

Tagung VDI Bodensee

FASERVERBUNDBAUTEILE FÜR DIE LUFTFAHRT

vom Konzept zum «flying testbench»



INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK
UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Dr. Gion A. Barandun

12. November 2013



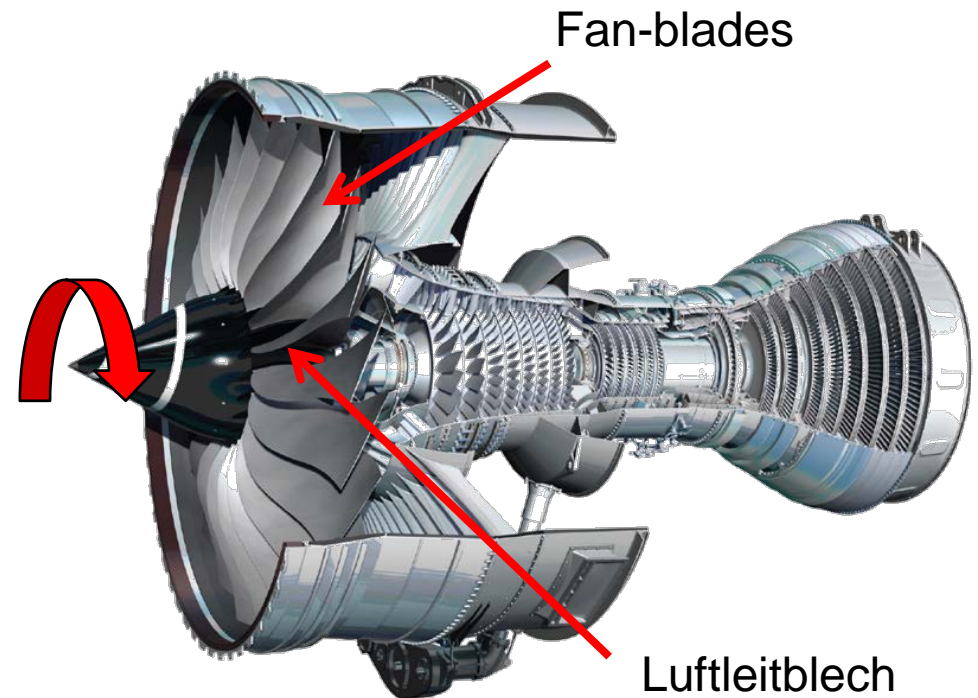
HSR

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz

Inhalt der Präsentation

- Einführung / Zielsetzung
- Leichtbauanforderungen
- Bestehende Lösung
- Neue Faserverbund-Konzepte
- Mechanische Auslegung
- Prozessauslegung
- Werkzeugtechnik
- Prototypen-Herstellung
- Serienproduktion



Triebwerksrotation erzeugt
extrem hohe Fliehkräfte

Einführung / Zielsetzung

Einführung:

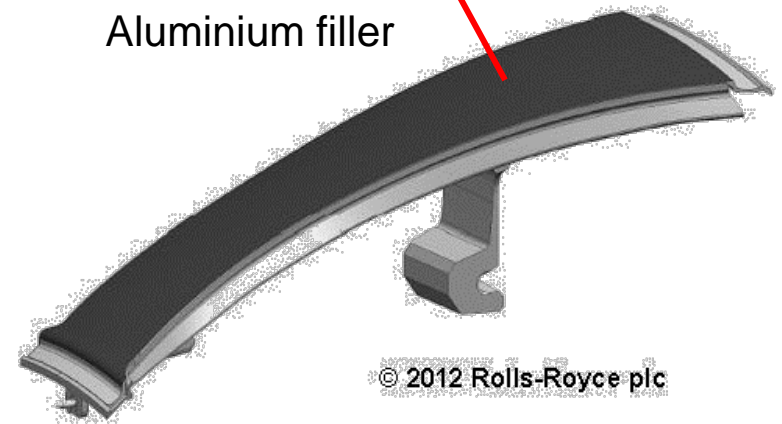
- Das Luftleitblech füllt den Abstand zwischen zwei Turbinenschaufeln («Blades») eines Strahltriebwerks aus.
- Er stellt die optimale Aerodynamik sicher und dichtet zwischen den Schaufeln ab.
- Material: meist Aluminium (heute: aus dem Block gefräst)
- Pro Triebwerk 18 – 20 Stück (Bauteile identisch)

Zielsetzung des Projektes:

- Gewichtsreduktion durch Metallersatz



Typischer
Aluminium filler



© 2012 Rolls-Royce plc

Heutige Langstreckenflugzeuge

Trend im Flugzeugbau (Langstrecke):

- Aus Effizienzgründen: Nur zwei, dafür grosse Triebwerke
- Ausfallsicherheit?

Anforderungen an das Luftleitblech:

- Sehr hohe zentrifugale Kräfte infolge der Rotation der Welle des Triebwerks
- Schlagbeanspruchung («Impact, hail/bird/tool strike»)
- Möglichst niedriges Gewicht
- Einfach und zuverlässig zu montieren
- Minimale Beschädigung der restlichen Struktur beim Versagen («filler-off»)



Video: Triebwerkstest (Hail Strike/Bird Strike)



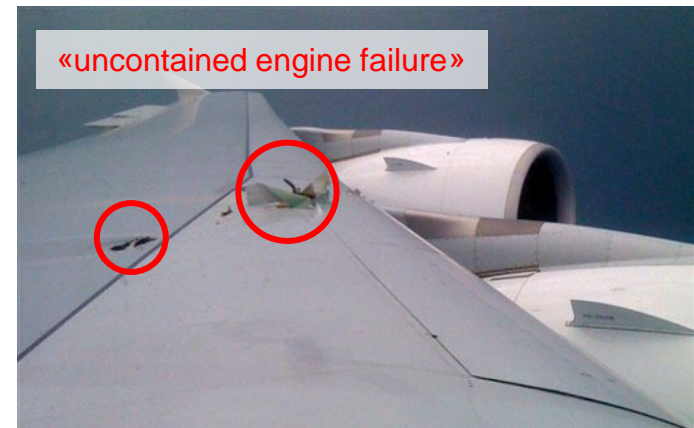
Leichtbaupotential durch Faserverbundbauweise

Heute: Blades aus Titan, Filler aus Aluminium

- Massive Hülle aus Composite und Aluminium notwendig, um bei Versagen der Komponenten («blade-off», «filler-off») ein Durchschlagen des Flügels oder der Kabine zu verhindern
- Die Blades und Filler sind duktil und beschädigen im Versagensfall das Triebwerk (u.a. Blades).

Neu: Blades aus Composite, Filler aus Composite

- Filler oder Blade werden bei einem Versagen dank ihres spröden Verhaltens zertrümmert. Das casing kann dadurch leichter gebaut werden (nur Composite, bis zu 250kg leichter pro Triebwerk; Trent 1000: 5.7t)
- Filler wird durch die Turbine nach hinten ausgeschieden – geringeres Schadensausmass
- Generell: Reduktion der rotierenden Masse



Schadensfall Quantas Airbus A380 nach Bruch der Turbinenscheibe (Titan) der Mitteldruckturbine. Das Durchschlagen der Tragfläche soll durch das casing verhindert werden.

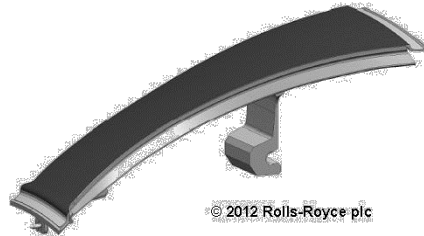
Leichtbaupotential durch Faserverbundbauweise

Fan blades



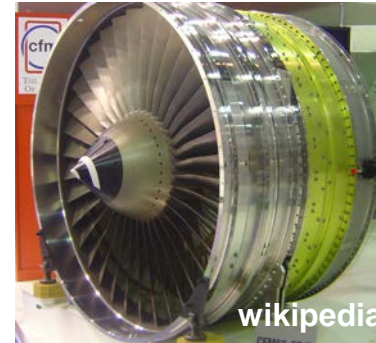
Titanium Blades

Filler

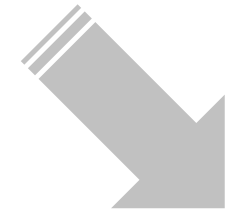


Aluminium Filler

Casing

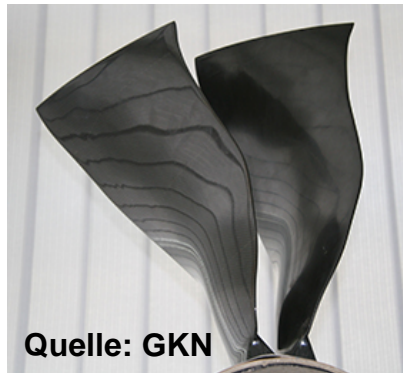


Metallic Casing



heute

Weniger Gewicht
Weniger Treibstoff
Weniger CO₂
Erhöhte Sicherheit
Kosteneffizienz



Composite Blades



Composite Filler



Composite Casing



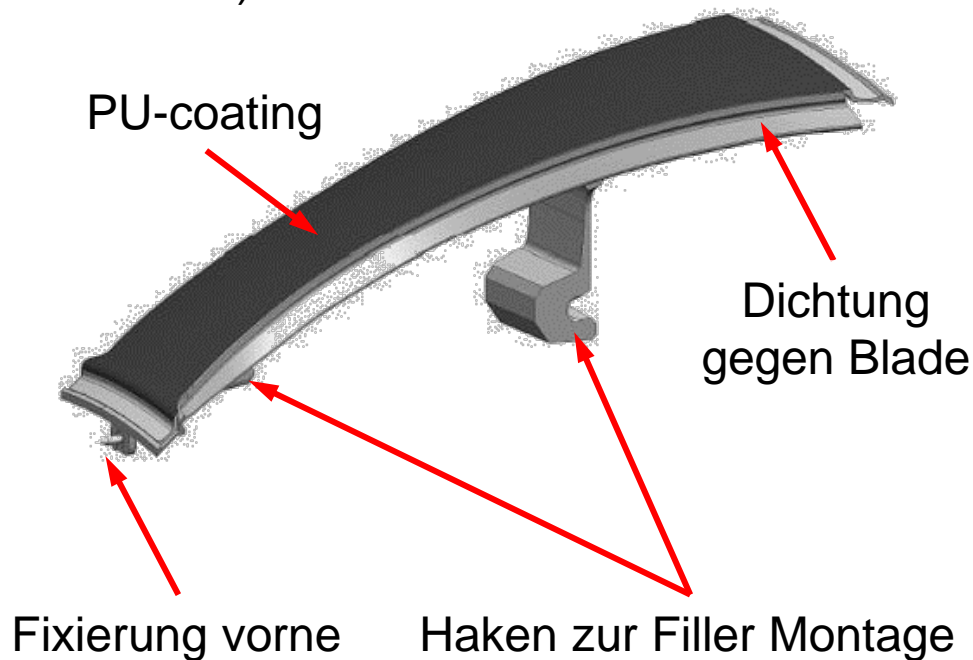
morgen

Video: Fan Blade-Off (FBO)


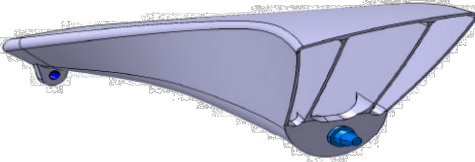



Bestehende Lösung: Aluminiumfiller

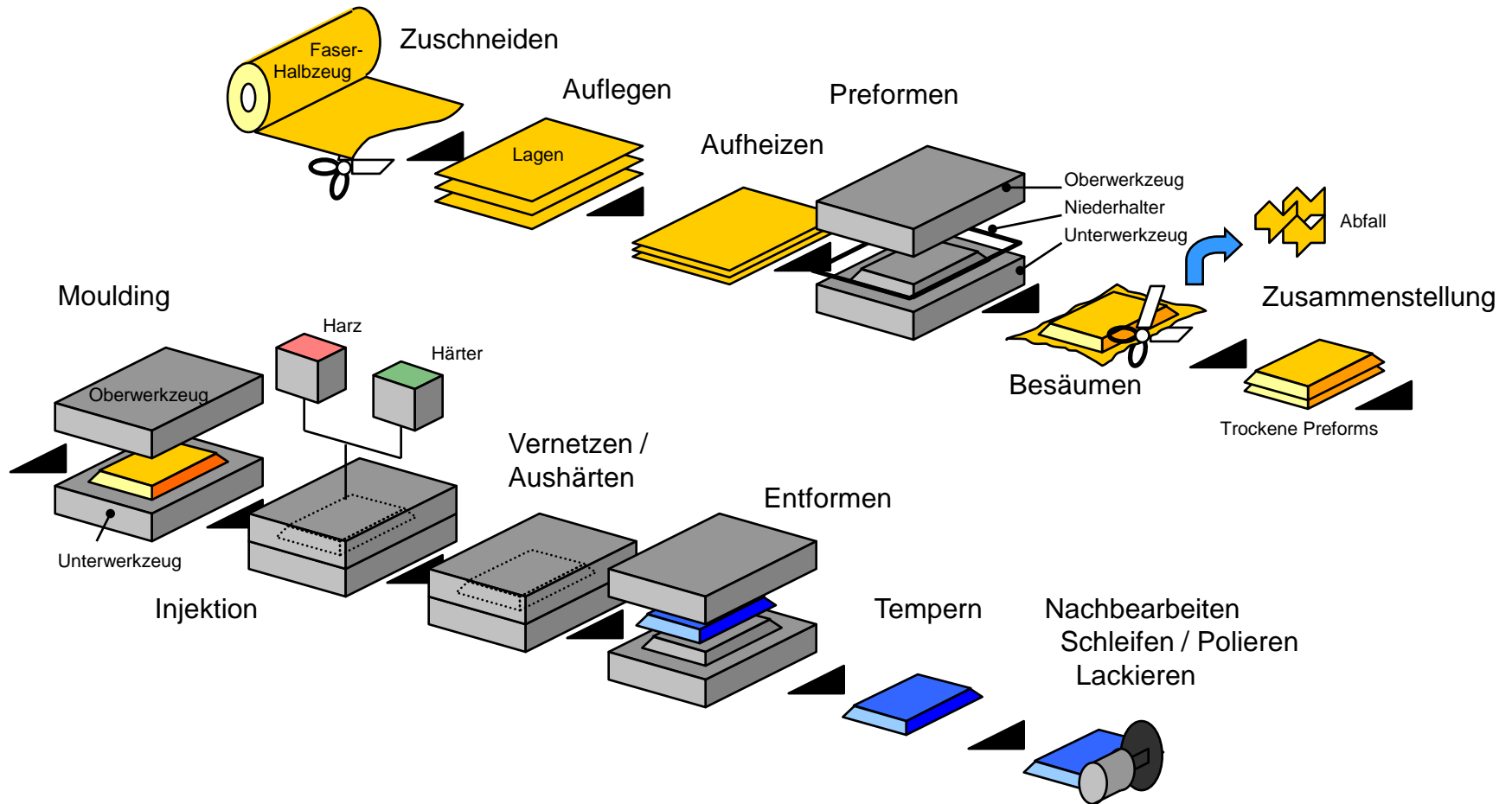
- Der bestehende Aluminium Filler ist mit Haken direkt auf der rotierenden Welle («Fan Disc») befestigt
- Er wird nach der Montage der Blades radial von oben zwischen den Blades eingefädelt und nach hinten gedrückt – dabei rasten die Haken ein
- Von vorne wird der Filler mit einem Ring und dem Nasenkonus («Nose Cone») fixiert



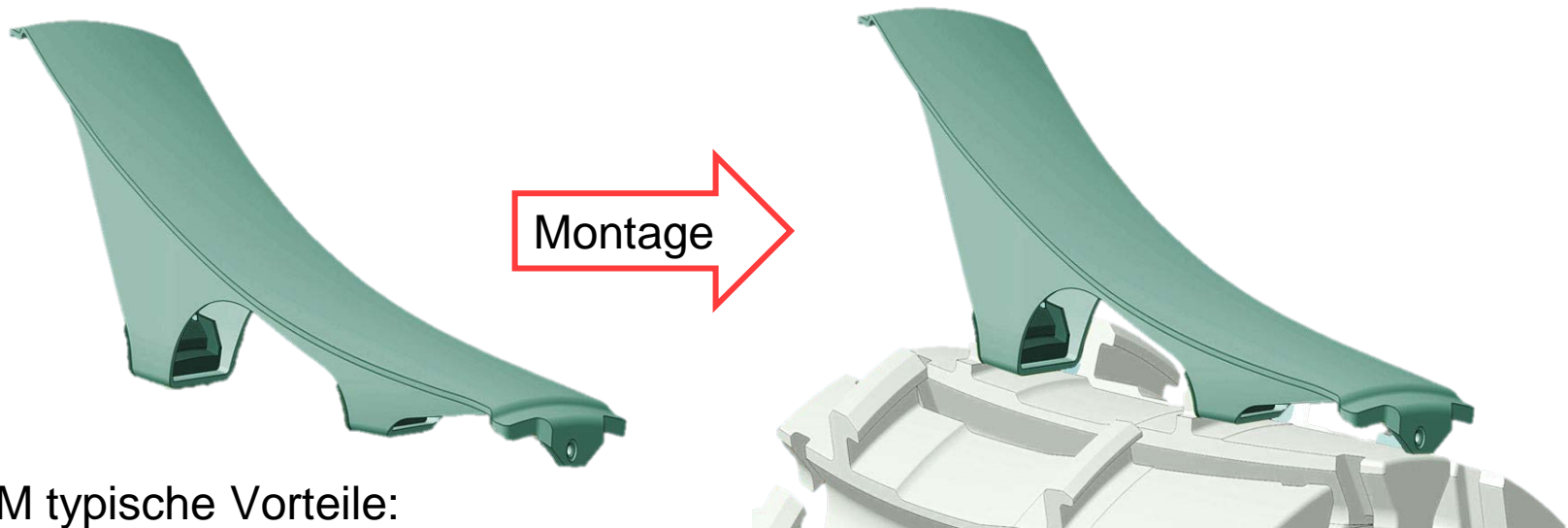
Konzepte für Composite Filler

Konzept	Auf Fan Disc	Brücke	Geklebt
Beschreibung	Mittels Form- und/oder Kraftschluss auf der Fan Disc befestigt	Vorne und hinten an umgebenden Komponenten der Fan Disc fixiert	Direkt auf die Turbinenschaufeln aufgeklebt
Illustration			
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Rückwärtskompatibel - Bekannt - Einfach 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Bearbeitung der Fan Disc 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Bearbeitung der Fan Disc - Montage
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Bearbeitung der Fan Disc - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - Axiale Verdrehung - Gewicht - Montage - Austausch 	<ul style="list-style-type: none"> - Auslegung extrem schwierig - Risiko (strukturelle Klebung) - Austausch

Prozessauswahl: Resin Transfer Moulding

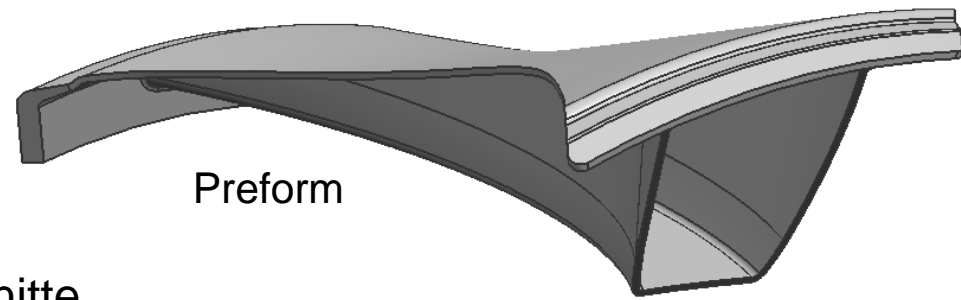


Neues Faserverbund Konzept und Prozessauswahl

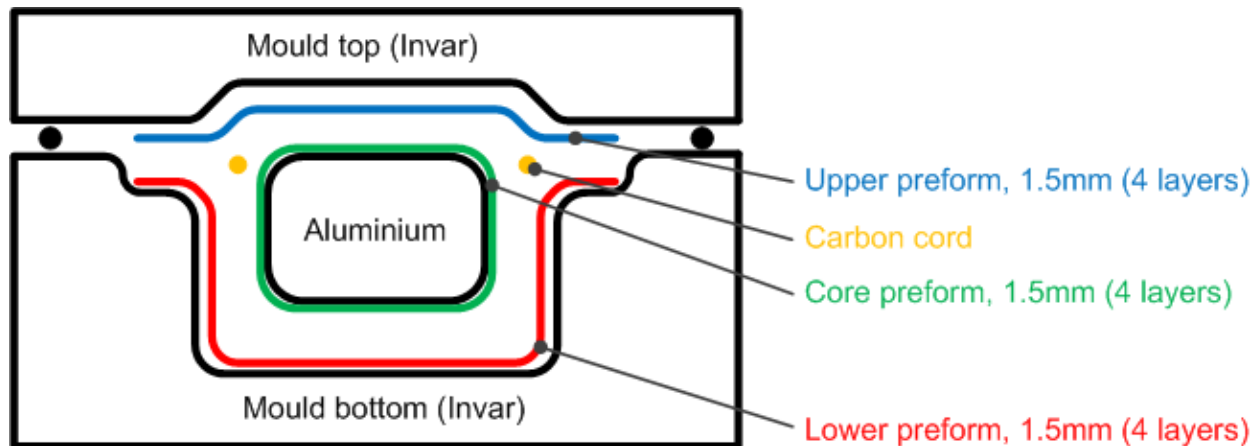


RTM typische Vorteile:

- ✓ Hohe Form- und Funktionsintegration in den Bauteilen. Geeignet für kleine, komplexe und dickwandige Bauteile in Multimaterialbauweise.
- ✓ Sehr hohe Bauteilqualität: Masshaltigkeit, Fertigung auf Endkontur, beidseitig hohe Oberflächengüte, Faservolumengehalt bis 55%.
- ✓ Geeignet für Klein- bis Mittelserien (1'000 – 10'000): Einfachere Materialbewirtschaftung (Harz / Faser getrennt gelagert, z.T. ohne Kühlung)
- ✓ Einfache und teilweise automatisierbare Verarbeitungsschritte



- Problem: Hohlkörper und Hinterschnitte
- Herstellung aus 3 Preform-Teilen mit herausziehbarem Kern (mehrteilig)
- Ausnutzen von unterschiedlichen Materialien und Wärmeausdehnung zur besseren Entformung: Invar ohne Wärmeausdehnung!
- Nachträgliche Bearbeitung (Ausschnitte, Besäumen), d.h die im RTM-Prozess hergestellte Form («moulded shape») unterscheidet sich vom endgültigen Bauteil («machined shape»)



Mechanische Auslegung: Randbedingungen

Auslegung auf:

- Dauerfestigkeit bei Nenndrehzahl 100% Schub, «fatigue life»; Tausende Zyklen während Start/Landung
- Maximale Last: 125% Schub, «ultimate»; im Notfall zu erwartende Leistung, Triebwerk muss danach überprüft werden
- Optimales aerodynamisches Profil: ca. 85% Schub (Reisegeschwindigkeit)

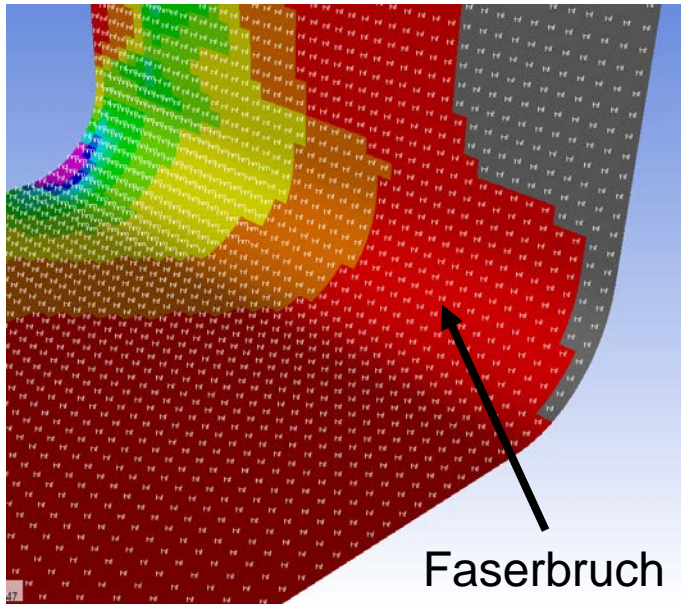
Kriterien und Vorgehen:

- Deformation der aerodynamischen Fläche; das optimale Profil soll sich bei Reisegeschwindigkeit einstellen
- Spannungen lagenweise in-plane und out-of-plane des Composites
- Festigkeit wird mit vereinfachten Tests experimentell überprüft
- Steifigkeiten und Festigkeiten nach «hot/wet»-Kriterien
- Impact: Experimentelle Überprüfung

Pull-out Versuch U-Channel

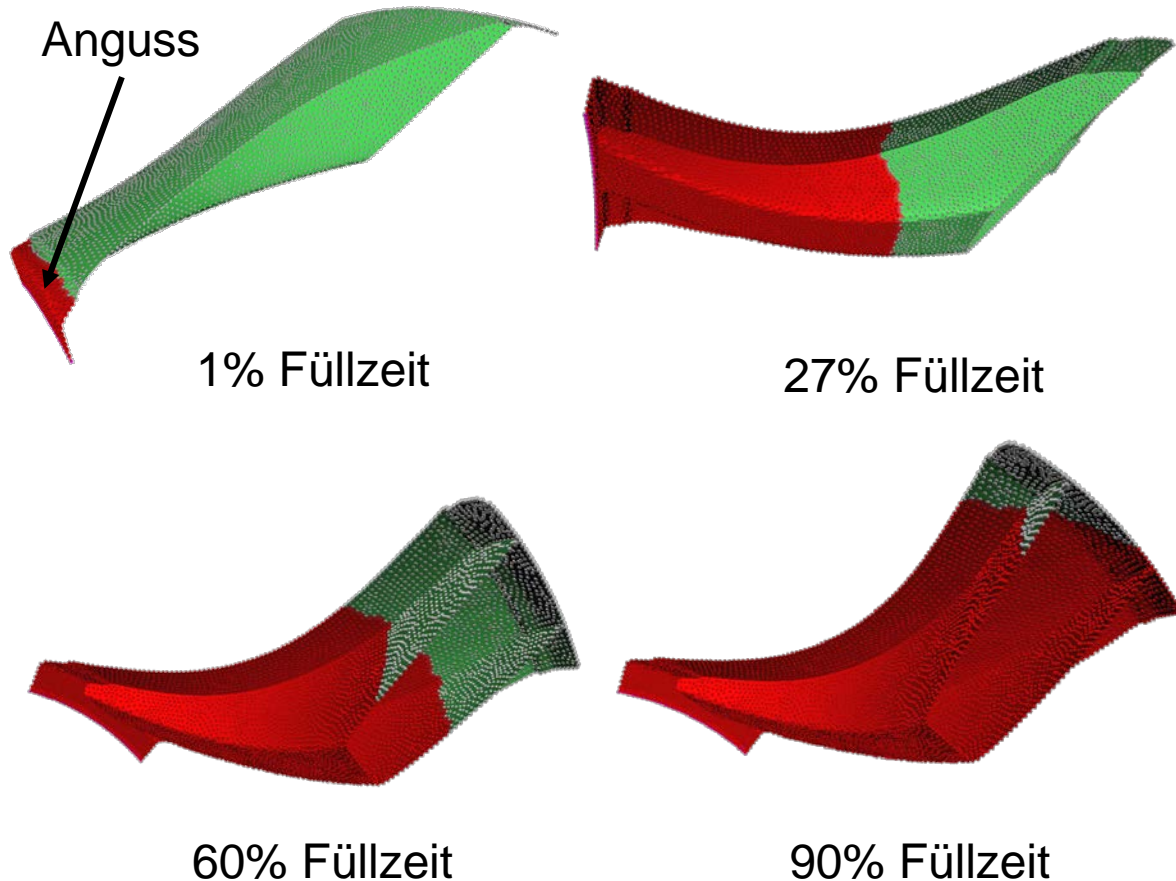


Versagen nicht aufgrund von interlaminaren Effekten sondern aufgrund von Faserbruch
→ Maximale Materialausnutzung!



RTM Prozessauslegung

- RTM-Prozess
- Ziel: Robuste und vollständige Füllung
- Entwicklung einer Injektionsstrategie mittels Simulation (myRTM)
- Berücksichtigung der «moulded shape» (unterscheidet sich von endgültiger Geometrie!)
- Resultat: Füllung von vorne nach hinten
- Die Entlüftung erfolgt mit einer Tauchkante entlang der Aussenkontur



Tooling



Fertiger Composite Filler



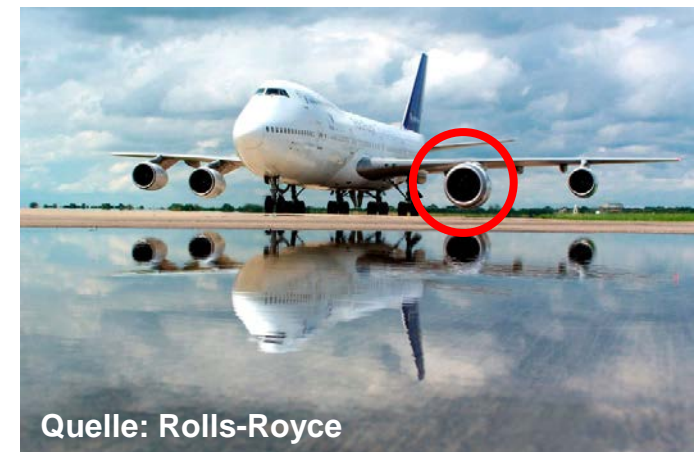
Weg zum Serienprozess

Die Resultate innerhalb des Forschungsprozess sind sehr vielversprechend:

- Robuster Herstellungsprozess, gut funktionierendes Werkzeugkonzept
- Sehr gute Bauteilqualität (<1% Porengehalt)
- Ca. 30% Gewichtersparnis gegenüber der metallischen Variante
- Festigkeits- und Steifigkeitsanforderungen erfüllt

Die Entwicklungen werden voraussichtlich in den nächsten 4-6 Jahren in einen Serienprozess zur Herstellung von Fillern für die kommende Triebwerksgeneration umgesetzt. Dazu notwendig:

- Tests in einem rotierenden Prüfstand sowie in einem Triebwerk («flying test bench», Boeing 747-200 von Rolls Royce)
- Integration von Werkzeugverbesserungen (Details)
- Aufbau einer kompletten Prozesslinie: Zuschnitt – Preforming – Injektion – Nachbearbeitung – zerstörungsfreie Prüfung – Anbauteile
- Lösung auch als «Retrofit» anwendbar



Danksagung

Herzlichen Dank an die Partner Fischer Advanced Composite Components
FACC und Rolls-Royce plc. für die hervorragende Zusammenarbeit.



Das Projekt wurde im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms FP7
vom Konsortium Cleansky gefördert.



Herzlichen Dank an Sie für die Aufmerksamkeit.

VDI Bodensee

FASERVERBUNDBAUTEILE FÜR DIE LUFTFAHRT

vom Konzept zum «flying testbench»



INSTITUT FÜR WERKSTOFFTECHNIK
UND KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Dr. Gion A. Barandun
gionandrea.barandun@hsr.ch

Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
T +41 55 222 47 79



HSR

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL

FHO Fachhochschule Ostschweiz