Potenziale hybrider Baugruppen mit 3D-gedruckten Komponenten am Beispiel der Eurofighter-Airbrake

Wissenschaftstag 2017

DLR FA / FVT
J. Schmidt

Gliederung des Vortrages

- Vorstellung des Projektes Fortschrittliche Flugzeugstrukturen VI
- 3D-Druck am Institut für Faserverbundleichtbau gestern und heute
  - Fortschritte beim Metal Additive Manufacturing
- Vorstellung der Demonstratorstruktur Airbrake
  - Vergleich der Bauweisen
  - Herausforderungen durch das faserverbundgerechte Design
- Entwurf von Lasteinleitungsbeschlägen für die Fertigung im ALM-Verfahren
- Offene Fragestellungen
- Zusammenfassung

Das Projekt Fortschrittliche Flugzeugstrukturen VI (FFS VI)

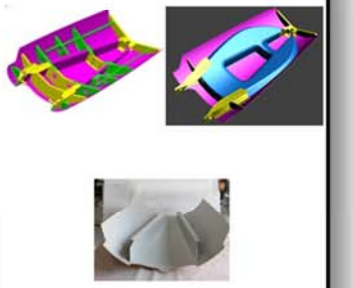
AIRBUS DEFENCE & SPACE

AIRBUS Central R&T Ottobrunn

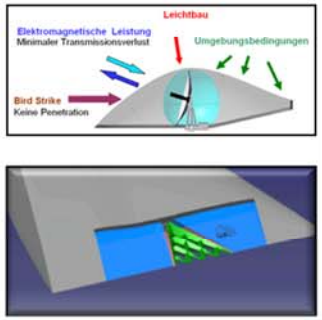
WIWEB

DLR

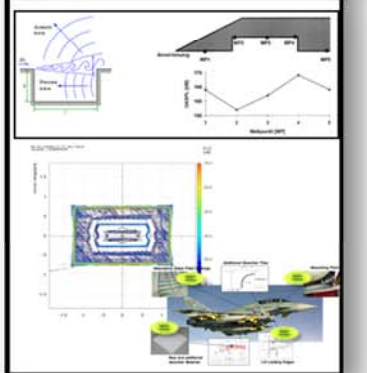
Structural, certified bonding



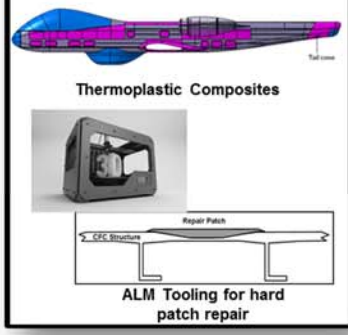
Functional Structures



Structural Concepts



Ultralight, upstream technologies



DLR

3D-Druck am Institut für Faserverbundleichtbau gestern und heute

2007

- Urmodellbau
- Formbau
- Tischmodelle

- Sprung in den Möglichkeiten durch Kombination mit optischer Geometrieerfassung

Abb. 1 Multifunktionslenkrad eines Formelrennwagens

3D-Druck am Institut für Faserverbundleichtbau gestern und heute

2011

- Rapid Tooling, schnelle Umsetzung komplexer Geometrien

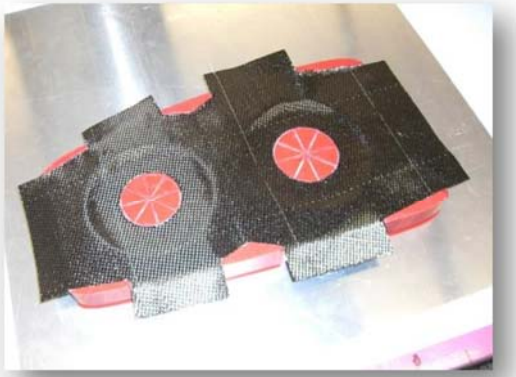


Abb. 2 Flügelrippe für ein UAV, Spannweite ca. 24 m

Mo 8.00 Uhr

Aufbereitung der CAD-Daten

Mo 12.00 Uhr

Daten an Maschine Herstellung Urmodell

Di 12.00 Uhr

Abgießen der Silikonform

Mi 12.00 Uhr

Zuschnitte erstellen

Preforming

Do 8.00 Uhr

Infusionsaufbau

Do 12.00 Uhr

Infusion und Aushärten

Fr 8.00 Uhr

Bauteil tempern

Bauteil entformen

3D-Druck am Institut für Faserverbundleichtbau gestern und heute

2012

- Rapid Tooling, schnelle Umsetzung komplexer Geometrien

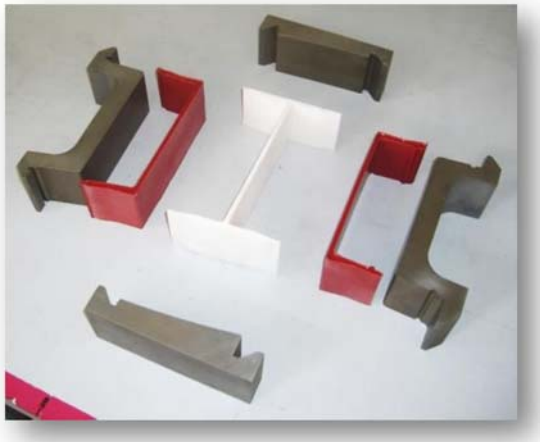


Abb. 3 Abschnitt des Hauptholmes eines UAV-Flügels

Mo 8.00 Uhr

Aufbereitung der CAD-Daten

Mo 12.00 Uhr

Daten an Maschine Herstellung Urmodell

Di 12.00 Uhr

Abgießen der Silikonform

Mi 12.00 Uhr

Zuschnitte erstellen

Preforming

Do 8.00 Uhr

Infusionsaufbau

Do 12.00 Uhr

Infusion und Aushärten

Fr 8.00 Uhr

Bauteil tempern

Bauteil entformen

3D-Druck am Institut für Faserverbundleichtbau gestern und heute

2015

- **P**ressure **A**ctuated **C**ellular **S**tructures
- Funktionsdemonstrator aus Kunststoff
- Gezielte Auswahl der Werkstoffe und Charakterisierung der Eigenschaften
- Verschlusskappen der Druckkammern im ALM-Verfahren aus Elastomer gefertigt

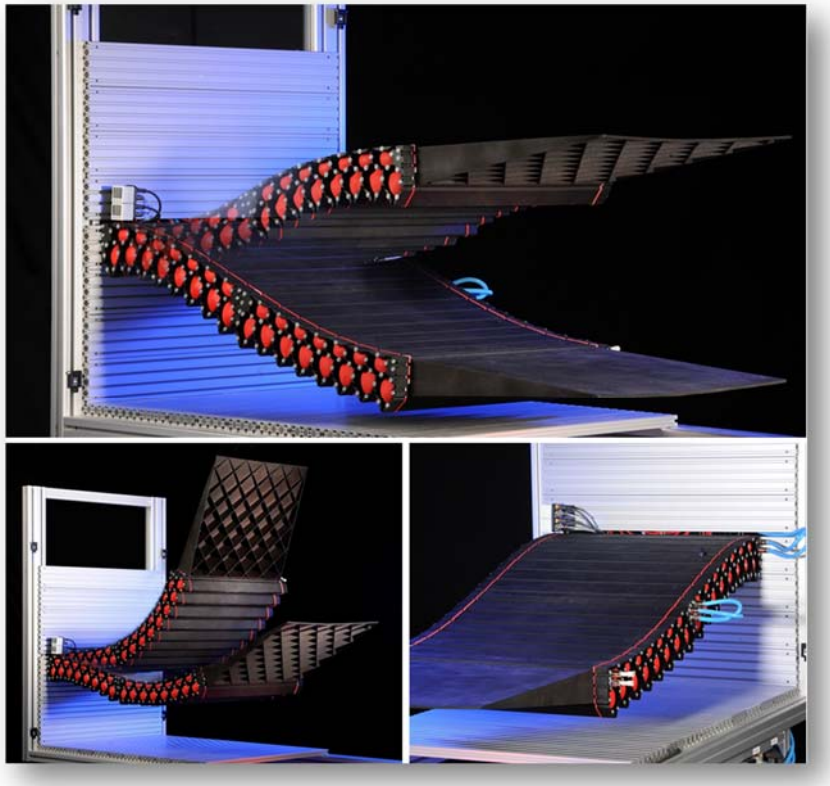


Abb. 4 PACS - Funktionsdemonstrator

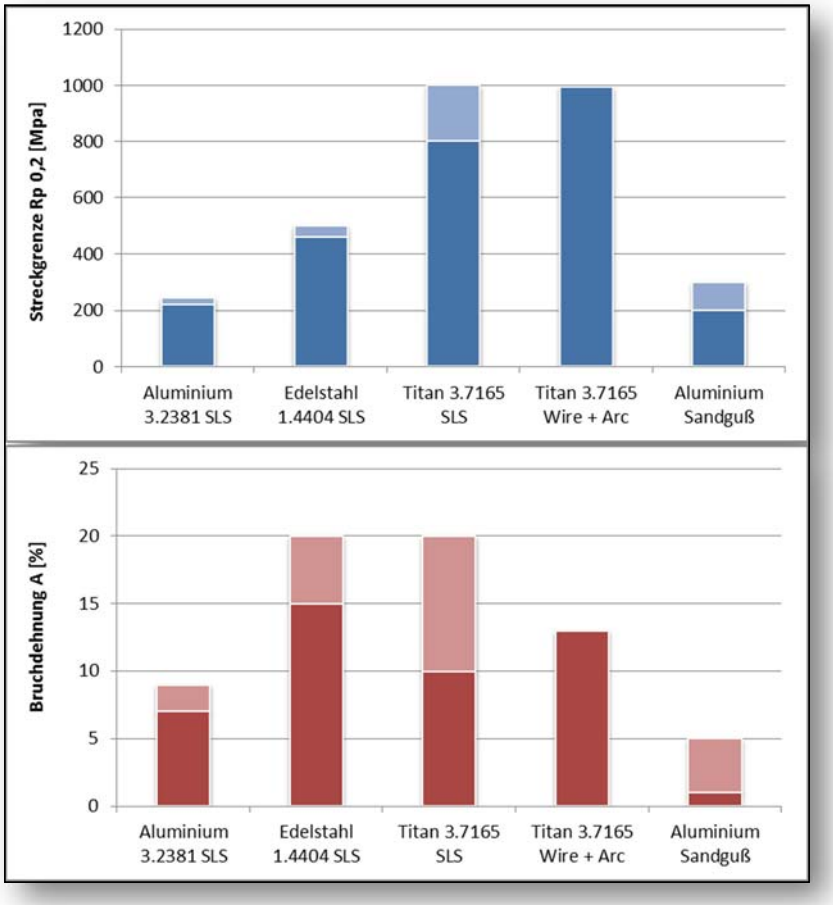
Fortschritte beim Metal Additive Manufacturing

- Selektives Laserschmelzen
  - Aluminium / Stahl / Titan
- Wire and Arc Additive Manufacturing / Rapid Deposition
  - Aluminium / Stahl / Titan
- Sandguss in 3D-gedruckten Formen
  - Aluminium

Abb. 5 Im SLS-Verfahren hergestelltes Modell eines Raumgleiters

Fortschritte beim Metal Additive Manufacturing

- Selektives Laserschmelzen
  - Aluminium / Stahl / Titan
- Wire and Arc Additive Manufacturing / Rapid Deposition
  - Aluminium / Stahl / Titan
- Sandguss in 3D-gedruckten Formen
  - Aluminium
- Thermische Nachbehandlung bei allen Verfahren notwendig
  - Lösungsglühen
  - Heißisostatisches Pressen



Die Eurofighter Airbrake als Demonstratorbauteil

- A-Modell
  - Referenzstruktur
  - Fertigung von Schale und Holmen aus CFK
  - Militärische Zertifizierung der Klebung
  - Flugdemonstrator
  - Ca. 50 Einzelteile
  - Ca. 850 Niete
  - Gesamtgewicht montiert ca. 23 kg

Abb.8 Eurofighter Typhoon twin seater

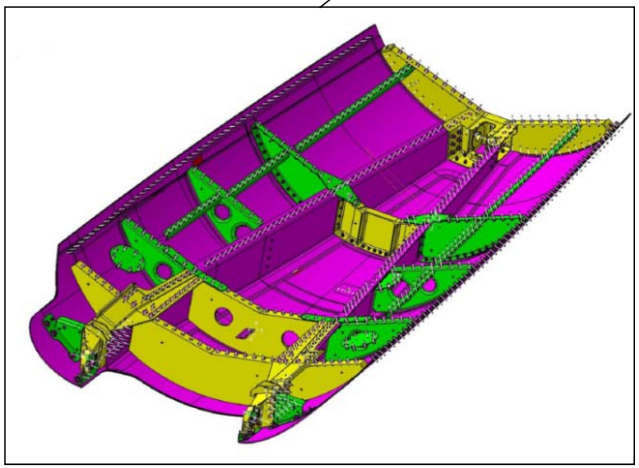


Abb.9 Referenzstruktur – Airbrake des Eurofighters ohne Schubbleche

Das Eurofighter Airbrake B-Modell

- B-Modell
  - Faserverbundgerechtes Design
  - Erweiterte Werkstoffauswahl
    - Pastöse Klebstoffe
    - Trockenes Fasermaterial + Infusionsprozess
  - < 10 Einzelteile
  - Ca. 130 Niete
  - Montiert ca. 21 kg
  - Das Potenzial wird aus der Faserverbundbauweise, der Klebung und dem ALM geschöpft

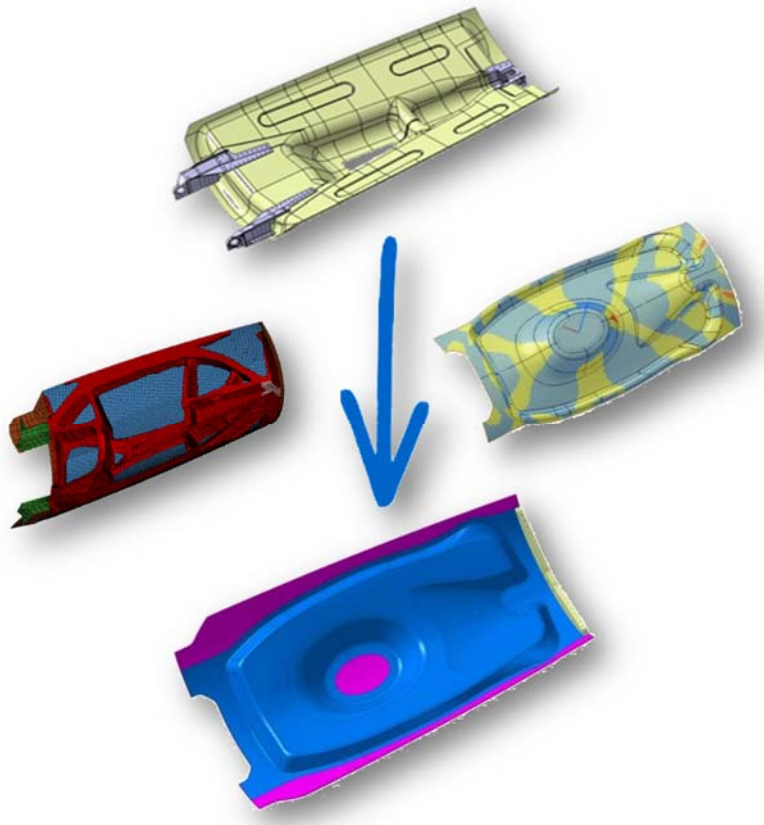


Abb. 10 Entstehung des B-Modells

Kostenvergleich A-Modell vs. B-Modell

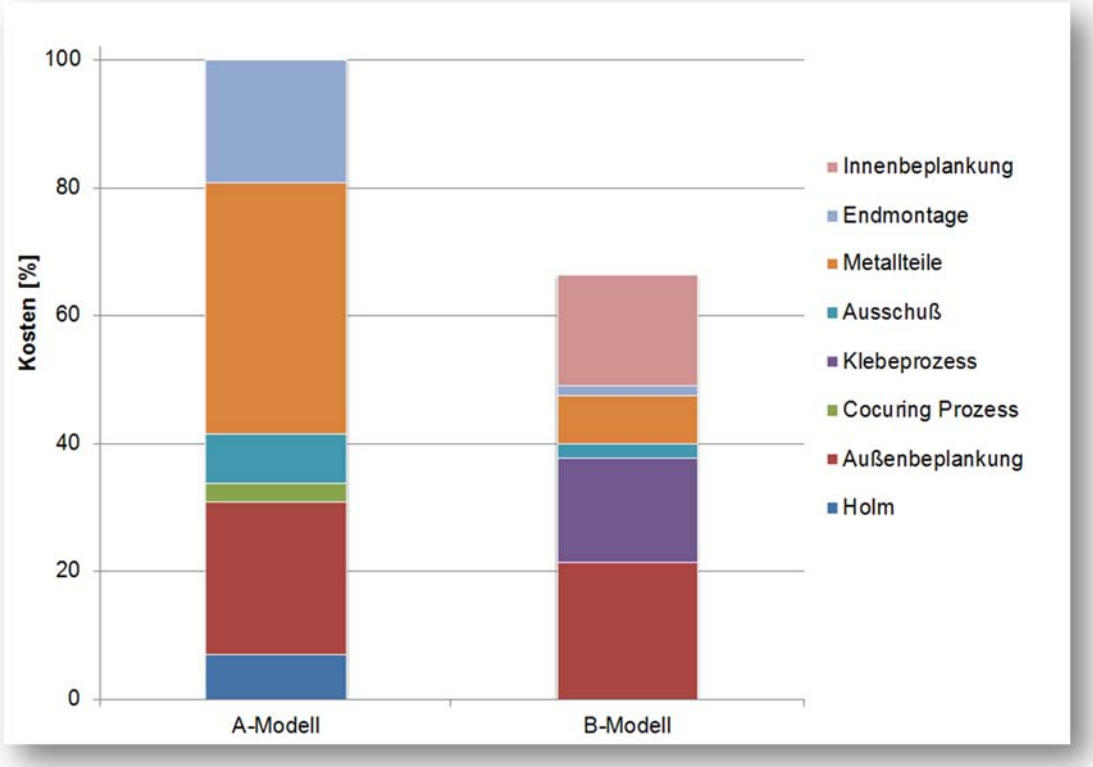


Abb. 11 Kostenkalkulation der Airbrake, komponentenbezogen

Neue Herausforderungen durch das faserverbundgerechte Design

- Hoher Anteil an Freiformflächen, auch im Interfacebereich
  - Erschwert die flächige Lasteinleitung
  - Führt schnell zu einer Überbestimmung
- Faserverbundspezifische Geometrieabweichungen
- Zielkonflikt zwischen der Einhaltung von Klebespalten und den Toleranzen der Anschlussflächen

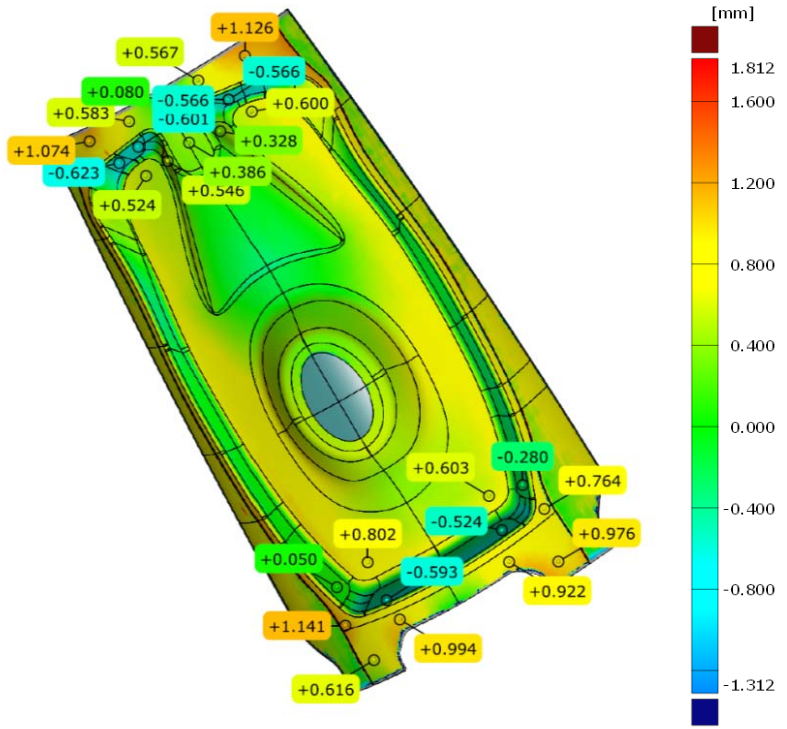


Abb. 12 Ergebnis der Geometrievermessung des B-Modells

Neue Herausforderungen durch das faserverbundgerechte Design

- Hoher Anteil an Freiformflächen, auch im Interfacebereich
  - Erschwert die flächige Lasteinleitung
  - Führt schnell zu einer Überbestimmung
- Faserverbundspezifische Geometrieabweichungen
- Zielkonflikt zwischen der Einhaltung von Klebespalten und den Toleranzen der Anschlussflächen
- Eingeschränkte Zugänglichkeit
  - Erschwerte Qualitätskontrolle
  - Eingeschränkte Auswahl an Verbindungselementen

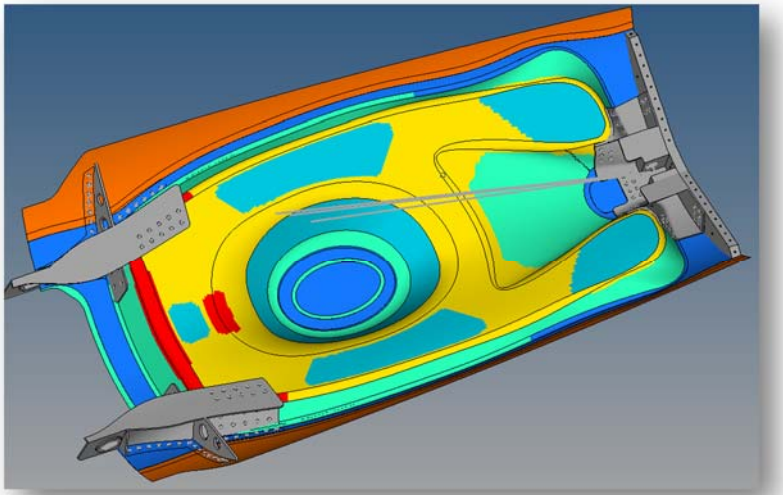


Abb. 13 Airbrake B-Modell mit Referenzbeschlägen

Der 3D – Druck bietet Lösungen für diese Herausforderungen

- Erstellung von Custom Fit Bauteilen mit Hilfe der optischen Geometrievermessung
  - Toleranzausgleich auch nach dem Fügen der Faserverbundbaugruppe möglich
  - Beim Fügen der Faserverbundbaugruppe kann primär auf das Einhalten der Klebespalte geachtet werden.
- Anbindung der ALM-Bauteile über funktionalisierte Bereiche
  - Verschweißen
  - Direktes Aufdrucken der Elemente

Entwurf von Beschlägen für die Fertigung im ALM-Verfahren

- Vorgehen beim Design der Beschläge für ALM
  - Analyse der Referenzbauteile
  - Definition des zur Verfügung stehenden Bauraumes
  - Definition der Interfaceflächen
    - Modellierung der Interfaceschicht
    - Steifigkeitssteuerung liefert umsetzbare Ergebnisse

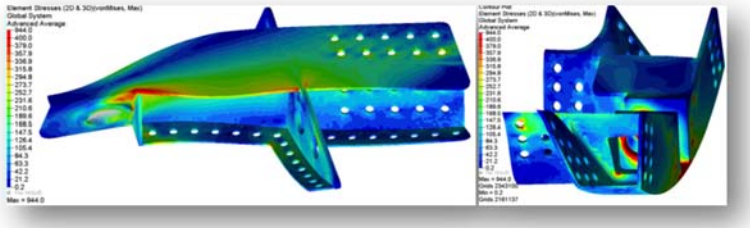


Abb. 14 FE-Analyse des Referenzbeschlages, Lastfall 30°

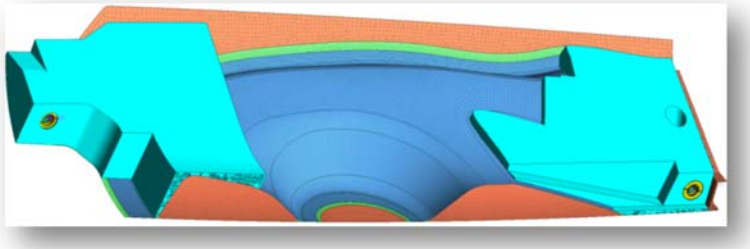


Abb. 15 Definition des für die Topologieoptimierung zur Verfügung stehenden Bauraumes

Entwurf von Beschlägen für die Fertigung im ALM-Verfahren

- Vorgehen beim Design der Beschläge für ALM
  - Analyse der Referenzbauteile
  - Definition des zur Verfügung stehenden Bauraumes
  - Definition der Interfaceflächen
    - Modellierung der Interfaceschicht
    - Steifigkeitssteuerung liefert umsetzbare Ergebnisse
  - Durchführung einer Topologieoptimierung
    - Berücksichtigung der Eigenschaften der Faserverbundbaugruppe
- Überarbeitung der Beschläge in Hinblick auf das Interface
  - Erste Tests mit Inspire PolyNurbs
  - Führt zu Verschiebung der Steifigkeiten

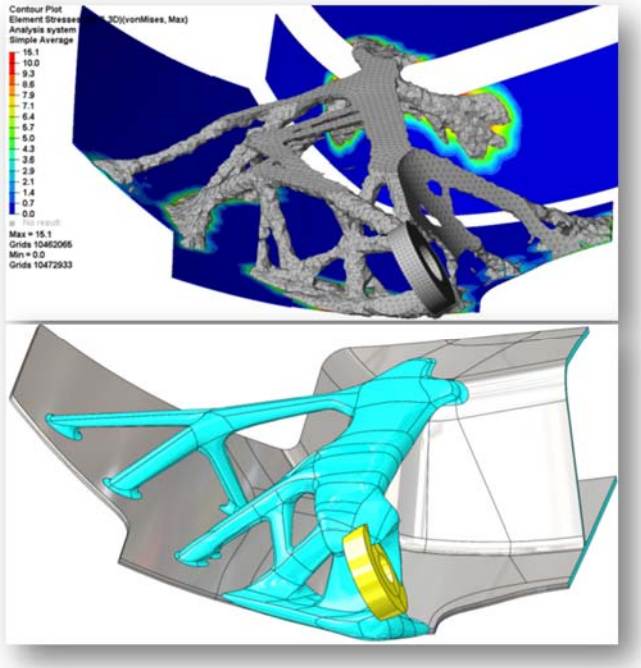
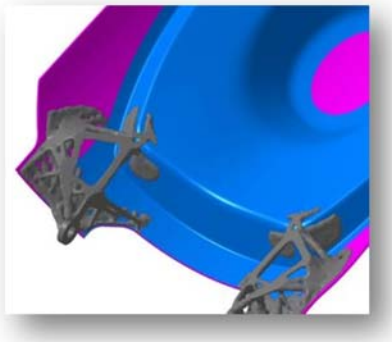
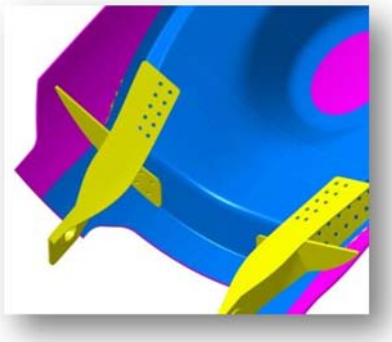


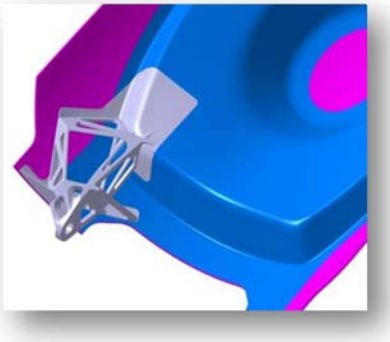
Abb. 16 Ergebnis der Topologieoptimierung

Vergleich der Beschläge

- Baugeschwindigkeit, Bauteilvolumen ca. 600 cm³:
  - SLS, je nach Anforderungen ca. 3 cm³ / h
  - Wire and Arc, ca. 125 cm³ / h







	Gewicht, Werkstoff Stahl	Geschätzte Kosten / St.
Referenzbeschlag	4,25 kg	Fräsen, 3500 €
Topologieoptimierung	4,78 kg	SLS, 7000 €
Überarbeiteter Beschlag	5,1 kg	SLS, 8000 €

Offene Fragestellungen

- Detailliertere Kennwerte, insbesondere Dauerfestigkeiten für SLS und Wire and Arc AM
- Maßhaltigkeit
- Fügekonzepte sowohl für ALM + ALM als auch für ALM + FVK
- Verwendung von Ist- statt Sollflächen
- Benötigter Bauraum für die Fertigung der Beschläge im 3D-Druck

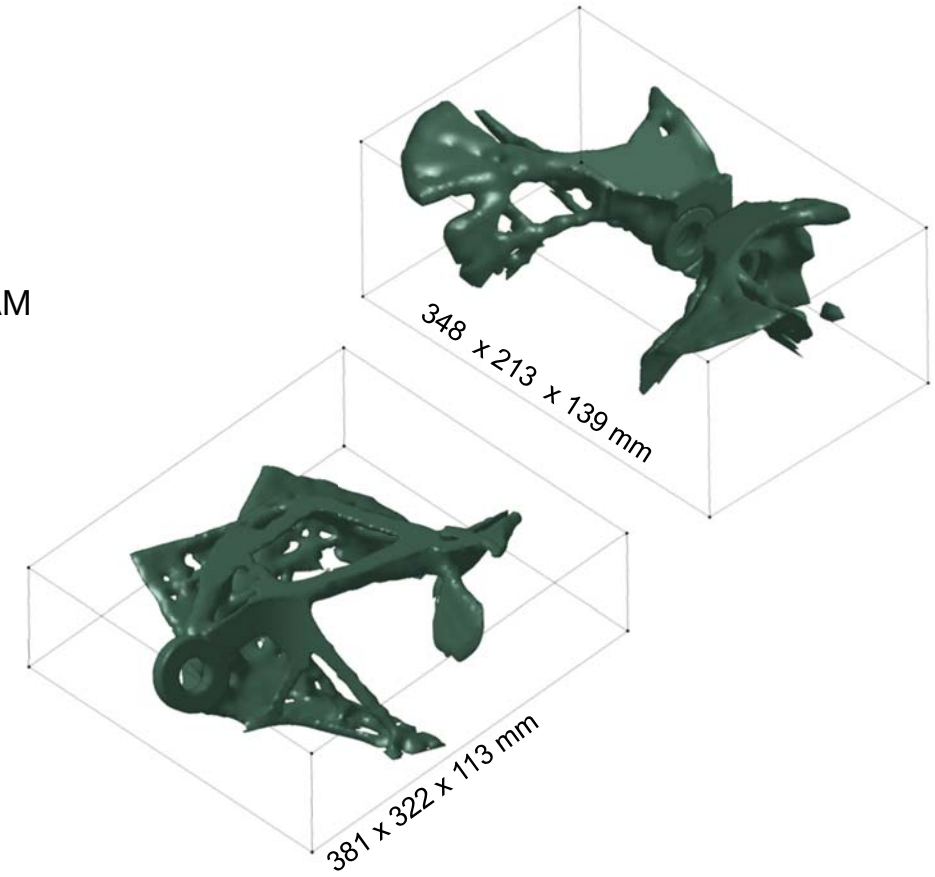


Abb. 17 Notwendiger Bauraum für die Realisierung von Hinge- und Aktuatorbeschlag aus der Topologieoptimierung

Zusammenfassung

- Die Verfahren zum Metal Additive Manufacturing erzeugen Konstruktionswerkstoffe mit tauglichen Eigenschaften.
- Sowohl Fertigungszeiten als auch -kosten entwickeln sich positiv.
- Das freiere, faserverbundgerechtere Design zahlt sich in Bezug auf Gewicht und Kosten aus, bringt aber auch Herausforderungen mit sich.
- Das Fügekonzept hat sehr großen Einfluss auf das Design der ALM-Bauteile und auf die Prozesskette.
  - Idealerweise kann ganz auf Verbindungselemente verzichtet werden.
- Die Schnittstelle Topologieoptimierung / 3D-CAD kann noch verbessert werden.

Abb. 18 Full Scale Demonstrator des B-Modells mit am WIWeB gedruckten Hinge Brackets

Vielen Dank an die Projektpartner!

Dr.-Ing. J. Holtmannspötter
F. Hofmann

T. Pühlhofer
Dr. M. Calomfirescu
Dr. C. Brand

Quellenverzeichnis

Abb. 5 Im SLS-Verfahren hergestelltes Modell eines Raumgleiters – von DLR / SHT

Abb. 8 Eurofighter Typhoon twin seater – Airbus Defence & Space

Abb. 9 Referenzstruktur – Airbrake des Eurofighters ohne Schubbleche – Airbus Defence & Space

Abb. 13 Airbrake B-Modell mit Referenzbeschlägen - Airbus Defence & Space

Abb. 14 FE-Analyse des Referenzbeschlages, Lastfall 30° - Airbus Defence & Space

Abb. 15 Definition des für die Topologieoptimierung zur Verfügung stehenden Bauraumes – WIWeB Erding

Abb. 16 Ergebnis der Topologieoptimierung – WIWeB Erding