

FIT-Hybrid. Bei FIT-Hybrid handelt es sich um ein effizientes Verfahren zur wirtschaftlichen Herstellung von leichten Faserverbundkunststoffteilen mit hoch belastbaren Voll- und Hohlprofilen. Dabei können unterschiedliche Verfahrensvarianten zum Einsatz kommen. Ein anwendungsnahes Musterteil lässt das breite Einsatzspektrum, z. B. für hochbelastete Strukturen im Automobil, erahnen.



Der erste großflächige Prototyp beinhaltet zwei FIT-Hybrid-Elemente mit Rohraußendurchmessern von bis zu 50 mm (Foto: NMF)

Hohlkörperverbundstrukturen im Minutentakt

**DIETMAR DRUMMER
THOMAS MÜLLER
LEO HOFFMANN
NORBERT MÜLLER**

Die aktuelle Klimadebatte zwingt die Automobilhersteller dazu, ressourcenschonende Fahrzeuge zu entwickeln. Einen wichtigen Beitrag dazu können Hochleistungs-Faserverbundkunststoffe leisten, indem sie das Fahrzeuggewicht reduzieren. Derzeit genutzte Fertigungsverfahren für hoch belastbare Faserverbundstrukturen auf duroplastischer Basis sind im Allgemeinen nicht großserientauglich, weil die Zykluszeiten in der Regel bei über 30 Minuten (für ein Bauteil) liegen. Daher werden diese überwiegend für Nischenprodukte eingesetzt. Erst die Entwicklung angepasster Werkstoffsysteme sowie rationeller und robuster Fertigungsverfahren mit entsprechend verkürzten Zyklen würde einen Einsatz in der Großserie erschließen. Durch die Verwendung thermoplastischer Systeme und deren Verarbeitung auf Spritzgießmaschinen oder Spritzpressen können groß-

serientaugliche Zykluszeiten im Bereich von einer Minute erzielt werden.

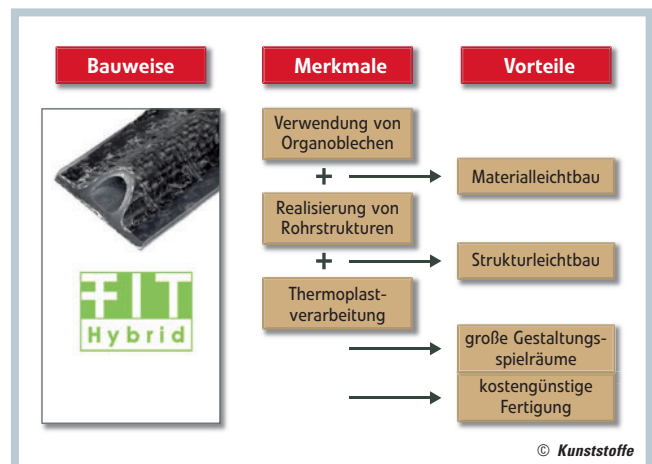
Für mechanisch auf Biegung und Torsion beanspruchte Bauteile sind Rohrstrukturen aufgrund ihres hohen Widerstandsmoments bestens geeignet. Allerdings können lokale Rohrstrukturen oft nur mit großem Aufwand in komplex geformte Bauteilstrukturen aus Faserverbundkunststoffen (FVK) integriert werden. Ein neues, als FIT-Hybrid (FIT: Fluidinjektionstechnik) bezeichnetes Verfahren hat zum Ziel, den werkstofflichen

mit dem konstruktiven Leichtbau via Rohrstrukturen zu kombinieren und für komplexe Serienbauteile nutzbar zu machen (Bild 1).

Konstruktiver Aufbau von FIT-Hybrid-Strukturen

Das FVK-Rohr wird beim FIT-Hybrid-Verfahren aus zwei halbkreisförmigen Schalen gebildet. An den Nahtstellen stoßen die Außenschichten nicht direkt aneinander, sondern gehen in die flächig-

Bild 1. Die hervorstechenden Merkmale der FIT-Hybrid-Bauweise tragen dazu bei, bedeutende Leichtbaupotenziale zu erschließen (Quelle: Schaumform)



ARTIKEL ALS PDF unter www.kunststoffe.de
Dokumenten-Nummer KU110706

ge Grundstruktur des Bauteils über. Die FIT-Hybrid-Technik führt somit auf eine Bauweise, bei der hoch belastbare Rohrsegmente vorteilhaft in flächige Bauteile integriert werden.

Die Ausführung mit zwei halbkreisförmigen Schalen stellt eine Grundform dar, die sich gemäß den jeweiligen Designanforderungen und den lokal vorherrschenden Belastungssituationen in weiten Grenzen anpassen lässt. Verglichen mit konventionellen Rohrkonstruktionen können wesentlich organischere Formen geschaffen werden, die beispielsweise an eine Baumstruktur oder an das mensch-

faser-Rovinggeweben mit Körperbindung können u. a. Organobleche mit Vorzugsorientierung sowie Organobleche mit eingebetteten Carbonschichten für höchste Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen genutzt werden. Als Matrixwerkstoffe für die Konsolidierung der Gewebematerialien kommen vorwiegend Polyamid und Polypropylen zur Anwendung.

Das kreisrunde Rohr ist ein geometrisches Grundprofil, das bei Biege- wie auch bei Torsionsbelastungen ein hohes Leichtbaupotenzial bietet und für ausgesprochen hohe spezifische Biege- und Torsionssteifigkeiten steht. Jedes offene

Hutprofil, das durch die einfache Umformung von Organoblechen hergestellt werden kann, ist der Rohrstruktur deutlich unterlegen. Die FIT-Hybrid-Technik gestattet es somit, in einem einzigen Prozessschritt leistungsstarke Faserverbundprofile in ein flächiges Bauteil einzubetten, die in konventioneller Bauweise erst aufwendig als gewickelte Rohre vorgefertigt werden müssten, um nachfolgend in einem separaten Montage- oder Laminierprozess mit der eigentlichen Bauteilstruktur verbunden zu werden.

Hohlstruktur oder Vollprofil mit geschäumtem Kern

Das FIT-Hybrid-Verfahren lehnt sich begrifflich und technologisch an die konventionelle Fluidinjektionstechnik an, zu der sowohl die Gas- als auch die Wasserinjektionstechnik zählen. Allen Varianten der neuartigen FIT-Hybrid-Technik ist gemeinsam, dass sie den Fluiddruck zur Herstellung von hybriden und hoch belastbaren Faserverbundstrukturen nutzen [1]. Grundsätzlich wird zwischen Voll- und Hohlprofilen unterschieden [2].

Vollprofile bestehen aus gewebeverstärkten Decklagen und einem geschäumten Kern. Für die Fertigung werden die Decklagen zunächst auf Schmelzetemperatur vorgewärmt, bevor zwi-

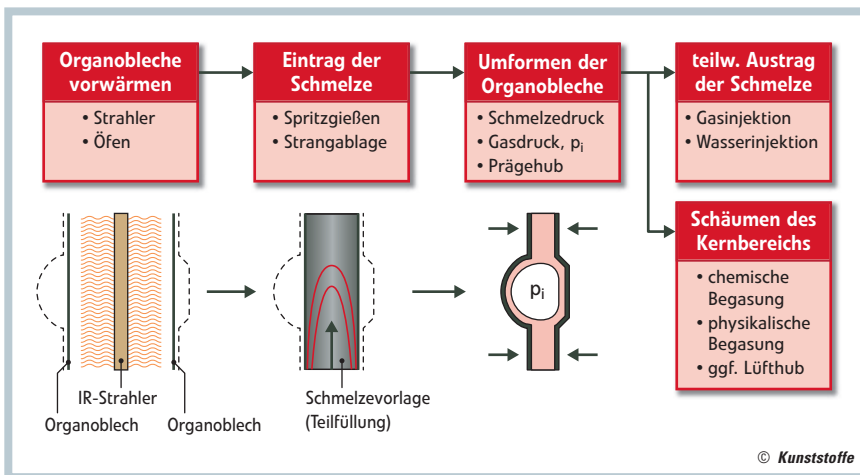


Bild 2. Die Herstellung von FIT-Hybrid-Strukturen kennt inzwischen bereits mehrere Verfahrensvarianten (Quelle: Schaumform)

liche Knochengerüst erinnern. Die FIT-Hybrid-Rohre können zu einem auslaufenden Ende hin stark verjüngt und in Richtung der Lastangriffspunkte deutlich verbreitert werden. Zudem können sie, dem Konturverlauf des Bauteils folgend, gekrümmt und um Radien herum geführt werden. Es können FIT-Hybrid-Strukturen erzeugt werden, die an einer Seite ganz eben sind, während an der gegenüberliegenden Seite ein halbkreisförmiges oder trapezförmiges Hutprofil ausgebildet wird.

Der Hohlraum zwischen den Organoblech-Halbschalen ist mit einer thermoplastischen Innenschicht ausgekleidet oder mit einer Schaumstruktur ausgefüllt. Die Innenschicht stabilisiert die Rohrstruktur in radialer Richtung. Diese Stützwirkung erlaubt es – in Anlehnung an die klassische Hybridtechnik –, mit dünnen Organoblechen zu arbeiten, deren Steifigkeits- und Festigkeitspotenzial dann sehr gut ausgenutzt werden kann.

Für die FIT-Hybrid-Bauweisen steht eine Vielzahl an gewebeverstärkten Halbzeugen zur Verfügung. Neben den bekannten, thermoplastisch basierten Glas-

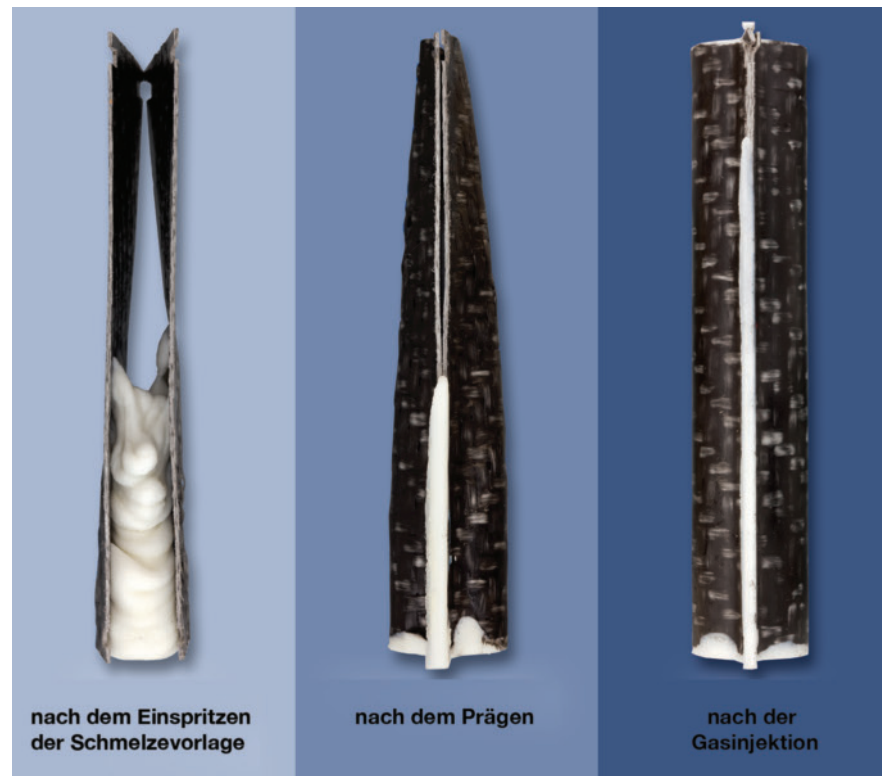


Bild 3. Drei markante Schritte einer Studie, bei der ein FIT-Hybrid-Modellprobekörper im Aufblasverfahren ausgeformt wurde (Foto: LKT)

schen die beiden Verstärkungslagen eine gasbeladene Schmelze mit kompatibler Matrix gespritzt wird. Die nicht fließfähigen Verstärkungslagen werden mit einem Prägehub umgeformt. Die Gasblasenbildung wird schließlich über den durch einen Lüfthub initiierten Druckabfall ausgelöst. Der Vorteil dieser Verfahrensvariante besteht darin, dass sich der Abstand der Decklagen durch den Lüfthub überall vergrößert und die Steifigkeit der Struktur folglich weiter erhöht [3]. Die geometrischen Freiheitsgrade dieser Variante sind größer als bei den Verfahren zur Herstellung von Hohlprofilen, da kein Gaskanal berücksichtigt werden muss (Bild 2).

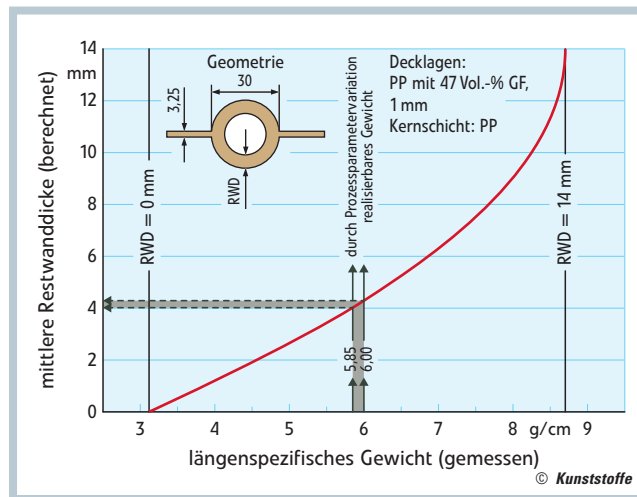


Bild 4. Die Umrechnung der minimal und maximal erzielbaren längenspezifischen Gewichte zeigt, dass sich die Restwanddicke nur in geringem Umfang durch die Prozessparameter beeinflussen lässt
(Quelle: LKT)

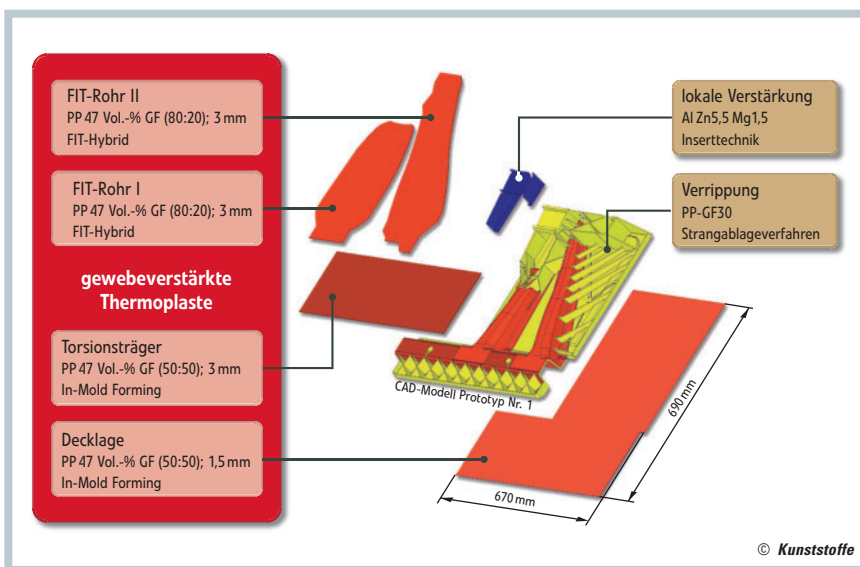


Bild 5. Das Bauteil (siehe Titelbild) wird aus sechs Einzelelementen durch die Kombination von Umform- und Urformprozessen in einem Verarbeitungszyklus gefertigt (Bild: NMF/LKT)

Sind Hohlstrukturen erwünscht, so muss der Gasdruck wie bei der konventionellen Fluidinjektionstechnik durch eine Injektornadel in die Struktur eingeleitet werden. Zunächst bringt eine Heizstation auch hier die Organoblechdecklagen auf Schmelzetemperatur. Im Anschluss daran wird als Zwischenprodukt ein Sandwich erzeugt, indem eine Kunststoffschmelze zwischen die beiden Verstärkungslagen gespritzt oder als Strang abgelegt wird.

Je nach Volumen der Schmelzevorlage stehen nun zwei Verfahren zur Wahl. Bei der Ausblasvariante ist das Schmelzevolumen so groß, dass die Decklagen durch den beim Prägen entstehenden Prägedruck vollständig umgeformt werden. Die Fluidinjektion verdrängt die schmelzeflüssige Seele im Nachgang in eine Überlaufkavität. Hingegen arbeitet die Aufblasvariante mit einer verringerten Schmelzevorlage. Die Verstärkungslagen

werden deshalb nur teilweise durch die Prägebewegung des Spritzgießwerkzeugs umgeformt – vollständig ausgeformt wird die Geometrie bei der Fluidinjektion durch das Aufblasen der Schmelzevorlage (Bild 3).

Neben den hier beschriebenen Prozessen ist auch eine Kombination des Verfahrens mit der gasbeladenen Schmelze

und den Varianten zur Herstellung von Hohlkörperstrukturen möglich.

Einfluss relevanter Parameter auf das Bauteilgewicht

Bei den Verfahren zur Herstellung von Hohlkörperstrukturen hat die eingespritzte oder als Strang abgelegte Kunststoffmasse eine Barrierenfunktion, um den Gasdruck innerhalb der Hohlstruktur aufrecht zu erhalten. Die sich ausbildenden Wanddicken bzw. Restwanddicken der FIT-Hybrid-Rohre folgen im Allgemeinen den gleichen Regeln, die auch für die konventionelle Gasinjektionstechnik gelten [4].

Neben dem Materialeinsatz, der erforderlichen Kühlzeit und dem Schwindungsverhalten beeinflusst die Restwanddicke auch die mechanischen Eigenschaften sowie das Formteilgewicht. Die spezifischen (gewichtszugehörigen) mechanischen Eigenschaften nehmen jedoch im Allgemeinen mit zunehmender Restwanddicke ab, da die endlosfaserverstärkten Decklagen die mechanischen Bauteileigenschaften wie Festigkeit oder Steifigkeit dominierend beeinflussen. Um das Leichtbaupotenzial solcher Hohlkörperverbunde zu maximieren, sind folglich

Die an „FIT-Hybrid“ beteiligten Projektpartner und ihre Funktion

Audi AG, Ingolstadt	www.audi.de	OEM
Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth	www.nmfgmbh.de	Transfereinrichtung
Schaumform GmbH, Passau	www.schaumform.de	Entwicklungsdienstleistungen
Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG, Dietfurt	www.siebenwurst.de	Formenbau
Jacob Composite GmbH, Wilhelmsdorf	www.jacobplastics.com	Verarbeiter
Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT), Universität Erlangen-Nürnberg	www.lkt.uni-erlangen.de	anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung

Tabelle 1. Die Projektpartner

möglichst geringe Restwanddicken erwünscht.

Eine Arbeitsgruppe des Lehrstuhls für Kunststofftechnik (LKT) der Universität Erlangen-Nürnberg hat mit einer Vielzahl von Experimenten die Versuchsparameter identifiziert, die die Restwanddicke am stärksten beeinflussen:

- die Schmelzetemperatur der eingespritzten Kunststoffmasse,
- die Vorwärmtemperatur der Halbzeuge sowie
- den Ausblasdruck.

Bei der hier vorgestellten Untersuchung kam ein unverstärktes Polypropylen (Typ: APPC 1100N, schwarz; Hersteller: A. Schulman GmbH) zum Einsatz. Um den Einfluss der Parameter auf das längenbezogene Gewicht validieren zu können, wurde ein Versuchsplan mit den entsprechenden Faktoren und jeweils zwei Stufen durchgeführt. Neben den drei genannten variablen Faktoren im Versuchsplan wurden alle anderen Parameter konstant gehalten. An jedem Versuchspunkt wurden fünf Bauteile gefertigt.

Bei der Auswertung stellte sich heraus, dass die Schmelzetemperatur, bezogen auf die Verfahrensparameter, eine zentrale Rolle bei der Gewichtsreduktion der Hochleistungsverbundrohre einnimmt. Obwohl die Einflussgrößen innerhalb ihres robusten Parameterfelds maximal variiert wurden, konnten lediglich Bauteile generiert werden, deren längenspezifisches Gewicht zwischen 5,85 und 6,00 g/cm liegt. Daraus ergibt sich eine mittlere Restwanddicke zwischen 4,00 und 4,26 mm für eine im Ausblasverfahren hergestellte FIT-Hybrid-Struktur mit einem Außendurchmesser von 30 mm (**Bild 4**).

Obwohl sich eine Erhöhung der Schmelzetemperatur signifikant auf das Bauteilgewicht der untersuchten Probengeometrie auswirkt, dominieren gemäß der einschlägigen Fachliteratur zur Gasinjektionstechnik insbesondere bei großen Bauteilquerschnitten die rheologischen Werkstoffeigenschaften der eingespritzten Kunststoffmasse [4]. Diese sind zwar temperaturabhängig, werden aber im relevanten Temperaturbereich maßgeblich durch ihren molekularen Aufbau, also durch ihre inhärenten Werkstoffeigenschaften definiert. Mit kleiner werdenden Bauteilquerschnitten steigt der Einfluss des Wärmehaushalts auf die austreibbare Kunststoffmasse und damit das Potenzial der Einstellgröße Schmelzetemperatur, das Gewicht mithilfe der FIT-Hybrid-Technologie weiter zu reduzieren.

Positiv wirken sich die spritzgegossenen Restwanddicken auf mechanische Lasten aus, die quer zur Rohrstruktur eingeleitet werden. Vergleichbar zur klassischen Hybridtechnik [5, 6] kann die Gewebeverstärkung der im FIT-Hybrid-Verfahren hergestellten Rohrstrukturen so gegen Knicken und Beulen stabilisiert werden.

Musterteil mit großen Hohlquerschnitten

Um die Eignung des neuen Verfahrens für Anwendungen bei hochbelasteten Strukturen zu überprüfen, wurde ein komplexer Demonstrator (**Titelbild**) ausgelegt, der

zwei FIT-Hybrid-Elemente mit Rohraußendurchmessern von bis zu 50 mm, eine Fläche von 670 mm × 690 mm und ein Gewicht von ca. 4,5 kg aufweist. Das Bauteil wird aus sechs Einzelementen durch Kombination von Umform- und Urformprozessen in einem Verarbeitungszyklus gefertigt (**Bild 5**). Den Kern der Fertigungsanlage (**Bild 6**) bildet die Spritzpresse der Neue Materialien Fürth GmbH (Typ: ES5550 H1370 L800 VTM Duo; Hersteller: Engel Austria GmbH, St. Valentin/Österreich), die um zwei Vorheizstationen für die Organobleche und eine Gasinjektionsanlage für die Ausformung der FIT-Elemente erweitert wurde [7].

Im Fertigungsprozess wird das Organoblech „Decklage“ in die Oberseite des Werkzeugs eingelegt, wo es spezielle Greiferelemente in Position halten. Ein integriertes IR-Strahlerfeld fährt mit einem Verschiebezyylinder in das Werkzeug ein und erwärmt das Organoblech auf Solltemperatur. Die Organobleche „FIT-Rohr I“, „FIT-Rohr II“ und „Torsionselement“ werden in einem separaten IR-Strahlerfeld auf Verarbeitungstemperatur vorgewärmt und in den Versuchen manuell in die untere Werkzeughälfte eingelegt. Im nächsten Verarbeitungsschritt fährt das Strangablegeaggregat in das Werkzeug ein und platziert vier Schmelzestränge in definierten Bereichen. Nachdem das inte-

Branchen. Hierzu zählen neben dem Fahrzeugbau, der aktuell die wichtigste Triebfeder darstellt, auch die Sportgeräte- und die Gesundheitsindustrie. Konkrete Beispiele sind Schlitten und Rollstühle, aber auch tragende Teile von Kinderwägen.

Zusammenfassung

Die FIT-Hybrid-Technik ermöglicht eine effiziente und flexible Fertigung von hoch belastbaren Hohlkörperstrukturen. Die Kombination aus Umform- und Urformverfahren bietet ein hohes Maß an Designfreiheit und hohe mechanische Eigenschaften bei gleichzeitiger Reduktion

Jülich (PT.J) für die Betreuung des Projekts mit der Kurzbezeichnung „FIT-Hybrid“ (FKZ: 03X3016) und zum anderen – neben den Mitgliedern des FIT-Hybrid-Verbands (siehe Tabelle auf S. 112) – der

- Bond-Laminates GmbH, Brilon,
- A. Schulman GmbH, Kerpen, und
- LyondellBasell, Frankfurt am Main, für die Bereitstellung der Werkstoffe.

LITERATUR

- 1 Drummer, D.; Müller, T.: Thermoplastische Hochleistungsfaserverbunde stehen vor einer großen Renaissance. *Intelligenter Produzieren* (2010) 3, S. 6–8
- 2 Müller, T.; Drummer, D.: Spritzgießsonderverfahren für thermoplastische Hochleistungsverbunde. *Internationale AVK Tagung*, Stuttgart, 26./27. Oktober 2009
- 3 Drummer, D.; Müller, T.: Integrative Herstellung von thermoplastischen Hochleistungsverbunden. 1. Leichtbautag, Dietfurt, März 2010
- 4 Eyerer, P.; Elsner, P.; Knoblauch-Xander, M.; von Riewel, A.: *Gasinjektionstechnik*. Carl Hanser Verlag, München 2003
- 5 Zhao, G.: Hybridstrukturen. In: Ehrenstein, G. W. (Hrsg.): *Handbuch Kunststoff-Verbindungstechnik*. 1. Auflage, Hanser Verlag, München 2004, S. 558–575
- 6 Al-Sheyyab, A.: *Light-Weight Hybrid Structures – Process Integration and Optimized Performance*. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg 2008
- 7 www.spritzpresse.de
- 8 www.noae.com

DIE AUTOREN

PROF. DR.-ING. DIETMAR DRUMMER, geb. 1971, ist Inhaber des Lehrstuhls für Kunststofftechnik (LKT) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

DIPL.-ING. (FH) THOMAS MÜLLER, geb. 1979, ist Oberingenieur am LKT.

DR.-ING. LEO HOFFMANN, geb. 1961, ist Projektleiter bei der Neue Materialien Fürth GmbH.

DR.-ING. NORBERT MÜLLER, geb. 1972, ist Geschäftsführer der Schaumform GmbH, Passau.

SUMMARY

HOLLOW COMPOSITE STRUCTURES ONE-A-MINUTE

FIT-HYBRID. FIT-Hybrid is an efficient method for cost-effective production of lightweight fiber composite plastic parts with high-strength solid and hollow profiles. Different process variants can be used here. A prototype for a special application gives a first indication of the broad spectrum of use for these parts, e.g. for high-strength structures in automobiles.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on www.kunststoffe-international.com

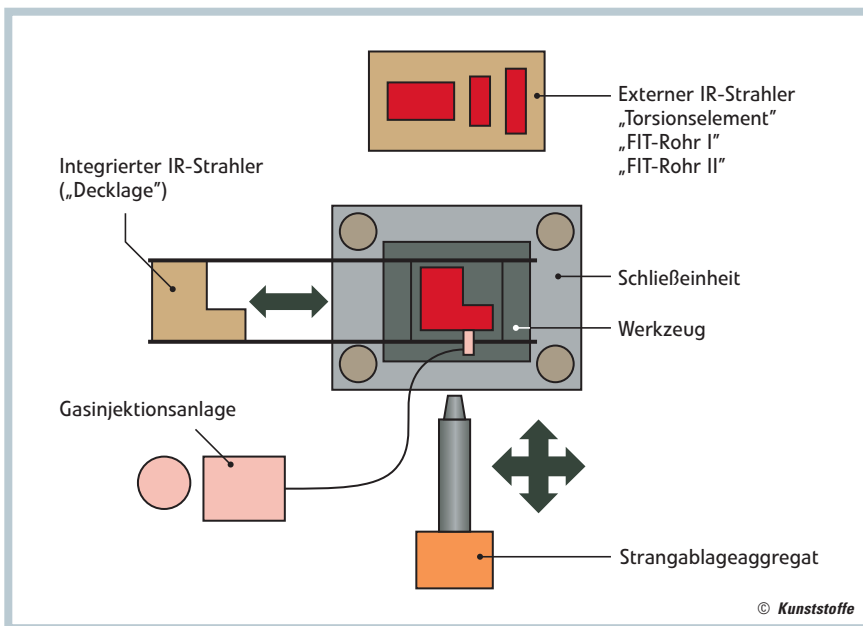


Bild 6. Im Zentrum der Fertigungsanlage steht eine Spritzpresse, die um zwei Vorheizstationen für die Organobleche und eine Gasinjektionsanlage für die Ausformung der FIT-Elemente erweitert wurde (Bild: NMF)

grierte IR-Strahlerfeld aus dem Werkzeug gefahren ist, wird der Umform-/Urformprozess über ein Prägeprogramm gestartet. Bei einer definierten Prägeposition wird das Ausblasen der Schmelze aus den Rohrelementen über Gasinjektion eingeleitet. Um optimal ausgeformte Rohrelemente zu erzeugen, bedarf es einer exakten Abstimmung zwischen Gasinjektions- und Prägeprogramm. Das Tauchkantenwerkzeug der Siebenwurst GmbH & Co. KG, Dietfurt, erlaubt eine „werkzeugfallende Produktion“ ohne Nacharbeit.

Mögliche Anwendungsfelder für die FIT-Hybrid-Technik

Anwendungsfelder für FIT-Hybrid-Strukturen finden sich in zahlreichen

des Bauteilgewichts. Ihre Wirtschaftlichkeit gründet auf der energieeffizienten und automatisierbaren Produktionsweise. Die durchgängige Verwendung thermoplastischer Werkstoffe auf Basis eines Polymertyps erlaubt zudem ein kostengünstiges Recycling.

Das Verfahren wurde auf dem Würzburger Automobilgipfel 2010 mit dem NoAE-Innovationspreis für „Effiziente und flexible Produktion“ ausgezeichnet [8]. Am 29. März erhält der FIT-Hybrid-Verband für das vorgestellte Verfahren außerdem den JEC Innovation Award in Paris. ■

DANK

Der Dank der Autoren gilt zum einen dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger