

Große Vielfalt und pragmatische Ideen

Faserverbundkunststoffe (FVK)

Die traditionellen Märkte für glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe bleiben stabil. Thermoplastcomposites starten bei 3D-Druck und hybriden Verarbeitungsprozessen durch. Mit pragmatischen Ideen packt die Faserverbundindustrie die Recyclingfrage an.



Das Arevo-„ebike“ hat einen 3D-gedruckten CFK-Monocoque-Rahmen, in den u. a. der Drivematic-Getriebe-aktuator von Oechsler integriert werden kann

(© Arevo)

Weltweit blickt die Faserverbundbranche zufrieden auf ihre Ergebnisse: 88 % der Composites-Betriebe bewerten die eigene Geschäftslage derzeit als gut bis sehr gut. In Deutschland hingegen schätzen laut dem Branchenverband Composites Germany mit 69 % deutlich weniger Unternehmen ihre Lage als positiv ein, als noch vor einem halben Jahr. Der ebenfalls erhobene Composites-Development-Index für die zukünftigen generellen Aussichten deutscher Unternehmen gab in den letzten zwei Jahren deutlich nach, trotz gutem Investitionsklima. Die Branche ist aber zuversichtlich, dass neue Impulse die Stimmung merklich aufhellen können, insbesondere, da die Indikatoren für das Investitionsklima nach oben zeigen [1].

Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) dominieren nach wie vor bei weitem den Markt. Das jährliche europäische Wachstum betrug in den letzten Jahren etwa 2 %, wobei sich die einzelnen Länder deutlich unterschieden. Mehr als zwei Drittel aller GFK-Anwendungen sind im

Transportwesen und im Infrastruktorsektor beheimatet. Der Trend folgt also prinzipiell dem Bruttoinlandsprodukt. Auch wenn es 2017 in keinem einzigen Bereich zu Rückgängen kam, sind es bei den Composites mit duroplastischer Matrix längerfristig die offenen Verarbeitungsverfahren, die an Bedeutung verlieren. RTM-Prozesse wachsen hingegen überdurchschnittlich. Trotz der guten Zahlen nimmt der europäische Anteil in der GFK-Branche ab, da andere Weltregionen wie Asien und Amerika stärker zulegen [2].

Der von Kunststoff Information (KI) veröffentlichte Plastixx Composites-Index, welcher auf den Preisverläufen der bei der Herstellung von GFK eingesetzten Harze und Glasfasern basiert, lag in den letzten drei Jahren höher als im Zeitraum zuvor. Den Anstieg bedingten Engpässe bei Polyesterharzvorprodukten sowie rohölgekoppelte Preisentwicklungen beim Reaktionspartner Styrol. Im Jahr 2019 machte sich jedoch allmählich die schleppende Nachfrage aus der Automobilindustrie bemerkbar [3].

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist weiterhin ein globaler Wachstumstreiber für die Faserverbundbranche. Wegen des großen Interesses an diesem Leichtbauwerkstoff haben die Faserhersteller Produktionskapazitäten aufgebaut. 2018 belief sich die weltweite Kapazität für Carbonfasern auf knapp 150 kt – bei einem Bedarf von ungefähr 80 kt. Für die kommenden Jahre wird mit einer Steigerung der zur Verfügung stehenden Fasermenge, von der über 80 % in den CFK-Markt geht, um etwa ein Viertel gerechnet (Bild 1 [2]).

Die Vormachtstellung von Toray, Tokio/Japan, wird durch erhebliche Stei- ➤

Service

Literatur & Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-10

English Version

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

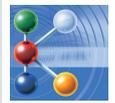
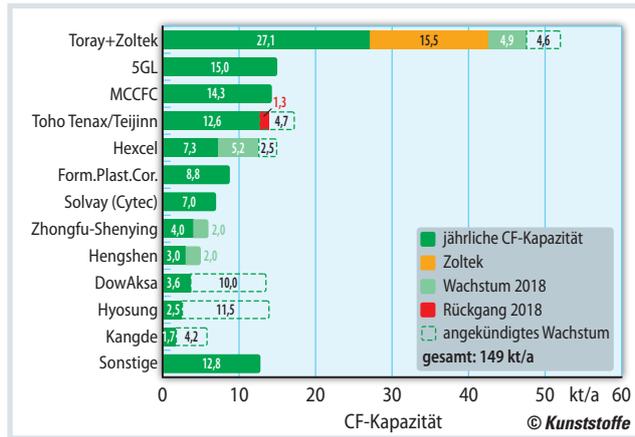


Bild 1. Theoretische, jährliche CF-Produktionskapazitäten nach Herstellern, Stand 11/2018

(Quelle: Carbon Composites)



gerungen bei dem vor Jahren akquirierten Unternehmen Zoltek, St. Louis/USA, gefestigt. Doch auch weitere, vornehmlich aus Asien stammende kleinere Marktteilnehmer sorgen für erhebliches Kapazitätswachstum bei den Kohlenstoffasern. Unter den Produzenten macht die Akquise von Firmen aus dem Bereich Faserverarbeitung und Bauteilproduktion Schule. Dadurch lässt sich an der gesamten Wertschöpfung auf dem CFK-Markt verdienen. Vor allem in Asien wird der im Aufholprozess befindliche Sektor der Bauteilfertigung mit dem zunehmenden Faserangebot ausgeweitet werden [2].

Mit knapp 155 kt (2018) hat die globale Bedarfsmenge an zugehörigen Carbon Composites (CC), von denen der weit überwiegende Teil kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe darstellt, einen neuen Höchststand erreicht. Luft- und Raumfahrt liegen mit 36 % der CC-Anwendungen (umsatzbezogen) weit vorn. Der wichtigste Wachstumstreiber sind zivile Flugzeuge, doch für die Zukunft machen sich bereits die ambitionierten Weltraummissionen privater Unternehmen bemerkbar [2].

Die Windenergie hingegen wurde inzwischen von Automobilanwendungen, die 24 % des CFK-Bedarfs (umsatzbezogen) für sich beanspruchen, weit überflügelt. Zunehmend kommen hier die Faserhersteller der Nachfrage nach sogenannten „heavy-tow“-Produkten entgegen – verhältnismäßig kostengünstigen Kohlenstofffaserbündeln mit einer sehr hohen Anzahl an Einzelfilamenten. Hochintegrierte Anwendungen, häufig im Multimaterial-Design, bieten automobilen Zukunftsperspektiven, unter anderem auch für Fahrzeuge mit neuen Antriebstechniken.

Trotz Booms noch in der Nische

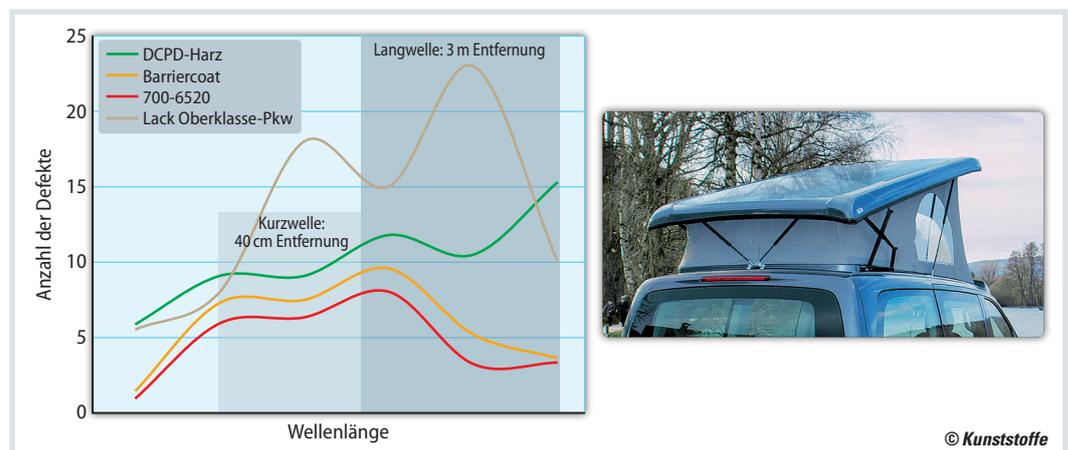
Composites mit thermoplastischer Matrix stehen für hohe Lagerstabilität, kurze Verarbeitungszyklen sowie leichtes Weiterarbeiten, wozu auch das Recycling zählt. Dementsprechend verzeichnet diese kosteneffiziente Werkstoffgruppe derzeit einen regelrechten Höhenflug. Thermoplastische glasfaserverstärkte Kunststoffe wachsen mit knapp 5 % weit überdurch-

schnittlich – ihr Anteil an den GFK-Anwendungen hat sich in den letzten 20 Jahren fast vervierfacht [2]. Neben glasmattenverstärkten Thermoplasten (GMT) und traditionellen langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT) weisen die endlosfaserverstärkten Composites das wohl höchste Potenzial auf: Organobleche und thermoplastische Tapes ermöglichen funktionalisierbare hochfeste Flächenbauteile.

Während 13 % der GFK-Bauteile eine thermoplastische Matrix besitzen, werden bei den zunehmend großserienorientierten CFK-Anwendungen 29 % des Umsatzes mit PA, PEEK und Co. erzielt. Auch wenn das Segment kohlenstofffaserverstärkter Thermoplaste derzeit global mit knapp 17 % wächst, betrifft diese Entwicklung nur einen Bruchteil des gesamten Composite-Markts: Europaweit beträgt die CFK-Menge weniger als 5 % aller Faserverbundanwendungen [2].

Kunden lieben makellose Oberflächen. Das ist insbesondere im Fahrzeugwesen seit jeher eine Herausforderung für Verarbeiter von Faserverbundkunststoffen (FVK). Soll der aufwendige Lackierschritt wegfallen, ist Innovationsgeist gefragt. Während diverse In-Mould-Coating-Techniken für Sheet Moulding Compound (SMC) oder Resin Transfer Moulding (RTM) bereits etabliert sind [4–7], ist nun ein praktisch schrumpffreies Vinyl-esterharzsystem für die RTM- und RTM-Light-Verarbeitung verfügbar. Ohne Barriercoats oder oberflächennahe Zusatzlagen resultieren Class A-Oberflächen, bei denen sich weder Fasern noch Metallinserts abzeichnen (Bild 2 [8]). Hochwertige Fahrzeugoberflächen auf Basis SAN oder PP lassen sich zudem mit thermoplastischen Typen der Faserverbund-Serie „StyLight Aesthetic“ realisieren [9].

Bild 2. Für hohe Oberflächenqualitäten im RTM-Verfahren: Qualitätsvergleich aus WaveScan-Messungen (links). Für SCA-Dächer verschiedener Fahrzeughersteller setzt C. F. Maier das BÜFA-Resin VE 6520 im RTM-Light-Prozess ein (rechts) (© links: Courtesy of BYK-Gardner, rechts: C.F. Maier)



Obwohl GFK-Rohre ein hohes Potenzial bieten – insbesondere für den noch wenig ausgebauten Bereich großer Durchmesser [10] – werden sie auch immer wieder durch andere Werkstoffe substituiert. Außerdem unterliegen sie normativen Unwägbarkeiten wie der jüngst geänderten Trinkwasserzulassung. Treibende Kraft bei den geschleuderten bzw. gewickelten GFK-Produkten scheint aller Voraussicht nach der Tank- und Anlagenbau zu werden. Dafür sprechen unter anderem Reinvestitionsmaßnahmen der chemischen Industrie [2].

Auch als Wärme- oder Kältespeicher lassen sich korrosionsfreie GFK-Tanks mit Behältergrößen bis 100 m³, einer hohen Flexibilität bei der Ausstattung sowie geringem Wärmeverlust einsetzen [11]. Die Energieeffizienz in produzierenden Unternehmen wird durch entsprechende Nutzung von Abwärme, kaltem bzw. warmem Prozesswasser oder überschüssigem Photovoltaikstrom merklich erhöht (Bild 3). Das Mantellaminat der Tanks be-



Bild 3. Montage gedämmter GFK-Wärme- und Kältespeicher, die in Kombination mit Wärmepumpen Prozesswasser eines Fruchtsaftherstellers heizen und kühlen (© Haase Tank)

steht aus UV-gehärteter Plattenware; für Böden und Deckel kommt das Faserspritzen zum Einsatz.

Endlos faserverstärkte Thermoplaste sind in der Großserie zunehmend erfolgreich. Besonders etabliert hat sich die Fertigung hybrider Bauteile auf eigens entwickelten Spritzgießmaschinen: In einem einzigen Prozessschritt erhält man aus umgeformten Organoblechen sehr steife flächige

Komponenten, die durch Funktionalisierung mit kurz- oder langfaserverstärkten Formmassen zum montagefertigen Bauteil werden. Beispielsweise lassen sich unter anderem Frontends, Träger von Elektro- und Elektronikmodulen, Batteriekomponenten und Deckel mobiler Kommunikationsgeräte herstellen. Dem Drapieren des vorgewärmten Organoblechs direkt im Spritzgießwerkzeug kommt bei diesem One- »



| Anbieter | Markforged [16] | Ceadd [17] | 9T labs [18] | Anisoprint [19] | Arevo [20] |
|--------------------|--|--|--|---|--|
| Bezeichnung | X7 | CFAM Prime (Continuous Fiber Additive Manufacturing) und flexbot | AFT (Additive Fusion Technology) | Anisoprint Composer / CFC (Composite Fiber Co-Extrusion) | DED (Direct Energy Deposition) |
| Prinzip | Vorimprägnierter Faserstrang und Matrixstrang werden aufgeschmolzen und gemeinsam abgelegt | Matrix wird im Extruder aufgeschmolzen und mit Faserbündel in der Düse vereinigt | Ablegen von kontinuierlichem Faserstrang mit Matrix + nachgelagerter Prozess für optimale Konsolidierung | Faserstrang mit ausgehärtetem Duroplast wird gemeinsam mit aufgeschmolzenem Matrixstrang abgelegt | Vorimprägnierter Faserstrang und Substrat werden mit Laser aufgeschmolzen und in-situ unter Druck konsolidiert |
| Faserart | CF, AF, GF | CF, GF | CF | CF, BF | CF |
| Matrixart | PA-CF (Kurzfasern) | Praktisch beliebig, meist kurzfaserverstärkt | PA 12, PEI, PEKK | Kunststoffe mit Schmelztemperaturen bis 270 °C | PEEK |
| Strangablage | planar | CFAM Prime: planar flexbot: 6-Achs-Roboter | planar | planar | Multiaxial, 6-Achs-Roboter |
| Faservolumengehalt | k. A. | 20 – 50 % / Faserstrang 5 – 50 % / Matrix | ≥50 % | 25 % | ≥50 % |
| Lunkeranteil | k. A. | k. A. | <2 % | ca. 2 % | <1 % |
| Bauraum | 330x270x200 mm ³ | CFAM Prime: 4000x2000x1500 mm ³ flexbot:Track length 1800x1500 | 300x300x250 mm ³ | 297x210x145 mm ³ und 420x297x210 mm ³ | 1200x1200x1000 mm ³ |

Tabelle. Verschiedene Prinzipien für den 3D-Druck mit endlos faserverstärkten Thermoplasten (CF: Kohlenstoff, AF: Aramid, GF: Glas, BF: Basalt)

(Quelle: Markforged, Ceadd, 9T labs, Anisoprint, Arevo)

shot-Hybridverfahren besonderes Augenmerk zu [12].

Das gleiche Marktsegment wird jedoch auch von Verarbeitungsprozessen bedient, bei denen das überwiegende Teilevolumen aus dem Compoundierprozess stammt: Im Direktverfahren erzeugte Plastifikate mit 10 bis 12 mm Faserlänge werden beim anschließenden Fließpressen in einem Presshub mit UD-Profilen, Tapegelegen oder Organoblechen lokal verstärkt (Bild 4). Gegenüber dem Spritzgießen ist die Designfreiheit bei diesem E-LFT-Prozess (Langfasertechnologie mit Endlosfaserverstärkung) zwar leicht eingeschränkt, doch lassen sich mit diesem

Verfahren sehr große Bauteile – bis 3 m² Fläche – kosteneffizient fertigen [13].

Kaum eine andere Entwicklung hat die Kunststoffindustrie so in Bewegung gebracht wie die Option, Bauteile additiv zu fertigen. Der Wegfall kostenintensiver Werkzeuge, die Verheißung der Losgröße 1 für Sonderanfertigungen ohne Mehrkosten sowie neue Designoptionen haben zu einem schlagartigen Einzug des 3D-Drucks in die verarbeitenden Betriebe geführt. In der Regel erfolgt der 3D-Composites-Druck als Variante des thermoplastbasierten FDM (Fused Deposition Modeling, auch FFF = Fused Filament Fabrication oder FLM = Fused Layer Manu-

facturing); die Duroplastverarbeitung bildet die Ausnahme [14, 15].

Die Herausforderung besteht nicht zuletzt darin, mit sowohl guter Imprägnierqualität als auch hohem Faservolumengehalt sehr gute mechanische Eigenschaften zu erzielen. Für endlosfaserverstärkte Anwendungen existieren dafür unterschiedliche Ansätze (Tabelle). Sehr hohe Faservolumenanteile von über 50 Vol.-% werden im sogenannten Direct-Energy-Deposition-Prozess (DED) erzielt, bei dem sowohl das einlaufende, vorimprägnierte Filament als auch das Substrat von einem Laser während der Ablage aufgeschmolzen und in-situ kom-



Bild 4. Pkw-Rückenlehnenkomponente in E-LFT-Technik aus compoundiertem PA 6 GF 40 mit 10 mm langen Glasfasern und entsprechend der Lastfälle positionierten unidirektionalen Pultrusionsprofilen (© Weber Fibertech)

paktiert wird (**Titelbild**). Erfolgt bei vielen Druckkonzepten der Aufbau aus dem Stapeln von 2D-Ebenen, ermöglicht dreidimensionale Strangablage mit 6-Achs-Robotern maximale Designfreiheit bei lastpfadgerechter Faserverstärkung [20].

Fasern im Kreislauf

Das Thema Recycling von Kunststoffen ist allerorten wieder ganz vorn auf der Agenda. Glasfaserverstärkte Kunststoffe tragen erheblich zum Abfallaufkommen bei – allein der Abbau und die Erneuerung in die Jahre gekommener Windkraftanlagen erzeugen deutschlandweit eine jährliche Reststoffmenge von rund 40 000 t [21]. Das Abfallmanagement bei GFK hat sich weitgehend etabliert: Demontierte und vor Ort zerkleinerte Rotorblätter sowie andere Abfälle aus Anlagenbau, Marine und Konstruktion werden thermisch wie stofflich verwertet, verbleiben allerdings nicht mehr innerhalb der Kunststoffbranche. Abnehmer ist in erster Li-

nie die Zementproduktion, die gemahlene GFK als ressourcenschonenden Ersatzbrennstoff in der Klinkerproduktion einsetzt (**Bild 5**). Anfallende siliziumdioxidhaltige Aschen gelangen als Rohsandsubstitut wiederum in diesen Herstellungsprozess [22].

Die CFK-Industrie, die derzeit weniger mit der End-of-Life-Problematik befasst ist als mit Produktionsausschuss, betreibt Recycling vornehmlich aus Kostenaspekten. Für trockene CFK-Verschnittreste oder abgelaufene Prepregware ist eine Kreislaufnutzung im Aufbau. Mit Harz benetzte Fasern müssen vorbehandelt werden, wobei sich die Pyrolyse, eine sauerstofffreie Zersetzung der Kunststoffmatrix bei erhöhter Temperatur, durchzusetzen scheint. Die recycelten Fasern werden zu neuen Verstärkungsmaterialien – vielfach in Form von Vliesstoffen, die auch als Hybride mit Thermoplastfasern oder durch Nähen und Wirken verfestigt angeboten werden. Stark verkürzte Fasern können zudem in Spritzgießanwendungen wiederverwertet werden.

Parallel wird mit Hochdruck an verschnittarmen Tapelege-Prozessen gearbeitet [21]. Das Projekt fiberEUse strebt neue Aspekte der FVK-Kreislaufwirtschaft wie ein „Custom Remanufacturing“, z.B. mittels Reparaturen an Luftfahrt- und Fahrzeugteilen, sowie das „Custom Reforming“ in Form kreativer Produkte aus Verbundwerkstoffresten, an [23]. Designer betreiben Upcycling mit dem Material Glebanite aus gemahlenem GFK-Abfall und frischem Polyesterharz. Dabei bieten gegossene, gepresste oder kalt extrudierte Halbzeuge vielfältige bildhauerische Möglichkeiten [24, 25].

Die letzten Jahre liefen gut für die Faser-verbundbranche. Es bleibt abzuwarten, wie stark sich die Umwälzungen im Fahrzeugwesen insbesondere auf den Kunststoffstandort Deutschland auswirken. Ob dann die CFK-Euphorie anhalten wird, ist ungewiss.

Dr. Eva Bittmann, Itzgrund



Bild 5. Demontierte Rotorblätter ersetzen traditionelle Ressourcen: Nach Grobzerkleinern und Shredern dienen sie als Brennmaterial und Rohsandsubstitut in Zementwerken

(© Neowa)