



## MESSEN UND PRÜFEN VON FASERVERBUNDBAUTEILEN

# Kombination etablierter und neuer Methoden

Ira Effenberger, Hector Vazquez Martinez,  
Alexander Schloske und Adrian Klieber, Stuttgart

Die Herstellung eines Faserverbundbauteils kostet fünf- bis sechsmal so viel wie eine vergleichbare Stahlkonstruktion. Mittels Inline-Messtechnik, die auf etablierten oder neuen Verfahren der Werkstoffprüfung basiert, lassen sich diese Kosten reduzieren. Wie weit ist diese Technik entwickelt und welche Potenziale hat sie?

Der industrielle Einsatz von Faserverbundwerkstoffen (FVK) hat in den letzten Jahren stark zugenommen. In den kommenden Jahren wird sich diese Entwicklung für die drei großen Industriezweige Automobilindustrie, Luftfahrt und Windenergie weiter fortsetzen [1].

Insbesondere die Automobilindustrie hat als Vertreter des Massenmarkts die Vorteile der Leichtbauweise erkannt und setzt in der Kleinserienfertigung zunehmend faserverstärkte Kunststoffe ein. Denn Faserverbundwerkstoffe ermöglichen

einerseits eine signifikante Gewichtsreduktion, andererseits sind sie trotzdem hoch belastbar und außerdem besonders temperaturstabil. Es ist somit absehbar, dass sich die Produktion von Bauteilen aus Verbundmaterialien zu einer Schlüsseltechnologie entwickeln wird. Die hohen Material- und Bearbeitungskosten stehen bislang jedoch einer flächendeckenden Einführung entgegen. Zudem stellen Qualitätssicherung und Zuverlässigkeitsnachweis für derartige Bauteile neue Herausforderungen an die Mess- und Prüftechnik.

Im Vergleich zu klassischen Werkstoffen weisen FVK durch ihre richtungsabhängigen Werkstoffeigenschaften eine wichtige Besonderheit auf. Je nach Richtung der Belastungseinwirkung ändert sich das mechanische Verhalten dieser Werkstoffe. Diese sogenannte Anisotropie ist mit ursächlich für die faserverbundtypischen Schadensbilder wie Porositäten, Delaminationen, Verklebungsfehler, Faserbruch sowie Fremdmaterialeinschlüsse, für deren Detektion es spezieller Prüfverfahren bedarf.

Für ein Faserverbundbauteil ist gegenüber einer funktionsgleichen Stahlkonstruktion mit etwa fünf- bis sechsfach höheren Herstellungskosten zu rechnen [2]. Dementsprechend gilt es, mit geeigneter Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle die Produktion von Ausschussteilen auf ein Minimum zu reduzieren. Insbesondere bei sicherheitskritischen Produkten spielt die Qualitätskontrolle eine entscheidende Rolle.

### Mess- und Prüftechnik für den Leichtbau

Für die äußere Inspektion von FVK können sowohl optische als auch taktile Verfahren zur Erfassung der Bauteiloberfläche eingesetzt werden. Damit lassen sich äußere Defekte erkennen und die Geometrie prüfen. Mit Streifenprojektion oder Laserlichtschnitt werden sehr schnell sehr dichte 3D-Oberflächendaten erzeugt. Hierbei sind die optischen Eigenschaften der CFK/GFK-Werkstücke zu berücksichtigen, um die geeignete optische Sensorik auszuwählen und zu parametrieren. Als



Bild 1. Verbundwerkstoff aus Schaumstoff und kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff

problematisch erweisen sich in diesem Zusammenhang insbesondere Klarlackschichten, die mit optischen Sensoren praktisch kaum erfassbar sind. Messpunkte entstehen nicht auf der Objektoberfläche, sondern auf der darunterliegenden Matrixstruktur. Hier kann durch taktile Messung Abhilfe geschaffen werden (Bild 2). Die Prüfung der inneren Strukturen und die zuverlässige Erkennung innerer Defekte sind für die Stabilität und den sicheren Einsatz von FVK von großer

Bedeutung und mit hohen Ansprüchen an die Technik verbunden. Hierbei kommen zerstörungsfreie Mess- und Prüfverfahren zum Einsatz, die auf unterschiedlichen Messprinzipien beruhen.

Wirbelstromverfahren werden typischerweise für die Bestimmung der Faserorientierung und die Detektion erheblicher Faserbrüche eingesetzt. Wassergekoppelte oder berührungslose luftgekoppelte Ultraschallverfahren werden für die Erkennung von Inhomogenitäten, »

**Literatur**

- 1 Heuss, R.; Müller, N.; van Sintern, W.; Starke, A.; Tschiesner, A.: Lightweight, heavy impact. McKinsey & Company, 2012, [www.afbw.eu/system/files/Lightweight\\_heavy\\_impact.pdf](http://www.afbw.eu/system/files/Lightweight_heavy_impact.pdf) (letzter Zugriff: 6.9.2013)
- 2 Lässig, R.; Eisenhut, M.; Mathias, A.; Schulte, R. T.; Peters, F.; Kühmann, T.; Waldmann, T.; Begemann, W.: Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen. Roland Berger, VDMA, 2012, [www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_Serienproduktion\\_hochfester\\_Faserverbundbauteile\\_20120926.pdf](http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_Serienproduktion_hochfester_Faserverbundbauteile_20120926.pdf) (letzter Zugriff: 6.9.2013)

**Autoren**

**Dipl.-Math. Ira Effenberger**, geb. 1971, ist Gruppenleiterin in der Abteilung Bild- und Signalverarbeitung am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart.

**M. Sc. Hector F. Vazquez Martinez**, geb. 1982, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Leichtbautechnologien am Fraunhofer IPA.

**Dr.-Ing. Alexander Schloske**, geb. 1959, ist Senior Expert Quality Management und Leiter der Stuttgarter Produktionsakademie sowie wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPA.

**Dipl.-Ing. Adrian Klieber**, geb. 1984, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Leichtbautechnologien am Fraunhofer IPA.

**Kontakt**

**Dipl.-Math. Ira Effenberger**  
T 0711 970-1853  
[ira.effenberger@ipa.fraunhofer.de](mailto:ira.effenberger@ipa.fraunhofer.de)

**Dipl.-Ing. Adrian Klieber**  
T 0711 970-1553  
[adrian.klieber@ipa.fraunhofer.de](mailto:adrian.klieber@ipa.fraunhofer.de)

**QZ-Archiv**

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/645571](http://www.qz-online.de/645571)



**Bild 2.** Oberflächen- und Rauheitsmessung einer bearbeiteten CFK-Struktur mit herkömmlichen Tastschnittverfahren

Porositäten, Fügungen und Klebeflächen, Rissen und Delaminationen verwendet. Diese sind jedoch eher für ebene oder leicht gekrümmte CFK/GFK-Bauteile geeignet. Bei der Thermografieprüfung werden oberflächliche und oberflächennahe verborgene Strukturen oder Defekte erkannt. Aufgrund der schnellen Datenaufnahme und Auswertung ist sie auch als prozessintegrierte Prüfung einsetzbar.

Röntgen-Computertomografie (CT) wird für die zerstörungsfreie und vollständige 3D-Mess- und Prüftechnik an FVK genutzt, insbesondere zur Stichprobenprüfung bzw. als Referenz für die prozessintegrierte, qualitative Prüftechnik. Bei guter Ortsauflösung und entsprechendem Kontrast eignet sich die CT zur vollständigen Abbildung von inneren und äußeren Strukturen von CFK/GFK-Materialien und bietet die Möglichkeit, alle relevanten Qualitätsparameter zu erfassen. Innenliegende Defekte werden nicht nur

erkannt, sondern sind auch quantitativ auswertbar, d.h. die Lage im Raum und die Defektgröße werden bestimmt.

Eine weitere vielversprechende Technologie im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung ist die Inspektion mithilfe von Terahertz-Strahlung, die nichtmetallische und nicht polarisierende Materialien durchstrahlen kann. Aufgrund der begrenzten Durchstrahlbarkeit von CFK ist diese Technologie eher für Oberflächenfehler bzw. oberflächennahe Fehler geeignet und kann ergänzend zu anderen Prüfverfahren eingesetzt werden.

Die Kombination zweier oder mehrerer Prüftechnologien zur Qualitätssicherung von Verbundwerkstoffen kann große Vorteile in Bezug auf die Fehlerdetektionsrate ergeben. Eine Möglichkeit bietet hier z.B. die Kombination der Thermografie und der Shearografie. Durch die Thermografie können Inhomogenitäten in Temperaturfeldern sowohl örtlich als

**FACHTAGUNG****Mess- und Prüfpraxis für den Leichtbau**

„Qualität messen – Mess- und Prüfpraxis für den Leichtbau“ heißt eine Tagung, die am 13. und 14. November in der Schwabenhalle in Stuttgart-Fellbach stattfindet. Die Tagung wird von der QZ Qualität und Zuverlässigkeit und der Deutschen Gesellschaft für Qualität (DGQ) organisiert. Partner ist das Stuttgarter Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Vorträge aus Industrie und Forschung zeigen Trends und aktuelle Entwicklungen in der Qualitätssicherung für Leichtbauteile auf. Zudem werden Mess- und Prüfsysteme für die spezifischen Anforderungen

von Leichtbaustrukturen vorgestellt. Experten aus dem Automobil- und Flugzeugbau sowie eines akkreditierten Prüfinstituts für die Fahrradherstellung berichten über ihre Erfahrungen mit Leichtbauwerkstoffen. Zur Diskussion stehen Ergebnisse zerstörungsfreier Prüfungen sowie Sicherheits- und Qualitätsrichtlinien und betriebswirtschaftliche Aspekte.

**Termin:** 13. und 14. November 2013

**Ort:** Stuttgart-Fellbach

**Preis:** 990 Euro (bei Anmeldung bis 10.10.2013)

**Anmeldung:** [www.qualitaet-messen.de](http://www.qualitaet-messen.de)



auch zeitlich ausgewertet werden, wohingegen die Shearografie ein laserinterferometrisches Verfahren darstellt, das Verformungsgradienten von Oberflächen und abgeleitet hiervon Deformationen abbildet. Die Thermografie bietet Vorteile bei der Detektion von kleinen, oberflächennahen Defekten, die Shearografie hingegen ist das Verfahren der Wahl bei flächigen, tiefer liegenden Defekten. Durch die Kombination dieser Prüfverfahren lässt sich der Defektnachweis, z. B. von Impactschäden, Porositäten oder Delaminationen, um 20 Prozent gegenüber den Einzelverfahren steigern.

### **Herausforderung automatisierte Messdatenanalyse**

Bei allen Messverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von FVK stellt die automatisierte Analyse der Messdaten eine Herausforderung dar. Hierzu ist eine objektive Fehlerdefinition notwendig, um eine reproduzierbare Auswertung und Interpretation der Messergebnisse zu er-

möglichen. Insbesondere für die 100-Prozent-Prüfung im Prozess muss die Fehlererkennung und Charakterisierung daher automatisch mithilfe einer schnellen und robusten Auswertungssoftware erfolgen.

Nicht nur bei Leichtbauteilen zählt die Null-Fehler-Produktion heute zu den vorrangigen Zielen eines jeden Unternehmens. Sie beeinflusst maßgeblich die Wertschöpfung und stellt damit eine der wichtigsten Stellgrößen für eine nachhaltige Unternehmensstrategie dar. Prinzipiell kann man sich dem Ziel der Null-Fehler-Produktion entweder von der Fehlervermeidung oder von der Fehlerentdeckung her nähern, wobei die Fehlervermeidung den Vorrang haben sollte. Bei der Fehlervermeidung stehen die das Produkt beeinflussenden Fehlerursachen im Vordergrund. Diese lassen sich mithilfe moderner Methoden (z. B. FMEA nach VDA) identifizieren und durch Planung geeigneter Maßnahmen (z. B. Poka Yoke) vermeiden.

Da sich Fehler, insbesondere bei menschlichen Einflüssen (z. B. manuelle

Prozess- und Montageschritte), nicht immer zu 100 Prozent vermeiden lassen, ist es in vielen Fällen notwendig, den Null-Fehler-Gedanken aus der Sicht des Kunden durch eine effektive Prüfplanung zu gewährleisten. Hierbei definieren die den Prozess beeinflussenden Fehlerursachen die zum Einsatz kommenden Prüfstrategien. So hängen beispielsweise die Prüfstrategien unter anderem davon ab, ob es sich um systematische Fehlerursachen (z. B. gebrochener Bohrer) oder zufällige Fehlerursachen (z. B. falsch positionierter Halbhohlstanzniet) handelt.

Letztendlich lassen sich klare und leicht verständliche Regeln für die Prüfstrategien (beispielsweise 100-Prozent-Prüfung, Erst- und Letztstückprüfung mit Rücksortierung, SPC-Prüfung) auf der Basis der zugrunde liegenden Fehlerursache sowie der Prozessgegebenheiten (z. B. fähige und beherrschte Prozesse, Inline- oder Offline-Messung, Losgröße) und der Prüfprozesseignung (z. B. Prüfmittelfähigkeiten, Zeitaufwand für Prüfung) definieren. □