



Von der CFK-Platte zum komplexen Integralbauteil – Wie die Entwicklung der Faserverbundbauweisen die Zerstörungsfreie Prüfung vorantreibt



thinking without limits

Präsentation: VDI-TUM-Expertenforum: „Bauteile und Werkstoffe quantitativ erfassen und verstehen“

17. April 2012

Garching

Martin Hauf



EUROCOPTER
AN EADS COMPANY

Inhalt

— Faserverbund

- Verbreitung der Faserverbundwerkstoffe
- Leichtbaustrategien
- FVW Bauweisen

— Klassische ZfP von FVW Strukturen

- Beispiel ZfP von Differentialbauteil
- Beispiele ZfP von Integralbauteilen

— Alternative ZfP Konzepte & Lösungen

- Prozess begleitende QS / ZfP
- ZfP optimiertes Design
- Alternative ZfP Strategien & Methoden
- Mechanische Nachweisführung

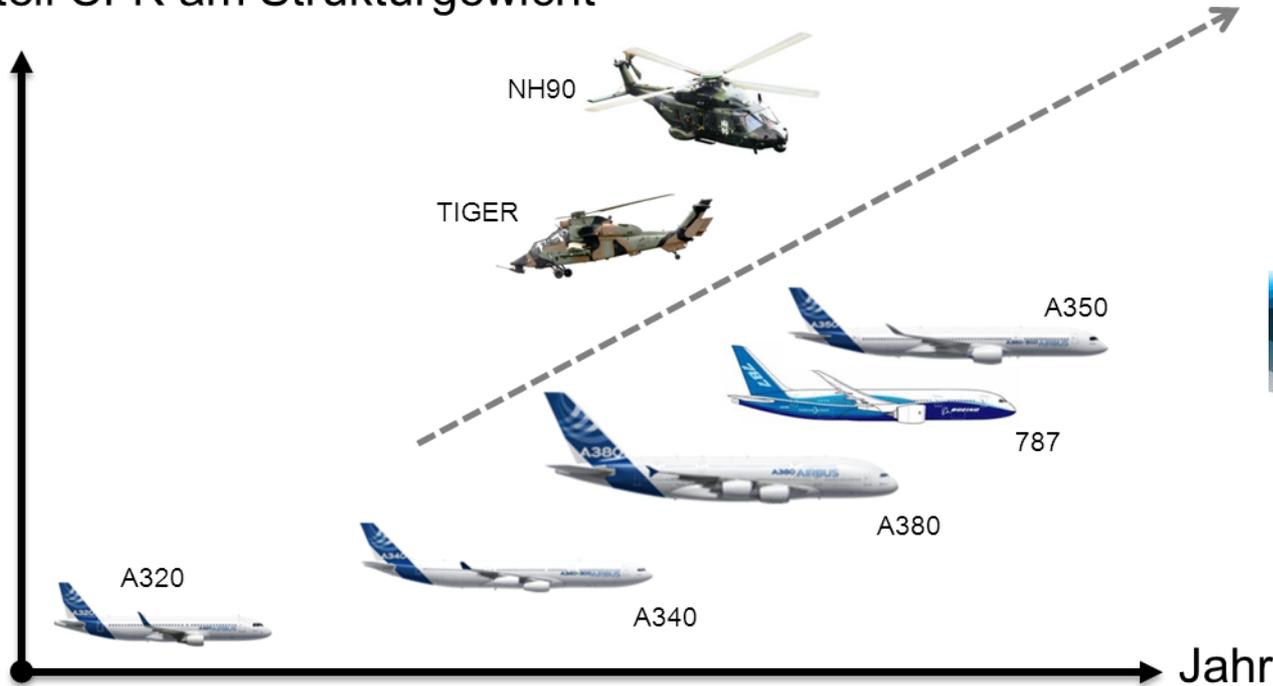
— Fazit

*Ziel der Präsentation:
Sensibilisierung des
Auditoriums aus
ZfP Forschern,
Entwicklern und
Anwendern für die
Herausforderungen
an die ZfP im FVW
Umfeld*

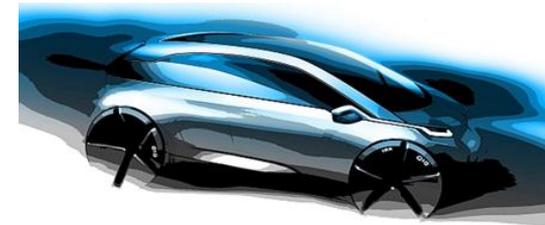
FASERVERBUND

Verbreitung der Faserverbundwerkstoffe CFK – der neue Stahl?

Anteil CFK am Strukturgewicht



*Typische Argumente für Steigerung des FVW-Anteils:
größere Nutzlast, größere Reichweite, weniger Korrosion, weniger Ermüdung, etc.*



Automobil
Marine
Energie
Bauwesen
etc.

...Trend zu größeren Stückzahlen,
automatisierten Fertigungsprozessen

Leichtbaustrategien / FVW Bauweisen

Trend

— Stoffleichtbau

— Differentialbauweise

— Einfache Einzelteile

— Einfache ZfP

— Konzeptleichtbau

— Integralbauweise

— Komplexe Einzelteile

— Schwierige ZfP



KLASSISCHE ZFP VON FVW STRUKTUREN

Qualitätssicherung

So viel wie nötig, so wenig wie möglich!

ZfP Individualbetrachtung notwendig

- Definition ZfP Anforderungsprofil
(Technische & ökonomische Anforderungen, Randbedingungen)
- Entwicklung optimaler ZfP Prozess
- Qualifikation ZfP Prozess
(Nachweis der Wirksamkeit - min. POD)

Beispiel „CFK Platte“

Stoffleichtbau, Differentialbauweise

		Potentielle Fehlerarten					
		Porosität	Delamination				
Verfügbare ZfP Methoden	<i>Mittelgroße, dünne, ebene, monolithische CFK Struktur, kleine Stückzahl</i>						
	UT-PE	+	+				
	UT-TT	o	o				
	IRT	o	o				
	RT	-	-				
	CT	o	o				



Idealfall:

Eine etablierte ZfP Methode detektiert zuverlässig alle relevanten Fehlerarten → **effektiv** („so viel wie nötig“)

...und erfüllt Randbedingungen (geringe Investition, geringe Unterhaltskosten, geringer Qualifikationsaufwand, schnell, robust, nutzt vorhandenes qualifiziertes Prüfpersonal, etc.

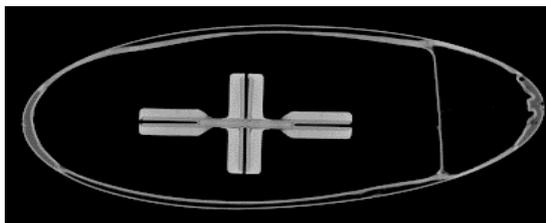
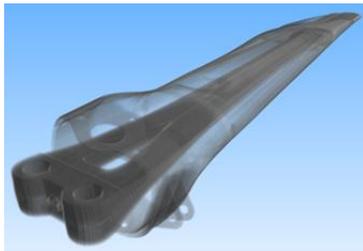
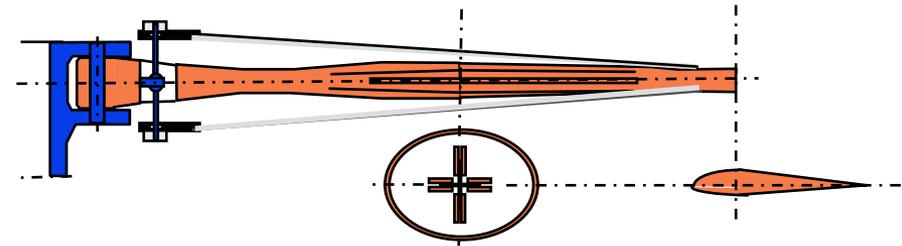
→ **effizient** („so wenig wie möglich“)

Beispiel „komplexes Integralbauteil“

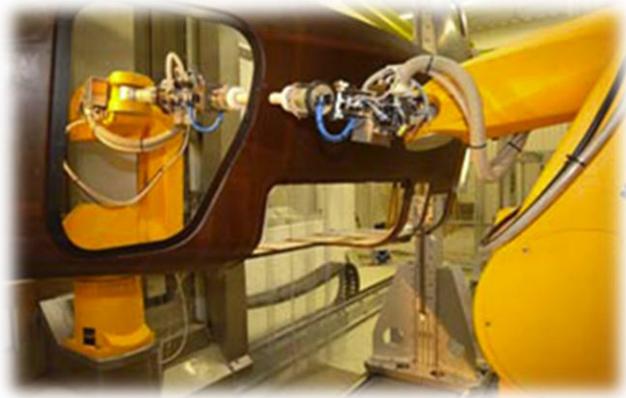
Konzeptleichtbau, Integralbauweise



		Potentielle Fehlerarten				
		Porosität	Delamination	Faserwelle		
Verfügbare ZfP Methoden	<i>Lange, sehr komplexe, GFK Struktur, große Stückzahl</i>					
	UT-PE	-	-	-		
	UT-TT	-	-	-		
	IRT	-	-	-		
	RT	-	-	-		
CT	+	+	+			



Beispiel „großes & komplexes Integralbauteil“



		Potentielle Fehlerarten				
		Porosität in Monolith	Delamination in Monolith	Porosität in Radien	Delamination in Radien	Delamination in Sandwich
Verfügbare ZfP Methoden	<i>Mittelgroße, komplexe, CFK Sandwich-Struktur, große Stückzahl</i>					
	UT-PE	+	+	o	+	-
	UT-TT	o	o	o	o	+
	IRT	o	o	o	o	+
	RT	-	-	-	-	-
CT	o	o	o	o	o	

*Bauteil nur prüfbar durch Kombination aus Prüftechniken
→ effizient ?*

Beispiel „großes & komplexes Integralbauteil“



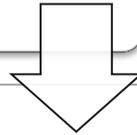
		Potentielle Fehlerarten					
		Porosität in Monolith	Delamination in Monolith	Porosität in Radien	Delamination in Radien	Delamination in Sandwich	Verklebung
Verfügbare ZiP Methoden	Mittelgroße, komplexe, CFK Sandwich-Struktur, große Stückzahl						
	UT-PE	+	+	o	+	-	-
	UT-TT	o	o	o	o	+	-
	IRT	o	o	o	o	+	-
	RT	-	-	-	-	-	-
CT	o	o	o	o	o	-	

*Show-Stopper
Verklebung:
Adhäsion nicht
prüfbar!*

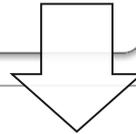
ALTERNATIVE ZFP KONZEPTE & LÖSUNGEN

Prozess begleitende QS / ZfP

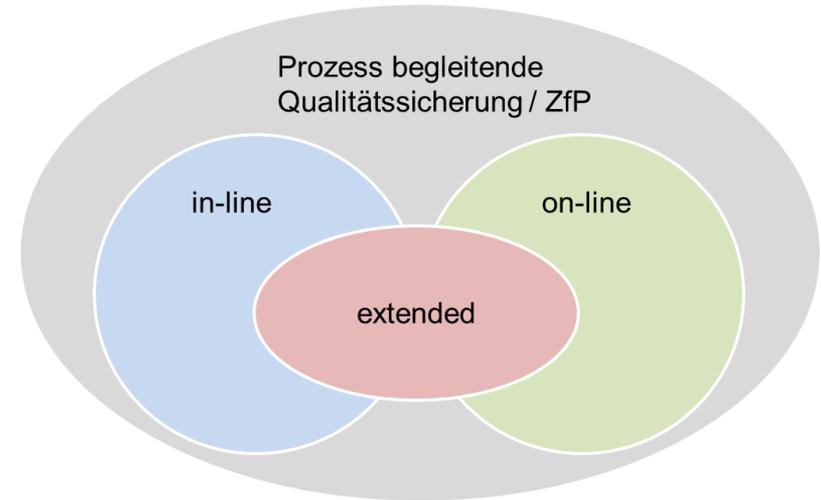
Gezielte Kontrollen und Korrekturmaßnahmen während der Produktion



Robuste und reproduzierbare Herstellungsprozesse

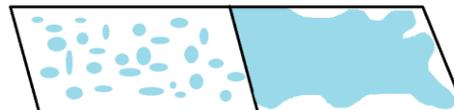


Minimierung von Ausschussraten und ZfP-Aufwand



z.B. Erkennung von adhäsionsschädlichen Oberflächenkontaminationen vor Verklebung

- Infrarotspektroskopie
- Aerosol Wetting Test
- etc.



ZfP optimiertes Design

Beachtung ZfP spezifischer Grenzen!

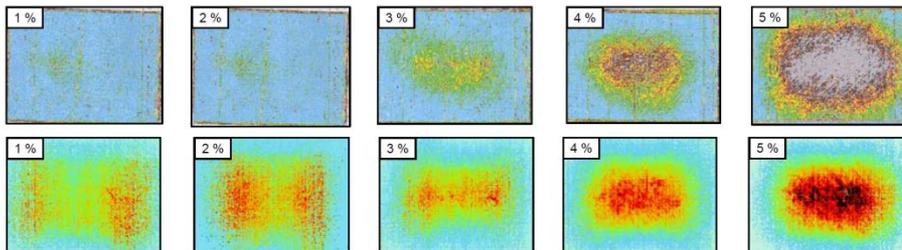
- Möglichst frühe Konsultation von ZfP Spezialisten
 - Aufklärung über ZfP Anwendung & Grenzen
 - Unterstützung bei der Auswahl alternativer Design-Elemente

- Allgemein gilt:
 - Vermeidung schwer prüfbarer Design-Elemente
 - Standardisierung von Design-Elementen
 - Zugänglichkeit gewährleisten

Bauteile verstehen → Optimierte QS / ZfP Anforderungsprofile

- ZfP Anforderungsprofile müssen sich an Kritikalität und Belastung des Bauteils orientieren, nicht an ZfP Machbarkeit (KSR6 ?!)
- „Effect of defect“ muss verstanden sein
- Strukturanalysemethoden definieren zul. Fehlergrößen
- Dann z.B. alternative ZfP Strategien & Methoden möglich:

*z.B. Aktive Thermografieprüfung
Leistungsvergleich UT (oben) und PT (unten)
Quantifizierung von Volumenporosität*



Hendorfer G, Mayr G, Zauner G, Haslhofer M, Pree R. Quantitative determination of porosity by active thermography. In: Thompson DO, Chimenti DE, editors. Proceedings of the Review of Quantitative Nondestructive Evaluation Vol. 26; Portland, OH. Columbia: American Institute of Physics; 2007. p. 702-08.

*z.B Luft gekoppelte UT-Prüfung
Delaminationen in Sandwich-Bauteil*



Stößel R, Kiefel, D, EADS Innovation Works

Mechanische Nachweisführung

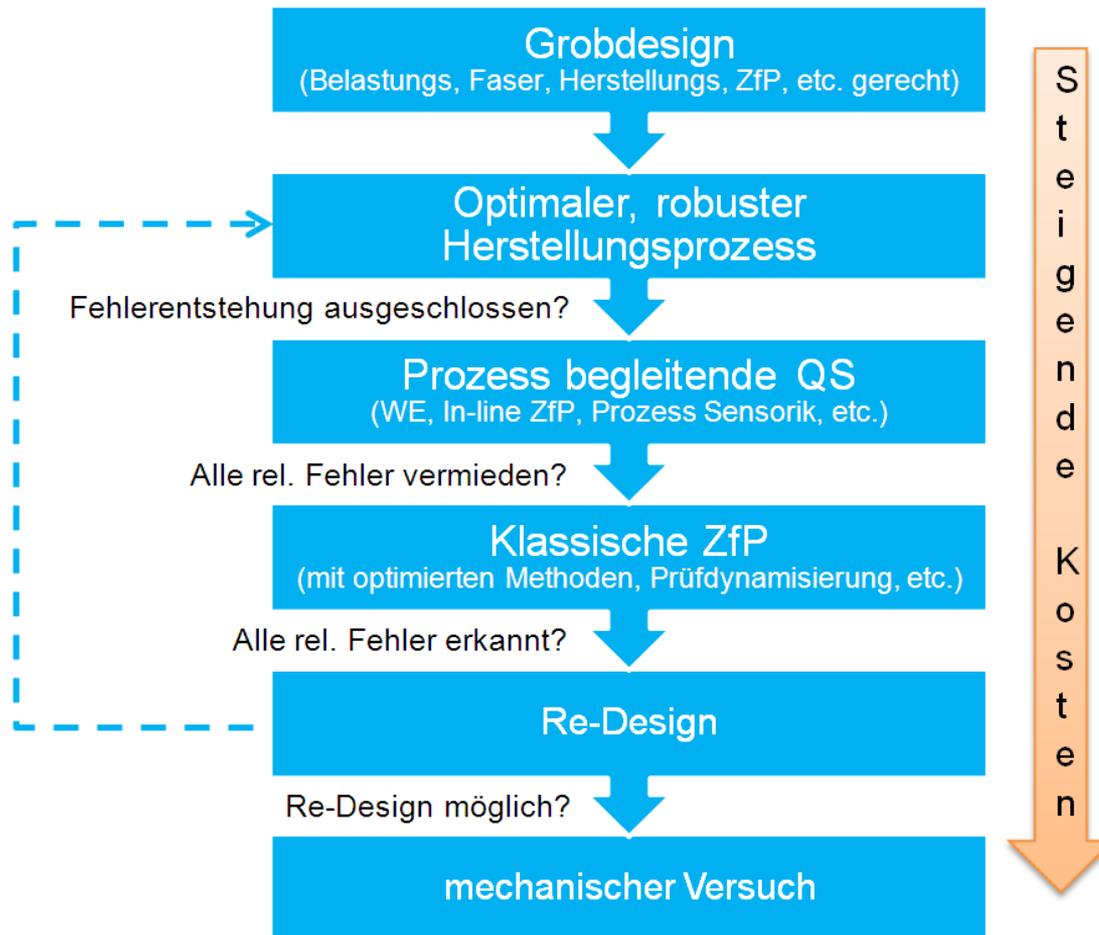
- Statische & dynamische Zulassungsversuche, Restfestigkeitsversuche, Schadenswachstums & -Toleranzuntersuchungen, ...



http://www.koelner-luftfahrt.de/lfz_deu_20.htm

Mögliche Reihenfolge

- Bessere Ausnutzung des FVW Potentials durch optimierte Abläufe und Ganzheitliche Betrachtung



FAZIT

Fazit

- Aktuelle FVW Trends
 - bringen klassische ZfP an ihre Grenzen
 - Steigern Bedarf und fördern die Entwicklung innovativer ZfP Methoden
- Isoliert betrachtete ZfP wird Problemen nicht gerecht
- Ganzheitliche Lösungsansätze notwendig um FVW Potential zu entfalten
- Neue Entwicklungs- bzw. Arbeitsabläufe und Prozesse müssen in Organisation verankert werden

***Letztendlich entscheidet ZfP mit über weitere
Verbreitung / Entwicklung der Faserverbundtechnologie***

Fragen



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit