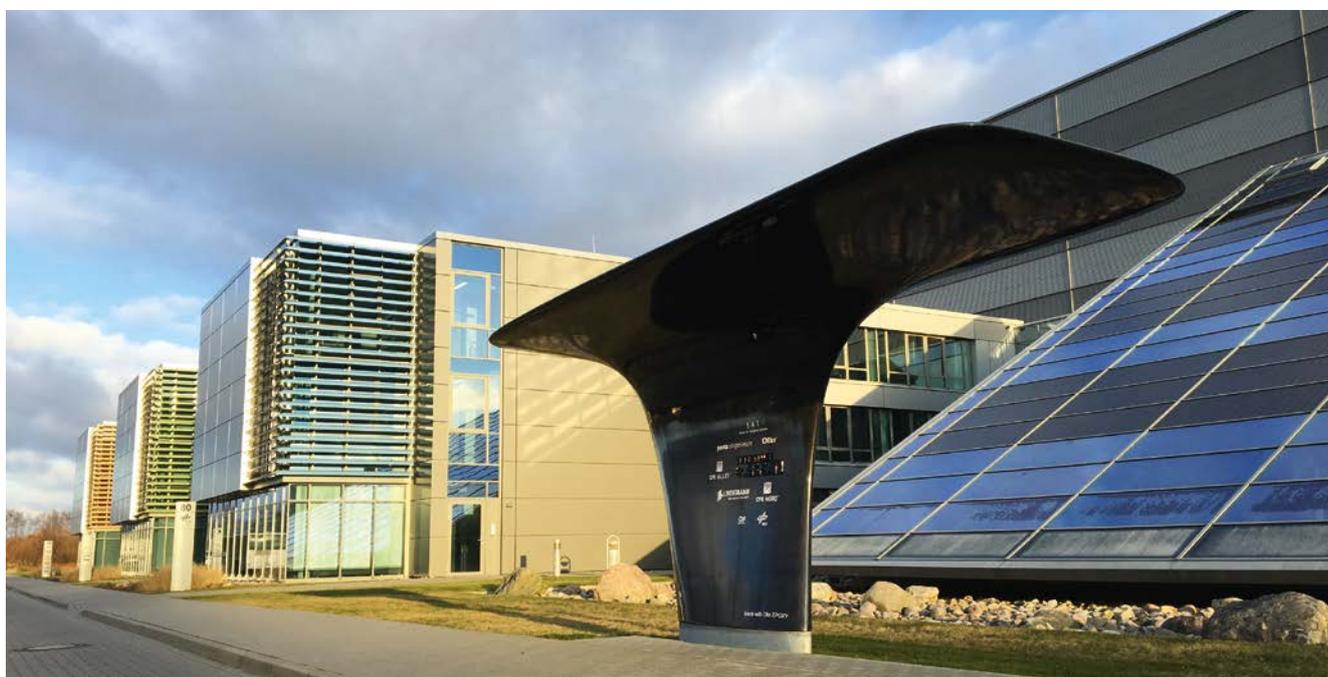


Reaktivsysteme und FVK

Faserverstärkte Kunststoffe gestalten die Zukunft von Mobilität, Energieversorgung und Infrastruktur

Die Branche prognostiziert sich gute Zeiten. Neue Leichtbauprodukte entstehen mittels hybriden Werkstofftechnologien und findigen Automatisierungslösungen. Für die Großserie wird kostengünstiges SMC in anspruchsvollen Varianten interessant.



Die statisch anspruchsvolle Form der neuen CFK-Bushaltestelle im CFK-Valley Stade lässt sich mit konventionellen Baustoffen nicht realisieren

(© Bureau for Advanced Tectonics [18])

Ein weit überwiegender Teil der Faser-verbundbranche sieht sowohl die generelle als auch die eigene Geschäftslage deutschland- und weltweit positiv, mit steigenden Zufriedenheitswerten. Ebenso ist das Investitionsklima weiterhin freundlich, insbesondere planen viele Unternehmen Personalaufstockungen [1, 2].

Kohlenstofffaser dynamisch, Glasfaser stabil

In den letzten Jahren wuchs der GFK-Markt jährlich um etwa 2,5% und damit deutlich stärker als das Bruttoinlandsprodukt in Europa (Bild 1). Laut dem Marktbericht der Industrievereinigung Verstärkte

Kunststoffe (AVK) sind unter den für 2015 angegebenen 1,069 Mio. t GFK einerseits 140t thermoplastbasierte Produkte, andererseits werden durch die Markterhebung ca. 300 bis 400 t im Infusionsverfahren hergestellte Bauteile nicht erfasst. Glasfaserverstärkte Composites mit duroplastischer Matrix sollten demnach tatsächlich knapp 1,3 Mio. t ausmachen. Da Transport und Bau Hauptabnehmer für GFK-Bauteile sind, folgt deren Herstellung in der langfristigen Betrachtung tendenziell der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung [3, 4].

Auf mengenmäßig weitaus niedrigerem Niveau, doch mit unaufhaltsamer Dynamik präsentiert sich der Markt

der kohlenstofffaserverstärkten Faserverbundkunststoffe. Ausgehend von derzeit gut 100 000 t CFK steigt insbesondere der prognostizierte Bedarf für Flugzeuge und Automobile rasant an, wobei der Fahrzeugbau in wenigen Jahren – mit einer Verdreifachung der Produktionsmenge bis 2022 – die Luftfahrt als Nummer eins in Sachen Carbon überflügeln soll (Bild 2) [5].

Während der Ursprung der glasfaserverstärkten Kunststoffe auf handwerkliche Verarbeitung zurückgeht, stammt der jüngere Werkstoff CFK eher aus der Hochtechnologie, was sich heute noch bei Werkstoffen und Verfahren bemerkbar macht. Während GFK-Produkte etwa

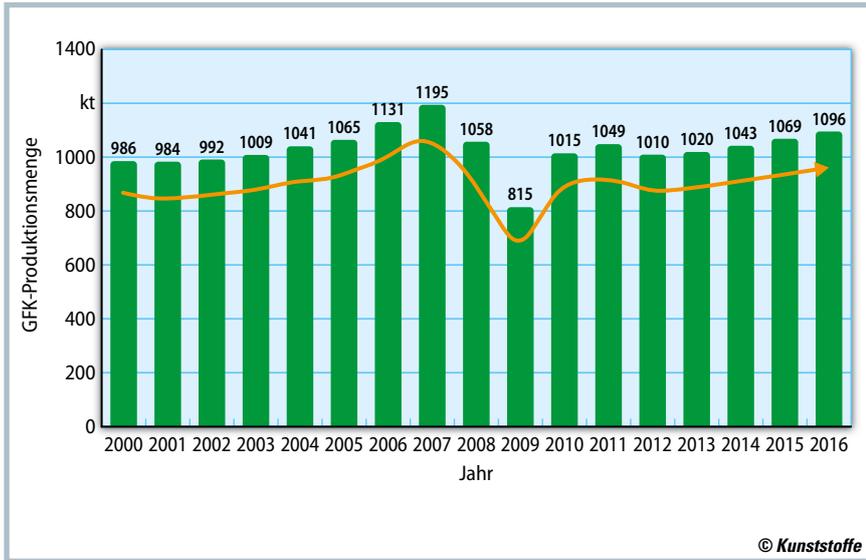


Bild 1. Europaweite GFK-Produktionsmenge (2016: geschätzt) (Quelle: AVK)

10% Anteil an thermoplastischer Matrix aufweisen, sind es bei CFK, insbesondere aufgrund der erfolgreichen LFT- und Organoblech-Anwendungen, etwa 25%. Zudem sind das Prepregablegen sowie

Pultrusions- und Wickelprozesse bei CFK vorrangig, während GFK-Teile bevorzugt mittels offenen Verfahren, Infusion/Injektion sowie durch Pressen hergestellt werden (**Tabelle 1**).

	GFK	CFK
Prepreg-Ablegeprozesse	---	45 %
Schleudern	6 %	---
Sheets	6 %	---
Pultrusion/Wickeln	9 %	27 %
Offene Verfahren/Infusion	38 %	11 %
Pressen und Injektion	28 %	9 %
Andere	13 %	8 %
Absolut in kt, ca.	1400	91

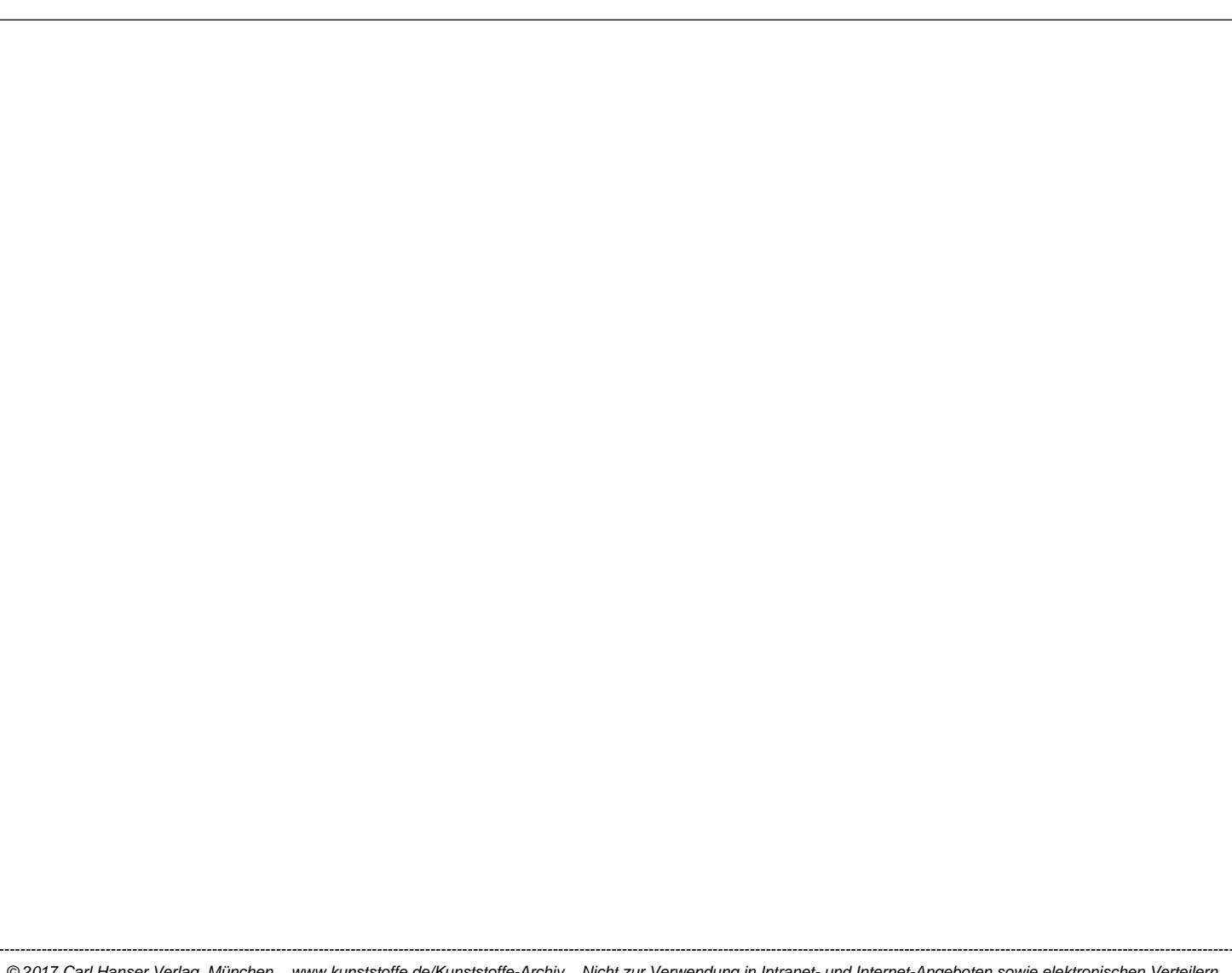
Tabelle 1. Vergleich der Anteile verschiedener Verarbeitungsmethoden bei glas- und kohlenstofffaserverstärkten Composites in %

(Quelle: Marktbericht Composites 2016 [3])

Von schnellhärtend bis nachwachsend

In der jüngeren Vergangenheit hat es immer wieder Rohstoffentwicklungen für reaktive Kunststoffsysteme gegeben, angekurbelt entweder von neuartigen Produkten oder aber durch gesetzliche Vorschriften.

Mit der flächendeckenden Einführung von Windkraftanlagen erfuhren die Epoxidharze einen Boom, der niedrig »



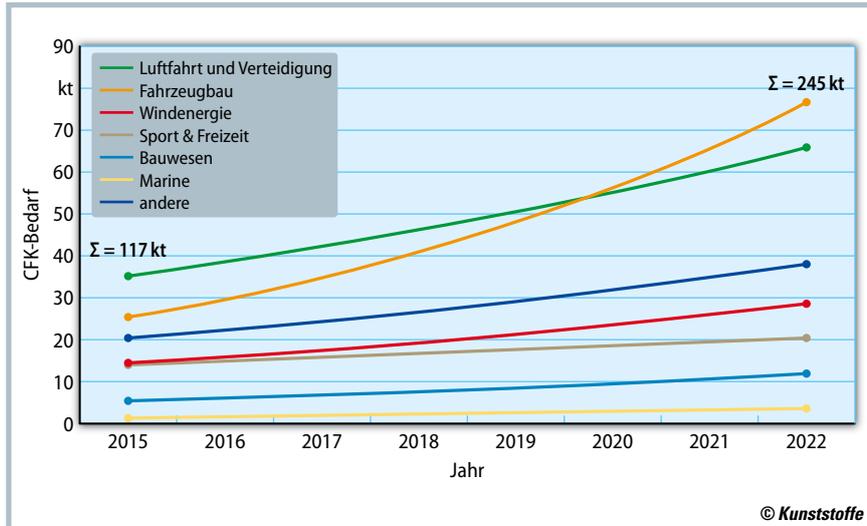


Bild 2. Geschätzter Bedarf an Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen nach Anwendungen

(Quelle: Carbon Composites)

viskose Harzsysteme für die Infusionstechnik hervorbrachte. Latente Varianten kamen auf den Markt, um einerseits lange Tränkungszeiten, andererseits schnellere Härtung zu ermöglichen. Hinsichtlich konkurrenzfähiger Zykluszeiten wurden Epoxidharzsysteme weiter durch die Bestrebungen verbessert, CFK in die automobilen Großserie zu bringen. Im Zuge dieser Entwicklung, die mit der Verfüg-

barkeit von Hochdruck-RTM-Maschinen einherging, fanden zudem RTM-fähige Polyurethane in den Markt. Auch in-situ-Polyamide sind für diese Verarbeitungstechnik geeignet und nun ebenfalls von der Werkstoffseite her marktreif [6].

Durch die Umweltgesetzgebung waren insbesondere Modifizierungen im Bereich der ungesättigten Polyester, motiviert die heute mit kobaltfreien Beschleunigern, reduzierten Styrolemissionen oder gänzlich ohne monomeres Styrol angeboten werden. Ebenso wurde man mit unterschiedlichen Werkstoffkonzepten erhöhten Brandschutzforderungen, z. B. für den Schienenfahrzeugbau, gerecht [7].

Biobasierte Rohstoffe bieten vielversprechende Möglichkeiten, gleichwohl bremsen der niedrige Ölpreis ihren Durchbruch. Temperaturstabile und flammhemmende Duroplaste auf Basis Polyfurfurylalkohol entstehen aus Furfural, das

aus pflanzlicher Hemicellulose gewonnen wird [8]. Die hitze- oder säurehärtenden Ausgangsstoffe sind in unterschiedlichen Viskositäten verfügbar und handwerklicher Faserverbundfertigung, der Vakuuminfusion sowie der Prepregtechnologie zugänglich. Grundstoffe für die Furfuralproduktion sind landwirtschaftliche Abfälle aus der Verarbeitung von Zuckerrohr, Holz, Oliven, Hafer, Nüssen und vielem mehr.

Outdoor-Sportler zeigen aufgrund ihrer besonderen Affinität zur Natur Interesse an nachhaltigen Sportgeräten. Neben den bewährten Snowboards und Skiern sind Skate-, Long-, Kite- und Surfboards sowie Ausrüstungen für das Stand-up-Paddling als Bio-Produkte erhältlich – auf Basis von Epoxidharzen mit bis über 50% Bio-Kohlenstoffanteil [9]. Multiaxialgelege aus Flachfasern bringen neben der Versteifungswirkung gute Dämpfungseigenschaften mit sich. Neuartige Verstärkungsmaterialien wie Gitterstrukturen und Kerne mit Naturfasergeweben optimieren die Fahreigenschaften im Winter- und Wassersport (**Bild 3**) [10].

Mit der neuen Palette wasserbasierter Acrylatbinder, die ohne Zusatz von Formaldehyd auskommen, lassen sich vielfältige Faserverbunde realisieren. So wurde ein thermoplastisch verformbarer Holzwerkstoff für die Möbelindustrie entwickelt, dessen Herstellung mit der herkömmlichen Anlagentechnik für Holzfaserverplatten möglich ist. Durch eine thermoplastisch verarbeitbare Variante des Binders werden Holzfasern zu dimensionsstabilen Bauteilen verfestigt. Mit einer duroplastisch aushärtenden Variante der Acrylatbinder ist bereits ein Dachrahmen für die Mercedes-E-Klasse in Serie. Auf Kundenwunsch ist ein bis zu hundertprozentiger Einsatz des Rohstoffs Bionaphta



Bild 3. Die Skier der Firma Faction bestehen aus spread-tow-Kohlenstofffasergeweben und bCores, einem Composite-Kernmaterial aus Balsaholz mit Flachfaserstegen (© bcomp)

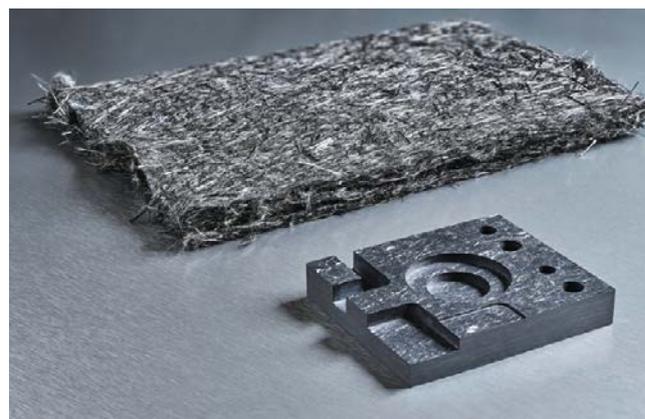


Bild 4. Das Recycling-SMC rCF 40NC Epoxy ist ein nachhaltiger Metalleersatz für bewegte Massen im Maschinenbau und zeichnet sich durch gute Fräsbarkeit aus

(© CarboNXT [12])

möglich. Dadurch kann dem Kunden in Form eines Zertifikats bestätigt werden, dass sein Produkt ausschließlich auf nachwachsenden Rohstoffen basiert [11].

Neue Horizonte für das Sheet Molding Compound

Mithilfe des SMC-Pressverfahrens wird seit langer Zeit etwa ein Viertel aller GFK-Produkte hergestellt. Großserientauglichkeit, Temperatur- und Dimensionsstabilität sprechen für sich, auch wenn das mechanische Niveau endlosfaserverstärkter Composites bei Weitem nicht erreicht wird. Angesichts des Kostendrucks in der automobilen Leichtbaufertigung und auch anderen Industriezweigen sucht man Wege, die wirtschaftliche SMC-Produktionsweise mit optimierten mechanischen Bauteileigenschaften zu verknüpfen. Angefangen von der Dichtereduktion durch Hohlglaskugeln und Schäume über die Verwendung von Kohlenstofffasern bis hin zu Hybridlösungen mit Endlosfaserverstärkung wurde der Markt mit vielfältigen Ideen bereichert (Tabelle 2). Ein



Bild 5. Demonstrator einer Türinnenverkleidung: Das vom CTC Stade und Partnern entwickelte Hybrid-SMC mit fließfähigen SMC-Außenschichten und versteifenden, vorimprägnierten Endlosfaserverstärkungen ermöglicht komplexe Luftfahrtbauteile (© CTC GmbH)

zusätzlicher Nutzeffekt für die Carbonbranche besteht darin, Prepreg- und Faserreste aus der Produktion endlosverstärkter Bauteile als Schnittfasern zu rezyklieren. Dabei können wiedergewonnene Fasern mit komplett neuer Harzmatrix

versehen werden (Bild 4), alternativ wird unangehärteter Prepregverschnitt zu Rezyklat-SMC verarbeitet.

Komplexe und funktionelle Flugzeugkabinen-, Cargo- und Sekundärstrukturkomponenten lassen sich durch die »

Die Autorin

Dr.-Ing. Eva Bittmann ist Geschäftsführerin des Sachverständigenbüros werkstoff&struktur, Itzgrund, und als vereidigte Gutachterin sowie freiberufliche Fachjournalistin tätig.

Service

Literatur & Digitalversion

» Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/4061897

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Kombination von gerichteten, vorimprägnierten Endlosfaserverstärkungen und langfaserverstärkten SMC-Halbzeugen in einem einstufigen Fließpressverfahren kosten- und zeiteffizient herstellen (Bild 5). Dieses sogenannte Hybrid-SMC-Verfahren, das seit Ende 2016 die Luftfahrtqualifikationsreife erreicht hat, verwendet neue Werkstoffe auf der Basis ungesättig-



Bild 6. CFK-Strebenkreuz in One-Shot-Technologie: Audi entwickelt hochbelastbare CFK-Automobilkomponenten mittels einer Kombination von Pultrusions- und Fließpressverfahren (© Audi AG)

ter Polyesterharze mit Flammenschutzadditiven, insbesondere Aluminiumhydroxid, um den strengen Flammchutzanforderungen der Luftfahrt gerecht zu werden.

Die entwickelten SMC-Materialien mit kontinuierlichen Faserverstärkungen sind mit dem gleichen Harzsystem wie das Standard-SMC imprägniert und basieren auf unidirektionalen Kohlenstofffaserverstärkungen (UD-Tapes), einem Kohlenstofffasergewebe und/oder Tailored-Fiber-Placement (TFP)-Halbzeugen, die entsprechend der Lastpfade und Belastungscharakteristik des Bauteils eingebracht werden [16].

Unter dem Begriff One-Shot-Technologie kommen exklusive CFK-Bauteile mit neuem Eigenschaftsspektrum zum Einsatz (Bild 6). Die im Pultrusionsverfahren hergestellten Profile bieten sehr hohe mechanische Eigenschaften bei moderaten Kosten. Durch die zusätzliche Integration des Pullwinding- und Pullbraiding-Verfahrens kann Torsionslastfällen begegnet werden, auch neuartige Oberflächen sind möglich. Die Verbindung zwischen den Profilen wird durch den Einsatz von Pressmaterialien wie C-SMC realisiert, sodass weitere Verbindungstechnik entfallen kann. Die fließgepresste Kompo-

Type	Anbieter	Bezeichnung	Harz	Faserverstärkung	Dichte [g/cm ³]	Zug-E-Modul* [N/mm ²]	Zugfestigkeit* [N/mm ²]
Standard			UP	Schnitt-GF	ca. 1,8	ca. 15 000	ca. 100
Carbon	Menzolit [13]	Carbon SMC 1100	VE	Schnitt-CF	1,42	30 000	130
	Schulman / Quantum [14]	AMC 8590 NT	VE	25-mm-Schnitt-CF 12K, 53 Gew.-%	1,48	36 500	162
	Polynt [15]	24CF40-12K	VE	25-mm-Schnitt-CF 12K, 40 Gew.-%	1,37	20 300	80
	Tencate [16]	MS-4H	EP	25-mm-Schnitt-CF, 48-50 Gew.-%	1,5	42 700 (o. F.)	302 (o. F.)
	Schulman / Quantum	Lytex 4149	EP	25-mm-Schnitt-CF 3K, 55 Gew.-%	1,48	34 500	255
	Hexcel [17]	HexMC	EP	8 x 50 mm-CF-Prepregabschnitte, statistisch orientiert, 62 Gew.-%	1,55	40 000	300
CF-Recycling	CarboNXT [12]	SMC rCF 40 NP	EP	25-mm-pyrolysierte CF, 40 Gew.-%	1,47	32 900	233
Hybrid	Quantum	AMC 8590-12CFH	VE	25-mm-Schnittfasern GF 30 Gew.-%, 12K-CF, 21 Gew.-%	1,57	21 300	179
Endlos	Menzolit	HPC 1300	UP	Schnitt- und UD-GF, hoher Glasanteil	1,8	25 000 (0°) 12 000 (90°)	410 (0°) 70 (90°)
	Quantum	AMC 8595	VE	UD-CF 60K, 55 Gew.-%, vorzugsweise für lokale Verstärkung	1,45	94 500 (0°)	993 (0°)
	Polynt [15]	90CF60-12K	EP	UD-CF 12 K, 60 Gew.-%	1,51	110 000 (0°)	1000 (0°)
Hochtemperatur	Quantum	HTC-9510	BMI	25-mm-GF, 52 Gew.-%	1,55	27 600 (o. F.)	196 (o. F.)
	Quantum [14]	HTC-9593	BMI	25-mm-CF 3K, 55 Gew.-%	1,82	37 200	150
Light	Menzolit	SMC 0430	UP	Glasfasern, Mineralfüllstoffe, Class A	1,3	8000	165
	Menzolit	SMC 0500	UP	Glasfasern, Mineralfüllstoffe	1,1	7000	60

Tabelle 2. Exemplarische Zusammenstellung moderner Sheet-Molding-Compounds (SMC). Die Eigenschaften entsprechen typischen Werten aus technischen Informationen der jeweiligen Hersteller (*Die Probenherstellung hat erheblichen Einfluss auf die gemessenen Kennwerte; UP = ungesättigtes Polyesterharz, VE = Vinylesterharz, EP = Epoxidharz, BMI = Bismaleinimidharz, GF = Glasfasern, CF = Kohlenstofffasern, o. F. = optimale Faserorientierung)

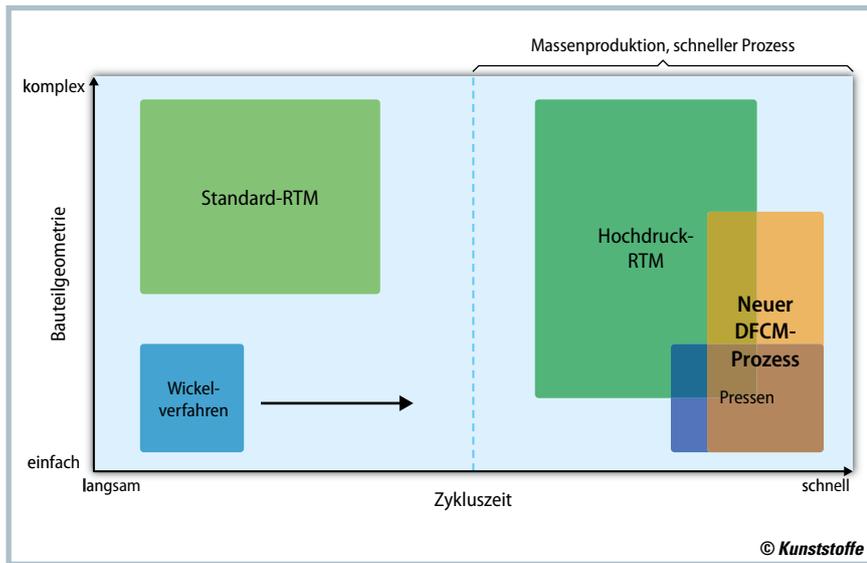


Bild 7. Das Dynamic Fluid Compression Molding (DFCM) ermöglicht die kostengünstige Serienfertigung faserverstärkter Strukturbauteile (Quelle: Huntsman)

nente verfügt über eine außerordentliche Designfreiheit und die Möglichkeit der Funktionsintegration [17].

Gut bedacht

Etwa ein Drittel aller glasfaserverstärkten Erzeugnisse ist im Bauwesen zu finden – ein erheblicher Anteil, der aber in der öffentlichen Wahrnehmung meist wenig zutage tritt. Zu den Produkten zählen korrosionsbeständige Rohre und Anlagenteile für die Abwasserbehandlung und Chemieindustrie ebenso wie Überdachungen sowie Platten und Pultrudate für Fassaden- und Geländersysteme. Zunehmend findet GFK auch in der Infrastruktur in Form von Fußgängerbrücken und Schleusentoren Anwendung; für CFK eröffnen sich Einsatzgebiete in der Betonanierung.

Zwar bedürfen faserverstärkte Kunststofflösungen häufig aufwendiger baulicher Zulassungsverfahren, doch lassen sich Architekten zunehmend durch ihre gestalterischen Vorteile inspirieren, wie eine futuristische CFK-Bushaltestelle zeigt (Titelbild) [18].

Ein weiteres ansprechendes Beispiel sind die vergoldeten Kuppeln der neuen russisch-orthodoxen Kathedrale in Paris, die im Infusionsverfahren aus Epoxidharz und speziell entwickeltem Laminataufbau mit quadrialem und gewobenem Glasfasertextil entstanden. Durch das geringe Gewicht konnten die Türme außerhalb der Baustelle unter kontrol-

lierten Umgebungsbedingungen gefertigt werden [9].

Nass pressen

Geht es um die Serienfertigung automobil CFK-Strukturbauteile, ist seit Jahren das Hochdruck-RTM-Verfahren in aller Munde. Dafür wurden Epoxidharzsysteme mit Härtingszeiten unter 2 min maßgeschneidert. Mit einer Injektion ins teilgeöffnete Werkzeug, z. B. als Spaltimpregnierung bezeichnet, kann die für die Fasertränkung notwendige Zeit reduziert werden. Außerdem kehrt man wieder zu einem traditionelleren Prozess zurück [19, 20]: Das Nasspressen ist das schnellste verfügbare Verarbeitungsverfahren für endlosverstärkte FVK-Bauteile, da kein Injektionsvorgang mit latentem, also niedrigviskosem Harz nötig ist. Der Dynamic-Fluid-Compression-Molding-Prozess (DFCM) nutzt Vakuum plus Pressdruck und ermöglicht so komplexere Bauteile und eine Laminatqualität, die RTM-Bauteilen gleichkommt (Bild 7). Mit einem angepassten Epoxidharzsystem ist bei einer Härtung mit 140°C eine Zykluszeit von 1 min erreichbar.

Fazit

Die Welt will sich Faserverbundkunststoffe leisten. Um dies zu erreichen, wird allorten an wirtschaftlichen Verfahren und Materialsystemen gearbeitet und aus einem großen Ideenpool geschöpft. ■