

# Titel: „Kostenreduktion in der Qualitätssicherung durch Roboter-basierte zerstörungsfreie Prüfung“

Autoren: Dipl.-Inf. Florian Krebs, Dr. rer. nat. Stefan Nuschele

Der Bedarf an Bauteilen aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) steigt im Bereich der Luftfahrt stark an. Der Einsatz von CFK für zivile Luftfahrt-Anwendungen setzt eine aufwändige und auch kostspielige Prüfung der gefertigten Bauteile voraus. Um einen wirtschaftlichen Einsatz von CFK zu gewährleisten, ist ein Wandel von der manuellen Fertigung hin zu einer integrierten automatisierten Produktion notwendig. Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Rationalisierung von Prozessen für die Herstellung und Prüfung von CFK Bauteilen beschrieben, die durch Industrieroboter eröffnet werden.

Die Strategie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) im Bereich der Strukturtechnologieentwicklung konzentrierte sich bisher auf die Entwicklungsstrecke von der Idee bis hin zum Demonstrator-Bauteil. Das DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) möchte die bestehende Industrialisierungslücke schließen und zusätzlich zum Demonstrator auch einen validierten, ressourceneffizienten Prozess anbieten. Für Unternehmen ergibt sich so die Chance der Entwicklung neuer Methoden für CFK Automationsanwendungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Industriemaßstab.

## **Einführung einer Produktionsintegrierten Qualitätssicherung**

Eine zentrale Rolle am ZLP Augsburg wird dabei eine produktionsintegrierte Qualitätssicherung auf Basis der Robotertechnik einnehmen. Bereits während der Herstellung sollen Produktionsschritte automatisiert mit zerstörungsfreien Prüfmethode kontrolliert werden. Fertigungsabweichungen können somit wesentlich früher erkannt und bewertet werden. Dies bietet wiederum die Chance fehlerhafte Bauteile schon frühzeitig dem Produktionsablauf zu entnehmen und gezielter als bisher Fehler zu korrigieren. Das anvisierte Einsatzspektrum liegt momentan vor allem in der Luftfahrt. Bisher werden CFK-Großbauteile meist erst nach Durchlaufen der komplexen Fertigungskette geprüft. Prozesszwischenschritte werden bislang oft nur qualitativ (zum Beispiel visuell) kontrolliert. Der Einsatz von Robotern könnte langfristig auch ermöglichen, große Stückzahlen unterschiedlich geformter CFK-Bauteile zu prüfen, wie sie z.B. als Clips (Haut-Spant-Verbindung im Rumpf) in Flugzeugen eingesetzt werden.

## **Stärke von Robotern: Flexibilität**

Roboter erlauben eine flexible Automation, da unterschiedliche Werkzeuge vom gleichen Manipulator gewechselt werden können und bieten damit eine effiziente Verknüpfung von Prozessen. Mittelfristig sollen Fertigungs- und Qualitätssicherungsprozesse auf einem Roboter zu einem Ablauf integriert werden. Ein modularer Aufbau, in welchem an jedem Roboter Arbeitsschritte oder Prüfungen durchgeführt werden können, bietet hohe Anwendungsflexibilität. Das Einsparpotential könnte enorm sein: Optimierte Prozessabläufe sparen dauerhaft Zeit, Material- und Personeneinsatz. Trotzdem ergeben sich seitens der Robotik zwei zentrale technologische Herausforderungen für den Einsatz von Industrierobotern in Prüfanwendungen.

Zum einen sind CFK-Bauteile prozessbedingt mit geometrischen Abweichungen versehen. Daher müssen Messverfahren und Roboterprogramme dies mitberücksichtigen. Das DLR ZLP arbeitet an der Entwicklung von Methoden die eine intelligente Reaktion auf Bauteilabweichungen zulassen und somit Fehlmessungen reduzieren sollen.

Zum anderen sind Industrieroboter darauf ausgelegt, dieselbe Aufgabe häufig zu wiederholen. Die sogenannte Wiederholgenauigkeit quantifiziert die Präzision mit der der Roboter an eine bekannte Position wieder zurückkehren kann. Im Gegensatz dazu bezeichnet Absolutgenauigkeit den Fehler mit der ein beliebiger Punkt im Arbeitsraum des Roboters angefahren werden kann.

Aufgrund der Bauteilabweichungen und der Größe der Bauteile ist es notwendig, Positionen exakt anfahren zu können. Kompensationssysteme erlauben es, Roboterbahnen zu überwachen und gegebenenfalls zu korrigieren (siehe Abbildung Externe Führung). So können Messpositionen sehr genau angefahren werden und Mehrfachprüfungen einer definierten Stelle reduziert werden. Zudem erlaubt eine exakte und unabhängige Erfassung der Messposition eine Zuordnung von Anomalien innerhalb der Bauteilgeometrie und vereinfacht so den nachfolgenden Bewertungsprozess erheblich.

### **Überprüfung einzelner Prozessschritte**

Die Frage, wo und wann entlang der Prozesskette geprüft wird, orientiert sich an den einzelnen, durch die Automatisierung vorgegeben, Prozessschritten. Dabei ist maßgeblich, dass die jeweiligen Prozessschritte durch die gewählten Messgrößen mit zerstörungsfreien Prüfmethoden zuverlässig abgebildet werden. Entlang der Prozesskette sind Fertigungstoleranzen festzulegen nach welchen die Prüfsysteme Abweichungen erkennen und anzeigen können.

Im Fall des Vakuuminfiltrationsverfahrens werden folgende Prozessschritte überprüft: Trockenfaserablage, Formgebung, Infiltration mit Aushärtung. Die Trockenfaserhalbzeuge werden dabei zuerst mit einem Roboter nach einem exakt berechneten Ablegeplan abgelegt. Um die Qualität der Ablage prozessintegriert zu überprüfen wurde ein Laserlichtschnittsensor weiterentwickelt und am Roboter integriert. Das berührungslose Messsystem liefert Aussagen über die Positionen und die Spaltgrößen der gelegten Faserhalbzeuge. Im nächsten Schritt, der Formgebung von Trockenfasern, werden zur Überprüfung von Faserrichtungen optische Kamerasystemen und Thermografie implementiert. Für die Prüfung des Endbauteils setzt man verstärkt auf Neuentwicklungen in der luftgekoppelten Ultraschalltechnik sowie auf die Thermografie. Alle Methoden kommen ohne Koppelmedien aus und erfordern zudem keine Vorbehandlung der Bauteile.

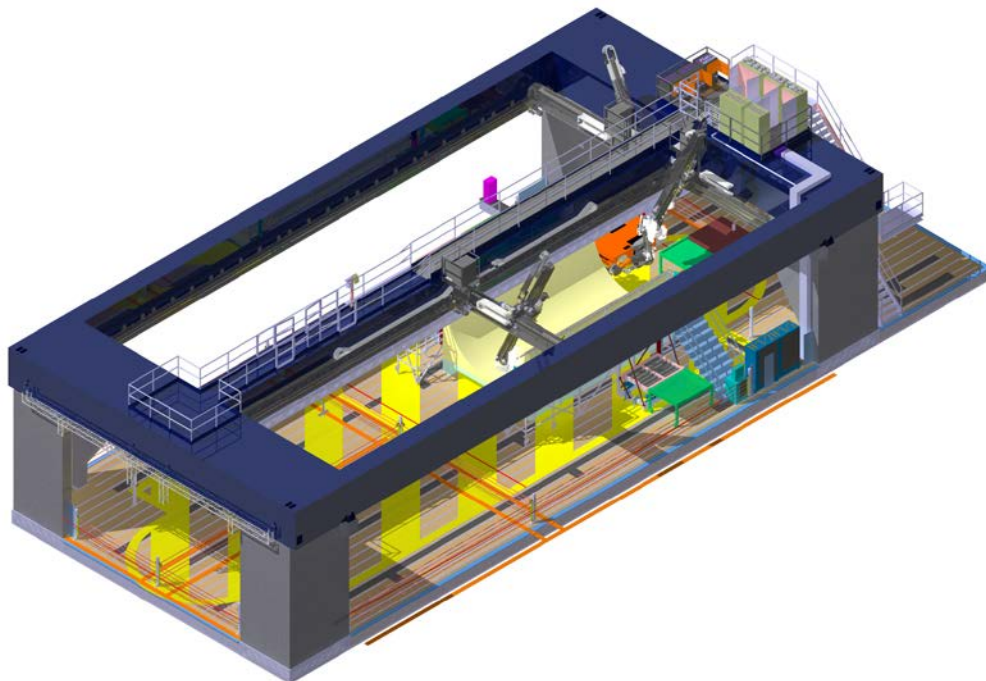
Die Auswertung der Messergebnisse nimmt zurzeit oft mehrere Tage in Anspruch. Ziel ist es deshalb, höhere Automatisierungsgrade in der Auswertung zu erreichen. Wurde ein Fehler detektiert, so kommt sowohl dessen Klassifizierung als auch der Kenntnis über dessen Auswirkungen auf die Bauteile eine immense Bedeutung zu („effects of defects“). Um zukünftig 3-D-Bauteile effizienter abbilden zu können, sind zunehmend auch CAD-Modelle mit in den Prüfprozess einzubeziehen.

Das Ziel am ZLP ist unter anderem, den Fertigungsprozess durch stark verkürzte Prüf- und Auswertezeiten effizienter zu gestalten. Dazu wird die Qualitätssicherung in den roboterbasierten Fertigungsverlauf integriert. Mit der Entwicklung der Großforschungsanlage MFZ (multifunktionale Zelle) (siehe Abbildung MFZ) entsteht zudem eine Plattform für zukünftige Prozessentwicklung und -validierung im industriellen Maßstab.

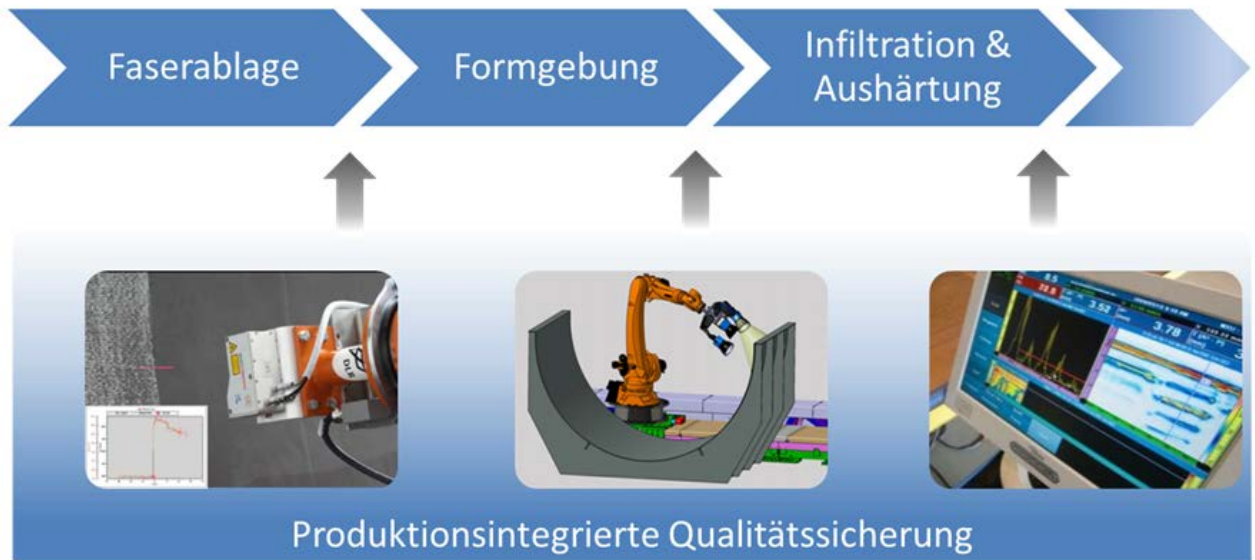
Bilder:



Bildunterschrift: Lasergestütztes Kompensationssystem zur Genauigkeitssteigerung von Roboterbahnen



Bildunterschrift: Multifunktionale Zelle: Forschung im Industriemaßstab



Bildunterschrift: Produktionsintegrierte Qualitätssicherung entlang des Vakuuminfiltrationsverfahrens