



## *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

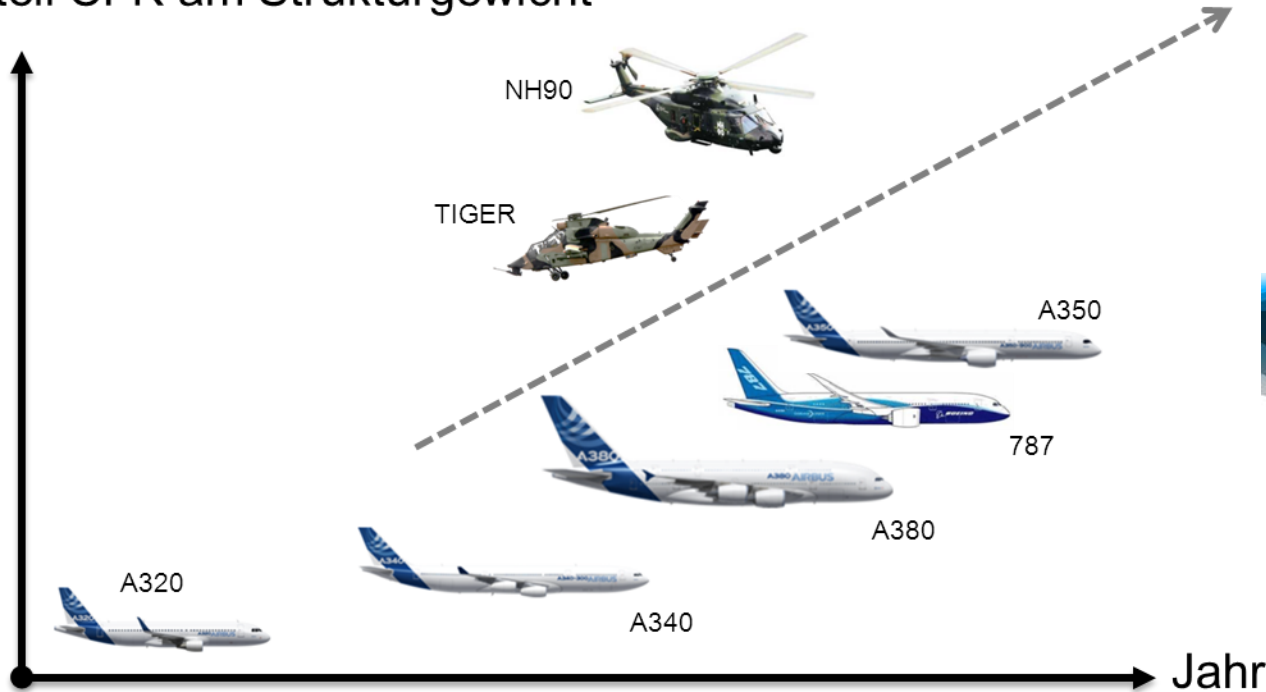
## — Fazit

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

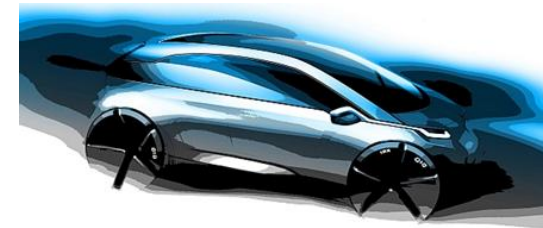
# FASERVERBUND

# 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“)

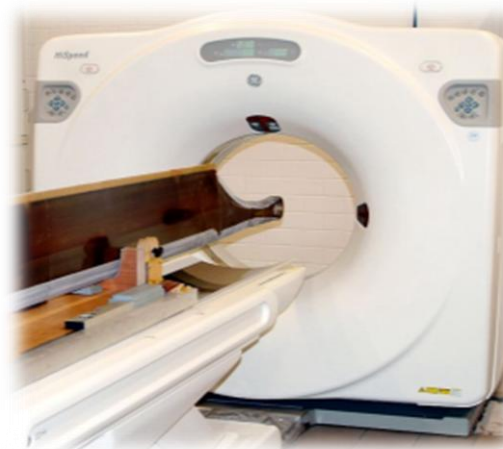
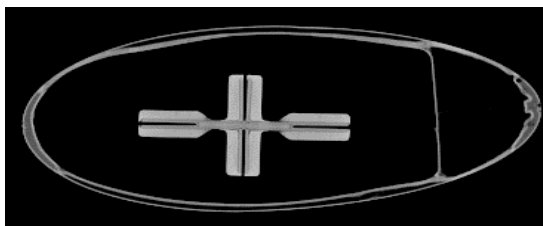
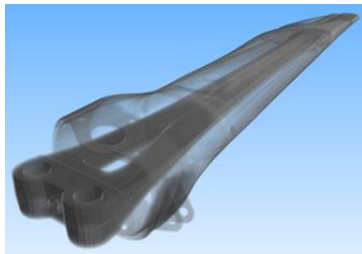
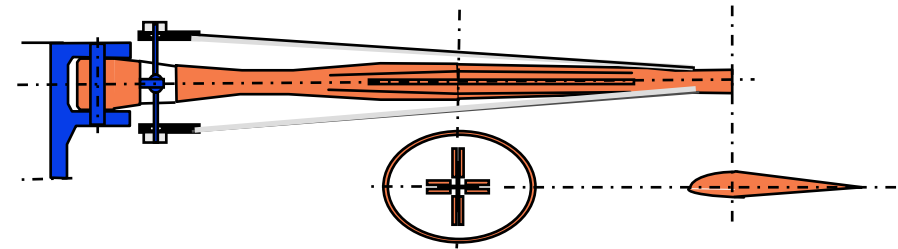


# Beispiel „komplexes Integralbauteil“

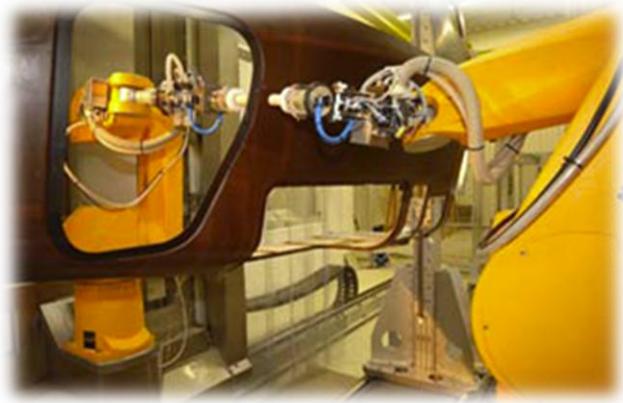
## Konzeptleichtbau, Integralbauweise



		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“



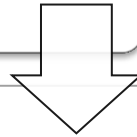
		Potentielle Fehlerarten					
		Porosität in Monolith	Delamination in Monolith	Porosität in Radien	Delamination in Radien	Delamination in Sandwich	Verklebung
Verfügbare ZiP Methoden	Mittelgroße, komplexe, CFK Sandwich-Struktur, große Stückzahl						
	UT-PE	+	+	o	+	-	-
	UT-TT	o	o	o	o	+	-
	IRT	o	o	o	o	+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

*Show-Stopper  
Verklebung:  
Adhäsion nicht  
prüfbar!*

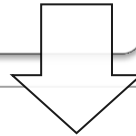
# ALTERNATIVE ZFP KONZEPTE & LÖSUNGEN

# Prozess begleitende QS / ZfP

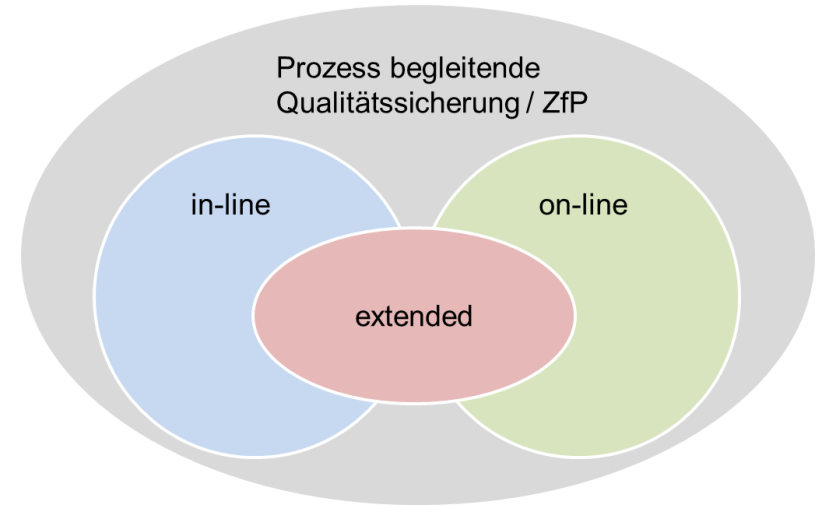
Gezielte Kontrollen und Korrekturmaßnahmen während der Produktion



Robuste und reproduzierbare Herstellungsprozesse

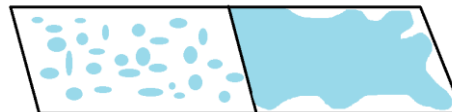


Minimierung von Ausschussraten und ZfP-Aufwand



z.B. Erkennung von adhäsionsschädlichen Oberflächenkontaminationen vor Verklebung

- Infrarotspektroskopie
- Aerosol Wetting Test
- etc.



# ZfP optimiertes Design

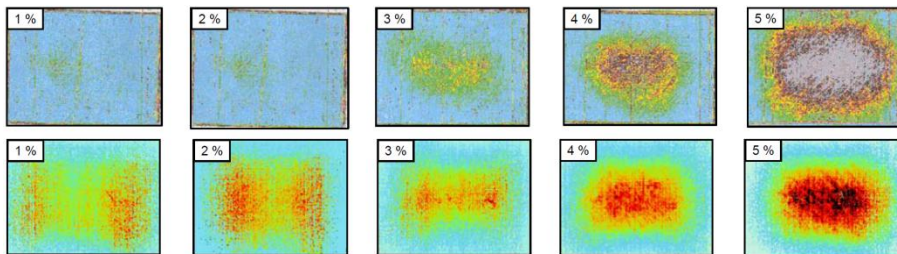
## ***Beachtung ZfP spezifischer Grenzen!***

- 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, ...

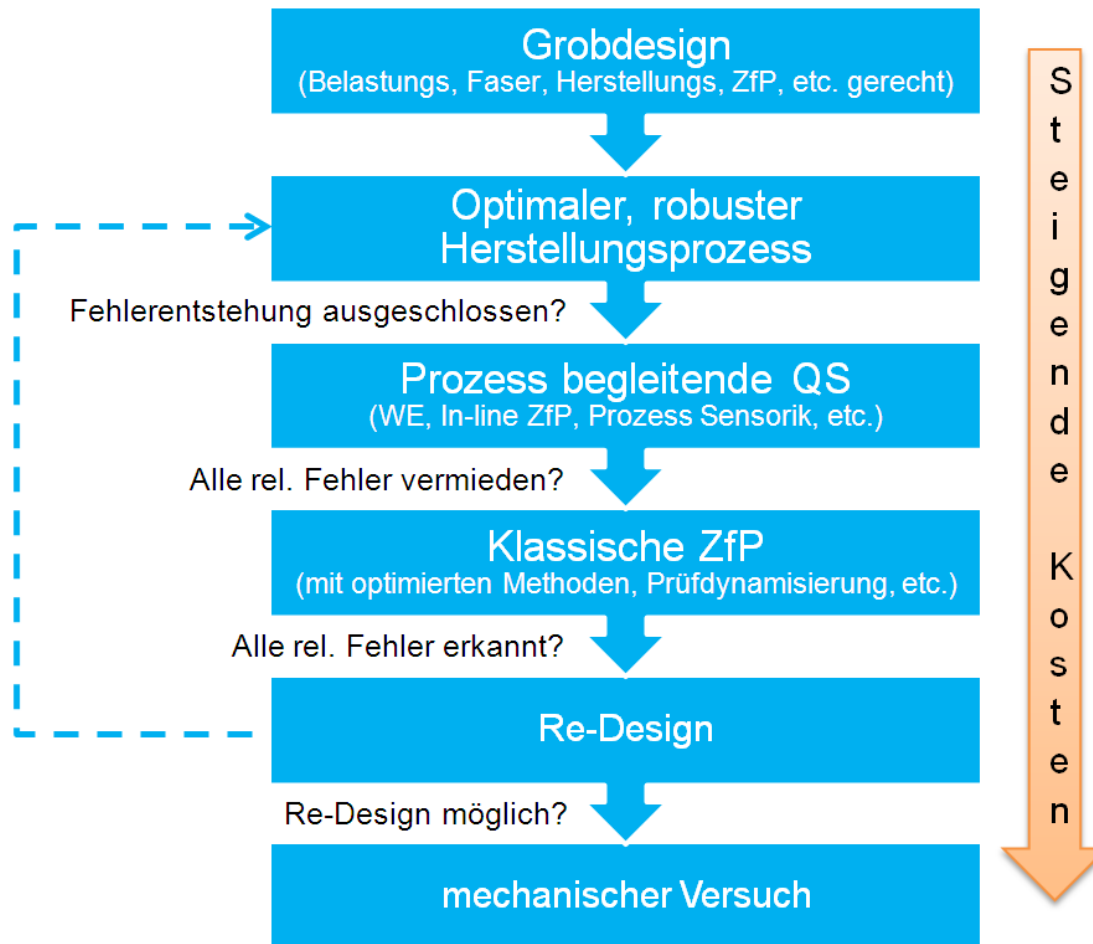


[http://www.koelner-luftfahrt.de/lfz\\_deu\\_20.htm](http://www.koelner-luftfahrt.de/lfz_deu_20.htm)



# 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