

# Leichter fertigen

Runter mit dem Gewicht – das ist ein Weg, den Energiebedarf von Autos, Flugzeugen und Zügen zu senken und so auch den Kohlendioxid-Ausstoß zu reduzieren. Leichtbau gilt als eine Schlüsseltechnologie, um Ressourcen effizienter einzusetzen und hochwertige Produkte fertigen zu können.

Text: Birgit Niesing

## Fraunhofer-Allianz Leichtbau

Um neue Materialien, Fertigungs- und Fügetechnologien sowie Prüfverfahren für den Leichtbau zu entwickeln, haben sich 15 Fraunhofer-Institute in der Allianz Leichtbau zusammengeschlossen. Die Allianz bearbeitet die gesamte Entwicklungskette – von der Werkstoff- und Produktentwicklung über die Serienfertigung bis hin zur Zulassung sowie dem Recycling. Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Integrierte Schaltungen IIS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Lasertechnik ILT
- Produktionstechnologie IPT
- Silicatforschung ISC
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
- Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Werkstoffmechanik IWM
- Werkstoff- und Strahltechnik IWS
- Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Einparkhilfe, Airbags, Antiblockiersystem, Sitzheizung – Autos werden immer komfortabler und sicherer, aber auch schwerer. Die beliebten Sport Utility Vehicles, kurz SUV genannt, bringen schon mal zwei Tonnen und mehr auf die Waage. Aber auch Klein- und Mittelklassewagen wiegen meist mehr als 1,2 Tonnen. Doch nun heißt es Abspecken: Denn von 2020 an gelten in Europa strengere Grenzwerte für die Kohlendioxid-Emissionen von Fahrzeugen. Dann sollen neue Autos im Schnitt nur noch maximal 95 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer ausstoßen – derzeit sind es noch 130 Gramm.

Um diese Vorgaben zu erfüllen, müssen die Wagen leichter werden: Wiegt ein Auto 100 Kilogramm weniger, reduziert sich der Spritbedarf um 0,4 Liter pro 100 Kilometer und die Kohlendioxid-Emissionen sinken um bis zu zehn Gramm. Eine Möglichkeit Gewicht zu sparen, bietet die Karosserie. Noch setzen Autobauer hier vor allem auf den Werkstoff Stahl. Dass dies sich ändern wird, ist das Ergebnis der Studie »Karosserieleichtbau – Raus aus der Nische« der Unternehmensberatung Berylls Strategy Advisors. Künftig werden verstärkt Leichtbaumaterialien wie hochfester Stahl, Aluminium, Magnesium oder Verbundwerkstoffe verbaut. Der weltweite Markt für den Karosserieleichtbau wächst bis 2025 um durchschnittlich 15 Prozent pro Jahr auf 100 Milliarden Euro. Interessant ist der Leichtbau nicht

nur für Autobauer. Auch Hersteller von Flugzeugen, Zügen, Windkraftanlagen, Maschinen und Anlagen wollen das Gewicht ihrer Produkte senken. Die McKinsey-Studie »Lightweight, heavy impact« prognostiziert, dass der weltweite Markt für Leichtbaumaterialien jährlich um acht Prozent wachsen wird auf mehr als 300 Milliarden Euro in 2030.

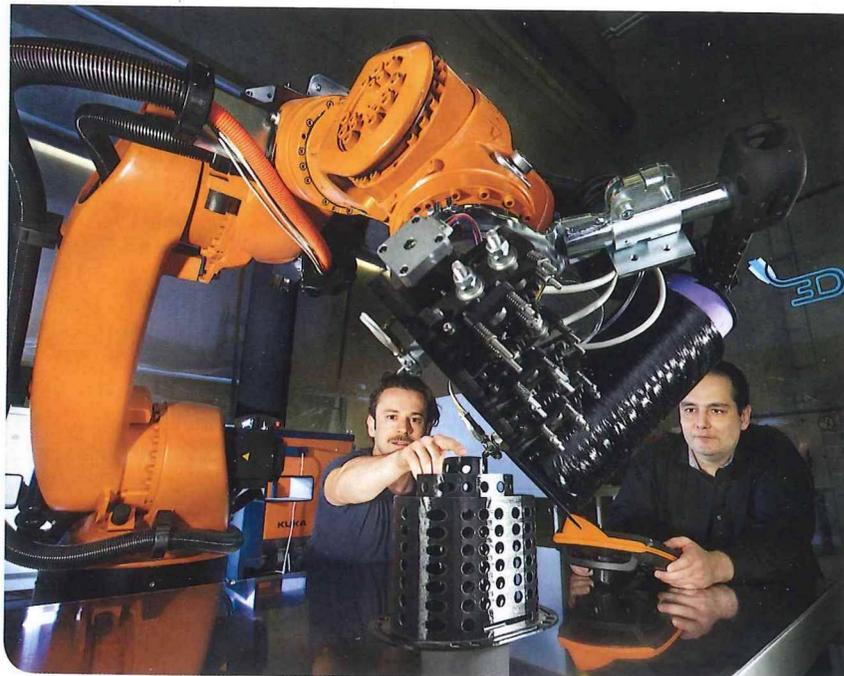
»In Zeiten knapper werdender Ressourcen und eines steigenden Umweltbewusstseins gehört der Leichtbau zu den Schlüsseltechnologien«, betont Professor Andreas Büter, Sprecher der Fraunhofer-Allianz Leichtbau (siehe Kasten). Doch während Ingenieure im Umgang mit Stahl über langjährige Erfahrungen verfügen, steht das Fertigen mit Leichtmetallen, Metallschäumen und Verbundwerkstoffen erst am Anfang. Hier gibt es noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf. »Es gilt einen wirtschaftlichen Kompromiss zu finden zwischen Gewichtsminderung auf der einen Seite und hinreichender Steifigkeit, Stabilität und Betriebsfestigkeit auf der anderen Seite«, sagt Büter. »Die Herausforderung ist, das richtige Material am richtigen Platz zu verwenden.

Besonders leicht und dennoch stabil sind Faserverbundkunststoffe FVK, bei denen Fasern aus Glas, Kohlenstoff oder anderen Materialien in eine Kunststoffmatrix eingebettet werden. Je nach Anforderung können die Fasern in mehreren

Carbon macht Flugzeuge leichter. © Airbus



Der »3D Fibre Printer« des Fraunhofer IPA ermöglicht generative Fertigung thermoplastischer Kunststoffteile mit integrierter Endlos-Karbonfaser. © Wolfram Scheible



Das erste in Großserie gebaute Auto mit Carbon-Fahrgastzelle bei BMW. © bimmertoday.de

Lagen mit unterschiedlicher Ausrichtung übereinandergelagt werden. So lassen sich die Eigenschaften des Bauteils optimal für den jeweiligen Einsatzort maßschneidern. Großes Potenzial für den Leichtbau haben kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, kurz CFK. CFK-Komponenten, umgangssprachlich auch als Carbon-Bauteile bezeichnet, sind häufig nur etwa halb so schwer wie Stahlbauteile und dennoch genauso crashsicher. Die Formel 1 setzt schon seit Jahren auf den ultraleichten Werkstoff. Und auch bei Verkehrsflugzeugen lösen CFK langsam den Werkstoff Metall ab. So macht das Material bei den neuen Maschinen Boeing 787 und Airbus A350 schon zu mehr als die Hälfte ihres Gewichts aus. Anders ist es im Autobau. In Serienwagen kommt der leichte Werkstoff selten zum Einsatz. Die Gründe: Noch sind CFK-Bauteile deutlich teurer als die gleichen Komponenten aus Stahl. Zudem ist die Fertigung aufwändig. Dennoch beginnen auch erste Autohersteller, Carbonfaser zu nutzen: Einige Premiumfahrzeuge enthalten schon CFK-Bauteile und im Elektroauto BMW i3 ist die Fahrgastzelle aus Carbon gefertigt.

Fraunhofer-Forscher arbeiten daran, dass künftig noch weitere Fahrzeugkomponenten aus diesen Materialien in Serie hergestellt werden können. Experten aus dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt entwickelten einen Querlenker aus Kohlenstofffasern. Das Bauteil ist 35 Prozent leichter als ein aus Stahl gefertigter Querlenker. Um die auf die Komponente wirkenden Kräfte gezielt abzufangen, sind die verstärkenden Fasern in Lastrichtung ausgelegt. Integrierte piezoelektrische Wandler verhindern, dass das Leichtbauteil in Schwingungen gerät. Die Forscher planen schon weiter: Mit faseroptischen Sensoren und einem Lichtleiterkabel wollen sie den Querträger kontinuierlich überwachen. Eingebaut in ein Fahrzeug erlaubt dieser »Mess-Querlenker« es, alle im Betrieb auftretenden Lasten zu erfassen und mit den Auslegungsdaten zu vergleichen. Bei betriebsfester Auslegung mit abgesicherten Lastdaten lässt sich das Gewicht einer Komponente so um bis zu 40 Prozent reduzieren. Ein solches »Loadmonitoring System« ermöglicht es darüber hinaus auch über eine Online-Lebensdauerabschätzung den Fahrer auf potenzielle Betriebsschäden hinzuweisen und damit ein rechtzeitiges Austauschen kritischer Bauteile sicherzustellen.

»Innovative Leichtbaulösungen können mehr als nur das Gewicht senken«, weiß Professor Frank Henning vom Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT in Pfnitzal bei Karlsruhe. Der Experte leitet den Lehrstuhl für Leichtbautechnologie am Institut für Fahrzeugsystemtechnik am Karlsruhe Institut für Technologie KIT und die Abteilung Polymer Engineering am ICT. »Dank neuer Fertigungsverfahren lassen sich sogar komplexe Bauteile komplett in einem Stück herstellen, die verschiedene Funktionen in sich vereinen«, schwärmt Henning. ICT-Forscher kombinierten zwei Produktionstechniken, um einen crashrelevanten Pkw-Sitzquerträger samt Kabeldurchbrüchen und integrierter Sitzanbindungen aus Faserverbundwerkstoffen serientauglich zu fertigen.

Das Bauteil lässt sich in weniger als vier Minuten herstellen. Zunächst wird ein Rohling aus Fasern geflochten. »Mit Flechttechnik hergestellte Strukturen nehmen viel Energie auf und gewährleisten eine enorme Schadenstoleranz«, erläutert Michael Karcher, Projektleiter am ICT. Weiterer Vorteil: Das hochautomatisierte robotergestützte Verfahren liefert reproduzierbare Bauteile und kaum Verschnitt. Der Flechtrohling wird dann mit Harz gefüllt und unter Wärme und Druck in einer Presse ausgehärtet. »Diese Hochdruck-RTM (Resin Transfert Molding)-Technologie eignet sich für die Produktion von großen und komplexen Bauteilgeometrien in Serie. Die fertigen Komponenten haben eine gute Oberflächenqualität, einen geringen Lunken- und Porengehalt und verfügen über ausgezeichnete Material- und Bauteileigenschaften«, betont Karcher. Die Leichtbau-Pkw-Sitzquerträger entwickelten die ICT-Wissenschaftler gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie in dem Technologie-Cluster Composites Baden-Württemberg (TC<sup>2</sup>). Ebenfalls mit dabei waren die Fraunhofer-Institute für Kurzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut, EMI und für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

#### Carbon-verstärkte Bauteile aus dem Drucker

Für die ressourceneffiziente Produktion komplexer Bauteile ist ein Verfahren besonders gut geeignet: die generative Fertigung. Dabei werden Bauteile anhand von Datenmodellen direkt, aus Pulver, Flüssigkeiten oder Strangmaterial Schicht für Schicht aufgebaut. Für die Fertigung metallischer Bauteile entwickelten Experten des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT in Aachen bereits vor Jahren das generative Laserverfahren Selective Laser Melting (SLM). Es erlaubt die Herstellung komplexer Bauteile, die wesentlich leichter sind als Standardmetallbauteile und beispielsweise mit einer bionischen Struktur versehen sind, die sich mit herkömmlichen Verfahren nicht fertigen lassen. Aber auch Kunststoffkomponenten können mit generativen Techniken hergestellt werden. Allerdings ist die Werkstoffauswahl für das Selektive Lasersintern noch eingeschränkt. Experten von Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen arbeiten an neuen Materialien.

Aber eignen sich auch Carbonfasern für die generative Fertigung? Wissenschaftler des IPA in Stuttgart entwickelten einen »3D Fibre Printer«, mit dem man thermoplastische Bauteile aus Faserkunststoffverbund schnell, hochwertig und kostengünstig aufbauend herstellen kann. Mithilfe einer speziellen Printdüse werden die Carbon-Fasern direkt beim Drucken in den geschmolzenen Kunststoff eingebracht – und zwar endlos und nur dort, wo benötigt.

Künftig können sogar Motoren leichter werden. Gemeinsam mit dem Unternehmen SBHPP arbeiten Forscher der Projektgruppe Neue Antriebssysteme des ICT und des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM in Freiburg an einem Forschungsmotor mit einem Zylindergehäuse in Faserverbundbauweise. Damit lässt sich das Gewicht um bis

Carbon-Fasern. © Bernd Müller

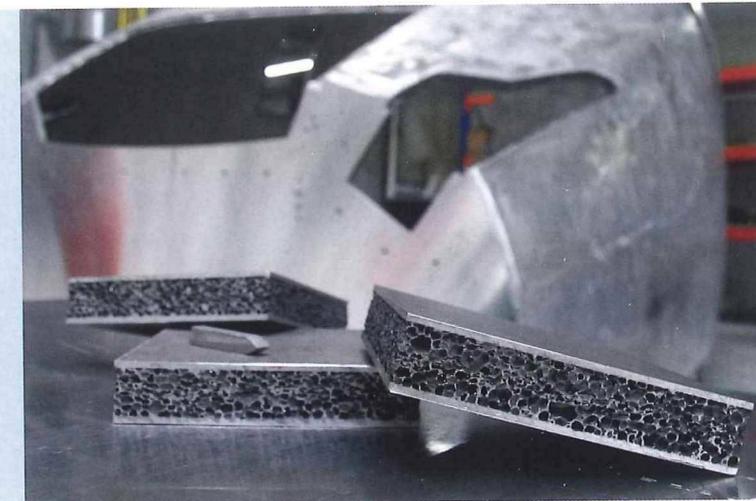


Roboter-gesteuerte zerstörungsfreie Ultraschallprüfung an CFK-Bauteil (Bild rechts). © Andreas Schlichter



Carbon- und Hanffaserverstärktes Bauteil – Karosserie aus Baumwolle, Hanf und Holz. © Lingnau, Manuela

Blue Train: Dank innovativem Aluminiumschaum konnte eine Gewichtseinsparung von 20 Prozent gegenüber konventionell gefertigten Triebkopfschalen erreicht werden. Zudem sinken die Werkzeugkosten um 60 Prozent. © Fraunhofer IWU



zu 20 Prozent reduzieren. Weiterer Vorteil: Das Bauteil kann man kostengünstig im Spritzguss fertigen. Auf der Hannover Messe 2015 stellen die Experten ihre Ergebnisse vor.

### Fertigen in Serie

Trotz aller Vorzüge – noch sind komplexe Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen bei Serienprodukten selten im Einsatz. Ein wesentlicher Grund: Oft sind die Fertigungskosten zu hoch. Das soll sich ändern. Fraunhofer-Forscher arbeiten an neuen Herstellungsverfahren, die sich auch für Großserien eignen. Ein Beispiel ist das EU-Projekt »Integrative Prozesskette für die automatisierte und flexible Produktion von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen (FibreChain)« Projektpartner aus 18 europäischen Ländern – darunter das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT (Koordinator) und das ILT – entwickelten hierfür neue Anlagentechniken und Werkzeuge, um hochleistungsfähige und recycelbare Leichtbaukomponenten aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten in Serie herstellen zu können.

Fraunhofer-Forscher arbeiten noch an weiteren Ansätzen, um Faserverbund-Bauteile automatisiert zu produzieren. So treiben Ingenieure des IPT die Entwicklung des laserunterstützten »Tape-Legen« voran. Dabei werden faserverstärkte Kunststoffbänder, auch Tapes genannt, mit dem Laser angeschmolzen und dann zu einer kompakten Struktur geformt. Um das Verfahren auch für kleine und mittelständische Unternehmen interessant zu machen, entwickelten die Forscher einen neuartigen Tapelegekopf, den MMH. Damit lassen sich verschiedene Fasermaterialien wie Glas- und Kohlenstofffasern sowie unterschiedliche Matrixmaterialien in derselben Anlage laserunterstützt oder mit anderen Heizquellen verarbeiten. Für diese Entwicklung erhielten die Experten des IPT gemeinsam mit ihren Kollegen von der Firma AFPT (Advanced Fibre Placement Technology), einem Hersteller von Tapelegeköpfen, den »JEC Europe Innovation Award 2014«.

Sollen sich Leichtbau-Komponenten künftig auf dem Markt durchsetzen, müssen sie sich nicht nur kostengünstig in Serie fertigen lassen, sondern auch sicher und zuverlässig funktionieren. Fraunhofer-Wissenschaftler erarbeiten daher Berechnungen, mit denen sich die Schadenstoleranz der Materialien ermitteln lässt, und analysieren mit speziellen Verfahren die Beständigkeit der Bauteile gegenüber den starken mechanischen und thermischen Wechselbelastungen im täglichen Einsatz. Mit dem »MultiTester« vom LBF, einem neuartigen Innendruckprüfkörper, lässt sich zum Beispiel untersuchen, wie unverstärkter und verstärkter Kunststoff auf Beanspruchung reagieren. Dazu werden verschiedenste brennbare und nicht brennbare Flüssigkeiten wie Öle, Treibstoffe, Säuren oder Laugen in den Prüfkörper eingeleitet und Druck von innen aufgebaut. An den besonders stark beanspruchten Bereichen entsteht ein mehraxialer Belastungszustand, wie er auch bei Leichtbaustruktur-Komponenten vorkommt. Das Material wird aus allen Raumrichtungen beansprucht. Messsysteme erfassen unter anderem, wie sich das Bauteil verformt. Mithilfe von Berechnungen können die Forscher die Betriebsfestigkeit für Innendruckbelastung abschätzen und auf andere Strukturkomponenten übertragen.

Um die Qualität von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen FVK zu prüfen, nutzen die Experten bisher Ultraschallverfahren. Forscher des Fraunhofer-Instituts für zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP entwickelten das System weiter. Mit der Sampling-Phased-Array-Technologie (SPA) lassen sich sogar komplexe Faserverbundbauteile schnell und zuverlässig auf mögliche Fehler untersuchen. Zunächst tastet der robotergeführte Ultraschallsensorkopf die Komponenten ab. Die aus den Ultraschallsignalen erzeugten Volumendaten können anschließend mithilfe von speziell entwickelten Algorithmen weitgehend automatisch ausgewertet werden.

Eine weitere Herausforderung für den Leichtbau: Die Komponenten und Materialien sollen nicht nur helfen, während

des Betriebs Energie zu sparen, sondern sich nach dem Gebrauch auch wiederverwerten lassen. »Innovativer Leichtbau muss über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden – von der Auslegung über die Fertigung, Erprobung und den Einsatz bis zum Recycling«, betont Prof. Büter. Wie sich zum Beispiel Faserverbundkunststoffe FVK umweltfreundlicher gestalten lassen, zeigen Forscher des Anwendungszentrums für Holzfaserverbundstoffe HOFZET des Fraunhofer-Instituts für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI in Braunschweig. Sie kombinieren Kohlenstofffasern mit verschiedenen biobasierten Textilfasern aus Hanf, Flachs, Baumwolle oder Holz. Das Ergebnis: Die Bauteile sind kostengünstig, haben eine sehr hohe Festigkeit, gute akustische Eigenschaften und sind deutlich ökologischer als reine Carbon-Bauteile.

### Leichtmetalle und Metallschäume

Faserverbundwerkstoffe sind Leichtbaumaterialien mit Perspektive. Aber auch das Potenzial von Metallen ist noch nicht ausgereizt. Hochfeste Stähle, Aluminium und Magnesium helfen, das Gewicht von Wagen und Co. deutlich zu reduzieren. Künftig werden vor allem Autobauer verstärkt auf hochfesten Stahl setzen. Die Berylls-Studie prognostiziert, dass ihr Marktanteil bis 2025 auf 45 Prozent steigt. Doch dazu werden auch neue Fügeverfahren benötigt – der Werkstoff ist für mechanische Verfahren wie Clinchen oder Stanznieten zu hart. In dem vom BMBF geförderten Verbundvorhaben »Klasse« arbeiten Experten des ILT an einem Kombinationsverfahren zum Laserschneiden und zur lokalen Laserentfestigung von Bauteilen aus hochfesten pressgehärteten Stählen. Aber auch Leichtmetalle können Herstellern helfen, das Gewicht ihrer Produkte zu reduzieren. Ein Beispiel ist eine Rücksitzlehne aus Magnesium, die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU entwickelten. Die Komponente bringt 48 Prozent weniger Gewicht auf die Waage als herkömmlich gefertigte Rücksitzlehnen. Neue Möglichkeiten eröffnen Metallschäu-

me, aus denen man leichte und stabile Komponenten herstellen kann. Sie haben eine ähnliche Struktur wie Knochen. Ein Pionier bei der Entwicklung der geschäumten Metalle ist das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Bremen. Heute arbeiten viele Gruppen – darunter auch das IWU – an den luftigen Materialien. Meist werden die Metallschäume als Sandwich angeboten – mit einem Schaumkern zwischen zwei massiven Deckblechen. Solche Strukturen sind nicht nur leichter als massive Bleche, sondern haben auch eine höhere Biegefestigkeit. Wie sich mit dem Werkstoff Gewicht einsparen lässt, zeigen Forscher des IWU gemeinsam mit Voith Engineering Services in dem Projekt »Blue Train« an einem Leichtbau- und Fertigungskonzept für einen Schnellzug. Dort setzen sie Aluminiumschaum als einen wesentlichen Werkstoff für den Triebkopf ein. »So können wir eine Gewichtseinsparung von 20 Prozent gegenüber der konventionellen Fertigung aus Glasfaserverbundmaterial oder Aluminium erzielen – bei gleicher Steifigkeit«, erklärt Dr. Thomas Hipke, Abteilungsleiter Funktionsintegrierter Leichtbau am IWU.

In neuen Produkten kommen künftig immer mehr unterschiedliche Materialien zum Einsatz. Um Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen, Leichtmetallen oder Metallschäumen miteinander hoch belastbar zu verbinden, werden optimierte und gleichzeitig wirtschaftliche Fügeverfahren gebraucht. Daran arbeiten unter anderem die Klebtechnologie-Experten des IFAM in Bremen. An Bedeutung gewinnen aber auch neue Laserverfahren, wie sie Forscher des ILT, IPT und des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden entwickeln (siehe auch Seite 14).

Fraunhofer-Forscher legen wichtige Grundlagen, damit Wagen, Flugzeug-, Maschinen- und Anlagen künftig weniger Energie verbrauchen. Sie helfen den Leichtbau fit für die Serienfertigung zu machen. ■