

# Faserverstärkte Thermoplaste in Sandwichbauweise

**Leichtbauverfahren für die Großserie.** Innovative Fertigungsverfahren ermöglichen die Herstellung lastorientierter Leichtbaustrukturen in Sandwichbauweise. Das Potenzial dieser Bauweise wird durch effiziente, großserienfähige Prozesse weiter erschlossen.

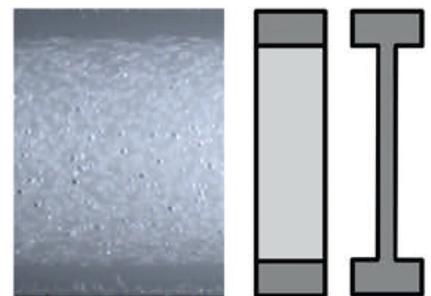
**ALEXANDER ROCH  
ANDREAS MENRATH  
TIMO HUBER**

Die Sandwichbauweise kombiniert den Werkstoffleichtbau mit dem Gestaltleichtbau und vereint eine im Verhältnis zum Gewicht hohe Steifigkeit und Festigkeit mit Zusatzfunktionen wie z. B. thermische Isolation und akustische Dämmung. Die Deckschichten des Werkstoffverbunds nehmen Biegemomente als Zug- und Druckkräfte auf. Der Kern hat die Aufgabe, die beiden Deckschichten fest und schubsteif miteinander zu verbinden. Die hierdurch mögliche Variabilität kann ein breites Spektrum an mechanischen, thermischen und akustischen Eigenschaften abdecken. Ein der-

artiger Verbund weist spezifische Eigenschaften auf, die durch eine monolithische Bauweise nicht erreicht werden können. Wegen der hohen Herstellungskosten fanden strukturoptimierte Sandwichbauteile zunächst nur Anwendung in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Neue kostengünstigere Fertigungsverfahren fördern nun die industrielle Verbreitung von Sandwichbauweisen.

Beim Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) wird ein Treibmittel in die Thermoplastschmelze eingearbeitet, möglichst homogen verteilt und gelöst. Dabei ist es immer Ziel, im aufdosierten Volumen vor der Schnecken Spitze eine einphasige Gas-Polymer-Lösung zu generieren, sprich das Treibmittel vollständig in der Schmelze zu lösen. Die Löslichkeit ist dabei stark vom Systemdruck abhängig, d. h. je höher der Staudruck, desto mehr Treibfluid kann theoretisch in der Schmelze

gelöst werden. Beim Einspritzen in die Kavität kommt es zu einem rapiden Druckabfall und damit zum Aufschäumen der Formmasse. Dabei bilden sich im Formteil eine ungeschäumte geschlossene Außenhaut und ein geschäumter Kern. Vereinfacht kann die werkstoffmechani-



**Bild 1.** Die Wirkungsweise eines Polypropylen-Integralschaums lässt sich mit einem Sandwichaufbau oder Doppel-T-Träger vergleichen

(Bilder: Fraunhofer ICT)

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU111514

sche Wirkungsweise eines solchen Aufbaus mit der eines Sandwiches oder eines Doppel-T-Trägers verglichen werden (Bild 1).

### Vorteile des Thermoplast-Schaumspritzgießens

Grundsätzlich wird beim TSG-Verfahren zwischen chemischen und physikalischen Treibmitteln unterschieden (Infokasten). Das Treibmittel senkt die Viskosität der Schmelze merklich ab. Dadurch werden beim Einspritzen qualitativ geringere Drücke benötigt und es lassen sich längere Fließwege realisieren. Um eine Gewichtsersparnis gegenüber dem Kompaktspritzgießen zu erzielen, wird die Kavität in der Regel teilgefüllt. Der Rest füllt sich durch den auftretenden Schaumdruck – auf diese Weise verringert sich zudem der Werkzeuginnendruck und damit der Schließkraftbedarf. Der Schaumdruck wirkt homogen und in allen Bereichen der Kavität, sodass auf die Nachdruckphase völlig verzichtet werden kann. Dies bedingt geringere Eigenspannungen und weniger Verzug, was die Maßhaltigkeit des Formteils sichtlich verbessert.

Ohne Nachdruckphase bzw. durch den homogenen Schaumdruck in der Kavität kann darüber hinaus von „Dünn nach Dick“ angespritzt werden. Ein Umstand, der bei einer „schaumgerechten“ Werkzeugauslegung enorme Vorteile bieten kann. Bei dünnwandigen Bauteilen verkürzt sich oft die Gesamtzykluszeit, insbesondere deshalb, weil durch den Schaumdruck ein sehr guter Kontakt zur kühlenden Formnestwand besteht.



**Bild 2.** Alle LFT-D-Schaum-Prüfkörper besitzen die gleiche Masse wie das kompakte Referenzbauteil (links). Von links nach rechts nimmt die Wanddicke bzw. Dichtereduktion zu

Als weitere Vorzüge sind die große Gestaltungs- und Designfreiheit zu nennen. Bei geschäumten Spritzgussteilen können die Beschränkungen des „kunststoffgerechten“ Konstruierens teilweise aufgehoben werden. Beispielsweise lassen sich ohne Einfallstellen äußerst dickwandige Bauteile (bis zu mehreren cm) oder enorme Wanddickensprünge (z. B. 1:10) realisieren.

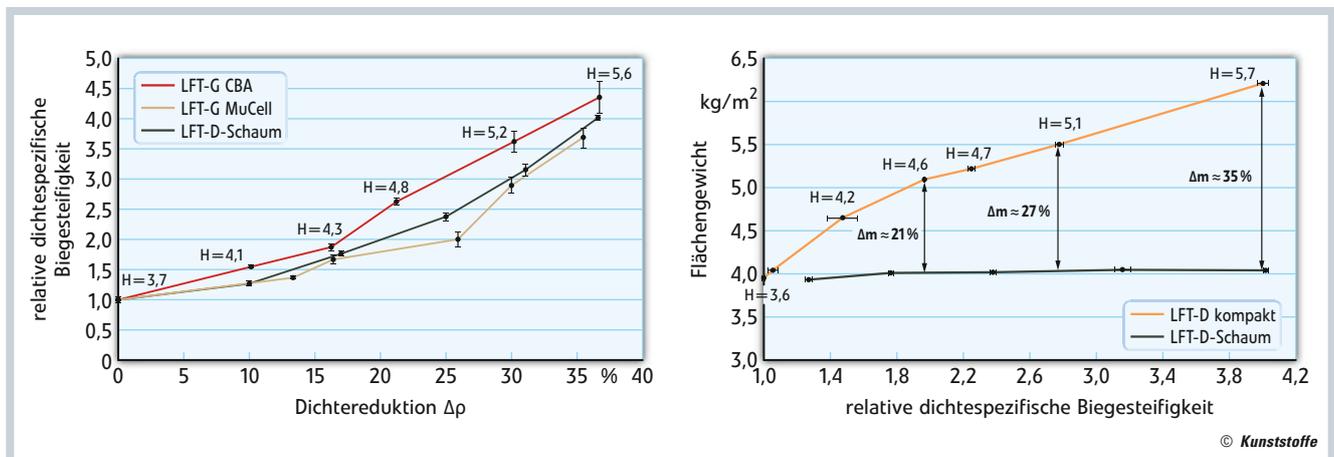
Während die maximal mögliche Dichtereduktion durch eine Teilfüllung stark begrenzt ist (meist ca. 10 %), sind zwei weitere Ansätze zur Material- und Gewichtsersparnis äußerst vielversprechend:

- Dünnwand spritzgießen: Durch die geringere Viskosität und die Möglichkeit, von „Dünn nach Dick“ zu spritzen, können viele Bauteile schlichtweg dünner und damit leichter gemacht werden.
- Negativprägen: Dem Einspritzen bei kleinem Werkzeugspalt schließt sich eine Vergrößerung der Kavität an. Da-

durch wird die maximal mögliche Dichtereduktion stark angehoben. Auf das enorme Leichtbaupotenzial der letztgenannten Verfahrensvariante (alias atmendes Werkzeug, Präzisionsöffnen oder Dekompression) in Kombination mit Lang- und Endlosfaserverstärkung wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

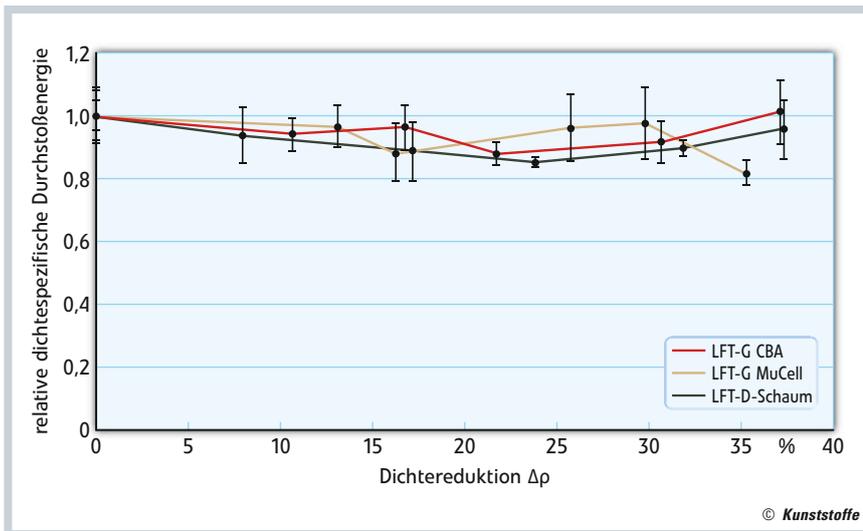
### Drei Varianten für LFT-Schäume

In umfangreichen Untersuchungen haben Forscher am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal, langfaserverstärkte thermoplastische Schäume (LFT-Schäume) hergestellt und charakterisiert. Durch Negativprägen wurden Probekörper aus PP-LGF30 angefertigt, die bei gleichem Gewicht durch Variation der Wanddicke unterschiedliche Dichtegrade aufweisen (Bild 2). D. h. es wurde immer die gleiche Menge an langfaserverstärkter Schmelze in das Tauchkanten-



**Bild 3.** Die Biegesteifigkeit steigt bei allen betrachteten Schaumprozessen mit zunehmender Dichtereduktion  $\Delta\rho$  bzw. Endwanddicke H signifikant an (links)\*. Um die jeweils gleiche Biegesteifigkeit zu erzeugen, muss bei der kompakten Bauweise mehr Flächengewicht aufgewendet werden als beim LFT-D-Schaum (rechts)

\* Wichtig: Die Grafik links erlaubt keinen Verfahrensvergleich. Es können lediglich die Kennwerte desselben Verfahrens untereinander verglichen werden!



**Bild 4.** Die Durchstoßenergie bei LFT-Schäumen bleibt auch bei hohen Dichtereduktionen erhalten

werkzeug eingespritzt und die Kavität anschließend vergrößert. Der Schaumdruck ließ die Schmelze gemeinsam mit dem Expansionshub des Werkzeugs auf das gewünschte Endmaß expandieren. Dabei kamen drei verschiedene Schäumprozesse zum Einsatz:

- Langfasergranulate (LFT-G) mit einem chemischen Treibmittel (CBA) und LGF-Schnecke (105 mm);
- Langfasergranulate (LFT-G) im MuCell-Verfahren mit LGF-Schnecke (80 mm) und Stickstoff ( $N_2$ ) als Treibmittel;
- LFT-D-Schaum-Verfahren mit einem Spritzgieß-Compounder (Injection Molding Compound, IMC) und Stickstoff ( $N_2$ ) als Treibmittel.

Mit allen Prozessen konnte die Dichte problemlos um bis zu 37% reduziert werden. Als Referenzen dienen jeweils kompakte, ungeschäumte Prüfkörper. Das Negativprägen bietet vor allem bei flächigen Bauteilen Vorteile: Die Biegesteifigkeit steigt bei allen betrachteten Schäumprozessen mit zunehmender Dichtereduktion  $\Delta\rho$  bzw. Endwanddicke  $H$  signifikant an (Bild 3 links). Bei einer Endwanddicke von beispielsweise  $H = 5,6$  mm besitzt die mit chemischen Treibmitteln geschäumte Variante etwa die 4,3-fach größere Biegesteifigkeit als das kompakte Referenzteil. Dieser Anstieg lässt sich auf die Geometrieabhängigkeit des Flächenträgheitsmoments zurückführen, das sich mit der dritten Potenz der Wanddicke erhöht.

Die Gegenüberstellung mit dem LFT-D-Kompaktspritzgießen verdeutlicht das Gewichtesparpotenzial der LFT-D-Schäume (Bild 3 rechts): Um die jeweils gleiche Biegesteifigkeit zu erzeugen, muss bei

der kompakten Bauweise mehr Flächen-gewicht aufgewendet werden als beim Schäumen. Um diesen Leichtbaueffekt weiter zu erhöhen, kann zum Beispiel bei noch kleinerem Anfangsvolumen der Kavität eingespritzt und/oder das Kavitätsvolumen weiter bis zum Erreichen der maximal möglichen Endwanddicke (material- und prozessabhängig) vergrößert werden.

Beim Negativprägen von unverstärkten Polymeren kommt es zu einer signifikanten Versprödung. Bei den untersuchten LFT-Schäumen konnte ein solches Verhalten hingegen nicht beobachtet werden: Die Durchstoßenergie blieb bei jedem Verfahren und bei allen Dichtereduktionen auf vergleichbarem Niveau (Bild 4).

### Sandwichstrukturen mit endlosfaserverstärkten Decklagen

Um die Leistungsfähigkeit weiter zu steigern, ist die Kombination von Endlosfaserverbundhalbzeugen und TSG, z. B. in einer Sandwichstruktur mit endlosfaserverstärkten Deckschichten und spritzgießfähiger Kernschicht, denkbar. Der spritzgießfähige Bereich wird durch ein Treibmittel aufgeschäumt und kann zum Beispiel zur Funktionsintegration (Inserts, Schnappelemente) und zur Realisierung komplexer Geometrien (Rippen, etc.) dienen. Die endlosfaserverstärkten Bereiche dienen der Kraftein- sowie -durchleitung und gewährleisten die geforderte Bauteilsteifigkeit.

Die Kombination aus Endlosfaserverbundhalbzeugen und dem TSG-Verfahren ermöglicht eine kostengünstige, auto-

matisierbare Herstellung von Sandwichstrukturen. Der Sandwichaufbau besteht aus vorkonsolidierten und faserverstärkten Decklagen und einem aufgeschäumten Kern. Das Fügen der Decklagen durch Einbringen des Kernmaterials und dessen Aufschäumen finden in einem Prozessschritt statt.

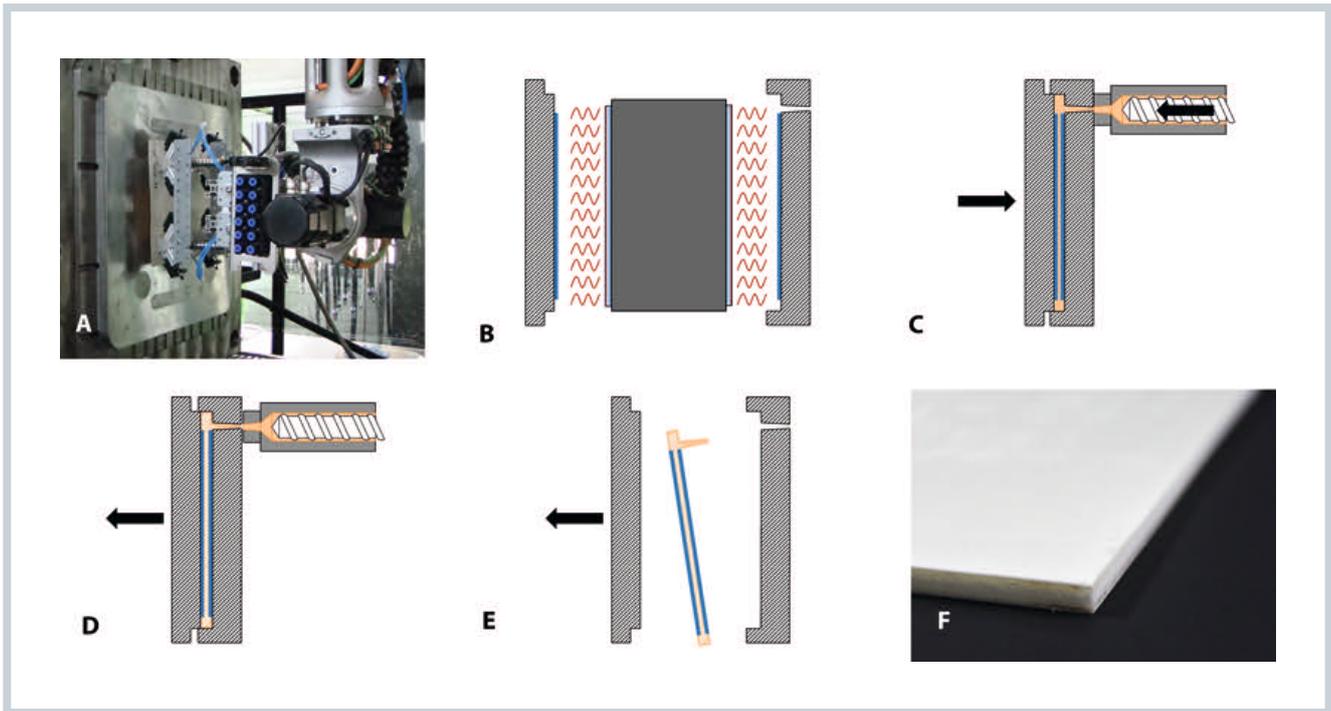
Die mechanischen Eigenschaften der Decklagen werden durch die Eigenschaften der Fasern und des Matrixmaterials, den Volumenanteil der Fasern sowie die Orientierung der Fasern bestimmt. Die Bandbreite an Endlosfaserverbundhalbzeugen reicht von Wirrfasermatten über Gewebe bis hin zu Gelegen. Diese flächigen Halbzeuge unterscheiden sich hauptsächlich durch ihre Faserorientierung und Faserfixierung und decken die komplette Bandbreite von isotropem bis anisotropem Werkstoffverhalten ab (Bild 5). Für eine maximale Nutzung der Fasereigenschaften ist der Belastungswinkel zur Faserorientierung ausschlaggebend. Abweichungen von einigen Grad führen zu einer starken Abnahme der mechanischen Eigenschaften.

### ! Verfahrenstechnik

Beim TSG-Verfahren wird zwischen zwei Varianten unterschieden. **Chemische Treibmittel** werden dem Basispolymer bei der Verarbeitung in Pulverform oder als Granulat zugemischt. Diese zersetzen sich oberhalb bestimmter Prozesstemperaturen und spalten Gase ab, die sich in der Polymerschmelze lösen. Neben diesen gasförmigen Treibfluiden entstehen bei der Reaktion außerdem feste Zersetzungsrückstände, deren Verträglichkeit (z. B. Farbe, Korrosion, Geruch etc.) bei der Treibmittelauswahl zusätzlich berücksichtigt werden muss. Die Verarbeitung chemischer Treibmittel ist prinzipiell auf Standard-Spritzgießmaschinen möglich, die über eine Schneckenpositionsregelung sowie eine Zylinder- und/oder Werkzeugverschlussdüse verfügen.

**Physikalische Treibmittel** sind Gase, meist Stickstoff ( $N_2$ ) oder Kohlendioxid ( $CO_2$ ), die direkt, ohne den „Umweg“ einer chemischen Zersetzungsreaktion, in die Kunststoffschmelze eingebracht werden. Dazu ist eine Gasdosiereinheit notwendig, die die erforderliche Anlagentechnik zwar aufwendiger macht, jedoch große Gasmen-gen im Polymer lösen kann und damit die vielseitigen Vorteile beim Schäumen „verstärkt“.





**Bild 6. Schematische Darstellung der Prozessschritte zur Herstellung thermoplastischer Sandwichstrukturen mit endlosfaserverstärkten Deckschichten, beginnend mit dem Fixieren der faserverstärkten Decklagen in der Kavität (A) und endend mit einem möglichen Beschnitt des Bauteils (F)**

Decklagen im TSG-Verfahren gliedert sich in mehrere grundlegende Prozessschritte (Bild 6). Die konsolidierten Decklagen werden auf den entgegengesetzten Seiten der Werkzeugkavität fixiert (A). In Abhängigkeit von Material und Dicke der Decklagen wird die Fügefläche berührungslos aufgeheizt (B). Danach wird das Werkzeug schnellstmöglich geschlossen, um den Temperaturverlust zu minimieren. Das Einspritzen der gasbeladenen Schmelze wird mit einem Prägehub des Tauchkantenwerkzeugs überlagert. Dies sorgt für eine gleichmäßigere Druckverteilung in der Kavität und verbessert die Anhaftung sowie die Verzugsneigung (C). Nach der volumetrischen Kavitätsfüllung wird durch einen Expansionshub (Negativprägen) ein Druckabfall initiiert. Der

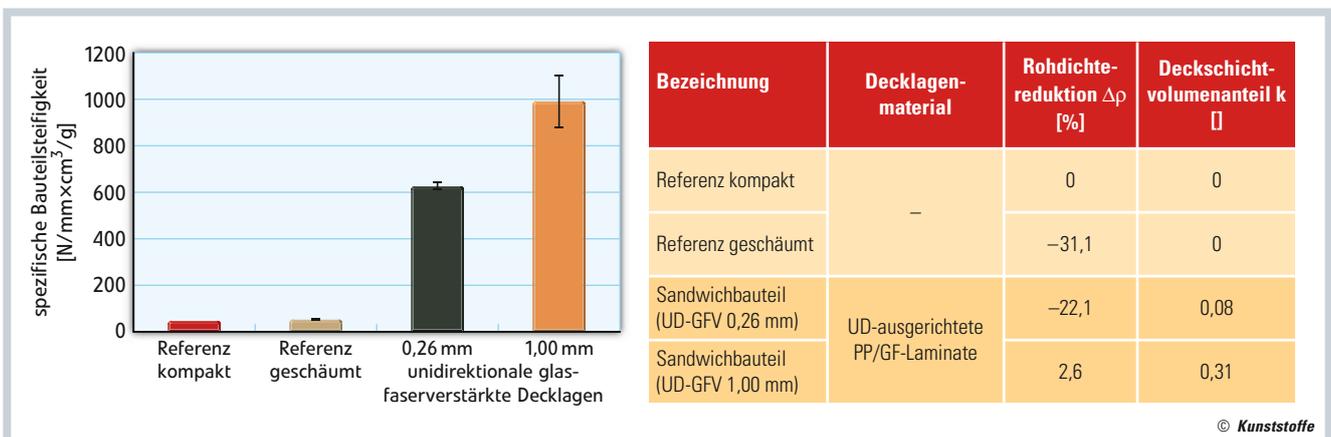
Sandwichkern schäumt auf, bis die gewünschten Bauteildimensionen erreicht sind (D). Nach Ablauf der Kühlzeit wird das Bauteil entnommen (E). Je nach Werkzeuggeometrie kann ein nachträglicher Beschnitt notwendig sein (F).

Die Umsetzung des Verfahrens ist mit allen flächigen Faserhalbzeugen denkbar. Das Potenzial offenbart sich, wenn man die spezifischen Bauteilsteifigkeiten UD-verstärkter Sandwichbauteile mit konstanter Endwanddicke und zwei Deckschichtdicken mit kompakten und geschäumten unverstärkten Referenzteilen vergleicht (Bild 7).

Die Bauteilsteifigkeit wird durch die Decklagen deutlich gesteigert. Bei einer Endwanddicke von  $H = 6,4 \text{ mm}$  besitzen Sandwichstrukturen mit  $0,26 \text{ mm}$  star-

ken glasfaserverstärkten Decklagen die 12,7-fach größere spezifische Bauteilsteifigkeit im Vergleich zur kompakten Referenz. Bei einer Erhöhung der Deckschichtdicke auf  $1 \text{ mm}$  steigt die spezifische Bauteilsteifigkeit auf den 20-fachen Wert der kompakten Referenz.

Ein wirtschaftlicher Einsatz vor allem in biegebeanspruchten Strukturbauteilen setzt die Positionierung des endlosfaserverstärkten Materials in Bereichen maximaler Beanspruchung voraus. Durch Variation der Decklagendicke sowie des Volumenverhältnisses zwischen Decklage und Kernschicht lassen sich die mechanischen Eigenschaften in einem Bereich zwischen den Kennwerten des geschäumten Kernmaterials und denen des homogenen Laminats einstellen.



© Kunststoffe

**Bild 7. Spezifische Bauteilsteifigkeit von kompakten, geschäumten und faserverstärkten Bauteilen. Alle Prüfkörper besitzen die gleiche Endwanddicke**

## Fazit

Durch Thermoplast-Schaumspritzgießen hergestellte Sandwichstrukturen mit Faserverstärkung zeigen ein hohes Leichtbaupotenzial für zukünftige großserienfähige Anwendungen. Die eingesetzten Werkzeugtechniken des Negativprägens und Hinterspritzens eignen sich besonders für flächige Elemente, wie beispielsweise Unterbodenstrukturen, Türmodule, Paletten, Container etc. Bei diesen Bauteilen sind hohe Kennwerte für Biegesteifigkeit und gute Impacteigenschaften gefordert. Die dargestellten Werkstoff- und Verfahrenskombinationen erfüllen diese Anforderungen vollständig. ■

## LITERATUR

- 1 Altstädt, V.; Mantey, A.: Thermoplast-Schaumspritzgießen. Carl Hanser Verlag, München 2011
- 2 Spörrer, A.: Leichte Integralschäume durch Schaumspritzgießen mit optimierten Werkstoffen und variothermen Werkzeugen. Dissertation, Universität Bayreuth 2010
- 3 Müller, N.: Spritzgegossene Integralschaumstrukturen mit ausgeprägter Dichtereduktion. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg 2006
- 4 Roch, A.; Huber, T.; Henning, F.; Elsner, P.: LFT-Foams – Lightweight Potential for Structural Components Through the Use of Long-Glass-Fiber-Reinforced Thermoplastic Foams. 29th PPS Conference, 15.-19. Juli 2013, Nürnberg
- 5 Henning, F.; Moeller, E.: Handbuch Leichtbau. Carl Hanser Verlag, München 2011
- 6 Schürmann, H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden, Springer Verlag, Heidelberg 2005
- 7 Ehrenstein, G. W.: Faserverbund-Kunststoffe. Carl Hanser Verlag, München 2006

## DIE AUTOREN

DIPL.-ING. ALEXANDER ROCH, geb. 1983, ist seit 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal; alexander.roch@ict.fraunhofer.de

DIPL.-ING. ANDREAS MENRATH, geb. 1985, ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ICT; andreas.menrath@ict.fraunhofer.de

DIPL.-ING. TIMO HUBER, geb. 1981, ist seit 2009 Gruppenleiter Thermoplastverarbeitung am Fraunhofer ICT; timo.huber@ict.fraunhofer.de

## SUMMARY

### FIBER REINFORCED THERMOPLASTICS AS SANDWICH CONSTRUCTION

LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION FOR MASS PRODUCTION. Innovative production methods permit load-oriented lightweight structures to be manufactured in sandwich construction. The potentials of this method are extended by efficient processes suited for volume large series.

*Read the complete article in our magazine*

**Kunststoffe international** and on  
[www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)