

Hybridteilmfertigung

Organobleche verlassen das Hochpreissegment

Verfahren der Kunststoffverarbeitung erschließen Organoblechen Anwendungen im Automobilbau. Der Schlüssel liegt in der Verfahrenskombination. Die faserverstärkten thermoplastischen Halbzeuge werden auf einer Spritzgießmaschine umgeformt und mit dem gleichen Thermoplast hinterspritzt.

ALEXANDER STOCK UND PETER EGGER

Leichter, schneller, höher, weiter – nicht erst seit dem Aufkommen der Elektromobilität werden die Rufe nach Bauteilen mit niedrigem Gewicht, die sich noch dazu ökonomisch herstellen lassen, lauter. Leichtbau und Spritzgießen sind längst Schlüsselbegriffe zur Bewältigung der steigenden Anforderungen in den Anwendungsbereichen Verkehr und Mobilität. Kunststoffe sind aufgrund ihrer herausragenden spezifischen Eigenschaften als

Leichtbauwerkstoff nicht mehr wegzudenken und das Spritzgießen ermöglicht eine hohe Gestaltungsfreiheit sowie eine reproduzierbare, funktionsintegrative sowie kosten- und ressourcenschonende Herstellung.

Konstruktion und Verarbeitung müssen zusammenpassen

Viele Anforderungen des Leichtbaus werden heute bereits von Spritzgießteilen erfüllt. Jedoch gibt es weitere Anforderungen, die Konstrukteure, Werkstoff- und Maschinen-

hersteller immer wieder herausfordern, innovative Wege zu gehen und Grenzen zu verschieben. Leichtbau ist nicht nur eine Frage des Werkstoffs. Vielmehr kommt es auf das Zusammenspiel zwischen Werkstoff, Konstruktion und Verarbeitungsprozess an. Je geringer die Wanddicke, desto leichter das Bauteil. Der Verarbeitungsprozess muss sich dieser Anforderung anpassen. Das ist ein Grund dafür, dass heute Spritzgießwerkzeuge für Leichtbauteile mit vielen Anspritzpunkten ausgestattet werden. Der erhöhte



Automatisierung erzeugt Wirtschaftlichkeit

Automatisierte Fertigungszelle zur wirtschaftlichen Verarbeitung thermoplastischer Faserverbundhalbzeuge. Auf der Kunststoffmesse K 2010 wurden damit Hybridteile hergestellt. Basis dafür ist die stoffschlüssige Verbindung.

Bild: Engel Austria

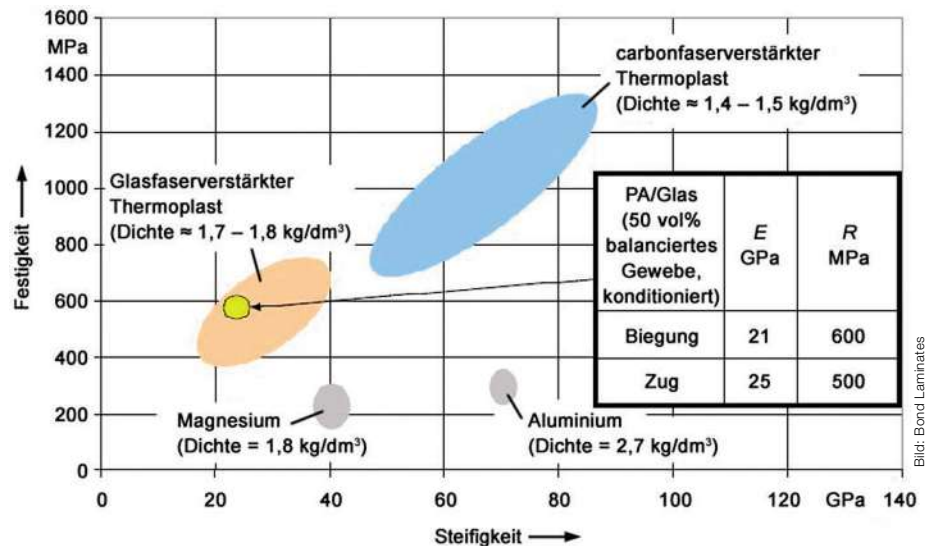
Druckverlust auf engen Fließwegen kann durch Wegverkürzung kompensiert werden. Auch Spritzprägen und variotherme Temperaturführung verringern den Druckbedarf und die Schließkraft. Ist eine weitere Reduktion der Wanddicke konstruktiv nicht möglich oder gewünscht, kann das Bauteil durch Schäumen oder Fluidinjektion an Gewicht verlieren.

Um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern, kommen Verstärkungsmaterialien zum Einsatz. Für die Verstärkung von Thermoplasten hatten bislang vor allem Kurz- und Langfasern Leichtbaurelevanz. Mit steigendem Fasergehalt und steigender Faserlänge werden die mechanischen Eigenschaften besser. Kurzfaserverstärkte Thermoplaste zeigen je nach Faserorientierung, die unter anderem von der Füllung der Kavität abhängig ist, ein anisotropes Werkstoffverhalten. Zwar erzielen langfaserverstärkte Thermoplaste bessere mechanische Eigenschaften, doch sind die endgültigen Bauteileigenschaften auch in diesem Fall von der Lage der Fasern abhängig. Für flächige Bauteile werden Langfasern zur Verstärkung in glasplattenverstärkten Thermoplasten (GMT) eingesetzt. GMT bestehen aus konsolidierten Glasfasermatten (Wirrfaseranordnung ohne Vorzugsrichtung), in denen die Bindung der Einzelfasern als Matte für eine gleichmäßige Faseranordnung im Bauteil sorgt, wodurch annähernd isotrope Eigenschaften in der Bauteilebene gewährleistet werden.

Endlosfaserverstärkte Thermoplaste als Metalleersatz in Hybridteilen

Endlosfasern, deren Länge im Bereich der Bauteilabmessungen liegt, lassen sich im Bauteil so verteilen, dass sie in Belastungsrichtung die benötigten Verstärkungsaufgaben erfüllen. Dadurch werden der Fasergehalt und somit die Dichte des Bauteils reduziert. Bei gleichbleibendem Fasergehalt führt das zu weiter verbesserten Bauteileigenschaften. Aufgrund der guten Benetzungsfähigkeit niedermolekularer Ausgangsprodukte von Duroplasten werden Endlosfasern meist in einer duromeren Matrix gebunden. Jedoch haben die Eigenschaften von Duromeren nicht nur Vorteile: Lange Zykluszeiten, fehlende Verarbeitungsflexibilität und

Dipl.-Ing. Alexander Stock ist Technologiemanager Leichtbau & Faserverbundtechnologien bei der Engel Austria GmbH in St. Valentin (Österreich). Dipl.-Ing. Peter Egger ist Leiter Anwendungstechnik Großmaschinen im gleichen Unternehmen. Weitere Informationen: Alexander Stock, 4300 St. Valentin/Österreich, Tel. (00 43-50) 6 20-41 93, Fax (00 43-50) 6 20-1 41 93, alexander.stock@engel.at



Faserverstärkte Thermoplaste contra Leichtmetalle

Kombinationsvielfalt und Laminataufbau sind bei faserverstärkten Thermoplasten für die Maximierung von Festigkeit und Steifigkeit verantwortlich.

eingeschränkte Lagerdauer vorvernetzter Halbzeuge sowie nur bedingt vorhandene Technologien zur Automatisierung erschweren den Einzug der Endlosfasern in breite Anwendungsgebiete.

Bislang finden Kunststoffe mit Endlosfaserverstärkung vor allem in der Luft- und Raumfahrttechnik sowie in weiteren Hochpreissegmenten Anwendung. Für mechanisch besonders hoch beanspruchte Bauteile werden häufig auch Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen verwendet, die Blechbauteile in puncto Leichtbaupotenzial und Energieaufnahmevermögen übertreffen [1]. Crashelemente, die ebenso tragende Strukturen bilden, sind ideale Bauteile für Kunststoff-Metall-Hybride. Doch auch diese Verbunde sind nicht der Weisheit letzter Schluss. Bei Temperaturschwankungen führen zum Beispiel die stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten metallischer und polymerer Werkstoffe zu Spannungen an den Verbindungsstellen. Im schlimmsten Fall können die Bauteile versagen.

Diese Nachteile entfallen, sofern Hybridstrukturen vollständig aus Thermoplasten aufgebaut werden. Endlosfaserverstärkte Kunststoffkomponenten kommen als mögliche Substituenten für die Metalle infrage – eine wesentliche Triebfeder für die Entwicklung neuer Materialkombinationen und Spritzgießprozesse, um die Nachteile der Duroplast-Faserverbundverarbeitung zu überwinden.

Das Spritzgießen von Hybridstrukturen unter Verwendung neuartiger thermoplastischer Endlosfaser-Verbundhalbzeuge – sogenannter Organobleche – verspricht die Herstellung sehr leichter Bauteile bei extrem

kurzen Zykluszeiten und hoher Fertigungseffektivität. Die potenziellen Anwendungen der Teile sind sehr vielfältig. Organobleche sind beinahe unbegrenzt lagerfähig und wiederverformbar. Sie haben im Vergleich zu konventionellen Faserverbundwerkstoffen vergleichbar hohe Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte bei geringerer Dichte. Hervorzuheben sind zudem die guten Impacteigenschaften, die Anwendungen im Automobilbereich erschließen. Der Name Organobleche resultiert aus der organischen Matrix – meist Polyamid (PA), Polypropylen (PP), Polyphenylsulfid (PPS) oder thermoplastisches Polyurethan (TPU) – und dem Einsatz als Substituent für Metallbleche.

Herausragendes Impactverhalten bei guter Umformbarkeit

Hergestellt werden die plattenförmigen Halbzeuge auf Doppelbandpressen. Je nach Anwendung können Fasertypen, Lagenaufbau und -anzahl sowie die Dicke der Organobleche variiert werden. Gängige Fasertypen sind Glas-, Kohlenstoff- oder Aramidfasern. Es können rein unidirektionale (UD) Aufbauten sowie Kombinationen mehrerer UD-Schichten realisiert werden. Dabei kommen die für alle Faserverbundwerkstoffe gängigen Laminattheorien zum Tragen.

Aufgrund der materiellen Kombinationsvielfalt und der wirkungsvollen Laminataufbauten sind die Organobleche für Leichtbauanwendungen prädestiniert. Werden thermoplastische Laminare gezielt für Hybridstrukturen eingesetzt, entstehen aufgrund der Schweißbarkeit stoffschlüssige Anbindungen – beispielsweise zur kurzfaserverstärkten, thermoplastischen Hybridkompo-



In sechs Arbeitsschritten hergestellt

Der Lenkstockhalter besteht aus einer hochfesten, formgebenden Komponente, dem Organoblech, und gespritzten Rippen.

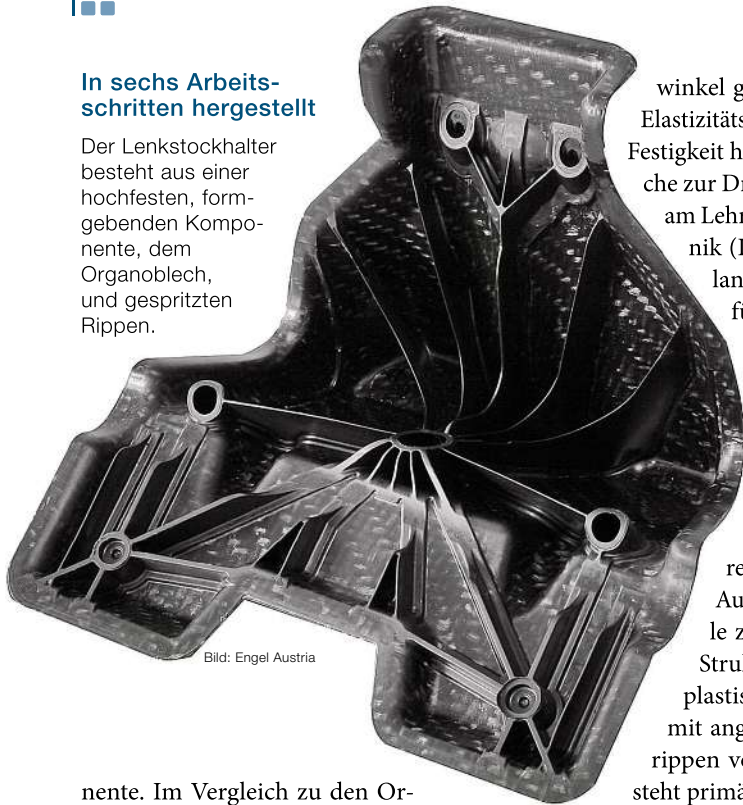


Bild: Engel Austria

nente. Im Vergleich zu den Organoblechen mit hohen Festigkeitswerten und herausragendem Impactverhalten bei guter Umformbarkeit führen gespritzte Strukturen wie Rippen zu hohen Steifigkeitswerten und hoher Bauteilstabilität bei geringem Masseaufkommen.

Organobleche sind plattenförmig und in beliebigen Zuschnitten erhältlich. Zum Umformen werden sie ähnlich wie GMT mittels Infrarotstrahlung, Umluft erwärmt oder Kontaktheizung erwärmt. Weil die Platten auf dem Weg von der Aufheiz- zur Umformstation in kurzer Zeit abkühlen können, müssen das Zeitfenster möglichst klein und die Ausgangstemperatur möglichst hoch gewählt werden. Dabei ist eine material- und dickenspezifische Temperaturobergrenze zu beachten, damit es nicht zu einer thermischen Oberflächenschädigung kommt.

Sechsstufige Hybridteilmontage ist komplett automatisiert

Beim Aufheizen über die Schmelztemperatur hinaus dehnt sich der Verbund in Dickenrichtung besonders stark aus, was als Lofting bezeichnet wird. Beim Lofting versucht der Werkstoffverbund sich wieder, in die Ausgangslage vor dem Verpressen zu entspannen. Die einzelnen Gewebelagen lassen sich in diesem Zustand leicht gegeneinander verschieben, was die Drapierung erleichtert. Insgesamt beinhaltet der Verarbeitungsprozess von Organoblechen das Aufheizen, Drapieren und Wiederverpressen der dekonsolidierten Lagen. Diese Vorgänge haben einen entscheidenden Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften, weil bereits kleine Änderungen der Faser-

winkel große Auswirkungen auf Elastizitäts- und Schubmodul sowie Festigkeit haben. Empirische Versuche zur Drapiersimulation wurden am Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT) der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt, deren Ergebnisse für die Optimierung des Zuschnitts herangezogen werden können.

Der Überblick über die einzelnen Verarbeitungsschritte von Organoblechen gibt bereits die Richtung für den Aufbau einer Fertigungszelle zur Herstellung hybrider Strukturbauteile aus thermoplastischen Faserverbunden mit angespritzten Versteifungsrippen vor. Die Prozesskette besteht primär aus den Schritten Aufheizen, Umformen und Hinterspritzen.

Eine automatisierte Prozesskette zur wirtschaftlichen Fertigung großer Stückzahlen mit einer hohen Produktivität bei reproduzierbaren Qualitätsmerkmalen war bisher nicht „greifbar“. Eine erste Entwicklung wurde nun vom Spritzgießmaschinenbauer und Automatisierungsexperten Engel, Schwertberg (Österreich), auf der Kunststoffmesse K 2010 im Oktober vorgestellt. Vollständig automatisiert wurde dort mit einem Spritzgießwerkzeug des Herstellers Siebenwurst, Dietfurt, ein Lenkstockhalter gefertigt. LKT Erlangen und die Neue Materialien Fürth GmbH haben ihre Erfahrungen in der Verarbeitung von Organoblechen in das Projekt eingebracht.

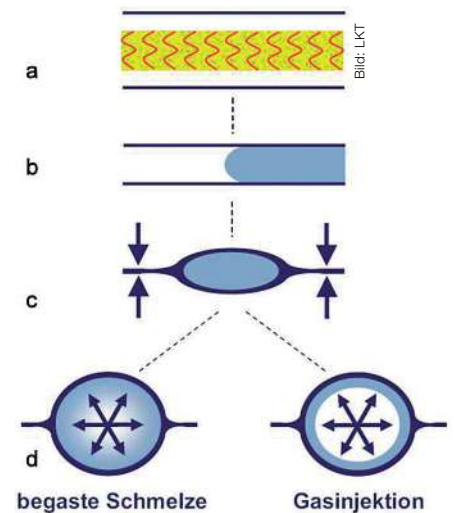
Der Lenkstockhalter besteht aus einer flächigen, hochfesten, formgebenden Komponente, dem Organoblech (vier Lagen Körpergewebe, gebunden in einer PA6-Matrix, Hersteller Bond Laminates), und gespritzten Rippen (PA6 GF30 von Lanxess, optimiert für geringen Fließwiderstand). Die Basis für die Entwicklung der Fertigungszelle bildet das sogenannte Inmould-Forming (IMF), eine vom LKT entwickelte Prozesskette zur Verarbeitung thermoplastischer Faserverbundhalbzeuge zu Bauteilen mit Versteifungsstrukturen [2]. Die auf der K 2010 gezeigte Fertigungszelle integriert insgesamt sechs Arbeitsschritte: Übergabe, Aufheizen, Vorformen, Umformen, Hinterspritzen und Beschneiden.

Im ersten Schritt werden die Organobleche in einem Magazin gestapelt gelagert und von einem Linearroboter an einen Knickarmroboter übergeben. Danach schwenkt

der Knickarmroboter das „Blech“ in eine Infrarotheizstation, in der die thermoplastische Matrix aufgeheizt wird. Die Wärme wird innerhalb der Zykluszeit der Spritzgießmaschine eingebracht, um den Fertigungszyklus nicht zu verlängern. Temperatur und Wellenlängenverteilung der IR-Strahler spielen dabei eine große Rolle. Die Strahlung des mittleren IR-Spektrums wird an der Oberfläche absorbiert, während die nahe Infrarotstrahlung tiefer ins Halbzeug eindringt. Sie ist daher bei größeren Wanddicken effektiver. Der Heizzyklus besteht aus Ein- und Ausschaltsequenzen, um das Material möglichst schonend aufzuheizen und die schneller erwärmte Oberfläche thermisch nicht zu beschädigen. Die Aufheizung erfolgt wie die Temperaturmessung beidseitig von oben und unten, die dabei erreichte Bruttoheizzeit liegt unter 25 s.

Vorformen des Halbzeugs erfolgt direkt im Werkzeug

Aufgrund des hohen Bauteilumformgrads ist ein Vorformschritt erforderlich. Dazu schwenkt der Knickarmroboter das aufgeheizte, weiche Organoblech zwischen die geöffneten Werkzeughälften der Spritzgießmaschine und dreht es in die Vertikale. Ein Greifersystem, das Bestandteil der spritzseitigen Werkzeughälfte ist, hält das Organoblech an dessen Oberkante, während seitlich auf mittlerer Höhe zwei weitere Greifer das Blech in Richtung der Spritzseite ziehen,



Prozessablauf beim FIT-Hybrid-Verfahren

IR-Strahler erwärmen die thermoplastischen Laminatdeckschichten (a). Der thermoplastische Kunststoffkern wird zwischen die Deckschichten gespritzt (b). Im Prägeh- und Gasinjektionsverfahren (c und d) entsteht aus dem Sandwichelement eine Leichtbaustruktur mit integrierten Funktionselementen.

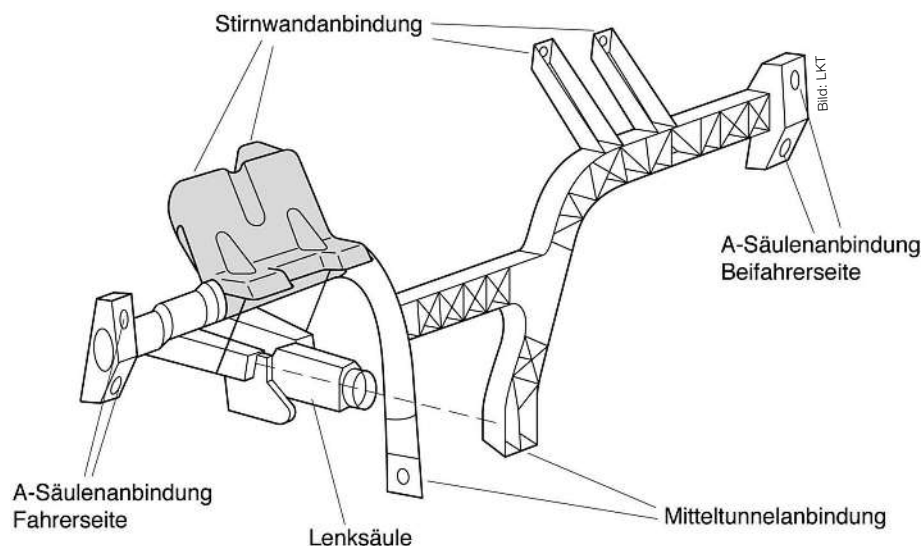
wodurch dieses zweidimensional vorgeformt wird. Beim Umformen bezweckt das Schließen des Werkzeugs dann die aktive Formgebung. Angelehnt an das IMF-Verfahren wird das Halbzeug nicht in einer gesonderten Presse vorgeformt, sondern direkt im Werkzeug.

Nach der erfolgten Umformung wird die Rippenstruktur gespritzt – im Hinterspritzverfahren. Das Organoblech wird vom Rippenmaterial während des Einspritzvorgangs durchströmt. Mikroskopische Aufnahmen der Anbindungsbereiche zeigen die gute stoffschlüssige Verbindung der beiden Hybridkomponenten, wodurch herausragende mechanische Festigkeitswerte erreicht werden. Die Verrippung sorgt für eine ausreichende Steifigkeit und wurde im Vorfeld vom LKT Erlangen topologieoptimiert und zur verbesserten Füllung mit Fließhilfen versehen.

Aufgrund der komplizierten Bauteilgeometrie ist ein Beschneiden des Organoblechs nach der Formgebung erforderlich. Der Halbzeugbereich, der nach dem Umformen und Anspritzen über die Werkzeugränder hinausragt und damit außerhalb der Bauteilkontur liegt, wird auf einer Laserstation der Hans von der Heyde GmbH & Co. KG, Hörstel, innerhalb der Fertigungszelle vom Bauteil abgetrennt. Ein Linearroboter nimmt dazu das Bauteil aus dem Werkzeug und legt es auf dem Schiebetisch der Laserstation ab. Auf diesem Tisch ist eine Bauteilhalterung zur definierten, zentrierten Ablage des Lenkstockhalters angebracht. Der Schiebetisch fährt in die geöffnete Laserstation. Dort fährt ein CO₂-Laser die Bauteilkontur mit Hilfe eines dreiachsigen Linearroboters ab. Dabei müssen zu kleine Winkel zwischen Laserstrahl und Bauteil vermieden werden. Ein Kippen des Aufnahmetisches kompensiert daher die fehlenden Rotationsachsen des Roboters beim Beschneiden einiger Randbereiche.

Das besäumte Bauteil verlässt auf dem Schiebetisch die Laserstation und wird abermals vom Linearroboter aufgenommen, der den Beschnitt vom Lenkstockhalter trennt und beide Teile auf Förderbänder legt. Auf der Kunststoffmesse K 2010 entstanden in der Fertigungszelle hybride, vollthermoplastische, tragende Strukturbauteile. Kennzeichnend für die komplett automatisierte Fertigung ist eine sehr hohe Produktivität. So lag die Zykluszeit bei der Demonstration der Fertigungstechnik, die Engel unter dem Namen Organomelt auf der Messe am Markt eingeführt hat, unter 60 s.

Bis zu 50% Gewichtseinsparung verspricht ein Hybridbauteil mit Organoblechverstär-



Einbausituation des Lenkstockhalters

Der Lenkstockhalter hat die Aufgabe, die Lenksäule aufzunehmen. Als wichtiges Verbindungselement zwischen Karosserie und Instrumententafel-Querträger sorgt er für eine möglichst steife Verbindung, die das Eigenschwingverhalten des Instrumententafel-Querträgers maßgeblich beeinflusst.

kung im Vergleich zu Metall-Kunststoff-Hybriden im Automobil-Frontend des Audi A8 [3]. Wie dieses Projekt zeigt, ist der Einsatz von Organoblechen an sich kein Novum. Ziel der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist es, Prozesse zur wirtschaftlichen Verarbeitung auch hoher Losgrößen verfügbar zu machen. Die mit zunehmender Automatisierung steigende Produktivität ermöglicht die vermehrte Anwendung von Faserverbundkunststoffen und thermoplastischen Hybridbauteilen in Automobilen. Unterböden, Sitzschalen, Rückbankwände, Crashelemente, Türverkleidungen und Kofferraumdeckel – die Anwendungsmöglichkeiten von thermoplastischen Faserverbundhalbzeugen sind vielfältig.

Aufbau von Hybridstrukturen wird variantenreicher

Gemeinsam mit den Verarbeitungs- und Anwendungsvorteilen einer thermoplastischen Werkstoffkombination erweitert die gerichtete Endlosfaserverstärkung von Organoblechen die Möglichkeiten beim Aufbau von Hybridstrukturen im Leichtbau. Mit einer Spritzgießmaschine als Kern der automatisierten Prozesskette ist die Kombination verschiedener im Spritzguss etablierter Verarbeitungsverfahren denkbar. Ein vielversprechender Ansatz dazu ist FIT-Hybrid – eine Verfahrenskombination, die bereits vom „Network of Automotive Excellence“ im Zuge des Würzburger Automobilgipfels 2010 ausgezeichnet wurde: Sandwichstrukturen aus thermoplastischen Laminat-Deckschichten und einem gespritz-

ten Kunststoffkern werden im Prägehub- und Gasinjektionsverfahren zu funktionsintegrativen Leichtbaustrukturen geformt. Erste, teilweise sehr komplexe Bauteile zeigte die Neue Materialien Fürth GmbH auf der K 2010.

Um zukünftige Aufgaben im Leichtbau lösen zu können, werden schon heute hohe Anforderungen an die Automatisierung und Prozesstechnik gestellt. Die erheblichen Anstrengungen diverser Unternehmen und Forschungseinrichtungen tragen bereits Früchte. So ist der Einsatz von Faserverbund- und thermoplastischen Hybridstrukturen nicht mehr ausschließlich auf die Luftfahrttechnik und den Motorsport beschränkt. Immer mehr Automobilmodelle – auch jene der Klein- und Mittelklasse – werden aufgrund der raschen Fortschritte bei der Verfahrensentwicklung verstärkt mit Faserverbundkunststoffen ausgestattet. Ziel dabei ist es, durch Reduktion des Bauteilgewichts entweder die Fahreigenschaften zu verbessern und den Kraftstoffverbrauch zu verringern oder die Sicherheit und den Fahrkomfort zu steigern.

Literatur

- [1] Benkel, A.: Kunststoff-Metall-Verbundtechnik auf der Überholspur. In: www.innovationsreport.de, 23. November 2010.
- [2] Müller, T.: Großserientauglich – Verfahren für die wirtschaftliche Herstellung komplexer Hochleistungsverbunde. *Plastverarbeiter* 11/07, S. 30–32.
- [3] Risch, H.: Nutzung von Metall-Kunststoff-Hybrid-Anbauteilen in der Karosseriestruktur des neuen Audi A8. VDI-Tagung „Kunststoffe im Automobilbau“, 17. und 18. März 2010 in Mannheim. VDI Wissensforum GmbH, Düsseldorf.