

SONDERDRUCK

03 / 2014

HOCHLEISTUNGSFASERVERBUNDBAUETEILE INNOVATIVER VERFAHRENSBAUKASTEN

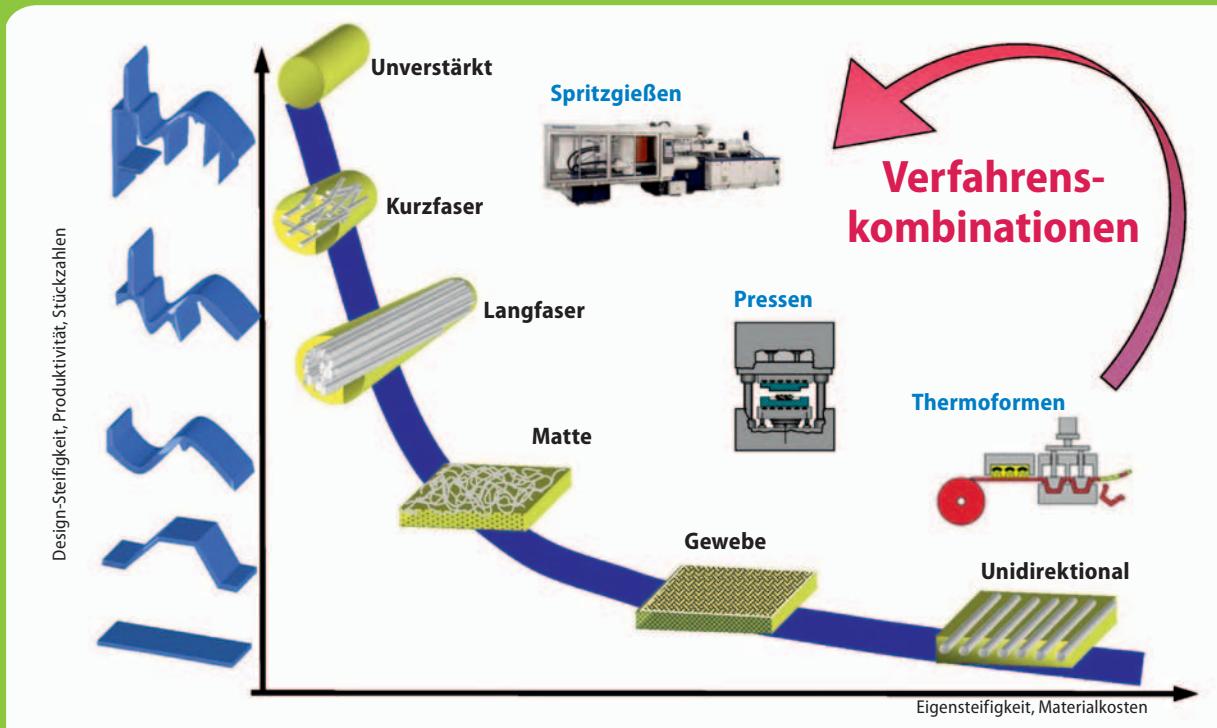
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Christian Gröschel
Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität
Erlangen-Nürnberg

Dr.-Ing. Leo Hoffmann, Christoph Linn
Neue Materialien Fürth GmbH



Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer





Die Kombination von Umformen und Urformen in einem Werkzeug verknüpft den stofflichen (Eigensteifigkeit) und den konstruktiven (Design-Steifigkeit) Leichtbau (Bild nach Schemme [1]).

Hochleistungsfaserverbundbauteile

Innovativer Verfahrensbaukasten

Fertigungsverfahren für hochbelastbare Faserverbundbauteile eignen sich aufgrund der langen Zykluszeiten häufig nicht für die Großserienproduktion. Durch thermoplastische Matrixsysteme und deren Verarbeitung auf Spritzgießmaschinen oder Spritzpressen lassen sich dagegen sehr kurze, großserientaugliche Zykluszeiten erzielen. In den vergangenen Jahren sind eine Vielzahl neuer Verfahren entwickelt worden die eine Art Verfahrensbaukasten darstellen.

Autoren: Dr.-Ing. Leo Hoffmann, Christoph Linn, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Christian Gröschen

KEYWORDS

Faserverbundbauteile / Verfahrensbaukasten / In-Mould-Forming / FIT-Hybrid-Verfahren / Twin-O-Sheet / In-Mould-Impregnation-Verfahren

/ In Anlehnung an die klassische Hybridtechnik werden bei der Neue Materialien Fürth und dem Lehrstuhl für Kunststofftechnik neuartige Verfahren erforscht, die zum Teil bereits etablierte Technologien auf neue Weise konstruktiv und verfahrenstechnisch miteinander kombinieren. Dabei wird zum Beispiel das Umformen von Organoblechen, das man auf unterschiedlichste Arten realisieren kann, mit der bekannten und äußerst erfolgreichen Spritzgießtechnologie in einem Verfahrenszyklus vereint. Möglich ist dies durch die hervorra-

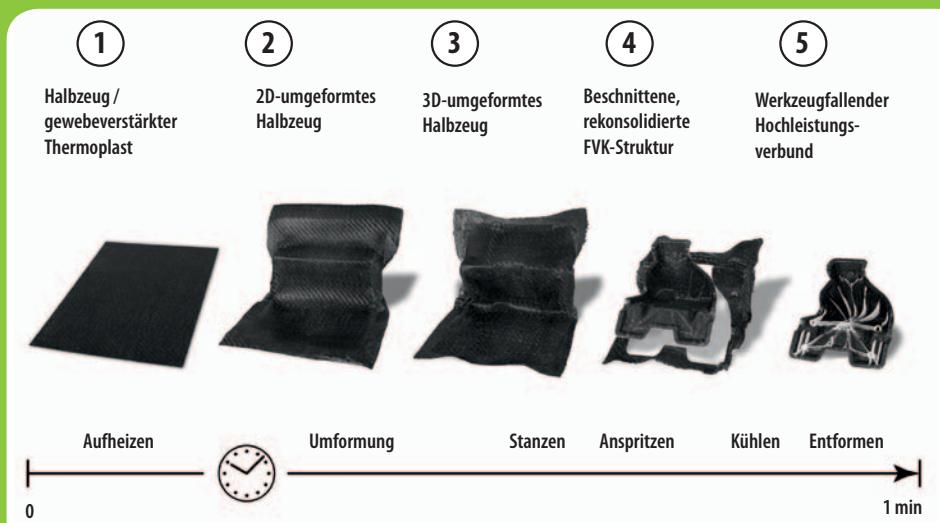
gende Urform- beziehungsweise Umformbarkeit von Kunststoffen und faserverstärkten Kunststoffsystemen, die es ermöglicht, werkzeugfallende, hoch funktionalisierte Werkstoffverbunde in einem Verfahrenszyklus zu realisieren. Diese Verfahrenskombinationen erlauben eine Verknüpfung der hohen Eigensteifigkeit der endlosfaserverstärkten Materialien mit der hohen Design-Freiheit, die die Spritzgießtechnologie ermöglicht. Im Weiteren wird auf vier ausgewählte Verfahren zur Herstellung von mechanisch tragenden Werkstoffverbunden auf Spritzgießmaschinen eingegangen: In-Mould-Forming, FIT-Hybrid, Twin-O-Sheet, In-Mould-Impregnation.

Beim In-Mould-Forming-Verfahren erfolgt das Umformen der endlosfaserverstärkten Thermoplaste durch die Schließbewegung des Spritzgießwerkzeugs. Mithilfe spezieller Spannrahmen- und Greifertechnologien lassen sich so komplexe, flächige Strukturen erzeugen. Neben dem Umformen und Urformen

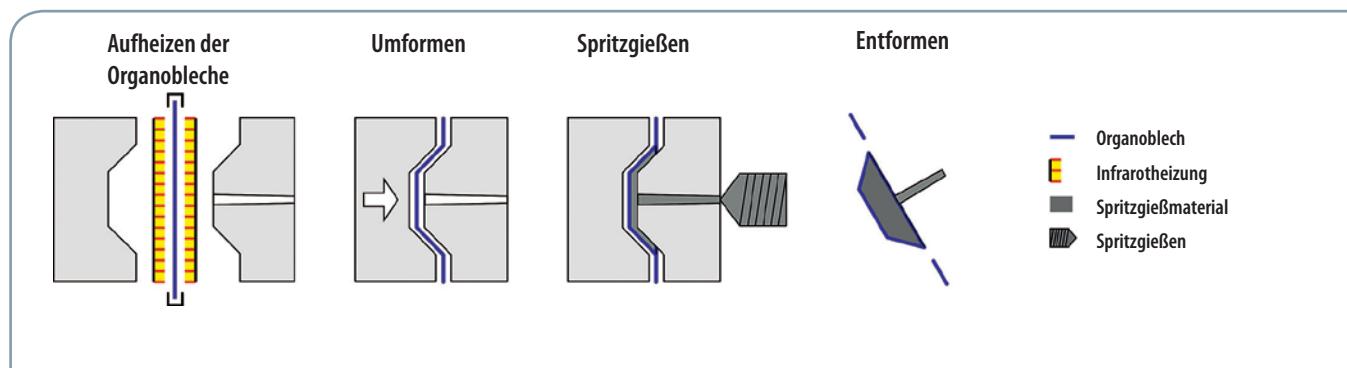
Verfahrensschritte

Herstellung einer hybriden Lenksäulenanbindung

Ausgehend von einem flächigen Halbzeug (1) erfolgt zunächst das zweidimensionale Vorformen durch eine entsprechende Spannrahmenkinematik (2) bevor im Anschluss daran das dreidimensionale Ausformen über die Schließbewegung der Spritzgießmaschine realisiert wird (3). Am Schließwegende wird das überschüssige Halbzeug mittels einer Quetschkante vom Bauteil getrennt (4). Das stoffschlüssige Anspritzen der Rippenstruktur im selben Fertigungszyklus komplettiert schließlich das werkzeugfallende Hybridbauteil (5). Unter den fünf Stadien der Formgebung befindet sich ein Zeitstrahl mit den wichtigsten Schritten der Prozesskette. Die Zeit von unter einer Minute entspricht der realisierten Zykluszeit für den vollautomatisierten Prozess auf der Kunststoffmesse K2010.



Lenksäulenanbindung aus PA6-GF, gefertigt im In-Mould-Forming-Verfahren.



Verfahrensschritte beim In-Mould-Forming.

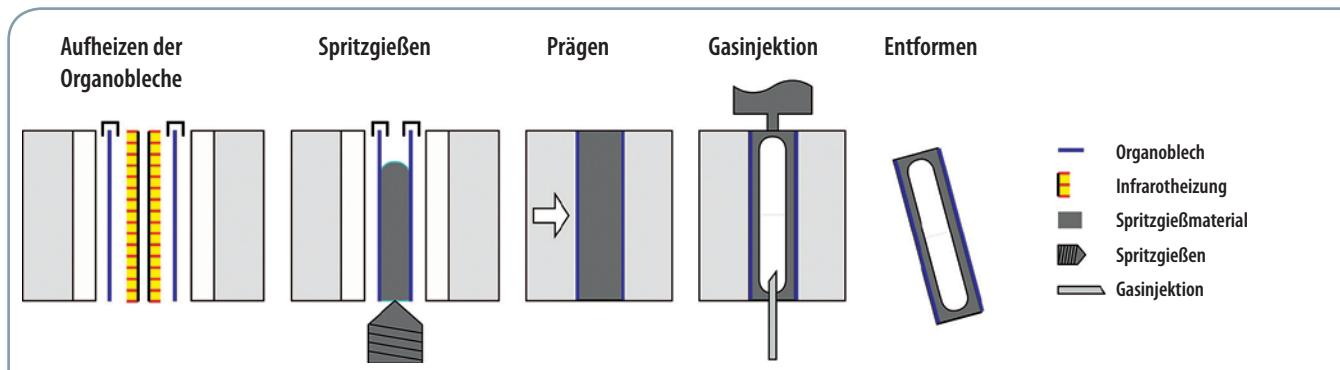
erfolgt das stoffschlüssige Fügen und Abstanzen des Halbzeugs im gleichen Werkzeug. Im Vergleich zur konventionellen Prozesskette, bei der das Halbzeug in einer separaten Presse umgeformt und als Einlegeteil hinterspritzt wird, lassen sich beim In-Mould-Forming Anlagen- und Werkzeugkosten sparen.

WÄRME NUTZEN

Im Vergleich zur konventionellen Fertigung von Kunststoff/Faserverbundkunststoff-Hybridstrukturen, bei der das umgeformte Halbzeug als Einlegeteil in das Spritzgießwerkzeug transferiert wird, lässt sich beim In-Mould-Forming die vom Aufheizen gespeicherte Wärme in den Organoblechen zur Erzielung eines stoffschlüssigen Verbunds mit der Rippe oder einem anderen ungeformten Funktionselement nutzen. Wird der Umform- und der Urformprozess in separaten Arbeitsschritten vollzogen,

so muss man das Halbzeug erneut aufheizen, um sich stoffschlüssig mit der ungeformten Komponente verbinden zu lassen. Das erneute Aufheizen verlängert die Prozesskette, erhöht den Energiebedarf und führt zu einer erhöhten thermooxidativen Zersetzung der Kunststoffmatrix. Außerdem lässt sich das Aufheizen von umgeformten Halbzeugen nicht mehr über ebene Strahlerfelder sondern ausschließlich über konturangepasste Strahler realisieren [2, 3, 4, 5].

Im In-Mould-Forming-Verfahren können sehr komplexe flächige Strukturen geformt und über das Spritzgießen stabilisiert und funktionalisiert werden. Konstruktiv vorteilhafte Rohr- oder Hohlkörperstrukturen aus endlosfaserverstärkten Kunststoffen sind damit aber – zumindest in einem Arbeitsschritt – nicht darstellbar. Die FIT-Hybrid Technologie nutzt den Druck eines Fluids zur Umformung von endlosfaserverstärkten Thermoplasten.



Die Schritte beim FIT-Hybrid-Verfahren.

Auf diese Art und Weise lassen sich hochbelastbare Faserverbundrohre und Hohlkörper in kurzen Zykluszeiten herstellen. Je nach Konstruktion und Anforderungsprofil können unterschiedliche Verfahrensvarianten zum Einsatz kommen. Der Gasdruck wird in Anlehnung an die Fluidinjektionstechnik erzeugt und kann die eingespritzte oder als Strang abgelegte Kunststoffmasse entweder aufblasen oder in eine Nebenkavität verdrängen.

MODULAR AUFGEBAUTES WERKZEUG

Das FIT-Hybrid Verfahren wurde zunächst anhand von Modellprobekörpern (Rohre, Rohrsegmente) systematisch untersucht. Dank eines modular aufgebauten Werkzeugs für die Modellprobekörper ließen sich unterschiedliche Geometrien, Verfahrensvarianten und Prozessparameter validieren. Die Geometrien variierte man hinsichtlich Form und Durchmesser in weiten Grenzen. Die bei den Modellprobekörpern erzielbaren Außendurchmesser von 30 mm wurden beim Demonstrator um einen Faktor von über 2 skaliert und ließen sich ebenfalls prozesssicher realisieren. Dabei hat die eingespritzte oder als Strang abgelegte Kunststoff-

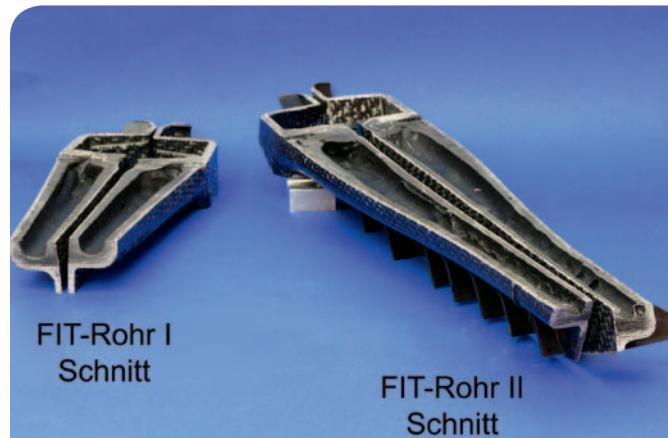
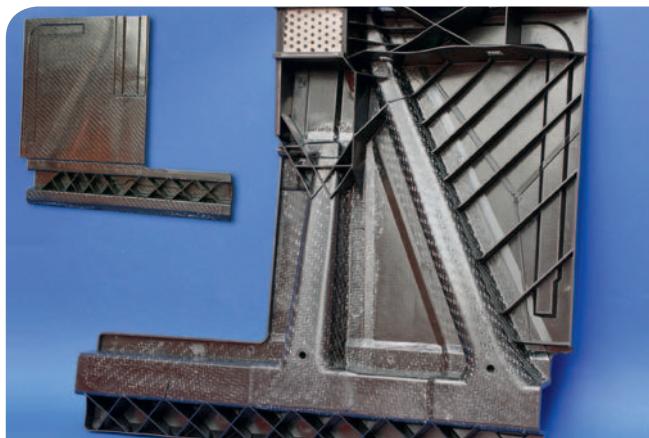
masse eine Barrierefunktion, um den Gasdruck innerhalb der Hohlstruktur aufrechterhalten zu können. Die sich ausbildenden Wandstärken beziehungsweise Restwanddicken der FIT-Hybrid-Rohre folgen im Allgemeinen den gleichen Regeln, die auch für die konventionelle Gasinjektionstechnik gelten.

Neben dem Materialeinsatz, der erforderlichen Kühlzeit und dem Schwindungsverhalten beeinflusst die Restwanddicke die mechanischen Eigenschaften sowie das Formteilgewicht. Die spezifischen mechanischen Eigenschaften nehmen jedoch im Allgemeinen mit zunehmender Restwanddicke ab, da die endlosfaserverstärkte Kunststoffkomponente die mechanischen Bauteileigenschaften wie Festigkeit oder Steifigkeit dominierend beeinflusst. Zur Maximierung des Leichtbaupotenzials solcher Hohlkörperverbunde sind folglich möglichst dünne Restwandstärken erwünscht. Daher untersuchte man detailliert den Einfluss von Verfahrensparametern im Einzelnen sowie unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkungen auf die resultierende Restwanddicke. Zur Überprüfung der Eignung der neuen Fertigungsverfahren für Anwendungen bei hochbelasteten Strukturen, wurde ein komplexer Demonstrator (freitragende PKW-Rücksitzlehne) ausgelegt, der zwei FIT-Hybrid-Elemente mit Rohraußendurchmessern von bis zu 60 mm, eine Fläche von 670 × 690 mm² und ein Gewicht von zirka 4,5 kg aufweist [12, 13].

IN EINEM VERARBEITUNGSZYKLUS

Der Demonstrator wird aus sechs Einzelkomponenten durch die Kombination von Umform- und Urformprozessen in einem Verarbeitungszyklus gefertigt. Die einzelnen gewebeverstärkten Komponenten sind hinsichtlich Faserorientierung und Dicke optimal auf die lokalen Beanspruchungen angepasst. Bei den beiden „FIT-Rohren“ sind die Fasern zu 80 % in Längsrichtung zur Aufnahme der hohen Biegekräfte ausgerichtet und nur zu 20 % in Umfangsrichtung. Bei dem „Torsionsträger“ sind die Fasern in ±45°-Richtung orientiert, um die auftretenden Momente optimal in die Fasern einzuleiten. Die lokale Verstärkung aus Aluminium zur Gurtaufnahme wird bei Zyklusstart eingelegt und über einen Schieber im Werkzeug fixiert. Der Demonstrator wurde bei dem Projektpartner Audi verschiedenen mechanischen Tests





Rücksitzlehne aus PP-GF, gefertigt im FIT-Hybrid-Verfahren. Rechts sind Schnitte durch die beiden Hohlbereiche dargestellt.

(Gurtzug, Schutz vor Ladung) unterzogen. Dazu erweiterte man ihn im Lagerbereich mit metallischen Inserts zur Krafteinleitung. Die mechanischen Anforderungen wurden im Wesentlichen erfüllt. Im Vergleich zur Stahllösung mit zirka 10 kg wurde eine deutliche Gewichtsreduktion erreicht. Exakte Angaben zur Gewichtseinsparung sind nicht möglich, da im Rahmen des Vorhabens keine gewichtsoptimierte Konstruktion der Krafteinleitung durchgeführt werden konnte [6, 7, 8]. Als nachteilig bei der FIT-Hybrid-Technologie erwies sich die verhältnismäßig hohe Restwandstärke in den Hohlkörperbereichen, die zu unverhältnismäßig hohen Kühlzeiten führte.

GASDICHE ORGANOBLECHE

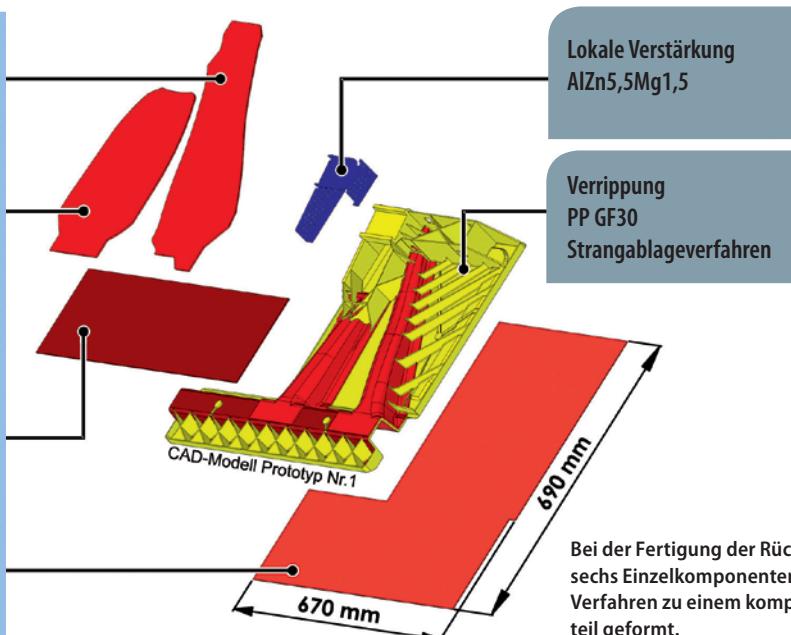
Der verfahrensbedingte Schwachpunkt der verhältnismäßig dicken Wandstärken des FIT-Hybrid-Verfahrens soll beim Twin-O-Sheet-Verfahren durch die Verwendung gasdicht modifizierter Organobleche vermieden werden. Nach dem gleichzeitigen Aufheizen zweier Organobleche im Werkzeug erfolgt das

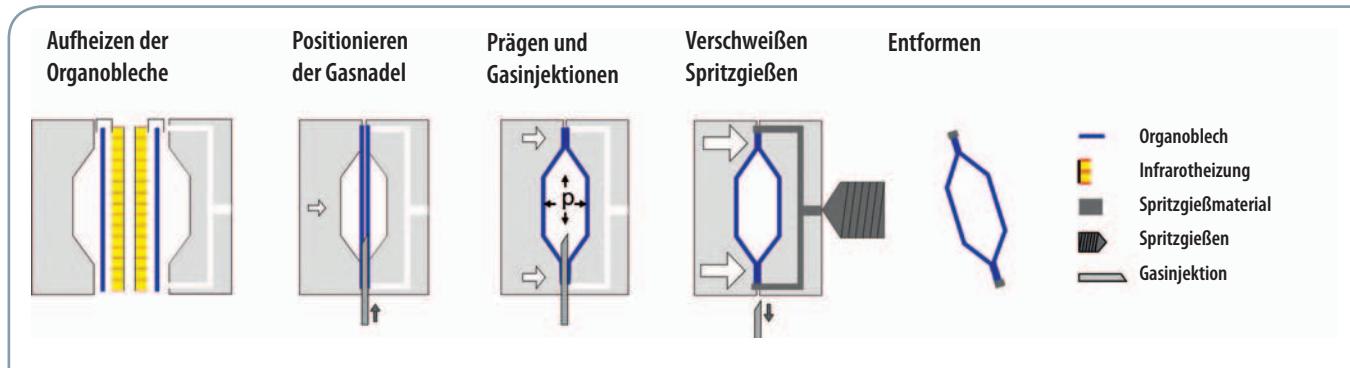
simultane Umformen beider Hälften durch Gasdruck. Dabei muss gewährleistet sein, dass der durch die beiden Organobleche gebildete Hohlraum komplett abgedichtet ist. Direkt im Anschluss an den Umformvorgang erfolgt unter Ausnutzung der Restwärme das Schweißen der Bauteilhälften. Weiterhin ist eine Funktionalisierung durch Spritzguss möglich. Die Ausnutzung der Restwärme für Schweißen und Spritzgießen macht das Twin-O-Sheet-Verfahren besonders energieeffizient und materialschonend, da kein mehrmaliges Aufschmelzen der Matrix notwendig ist.

Das Twin-O-Sheet-Verfahren ermöglicht großvolumigere und leichtere Hohlkörper als das FIT-Hybrid-Verfahren. Dies wird durch den Verzicht einer Schmelzevorlage, welche als Barriere für das Gas und Verbindung zwischen den Organoblechen wirkt, ermöglicht. Als Konsequenz sind allerdings Werkstoffsysteme notwendig, welche sich durch Gasdruck umformen und im Anschluss an den Umformvorgang schweißen lassen. Es wurden verschiedene Organoblechvarianten auf

FIT-Rohr II PP 47 Vol.-% GF (80:20); 3 mm FIT-Hybrid
FIT-Rohr I PP 47 Vol.-% GF (80:20); 3 mm FIT-Hybrid
Torsionsträger PP 47 Vol.-% GF (50:50); 3 mm In-Mould-Forming
Torsionsträger PP 47 Vol.-% GF (50:50); 3 mm In-Mould-Forming

Gewebeverstärkte Thermoplaste





Verfahrensschritte beim Twin-O-Sheet-Verfahren.

Ihre Eignung für das Umformen durch Gasdruck überprüft und charakterisiert. Als potenzieller Lösungsansatz konnten Organobleche, die mit einer strahlenvernetzten Randschicht modifiziert wurden, identifiziert werden. Diese verbinden eine ausreichende Gasdichtigkeit mit einer nur geringfügig eingeschränkten Umformbarkeit.

Strahlenvernetzte Thermoplasten besitzen in der Schmelze eine höhere Viskosität und Steifigkeit als unvernetzte Thermoplastschmelzen. Das Strahlenvernetzen von Thermoplasten ermöglicht beim Schweißen Werkstoffkombinationen, welche aufgrund von stark unterschiedlichen Schmelztemperaturbereichen bei unvernetzten Thermoplasten nicht möglich sind. Bei identischen Werkstoffen kann man die Schweißnahtqualität verbessern und so auf Nacharbeiten verzichten.



Probekörper „Kugel“ (oben) und „Zigarette“ (unten), hergestellt im Twin-O-Sheet-Verfahren.

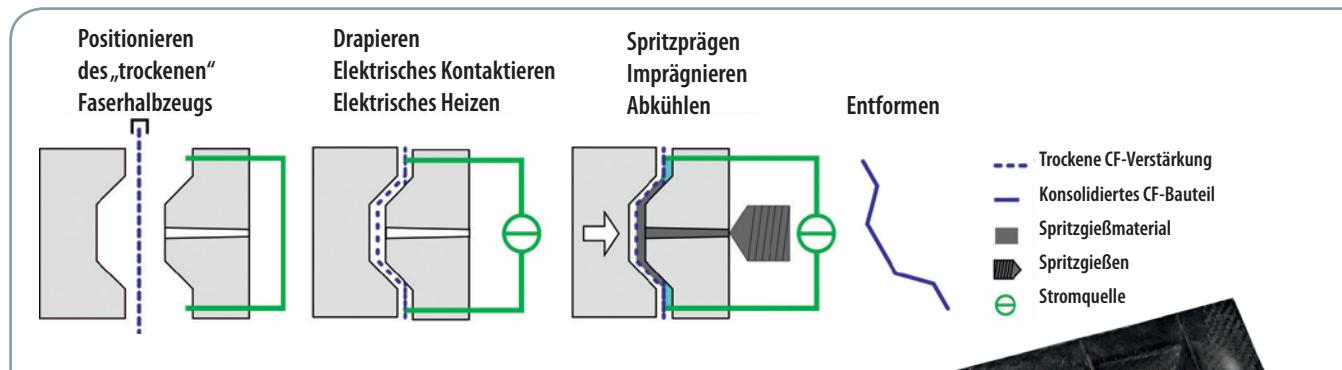


Bisher wurden Untersuchungen zur Charakterisierung der Verbindungsfestigkeit von Organoblechen mit aufgeprägter strahlenvernetzter Randschicht sowie zur Verbindungsfestigkeit der daraus im Twin-O-Sheet-Verfahren hergestellten Probekörper durchgeführt [9]. Gegenstand aktueller Arbeiten ist die Umsetzung der Ergebnisse auf einen großflächigen und großvolumigen Demonstrator aus dem Automobilbereich.

Beim In-Mould-Impregnation-Verfahren wird die Prozesskette weiter verkürzt, mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit zu steigern. Neben Umform- und Urformvorgängen erfolgt auch die Imprägnierung der Endlosfasern im Spritzgießwerkzeug. Dies stellt eine besondere Herausforderung dar, da die Viskosität der Thermoplaste stark temperaturabhängig ist und bei konventioneller Prozessführung für ein Imprägnieren der Fasern zu hoch ist. Für elektrisch leitfähige Kohlenstofffasern wurde eine Lösung entwickelt, indem man die Verstärkungsfasern elektrisch kontaktiert und als Widerstandsheizung verwendet. So hat jedes Bauteil seine eigene Heizung und die Viskosität lässt sich über das zeitabhängige Temperaturprofil definiert regeln. Neben einer elektrischen Widerstandsheizung besitzt das Werkzeug eine konventionelle Werkzeugtemperierung, die das Bauteil nach der Imprägnierung zügig auf Entformungstemperatur abkühlt.

DRAPIEREN IN DREI DIMENSIONEN

Das zur Herstellung dreidimensionaler Bauteile nötige Drapieren der Faserstruktur kann während der Werkzeugschließbewegung bei Raumtemperatur stattfinden. Aufgrund der fehlenden Kunststoffmatrix zum Zeitpunkt des Drapierens ergeben sich somit keine temperaturbedingten Restriktionen und das daraus resultierende Zeitfenster für die Umformung ist – abgesehen von Wirtschaftlichkeitsaspekten – beliebig groß. Das stellt einen besonderen Vorteil im Vergleich zum In-Mould-Forming dar, da die Wärmeleitfähigkeit von kunststoffgebundenen Kohlenstofffasern höher ist als beispielsweise von glasfaserbasierten Systemen und die daraus resultierende Zeit, die für die Umformung zur Verfügung steht, sich entsprechend verkürzt. Erste Versuche an einfachen Probekörpern zeigen, dass sich mit dem IMI-Verfahren eine gute und gleichmäßige Imprägnierung erreichen lässt [10, 11]. Die Übertragung auf praxisnahe Bauteile ist Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben.



Verfahrensschritte beim In-Mould-Impregnation-Verfahren.

FAZIT

Die in den letzten Jahren im Bereich der thermoplastischen Faserverbundwerkstoffe entwickelten Halbzeuge und Verarbeitungsverfahren bilden ein Art Baukastensystem, das durch die Verknüpfung von Aspekten des werkstofflichen und des konstruktiven Leichtbaus eine hohe Gestaltungsfreiheit bei der Realisierung komplexer, hochbelasteter Bauteile bietet. Bei den vorgestellten Verfahrenskombinationen handelt es sich um stark verkürzte, integrative Spritzgießsonderverfahren zur Herstellung von endkonturnahen und mechanisch tragenden Werkstoffverbunden. Durch die Verwendung von thermoplastischen Faserverbundkunststoffen lassen sich Zykluszeiten erreichen, die sich an die der klassischen Spritzgießtechnologie anlehnen. Zudem kann man die neuen Werkstoffe und Verfahren mit entsprechend angepasster Handhabungstechnik an handelsüblichen Spritzgießmaschinen einsetzen. Die Kombination aus Umform- und Urformverfahren bietet ein Höchstmaß an Designfreiheit und kann zur Steigerung der mechanischen Performance bei gleichzeitiger Reduktion des Gewichts beitragen. Die Produktion der mit diesem Verfahren hergestellten Leichtbaubauteile weist auf-

Einfache Probekörper „Platte“ und „Wanne“, hergestellt mit dem IMI-Verfahren.



grund der energieeffizienten und hochautomatisierbaren Fertigung ein hohes wirtschaftliches Potenzial auf. Die durchgängige Verwendung thermoplastischer Werkstoffe auf Basis eines Polymertyps erlaubt zudem ein kostengünstiges Recycling. Unser Dank gilt den Fördergebern, den Projektrträgern und unseren Projektpartner sowie den Rohstoffherstellern Lanxess, Bond-Laminates, A. Schulman, Lyondell Basell Industries und BASF für die teils kostenfreie Materialbereitstellung. (ol) //

Autoren

Dr.-Ing. Leo Hoffmann, Christoph Linn

Neue Materialien Fürth

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer, Christian Gröschel

Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen-Nürnberg

Weitere Informationsquellen

- [1] M. Schemme: Langfaserverstärkte Thermoplaste – Status und Perspektiven, Fachtagung „Thermoplastische Faserverbundkunststoffe 2013“, S. 1-27, Fürth 2013, erschienen im Carl Hanser Verlag, München, ISBN 978-3-446-43864-4
- [2] D. Drummer, T. Müller: Das Automobil von morgen – Kunststoff-Lösungen und technische Trends. VDI-Tagung „Kunststoffe im Automobilbau“, Mannheim 2011
- [3] T. Müller, D. Drummer: Spritzgießsonderverfahren für thermoplastische Hochleistungsverbunde, Internationale AVK Tagung, Stuttgart, 26.-27. Oktober 2009
- [4] T. Müller: Methodik zur Entwicklung von Hybridstrukturen auf Basis faserverstärkter Thermoplaste. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg 2011
- [5] T. Müller, D. Drummer: Spritzgießen mechanisch tragender Werkstoffverbunde., VDI-Jahrestagung Spritzgießen 2011, Baden-Baden, 2011
- [6] D. Drummer, T. Müller, L. Hoffmann, N. Müller: Hohlkörperverbundstrukturen im Minutentakt, Kunststoffe 101 (2011) 3, S. 110-114
- [7] L. Hoffmann, D. Drummer, T. Müller: Fertigungsgerechte Gestaltung hochbelasteter Faserverbundbauteile für die Großserie, Technomer 2011, Chemnitz
- [8] L. Hoffmann, M. Renn, D. Drummer, T. Müller: FIT-Hybrid: Hochbelastbare Faserverbundbauteile großserientauglich hergestellt, lightweightdesign 4 (2011) 2, S. 38-43
- [9] D. Drummer, C. Gröschel, A. Seefried: Organobleche durch Gasdruck direkt umformen, Kunststoffe 103 (2013) 12, S. 70-74
- [10] C. Linn, L. Hoffmann, T. Müller, D. Drummer: Herstellung von CFK-Bauteilen durch Direktimprägnierung mit Thermoplasten in der Spritzgießmaschine, lightweightdesign, 5 (2012) 3, S. 56-61
- [11] T. Müller, D. Drummer, C. Linn, L. Hoffmann: Ein energieeffizientes Verfahren für den Leichtbau, Kunststoffe 102 (2012) 6, S. 70-73
- [12] www.avk-tv.de
- [13] www.noae.com
- [14] www.jeccomposites.com
- [15] www.research-in-germany.de

Danksagung

Unser Dank gilt den Fördergebern, den Projektträgern und unseren Projektpartner sowie den Rohstoffherstellern Lanxess AG, Bond-Laminates GmbH, A. Schulman AG, LyondellBasell Industries AF S.C.A und BASF SE für die teils kostenfreie Materialbereitstellung.

Das „In-Mould-Forming als wirtschaftliches Verfahren zur Fertigung einer hybriden Lenksäulenanbindung“ wurde erforscht und entwickelt im Rahmen des durch die DFG geförderten Transferprojekts SFB 396 T-B3 gemeinsam mit den Industriepartnern Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG sowie DST Dräxlmaier Systemtechnik GmbH und mit dem ersten Platz des AVK-Innovationspreises 2007 ausgezeichnet [12].

Das FIT-Hybrid-Verfahren wurde im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts mit der gleichnamigen Kurzbezeichnung FIT-Hybrid (FKZ: 03X3016; Projektträger Jülich) erforscht. Die Entwicklung erfolgte in Zusammenarbeit mit den Partnern Audi AG, Schaumform GmbH, HBW-Gubesch Thermoforming GmbH (vormals Jacob Plastics GmbH) sowie dem Werkzeugbauer Christian Karl Siebenwurst Modell- und Formenbau GmbH & Co. KG und wurde auf dem Würzburger Automobilmagipfel 2010 mit dem NoAE-Innovationspreis für „Effiziente und flexible Produktion“ ausgezeichnet. Im März 2011 erhielt der FIT-Hybrid-Verbund für das vorgestellte Verfahren in der Sparte „Applications/ Automotive“ den JEC Innovation Award in Paris [13, 14].

Die Herstellung großvolumiger Hohlkörper aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten ist Gegenstand des Forschungsverbundes „Twin-O-Sheet“ (BMBF-Förderkennzeichen 02PJ2102, Projektträger PTKA-PFT, KIT Karlsruhe, Partner: Audi AG, Schaumform GmbH, HBW-Gubesch Thermoforming GmbH, Christian Karl Siebenwurst Modell- und Formenbau GmbH & Co. KG, bielomatik Leuze GmbH + Co. KG, Lanxess Deutschland GmbH) und wurde 2013 mit dem AVK-Innovationspreis ausgezeichnet. Des Weiteren zeichnete die Fraunhofer-Gesellschaft den Lehrstuhl für Kunststofftechnik für das Twin-O-Sheet-Verfahren als „German High Tech Champion“ in der Kategorie „Lightweight Design“ aus [12, 15].

Die Entwicklung des In-Mould-Impregnation-Verfahrens erfolgte im Rahmen eines vom Bayerischen Wirtschaftsministerium geförderten Projekts mit der Kurzbezeichnung „CFK-Großserie“ (Förderkennzeichen NW-0908-0002, Projektträger PtJ, Jülich) und wurde 2012 mit dem AVK-Innovationspreis ausgezeichnet. Partner waren Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG, KARL MAYER LIBA Textilmaschinen GmbH (vormals LIBA Maschinenfabrik GmbH) und HBW-Gubesch Thermoforming GmbH (vormals Jacob Plastics GmbH) [12].

 Audi	 bielomatik	 GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
	 KARL MAYER LIBA Textilmaschinenfabrik GmbH	 Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
	 SIEBENWURST.COM	BETREUT VOM  PTKA Projektträger Karlsruhe Karlsruher Institut für Technologie
	 LANXESS Energizing Chemistry	 PtJ Projektträger Jülich Forschungszentrum Jülich