



Instrumente oder Implantate aus CFK sind röntgentransparent. Was für die Medizin ein großer Vorteil ist, stellt die Qualitätsprüfung jedoch vor eine Herausforderung.

CFK-Komponenten sicher prüfen

@ www.med-eng.de/
514959

KONTAKT

Konmed GmbH
CH-6343 Rotkreuz
Tel. +41 (0)41 7904-333
Fax +41 (0)41 7904-332
www.konmed.ch
WMTF: Halle 2, A2010



1 CFK eignen sich zum Beispiel für Zielinstrumente

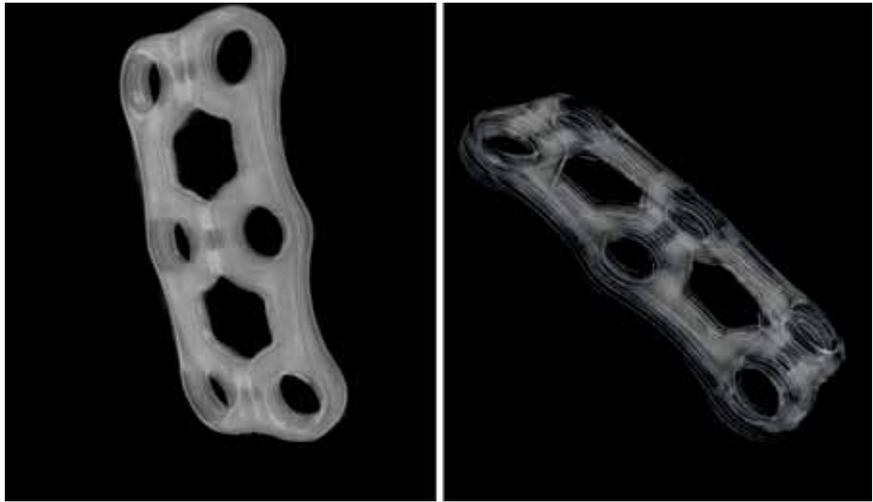
Karbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) sind ein Verbund aus Fasern wie Karbon, Aramid oder Glas und einer Kunststoffmatrix. An Kunststoffen wird in der Medizintechnik vor allem PEEK, PEI oder Epoxid eingesetzt. Eine der herausragenden Qualitäten von CFK ist die Röntgentransparenz. Metallische Instrumente und Implantate absorbieren die Röntgenstrahlung und verursachen bei der Radiografie und Computertomografie (CT) Artefakte, die im Röntgen- oder CT-Bild stören oder das Bild sogar unbrauchbar machen. Komponenten aus faserverstärkten Kunststoffen begünstigen aber nicht nur die Kontrolle des Heilprozesses, sondern sind auch bei der interventionellen Radiologie (IR) hilfreich, bei der während der Operation beispielsweise geröntgt wird, oder auch bei minimalinvasiven Eingriffen. Aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften können CFK in vielen Anwendungen Metalle wie rostfreien Stahl, Titan- oder Chrom-Kobalt-Legierungen ersetzen, obwohl ihre spezifische Dichte mit nur $1,6 \text{ g/cm}^3$ um Faktoren geringer ist als die der metallischen Pendanten. Faserverstärkte Kunststoffe weisen anisotrope Eigenschaften auf, was sich geschickt für funktionale Bauteile nutzen lässt. Implantate aus CFK können daher so konzipiert werden, dass sie ähnliche Eigenschaften wie der menschliche Knochen haben. Durch

die richtige Wahl des Matrixwerkstoffs werden die Bauteile heißdampfsterilisierbar und sind äußerst korrosionsbeständig. Ein exzellentes Ermüdungsverhalten sowie sehr gute Biokompatibilität und Biostabilität prädestinieren den Werkstoff für Instrumente und Implantate. Beispiele dafür sind Zielinstrumente (**Bild 1**), Wundspreizer (**Bild 2**) und Hohmann-Retraktoren oder externe Fixationsstäbe aus karbonfaserverstärkten Kunststoffen. Der Hauptgrund ist hier die Röntgentransparenz, aber auch die Festigkeit, Leichtigkeit und andere oben angeführte Eigenschaften. Bei Implantaten werden Cages für die Wirbelsäule, zervikale Platten (**Bild 3**) oder interne Fixationsstäbe aus CFK eingesetzt. In der Orthopädie und Traumatologie findet sich das Material in Marknägeln, Osteosyntheseplatten oder beim Gelenkersatz.

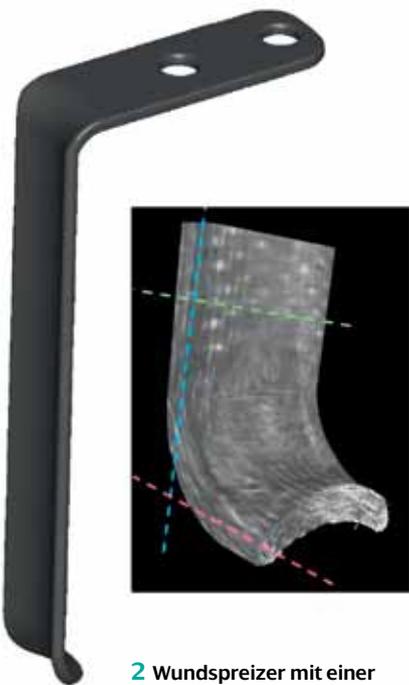
Durch unterschiedliche Verarbeitungsverfahren erzielt man die Eigenschaften, die das Bauteil haben soll. Kurzfaserverstärkte Kunststoffe können spritzgegossen oder extrudiert werden. Bei größeren Stückzahlen senkt das den Bauteilpreis. Höhere mechanische Ansprüche lassen sich durch langfaserverstärkte Kunststoffe erreichen. Im Falle von thermoplastischen Matrixmaterialien werden diese normalerweise gepresst

oder thermisch verformt. Bei duroplastischen Materialien wird gepresst, laminiert oder per RTM (Resin Transfer Molding) vergossen. Halbzeuge, die mit den aufgeführten Verfahren produziert werden, lassen sich durch mechanische Bearbeitung zu komplexen Bauteilen verarbeiten, was sich auch bei kleineren Stückzahlen lohnt. Der Einsatz von CFK erfordert aber nicht nur das Beherrschen des Produktionsprozesses, sondern auch eine andere Art der Qualitätsprüfung als bei Metallprodukten.

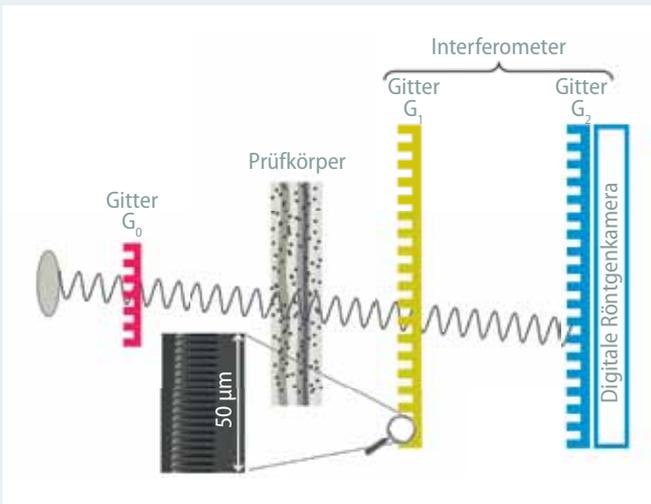
Im Unterschied zu metallischen Werkstoffen, die bereits als Halbzeuge geprüft und entsprechend zertifiziert angeliefert werden, ist die Qualitätssicherung bei faserverstärkten Kunststoffen etwas komplexer. Da sie aus mindestens zwei Materialien bestehen, können Lufteinschlüsse, Fehlstellen oder Delaminierungen entstehen. Schliffbilder bringen hier meist nur die halbe Wahrheit zutage. Gerade bei Implantaten ist eine verlässlichere und quantifizierbare Prüftech- ➤



3 Zervikale Platte aus langfaserverstärktem PEEK mit Röntgenbild



2 Wundspreizer mit einer Röntgenaufnahme: Die heikle Stelle ist der Übergang oben vom rechten Winkel in die Gerade zu den beiden Bohrungen



4 Phasenkontrast- und Dunkelfeldröntgen: Bei der Methode arbeitet man mit einem Interferometer, bestehend aus den drei Gittern G0, G1 und G2

» nik vonnöten. Die herkömmliche Radiografie gibt Einblicke in das Innere von Prüfkörpern, da Röntgenstrahlung dichte Materie durchdringt. Genauer gesagt, wird bei der Durchleuchtung des Prüfkörpers die Intensität des Röntgenstrahls teilweise abgeschwächt. Dadurch entsteht ein Schattenwurf – das Röntgenbild. Aufgrund der lokal unterschiedlichen Abschwächung zeigt das Röntgenbild Dinge, die von außen nicht zu erkennen sind, beispielsweise einen Knochenbruch. In der Physik bezeichnet man die für den Bildkontrast verantwortlichen Eigenschaften der Röntgenstrahlung Absorption. Einen guten Bildkontrast liefern daher Objekte wie Metalle oder Knochen, weil sie die Röntgenstrahlung stark absorbieren. Materialien wie Kunststoffe oder weiches Gewebe dagegen sind sogenannte schwache Absorber, die wenig oder gar keinen Kontrast liefern. Aus diesem Grund eignet sich das herkömmliche Röntgen für die Untersuchung und Prüfung von CFK-Komponenten nicht.

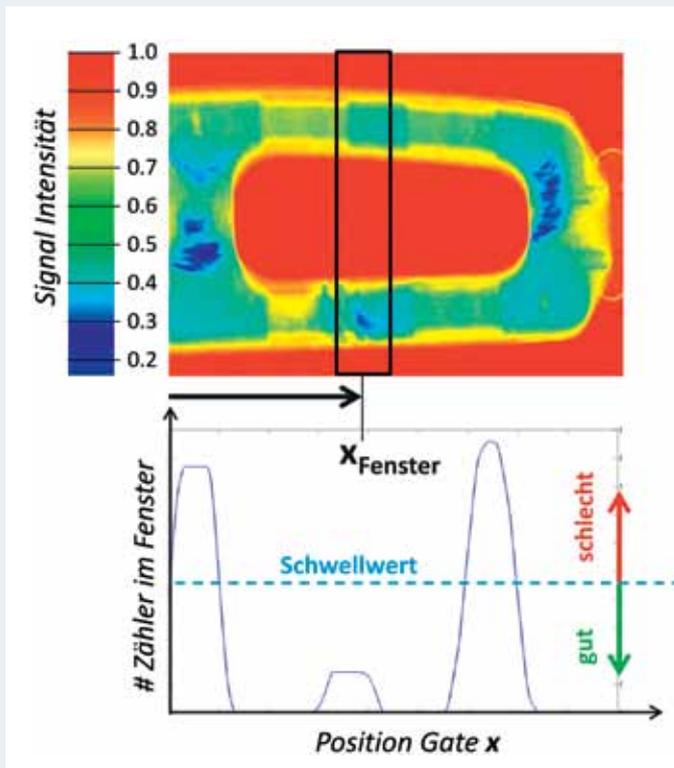
In den vergangenen Jahren wurde eine neuartige Methode entwickelt, die zwar Röntgenstrahlung einsetzt, aber statt der Absorption andere Eigenschaften der Röntgenstrahlung nutzt, um ein Durchleuchtungsbild zu erzeugen. Röntgenstrahlen erfahren beim Durchdringen eines Mediums nämlich eine Ablenkung der Ausbreitungsrichtung. Analog zur Brechung von sichtbarem Licht hängt dieses Phänomen mit dem Wellencharakter der Strahlung respektive der Phasenlagen der Wellenfronten (**Bild 4**) zusammen. Aus diesem Grund nennt man dieses Verfahren Phasenkontrastströntgen. Aufgrund des verbesserten Bildkontrasts bei der Weichteilradiografie bietet das Phasenkontrastströntgen neue Möglichkeiten in der medizinischen Bildgebung.

Als attraktiv für die Qualitätsprüfung von Komponenten und Bauteilen aus Verbundwerkstoffen erweist sich neben dem Phasenkontrast ein weiterer bei diesem Verfahren zugänglicher Bildkontrast, der als Dunkelfeldkontrast bezeichnet wird.

Röntgenstrahlung wird nämlich beim Durchdringen des Prüfkörpers nicht nur abgeschwächt und abgelenkt, sondern auch diffus gestreut. Diese Streuung findet immer dann statt, wenn das durchleuchtete Material eine Struktur auf einer mikroskopischen Skala aufweist. Interessanterweise verursachen Verbundwerkstoffe aufgrund ihrer Struktur eine äußerst starke Röntgenstreuung. Ihre mikroskopische Struktur, bestehend aus den ausgerichteten Fasern oder Faserbündeln und eingebettet in eine Matrix aus Kunststoff, sorgt daher für hervorragende Kontraste in Dunkelfeldaufnahmen.

Das Dunkelfeldröntgen für das Prüfen von Verbundwerkstoffen und Bauteilen wurde am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM), einer privaten Research and Technology Organization, erforscht und entwickelt. Dank der Charakterisierung mittels Dunkelfeldbildern lassen sich Rückschlüsse über Prüfkörper ziehen, für die bislang keine zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Verfügung standen. Die Methode ermöglicht die Detektion, Lokalisierung und Quantifizierung von Fehlstellen und Defekten wie Mikrorissen, Delaminationen und Porosität. Ihre Stärke liegt in der Empfindlichkeit für mikroskopische Charakteristiken selbst an sehr großen Prüfkörpern. **Bild 2** zeigt ein Dunkelfeld-Röntgenbild mit den kritischen Stellen eines Wundspreizers. Der hier gezeigte Verlauf und die Ausrichtung der Faserbündel lässt sich mit einer einzigen Messung in weniger als einer Minute darstellen. Mit dieser Methode lassen sich besonders gut anisotrope, mechanische Eigenschaften überprüfen. **Bild 3** zeigt eine Traumaplatte, die so konzipiert worden ist, dass sie durch die Orientierung der Faserschichten eine richtungsabhängige Starrheit aufweist. **Bild 5** zeigt, dass die porösen Bereiche in einem spritzgegossenen Spine Cage mit nur einer einzigen Projektionsaufnahme detektiert und quantifiziert werden können. In der illustrierten, automatischen Auswertung fährt das eingezeichnete Kontrollfenster von links nach rechts und zählt dabei in jeder Position die Anzahl Bildpunkte, für die die Signalintensität unterhalb eines definierten Werts liegt. Damit lässt sich ein „Defektprofil“ erzeugen, das die quantitative Beurteilung „gut“ oder „schlecht“ des Prüfkörpers ermöglicht. Die Messdauer beträgt weniger als eine Minute pro Probe. Im Gegensatz dazu dauern Tomografieaufnahmen eine Stunde und länger. Damit ist es grundsätzlich denkbar, die Prüfung in die Produktion zu integrieren und jedes Bauteil zu prüfen, um höchstmögliche Sicherheit zu erreichen.

Immer häufiger bedingen die Herstellungsprozesse von komplexen Bauteilen die Verbindung oder das Verschweißen mehrerer Komponenten. Auch hier ist der Dunkelfeldkontrast sehr interessant, da sich Materialveränderungen genauso leicht feststellen lassen wie Bereiche mit ungenügender Verbindung. Während konventionelle Prüfungen mit Schlibfbildern oft nur schwer zu interpretierende Resultate liefern, kann das Werkstück mit der Dunkelfeldkontrastmethode als Ganzes zerstörungsfrei untersucht und dreidimensional dargestellt werden. Mit dieser Methode lässt sich der Prozess validieren und genau verstehen. Aufwändige Schlibfbildprüfungen sind überflüssig.



5 Die Auswertungsergebnisse von einem Spine Cage liegen in weniger als einer Minute vor

Somit entfallen die Materialkosten für die zerstörend geprüften Implantate. Aus den digitalen Daten lassen sich die Fehlergröße und -häufigkeit automatisch eruiieren und so klare Go- oder No-Go-Kriterien definieren. Damit ist ein kritischer Punkt der visuellen Prüfung ausgemerzt, nämlich die vom Prüfer abhängige Beurteilung. Ein interessantes Feld ist auch die Untersuchung von Schadensursachen und dem Zustand von explantierten Implantaten. Im Gegensatz zu Metallimplantaten ist die Analyse bei Kompositimplantaten nämlich schwieriger.

KonMed hat sich auf die Entwicklung und Herstellung von Bauteilen aus karbonfaserverstärkten Kunststoffen spezialisiert. Die Anwendung und die Beanspruchungen werden analysiert, die richtige Materialwahl getroffen und das Herstellungsverfahren den Materialien und der Stückzahl angepasst. Das Auslegen der Bauteile in einem Material mit anisotropen Eigenschaften bietet einzigartige Möglichkeiten, funktionale Produkte zu entwickeln. Das Unternehmen bringt die entsprechende Erfahrung und das erforderliche Know-how für diese Aufgabe mit.

Das CSEM ist Koordinator des Forschungsprojekts ›Failure and defect analysis of fibre composite materials by means of X-ray interferometry‹. Das Projekt wird vom Competence Centre for Materials Science and Technology, kurz CCMX, gefördert. ■



Konrad André
ist Mech.-Engineer HTL und
Managing Director von KonMED
in Rotkreuz.
a.konrad@konmed.ch



Kottler Christian
ist Physiker (Phd) und Senior R&D
Engineer bei CSEM SA.
christian.kottler@csem.ch