

Innovative Spritzgießverfahren für Bauteile aus Faserverbund-Kunststoffen

Leichtbaupotenziale erschließen

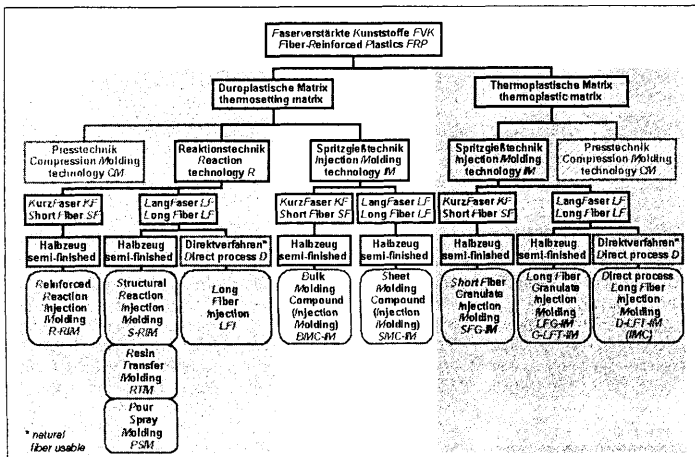


Abb. 1: Verfahrenstechnologien für die Verarbeitung von Faserverbund-Kunststoffen mit duroplastischer und thermoplastischer Matrix Abb.: Krauss Maffei

Leichtbau ist heute kein Selbstzweck mehr. Vor dem Hintergrund knapper werdender Rohstoffressourcen und zunehmender Umweltprobleme ist er vielmehr eine ökologische wie ökonomische Notwendigkeit. Erwähnt seien an dieser Stelle nur die aktuelle Diskussion zur CO₂-Emission

lichen auch die Herstellung und Verarbeitung komplexer Leichtbauteile mit besonderen Struktur- und Funktionseigenschaften (Funktionsintegrativer Leichtbau). Und an der weiteren Optimierung der geeigneten Herstellverfahren wird gearbeitet, wobei insbesondere das Spritzgießen in Zukunft eine

derum die für die Verarbeitung geeignete Verfahrenstechnik (Abb. 1). So werden FVK mit duroplastischer Matrix mit der Press-, der Spritzgieß- aber auch mit der Reaktionstechnik verarbeitet, während für Faserverbund-Thermoplaste die Press- und die Spritzgießtechnik in Frage kommen.

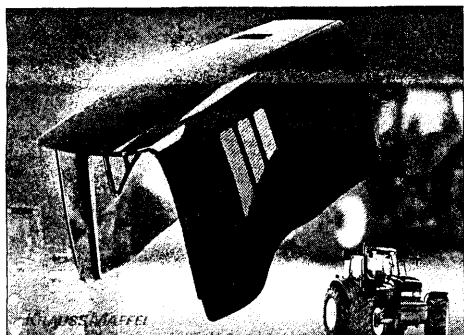


Abb. 2: Die Wirtschaftlichkeit des LFI-Verfahrens ergibt sich aus dem Wegfall der Halbzeugstufe Abb.: Krauss Maffei

und die Forderung nach gesetzlichen Grenzwerten. Folglich ist die gesamte Transportindustrie, sei es der Fahrzeugbau, die Eisenbahnindustrie oder die Luft- und Raumfahrt auf der Suche nach technisch und wirtschaftlich geeigneten Verfahren, um etwa den Kraftstoffverbrauch durch Leichtbauweise zu reduzieren.

besondere Rolle spielen wird, da hier eine Fertigungstechnik zur Verfügung steht, um komplexe und dreidimensionale Faserverstärkungsgeometrien zu realisieren.

Die Ausgangssituation Die Faserverbund-Kunststoffe (FVK), oft auch faserverstärkte Kunststoffe bezeichnet, unterscheiden sich zunächst hinsichtlich ihres Matrixwerkstoffs: Duroplast oder Thermoplast. Davon abhängig ist wie-

Zwei interessante Verfahren der Reaktionstechnik für die Verarbeitung von FVK auf Polyurethanbasis zu Leichtbauteilen sind die LFI-Technik (Long Fiber Injection) und das Pour Spray Moulding (PSM). Die Entwicklung des LFI-Verfahrens erfolgte vor dem Hintergrund, eine kostengünstige Alternative zum S-RIM-Verfahren (Structural Reaction Injection Moulding) anzubieten (Abb. 2). Die Kostenvorteile der LFI-Technik resultieren in erster Linie aus dem preiswerteren Ausgangsprodukt, denn die direkt verarbeiteten Glasrovings sind rund 50% günstiger als Glasmatten. Dazu addieren sich weitere Einsparungen beim Bearbeitungsprozess. Denn die beim S-RIM-Verfahren benötigten Glasmatten sind vorzuformen und zu stanzen, was neben dem zusätzlichen Arbeitsschritt auch Kosten für die Entsorgung der Stanzabfälle verursacht. Auch gilt das manuelle Handling der Glasmatten als nicht unproblematisch, zumal es die Personalkosten erhöht. Eine Variante ist die so genannte LFI-Honeycomb-Technologie, bei der Wabenstrukturen beid-

Dr.-Ing. Erwin Bürkle,
Dipl.-Ing. Martin Würtele,
Krauss Maffei Technologies
GmbH, München

Bauteile aus so genannten Faserverbund-Kunststoffen (FVK) bieten das benötigte Eigenschaftsprofil und ermög-

gear pumps
screen changers
filtration systems

maag pump systems
A Textron Company
www.maag.com Tel.: +49 561 31001 0

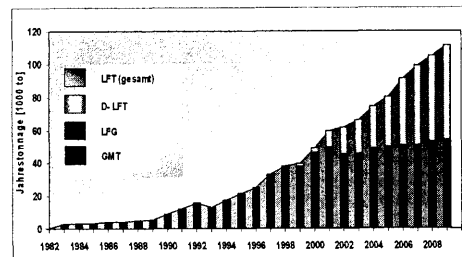


Abb. 3: Marktentwicklung langfaserverstärkter Thermoplaste (LFT) in Europa Abb.: Vortrag Prof. Schemme, AVK 2007

seitig mit LFI-Schichten belegt werden. So lassen sich extrem leichte Bauteile mit gleichzeitig hoher Festigkeit herstellen. Eingesetzt wird diese Technik derzeit bei der Fertigung von Hutablagen und Abdeckungen im Kofferraum. Das sehr vielfältige Anwendungsspektrum des LFI-Verfahrens ist bislang im Leichtbau (Dichte von 0,6 g/cm³ möglich) noch nicht ausgeschöpft. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang mittels In-mould Coating lackierte Hochglanzoberflächen oder die Oberflächenveredelung mit einer Textil- oder Folienkaschierung.

Beim PSM-Verfahren wird das Reaktionsgemisch aus eine Fasermatte oder die Kombination verschiedener struktureller Verstärkungseinlagen, beispielsweise Honeycomb-Materialien, aufgespritzt. Diese Composites sind besonders dann interessant, wenn Gewichtseinsparung in Verbindung mit einer hohen Biegesteifigkeit das Ziel ist. Statt Glasmatten können auch Naturfasermatten verarbeitet werden.

FVK mit thermoplastischer Matrix

Als interessanteste Materialgruppe – sowohl hinsichtlich ihres werkstoff- und verfahrenstechnischen Entwicklungspotenzials, als auch die Wachstumsraten betreffend – gelten derzeit FVK mit thermoplastischer Matrix (Abb. 3), während bei den Duroplasten auf sehr viel höherem Niveau eine längere Stagnation erkennbar ist. So ist bei den langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT) zu beobachten, dass das etablierte und prozessichere GMT-Verarbeitungsverfahren (Glasmatten-Thermoplaste) in den vergangenen Jahren zunehmend von der direkten Aufbereitung des Faser-Matrix-Gemischs auf Schneckenmaschinen (Extruder, Spritzgießmaschinen) „attakziert“ wird. Auch hier spielen die Kosten eine Rolle, denn für die GMT-Verarbeitung sind zunächst Glasfasermatten und -zuschnitte herzustellen, aufzuheizen und schließlich einer Presse zuzuführen. Dagegen erfolgt die Aufbereitung mit einem Schneckenaggregat energieeffizient in einem Schritt. Bei den so genannten LFT-Direktprozessen werden die Verstärkungsfasern der Plastifizier- und Compoundiereinheit einer Maschine als Endlosfasern (Rovings), dem so genannten D-LFT-Verfahren, oder in Form von Langglasfaser-Granulaten (LFG) direkt zugeführt. Bereits Mitte der neunziger Jahre war die Markteinführung von Spritzgießmaschinen verarbeitet. Später, Ende der neunziger Jahre wurde das D-LFT-Verfahren in den Markt eingeführt. Die Gründe für den Material- und Verfahrenswechsel werden

bei einem Verfahrensvergleich unter Berücksichtigung der Bauteileigenschaften in Verbindung mit den Kosten deutlich (Abb. 4).

Vergleich mechanischer Eigenschaften

Untersucht und einander gegenübergestellt wurden die Erfüllung mechanischer Eigenschaften (Zugfestigkeit, E-Modul, Schlagzähigkeit) sowie monetäre Kriterien wie Ausschuss, Toleranzen und die Material-, Fertigungs- und Gesamtkosten. Demnach erfüllt die GMT-Fertigung zwar zu 100% das mechanische Eigenschaftsprofil, weist allerdings deutliche Nachteile auf der Kostenseite auf. Auf einem Gesamterfüllungsgrad berechnet, erreicht das GMT-Verfahren 86%. Den Übergang von der Halbzeugstufe „Mattentechnik“

zur Materialaufbereitung mit einem Schneckenaggregat und anschließendem Austrag des Materials in das geöffnete Werkzeug in einer Presse beschreibt das D-LFT-ECM-Verfahren (ECM: Extrusion Compression Moulding). Auffallend ist der Rückgang der mechanischen Eigenschaften, insbesondere von Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit, was auf die kürzeren Fasern im Bauteil zurückzuführen ist. Denn während beim GMT-Verfahren Glasmatten in der Matrix eingebettet sind, handelt es sich bei D-LFT um ein Plastikmat aus Fasern und Matrixmaterial. Hier wurde ein Gesamterfüllungsgrad von 88% ermittelt. Das dritte untersuchte Verfahren, hier als D-LFT-IM (IM: Injection Moulding) bezeichnet

wittmann
Vorsprung durch Innovation

Wittmann Roboter

Zyklen/Tag*
01549178
Millionen

Zuverlässigkeit bewiesen

* Gesamtzahl der Zyklen aller Wittmann Roboter pro Tag.

www.wittmann-robot.com

WITTMANN Kunststoffgeräte GmbH:

Schwaig b. Nürnberg
Craß Ullmetadt
Tel. 0911 95387-0
Tel. 06078 9330

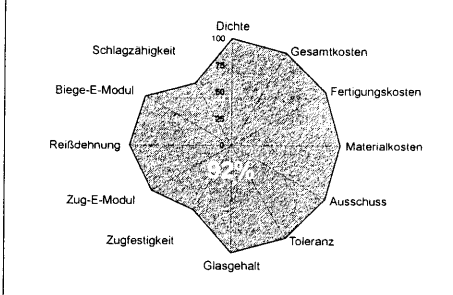
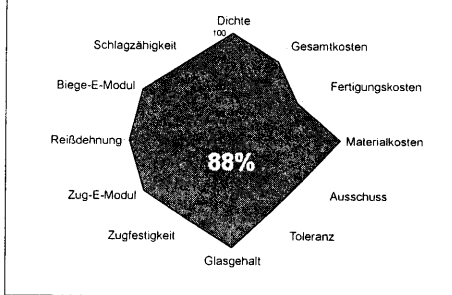
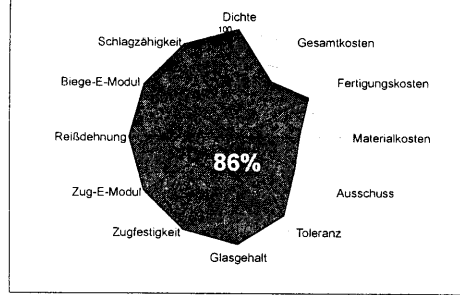


Abb. 4: Verfahrensvergleich unter Berücksichtigung der Bauteileigenschaften, von links nach rechts: GMT, LFT-ECM, LFT-IM

Abb.: Fa. Aksys

net, betraf eine Spritzgießmaschine, kombiniert mit einem kontinuierlich arbeitenden Doppelschneckenextruder, den IMC-Spritzgießcompounder von Krauss Maffei, München. Interessant ist hier, dass die monetären Kriterien voll erfüllt wurden, die mechanischen Eigenschaften (besonders Zugfestigkeit und Schlagzähigkeit) hingegen unter den geforderten Sollwerten blieben. Auch hier ist die Hauptursache in dem Abbau der wirksamen Faserlängen zu finden. Dafür gibt es zwei Erklärungen:

Vorteile der Spritzgießtechnik
Die Vorteile der Spritzgießtechnik sprechen für sich, denn das am weitesten verbreitete Kunststoffverarbeitungsverfahren bietet:

Aus dem Verfahrensvergleich geht weiter hervor, dass die Qualität und die mechanischen Eigenschaften eines LFT-Materials wesentlich von den prozessinduzierten Fließeigenschaften und den im Bauteil realisierten Faserlängen bestimmt sind. Die reale Faserlänge im Bauteil wird signifikant vom Verarbeitungsprozess beeinflusst. Um die verschiedenen Verarbeitungstechnologien und ihre Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften zu vergleichen, genügt eine nor-

und die Verbindung (Montage) mehrerer solcher Verstärkungseiner. Verfahrenstechnisch ausgereift und entsprechend eingesetzt ist ferner die Hinterspritztechnik, um Bauteile

oder Aramidfasergeweben mit kurz- oder langfaserverstärkten Matrixmaterialien (Abb. 6). So wird etwa das Steifigkeit- und Festigkeitsverhalten der lasttragenden Bereiche von LFT-Bauteilen durch Endlosfasereinleger signifikant erhöht. Mit solchen Materialkombinationen lassen sich insbesondere Craschanforderungen erfüllen.

wirtschaftlich geeignete Material und Verfahren zu finden, wird es zunehmend wichtiger, vernetzt zu denken und zu handeln. Beispielsweise durch die systemübergreifende Zusammenarbeit von Spezialisten aus der Extrusion, der Reaktions- und der Spritzgießtechnik. Das Ziel muss sein, Trends zeitig zu erkennen, um Technologien aktiv statt reaktiv zu entwickeln.

Krauss Maffei hat aus diesem Grund das Innovationsnetzwerk Primus ins Leben gerufen. Das Netzwerk, eine Kooperation mit weiteren Industriepartnern und aktuell den drei Hochschulen TU Chemnitz, TU Dresden sowie der Fachhochschule Rosenheim, verknüpft das Know-how aus Industrie und Wissenschaft. Mit dem im Oktober 2007 gegründeten Zentrum Funktionsintegrativer Leichtbau (ZFL) steht zugleich

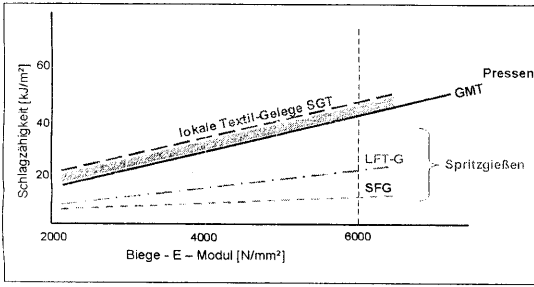


Abb. 5: Prozessvergleich in Abhängigkeit von Steifigkeit und Schlagzähigkeit
Abb: Krauss Maffei

Magnetcomounds für die Herstellung spritzgegossener Magnete
Entwicklung und Verarbeitertechnik
Werkzeugbau
Vorserienproduktion
customerservice
barlogplastics.com

direkt im Werkzeug zu dekorieren, beispielsweise mit textilen Materialien. Und schließlich erlaubt die hohe Gestaltungsfreiheit des Spritzgießens die Integration von Funktionselementen im selben Arbeitsschritt. Die oben genannten

Integrierte Funktionseinheiten
Vor allem in den Knotenpunkten und in den Seitencrashzonen spielen diese Hybridverbunde eine entscheidende Rolle. Ein in Zukunft wichtiger Aspekt ist die Integration so genannter intelligenter Funktionen in Bauteilen. Denn die Spritzgießtechnik ermöglicht das Umspritzen oder Einbetten von Sensoren, Aktuatoren oder auch kompletter elektronischer Funktionseinheiten (etwa auf der Basis von Polymer elektro-

- Wie auch beim D-LFT-ECM-Verfahren erfolgt die Aufbereitung des Faser-Matrix-Gemischs in einem Schneckenaggregat.
- Außerdem wird das Plastifikat in ein geschlossenes Werkzeug eingespritzt, wobei es durch Strömungskanäle und die engen Strömungsquerschnitte von Verschlußdüsen fließen muss. Dabei werden die Glasfasern teilweise geschädigt, weshalb sie ihre Wirkung nicht mehr voll entfalten können. Trotzdem erreicht dieses Verfahren ganzheitlich betrachtet einen Erfüllungsgrad von 92%.
- Aus dieser Erkenntnis lässt sich zweierlei ableiten:
- Die Spritzgießtechnik ist die geeignete Fertigungstechnolo-

- reproduzierbare, prozessichere Technik,
- hoher Automationsgrad,
- Herstellung komplexer, dreidimensionaler Geometrien,
- Integration zusätzlicher Funktionen (Scharniere, Sensor u.a.m)
- vielfältige Verfahrenskombinationen,
- endkturnahe Bauteilentnahme; keine Nacharbeit (Gradfreiheit),
- gute Oberflächenqualität (lackfähig),
- vergleichsweise geringe Investitionen.

Nachteilig sind die anisotropen Bauteileigenschaften, bedingt durch die Abhängigkeit von der Fließrichtung, sowie der erhöhte Faserbruch bei der Langfaserverarbeitung.

mierte Betrachtung (Abb. 5). Näherungsweise lassen sich der Biege-E-Modul und die Schlagzähigkeit in Wechselbeziehung zu einer Kennlinie für einen Verarbeitungsprozess bringen. Daraus ergibt sich eine Rangfolge der Verfahren zur Erfüllung bestimmter mechanischer Eigenschaften. Demnach können mit dem Spritzgießverfahren - hier also das Aufbereiten des Faser-Matrix-Plastifikats mit anschließendem Einspritzen in ein geschlossenes Werkzeug - nicht die mechanischen Kennwerte aus dem GMT-Prozess erreicht werden.

Zielgerichtete Bauteilverstärkung
Nun sind Bauteile in der Regel nicht in allen Bereichen hohen Belastungen ausgesetzt. Somit bietet es sich an, besonders beanspruchte Zonen gezielt mit Endlosfasern in Form textiler Verstärkungssysteme, Profilen oder unidirektionalen Fasersystemen lokal zu verstärken. Erklärtes Ziel ist folglich, einen großserientauglichen Herstellungsprozess für hybride Hochleistungsverbunde zu entwickeln. Die notwendige Basis hierfür bietet der leicht zu automatisierende Spritzgießprozess mit seinen kurzen Zykluszeiten. Bekannt ist beim Spritzgießen von hybriden Strukturen (Kunststoff/Metall) das Aussteifen von umgeformten Stahlblechen mit Verrippungen

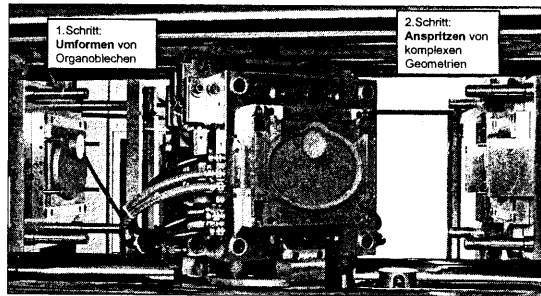


Abb. 7: Wendeplattentechnologie für das Umformen und Spritzen in einem Zyklus
Abb.: Krauss Maffei

Nachteile des Spritzgießens lassen sich mit einer Kombination der LFT-Technik mit gezielten Textilverstärkungen (Gewebe) oder unidirektionalen Verstärkungselementen (Endlosfasern) ausgleichen. Um also die geforderten Bauteileigenschaften zu erreichen, ist eine entsprechend geeignete Kombination aus Materialauswahl (Matrix, Fasern) in Verbindung mit dem optimalen Verfahren (Langfasergarnulatur oder das Direktverfahren D-LFT-IM) sowie der passenden Verstärkung (Endlosfaser oder Gewebeverstärkung) für die lasttragenden Zonen nötig. Ganz andere Perspektiven eröffnen sich für hybride Hochleistungsverbunde auf Basis thermoplastisch gebundener Glas-, Kohlenstoff-

nik) in kritische Bauteilbereiche. Noch weiter gehen Konzepte, Strukturbauteile zur Sicherung ihrer Funktion zeitabhängig mit einem Monitoringsystem zu überwachen. Im Grunde bietet die Kunststofftechnik, insbesondere die Spritzgießtechnologie, bereits heute alle Voraussetzungen dafür, beispielsweise den Umformprozess mit dem Umformen zu verknüpfen (Abb. 7). Innovative Maschinen- (Wendeplattentechnologie) und Werkzeugtechnik (dynamische Werkzeugtemperierung, Gemeinschaftsprojekt Krauss Maffei/ GWK) schaffen neue Freiheitsgrade bei der effizienten Herstellung faserverstärkter Strukturbauteile. Um jedoch das für ein Produkt oder Projekt technisch wie

einsprechend ausgestattetes Forschungszentrum für verfahrenstechnische Entwicklungen mit den Kunden zur Verfügung. Dass die dort entwickelten Konzepte nicht nur technisch machbar, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll sein müssen, ist selbstverständlich. Eine entscheidende Rolle spielen dabei die herzustellenden Stückzahlen, die bereits bei der Vorauswahl des geeigneten Fertigungsverfahrens zu berücksichtigen sind (Tab. 1).

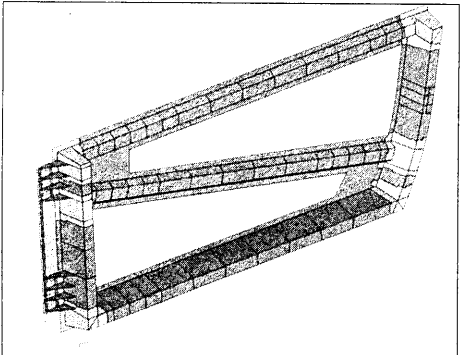


Abb. 6: Machbarkeitsstudie einer Rahmenstruktur mit Knotenpunkten
Abb.: FH Rosenheim

Verfahren	Stückzahl p.a.
Handlaminate/Nasspressen	Einzelstücke < 500
RTM	200 - 2000
SMC	10.000 - 100.000
Spritzgießen	> 25.000
PDCPD	1.000 - 10.000
LFI (PUR)	500 - 15.000

Tab. 1: Durchschnittliche Jahresstückzahlen verschiedener Verfahren
Abb.: Krauss Maffei

© www.krauss-maffei.de

Die Autoren
Dr.-Ing. Erwin Bürkle ist Leiter Vorentwicklung Neue Technologien bei der Krauss Maffei Technologies GmbH, München; Dipl.-Ing. Martin Würtele arbeitet im Bereich Vorentwicklung Neue Technologie bei der Krauss Maffei Technologies GmbH, München, und ist Leiter des Zentrums Funktionsintegrativer Leichtbau (ZFL).