Herausforderungen an die ZfP bei Ihrer Anwendung an Faserverbundbauteilen

Reinhold OSTER

Center of Excellences Air Vehicles - Laboratory Materials and Processes
- Laboratory Tests -
81663 München Eurocopter Deutschland GmbH
Telefon: +49 89 6000 2570, Fax +49 089 6000 8585
E-Mail: reinhold.oster@eurocopter.com

Kurzfassung. Eurocopter Deutschland stellt hochbelastete Bauteile für Hubschrauber und Flugzeuge aus Faserverbundwerkstoffen her. An deren ZfP-Prüfung werden hohe Anforderungen gestellt. Besonders an den Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffen die dort Verwendung finden, wie CFK oder GFK, werden die Prüfverfahren, wie Ultraschall, Thermographie, Shearographie, Röntgen oder Computertomografie, stark gefordert. Sei es in der Entwicklung, der Fertigungsoptimierung oder in der Qualitätssicherung der Composite oder im Bereich der Reparaturen von Faserverbundstrukturen. Das Engineering erarbeitet Lösungen bezüglich der Auswahl von Werkstoffen, des Design to NDT“ der Material- und Fehlercharakterisierung und des „Effect of Defect. Im Hinblick auf alle diese Aspekte definieren sich für die „Zerstörungsfreie Prüfung “ an Faserverbundwerkstoffen neue Aufgaben.

1. Einführung

Eurocopter [1], gegründet 1992, ist heute ein deutsch-französisch-spanischer Konzern und ein Geschäftsbereich der EADS. Die EADS ist ein weltweit führendes Unternehmen in der Luft- und Raumfahrt, sowie im Verteidigungsgeschäft und den dazugehörigen Dienstleistungen. 2011 festigte Eurocopter seine Position als weltweite Nummer Eins am zivilen und halbstaatlichen Hubschraubermarkt. Die Entwicklung und Produktion von Flugzeugpassagiertüren ist neben der Hubschrauberproduktion ein weiteres wichtiges Standbein von Eurocopter in Deutschland.

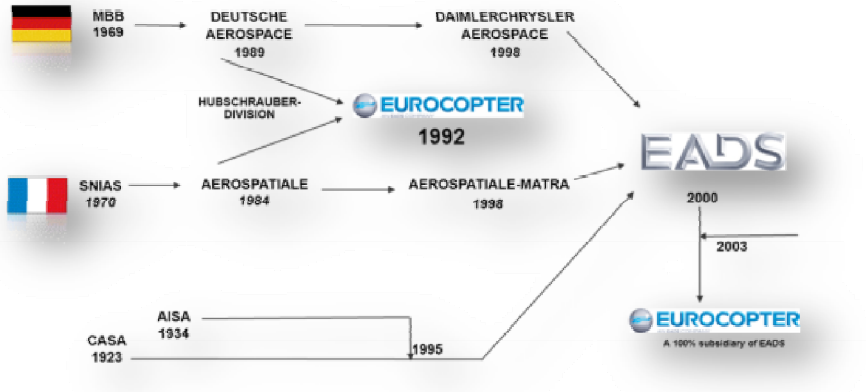


Abb. 1 Historie

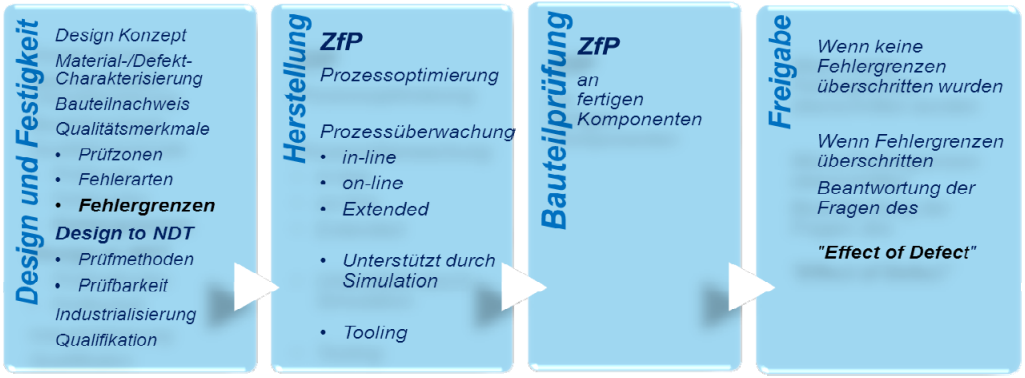
Licence: http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0

Die Eurocopter Hubschrauberstrukturen, wie Rotorblätter oder Zellenstrukturen werden aus faserverstärkten Kunstoffen hergestellt. Rotorblätter bestehen aus sehr komplexen, monolithischen GFK-Laminaten, wie z.B. der Blattanschluss des EC135 Hauptrotorblattes. Die CFK Monolith- Sandwichbauweise wird für die Herstellung der Zelle des NH90 Hubschraubers angewandt. Die Produktionsprozesse sollen so robust und optimiert sein, dass Herstellfehler vermieden werden. Dennoch können verschiede Fehler wie z.B. Delaminationen, Porositäten oder Ondulationen innerhalb der Faserlaminate währen eines Produktionsprozesses auftreten. Viele qualitätssichernde Detailprozesse sind bei der Realisierung der Bauteile notwendig, um deren Funktionalität und Sicherheit zu gewährleisten. In diesem Papier wird ein Überblick über einige wichtige ZfP-relevante Prozesse geben, die Teil der qualitätssichernden Detailprozesse sind. Auch klassische ZfP-Methoden, die Eurocopter anwendet, werden hier beschrieben. Begonnen wird mit der Darstellung der gesamten Prozesskette der Bauteilrealisierung und deren ZfP-relevanten Prozesse.

2. ZfP-relevante Prozesse im Prozess der Bauteilrealisierung

Die Realisierung eines Faserverbundbauteils besteht im Wesentlichen aus den vier Hauptphasen Design, Herstellung, Bauteilprüfung und Freigab. Jede dieser Phasen kann in viele Einzelschritte zerlegt werden, die die Prozessschritte der Qualitätssicherung enthalten. Eine davon ist die klassische ZfP Prüfung am fertigen Bauteil, z.B. die Ultraschall Impuls-Echo Prüfung am CFK-Spant oder die Computertomografie am Rotorblatt um relevante Defekte wie Ondulationen, Porositäten oder Delaminationen zu detektieren. Die nun folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Prozessschritte.

Table 1: Prozess der Bauteilrealisierung



ZfP wird oftmals als eine Prüfmethode verstanden, die nur dann angewendet wird, wenn ein fertig produziertes Bauteil auf Fehler überprüft wird. Doch greift die ZfP in Ihrem methodischen Ansatz viel früher in der Prozesskette der Bauteilrealisierung ein (Tabelle 1). Betrachtet man die komplette Prozesskette der Bauteilrealisierung, so wirkt die ZfP, in unterschiedliche Bedeutung und Wirkung, an diversen Stellen der Prozesskette. Dies beginnt mit den Definitionen der zu prüfenden Zonen, den zulässigen Fehlerarten und -größen durch das Design und Stress-Engineering. Die Fragen des „Design to NDT“, wie z.B. der Prüfbarkeit, der Zugänglichkeit des Bauteils für die ZfP-Sensorik und nichtprüfbare Zonen, können das Bauteil-Design stark beeinflussen.

In der sehr frühen Phase der Entwicklung des Bauteils werden Baumuster und Prototypen hergestellt. Werden dann die Methoden der Ultraschalltechnik und/oder der Computertomografie angewendet, kann sehr früh der Einfluss von Design, Halbzeug, Zuschnitt- und Drapierung und des Toolings auf die Fehlerentstehung erkannt und korrigiert werden.

Wird dies dann in Kombination mit den zulassungsrelevanten Berechnungen und den dazugehörigen zerstörenden Versuchen durchgeführt, können die Fragen des „Effect of Defect“ (Bewertung sicherheitskritischer Defekte) besser beantwortet werden.

Dies führt zu intensiven Kenntnissen über die Fehlerarten und Ihre ursächliche Entstehung und ihre Auswirkungen auf die Festigkeit. Damit kann von einer globalen Betrachtung von zulässigen Fehlergrößen zu lokalen, zulässigen Fehlergrößen übergegangen werden. Nicht jede Porosität oder Ondulation ist für das Bauteil „schädlich“ sondern nur diejenigen Fehlerarten, die in hochbeanspruchten Strukturelementen Delaminationen oder Faserrisse initiieren.

Neue, hochautomatisierte Verarbeitungsprozesse von CFK-Textilen (Halbzeugen) zu Preforms, die dann in den Injektionsprozessen bei den entsprechenden RTM oder VAP Verfahren mit Harz infiltriert werden, benötigen online Prüfmethoden zur Qualitätsüberwachung. Dies wird bei Eurocopter unter dem Begriff der InlineNDT [2] verstanden. Qualitätsmerkmale wie Faserorientierung, Ablege- und Nähfehler, Injektionsfehler können somit frühzeitig vermieden werden. Porositäten und Ondulationen im fertigen Bauteil werden dadurch verringert oder ganz vermieden. Die Prüfverfahren der InlineNDT sind zurzeit bei Eurocopter in Entwicklung und werden deshalb an dieser Stelle nicht beschrieben.

3. Eurocopter Hubschrauber Faserverbundstrukturen

3.1 Rotorblätter aus glasfaserverstärkten Faserverbundwerkstoffen

Bereits in den 60iger Jahren wurden bei MBB Hubschrauber-Hauptrotorblätter aus glasfaserverstärktem Kunststoff entwickelt. 1967 flog die BO105 damit zum ersten Mal. Der gelenklose Rotorkopf war geboren. Weiterentwicklungen hatten eine Vereinfachung der Rotoren zum Ziel. Dies führte dazu, dass immer mehr Funktionen in die Rotorblattstruktur integriert wurden. Diese in ihrem Aufbau hochkomplexen Monolith/Sandwich-Strukturbauteile, so z.B. die Rotorblätter der EC135, können sehr gut mit Hilfe der Computertomografie (CT) zerstörungsfrei geprüft werden. Bei der Entwicklung des Rotorblattes wirkte die CT, in einem erheblichen Maße, als Entwicklungswerkzeug [3, 4].



Abb. 2 EC135 Helikopter

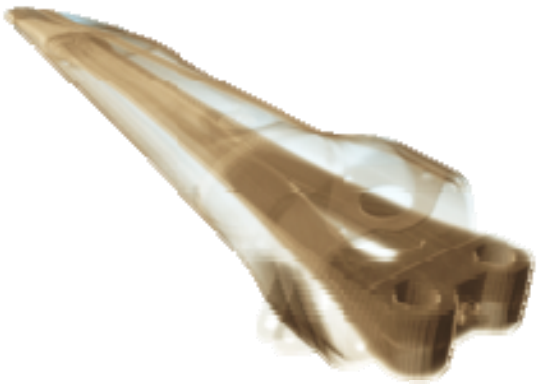


Abb. 3 EC135 Hauptrotorblattanschluss

3.2 Hubschrauberzellen aus kohlefaserverstärkten Spant- und Sandwich-Komponenten

Von Eurocopter wurden die kompletten Zellenstrukturen der militärischen Hubschrauber Tiger und NH90 (Erstflug 1995) entwickelt und hergestellt. Die Kombination von monolithischen Spantsstrukturen mit der CFK/Nomex-Wabenbauweise führt zu besonders leichten und steifen CFK-Zellen. Der Strukturgewichtsanteil der Faserverbundbauweise

beider Helikopter beträgt über 90%. Auch die TIGER- und NH90-Helikopter besitzen Rotorblätter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen [5].



Abb. 4 NH90 und TIGER Helikopter

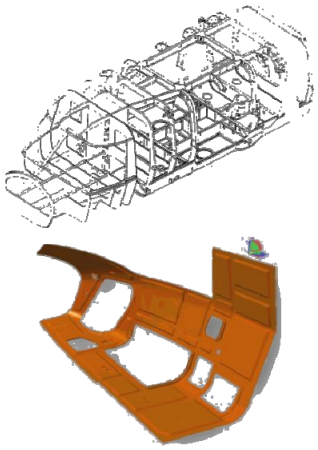


Abb. 5 Monolithische und Sandwich Komponenten aus CFK

Eine besondere Herausforderung für die ZfP-Prüfung ist die neuartige Konstruktion des Heckauslegers der EC145 T2. Die CFRP-Sandwichkonstruktion wird integral aus einem Stück hergestellt. Beschrieben ist dies in [6]. Zur Prüfung des Sandwichbauteils wird die Luftultraschalltechnik angewendet. Mehr dazu in Kapitel 5.1.2.



Abb.6 EC145 Helikopter

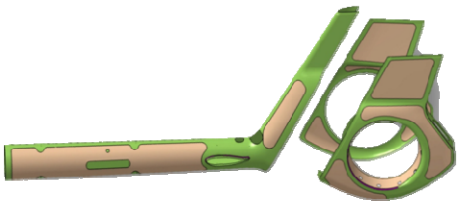


Abb.7 CFK Sandwich Heckausleger Komponente

3.3 CFK-Türen Passagierflugzeuge

Eurocopter entwickelt und fertigt am Standort Donauwörth die Passagiertüren für das Passagier-flugzeug AIRBUS A350 XWB, dessen Rumpf überwiegend aus CFK hergestellt wird. Besonders die eng gestaffelten Versteifungsrippen der monolithischen CFK-Strukturelemente stellen hohe Ansprüche an die Sensorführung der automatisierten Ultraschallprüftechnik [18].



Abb. 8 AIRBUS A350 XWB jetliner

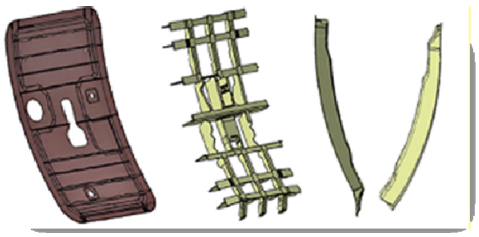


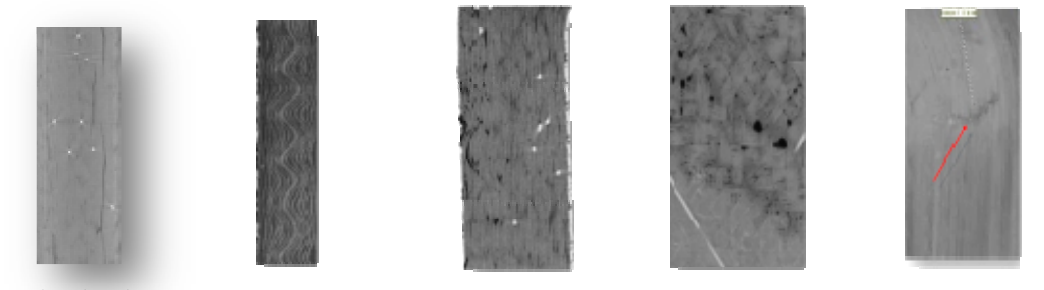
Abb. 9 A350 Door Elements

4. Beschreibung möglicher Fehlerarten

Die Fehlerarten (Porosität, Delamination, Ondulationen) die während des Fertigungsprozesses auftreten können, können die Festigkeitseigenschaften eines Bauteils stark beeinflussen. Dabei ist die Art, Größe und Lage des Fehlers im Bauteil, bezogen auf die lokale Festigkeitsbeanspruchung des Bauteils von entscheidender Bedeutung.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über mögliche Fehlerarten die in monolithischen FVW Laminaten auftreten können. Die Bilder stellen eine charakteristische Auswahl dar. In Art und Größe können diese, je nach Bauweise, Faserhalbzeug und Fertigungsverfahren, variieren.

Tabelle 2. Mögliche Herstellfehler in monolithischen FVW Laminaten



Delaminationen	Ondulationen	Ondulationen mit Porosität	Porosität	Faserbrüche

Die Fehlerarten die bei der Herstellung von Textilen-Preforms entstehen können, werden hier nicht besprochen. Näheres dazu siehe [2]. Auf die Beschreibung der Prüfung von Klebefehlern wird hier auch verzichtet. Die Prüfung von „Weak Bonds“ in FVW-Klebeverbindungen ist mit klassischen ZFP-Prüfverfahren zurzeit nicht möglich. Neuere Ansätze dazu werden in [7] beschrieben.

5. ZfP Prüfmethoden

Sinn und Zweck der Anwendung der ZfP Prüfmethoden ist es, Art und Lage von Fehlern in Bauteilen zu detektieren. Dies ist wichtig um die Bauteilqualität, bei deren Serienfertigung, durch die Überwachung von Fehlergrenzen, zu sichern. In der Entwicklung der Prototypen dienen die diversen Verfahren der ZfP dazu, die Ursachen der Fehlerentstehung zu erforschen und zu beseitigen.

Nach dem heutigen Stand der Technik können die oben beschrieben Fehlerarten mit den Prüfverfahren wie Ultraschall (UT), Thermografie (IRT), Shearografie (ST) und den auf den Röntgentechniken beruhenden Prüfverfahren wie 3D-Comutertomografie (CT) oder Laminografie [8, 9] detektiert und charakterisiert werden. Die physikalischen Verfahrenstechniken der einzelnen Prüfverfahren unterscheiden sich stark voneinander, was dazu führt, dass die Fehlerarten mit unterschiedlicher Prüfqualität detektiert werden.

Table 3. Prüfbarkeit of Defekten in monolithischen Laminaten

Defekte / ZfP-Verfahren	CT	PE-UT	TT-UT	IRT	ST
Delamination	+	++	++	+	+
Porosity	++	++	+	+	-
Undulation	+	?	-	-	+
Fibre crack	+	-	-	?	-

++ sehr gut, + gut, ○ bedingt gut, - nicht möglich oder unbekannt

Weiter Randbedingungen, wie die verwendeten Werkstoffe, die Bauweisen, die Größe der Bauteile und deren Zugänglichkeit, bestimmt die Auswahl der ZfP-Verfahren. Eurocopter Deutschland setzt deshalb unterschiedliche Prüfverfahren ein um die diversen Prüfprobleme optimal zu lösen [12]. Beispielhaft wird im Weiteren die Anwendung der ZfP-Methoden an Hubschrauberrotorblättern und Zellenbauteilen beschrieben.

5.1 Ultraschallprüfung

5.1.1 Konventionelle Ultraschallprüfung

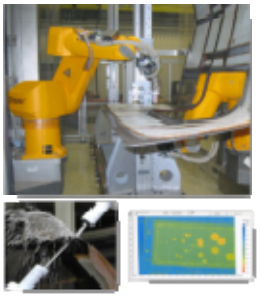
Die Großbauteile der Hubschrauberstrukturen, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, werden mit den klassischen Ultraschallprüfmethoden wie Impuls-Echo (monolithische Laminate) und Durchschallung in Squirter-Technik (Sandwich) geprüft. Bei der IE-UT Prüfung werden Einzelschwinger bis hin zu Multi-Element Phased Array Prüfköpfe verwendet. Im Rahmen des Produktionshochlaufs der CFK-Komponentenfertigung für die Helikopter NH90 und TIGER war es notwendig die UT Prüfungen zu automatisieren. Die UT-Sensoren werden dazu mit Hilfe von Robotern, entlang der komplex gekrümmtem Sandwich Kontur geführt. Das TWIN-Robotik Prüfsystem[9] ist in der Lage die Squirter-Düsen für die Durchschallungsprüfung, hochgenau zentriert und immer senkrecht zur Bauteilkonturen zu führen. Die Prüf-Patches und die dazugehörigen Prüfspuren werden in der CATIA-Umgebung programmiert und in einer Simulationsumgebung auf die Ultraschallprüfung vorbereitet. Auch die Prüfung der Passagiertür-Strukturelemente des AIRBUS A350, die in Tauch- und Kontakttechnik geprüft werden, werden auf diese Weise vorbereitet.



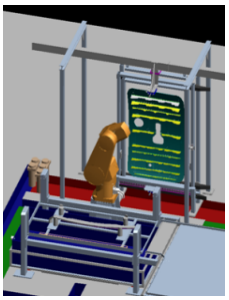
Phased Array Prüfung manuell



Kontakttechnik



Durchschallung



Tauch- und Kontakttechnik

Abb.10 Man. und Roboter unterstützte, automatisierte UT Prüfanlagen in Multi- und Phased-Array Prüftechnik

5.1.2 Luftultraschallprüftechnik

Zur Prüfung des integralen Sandwich Heckrotor Auslegers der EC145, ist die Luftultraschallprüftechnik [11] an CFK-Honeycomb Sandwichstrukturen qualifiziert worden. Die Prüfanlage zur automatisierten Prüfung des Tail Booms ist 2011 in Betrieb gegangen [17].

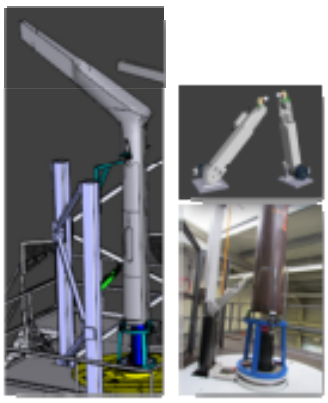


Abb.11 Luftultraschallprüfanlage -Durchschallungstechnik (TT)

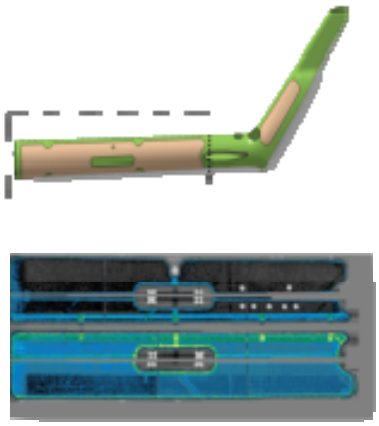


Abb.12 Heckausleger und TT-Scan

5.2 Computertomografie (CT)

5.2.1 Makro-CT

Für Eurocopter ist die Computertomografie ein wichtiges Entwicklungs- und Qualitätssicherungs- verfahren geworden. Schon in den späten 70-igern wurde die CT in der Hubschrauber-Komponenten-Erprobung, bei Ermüdungsversuchen an GFK-Rotorblättern, zur Rissdetektion und -vermessung angewendet. Seit 1993 setzt Eurocopter die Computertomografie auch als Qualitätssicherungswerkzeug ein, wie beispielsweise in der Serienfertigung von EC135-Rotorblättern, und trägt damit auch dazu bei, die Fertigungsgüte des Bauteils und die in den Nachweisprozessen ermittelte Lebensdauer zu gewährleisten. [3].

Auch bei der Fertigungsprozessoptimierung wir das CT Verfahren eingesetzt. Jährlich werden über 3000 Bauteile mit Hilfe eines medizinischen CT-Scanners geprüft.

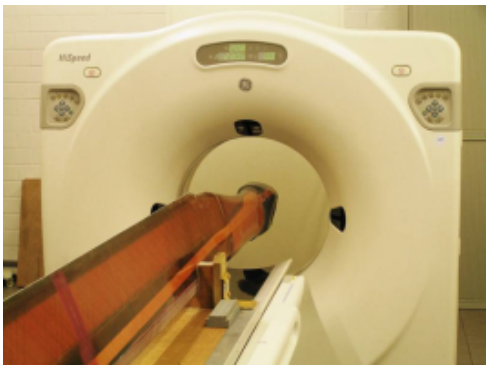


Abb.13 Medical CT-Scanner

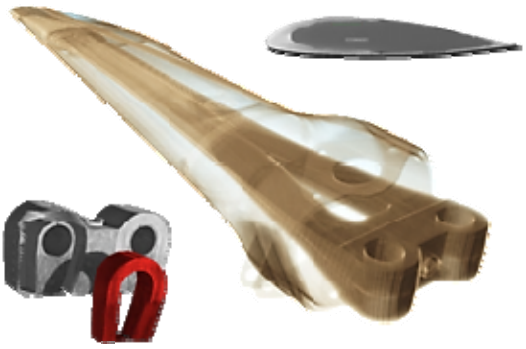


Abb.14 CT-Visualisierung des EC 135 GFK Rotorblattes

Die Vielzahl der „Faserverbund-Tomogramme“, die bei den CT Serienprüfungen anfallen, erfordern ein leistungsfähiges Visualisierung- und Bildverarbeitungstool. Hierzu wird die Software VG-Studio verwendet. Zudem ist es wichtig, die lokalen Faserorientierungen und-volumenverteilungen zu erkennen und zu charakterisieren. Mit Hilfe von speziellen Bildverarbeitungs-Algorithmen lässt sich eine automatisierte Auswertung ausführen. Der Schritt von der qualitativen Analyse der Tomogramme zur quantifizierenden Defektcharakterisierung wurde hier realisiert [12].

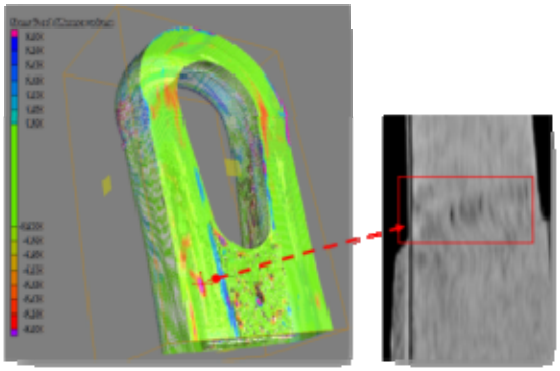


Abb.15 Referenzanalyse der Faserorientierung

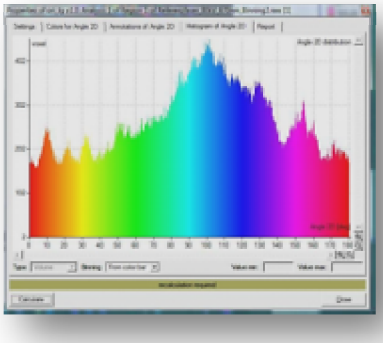


Abb.16 Histogramm Faserorientierung

Das Abb.15 zeigt das Ergebnisse eines Soll-Ist- Vergleichs der Faserorientierung einer lokalen Faserorientierung auf Voxel-Ebene. Mit Hilfe der Analyse Software können beliebige werkstoffspezifische, strukturelle Merkmale wie die von Faservolumenanteil oder Porositätsverteilungen miteinander verglichen werden.

5.2.2 Mikro-CT

Ergänzt wird die medizinische CT durch eine Mirco-CT Prüfanlage. Diese ist so konzipiert, dass kleine Materialproben und großen Bauteile, mit einem Voxel-Auflösungsvermögen von ab $(10\mu m)^3$ tomografiert werden können. Es stehen mehrere Mess- und Rekonstruktionsmodi zur Verfügung. Die Messmodi 3D-CT, Teilvolumen-CT, Transversal-CT, und Helix-CT [9, 8, 19] werden je nach Aufgabe und Bauteilkonfiguration ausgewählt. Die Material- und Fehlercharakterisierung erfolgt wie oben beschrieben mit VGStudio.



Abb. 17 Mikro-CT Rayscan 220

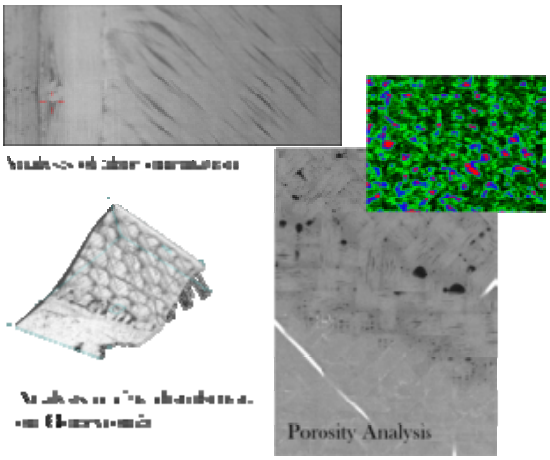


Abb. 18 Tomogramme von Faserverbundmaterialien

5.2.2.1 Mikro-CT als Referenzmethode

Wie oben beschrieben, werden CFK-Zellenstrukturteile mit Ultraschallmethoden geprüft. Ultraschall zeigt sehr sensitiv, Delaminationen durch Fehlerechos, und Porositäten durch ein vermindertes Rückwandecho, an. Die richtige Interpretation eines Fehlerechos (ob Delamination oder Schlauchpore) bei der Radienprüfung, oder des Rückwandechos auf die tatsächliche Volumenporosität, ist aus dem Ultraschallsignal direkt nicht ablesbar. Hier unterstützt nun die Mikro-CT Prüfung die Ultraschallprüfung. Echoanzeigen werden dadurch für den Prüfer besser interpretierbar. Deshalb wird bei Eurocopter die Micro-CT

bei der Qualifikation von Ultraschallprüfmethoden eingesetzt. Bild 19 zeigt beispielhaft diesen Vergleichsprozess. Rechts ein Tomogramm mit einer deutlich sichtbaren Delamination. Links ein S-Scan in dem eindeutig das Fehlerecho der Delamination in der richtigen Tiefe angezeigt wird. Bei der Entwicklung neuer ZfP-Prüfmethoden und Bewertungsmethoden leistet die Micro-CT, als Referenzmethode einen wichtigen Betrag.

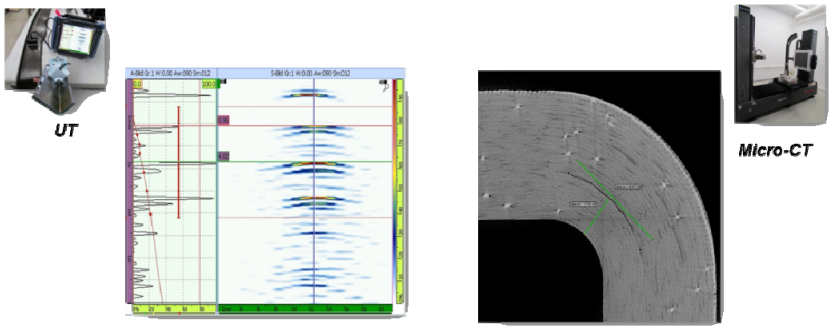


Abb.19. Validierung von Ultraschallanzeigen mittels Mikro-CT Analysen

Der klassische Anwendungsfall der CT bei Eurocopter, ist deren Einsatz zur Optimierung von Bauteilstrukturen und Fertigungsprozessen. Eine immer stärkere Bedeutung erhält die CT als eine unterstützende Methode bei der Durchführung der Fehleranalyse. Die Interpretation der Fehlerursache und der genauen, quantitativen Fehlercharakterisierung trägt entscheidend dazu bei die Fragen des „Effect of Defect“ besser beantworten zu können.

5.3 Optische ZfP Prüfmethoden

Die auf optischen Verfahren beruhenden Prüfmethoden wie Thermografie und Shearografie besitzen den Vorteil, dass großflächige Bauteilstrukturen schnell inspiziert werden können. Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, dass die Verfahren, je nach Anwendungsbedingung, eine selektive Fehlerdetektierung vornehmen können.

5.3.1 Thermografie

Die Prüfverfahren der aktiven Thermografie, wie OLT, ULT, PT, werden in der gesamten Breite ihres Leistungsspektrums bei Eurocopter angewendet. Verfahren für die Inspektion von Hubschrauberstrukturen aus Faserverbundmaterialien und Reparatur wurden qualifiziert und in entsprechende Vorschriften überführt.



Abb.20 OLT Prüfung einer CFK HC-Struktur

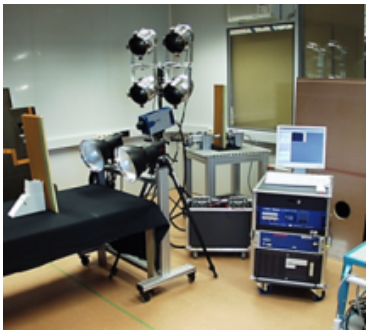
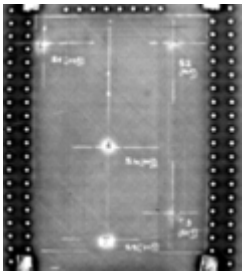
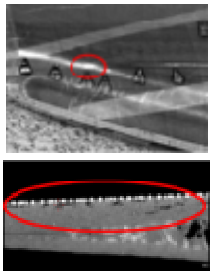


Abb.21 IRT Equipment des ZfP-Labors

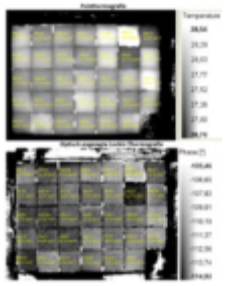
Thermografieverfahren werden in der Serienprüfung von CFK-Komponenten noch nicht angewendet. Allerdings zeigen diverse Untersuchungen, dass z.B. Porositäten in CFK-Laminaten sensitiv angezeigt werden. Eurocopter arbeitet intensiv daran das Potential der Thermografieverfahren weiter zu erschließen. Die anschließenden Bilder zeigen eine kleine Auswahl von Thermographie-Messergebnissen aus diesen Arbeiten.



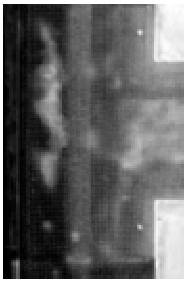
Anzeige von Impacts
- Delaminationen



Porositätsanzeigen:
- OLT Image
- CT Image



Phasenbilder von Proben mit unterschiedlichen Porositätsanteilen



Defekte in Reparatur-Patches

Abb.22 Thermografie Analysen an verschiedenen CFK Teilen

5.3.2 Shearografie

Das Potential der Shearografie ist in Gänze noch nicht voll ausgeschöpft. Ein interessanter Anwendungsfall ist, dass Ondulationen in Faserverbund-Laminaten mit Shearographie detektiert werden können. Untersuchungen zeigen, dass „out of plane“ Ondulationen empfindlich detektiert werden können. Zurzeit werden intensive Untersuchungen durchgeführt, um die Charakterisierung von Ondulationen mittels Shearografie vornehmem zu können [16].

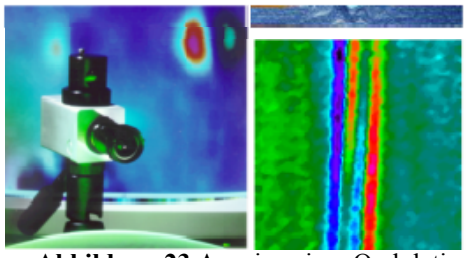


Abbildung 23 Anzeige einer Ondulation durch das Shearogrammm

6. Effect of Defect

Die Fragen des “Effect of Defect” (EoD) stellt sich immer dann, wenn zulässige Fehlergrößen definiert werden sollen und auch dann, wenn bei der ZfP-Prüfung am fertigen Bauteil zulässige Grenzwerte überschritten werden. Immer dann stellt sich die Frage: Kann die ZfP den Fehler in seiner Art, Größe und Lage im Bauteil genau quantifizieren? Dies sollte die ZfP-Methode möglichst leisten, damit ein Statiker eine genaue Vorstellung über den Fehlertypus erhält und damit eine entsprechende Aussagen zur Auswirkung des Fehlers auf die Bauteilqualität vornehmen kann.

Dazu ist es auch wichtig, dass entsprechende Material- und Defekt-Charakterisierungenskenntwerte vorliegen, die eine Festigkeitsminderung des Materials durch den Defekt beschreiben lassen. Abb. 24 zeigt einen entsprechenden Charakterisierung- und Validierungsprozess, am Beispiel des Defektes Porosität. Das Schema zeigt die Parallelität der Methoden: ZfP-Charakterisierung und Festigkeits-Charakterisierung. Links die Qualifikation des Ultraschall Impuls-Echo Verfahrens zu Charakterisierung des Porositätsgehaltes in einem CFK-Laminat und rechts die Ermittlung des Festigkeitseinflusses der Porosität auf den Materialkennwert. Als Referenzverfahren zur Porositäts -quantifizierung in den Proben wurde die Mirco-CT Prüfung validiert [15].

Ein weiteres Verfahren zur Bewertung von Fehlerarten und -größen auf das Schadensverhalten des Bauteils, ist z. B. das Einbringen von Fehlern, wie Impacts und künstlichen Delaminationen, in kritische Bauteilstrukturen die einem Bruchversuch unterzogen werden. Vor dem Bruchversuch, der für die Festigkeitszulassung des Bauteils obligatorisch ist, wurde das Bauteil mittels Luft-Ultraschall untersucht und die Defektlage

bestimmt. Während des Belastungsversuchs werden dann mit optischen Messmethoden, wie der Bildkorrelation, die Verformungen und die lokalen Dehnungsbeanspruchungen gemessen (s. Abb. 25).

Die Kombination der defektbeschreibenden ZfP mit den Methoden der zerstörenden Prüfung helfen dem Statiker seine Berechnungen zum Versagensverhalten des Bauteils zu verbessern.

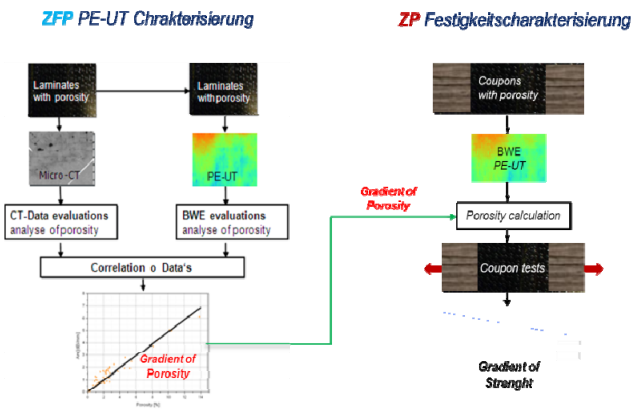


Abb. 24 ZfP und ZP Defekt Charakterisierung

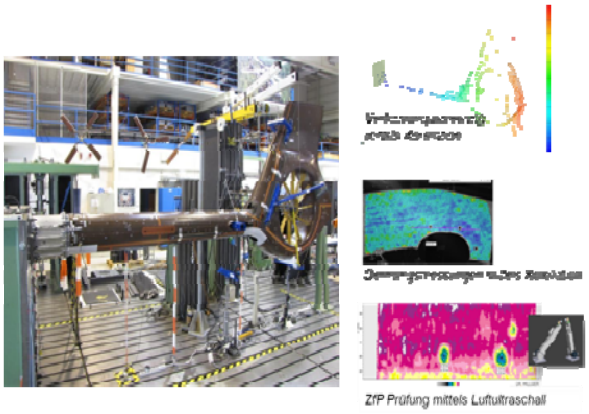


Abb. 25 Belastungstest an CFK-Sandwich Heckausleger

7 . Zusammenfassung

Der Bericht gibt einen Überblick über den Stand der ZfP-Methoden, die Eurocopter heute anwendet. Das Leistungspotential dieser Methoden wird noch lange nicht in Gänze ausgeschöpft. Zukünftige ZfP-Entwicklungsarbeiten haben das Ziel, dieses Leistungspotential zu erschließen und neue Methoden zu entwickeln. Diese können dann eventuell auch dazu beitragen neuartige, effiziente Faserverbund-Bauweisen zu realisieren. Dabei sind auch neue Ansätze gefragt die die Sichtweise auf die ZfP-Prozesse verändern werden. Die ZfP ist gefragt in ihrem ganzheitlichen Ansatz in der Anwendung im Prozess der „Bauteilrealisierung“. Von den Aspekten des Design to NDT, der Nachweisführung von Luftfahrtgerätebauteilen, dem Einsatz der InlineNDT zur Prozessüberwachung zum Erreichen robuster Fertigungsprozesse, der klassischen ZfP-Prüfung der Serienbauteile, den Aspekten des „Effect of Defect“ bis hin zum Einsatz im Maintenance, spannt sich der Bogen der ZfP-methodischen Anwendung und Ansätze.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich den Mitarbeitern des Teams und dem Management der Abteilung “Laboratory Test“, Dank und Anerkennung ihre exzellente Arbeit aussprechen. Auch dank für den Support der Abteilungen aus der Organisationseinheit „Laboratories, Processes and Materials“ der Eurocopter Deutschland GmbH. Ebenfalls auch Dank an alle QA-Abteilungen für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

[**1**] www.eurocopter.com

[2] Christian Weimer (Eurocopter Deutschland GmbH, München) , Andrea Miene (Faserinstitut Bremen), Eric van Landuyt (CTC GmbH, Stade),Volker Krajenski, Bernd Köhnke (DLR, Braunschweig), Franz Stadler (EADS - Military Aircraft Systems, Augsburg), Sven Preussler (Hightex, Dresden), Marco Göttinger (Eurocopter Deutschland GmbH, München), Dr. Thomas Bischoff, Falko Löhr (Saertex, Stade)
PROZESSBEGLEITENDE SCHADENSANALYSE (PROSA) - EIN WESENTLICHER BAUSTEIN FÜR DIE KOSTENEFFIZIENTE FERTIGUNG UND ANALYSE VON CFK-STRUKTUREN; *DGLR-Jahrbuch 2006, Band III, DGLR Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V.*

[3] R. Oster (Eurocopter Deutschland GmbH) COMPUTED TOMOGRAPHY AS A NON-DESTRUCTIVE TEST METHOD FORFIBER MAIN ROTOR BLADES IN DEVELOPMENT, SERIES AND MAINTENANCE *International Symposium on Computerized Tomography for Industrial Applications and Image Processing in Radiology, 1999, Berlin, Germany*

[4] R. Oster , B. Diewel; (Eurocopter Deutschland GmbH), ANWENDUNG DER COMPUTERTOMOGRAPHIE AN HUBSCHRAUBER- BAUTEILEN AUS FASERVERBUNDWERKSTOFFEN; *DGZfP Dachtagung, Sankt Gallen 2008*

[5] R. Pfaller, H. Basemir, K. Pfeifer (EUROCOPTER DEUTSCHLAND GmbH) ENTWICKLUNG SCHADENSTOLERANTER FASERVE,RBUNDSTRUKTUREN FÜR HUBSCHRAUBER; DEUTSCHER LUFT- UND RAUMFAHRTKONGRESS, *DLR-J2000-168*

[6] A. Engleder / S. Görlich / D. Strobel (EUROCOPTER DEUTSCHLAND GmbH) THE DEVELOPMENT OF AN INNOVATIVE COMPOSITE TAILBOOM; *37th ERF37th European Rotorcraft Forum 2011, Session: Structures & Materials*

[7] G. Wachinger1, C. Thum1, L. Llopart², A. Maier², H. Wehlan², T. Stöven³ G. Wachinger1, C. Thum1, L. Llopart², A. Maier², H. Wehlan², T. Stöven³ 1: EADS-IW, 2: Premium AEROTEC, 3: EADS-MAS, 4: ECD, 5Airbus 1: Munich, 2: Augsburg, 3: Manching, 4 Munich, 5: Bremen; NEW TRENDS IN CFRP TREATMENT AND SURFACE MONITORING FOR AUTOMATED STRUCTURAL ADHESIVE BONDING; *www.iccm-central.org/.../ICCM17proceedings/*

[8] B. Redmer[1], U. Ewert[1], C. Rädel1, U. Schnars[2], R. Oster[3], I. Bauscher[4], M. Eberhorn[4], R. Hanke [4];[1] Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung BAM Berlin, [2] Airbus Operations GmbH , Bremen [3] Eurocopter Deutschland GmbH , München , [4] Fraunhofer IIS, Development Center for X-ray Technology Fürth [Germany]; MOBIL TOMOGRAPHIE EIN LUFTFAHRTKOMPONENTEN; *D+S Seminar, Mannheim, November 2007*

[**9**] Ono, K. and Maisl, (Fraunhofer Institute for Non-Destructive Test Methods (IZFP), Saarbrücken, Germany) M. 2011. NONDESTRUCTIVE TESTING, 2. RADIOGRAPHY. ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY, ISBN: 9783527306732

[10] S. Gripp (IntelligeNDT Systems&Services GmbH) A TWIN ROBOT APPROACH FOR UT INSPECTION AND POROSITY EVALUATION OF COMPLEXSHAPED HELICOPTER COMPONENTS, ECNDT 2006

[11] W. Hillger, (Hillger Ing. Büro , Braunschweig ; Germany); NON-CONTACT ULTRASONIC IMAGING TECHNIQUES FOR COMPOSITE COMPONENTS, *WCNDT 2004*

[12] B. DIEWEL*, R. OSTER*, T. DIERIG**, Th. GÜNTHER**;* Eurocopter Deutschland, München, Germany; ** Volume Graphics, Heidelberg, Germany; COMPUTED TOMOGRAPHY IMAGE PROCESSING - AUTOMATED ANALYSIS ON GFRP HELICOPTERROTOR BLADES; International Symposium on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography - Poster 30, Berlin 2011

[**13]** Jochen HILLER, Stefan KASPERL, Tobias SCHÖN, Stefan SCHRÖPFER*; Daniel WEISS**; *Fraunhofer IIS, Development Center for X-ray Technology, Fürth Germany; **Carl Zeiss Industrielle Messtechnik, Oberkochen, Germany; COMPARISON OF PROBING ERROR IN DIMENSIONAL MEASUREMENT BY MEANS OF 3D COMPUTED TOMOGRAPHY WITH CIRCULAR AND HELICAL SAMPLING; *2nd International Symposium on NDT in Aerospace 2010*

[14] R. Oster[1], J. Schuller[1], G. Oelrich[2], R. Meier[3] 1 Eurocopter Deutschland GmbH; 2 Universität der Bundeswehr München,
3 IntelligeNDT Systems&Services GmbH KLASSIFIZIERUNG VON POROSITÄTEN IN CFK-LAMINATEN MIT HILFE VON ULTRASCHALL BASIEREND AUF MIKRO-CT UNTERSUCHUNGEN; *Poster: DGZFP Dachtagung, Salzburg, Mai* 2004.

[15] R. Stößel[1], D. Kiefel[1], R. Oster[2;] B. Diewel[2] ; L. Llopart Prieto3 EADS Innovation Works, Munich, 2Eurocopter Deutschland GmbH, Munich, 3Premium AEROTEC GmbH, Augsburg ; µ-COMPUTED TOMOGRAPHY FOR 3D POROSITY EVALUATION IN CARBON FIBRE REINFORED PLASTICS (CFRP), *International Symposium on Digital Industrial Radiology and Computed Tomography , 2011 Berlin*

[16] R. Hofer, B. Kolb, R. Oster, Eurocopter Deutschland, Ottobrunn, P. Menner, Universität Stuttgart, SHEAROGRAFIE - ZFP-METHODE FÜR FASERVERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE - EFFEKTGRÖßENBESTIMMUNG FÜR ONDULATIONEN, *DGZfP Dachtagung, Sankt Gallen 2008*

[17] J. Schuller, R. Oster, Eurocopter Deutschland, Ottobrunn,. Hillger, Ingenieurbüro Dr. Hillger, Braunschweig.J. Bosse, Robo-Technology, Puchheim. LUFTULTRASCHALLPRÜFUNG IN DER LUFTFAHRT, *DGZfP Dachtagung, Graz 2012*

[18] S. Gripp, intelligeNDT Systems & Services, Erlangen, P. Hinkel, CENIT, Stuttgart, M. Dambaur, Eurocopter Deutschland, Donauwörth, R. Oster, J. Schuller, M. Dambaur Eurocopter Deutschland, Ottobrunn P. Halbritter, intelligeNDT Systems & Services, Erlangen, Poster: ROBOTER IN DER US-PRÜFUNG – EIN WEITERER MEILENSTEIN, *DGZfP Dachtagung, Graz 2012*

[**19**] C. Sauerwein, M. Krumm, V. Hämmerle, RayScan Technologies GmbH, Reinhold Oster, B. Diewel, Eurocopter Deutschland GmbH, M. Sindel, Audi A: QUALIFIKATIONSUNTERSTÜTZUNG VON FASERVERBUND-BAUTEILEN FÜR DEN INDUSTRIELLEN EINSATZ MIT HILFE VON SPEZIALISIERTEN CT-VERFAHREN *DGZfP Dachtagung, Graz 2012*

[**20**] Hauf, M., 2012 Eurocopter Deutschland GmbH. VON DER CFK-PLATTE ZUM KOMPLEXEN INTEGRALBAUTEIL – WIE DIE ENTWICKLUNG DER FASERVERBUNDBAUWEISEN DIE ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG VORANTREIBT: VDI-TUM-Expertenforum: Bauteile und Werkstoffe quantitativ erfassen und verstehen, Garching, 17 Apr 2012