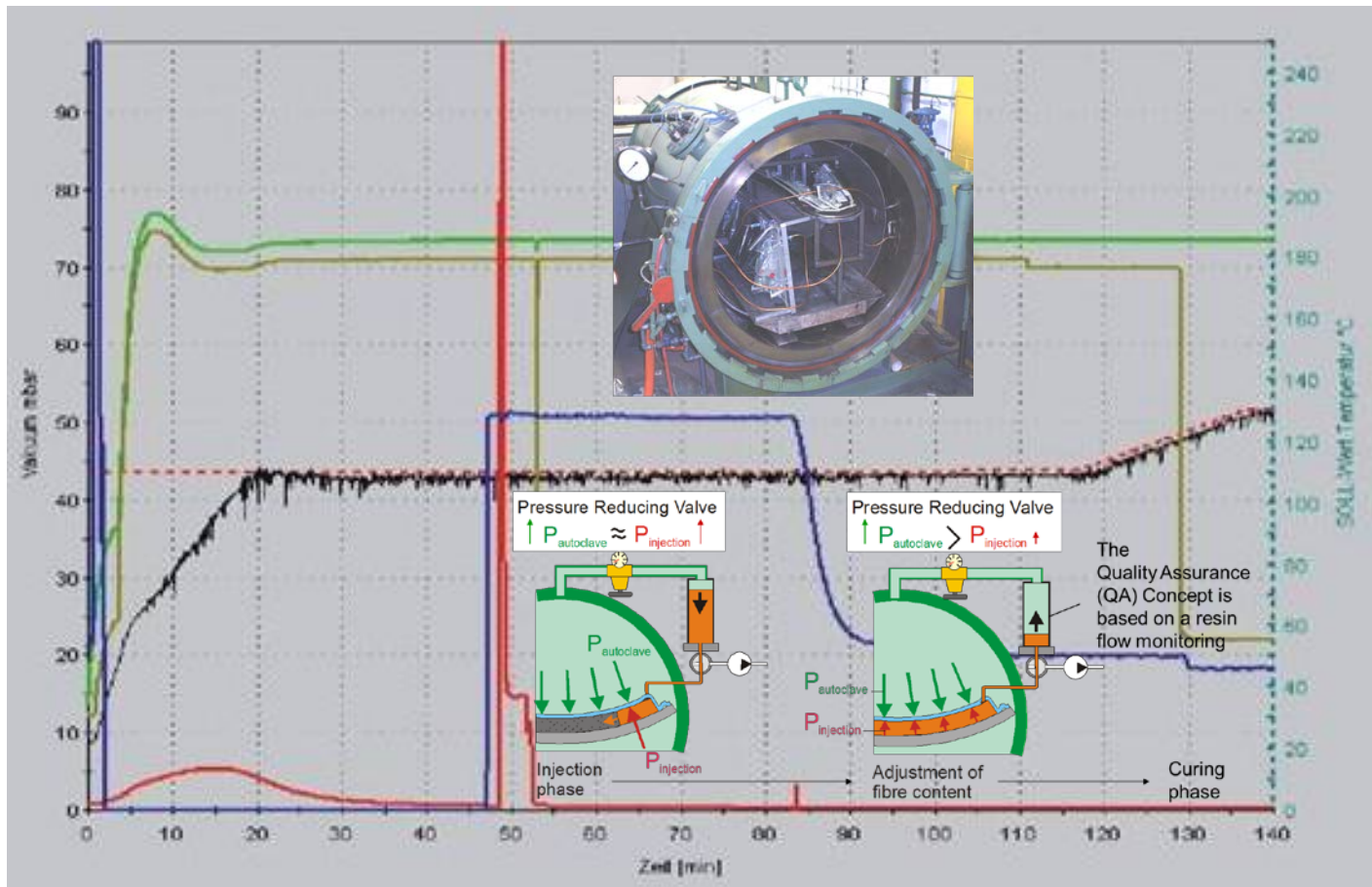
Produktionsumgebung, Material, Fertigung, Formwerkzeuge, Hilfsstoffe etc. sind im Detail festgelegt und direkter Bestandteil der erfolgreichen Qualifikation



Qualitätsgesicherte Fertigung

Beispiel Bauteilqualifikation Fairchild Dornier 328/728

Autoklavinfusion (Single Line Injection) Prozessdokumentation:



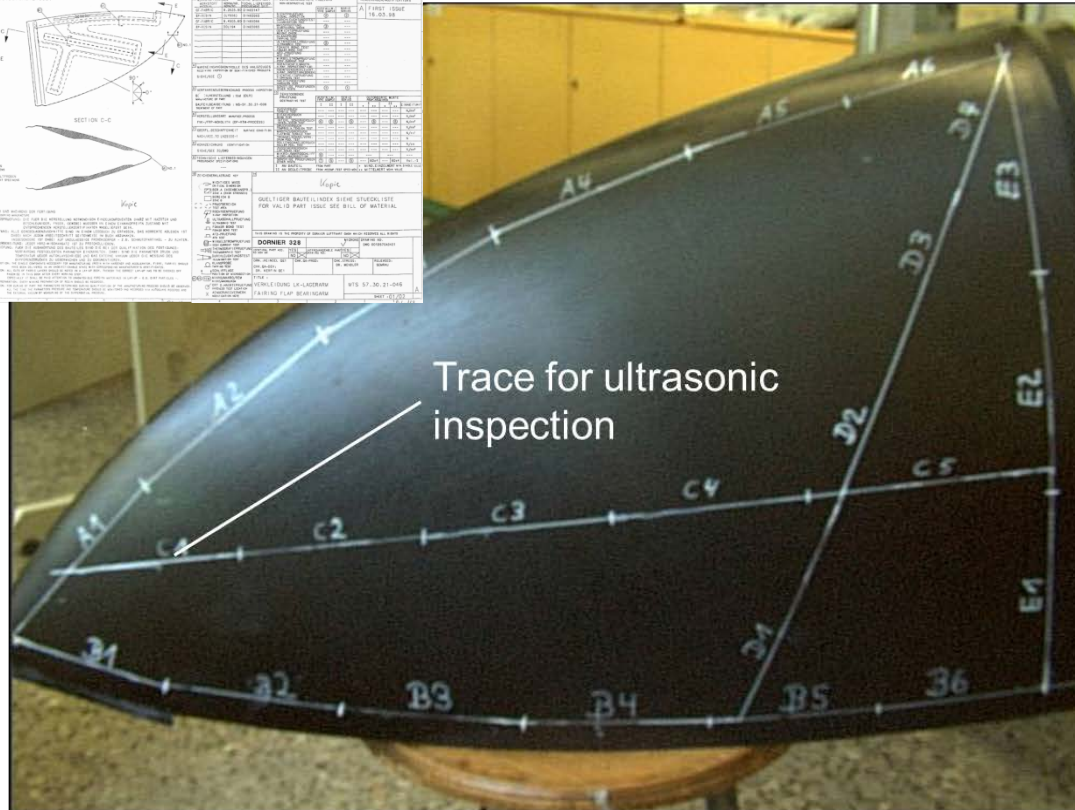
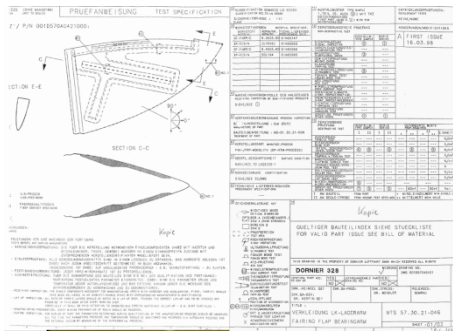
- Pressure
- Temperatur
- Harzmenge
- Vakuum I/II



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

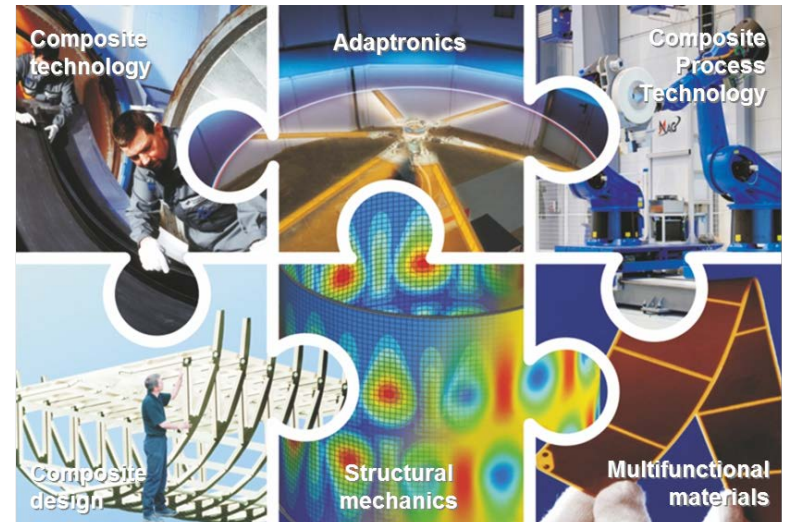
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

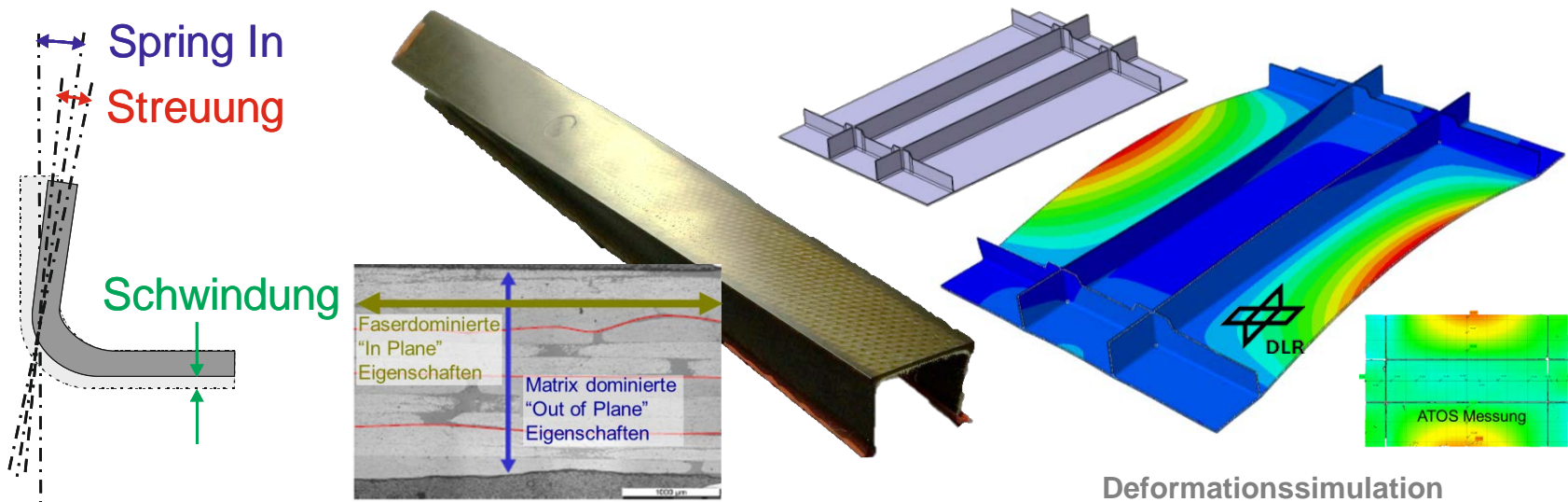
Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



Innovationsansätze

Einbeziehung von Fertigungsdeformationen



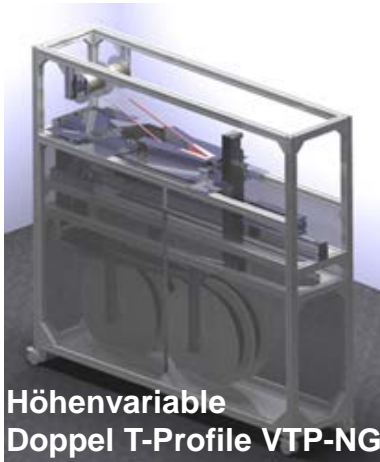
Anisotropie- und matrixbedingte Deformationseffekte bei Faserverbunden

- 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)



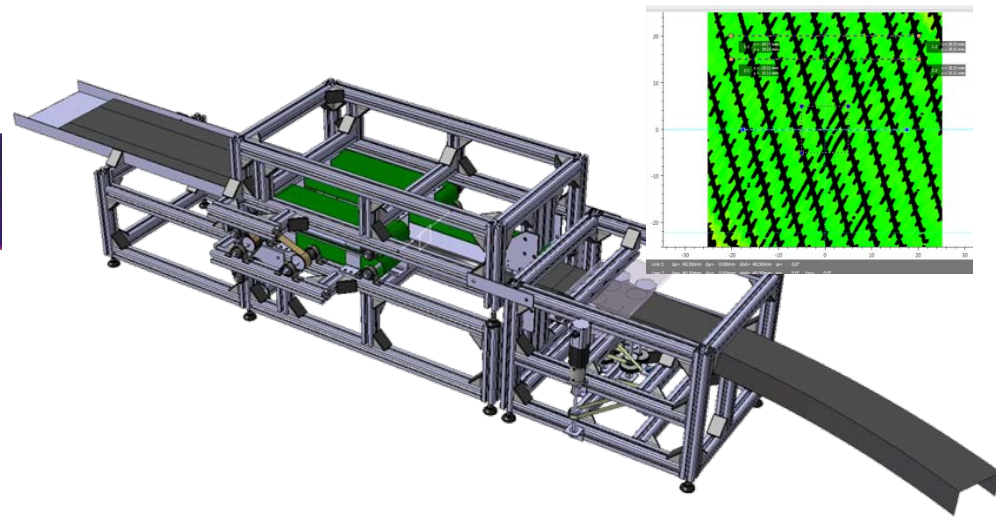
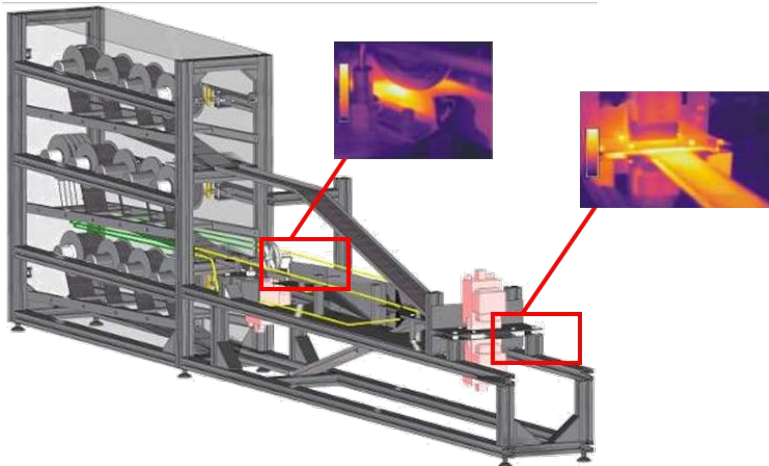
Innovationsansätze

Aktives Management von Halbzeugabweichungen



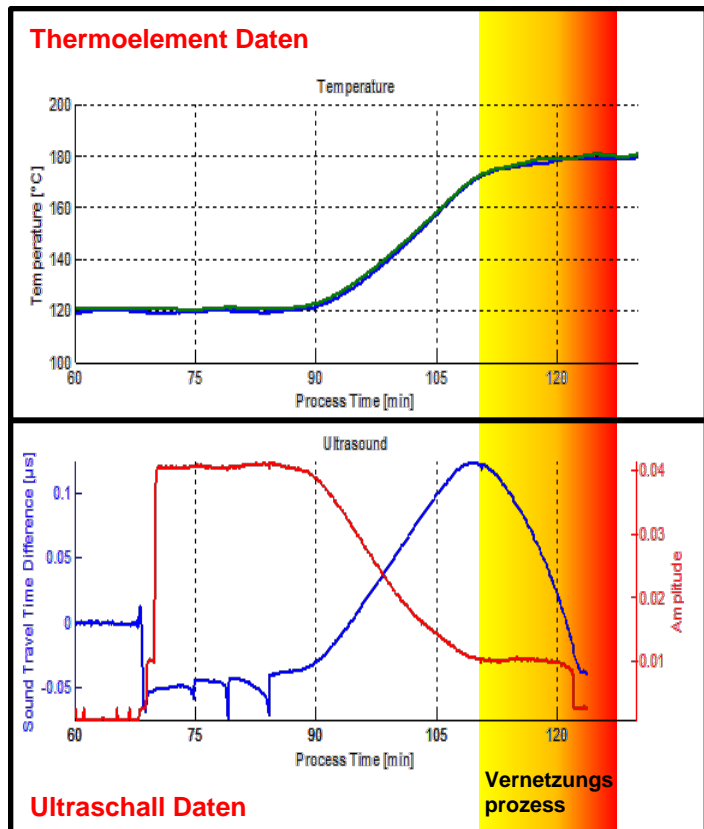
Automatische Preformerstellung und -konsolidierung

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



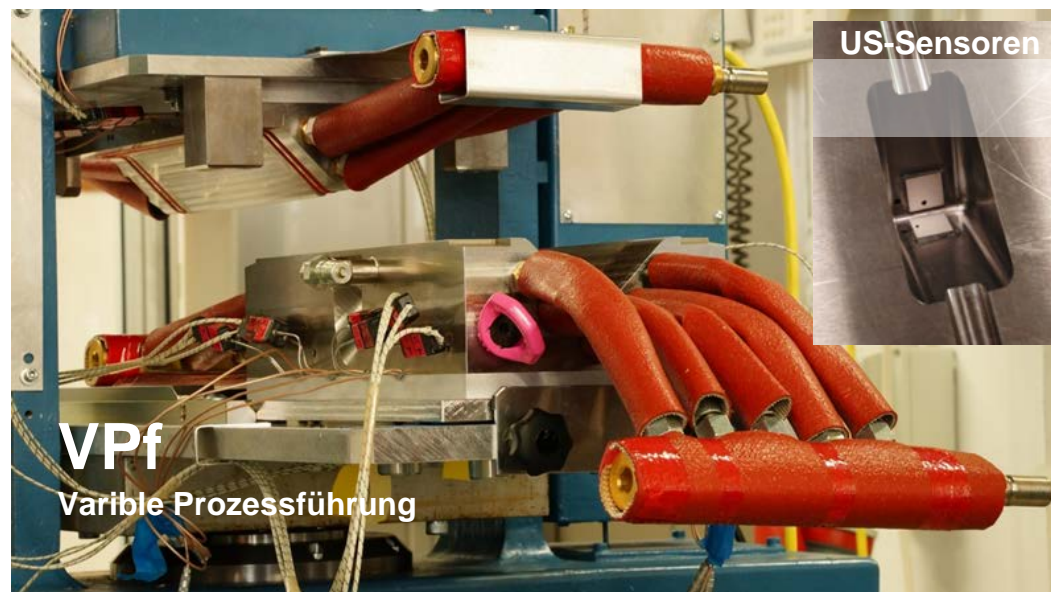
Innovationsansätze

Aktive Kontrolle des Vernetzungsvorganges



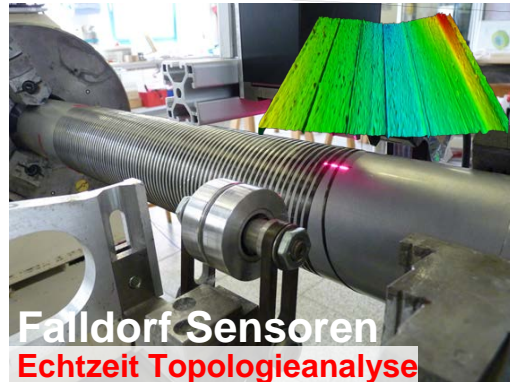
Vernetzungsgesteuerte Bauteilprozessierung

- Variabel temperierbare Formwerkzeuge
- Werkzeugintegrierte Prozessanalyse



Innovationsansätze

Rekonfigurierbare Prozessumgebung



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



Inhalt

Einleitung

Qualitätsgesicherte Fertigung

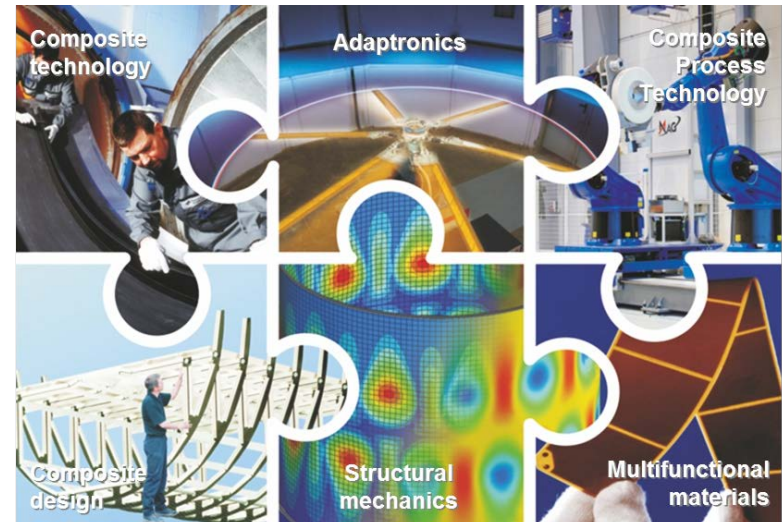
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

Herausforderungen

Resümee

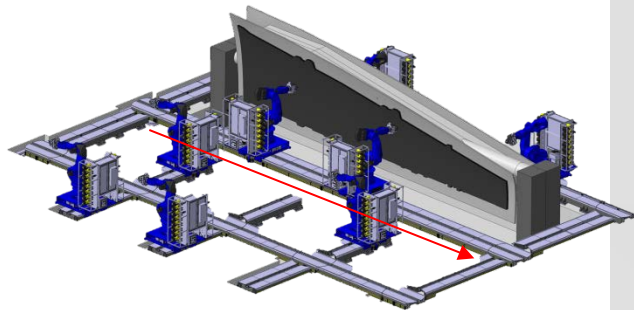
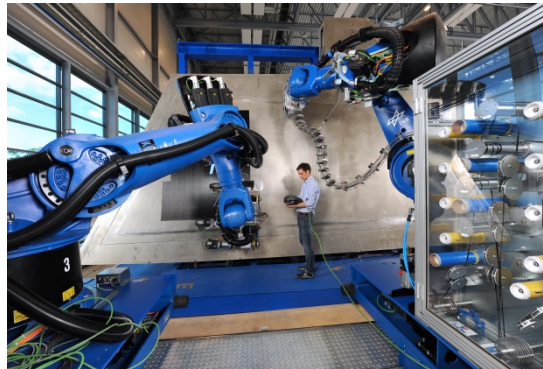
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



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

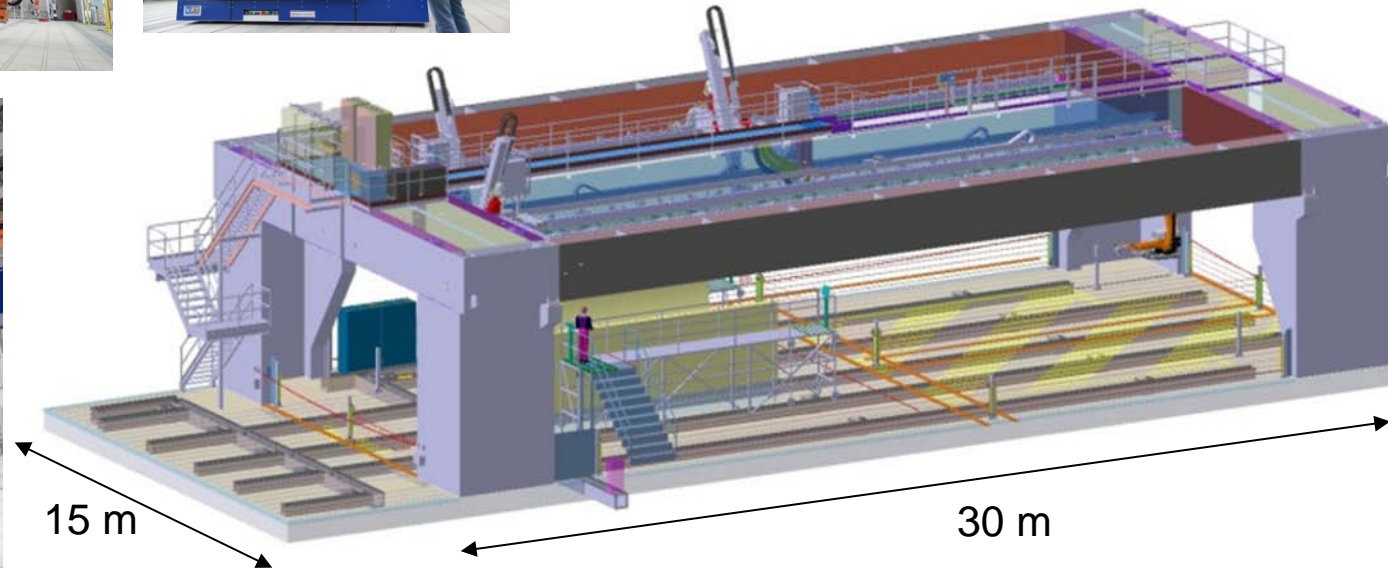
Maintenance and Refill Parking Positions



Forschungsplattformen



MFZ Preformzentrum (Kooperierende Roboter)



Flexible Multi Robot Production Cell

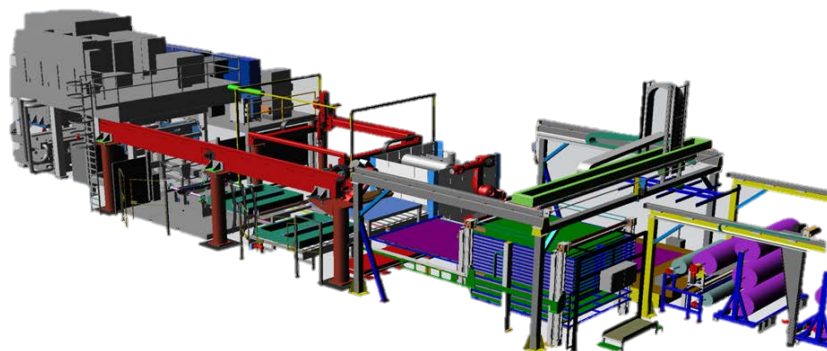
- Suitable for large A/C structures and validation of their production
- Cooperating hang-down robots for high accessibility and efficiency
- Flexible tooling opportunities (convex, concave)



Forschungsplattformen



RTM Produktionslinie (Duroplastische Matrix)



EVO Platform

2D Ply Cutting / High Precision 3D Preform Trimming / High Speed Processing

Automated Draping / Handling

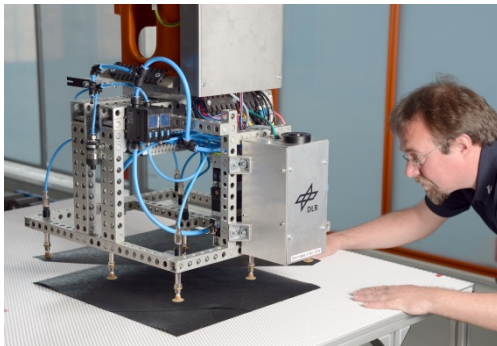
Automated Press Loading / Press Unloading / Post Cure



Forschungsplattformen



Pressentechnikzentrum (Thermoplastische Matrix)



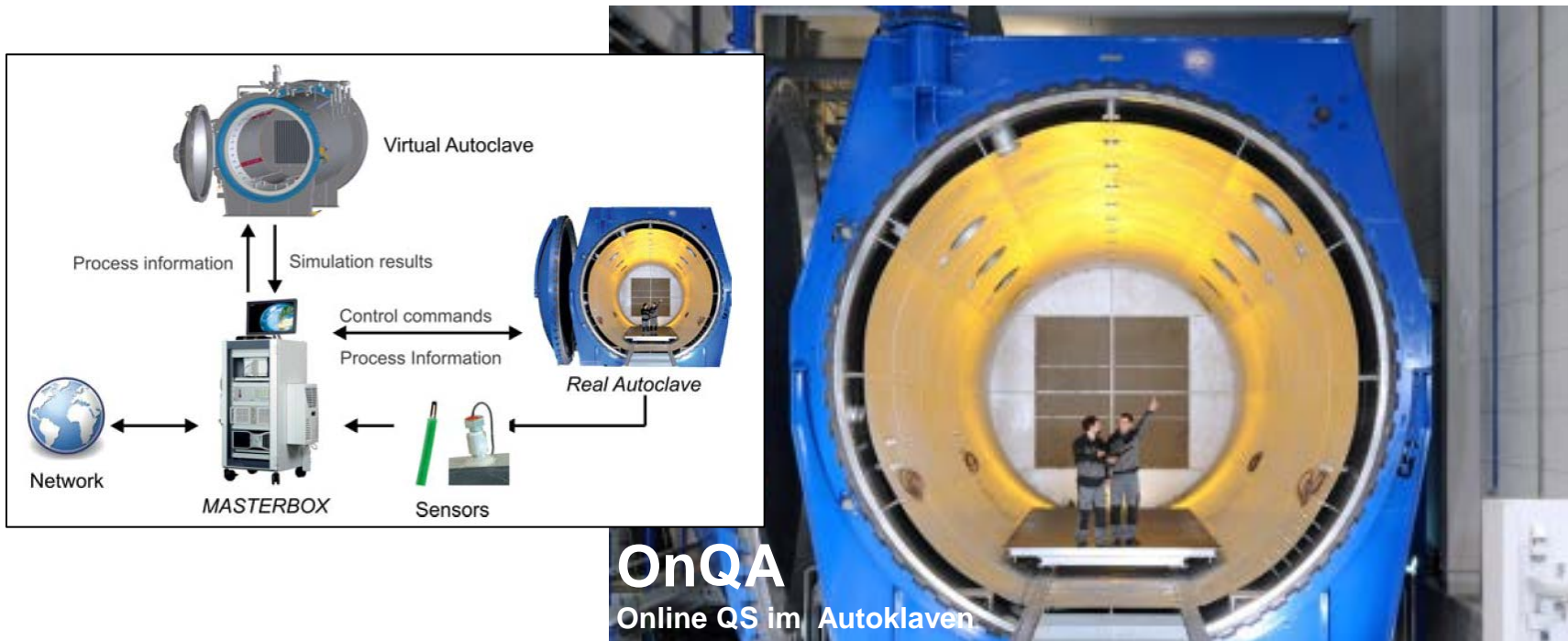
Automated Stacking
Preforming and Preform handling
Consolidation (Oven/Vacuum as well as Heated Press)



Forschungsplattformen



ONQA Autoklav-Plattform (Duroplast/Thermoplast)



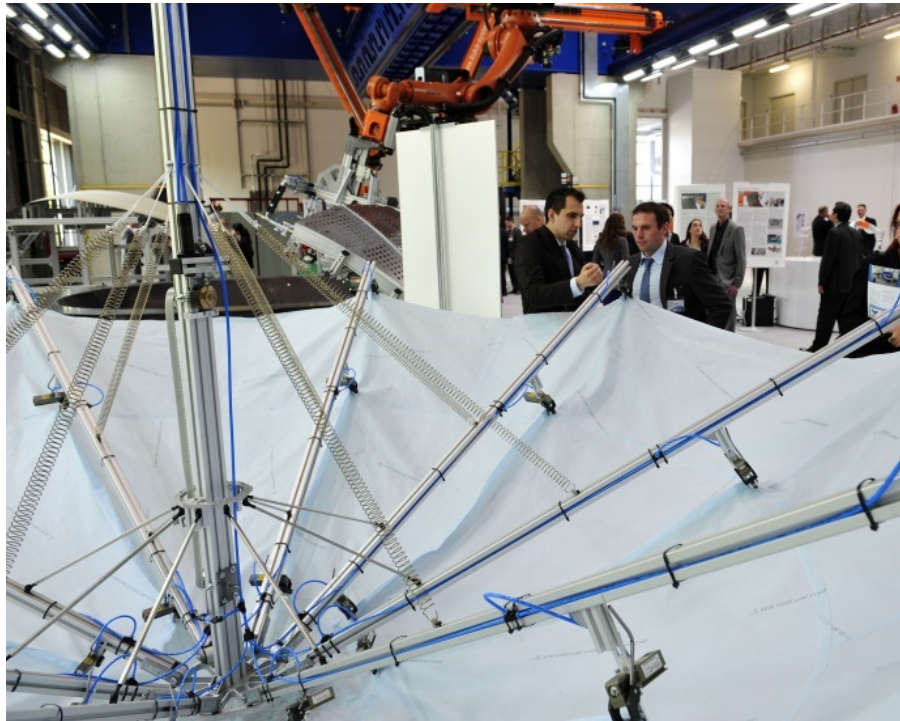
Autoklav (20m x 5,8m) mit integrierter Prozessüberwachung (IR, Video) und parallel laufender "MASTERBOX" Prozesssimulation



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

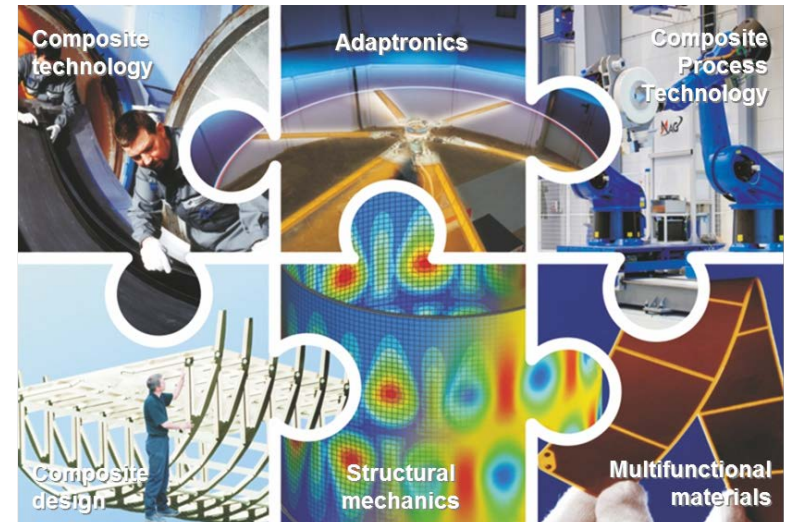
Innovationsansätze

DLR Forschungsplattformen

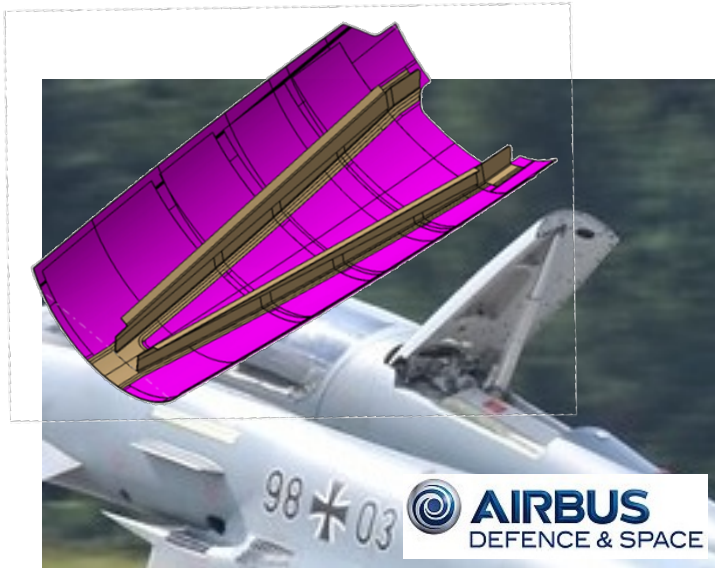
Herausforderungen

Resümee

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik



Herausforderung: Geklebte Strukturen



Airbrake Eurofighter

Herausforderung:

Flugerprobung einer Airbrake mit geklebten Holmen

Lösungsansatz:

- Spaltmaßkontrolle durch Präzisionsfertigung
- Oberflächenoptimierung (Plasma)



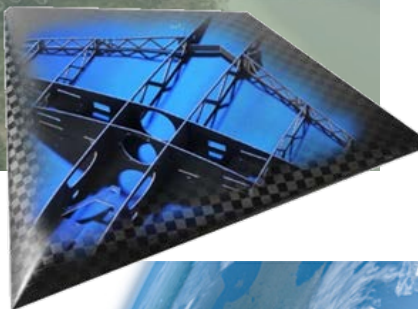
SAGITTA Flughardware

Herausforderung:

Extremleichtbau für SAGITTA Flugdemonstrator

Lösungsansatz:

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



Herausforderung: Hochintegrierte Strukturen

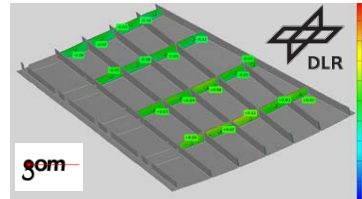
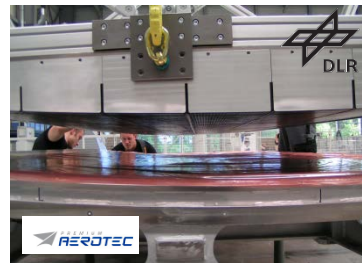
Laminarkompatible Flügelschalen

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

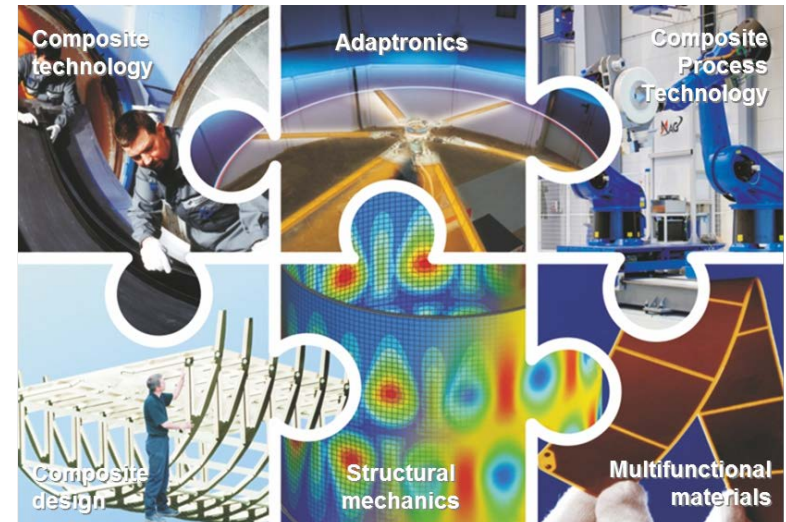
Innovationsansätze

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

