

Das schwarze Gold des Leichtbaus

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Der Markt für Kohlenstofffasern wird durch das Leichtbauwettrennen in der zivilen Luftfahrt belebt. Auch die Automobilindustrie möchte an dieser Entwicklung partizipieren. Jedoch stehen sich in der von Käuferzurückhaltung, Benzinpreisen und gesetzlichen Auflagen geprägten Branche der Wunsch, das Leichtbaupotenzial über die bisherigen Leichtmetall- und GFK-Anwendungen hinaus deutlich zu erhöhen, und die Kosten für den CFK-Einsatz besonders krass gegenüber.



Dachausschnitt des BMW M3 CSL aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (Foto: BMW)

EVA BITTMANN

Verbundwerkstoffe mit Kohlenstofffasern (CFK) zählen zu den Kunststoffen mit bestem Eigenschaftsprofil. Mit Zug-E-Moduln von 50 bis 100 MPa und Zugfestigkeiten über 500 MPa ähneln quasi-isotrope CFK den Aluminiumlegierungen – bei 30 % weniger Gewicht. Verstärkt man mit geeigneten unidirektionalen Fasern, können Steifigkeit oder Festigkeit von Stahl erreicht werden. Nicht zuletzt aufgrund der variablen Formgebungsmöglichkeiten las-

sen sich Leichtbauteile für höchste Ansprüche an Ermüdungs-, Abrasions- und Korrosionsbeständigkeit herstellen.

Die Entwicklung im Markt

In den 60er-Jahren erschloss man die Anwendung von Epoxidharzen, die mit der sehr teuren C-Faser verstärkt waren, für Strukturbauteile in der Raumfahrt; es folgte der Leichtbaueinsatz im militärischen und zivilen Flugzeugbau. Etwa 20 Jahre später, als der Rohstoffpreis auf unter 100 EUR/kg gefallen war, fand CFK auch Absatz bei hochwertigen Sportanwendungen wie Golf- und Tennisschlägern, Rennrädern und Angelruten.

In vielen technischen Bereichen sind die Werkstoff- und Gewichtsanforderungen inzwischen so gewachsen, dass die Kohlenstofffaser trotz ihres hohen Preises an Attraktivität gewinnt. Der Weltmarkt hat sich seit 1998 verdoppelt, und Produktionskapazitäten liegen inzwischen bei über 30 000 t/a [1].

Für den Absatz sorgen neben dem steigenden Bedarf an Verkehrsflugzeugen der Bau immer größerer Windkraftanlagen, der Rotorblattmaterialien mit erhöhtem

Steifigkeits-Gewichts-Verhältnis erfordert, korrosionsfreie Druckbehälter, schwingungs- und verschleißarme Maschinenteile sowie zunehmend auch der Automobilssektor. Der Trend zur Verstärkung mit Kohlenstofffasern erfasst auch, wenngleich eher längerfristig, das allgemeine Transportwesen (Schienen- und Nutzfahrzeuge sowie kleinere Flugzeuge). Im Sport hat sich CFK bereits etabliert; derzeit steht es auch bei Rennbooten hoch im Kurs. Bemerkenswerten Einsatz zeigt die hochwertige Faser in speziellen Infrastrukturanwendungen, wie beim Brückenbau.

CFK bedeutet Werkstoffvielfalt

Ein traditioneller CFK-Verbundwerkstoff besitzt eine duroplastische, mit Endlosfasern bzw. Geweben verstärkte Epoxidharzmatrix. Strukturbauteile werden meist manuell aus Prepregs aufgebaut, die im Autoklaven oder unter Vakuum gehärtet werden. Heute erweitern andere Materialien und Verarbeitungsmöglichkeiten diese Duroplast-Technologie, wobei der Trend sich in Richtung Flüssigharzsysteme orientiert.



Bild 1. Leichte CFK-Druckbehälter, die im Wickelverfahren mit Polyamid hergestellt werden, speichern Erdgas oder Wasserstoff für alternative Kfz-Antriebe (Foto: Comat GmbH)

© KU103502

Bild 5. Lagenaufbau der Kunststofffaserverstärkung für das Dach des BMW M3 CSL (Foto: BMW)



Daneben verdienen auch Entwicklungen mit Schnitffasern Erwähnung, beispielsweise das Spritzgießen von tribologisch hochbelasteten Bauteilen aus Phenolharzformmassen [2]. Auf dem mengenmäßig bedeutendsten Sektor der automatisierten Duroplastverarbeitung, dem SMC-Pressen, gedeihen ebenfalls Konzepte zur Integration der hochsteifen Faser.

Thermoplastische Composites stehen dort hoch im Kurs, wo gute Zähigkeit und hohes Recyclingpotenzial gefragt sind. Zudem liegen die Zykluszeiten in der Thermoplastverarbeitung sehr viel niedriger als

bei den chemisch vernetzenden Harzen. Zwar stehen CFK-Strukturbauteile mit Lang- und Endlosfaserverstärkung noch am Anfang ihrer Entwicklung. Dank ihrer fertigungstechnischen Vorteile, die auch Großserien ermöglichen, sehen sie jedoch einer positiven Zukunft entgegen (Bild 1). Erprobt werden über die Schmelzverarbeitung hinaus auch Infusionsverfahren mit Thermoplasten anhand von niedermolekularen Ausgangsstoffen.

Die Kosten im Griff

Kapazitätsengpässe, im Wesentlichen durch die Nachfrage aus der Luftfahrt, haben viele Rohstoffhersteller zu Zusammenschlüssen und Kapazitätserweiterungen bewegt. Ziel für Anbieter wie Kunden ist es, die seit Jahren hohe Volatilität des Preises für Kohlenstofffasern einzudämmen. Weil der Bedarf stark von Großprojekten abhängig ist, resultierten in der Vergangenheit aus Überkapazitäten immer wieder niedrige Preise, die bei besserer Auftragslage nicht mehr gehalten werden konnten. Vielfach wurde so zwar ein Anreiz für neue Volumenwendungen geboten, dieser aber im Keim

wieder erstickt. Einige Faserhersteller setzen daher verstärkt auf die preiswertere „Heavy tow“-Faser, die langfristig für unter 10 EUR/kg verfügbar sein soll.

Für konkurrenzfähige Verbundbauteile genügen Einsparungen auf der Rohstoffseite nicht. Die Optimierung des traditionell eher aufwändigen Produktionsablaufs für den klassischen Hochleistungsverbundwerkstoff berücksichtigt

- niedrigere Lager- und Transportkosten,
- geringere Werkzeuginvestitionen,
- weniger (manuelle) Arbeitsschritte und
- kürzere Härtingszeiten.

Durch diese Aspekte erhielt – neben Spezialverfahren wie Faserwickeln und Pultrusion – das in der GFK-Industrie inzwischen nahezu etablierte Harzinjektionsverfahren erneuten Aufwind, und zwar bis hin zu den Ansprüchen der Luftfahrtkunden, wie bereits 1998 mit ersten Verkleidungsteilen im Fairchild Dornier Do 328-Jet bewiesen wurde [3].

Harzinjektion – LCM

Hinter dem Sammelbegriff „Liquid Composite Moulding“ (LCM) verbergen sich Flüssigimprägniermethoden, die es er- ▶

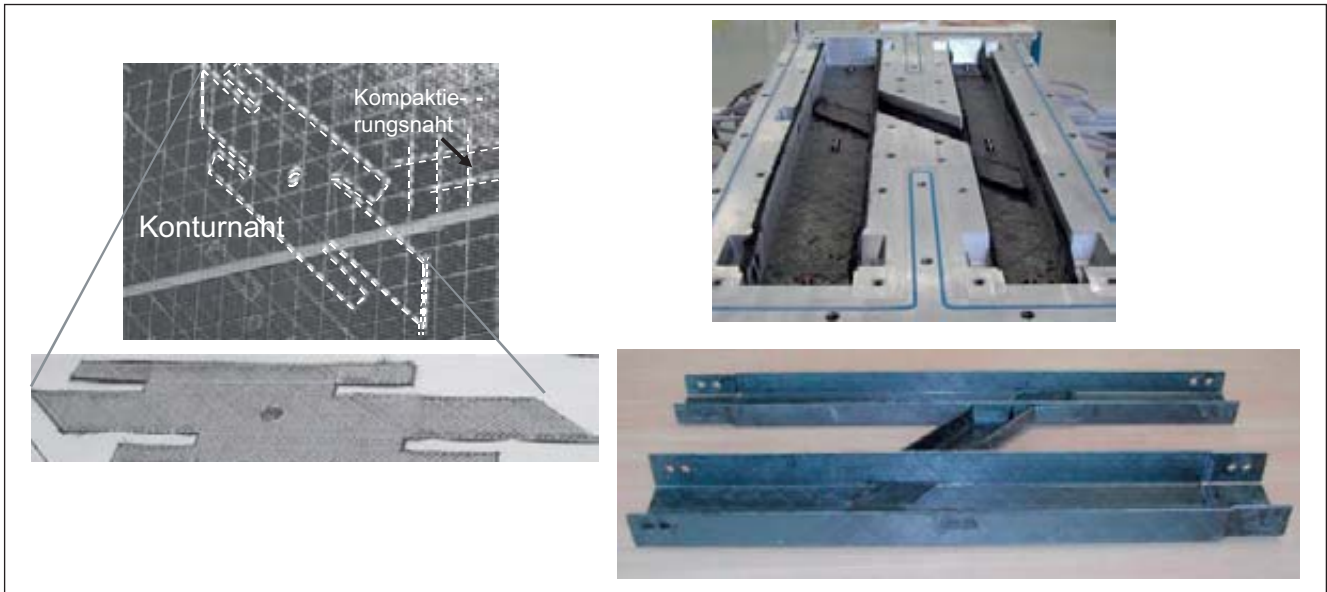


Bild 2. Herstellung einer CFK-Linearachse unter Einsatz der Nähetechnik. Links: Schneiden eines genähten Preforms aus vorkompaktiertem Gelegehalbzug; rechts oben: Einlegen der „Tailored Reinforcements“ in das mit Montageeinsätzen versehene LCM-Werkzeug; rechts unten: Bauteilkomponente nach Aushärtung (Fotos: IVW GmbH)

möglichen, Kohlenstofffaser-Verstärkungsmaterial während des Formgebungsprozesses effektiv mit dem duroplastischen Matrixwerkstoff zu tränken. Die Tiefkühlagerung von Prepregs entfällt; ebenso liegen die Investitionen sowie die Zykluszeiten niedriger als beispielsweise in der Autoklavtechnologie. Auch stoßen Prepregs bei komplexen dreidimensionalen Strukturen mit hoher Funktionsintegration an ihre Grenzen.

Die einfachste der zahlreichen Verfahrensvarianten besteht in der Verwendung einer einschaligen Form, wobei das Harz durch Kanäle hindurch das Verstärkungsmaterial unter Vakuum großflächig imprägniert. Mit einem geschlossenen, zweischaligen Werkzeug und Niederdruckimprägnierung, dem klassischen RTM-Verfahren (Resin Transfer Moul-

ding), wird eine bessere Verbundqualität ermöglicht, insbesondere in Kombination mit der Vakuumtechnologie. Für sehr hohe Ansprüche an Faservolumengehalt, Blasenfreiheit und Reproduzierbarkeit des Laminats kann man die Infusion mit der Autoklavhärtung kombinieren [3 bis 5]. Bei der für großflächige Bauteile günstigen Variante der Filminfusion werden dünne, feste Harzfilme alternierend mit dem Verstärkungsmaterial eingelegt und die Kohlenstofffasern durch deren Aufschmelzen getränkt [6, 7]. Die Auswahl des jeweiligen Werkzeugs (z. B. Nickel-Galvano, Aluminium oder Faser-verbund) richtet sich nach Serien- und Bauteilgröße sowie Herstelldauer [3].

Der Herausforderung, trockene Faserhalbzuge auch für komplexe oder dicke Bauteile schnell und reproduzierbar zu

drapieren, wird mit verschiedenen Ansätzen begegnet. Durch 2D- und 3D-Nähetechniken, auch unter Verwendung von Kohlenstoff-Nähfäden [8], werden mehrlagige Gewebe oder Multiaxialgelege stabilisiert (Bild 2) [5]. Besonders belastungsgerecht lassen sich Verstärkungsmaterialien durch Flechten oder Stricken herstellen. Auch können aus neuartigen Bindergarnen Vorformlinge aufgebaut werden, die sich beim Erhitzen durch Schmelzen des matrixkompatiblen Binders für den nachfolgenden Infusionsprozess stabilisieren. Solche Preforms reduzieren den Werkzeugbestückungsaufwand und bieten die Möglichkeit einer endkonturgenauen Fertigung. Ergänzend sorgen automatisierte, Zeit sparende Handhabungstechniken mit Vakuumträgern und Zuführsystemen für eine punktgenaue Ab-



Bild 3. Effiziente Preform- und Handlingtechniken. Links: geflochtenes Preform für den im Infusionsverfahren gefertigten Stoßfängerträger des BMW M6 (Foto: F. A. Kümper), **Mitte: drapierfähige Binderfaser mit schmelz- und härtbarer Epoxydharzbeschichtung für stabile Vorformlinge variabler Geometrie** (Foto: Toho Tenax), **Rechts: In der Dry Fibre Placement Technology entnehmen Roboter ungetränkte Fasern oder UD-Tapes und konfektionieren sie zum Preform** (Foto: Hexcel, Lyon/Frankreich)

lage der Verstärkungsmaterialien im Werkzeug. Bild 3 veranschaulicht exemplarisch derartige Möglichkeiten. Sie werden vielfach von den Textilherstellern selbst angeboten, die zunehmend in den individuellen Fertigungsprozess einbezogen werden.

Die LCM-Technik für Hochleistungsfaserverbunde erfordert neue, besonders imprägnierfähige Duroplaste, wobei niedrigviskose Epoxidharze an erster Stelle stehen [6, 7, 9, 10]. Preislich sind auch Vinylestersysteme interessant, die meist schneller und flexibler verarbeitet werden können [11, 12]. Für höchste Anforderungen an thermische Belastbarkeit wurden Bismaleinimidharze mit Glasübergangstemperaturen bis knapp unterhalb 300 °C an die Flüssigverarbeitung angepasst [6, 9]. Optimalen Brandschutz erreicht man mit RTM-Teilen auf Phenolharzbasis [6, 10]. Werkzeugtechnisch indes ist den hohen Härtungstemperaturen bis zuweilen über 180 °C Rechnung zu tragen.

Fliegen so leicht wie nie zuvor

Der für die CFK-Industrie bedeutendste Abnehmer hat in den letzten Jahren dank steigenden Absatzes die neuen Verarbeitungstechnologien vorangetrieben. In der zivilen Luftfahrt, die werkstofftechnisch gegenüber dem militärischen Sektor aufholt, lassen sich durch den Aluminiumersatz große Mengen an Treibstoff einsparen. Finanziell noch stärker zu Buche schlägt die höhere Verfügbarkeit der Flugzeuge, da die Zeitintervalle für Wartungsarbeiten durch den korrosionsfreien Werkstoff und die verringerte Anzahl von Fugestellen deutlich verlängert werden können [13].

Erstmals bestreiten auf diesem Sektor kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe auch Primärstrukturen: Der Boeing-Neuling 787 „Dreamliner“ wirbt damit, die Hälfte seines strukturellen Gewichts in CFK-Technologie aufbieten zu können.

Das größte je gebaute Verbundbauteil wird eines der drei bandgewickelten Rumpfssegmente sein, das eine Länge von etwa 7 m bei einem mittleren Durchmesser von 6 m aufweist. Durch hohe Teileintegration, gepaart mit „Just in Time“-Zulieferung vormontierter Teile durch wenige Systemlieferanten, strebt man pro Flugzeug eine Komplettmontage innerhalb von nur drei Tagen an.

Beim europäischen Airbus, speziell dem A380, hat man sich beim Rumpf indes zugunsten des Leichtbauwerkstoffs „Glare“ (Glass Reinforced Aluminium) entschieden.

Der Anteil von 16 % CFK in der Airbus 380-Struktur umfasst den zentralen, automatisch gefertigten Flügelmittellkasten, einen großen Teil der Hecksektion einschließlich Leitwerke und einen Teil des drucklosen hinteren Rumpfes. In kostengünstiger Pultrusionsfertigung entstanden die bis zu 7 m langen Boden-

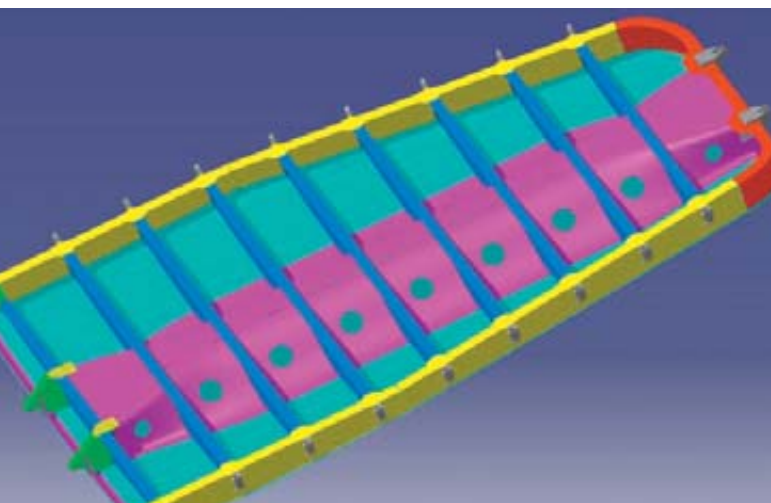


Bild 4. Das Frachttor des Militärtransporters A 400M wird komplett in CFK gebaut. Auch die Torsionsbox und alle Rippen entstehen aus dem gleichen Material (links: Designstudie; rechts: erstes Tooling für die Außenhaut) (Foto: EADS)



Kohlenstofffasern: Begriffe

Die Kohlenstofffaser ist ein synthetisches Produkt, das über mehrere Verfahrensschritte (Erhitzen, Oxidieren und Carbonisieren) aus einer polymeren Vorläuferfaser hervorgeht. Für hochwertige Anwendungen verwendet man die so genannten „Aero-grade“-Typen mit PAN-(Polyacrylnitril)-Precursor. Wirtschaftlicher sind kommerzielle Carbonfasern, die aus einer kostengünstigeren „Textile type“-Acrylfaser entstehen. Weitere Precursor-Materialien sind Pech oder Rayon.

Hochsteife Fasern bezeichnet man mit HM (= High Modulus); ihren Gegenpart bilden die weniger steifen, aber duktileren HT (= High Tenacity)-Materialien. Extrem steife Kohlenstofffasern für höchste Ansprüche an die Dimensions-

stabilität sowie Produkte mit mittleren Eigenschaften runden das Spektrum ab (Tabelle 2).

Gekennzeichnet werden die Kohlenstofffasern des Weiteren durch die Anzahl der Filamente im Faserbündel (engl.: tow). Ab 24 k (= 24 000 Filamente) spricht man von „Heavy tow“-Fasern, die durch Spaltung aus Ursprungsrovings mit über 200 000 Filamenten entstehen. Sie erreichen nicht die hohe Qualität der aus dünneren Rovings gefertigten „Small“- oder auch „Flat tow“-Werkstoffe, u. a. wegen verminderter paralleler FaserAusrichtung. Aufgrund ihres Preises besitzen sie jedoch gute Chancen auf weite Verbreitung in kommerziellen Anwendungen. Auf das gegenüber den gut eingeführten Luftfahrt-Fasern verän-

derte Verhalten (Imprägnier- und Wickelprobleme, Fusseln und Faserbruch) wurde bereits mit angepassten Verarbeitungsmaschinen reagiert.

Carbon-Verstärkungsmaterialien sind u. a. in Form von Endlos- und Schnittfasern, Unidirektionalgelegen und Geweben auf dem Markt. Hinter dem Begriff „Non-Crimp Fabrics“ (NCF) verbergen sich hochwertige Verstärkungsmaterialien mit geringer Fadenwelligkeit, wie vorkompaktierte Multiaxialgelege. Ordnet man die einzelnen Unidirektional-Lagen gezielt winkelfersetzt an, kann man quasi-isotrope Werkstoffeigenschaften erreichen. Einen großen Marktanteil besitzen mit Harz vorimprägnierte Gelege und Gewebe, so genannte Prepregs.

Eigenschaften	SMC-GF 25	CF-SMC 50 Vol.-%, 48K split, VE-Basis	CF-SMC 50 Vol.-%, 12K, VE-Basis	CF-SMC 50 Vol.-%, 48K split, EP-Basis	Advanced SMC, quasi-isotrop
Zugfestigkeit [MPa]	80	180	220	187	347
Zug-E-Modul [MPa]	13000	27000	30000	33000	33000
spez. Zugfestigkeit	4,5	12	15,7	12,4	23,6
spez. Zug-E-Modul	0,7	1,8	2,1	2,2	2,2

Tabelle 1. Vergleich der Zugeigenschaften verschiedener CFK-Werkstoffe für die SMC-Verarbeitung (Quelle: DSM)

träger für die Kabinen [13]. Die Flügelkomponenten, d. h. sowohl die innere vordere Flügelklappe als auch die Landeklappenführungen, wurden – vor allem aus Belastungsgründen – in Hybridstrukturen aus Kohlenstofffaser, Titan und Aluminium realisiert. Gefertigt werden sie von einem der Hauptzulieferer für den A 380, dem Werk Augsburg der EADS, das verstärkt auf das hauseigene, patentierte Harzinfusionsverfahren VAP setzt. Neben den Landeklappenführungen stellt vor allem das Frachttor für den Militärtransporter A400M, mit dem der Standort erstmals in den Druckbereich der Kabine mit CFK einsteigt, einen Meilenstein in dieser Technologie dar (Bild 4) [14].

In zahlreichen Projekten [15] arbeitet man weiter an innovativen Strukturbauteilen für Rumpf, Flügel und Seitenleitwerke. Das ehrgeizige Kostenziel wird auch hier durch Preform-, Handling- und Infusionsstrategien verfolgt.

Eigenschaften	hochfest	mittelsteif	hochsteif	extrem steif
Zugfestigkeit [MPa]	2,7–3,5	5,0–5,2	2,4–2,6	1,86
E-Modul [MPa]	228–238	290–310	359–393	517
Bruchdehnung [%]	1,2–1,4	1,7	0,6–0,7	0,38

Tabelle 2. Einteilung von Kohlenstofffasern anhand ihrer mechanischen Eigenschaften [22]

teilen für Rumpf, Flügel und Seitenleitwerke. Das ehrgeizige Kostenziel wird auch hier durch Preform-, Handling- und Infusionsstrategien verfolgt.

Kommt das Carbon-Automobil in Serie?

In der von Käuferzurückhaltung, Benzinpreisen und gesetzlichen Auflagen geprägten Automobilindustrie stehen sich der Wunsch, das Leichtbaupotenzial über

die bisherigen Leichtmetall- und GFK-Anwendungen hinaus deutlich zu erhöhen, und die Kosten für den CFK-Einsatz besonders krass gegenüber. Neben dem Rohstoffpreis sind es vor allem die zeitintensiven Technologien, die eine Serienfertigung erschweren.

Seit mehreren Jahrzehnten im Rennsport beheimatet, findet man Kohlenstofffasern im Wesentlichen als Karosserie- und Innenverkleidungselemente in Luxuswagen. Bei Fahrzeugserien von

mehreren 1000 pro Jahr ist CFK bislang nur selten anzutreffen.

Dennoch geht der Trend langsam, aber stetig in Richtung Volumen Anwendungen. Dabei setzt BMW Zeichen: Seit 2003 werden für die BMW 3 CSL-Serie Dächer mit Kohlenstofffaserverstärkung im RTM-Verfahren hergestellt (Titelbild, Bild 5). Mit dieser weitgehend automatisierten Fertigungsweise entstehen inzwischen auch kohlenstofffaserverstärkte Bauteile wie Dach oder Trägerstrukturen (s. auch Bild 3 Mitte) für den BMW M6 [16].

Einen Body-in-white (BIW), also eine komplette tragende, extrem leichte Struktur, für ein Serienkraftfahrzeug aus CFK zu konzipieren, war Auftrag des kürzlich beendeten EU-Forschungsprojekts „TECABS“ (Technologies For Carbon Fibre Reinforced Modular Automotive Body Structures [17]). Teilnehmer waren neben etlichen Forschungseinrichtungen und der CFK-Industrie die OEMs VW, Renault und Volvo. Es galt folgende Ziele zu erreichen:

- Gewichteinsparung von 50 % gegenüber herkömmlichen Stahlstrukturen bei gleich bleibender Steifigkeit,
- Verringerung der Einzelteile von derzeit über 200 um 70 %,
- Fertigung von 50 Teilen pro Tag und
- Entwicklung fortschrittlicher Simulationsprogramme für statische Strukturanalysen und Crash, Fertigungsprozesse und Lebenszykluskosten.

Als Demonstrator diente als mit Abstand größte BIW-Komponente eine Bodenplatte, die im Wesentlichen aus zehn Heavy-tow-Preforms mit Epoxidharzmatrix und sieben Kernen aus Hartschaumstoff gefertigt wurde (Bild 6). Das verwendete Harzinjektionsverfahren wurde auch für den künftigen

Einsatz thermoplastischer Matrixwerkstoffe weiterentwickelt.

Alternativ entwickeln Anbieter von SMC (Sheet Moulding Compound) seit einigen Jahren hochwertige Werkstoffe für strukturelle Serienanwendungen wie CF-SMC mit Langfasern und das Gelegeverstärkte Advanced SMC (Tabelle 1) [18]. Die in der Prestetechnologie erprobte Vinylesterharzmatrix sorgt für gute Wärmeform- und Chemikalienbeständigkeit. Mit VE-kompatiblen Faserschichten, einer – noch nicht umfassend erfüllten – Grundbedingung für gute Faser-Matrix-Haftung, können die bislang erreichten mechanischen Eigenschaften weiter verbessert werden.

Infrastruktur

Das am weitesten gereifte Einsatzgebiet des alkali- und korrosionsfreien CFK im Bauwesen ist die Brückenverstärkung, die häufig im Sanierungsfall erfolgt. Aufgeklebte oder vorgespannte CFK-Lamellen ober- und unterhalb der Fahrbahn erhöhen den Biege widerstand des Betons deutlich. Gespannte CFK-Lamellen bieten weitere interessante Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise als Verstärkung von Trägern und Unterzügen in Industriebauten oder als externe Schubbewehrung von Trägern [19].

Trug 1996 die Winterthurer Storchenbrücke weltweit die ersten kohlenstofffaserverstärkten Kabel, so gibt es heute bereits Beispiele für befahrbare CFK-Konstruktionen wie die in Bild 7 dargestellte modulare Pionierbrücke: Die hierbei Verwendung findenden Grundkomponenten Seitenwandträger und Fahrbahnplatte werden in Injektionstechnik als CFK-Sandwichlaminat hergestellt. Diese können in kürzester Zeit zu Brücken-Modulen von je 2,4 m Länge ohne weitere Hilfsmittel zusammenge- ►

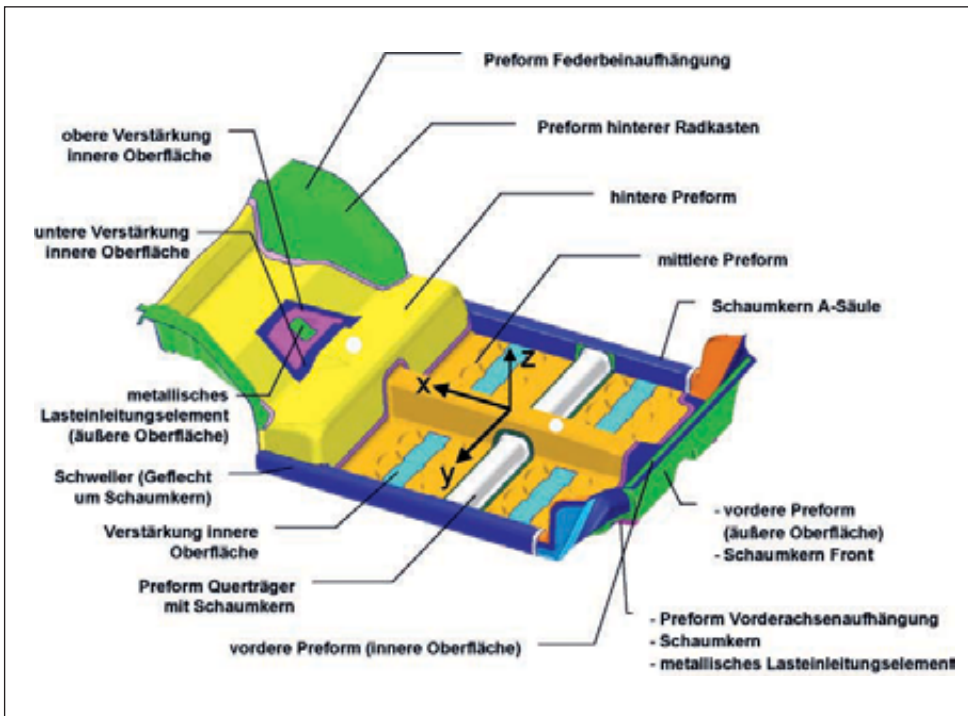


Bild 6. Eine CFK-Bodenplatte für ein A00-Automobil lässt sich mit modernen Fertigungsmethoden in Serie herstellen (Quelle: Tecabs, IVW GmbH)

setzt werden. Durch die Aneinanderreihung dieser Module lassen sich variable Brückenlängen bis zu 21,6 m realisieren. Die von der Military Mobile Bridges GmbH in Zusammenarbeit mit der Invent GmbH entwickelte CFK-Pionierbrücke ist bis zu 12 t belastbar und wiegt

Günstig ist weiter, dass die pultrudierten Gurte die durch die Wellenbewegung hervorgerufene Schwingungsfrequenz der Plattform vermindern. ■

LITERATUR

- 1 www.composites.about.com, Zitat aus: The Advanced Composites Industry - Global Markets, Technology Trends and Applications 2002-2007, Materials Technology Publications, 2003
- 2 Bittmann, E.: Duroplaste, Kunststoffe 95 (2005) 10, S. 168-172
- 3 Kleineberg, M., Herbeck, L., Schöppinger, C: Industrialisierung der Prozesskette Harzinfusion. 9. Nationales Sampe-Symposium, Clausthal 2003
- 4 Bittmann, E.: Viel Wind um GFK. Kunststoffe 92 (2002) 11, S. 119-124
- 5 Mitschang, P.: Schlüsseltechnologien für die Preform-LCM-Prozesskette. 8. Internationale AVK-Tagung, B9/1-9/12, Baden-Baden 2005
- 6 www.hexcel.com
- 7 www.spsystems.com
- 8 www.tohotenax-eu.com
- 9 www.huntsman.com
- 10 www.hexionchem.com
- 11 www.dsm.com
- 12 www.reichhold.com
- 13 Marsh, G.: Composites lift off in primary aerostructures. Reinforced Plastics 48 (2004) 4, S. 22-27
- 14 www.eads.com
- 15 Projekte zu CFK-Flugzeugstrukturen (Auswahl): TANGO, ALCAS, EMIR, NACRE, VTP-NG, PRO-CFK, Schwarzer Rumpf
- 16 www.bmw.de
- 17 www.tecabs.org
- 18 Reuther, E.: Kohlefaser-SMC für Strukturteile.

7. Internationale AVK-Tagung, A6/1-6-6, Baden-Baden 2004
- 19 www.sika.com
- 20 www.kmweg.de
- 21 www.akerkvaerner.com
- 22 Rosenbaum, U.: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, Verlag Moderne Industrie, 1994

DIE AUTORIN

DR.-ING. EVA BITTMANN, geb. 1965, Geschäftsführerin der Firma werkstoff&struktur, ist vereidigte Sachverständige für Kunststoffe und berät bei Werkstoffentwicklungen, Bauteilschäden und im Reklamationsfall; bittmann@werkstoff-und-struktur.de

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

The Black Gold of Lightweight Building

CARBON-FIBRE-REINFORCED PLASTICS (CRP). The market for carbon fibres is thriving on the race for lightweight constructions in civilian aviation. The automotive industry would also like to participate in this development. However, there is a huge disparity between the desire of this sector, plagued as it is by consumer restraint, petrol prices and legislation, to take the potential of lightweight building far beyond that of its hitherto light metal and CRP applications on one hand and the cost of using CRP on the other.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103502** on our website at www.kunststoffe-international.com



Bild 7. Modulare 4-Feld-Pionierbrücke aus CFK (Foto: WTD 51, Koblenz)

bei 21,6 m maximaler Bau-Länge etwa 4,4 t [20]. Diese Brücke wurde von der Wehrtechnischen Dienststelle für Pionier- und Truppengerät (WTD 51) in Koblenz umfangreichen Tests mit sehr erfolgreichen Ergebnissen unterzogen.

Ölplattformen, die immer küstenfernen und widrigeren Bedingungen ausgesetzt sind, benötigen Spanngurte zur Befestigung auf dem Meeresgrund. In tiefem Wasser wird CFK wegen der hohen Steifigkeit bei niedrigem Gewicht bevorzugt, denn Stahlseile senken die Nutzlastkapazität und können bei Tiefen ab 1500 m ihr eigenes Gewicht nicht mehr halten [21].

Errata

Im Text auf Seite 76 (1. Abschnitt, Zeile 4/5) und auf Seite 80 (Tabelle 2) bei Zugfestigkeit und E-Modul muss die Einheit GPa heißen, nicht MPa.