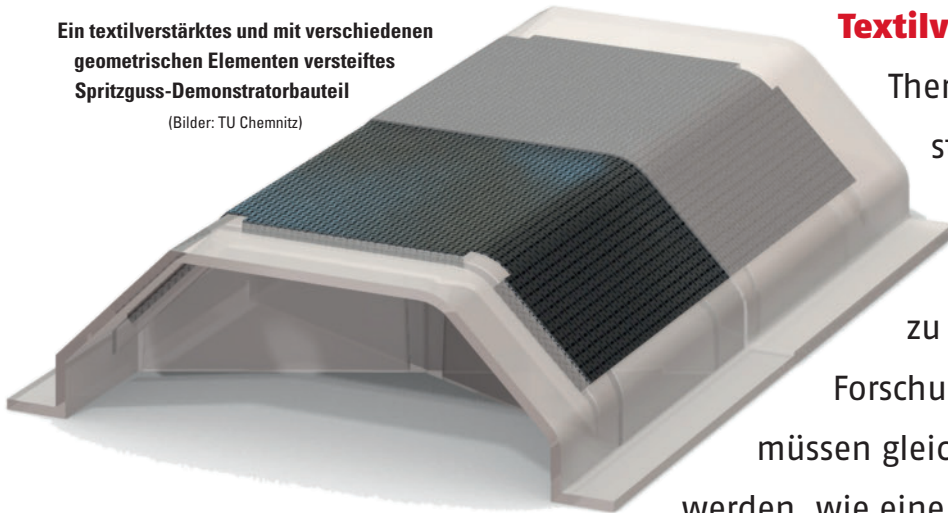


Ein textilverstärktes und mit verschiedenen geometrischen Elementen versteiftes Spritzguss-Demonstratorbauteil

(Bilder: TU Chemnitz)



Textilverstärkte Spritzgussteile.

Thermoplastische Leichtbaustrukturen mit partieller Textilverstärkung in großserienreifen Produktionsverfahren zu etablieren, ist das Ziel des Forschungsprojekts PaFaTherm. Dafür müssen gleich mehrere Hürden genommen werden, wie eine gute Imprägnierung der Faser, die Faser-Matrix-Haftung im Verbund und die Automation des Prozesses.

Leichtbau bald in Großserie?

WALTER KLAUS
FRANK HELBIG U. A.

Die Anforderungen an das Spritzgießen in Großserie werden immer komplexer. Im Vordergrund stehen eine deutliche Massereduzierung durch Optimierung der Werkstoffauswahl und des Produktdesigns, eine belastungsgerechte Konstruktion durch gezielten Einsatz von Textilhälften (Titelbild) und eine möglichst hohe Funktionsintegration. Auch den aktuellen Forderungen nach Ressourcenschonung und Energieeffizienz wird Rechnung getragen. Leistungsdichte und Integrationsgrad der Produktion werden sich erhöhen, wenn die Potenziale genutzt werden, die eine reproduzierbare und großserientaugliche Herstellung nachbearbeitungsfreier Kunststoffbauteile bietet.

Durch kraftflussgerechte Einbettung von Endlosfasern im Spritzgießen lassen sich die Gewichte der Kunststoffteile reduzieren ohne Einbußen bei gleichbleibenden bzw. verbesserten mechanischen Eigenschaften. Im Unterschied zu etablierten Spritzgießverfahren mit Kurz- und Langfaserverstärkung sind hier neue Probleme entlang der gesamten Prozesskette zu lösen. Bei der Prozessgestaltung und Schnittstellenkonzeption sind Fragen zur bestmöglichen Orientierung, Fadenarchitektur und lokalen Anordnung der Textil-

verstärkung zu klären. Dazu müssen nicht nur die später im Bauteil herrschenden mechanischen Beanspruchungszustände bekannt sein, sondern auch die aus dem Spritzgießen resultierenden Belastungen und Randbedingungen. In hoch automatisierten Produktionszellen sollen die anforderungsgerecht ausgelegten Fasergerüste spritzgießtechnisch in die Teile integriert werden. Diese Zielstellung verfolgt ein siebenköpfiges Forscherteam an der TU Chemnitz im Projekt PaFaTherm – Partielle Faserhalbzugverstärkung von thermoplastischen Spritzgießbauteilen (Bild 1).

Fünf Forschungsfelder

Um partiell textilverstärkte thermoplastische Spritzgussteile herzustellen, werden lokal, in vorbestimmten Bereichen, Faser-

halbzeuge in die Kunststoffschmelze eingebettet. Sie sichern im Bauteil die Kraftübertragung maßgeblicher Lasten. Eine durchgängige Automatisierung mittels Handhabungssystemen, die eine wirtschaftliche Umsetzung garantiert, soll darüber hinaus die Prozesskette schließen. Aus diesen Schwerpunkten leiten sich die fünf Forschungsfelder des PaFaTherm-Projekts ab (Bild 2).

Für eine hohe Verbundgüte des Faser-Kunststoff-Verbunds muss der Kunststoff die textile Verstärkungsstruktur vollständig durchdringen. Dabei geht jede einzelne Faser eine kraftschlüssige Verbindung mit dem umschließenden Kunststoff ein. Auch die Frage, welche Kombination von Verstärkungsstruktur und Thermoplast im Spritzgießen eine optimale Imprägnierung (Durchtränkung) und Faser-Matrix-

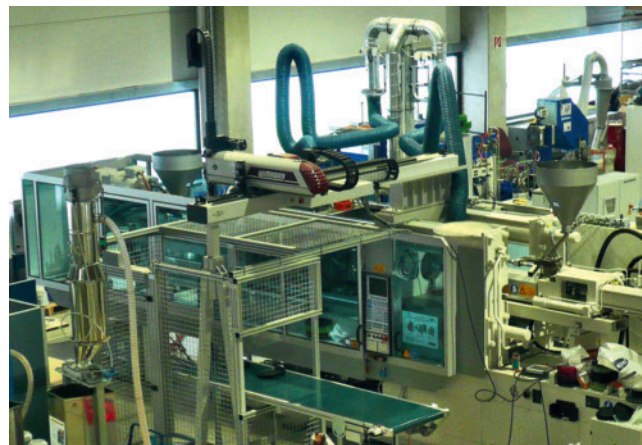


Bild 1. Das ZIL – Zentrum Integrierte Leichtbautechnologien – wurde 2009 zur Erforschung und Entwicklung spritzgießbasierter Hochleistungsbauteile errichtet; unterstützt wurde das Vorhaben durch die TU Chemnitz sowie durch Zuwendungen des Landes Sachsen und durch Mitwirkung regionaler und überregionaler Unternehmen

ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110341

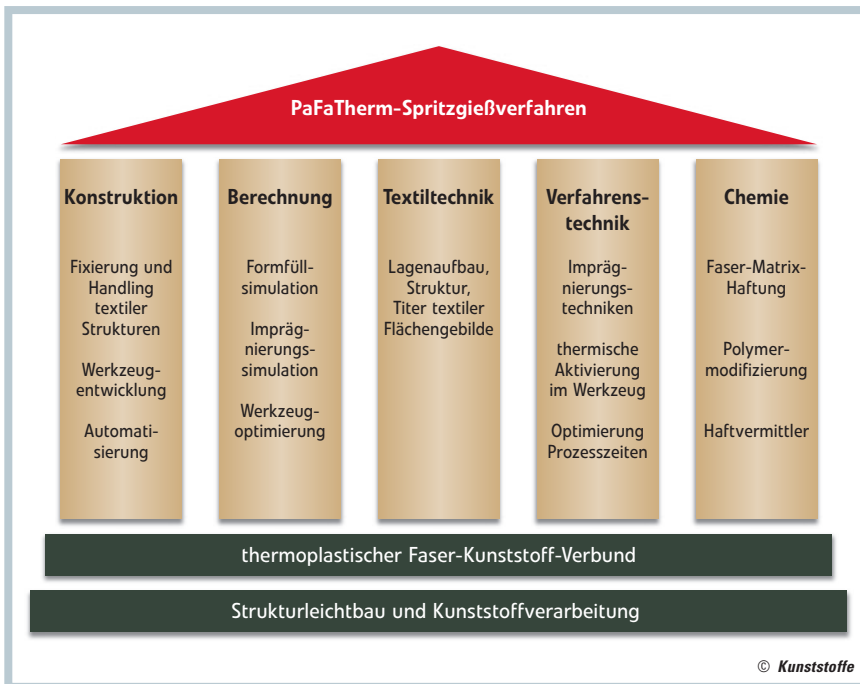


Bild 2. Die fünf Forschungsfelder sind die tragenden Säulen des PaFaTherm-Projekts – Partielle Faserhalbzeugverstärkung von thermoplastischen Spritzgussteilen

Haftung erreicht, ist noch unbeantwortet. Um die Materialkosten gering zu halten, stehen vorerst gebräuchliche Verstärkungsfasern und marktübliche Thermoplaste im Fokus der Untersuchungen.

Makro- und Mikroimprägnierung

Das in der Werkzeugkavität positionierte Faserhalbzeug führt während des Einspritzvorgangs zu komplexen Strömungsvorgängen. Speziell im Bereich der porösen Faserstruktur bestimmen die Imprägniereigenschaften das mit einem hohen Fließwiderstand verbundene Fortschreiten der Schmelzefront. Zur Beschreibung des Imprägniervorgangs ist zwischen der Makro- und Mikroimprägnierung zu unterscheiden (**Bild 3**).

Unter Makroimprägnierung wird das Eindringen der Thermoplastschmelze in die Grobstruktur des flächenförmigen Textilhaltzeugs und die Umhüllung der Fäden verstanden. Der Vorgang ist in besonderem Maße von der Porosität, der Viskosität der Schmelze und dem Schmelzdruck abhän-

gig. Die Mikroimprägnierung beschreibt das Durchtränken der Faserbänder und damit die Benetzung der einzelnen Faserfilamente im Faserbündel (Roving). Neben dem Schmelzdruck kommen die Grenzflächeneffekte zwischen Fasern und Polymer-Matrix zum Tragen. So müssen sich Adhäsionskräfte zwischen Fasern und Ma-

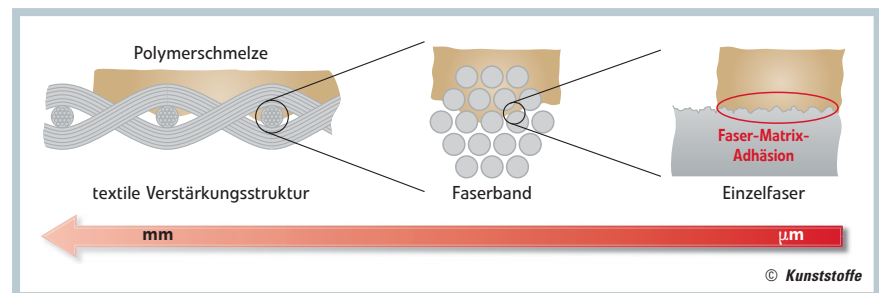


Bild 3. Die Schmelzimpregnerung textiler Halbzeuge ist strukturell untergliedert in Makro- und Mikroimprägnierung

trix ausbilden, um die einzelnen Filamente gut zu umhüllen. Erst dann kann eine ausreichende Lastübertragung zwischen Matrix und Faser erfolgen.

Die Mikroimprägnierung gestaltet sich bei geringen Freiräumen zwischen den einzelnen Faserfilamenten wesentlich schwieriger als die Makroimprägnierung. Kleine Fließkanäle erzwingen einen höheren Imprägnierdruck, wodurch die Schmelze schneller abkühlt und oftmals vorzeitig erstarrt. Eine gute Imprägnierung erfordert daher eine niedrige Viskosität der Thermoplastschmelze, die über die chemische Zusammensetzung, die

Prozesstemperaturen und die Einspritzgeschwindigkeit steuerbar ist. Des Weiteren erleichtert eine hohe Porosität der Verstärkungsstruktur das Imprägnieren. Sie lässt sich über die textile Fadenarchitektur, die Fadenfeinheit und den Herstellungsprozess erreichen.

Um günstige Material- und Prozessparameter zur Erzielung optimaler Imprägnierergebnisse zu bestimmen, wurde an der TU Chemnitz, ein spezielles modulares Formwerkzeug entwickelt. Mithilfe des Werkzeugs lässt sich prozessnah das Verhalten beim Durchtränken von unidirektionalen Faserbändern untersuchen. Im Fokus stehen die Phänomene der Meso- und Mikroebene. Das Institut untersucht dabei den Zusammenhang zwischen Imprägnierung und erreichbarer Faserverstärkung sowie die Auswirkung auf die Verbundeigenschaften verschiedener Faser-Matrix-Kombinationen.

Polar und unipolar kombinieren

Die ersten Forschungsarbeiten bauen auf der Verwendung von textilen Verstärkungsstrukturen aus E-Glas und Polypropylen (PP) als Matrixkomponente auf. Für den thermoplastischen Verbund stellt diese Materialkombination hinsichtlich Imprägnierung und Faser-Matrix-Haftung (polar/unipolar) eine besondere Herausforderung dar. Um eine ausreichende Haf-

tung zu erlangen, werden die physikalisch-chemischen Eigenschaften der PP-Matrix durch den Zusatz spezieller Modifikatoren verändert. Die Kunststoffschmelze kann so über schwache Anziehungskräfte wie etwa Wasserstoffbrückenbindungen in Wechselwirkung mit der Glasfaseroberfläche treten.

Als Funktionalisierungsreagenzien kommen spezielle Haftvermittler (organofunktionelle Silane) zum Einsatz. Sie verbessern die Kompatibilität der Oberflächeneigenschaften von Glas (polar) und PP (unipolar). Im Unterschied zu den meisten sogenannten Filmformern bin-

Kontakt

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Strukturleichtbau und
Kunststoffverarbeitung
D-09126 Chemnitz
→ www.leichtbau.tu-chemnitz.de

den sie sich über echte chemische Bindungen (kovalent) an eine Glasfaseroberfläche. Ein bifunktionelle Haftvermittler bildet kovalente Bindungen sowohl mit Faseroberfläche als auch mit geeigneten funktionellen Gruppen des Matrixpolymers aus (Bild 4).

Prozess anpassen

Der Verarbeitungsprozess muss innerhalb spritzgießtypischer Zykluszeiten eine ausreichende thermische Aktivierung der Haftvermittlerreaktion gewährleisten. Dafür ist das Aufheizen der textilen Verstärkungsstruktur in der geschlossenen Werkzeugkavität notwendig. Auf Basis keramischer Heizelemente werden hochdynamische, variotherme Temperiersysteme (Hersteller: gwk Gesellschaft Wärme Kältetechnik) in den verschiede-

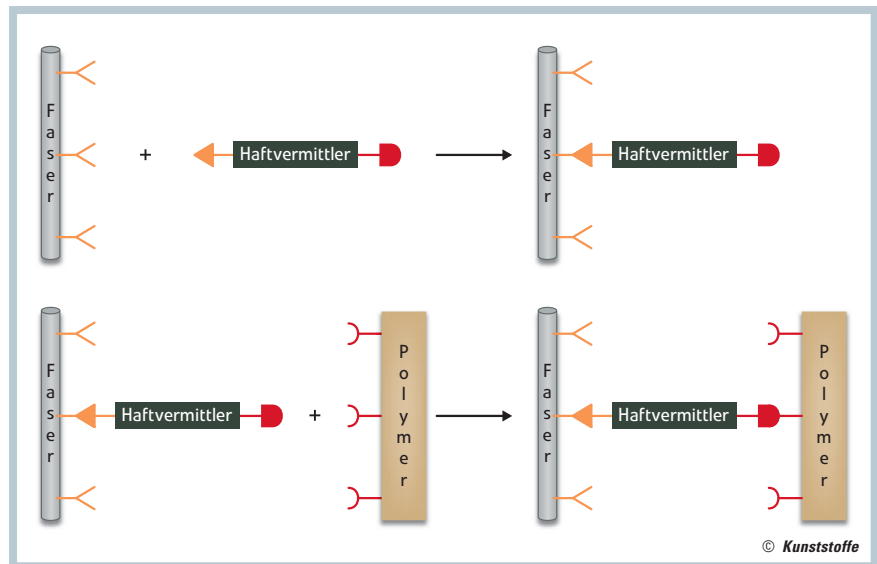


Bild 4. Der bifunktionelle Haftvermittler bildet kovalente Bindungen mit der Faseroberfläche und mit funktionellen Gruppen des Matrixpolymers aus

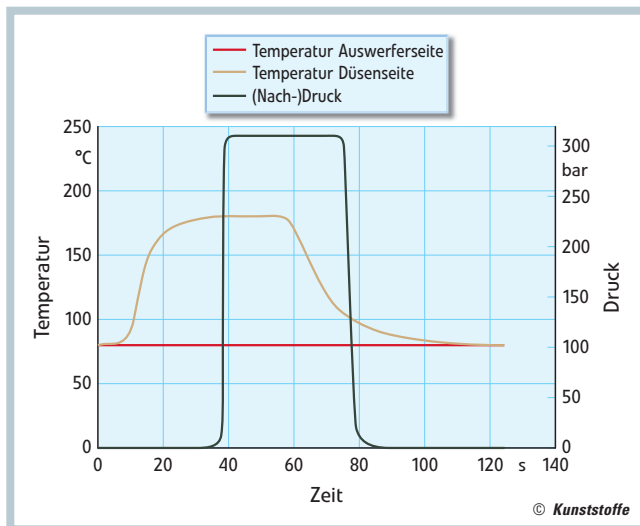


Bild 5. Die Temperaturverläufe und der Druck für eine einstufige Verarbeitung behandelte Glasfasergelege mit modifiziertem Polypropylen aufgetragen über der Zeit

nen Werkzeughälften eingesetzt. Die gezielte und differenzierte Temperierung der beiden Formhälften wirkt dem Bauteilverzug infolge unsymmetrischen Schrumpfverhaltens entgegen. In einem zweistufigen Verarbeitungsprozess temperieren variotherme Heizsysteme beide Werkzeughälften unterschiedlich (Bild 5).

Zu den Verarbeitungsparametern im Spritzgießwerkzeug gehören Temperaturführungen vor, während und nach den Kunststoffeinträgen kombiniert mit zyklisch spezifischem Nachdruck und Prägehüb. Die Eigenschaften des Verbunds werden vorwiegend durch mechanische Prüfungen an Materialproben bewertet.

Nadeln greifen und richten aus

Im Prozess führen Roboter die textilen Verstärkungssysteme zu, bestücken das Werkzeug und entnehmen das fertige Bauteil.

Um die textilen Verstärkungsstrukturen zu fassen, kommen mehrfach angeordnete Nadelgreifer zum Einsatz. Sie garantieren die gerichtete Vorspannung, Drapierung und Übergabe des Textils in das Spritzgießwerkzeug. Die ebene Verschiebung der Nadelgreifer im Greiferkopf spannt die Verstärkungsfäden vor und richtet sie in direkter Orientierung aus, sodass sich die Struktur auf dem konvexen Formkern drapieren und vorspannen lässt. Mittels Feder-Nut-Prinzip wird das textile Halbzeug kraft- und formschlüssig arretiert.

Im Prozess soll nachweislich in einem geschlossenen Dreikomponenten-Spritzgießverfahren ein partiell verstärktes Kunststoffbauteil gefertigt werden. Der Einsatz einer Mehrkomponenten-Wendepaltenmaschine (Typ: KM 200/700/520C2, Hersteller: KraussMaffei) einschließlich eines Beistellaggregats ermöglicht, die unterschiedlichen Materialien

und Komponenten zu kombinieren. Zunächst werden die Ergebnisse bei der Verarbeitung von Geweben, Gewirken sowie uni- und multidirektionalen Gelegen auf Basis von E-Glas oder Kohlenstofffasern in Kombination mit Polypropylen (PP) und Polyamid (PA) untersucht. Die spezielle Greifeinheit überträgt bauteilspezifisch angepasst das Verstärkungstextil in den Verarbeitungsprozess. Befestigt ist die Einheit an einem Linearroboter mit hochdynamischen Servoantrieben (Typ: W843, Hersteller: Wittmann Robot Systeme), der eine präzise Platzierung und eine verfahrensspezifischen Übergabe an das Werkzeug gewährleistet. ■

DANK

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Vorhabens im Förderprogramm InnoProfile der Innovationsinitiative „Unternehmen Region – Neue Länder“. Das Projekt unter dem Förderkennzeichen 03IP508 wird über einen Zeitraum von fünf Jahren unterstützt. Für die Begleitung in fachlichen und administrativen Fragen sei dem Projektträger Jülich (PTJ) herzlich gedankt. Ebenfalls danken wir unseren Industriepartnern für die enge Kooperation.

DIE AUTOREN

DIPL.-ING. (FH) WALTER KLAUS, geb. 1943, war 15 Jahre Technischer Leiter der Wittmann Robot Systeme und arbeitet seit 2008 als selbstständiger Berater; mail@wklaus-consulting.de

DR.-ING. FRANK HELBIG, geb. 1969, ist seit 2007 Projektleiter von PaFaTherm und Fachgruppenleiter für Textilverstärkte Strukturbauteile an der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz; Frank.Helbig@mb.tu-chemnitz.de

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR KROLL, ist Leiter der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung.