

Zusammenfassung

IGF-Vorhaben-Nr.: 17442 N

Großserientaugliche Faserverbundtechnologien für flächige Strukturbauteile mit integrierten Funktionselementen

Dipl.-Ing Felix Weidmann, M.Sc.

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Bereich Kunststoffe,
Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt

Ausgangssituation

Kurzfaserverstärkte Thermoplaste haben in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Anwendungsfelder erobert und stellen heute eine unverzichtbare Werkstoffklasse für Anwendungen z.B. im Maschinenbau, in der Automobiltechnik und in Elektronik und Elektrik dar. Neben ihren hohen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften lassen sie sich höchst effizient im Spritzgießverfahren zu nacharbeitsfreien Bauteilen verarbeiten. Dabei werden kostengünstig auch komplexe Formgebungen ermöglicht und dadurch Großserienanwendungen erschlossen. Vor allem glasfaserverstärkte Formmassen, in den letzten Jahren jedoch auch vermehrt kohlenstofffaser- und naturfaserverstärkte Typen, werden in großen Mengen eingesetzt.

Trotz ihrer erfolgreichen Entwicklung blieben und bleiben dieser Werkstoffklasse jedoch viele Anwendungen verschlossen, weil ihr Eigenschaftsniveau begrenzt ist. Noch höhere Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften können nur beim Übergang auf endlosfaserverstärkte Bauweisen erzielt werden. Trotz intensiver Anstrengungen in der Materialentwicklung, z.B. durch den vermehrten Einsatz von Kohlenstofffasern (CF) oder durch sogenannte langfaserverstärkte Compounds mit Ausgangsfaserlängen von ca. 10 mm für das Spritzgießen bleibt das Leistungsniveau der aus diesen Werkstoffen gefertigten Bauteile deutlich hinter dem von Bauteilen mit gerichteten Endlosfasern zurück.

Die mit Endlosfasern aus Glas oder Kohlenstoff verstärkten Kunststoffe (GFK, CFK) verfügen aufgrund ihres herausragenden Eigenschaftsprofils über ein hohes Potenzial in hochbelasteten Anwendungen. Gegenüber Verbundmaterialien mit duroplastischer Matrix zeichnen sich solche mit thermoplastischer Matrix durch eine höhere Energieaufnahmefähigkeit, überlegene Schlagzähigkeit und ein hohes Recyclingpotenzial aus. Weiterhin ergibt sich eine wesentlich höhere Effizienz hinsichtlich der Bauteilfertigung, da die Zykluszeiten bei der Thermoplastverarbeitung deutlich niedriger sind als bei den chemisch vernetzenden Harzen, trotz der jüngsten Entwicklungen und Anstrengungen in Richtung Hochdruck-Resin-Transfer-Moulding (HP-RTM). Dies hat in den letzten Jahren zu einem vermehrten Einsatz endlosfaserverstärkter thermoplastischer Werkstoffe in kleinen und mittleren Serienanwendungen geführt.

Faser-Matrix-Halbzeuge mit thermoplastischer Matrix sind in hoher Qualität mit verschiedensten Faserstrukturen kommerziell erhältlich und besitzen grundsätzlich ein hohes Potenzial, auf großer Breite in den Straßen-, Schienen und Luftfahrzeugbau vorzudringen. Infolge der eingeschränkten Gestaltungsfreiheit und der vergleichsweise aufwändigen Vor- und Nacharbeit konnten diese Materialien aber bisher in kostensensitiven Großserienanwendungen keinen Durchbruch erzielen.

Die technologische Lücke zwischen den mit gerichteten Endlosfasern verstärkten FKV und den spritzgießfähigen, mit mehr oder weniger kurzen Fasern verstärkten Thermoplastcompounds soll mit den im vorliegenden Projekt zu erarbeitenden Erkenntnissen durch eine innovative Material-Prozesskombination geschlossen werden.

Konkretes Ziel des Projektes war es, die wissenschaftlichen Grundlagen zu erarbeiten, um auf dieser Basis einen neuen Prozess und eine neue Art von Halbzeugen entwickeln zu können. Es gliedert sich dazu in zwei Teilziele. Zum einen sollen zur Verstärkung kostengünstige, sehr dünne Halbzeuge verwendbar sein. Zum anderen soll im Spritzgießprozess flächig zwischen beidseitig eingelegte dünne Faser-Matrix-Halbzeuge gespritzt werden können, um auf diese Weise einen Sandwich-Verbund zu generieren.

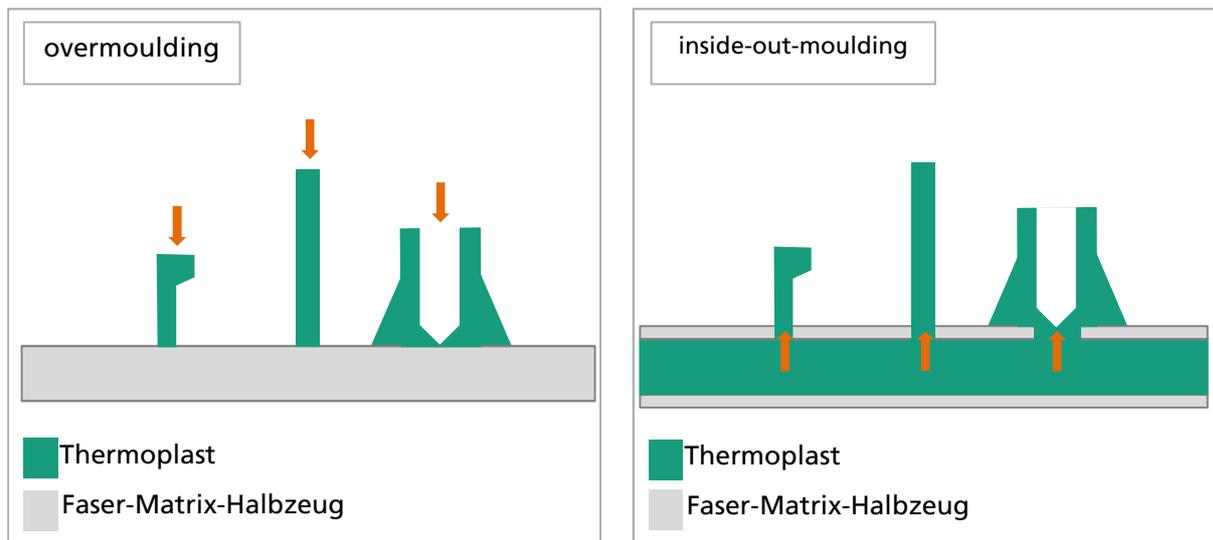


Abbildung 1: **links** Schematische Darstellung des Aufspritzens von Funktionalitäten auf massive Faser-Matrix-Halbzeuge (engl. overmoulding), **rechts** Schematische Darstellung Ausformung von Funktionalitäten aus dem Kern eines Sandwichverbundes heraus

Ein weiteres maßgebliches Forschungsziel es die Anspritzung von Rippen und Domen nicht als Fügung aufzuspritzen (overmoulding), sondern homogen aus dem Kern heraus zu ermöglichen (inside-out-moulding), wie dies in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist. Die homogene Ausformung von Funktionalitäten würde gerade hinsichtlich der Verbundhaftung einen enormen Vorteil darstellen.

Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Spritzgießprozess entwickelt, mit dem es möglich ist einen Faser-Verbund-Sandwichbauteil herzustellen. Hierzu wurde ein spezielles Spritzgießwerkzeug konstruiert, welches die sichere Injektion thermoplastischer Schmelze als Kern zwischen zwei Deckschichten aus sehr dünnen Faser-Matrix-Halbzeugen (engl. Prepregs) thermoplastischer Matrix ermöglicht.



Abbildung 2: Versuchswerkzeug für die Herstellung zwischenlagengespritzter Sandwich-Verbund-Bauteile mit integrierten Funktionalitäten

Mit diesem Werkzeug wurden verschiedene Versuchsreihen unternommen. Zunächst wurde eine Prozessparametervariation durchgeführt für Faser-Matrix-Halbzeuge mit Polypropylenmatrix. Bei dem hierbei verwendeten Faser-Matrix-Halbzeug handelte es sich um ein unidirektional Glasfaser verstärktes Polypropylen. Zwischen die daraus gebildeten Deckschichten wurde ein Polypropylen-Homopolymer gespritzt. Es wurde dabei untersucht, inwiefern ein Zusammenhang zwischen Prozessbedingungen und den mechanischen Eigenschaften des Sandwichverbunds sowie der Anbindungsqualität der dünnen Deckschichten an den Kern besteht.

Um letzteres quantitativ zu bewerten wurde ein neuartiges Prüfverfahren entwickelt, welches den Mode I Risswiderstand G_I der Decklage wiedergibt. Es wurde aufgezeigt, dass die Anbindungsqualität der Deckschichten maßgeblich ist für die Entfaltung des mechanischen Potentials des Sandwichverbunds, beispielsweise hinsichtlich der Biegeeigenschaften. Hierbei wurden optimale Prozessbedingungen für Polypropylen (PP) basierte Verbunde gefunden (vgl. Abb. 3).

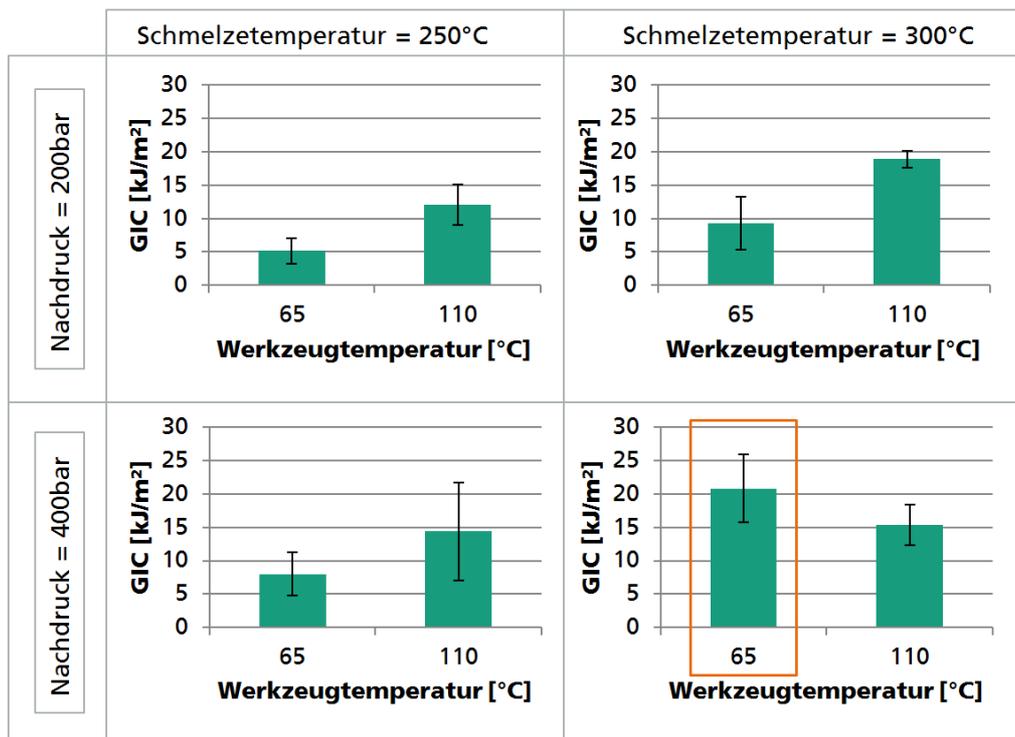


Abbildung 3: Übersicht über die Ergebnisse der Deckschicht-Abschälversuche bei Variation der Parameter Nachdruck, Schmelzetemperatur sowie Werkzeugtemperatur. Höhere Schmelze- und Werkzeugtemperaturen sowie ein hoher Nachdruck führen zu höheren kritischen Risswiderständen. Bei ausreichend hohem Nachdruck und hohen Schmelzetemperaturen wird das Optimum jedoch auch schon bei deutlich geringeren Werkzeugtemperaturen erreicht.

Weiterhin wurde eine Materialvariation durchgeführt. Bei dieser wurden zum einen mit Polypropylen (PP) und Polyamid 6 (PA6) zwei verschiedene Kunststoffsysteme miteinander verglichen. Zum anderen wurden mit unidirektional und Gewebe verstärkten Faser-Matrix-Halbzeugen zwei unterschiedliche Faserstrukturen der Deckschichten untersucht. Vier-Punkt-Biegeversuche und Deckschicht-Abschälversuche zeigten, dass PA6 aufgrund höherer Moduln und Festigkeiten PP-basierten Sandwichverbunden überlegen ist, jedoch ohne materialspezifische Prozessparameteroptimierung nicht das volle Potential entfalten kann. Es wurde weiter festgestellt, dass Gewebe verstärkte Deckschichten einen höheren Risswiderstand aufweisen als unidirektionale Deckschichten bei faserparalleler Rissausbreitung.

Zuletzt wurden Konzepte erarbeitet, um im Zwischenlagen-Spritzgießprozess Funktionalitäten aus dem Kern heraus homogen auszuformen. Diese vier Rippenausformungsvarianten sind bildhaft in Abb. 4 illustriert. Die erste Variante „Löcher“ stellt einen Hybrid dar zwischen der klassischen Outserttechnik und dem Zwischenlagenspritzgießen, da ein Teil der Rippenanbindung durch die Kreisöffnungen der Deckschicht homogen mit dem Kern verbunden sind, der Rest der Kontaktfläche der Rippenwurzel ist jedoch auf die Deckschicht aufgespritzt. Die weiteren drei Varianten besitzen eine über dem Querschnitt vollständig mit dem Kern verbundene Rippenwurzel.

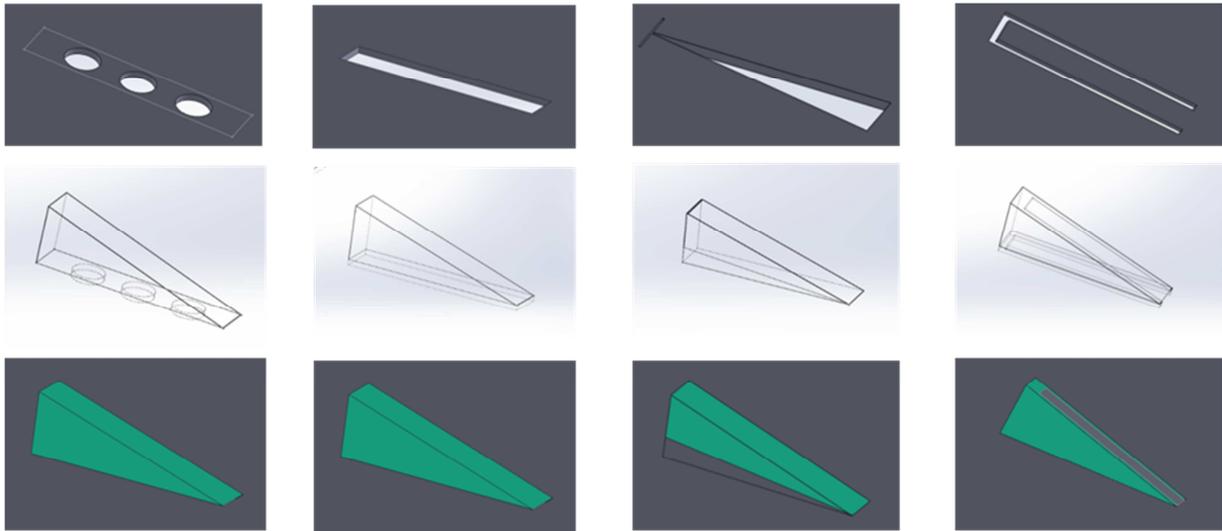


Abbildung 4: Ausgewählte Varianten zur Untersuchung (v.l.n.r): Löcher, Schlitz, Play/Pause, Filmscharnier

Die derartig homogen ausgeformten Funktionalitäten zeigten bei PP- sowie PA6 basierten Systemen teilweise deutlich überlegene Anbindungsfestigkeiten im Vergleich zu aufgespritzten Funktionalitäten (vgl. Abb. 5). Ebenso führte die Einbringung lochartiger Aussparungen in den Deckschichten zur Ausformung der homogenen Verrippungen nicht zu einer messbaren Reduktion der Verbundfestigkeiten.

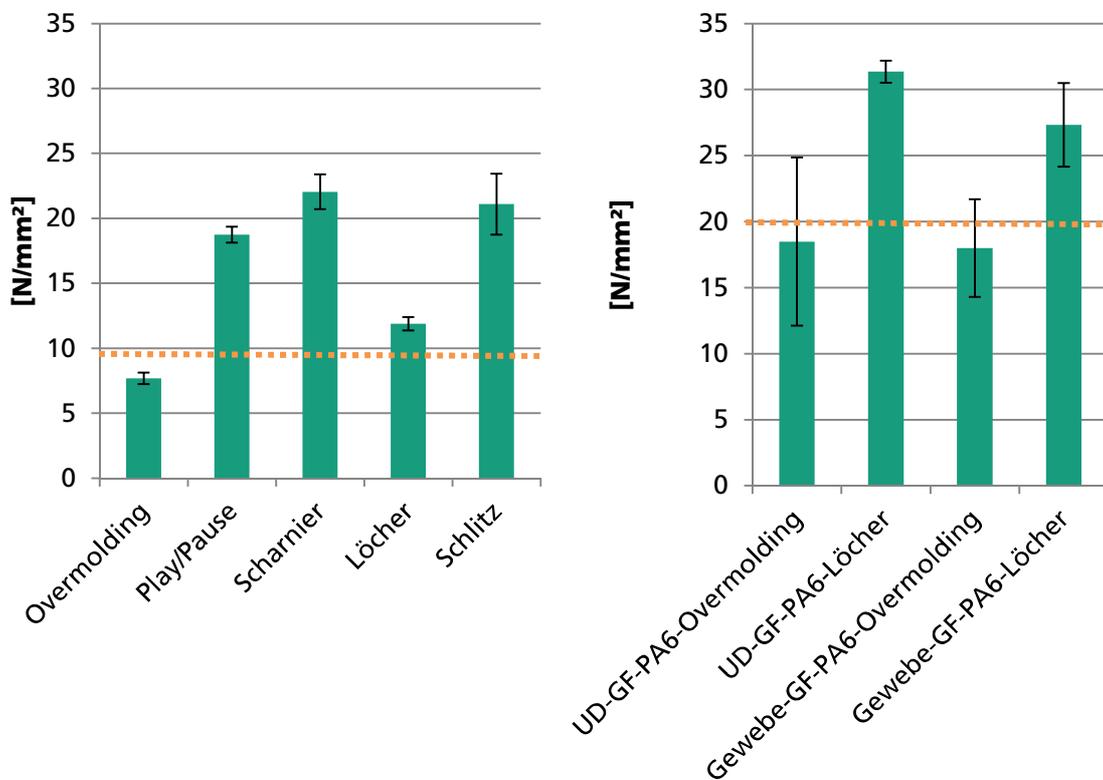


Abbildung 5: **Links** Mittlere Schub-Versagensspannung der verschiedenen Rippenvarianten auf Polypropylenbasis und Gewebe verstärkten Deckschichten. **Rechts** Mittlere Schub-Versagensspannung der Rippenvariante „Löcher“ auf Polyamid-6-Basis und Gewebe sowie unidirektional (UD) verstärkten Deckschichten

Resümee

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden die wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet, um prozesssicher zwischen zwei dünne Deckschichten aus kommerziell erhältlichen Faser-Matrix-Halbzeugen thermoplastische Schmelze zu spritzen, um so einen flächigen Faser-Kunststoff-Sandwich-Verbund zu erhalten.

Diesbezüglich konnte aufgezeigt werden, dass eine Abhängigkeit der Sandwichbauteilqualität und den Prozessbedingungen besteht. Insbesondere die Werkzeug- und Schmelzetemperaturen stellten sich als Faktoren mit maßgeblichem Effekt bezüglich der Biegeeigenschaften sowie der Anbindung der Deckschichten an den Sandwichkern heraus. Im Zuge einer umfassenden Parametervariation ist es dabei gelungen, ein Prozessfenster für Polypropylen basierte Sandwichverbunde zu finden, bei dem diese eine optimale Bauteilqualität erreichen.

Weiterhin wurde gefunden, dass die Bildung von Funktionalitäten, welche aus dem Kern heraus durch die Deckschichten hindurch ausgeformt werden, gegenüber der gängigen Technologie des Aufspritzens auf ein Faser-Matrix-Halbzeug überlegene mechanische Eigenschaften aufweist, insbesondere bezüglich der Rippenanbindung. Dies gilt für Polypropylen als auch Polyamid 6 basierte Sandwich-Systeme.

Kontakt: Dipl.-Ing. Felix Weidmann, M.Sc.; Tel.: +49 6151 705-8844;
felix.weidmann@lbf.fraunhofer.de

Danksagung und Bestellhinweis

Das IGF-Vorhaben 17442 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V., Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt zum Thema

„Großserientaugliche Faserverbundtechnologien für flächige Strukturbauteile mit integrierten Funktionselementen“

wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für diese Förderung sei gedankt.

Auch für die Unterstützung der Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. sei gedankt.

Weiterhin danken wir den im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Unternehmen für ihre fachliche Unterstützung.

Die gesamten Forschungsergebnisse können einem umfangreichen Forschungsbericht entnommen werden, der zum Selbstkostenpreis beim Fraunhofer LBF bestellt werden kann. Die Rechnung wird mit dem Bericht zugeschickt.